



Vulnerability analysis of facilities against flood with emphasis on AHP Fuzzy method (case study: Khorramabad city)

Amir Rahimi^a, Mahin Nastaran^{b*}

^a Master of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran

^b Associate Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Article Info

Abstract

Article history

Received: 6 August 2024

Received in revised form :
10 January 2025

Accepted: 18 January 2025

Available online:
21 March 2025

Keywords:

FLOOD
VULNERABILITY,
FUZZY AHP (FAHP),
ARCGIS,
KHORRAMABAD
CITY, URBAN
FACILITIES, RISK
ASSESSMENT,
SPATIAL ANALYSIS

Floods are known as one of the most common and destructive natural disasters due to their widespread destruction and huge economic losses. Khorramabad city is one of the cities at risk of flooding due to its experiences of floods in recent years, its location in a valley, heavy rains, the presence of rivers in the city (Khorramrod and Karganeh), and manipulation of the boundaries and beds of rivers. Therefore, investigating flood vulnerability plays an important role in reducing the damages and risks caused by floods.

One of the methods for investigating and analyzing flood vulnerability and urban facilities exposed to floods is the use of the fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) to identify flood-prone and flood-vulnerable areas. Therefore, in this research, the fuzzy analytic hierarchy process method was used to prioritize the criteria. In this research, 12 criteria (worn texture, population density, road network, land use, height, slope, direction of slope, geology, distance from the river, soil science, land subsidence, and rainfall) were used to prepare a map of flood-prone and vulnerable areas.

The results of the analysis in this research showed that 38.17% of urban facilities are exposed to high and very high vulnerability, and administrative, commercial, and educational facilities have the highest level of vulnerability compared to other land uses to flooding. To reduce vulnerabilities, especially those of facilities to flooding, suggestions include improving the physical quality of urban facilities and buildings, organizing and improving the quality of river beds and boundaries, improving the condition of drainage, and using smart and advanced technologies to predict and warn of floods in order to reduce vulnerabilities.

*.Corresponding author :Dr.Mahin Nastaran

E-mail address: m.nastaran@aui.ac.ir

How to cite this article: Rahimi, A., & Nastaran, M. (2025). Vulnerability Analysis of Facilities Against Flood with Emphasis on AHP Fuzzy Method (Case Study: Khorramabad City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 14(1), pp.105-128, <https://doi.org/10.22067/geoh.2025.89239.1506>



Extended Abstract

Introduction

Floods are among the most catastrophic natural hazards that can cause huge economic losses, damage to infrastructure and natural ecosystems, as well as death. Therefore, investigating flood vulnerability plays an important role in reducing the damages and risks caused by floods. A flood is a sudden flow of water that flows at high speed in a short time and causes destruction along with financial and human losses.

Khorramabad city has experienced floods 12 times from 1976 to 2005. One of the largest floods in Lorestan province is the flood of 2019, with the initial estimate of flood damage in Lorestan province exceeding 15 trillion rials. Fifteen people lost their lives and about 256 people were injured, and the city of Khorramabad had a huge share of these damages and casualties. Khorramabad city is one of the cities at risk of flooding due to its experiences of floods in recent years, its location in a valley, heavy rains, the presence of rivers in the city (Khorramrod and Karganeh), and manipulation of the boundaries and beds of rivers.

Considering the experiences of flood risk in Khorramabad city and despite numerous studies conducted in the field of flooding in regions and cities, no research has been conducted so far on the vulnerability analysis of urban facilities, especially using the FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) method. Therefore, the purpose of the present study is to analyze the vulnerability of facilities through the FAHP method and then to describe the application of the FAHP method in hazards and crises in order to reduce vulnerabilities.

Material and Methods

This paper is a descriptive-analytical study. This research was conducted in ArcGIS 10.5 and Expert Choice 11 software. Data collection methods included library methods (books, articles, information on the 2019 detailed plan of Khorramabad city, meteorological information, and data from the Iranian Geological Organization and the Natural Resources Administration) and field methods (questionnaire and observation).

The criteria effective in flood vulnerability were selected through library studies and urban experts according to the location and characteristics of Khorramabad city, which include 12 criteria (worn texture, population density, road network, land use, height, slope, slope direction, geology, distance from the river, soil science, land subsidence, and rainfall). After the criteria are determined by experts, the Analytic Hierarchy Process (AHP) method is used. The AHP is one of the most comprehensive methods designed for decision-making with multiple criteria. This method allows the problem to be formulated hierarchically. This method is based on three basic steps:

1. Creating a pairwise comparison matrix,
2. Calculating the weights of the criteria, and
3. Estimating the compatibility ratio.

Additionally, in this research, the fuzzy logic method was used to standardize the criteria. The fuzzy logic method is used to standardize the criteria in cases where the units of measurement have different ranges with ranges of similarity from 0 to 1.

Results and Discussion

After preparing the maps of the information layers, questionnaires were distributed among the experts, in which a pairwise comparison of the criteria was made based on the value (importance) in the numerical range between 1 and 9. Finally, after completing the questionnaire, a matrix was prepared in the Expert Choice software and the summary of the experts' opinions was added to that matrix. The output of the Expert Choice software analysis shows the weight of each criterion, and according to the AHP, the higher the weight of the criterion, the greater the importance and value of that criterion, and vice versa. According to the software output, population density, rainfall, distance from the river, height, and land use were the most important and scored.

The Geographic Information System (GIS) provides a wide range of spatial analysis, regional analysis, and network analysis capabilities on various thematic layers. In the present study, the AHP method was used to weight the criteria and determine the criteria in priority (importance) and standardization with the fuzzy logic method.

After preparing the weighted maps of the criteria (layers), by combining the weighted layer maps through ArcGIS software, using the SUM fuzzy operator, the map of vulnerable areas was determined in 5 vulnerability classes: very low, low, medium, high, and very high. By overlapping the distribution map of each facility with the flood vulnerability zoning map, all facilities can be analyzed for flood vulnerability.

With the analyses conducted, the vulnerability of facilities was determined in 5 levels of vulnerability, according to which, 9.66% and 28.51% of facilities are in the very high and high vulnerability range, respectively, and a total of 38.17% of facilities are exposed to high and very high vulnerability. According to the analyses conducted, using the percentage and total area of facilities exposed to flood vulnerability and considering the area of each facility, the vulnerability value of each facility was calculated.

Furthermore, with the analyses conducted, it can be concluded that administrative, commercial, and educational uses have the highest vulnerability to flooding with **39.47%**, 12.78%, and 11.78%, respectively, and religious and cultural uses have the lowest vulnerability to flooding with 0.84% and 0.38%, respectively.

Conclusion

The results of the analysis of this research showed that 38.17% of urban facilities are exposed to high and very high vulnerability, and administrative, commercial, and educational uses have the highest level of vulnerability compared to other uses to flooding. To reduce vulnerabilities, especially reducing the vulnerability of facilities to flooding, suggestions can be made such as:

- Improving the physical quality of urban facilities and buildings,
- Organizing and improving the quality of river beds and boundaries,
- Improving the condition of drainage, and
- Using smart and advanced technologies to predict and warn of floods in order to reduce vulnerabilities.

Finally, by achieving the research objectives in order to explain the application of the **FAHP** method, other applications of this method in reducing vulnerabilities can be mentioned, such as:

- Identifying zones and areas prone to vulnerability to crises,
- Correct location of emergency services to provide services during crises,
- Identifying and analyzing traffic nodes in times of crisis and correct routing in order for people to escape from crises and provide rapid services to people,
- Locating and identifying temporary accommodation, parking lots, and safe shelters during crises, and
- Correct location of urban facilities and residential areas to reduce vulnerabilities.

Previous research on the flood in Khorramabad city has addressed issues such as:

- Investigating the cause of the Khorramabad flood incident,
- Zoning of the entire city and villages, agricultural lands and roads, as well as
- Examining the role of floods in changing river beds and their impact on rural communities.

The difference between the present research and other research conducted is in analyzing the vulnerability of Khorramabad city facilities to flooding. Moreover, the research conducted so far has not examined facilities because the issue of urban facilities is considered an important issue in the field of urban planning. Similarly, in this research, the combined method of FAHP, which is a relatively new method, was used. One of the applications of this method is the analysis of risks and crises.



تحلیل آسیب پذیری زیرساخت‌های روبنایی در برابر سیل با تاکید بر روش AHP Fuzzy (مورد مطالعه: شهر خرم آباد)

امیر رحیمی^۱، مهین نسترن^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد برنامه ریزی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران
^۲ دانشیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
سیلاب به دلیل تخریب گسترده و خسارات اقتصادی بسیار زیاد به عنوان یکی از متداول ترین بلایای طبیعی شناخته می شود. شهر خرم آباد به دلیل تجارب سیل خیزی در سال‌های اخیر و موقعیت دره‌ای بودن شهر، بارش‌های فراوان، وجود رودخانه‌ها در شهر (خرم رود و کرگانه)، دستکاری در حریم و بستر رودخانه‌ها، جزء شهرهای در معرض مخاطره سیلاب می باشد. یکی از روش‌های بررسی و تحلیل آسیب پذیری سیل و زیرساخت های شهری در معرض سیل، استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (AHP FUZZY) به منظور شناسایی پهنه های سیل خیز و آسیب پذیر سیل می باشد، در این پژوهش، از ۱۲ معیار (بافت فرسوده، تراکم جمعیت، شبکه معابر، کاربری، ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین شناسی، فاصله از رودخانه، خاک‌شناسی، فرونشست زمین و میزان بارندگی) به منظور تهیه نقشه‌ی پهنه‌های آسیب پذیر سیل استفاده شد. مطابق روش فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی، معیارها توسط کارشناسان امتیازدهی و سپس در نرم افزار EXPERT CHOICE وزن دهی شدند و با استفاده از مدل منطق فازی، نقشه لایه‌های اطلاعاتی معیارها مورد فازی سازی قرار گرفتند. در نهایت با همپوشانی نقشه های وزن دهی شده برای هر معیار در نرم افزار ARC GIS، نقشه پهنه‌های سیل خیز و آسیب پذیر تهیه شد. باهمپوشانی نقشه پهنه بندی شده سیل با نقشه پراکنش زیرساخت های روبنایی، نقشه‌ی نهایی آسیب پذیری زیرساخت های روبنایی شهر خرم آباد تهیه گردید. نتایج تحلیل ها نشان داد که ۳۸/۱۷٪ از زیرساخت‌های روبنایی در معرض آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد سیل قرار دارند و کاربری‌های اداری و تجاری به ترتیب بیشترین آسیب‌پذیری و کاربری‌های فرهنگی و مذهبی کمترین آسیب پذیری را در برابر سیل دارند. در نهایت با شناسایی پهنه های سیل خیز و آسیب پذیر سیل، لازم است اقداماتی به منظور افزایش ایمنی و مقاوم سازی زیرساخت‌ها در جهت کاهش آسیب پذیری‌های ناشی سیل، توسط مدیران و کارشناسان شهری انجام گیرد.	تاریخچه مقاله تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹ کلمات کلیدی: آسیب‌پذیری سیلاب، روش سلسله مراتب فازی (FAHP)، نرم‌افزار ARCGIS، شهر خرم‌آباد، تأسیسات شهری، ارزیابی ریسک، تحلیل مکانی

مقدمه

هنگام بحث درباره هر فاجعه، ابتدا باید آن را بر اساس نوع آن متمایز کرد. به طور کلی، سه نوع بلا وجود دارد طبیعی، انسان ساز و ترکیبی. بلایای طبیعی غالباً «رخداد ذاتی طبیعت» نامیده می‌شوند، در حالی که بلایای انسان‌ساز که منشاء آن‌ها فعالیت انسان‌ها به طور عمدی یا غیر عمدی هستند که بر تعادل اکولوژیکی تأثیر می‌گذارند و بلایای ترکیبی، از ادغام فعالیت‌های انسانی و نیروهای طبیعی ناشی می‌شود. از بین همه بلایا، دوره ای ترین و شایع ترین آن سیل است که هرچند سال یکبار رخ می‌دهد (Shaluf, 2007). بررسی آثار و اطلاعات خسارت‌های ناشی از بحران سیل در ایران و جهان بسیار نگران کننده می‌باشد و بحران سیل، یکی از سه بلایای طبیعی و اصلی ایران است (Servati, Ahmadi, Nosrati & Mezbani, 2013). سیل به دلیل شکست مسیرهای طبیعی و سیستم‌های زهکشی در نگهداری آب اضافی در طول بارندگی زیاد و بلافاصله پس از آن ایجاد می‌شود (Gacu, Monjardin, Senoro & Tan, 2022). سیل از جمله مخاطرات طبیعی فاجعه‌باری است که می‌تواند باعث خسارات اقتصادی هنگفت، آسیب به زیرساخت‌ها و اکوسیستم‌های طبیعی و همچنین مرگ شود (Xiong et al., 2022).

امروزه چندین روش برای شناسایی پهنه‌های سیل خیز و آسیب پذیر وجود دارد، که از جمله این روش‌ها می‌توان به رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره بر پایه روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی (FL)^۲ اشاره نمود (Malik et al., 2022). روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی به طور گسترده توسط بسیاری از پژوهشگران برای پرداختن به مسائل مختلف تصمیم‌گیری در زمینه‌های مختلف استفاده شده است (Saucedo, Salais, Aguilar & Marmolejo-Sa, 2024). روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک رویکرد تصمیم‌گیری چند هدفه و چند معیاره است که کاربر را قادر می‌سازد تا به مقیاسی از اولویت‌های برگرفته از مجموعه‌ای از گزینه‌ها برسد و برای کاهش تصمیمات پیچیده به مجموعه‌ای از مقایسه‌های زوجی و سپس ترکیب نتایج مفید است، علاوه بر این، جهت‌گیری در فرآیند تصمیم‌گیری را می‌توان به طور موثر از طریق این تکنیک حذف کرد زیرا سازگاری نتیجه را ارزیابی می‌کند (Arulbalaji, Padmalal & Sreelash, 2019). روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند به طور موثر در مطالعات مقیاس منطقه ای و محلی با دقت بهتر اعمال شود (Dano et al., 2019).

منطق فازی (FL) بر پایه نظریه مجموعه‌های فازی استوار است. در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر، یا عضو مجموعه هست یا نیست. در حقیقت عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک باینری تبعیت می‌کند. اما تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را بسط می‌دهد و عضویت درجه بندی شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی و نه کامل عضو یک مجموعه باشد، با توجه به اینکه پدیده‌هایی مانند سیلاب تحت تأثیرعامل بسیاری قرار دارند و این عوامل قطعی و صددرصدی نیستند، بنابراین بهتر است در مطالعه چنین پدیده‌هایی از مدل فازی استفاده شود (Mokhtari Hashi & Rahimi, 2016). از این

1 Analytical Hierarchy Process

2 Fuzzy Logic

جهت در این پژوهش از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای شناسایی پهنه های آسیب پذیر سیل و سپس تحلیل آسیب پذیری زیرساخت های روبنایی شهر خرم آباد درمواجهه با سیل استفاده می شود، تاکنون مطالعات متعددی در زمینه کاربرد روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای شناسایی محدوده های مستعد سیل پذیری انجام شده است که ازجمله این پژوهش ها می توان به پژوهش های زیر اشاره کرد:

صالحی و همکاران ([Salehi, Rafi, Farzadbehtash & Agha Babaei, 2013](#)) طی پژوهشی به پهنه بندی خطر سیلاب شهری در شهر تهران با استفاده از نرم افزار GIS^۱ و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پرداختند. این پژوهش با استفاده از ۵ معیار فاصله از شبکه زهکشی، تجمع جریان، شیب، ارتفاع و کاربری اراضی انجام گرفت، در نهایت نقشه خطر نهایی با اعمال وزن های معیارها و طبقه های آن ها به دست آمد. در پژوهشی اسماعیلی و همکاران ([Esmaili Alavijeh, Karimi & Alavipoor, 2016](#)) به ارزیابی آسیب پذیری منطقه ۲۲ تهران در برابر سیل پرداختند و از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی از معیارهای شیب، خاک، فاصله از رود، زمین شناسی، ارتفاع، کاربری اراضی و جمعیت استفاده گردید. پس از وزن دهی، معیارهای آسیب پذیری در محیط Arc Gis فازی سازی شدند و در نهایت از عملگرهای فازی برای همپوشانی لایه ها استفاده شد.

در پژوهشی آذر مهر و خوش نیت ([Azarmehr & khosh niyat, 2021](#)) به ارزیابی آسیب پذیری منطقه ۶ در برابر سیل با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. در این پژوهش معیارهای مورد بررسی، شامل شیب، ارتفاع، پوشش گیاهی، کاربری و کانال ها و مسیل های موجود می باشد. نتایج حاصل از تحلیل سلسله مراتبی نشان می دهد که کاربری اراضی با وزن ۰/۳۲۶ و پوشش گیاهی با وزن ۰/۰۷۵ به ترتیب بیشترین و کمترین تاثیر در میزان آسیب پذیری در حوضه منطقه ۶ شهر تهران هستند. در پژوهشی وجدانی نوذر و گیوه چی ([Vejdani Nozar & Givchchi, 2022](#)) به ارائه مدل ارزیابی خطر سیل در استان همدان به منظور رده بندی آسیب پذیری و پیامدهای محتمل در مراکز جمعیتی پرداختند در این پژوهش با پیاده سازی و ترکیب لایه های استاندارد پارامترهای تأثیرگذار از طریق AHP فازی و لایه خطر سیل که از طریق ماتریس استاندارد شده نظرات کارشناسان در نرم افزار GIS به دست آمده، نقشه خطر سیل تهیه و سپس مراکز جمعیتی (شهرها) طبقه بندی شدند و شهر همدان در پهنه ریسک نسبی زیاد تا خیلی زیاد قرار گرفت. در مطالعه ای یانگ و همکاران ([Yang, Ding & Hou, 2013](#)) به کاربرد روش AHP فازی برای ارزیابی خطر سیل با استفاده از مدل ترکیبی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پرداختند. این روش شامل ارزیابی و پیش بینی خطر سیل برای به دست آوردن رتبه بندی عوامل خطر و پیش بینی جامع خطر سیل و سپس تجزیه و تحلیل اقدامات واکنش به خطر سیل است.

اکمکی گلو و همکاران ([Ekmekcioglu, Koc & Ozger, 2021](#)) در مطالعه ای به ارزیابی خطر در استانبول با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی که شامل سیزده معیار آسیب پذیری سیل و خطر است پرداختند. برای به دست آوردن وزن معیارها، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی اتخاذ شد. در بین تمامی

معیارها، کاربری زمین و دوره بازگشت به ترتیب مهم‌ترین معیارهای آسیب‌پذیری و خوشه‌های خطر بودند. وزن معیارهای محاسبه شده از طریق روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی با داده‌های گرفته شده از سازمان‌های مختلف با توجه به هر منطقه برای محاسبه امتیاز خطر نواحی ادغام شد. در نتیجه، امتیازات خطر منطقه برای تهیه نقشه خطر سیل استانبول استفاده شد (Dutta & Deka, 2024). در مطالعه‌ای به ارزیابی خطر سیل با مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تجزیه و تحلیل حساسیت در دشت سیلابی براهماپوترا پرداختند، در این پژوهش ۱۶ پارامتر در نظر گرفته شد که با مدل فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر (MCDM-AHP)^۱ برای شناسایی مناطق بالقوه خطر سیل استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش از ۲۸ درصد از مساحت کل منطقه در خطر سیل زیاد تا بسیار زیاد قرار دارد.

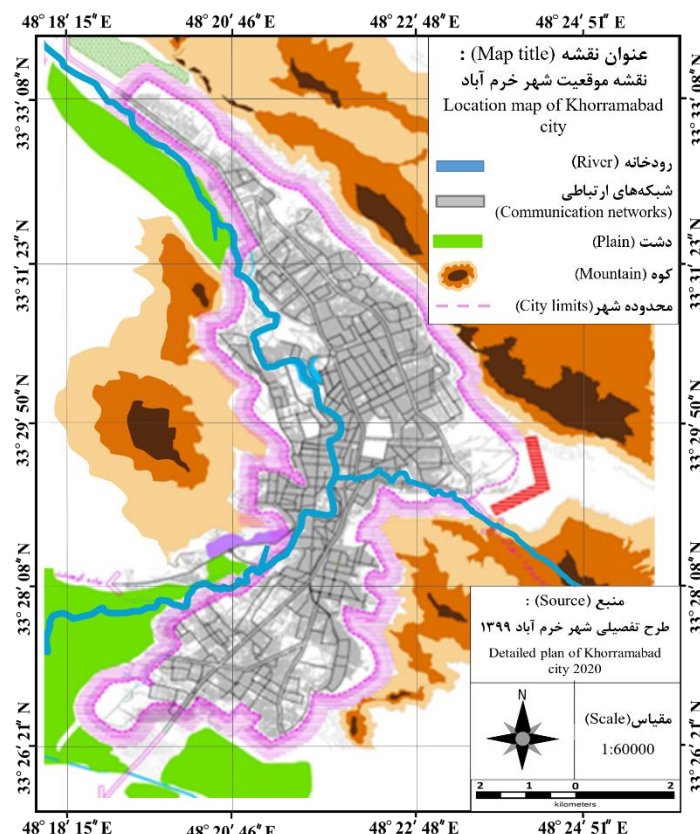
شهر خرم‌آباد در طول سال‌های وقوع سیل (۱۳۵۵ تا ۱۳۸۴) ۱۲ بار سیل رخ داده (Rezaei Rashno & Haghzad, 2015) و یکی از بزرگترین سیلاب‌های استان لرستان سیل سال ۱۳۹۸ می‌باشد، که برآورد اولیه خسارت سیل در استان لرستان بیش از ۱۵ هزار میلیارد ریال است و همچنین ۱۵ نفر بر اثر سیل جان خود را از دست دادند و حدود ۲۵۶ نفر نیز مصدوم شدند و شهر خرم‌آباد سهم عظیمی از این خسارات و تلفات را داشت (Iranian Red Crescent Society, 2019). با در نظر گرفتن تجارب و سیل خیزی شهر خرم‌آباد و علی‌رغم مطالعات فراوان انجام شده در زمینه سیلاب مناطق و شهرها، تاکنون پژوهشی به تحلیل آسیب‌پذیری زیرساخت‌های روبنایی شهر که در حوزه شهری بسیار مهم هستند، نپرداخته است، بنابراین پژوهش حاضر با هدف تحلیل میزان آسیب‌پذیری زیرساخت‌های روبنایی شهر خرم‌آباد در برابر سیل و سپس تشریح کاربرد روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی در زمینه مخاطرات و بحران‌ها در راستای کاهش آسیب‌پذیری‌ها، انجام شده است.

منطقه مورد مطالعه

شهر خرم‌آباد در جنوب غربی کشور و به طول ۱۵ و عرض ۱۲ کیلومتر، مرکز استان لرستان، با موقعیت هندسی به طول ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی در ارتفاع ۱۱۷۱ متری از سطح دریا قرار دارد. شکل ۱ موقعیت شهر خرم‌آباد را نشان می‌دهد.

خرم‌آباد شهری کوهستانی و دره‌ای است؛ شهر در دو طرف بستر رودخانه خرم رود ساخته شده که زمین‌های هموار آن چندان وسعت ندارند. افزایش جمعیت شهر به هر علت موجب گسترش فیزیکی شهر شده تا جایی که پس از به کارگیری زمین‌های هموار کنار رودخانه شهر به سوی زمین‌های ناهموار و کم‌ارتفاع و خاکریزهای پای کوه هدایت گردیده و از این امر ناگزیر بوده است. بخش شمالی شهر چهره‌ی کوهستانی و ناهموار، و بخش جنوبی شهر چشم‌اندازی جلگه‌ای و هموار دارد. کالبد فیزیکی شهر متأثر و تابعی از طبیعت آن است. شهر خرم‌آباد دارای محدودیت فضا و زمین بوده، بافتی متراکم و متمرکز دارد. شهر خرم‌آباد، چندین بافت فرسوده و ناکارآمد دارد که تشدید کننده آسیب‌پذیری هستند همچنین وجود دو رودخانه (خرم

رود و کرگانه) و چندین چشمه، چاه و قنات که سبب آب دهی بالای رودخانه‌ها شده، زمینه را برای سیل پذیری شهر خرم آباد فراهم می‌کند (Khorramabad city compersive plan, 2020). طبق آخرین سرشماری سال ۱۳۹۵ شهر خرم آباد ۳۷۳۴۱۶ نفر جمعیت دارد (General Population and Housing Census, 2016).



شکل ۱- موقعیت شهر خرم آباد

Fig .1. Location of Khorramabad city

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی می‌باشد، گردآوری داده‌ها از دو روش کتابخانه‌ای (کتاب‌ها، مقالات، مطالعه اسناد بالادست، اطلاعات طرح جامع و طرح تفصیلی ۱۳۹۹ شهر خرم آباد، اطلاعات هواشناسی و سازمان زمین‌شناسی کشور و اداره منابع طبیعی) و روش میدانی شامل (پرسشنامه و مشاهده) می‌باشد. در پهنه‌های آسیب‌پذیری سیل، معیارهای مختلفی دخالت دارند، که با مطالعات کتابخانه‌ای و با مراجعه به کارشناسان مربوطه در حوزه‌های شهرسازی، برنامه ریزی شهری، عمران و مخاطرات طبیعی، معیارهای موثر در آسیب‌پذیری سیل با توجه به موقعیت و خصوصیات شهر خرم آباد انتخاب شدند که این معیارها شامل ۲ معیار اصلی (معیارهای کالبدی و طبیعی) و ۱۲ زیر معیار (بافت فرسوده، تراکم جمعیت، شبکه معابر،

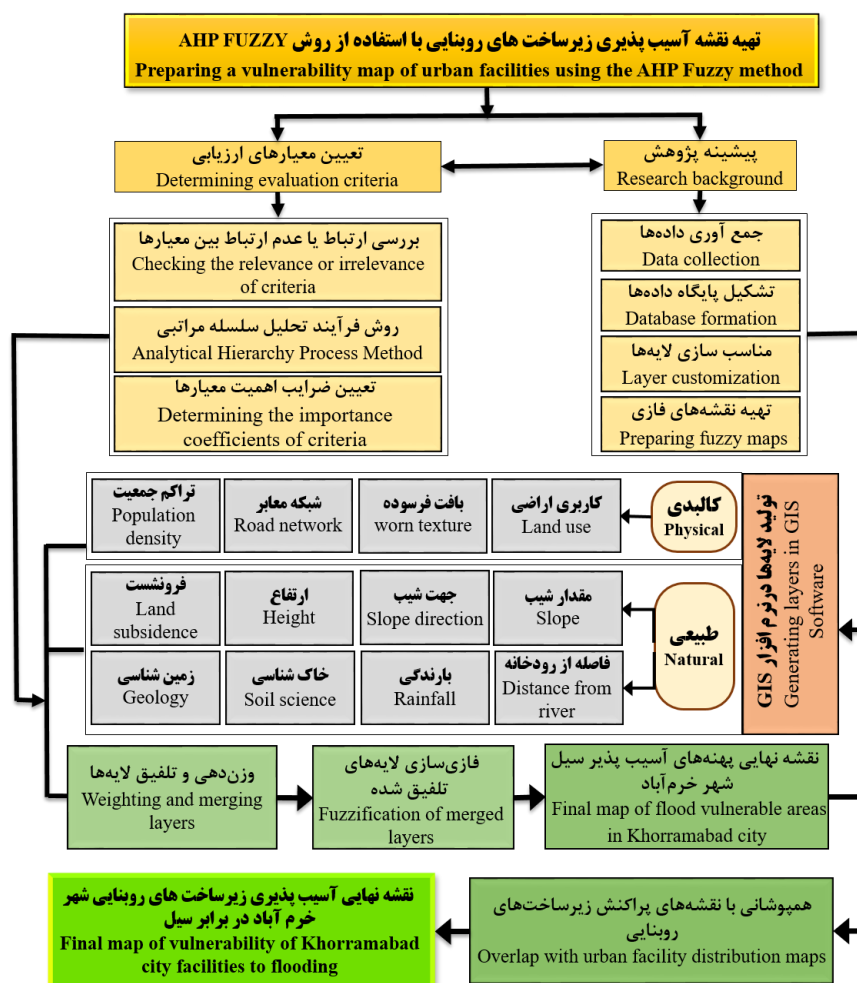
کاربری، ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین شناسی، فاصله از رودخانه، خاک شناسی، فرونشست و میزان بارندگی) می باشند.

پس از مشخص شدن معیارها توسط کارشناسان، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد این روش یکی از جامع ترین روش های طراحی شده برای تصمیم گیری با معیارهای چند گانه است (Ghodsipour, 2019). این روش امکان فرموله کردن مساله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مساله دارد. این روش بر مبنای سه گام اساسی : ۱- ایجاد ماتریس مقایسه زوجی ۲- محاسبه وزن معیارها و ۳- برآورد نسبت سازگاری می باشد (Zebardast, 2011). مطابق این روش، ماتریس زوجی که شامل پرسشنامه ای با ۳۴ سوال می باشد تهیه و تحویل ۲۵ نفر از کارشناسان مربوطه داده شد، که این سوالات درواقع مقایسه زوجی (دو به دویی) معیارها می باشند، به هرکدام از معیارها نسبت به دیگری براساس درجه اهمیت (ارزش) می توان عدد ۹ تا ۱ داده شد. پس از تکمیل ماتریس ها و اولویت بندی معیارها توسط کارشناسان، ماتریس های زوجی وارد نرم افزار Expert Choice شدند. در نتیجه وزن نسبی هریک از معیارها به دست آمد که این وزن ها، داده های اصلی برای تحلیل ارزیابی چندمعیاره و تعیین معیارهای پراهمیت در محیط GIS برای تهیه نقشه پهنه های آسیب پذیر سیل هستند. نرم افزار اکسپرت چویس^۱ نرم افزاری برای انجام روش تحلیل سلسله مراتبی و مقایسات زوجی می باشد پایه ای این روش برای وزن دهی به تصمیمات با استفاده از روش مقایسه زوجی است اما چون به مرور تعداد عناصر برای بررسی افزایش می یابد و کار مقایسه زوجی را دشوار می کند؛ بنابراین به یک نرم افزار برای انجام فرآیند سلسله مراتبی نیاز است از نرم افزار اکسپرت چویس استفاده می شود (Aghaei & Maziar, 2007). یکی از کاربردهای روش منطق فازی^۲ استاندارد سازی (فازی سازی) معیارها، درمواقعی که واحدهای اندازه گیری دامنه های متفاوت داشته باشند را با دامنه های همسانی ۰ تا ۱ استاندارد سازی می کنند (Ziari, Rajai & Darabkhani, 2020).

در پژوهش حاضر از روش تحلیل سلسله مراتبی برای وزن دهی به معیارها و تعیین معیارهای در اولویت (پراهمیت) و استاندارد سازی با روش منطق فازی، استفاده شد و پس از تهیه نقشه های وزن دهی شده معیارها (لایه ها) با تلفیق نقشه های لایه های وزن دهی شده از طریق نرم افزار Arc Gis، توسط عملگر فازی SUM، نقشه ی پهنه های آسیب پذیر، در ۵ طبقه آسیب پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد مشخص شد. و با همپوشانی نقشه ی پراکنش هر زیرساخت با نقشه ی پهنه بندی آسیب پذیری سیل می توان کلیه زیرساخت های روبنایی را مورد بررسی برای میزان آسیب پذیری سیل قرار داد.

1 Expert choice

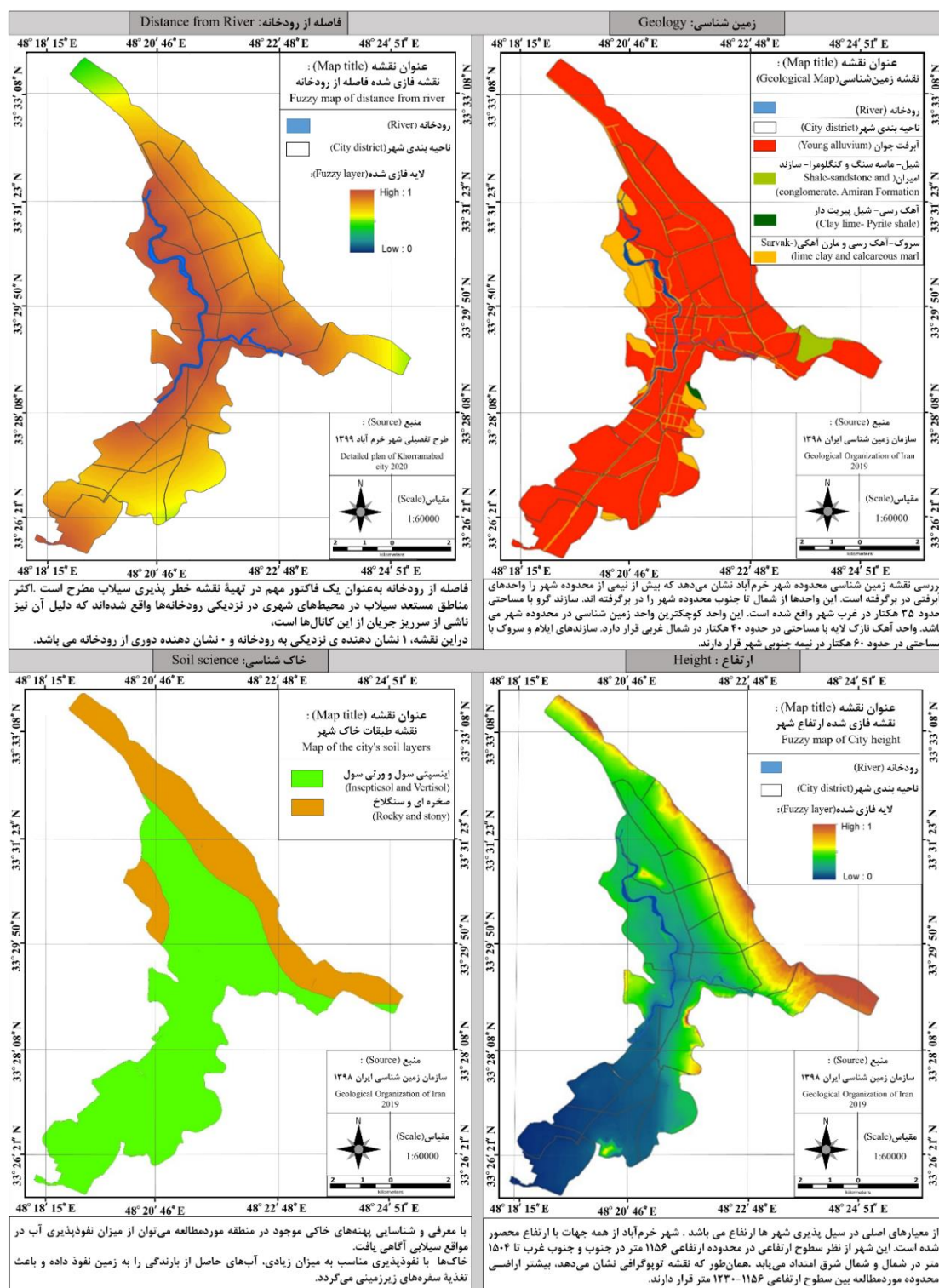
2 Fuzzy logic



شکل ۲- مدل مفهومی مراحل انجام پژوهش

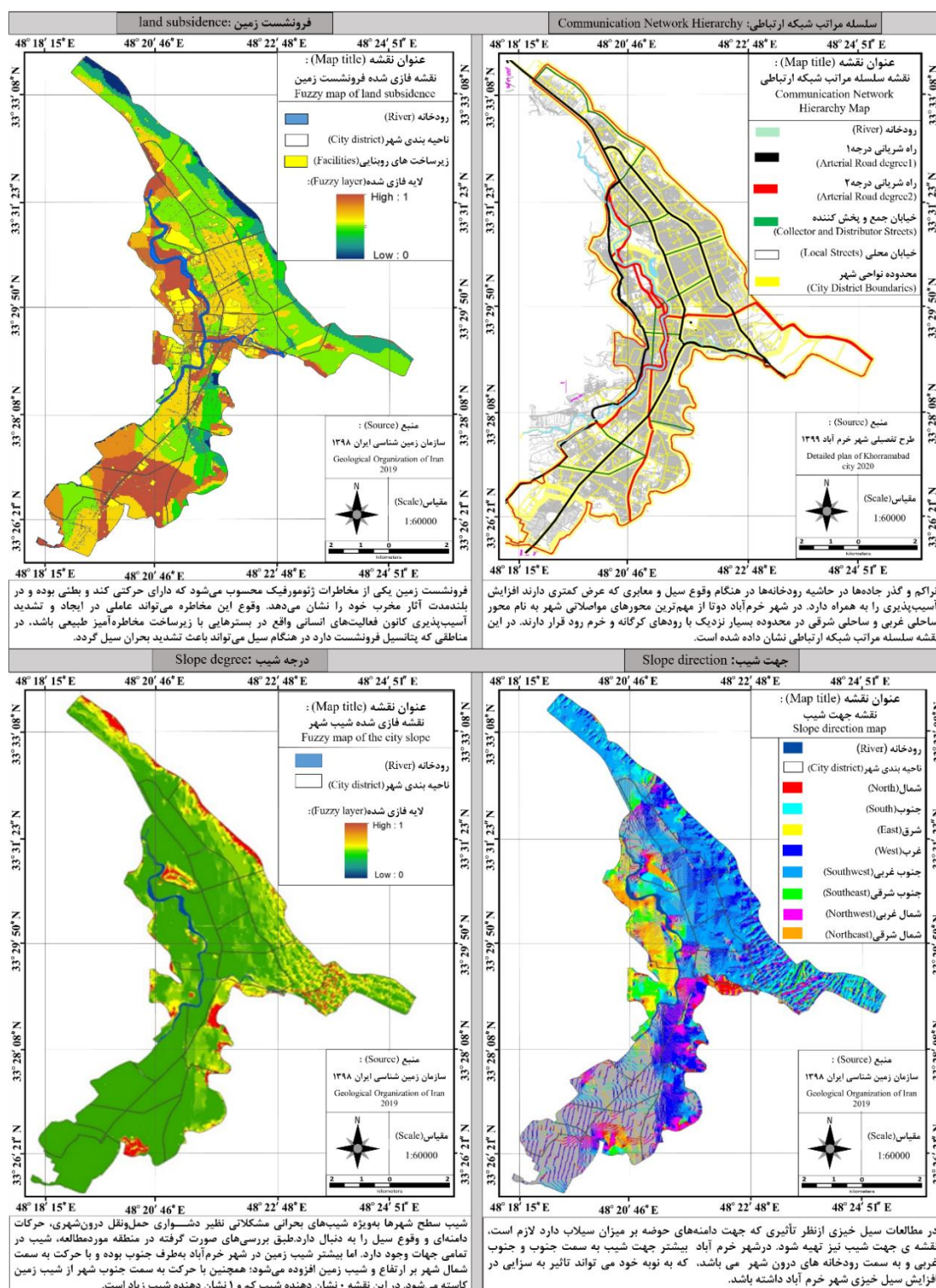
Fig. 2. Conceptual model of research stages

در شکل ۲، روند انجام پژوهش ترسیم شده است و مطابق شکل، این پژوهش از ۲ معیار که شامل ۱۲ زیرمعیار می‌باشد، برای تهیه نقشه پهنه بندی آسیب پذیری سیل استفاده شده است. ابتدا تمامی نقشه‌های لایه‌ها تهیه و تا حد امکان فازی سازی شده‌اند. منابع مربوطه جهت اخذ نقشه‌ها و داده‌های نقشه‌ها شامل سازمان زمین شناسی کشور سال ۱۳۹۸، پایگاه داده‌های جغرافیایی (ژئو دیتا) سال ۱۳۹۸، طرح تفصیلی ۱۳۹۹ شهر خرم آباد می‌باشد.



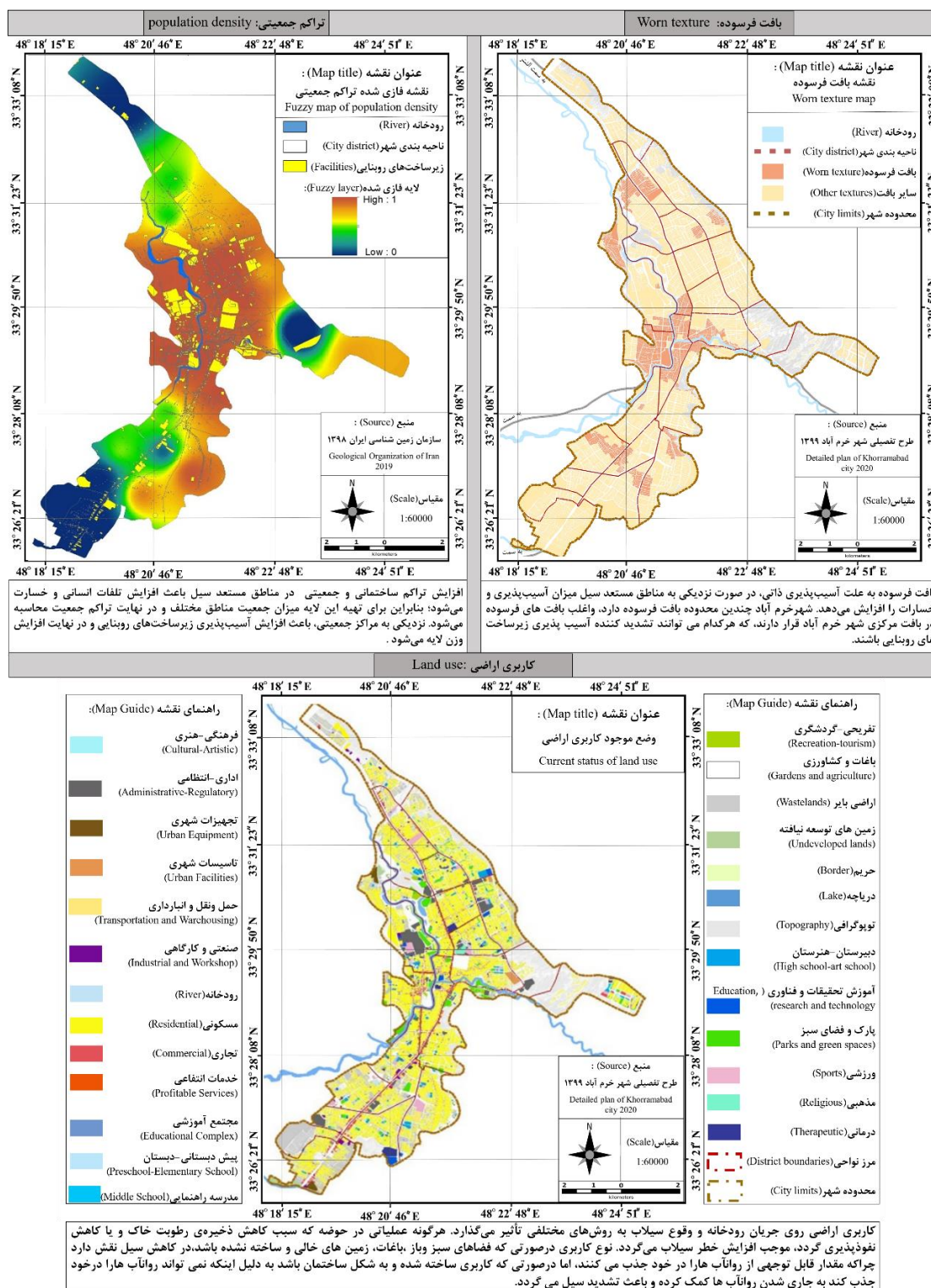
شکل ۳- نقشه های لایه های موثر در سبیل پذیری شهر خرم آباد

Fig. 3. Maps of effective layers in flood susceptibility of Khorramabad city



شکل ۴- نقشه‌های لایه‌های موثر در سیل پذیری شهر خرم‌آباد

Fig.4. Maps of effective layers in flood susceptibility of Khorramabad city



شکل ۵- نقشه های لایه های موثر در سیل پذیری شهر خرم آباد

Fig. 5. Maps of effective layers in flood susceptibility of Khorramabad city

در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نقشه‌های هرکدام از معیارهای مورد بررسی تهیه شد در کادر پایین هر نقشه، توضیحاتی در خصوص تاثیر آن معیار بر آسیب پذیری سیل و ویژگی‌های آن معیار در شهر خرم آباد داده شده است. مقیاس کلیه نقشه‌ها ۱:۶۰۰۰ می‌باشد. لازم به ذکر است که لایه‌ی بارش به دلیل وسعت کم شهر خرم آباد و یکسانی بارش در تمام محدوده شهر خرم آباد از تهیه نقشه‌ی آن صرف نظر شده و وزن آن که بیشترین وزن را در بین معیارهای طبیعی دارد در تهیه نقشه نهایی آسیب پذیری استفاده شده است.

بحث و نتایج

پس از تهیه نقشه‌های لایه‌های اطلاعاتی، پرسشنامه‌ها بین کارشناسان توزیع شد که در این پرسشنامه مقایسه دو به دوی معیارها براساس ارزش (اهمیت) در طیف اعدادی بین ۱ تا ۹ انجام گرفته است و در نهایت، پس از تکمیل پرسشنامه، ماتریسی در نرم افزار Expert Choice تهیه شد و جمع بندی نظرات کارشناسان (نتیجه مقایسه زوجی معیارها)، به آن ماتریس اضافه شد. و خروجی تحلیل نرم افزار Expert Choice وزن نسبی هر معیار را نشان می‌دهد و مطابق روش تحلیل سلسله مراتبی هرچقدر وزن معیار بیشتر باشد نشان دهنده گزینه برتر و ارزش بالای آن معیار می‌باشد و بالعکس.

جدول ۱- مقایسه زوجی معیارهای کالبدی مورد ارزیابی (منبع: خروجی نرم افزار Expert Choice11)

Table 1-Pairwise comparison of physical criteria being evaluated (Source: Expert Choice11 software output)

		Population	Land use	Road Netw	Worn Textu
Population Density	تراکم جمعیتی		1/0	2/0	3/0
Land use	کاربری			1/0	2/0
Road Network	شبکه ارتباطی				1/0
Worn Texture	بافت فرسوده	Incon: 0/03			

جدول ۲- مقایسه زوجی معیارهای طبیعی مورد ارزیابی (منبع: خروجی نرم افزار Expert Choice11)

Table 2-Pairwise comparison of natural criteria being evaluated (Source: Expert Choice11 software output)

	Rain	Distance from River	Height	Slope	Direction of Slope	Geology	Land Subsidence	Soil Science
Rain	بارندگی		2/0	3/0	5/0	6/0	6/0	7/0
Distance from River	فاصله از رودخانه			2/0	4/0	5/0	5/0	6/0
Height	ارتفاع				3/0	3/0	4/0	5/0
Slope	شیب					3/0	3/0	4/0
Direction of Slope	جهت شیب						3/0	2/0
Geology	زمین شناسی							2/0
Land Subsidence	فرونشست زمین							2/0
Soil Science	خاک شناسی	Incon: 0/05						

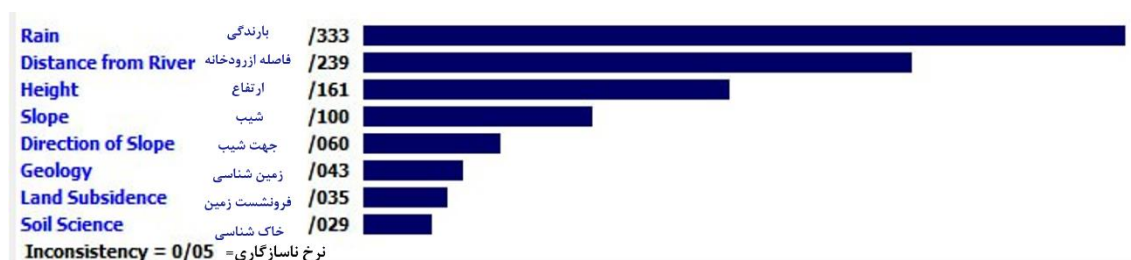
جدول‌های ۱ و ۲، نشان دهنده ماتریس‌های ارزش گذاری معیارها و مقایسه دویه دویی معیارها می‌باشد. که جمع بندی نظرات کارشناسان می باشد. پس از امتیازدهی به معیارها در نرم افزار Expert Choice، وزن نهایی معیارها مشخص شد.



شکل ۶- نمودار وزن نسبی معیارهای کالبدی مؤثر در وقوع سیلاب

(منبع: خروجی نرم افزار Expert Choice11)

Fig. 1. Relative weight chart of physical criteria affecting flood occurrence
(Source: Expert Choice11 software output)



شکل ۷- نمودار وزن نسبی معیارهای طبیعی مؤثر در وقوع سیلاب

(منبع: خروجی نرم افزار Expert Choice11)

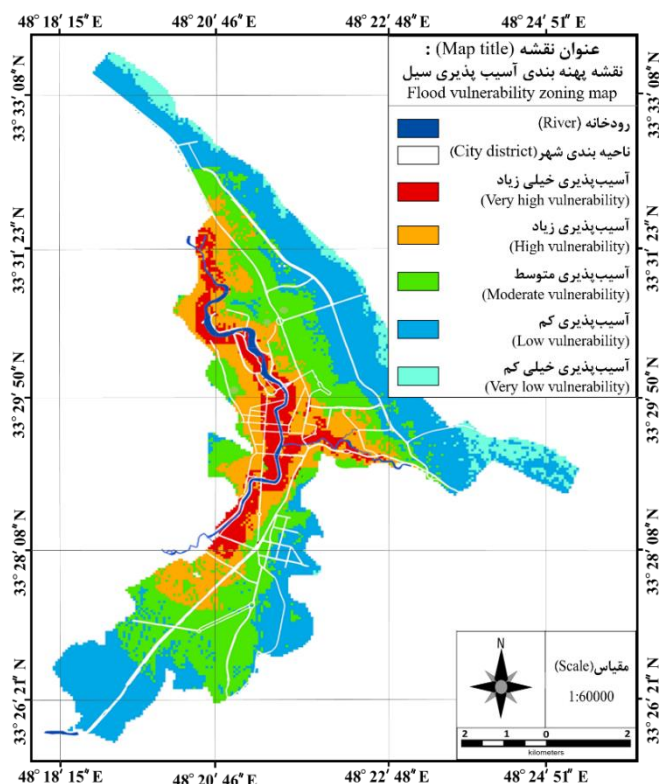
Fig.7. Relative weight chart of natural criteria affecting flood occurrence
(Source: Expert Choice11 software output)

با توجه به خروجی‌های نرم افزار Expert Choice (شکل ۶ و ۷) وزن نسبی معیارها به دست آمد که معیارهای تراکم جمعیتی، بارندگی، کاربری و فاصله از رودخانه از اهمیت (ارزش) بیشتر نسبت به سایر معیارها برخوردار هستند و در مرحله همپوشانی لایه‌ها هم، وزن بیشتری به این معیارها داده می‌شود. نرخ ناسازگاری تحلیل‌های انجام شده ۰/۰۳ و ۰/۰۵ می باشد که مقدار آن کمتر از ۰/۱ می باشد، و نشان‌دهنده اعتبار و صحت مقایسه‌های انجام شده است (Zebardast, 2011).

هم پوشانی لایه‌ها و تهیه نقشه نهایی پهنه‌های سیل خیز و آسیب پذیر

سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) طیف گسترده ای از امکانات تحلیل فضایی، تحلیل ناحیه ای و تحلیل شبکه را بر روی لایه های موضوعی مختلف فراهم کرده است؛ اما اغلب به منظور رسیدن به پارامترهای مورد نیاز که بر اساس آن تصمیم گیری صورت می گیرد، ضروریست که تحلیل فضایی یا سایر محاسبات با مدل‌های خارجی ارتباط یابد. بدین منظور در این تحقیق از مدل ترکیبی (AHP Fuzzy) و با تلفیق لایه‌های

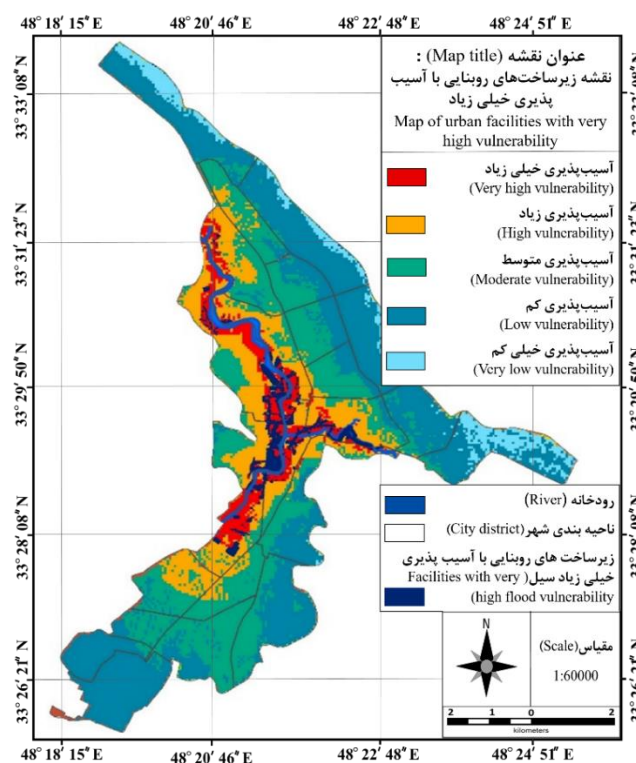
وزن دهی شده در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) توسط عملگر فازی SUM فرآیند همپوشانی وزنی لایه‌ها صورت گرفت نقشه پهنه بندی نهایی محدوده سیل خیزی از کمترین تا بیشترین میزان آسیب پذیری مشخص شد.



شکل ۸- نقشه پهنه بندی آسیب پذیری سیل
Fig.8. Flood vulnerability zoning map

پس از همپوشانی نقشه ۱۲ لایه (معیار) نقشه پهنه بندی آسیب پذیری و سیل خیزی شهر خرم آباد شکل به دست آمد (شکل ۸). پهنه بندی سیل یکی از بهترین روش ها برای برنامه ریزی و شناسایی مناطق حساس سیل با هدف کاهش خسارات سیل می باشد (Rad, Vafakhah & Gholamali Fard, 2018). از کاربرد نقشه های پهنه بندی می توان به تعیین بستر و حریم رودخانه ها، مطالعه و توجیه اقتصادی طرح های عمرانی، پیش بینی و هشدار سیل، عملیات امداد و نجات، بیمه سیل و به ویژه برنامه ریزی شهر جهت کاهش آسیب پذیری اشاره نمود (Sheikh Alishahi, Jamali & Hassanzadeh Nafouti, 2016). یکی از کاربردهای مهم نقشه های پهنه بندی سیل، تحلیل آسیب پذیری زیرساخت های شهری می باشد، بدین منظور پژوهش حاضر پس از تهیه نقشه ی پهنه سیل خیز و آسیب پذیر با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی به تحلیل آسیب پذیری زیرساخت های روبنایی شهر خرم آباد در برابر سیل که شامل ۱۲ کاربری (فضای سبز، اداری، آموزشی، تجاری، ورزشی، نظامی، تفریحی- گردشگری، بهداشتی- درمانی،

مذهبی، صنعتی، فرهنگی، تاریخی) می باشد پرداخته است. با همپوشانی نقشه های پراکنش زیرساخت های روبنایی با نقشه ی پهنه بندی شده سیل، نقشه ی آسیب پذیری زیرساخت های روبنایی شهر خرم آباد در برابر سیل با ۵ سطح آسیب پذیری به دست آمد.



شکل ۹- نقشه ی زیرساخت های روبنایی در معرض خطر سیل
Fig.9. Map of urban facilities with very high vulnerability

با تلفیق نقشه ها و تحلیل های انجام شده، میزان آسیب پذیری زیرساخت های روبنایی بر اساس مساحت و درصد در ۵ سطح آسیب پذیری، از آسیب پذیری خیلی کم تا آسیب پذیری خیلی زیاد به دست آمد (جدول ۳) و نقشه زیرساخت های روبنایی با آسیب پذیری خیلی زیاد تهیه گردید (شکل ۹).

جدول ۳- میزان آسیب پذیری کل زیرساخت ها

Table 3-The vulnerability of the entire facility

ردیف	میزان آسیب پذیری	مساحت (مترمربع)	درصد
Row	Vulnerability level	Area (m ²)	Percent
۱	آسیب پذیری خیلی زیاد Very high vulnerability	484916	9/66%
۲	آسیب پذیری زیاد High vulnerability	1431074/44	28/51%
۳	آسیب پذیری متوسط Moderate vulnerability	1755639	34/98%
۴	آسیب پذیری کم Low vulnerability	1211475/50	24/13%
۵	آسیب پذیری خیلی کم Very low vulnerability	135633/50	2/70%

جدول ۳ نشان می دهد که ۹/۶۶٪ و ۲۸/۵۱٪ از زیرساخت های روبنایی در پهنه ی آسیب پذیری خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته اند و در مجموع ۳۸/۱۷٪ از زیرساخت های روبنایی در معرض آسیب پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار دارند.

جدول ۴- میزان آسیب پذیری به تفکیک هر زیرساخت

Table 4-The level of vulnerability of each facility

ردیف	نوع کاربری	مساحت (مترمربع)	درصد
Row	User type	Area (m ²)	Percent
۱	اداری Administrative	756294/44	39/47%
۲	تجاری Commercial	245043	12/78%
۳	آموزشی Educational	225770	11/78%
۴	فضای سبز Green space	192401	10/04%
۵	انتظامی Military	181044	9/44%
۶	ورزشی Sports	87103	4/54%
۷	تاریخی Historical	70449	3/67%
۸	صنعتی Industrial	66355	3/46%
۹	بهداشتی درمانی Healthcare-Medicine	37459	1/95%
۱۰	تفریحی گردشگری Recreational-Tourism	30500	1/59%
۱۱	مذهبی Religious	16243	0/84%
۱۲	فرهنگی Cultural	7329	0/38%

با استفاده از درصد و مساحت کل زیرساخت های روبنایی در معرض آسیب پذیری سیل (جدول ۳) و با در نظر گرفتن مساحت هر زیرساخت، میزان آسیب پذیری هر زیرساخت به تفکیک محاسبه شد. براساس جدول ۴ می توان نتیجه گرفت که کاربریهای اداری، تجاری و آموزشی با ۳۹/۴۷٪، ۱۲/۷۸٪ و ۱۱/۷۸٪

بیشترین آسیب‌پذیری و همین‌طور کاربری‌های مذهبی و فرهنگی به ترتیب با ۰/۸۴٪ و ۰/۳۸٪ کمترین حد از آسیب‌پذیری را نسبت به سایر کاربری‌ها در برابر سیل دارند، که لازم است توجه ویژه‌ای به زیرساخت‌ها در جهت به حداقل رساندن آسیب‌پذیری‌ها شود.

نتیجه‌گیری

سیل یکی از رایج‌ترین انواع بلایای طبیعی و یک تهدید جدی زیست محیطی برای مناطق شهری در سراسر جهان است، اثرات بالقوه سیل، مانند تلفات انسانی، آسیب‌های زیرساختی و مشکلات اقتصادی نشان می‌دهد که لازم است مناطق شهری اقدامات پیشگیرانه را برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر چنین بلایایی و محافظت از ساکنان خود انجام دهند ([Birkmann, Welle, Solecki, Lwasa & Garschagen, 2016](#)). شناسایی مناطق مستعد سیل به منظور جابجایی جوامع و زیرساخت‌ها یکی از استراتژی‌های بالقوه کارشناسان شهری است ([Dottori, Mentaschi, Bianchi, Alfieri & Feven, 2023](#)). شهر خرم‌آباد به دلیل موقعیت دره‌ای بودن شهر، بارش‌های فراوان، وجود دو رودخانه خرم‌رود و کرگانه در شهر، دستکاری در حریم و بستر رودخانه‌ها و وجود زیرساخت‌ها در حریم رودخانه، از شهرهای مستعد آسیب‌پذیری سیل است. بدین منظور در این مقاله به تحلیل آسیب‌پذیری زیرساخت‌های روبنایی شهر خرم‌آباد در برابر سیل و سپس به تشریح کاربرد روش ترکیبی فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل فازی پرداخته شد. در این راستا، ۱۲ معیار شامل: بافت فرسوده، تراکم جمعیت، شبکه معابر، کاربری، ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، خاک‌شناسی، فرونشست زمین و میزان بارندگی در این پژوهش بکارگیری شد و مطابق روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، مقایسه زوجی بین این معیارها انجام و وزن دهی شدند سپس نقشه‌های این معیارها با استفاده از مدل منطق فازی استانداردسازی شدند و همپوشانی نقشه‌های لایه اطلاعاتی معیارها، در نرم‌افزار Arc Gis نقشه پهنه‌بندی شده سیل خیزی تهیه شد که با همپوشانی نقشه پهنه‌بندی شده با نقشه‌ی پراکنش زیرساخت‌های روبنایی، نقشه نهایی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های روبنایی شهر خرم‌آباد تهیه گردید. نتایج تحلیل‌های انجام شده حاکی از ۳۸/۱۷٪ از زیرساخت‌های روبنایی در معرض آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد می‌باشد و کاربری‌های اداری، تجاری، آموزشی با ۳۹/۴۷٪، ۱۲/۷۸٪ و ۱۱/۷۸٪ بیشترین آسیب‌پذیری و همین‌طور کاربری‌های مذهبی و فرهنگی به ترتیب با ۰/۸۴٪ و ۰/۳۸٪ کمترین حد از آسیب‌پذیری را نسبت به بقیه کاربری‌ها در برابر سیل دارند. در راستای کاهش آسیب‌پذیری‌ها به ویژه کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در برابر سیل می‌توان پیشنهادهایی از جمله: ارتقاء کیفیت کالبدی زیرساخت‌ها و ساختمان‌ها و استفاده از مصالح جدید سبک و مقاوم در برابر سیلابی، ساماندهی و ارتقاء کیفیت بستر و حریم رودخانه‌ها و وضعیت زهکشی‌ها و رواناب‌ها و درنهایت استفاده از فناوری‌های هوشمند، پیشرفته و هوش مصنوعی جهت پیش‌بینی و هشدار سیل در جهت کاهش آسیب‌پذیری‌ها ارائه داد.

در نهایت برای تحقق اهداف پژوهش در راستای تشریح کاربرد روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، می‌توان به دیگر کاربردهای این روش در جهت کاهش آسیب‌پذیری‌ها به مواردی از جمله: شناسایی پهنه‌ها و

مناطق مستعد آسیب پذیری بحران‌ها، مکانیابی صحیح خدمات اضطراری جهت خدمات رسانی در زمان بحران، شناسایی و تحلیل گره‌های ترافیکی در مواقع بحرانی و مسیریابی صحیح به منظور گریز افراد از بحران و خدمات رسانی سریع به مردم، شناسایی وارزیابی بافت‌های فرسوده و آسیب پذیر در زمان بحران‌ها مکانیابی و شناسایی محل اسکان موقت، پارکینگ‌ها و پناهگاه‌های امن در زمان وقوع بحران‌ها و درنهایت به مکانیابی صحیح زیرساخت‌های شهری و مناطق مسکونی در جهت کاهش آسیب‌پذیری‌ها اشاره نمود.

در پژوهش‌های پیشین در مورد سیل شهر خرم‌آباد مانند پژوهش حیدرزاده و همکاران (Heidarizadeh, Rahimi, Zahrakar & Jodaki, 2019) فقط به بررسی علت حادثه سیل شهر خرم‌آباد پرداخته است. راد و همکاران (Rad et al., 2018) در پژوهشی به پهنه بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS به بررسی حوزه آبخیز خرم‌آباد پرداختند که به طور کلی شهر و روستاها، زمین‌های کشاورزی و جاده‌ها را مورد بررسی قرار دادند و همچنین شرفی (Sharafi, 2022) در پژوهش خود به بررسی نقش سیلاب‌ها در تغییر بستر رودخانه‌ها و تأثیر آن بر جوامع روستایی می‌پردازد. وجه تمایز پژوهش حاضر با سایر پژوهش‌های انجام شده در تحلیل آسیب پذیری زیرساخت‌های روبنایی شهر خرم‌آباد در برابر سیل می‌باشد که تاکنون پژوهش‌های انجام شده به بررسی زیرساخت‌های روبنایی نپرداخته‌اند چراکه موضوع زیرساخت‌ها در حوزه برنامه ریزی شهری موضوعی مهم به حساب می‌آید و تفاوت دیگر این پژوهش با سایر پژوهش‌های انجام شده، استفاده از روش ترکیبی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی می‌باشد و کاربردهای این روش در مخاطرات و بحران‌ها بیان گردید.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

از خانم دکتر مهین نسترن استاد راهنمای پایان نامه خود، به خاطر بازبینی متن مقاله و ارائه نظرهای ساختاری تشکر و قدردانی می‌کنم.

این مقاله برگرفته شده از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته برنامه‌ریزی شهری دانشگاه هنر اصفهان، با عنوان «سنجش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهری در مواجهه با بحران سیل با رویکرد مدیریت بحران» با نگارش نویسنده‌ی اول و به راهنمایی نویسنده‌ی دوم می‌باشد.

References

- Aghaei, S., & Maziar, M. (2007). Logical decision making using Expert Choice software. Arkan Danesh Publications. <https://arkan-danesh.com>
- Arulbalaji, P., Padmalal, D., & Sreelash, K. (2019). GIS and AHP Techniques Based Delineation of Groundwater Potential Zones: a case study from Southern Western Ghats,

- India. *Scientific Reports*, 9(1),2086, 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38567-x>
- Azarmehr, A., & khosh niyat, M. (2021). Flood Vulnerability Assessment Using Analytic Hierarchy Process (AHP). Case Study: District 6 of Tehran Municipality. *The 7th Annual International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development*. [In Persian] <https://civilica.com/doc/1373853/>
- Birkmann, J., Welle, T., Solecki, W., Lwasa, S., & Garschagen, M. (2016). Boost resilience of small and mid-sized cities. *Nature Journal*, 537(7622), 605-608. <https://doi.org/10.1038/537605a>
- Dano, U., Balogun, A.-L., Matori, A.-N., Yusouf, K., Abubakar, I., Said Mohamed, M., . . . Pradhan, B. (2019). Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based Analytic Network Process: A Case Study of Perlis, Malaysia. *Water Journal*, 11(3),615,. <https://doi.org/10.3390/w11030615>
- Dottori, F., Mentaschi, L., Bianchi, A., Alfieri, L., & Feyen, L. (2023). Cost-effective adaptation strategies to rising river flood risk in Europe. *Nature Climate Change*, 13(2), 196-202. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01540-0>
- Dutta, P., & Deka, S. (2024). A Novel Approach to Flood Risk Assessment: Synergizing with Geospatial based MCDM-AHP Model, Multicollinearity, and Sensitivity Analysis in the Lower Brahmaputra Floodplain, Assam. *Journal of Cleaner Production*, 467, 142985. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142985>
- Ekmekcioglu, O., Koc, K., & Ozger, M. (2021). District based flood risk assessment in Istanbul using fuzzy analytical hierarchy process. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 35(2), 617-637. <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01924-8>
- Esmaeili Alavijeh, E., Karimi, S., & Alavipoor, F. (2016). Vulnerability Assessment in Urban Areas against Flood with Fuzzy Logic (case study: Tehran District 22). *Environmental Science and Technology*, 22(3), 349-361. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/jest.2020.10940>
- Gacu, J., Monjardin, C., Senoro, D., & Tan, F. (2022). Flood Risk Assessment Using GIS-Based Analytical Hierarchy Process in the Municipality of Odiongan, Romblon, Philippines. *Natural-Hazards Risk Assessment for Disaster Mitigation*, 12(19), 9456. <https://doi.org/10.3390/app12199456>
- General Population and Housing Census. (2016). Statistical Center of Iran. <https://amar.org.ir/population-and-housing-census#app3146>
- Ghodsipour, S. (2019). Analytical Hierarchy Process (AHP). *Amirkabir University of Technology*. [In Persian] <http://publication.aut.ac.ir/fa/book>
- Heidarizadeh, K., Rahimi, S., Zahrakar, N., & Jodaki, R. (2019). Investigation of the flood incident in Khorramabad city. *9th International Congress on Health in Accidents and Disasters*. [In Persian] <https://civilica.com/doc/929493/>
- Iranian Red Crescent Society. (2019). Khorramabad: Tabnak Report. <https://www.tabnak.ir/fa/news/889243>

- Khorramabad city comprehensive plan. (2020). Detailed plan of Khorramabad city. Retrieved from Khorramabad Municipality. <http://khorramabad.ir>
- Malik, S., Chandra Pal, S., Chowdhuri, I., Chakraborty, R., Roy, P., & Das, B. (2022). Prediction of highly flood prone areas by GIS based heuristic and statistical model in a monsoon dominated region of Bengal Basin. *Society and Environment*, 19:100343. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100343>
- Mokhtari Hashi , H., & Rahimi, D. (2016). Zoning of Flood risk in Human and Economic activities centers of South Khorasan Province using the Fuzzy Logic System. *Geography and Environmental Planning*, 27(1) ,199-216. [In Persian] <https://doi.org/10.22108/gep.2016.21366>
- Rad, M., Vafakhah, M., & Gholamali Fard, M. (2018). Flood mapping using HEC-RAS hydraulic model in part of Khorramabad watershed. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(16),211-226. [In Persian] <https://doi.org/10.22111/jneh.2017.3343>
- Rezaei Rashno, T., & Haghzad, A. (2015). Urban Planning and Natural Disaster Crisis Management (Floods) Case Study: Khorramabad City. In *The First International Conference on Geographical Sciences*. [In Persian] <https://civilica.com/doc/562117>
- Salehi, E., Rafie, Y., Farzadbehtash, M., & Agha Babaei, M. (2013). Urban Flood Hazard Zonation Using GIS and Fuzzy-Ahp Analysis Case Study:Tehran City. *Journal of Environmental Studies*, 39(3), 179-188. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jes.2013.35901>
- Saucedo, J., Salais, T., Aguilar, R., & Marmolejo-Sa, J. (2024). Selecting the Distribution System using AHP and Fuzzy AHP Methods. *Mobile Networks and Applications*, 29(1),235-242. <https://doi.org/10.1007/s11036-023-02290-9>
- Servati, M. R., Ahmadi, M., Nosrati, K., & Mezbani, M. (2013). Flood Potential Zonation In Sarab Of DarrehShahr Drainage Basin. *Journal Geography*, 11(36), 55-77. [In Persian] <https://sid.ir/paper/150395/fa>
- Shaluf, I. (2007). An overview on disasters Disaster Prevention and Management. *International Journal*, 16(5),687-703. <https://doi.org/10.1108/09653560710837000>
- Sharafi, S. (2022). Assessing the Role of Floods in Changing the Bed of Rivers and its Impact on Rural Communities (Case study: Khorramabad River). *Geography and Development*, 19(65),127-152. [In Persian] <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6521>
- Sheikh Alishahi, N., Jamali, A., & Hassanzadeh Nafouti, M. (2016). Flood Zoning Using a River Analysis Hydraulic Model (Case Study: Manshad Watershed - Yazd Province). *Geographic Space Journal*, 16(53),77-96.[In Persian] <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2350-fa.html>
- Vejdani Nozar, A., & Givehchi, S. (2022). Presenting a flood risk assessment model in Hamedan Province to classify vulnerability and possible consequences in population centers. *Housing and the Rural Environment*, 42(181), 119-132. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/42.181.119>
- Xiong, J., Wang, Z., Guo, S., Wu, X., Yin, J., Wang, J., ... & Gong, Q. (2022). High effectiveness of GRACE data in daily-scale flood modeling: case study in the Xijiang

River Basin, China. *Natural Hazards*, 113(24), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05312-z>

Yang, X. I., Ding, J. H., & Hou, H. (2013). Application of a triangular fuzzy AHP approach for flood risk evaluation and response measures analysis. *Natural Hazards*, 68, 657–674. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0642-x>

Zebardast, E. (2011). Application of Analytic Hierarchy Process in Urban and Regional Planning. *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, 10, 14-20. [In Persian] <https://doi.org/20.1001.1.22286020.1389.2.41.7.4>

Ziari, K., Rajai, S., & Darabkhani, R. (2020). Flood Zoning Using Hierarchical Analysis and Fuzzy Logic in GIS Case Study: Ilam City. *Crisis Management*, 10(1). [In Persian] <https://doi.org/20.1001.1.23453915.1400.10.1.2.2>