Geography and Territorial Spatial Arrangement
University of Sistan and Baluchestan
Association of Geography and Planning of Border Areas of Iran
Print ISSN: 2345 - 2277 Online ISSN: 2783 - 5278

Assessment and Zoning of Urban Lands Vulnerability Exposed to Flood Risk (Case Study: Regions 1, 5, and 10 of the Metropolis of Tabriz)

Yousef Hazrati Leilan [1], Hassan Sattari Sarbangoli [2]✉, Mirsaeed Mousavi [3]

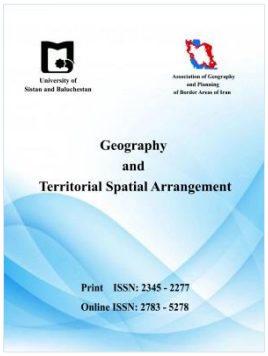
1. PhD student in Urban Planning, Department of Architecture and Urban Planning, Tabriz International Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
E-mail: Hazrati_yosef@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
✉ E-mail: sattari@iaut.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
E-mail: ms.moosavi@iaut.ac.ir

How to Cite: Hazrati Leilan, Y; Sattari Sarbangoli, H & Mousavi, M.S. (2024). Assessment and Zoning of Urban Lands Vulnerability Exposed to Flood Risk (Case Study: Regions 1, 5, and 10 of the Metropolis of Tabriz). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 14 (53), 151-156.

DOI: http://dx.doi.org/ 10.22111/GAIJ.2024.48862.3207

Article type:
Research Article

Received:
28/05/2024
Received in revised form:
11/11/2024
Accepted:
25/11/2024
Publisher online:
02/12/2024



Keywords:
Tabriz metropolis, flood, urban land vulnerability, zoning, Arc GIS, AHP.

ABSTRACT

Flooding is one of the most critical and destructive threats to human societies, developing cities, and their residents, which, if not prepared in advance and properly planned, may cause irreparable loss of life and property to settlements, the strength of buildings, and urban facilities. Tabriz metropolis is not exempt from this threat due to its special geographical location and history of destructive floods. The crossing and confluence of the two rivers, Meydan Chayi and Mehran Chayi, and the heights of Aun Ebn Ali in areas 5, 1, and 10 of Tabriz city increase the risk of land vulnerability in these areas, making this area one of the most important flood-prone areas of Tabriz metropolis. The present study is of an applied type and the research method is descriptive-analytical. The aim of this research is to zone and investigate the vulnerability of different parts of urban lands to flooding and the factors affecting this risk in regions 5, 1 and 10 of Tabriz metropolis. The criteria and sub-criteria affecting the occurrence of floods were selected by experts and specialists, and then the MCDM multi-criteria decision-making model and the AHP analytic hierarchy process were used to zone the vulnerability of the lands of these areas and calculate the role of each of the aforementioned criteria and sub-criteria. Using the spatial analysis capabilities of Arc GIS software, the final layers of flood risk zoning and factors affecting flooding were prepared. By combining these layers, the final flood risk zoning map and identification of safe and vulnerable areas of the study area were determined. The research results show that 1 percent of the lands in the mentioned areas are in the very high risk zone, 17 percent are in the high risk zone, 30 percent are in the medium risk zone, 40 percent are in the low risk zone, and 3 percent are in the very low risk zone in terms of flooding.

© the Author(s). **Publisher**: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

Introduction

The excessive population growth and the extensive damages caused by natural hazards such as floods have made the issue of vulnerability assessment one of the important objectives of studying cities. Considering the natural conditions of Iran, not paying attention to the issue of floods can cause irreparable damages. Tabriz metropolis is also always exposed to vulnerability and damages caused by floods due to its special geographical location and history of destructive floods. The vulnerability of the lands of regions 1, 5 and 10 of Tabriz metropolis to floods due to the passage and confluence of two dangerous rivers, the Meydan Chayi and Mehran Chayi , through the middle of the study area makes this region one of the most important flood-prone areas of Tabriz metropolis. Identifying flood-prone areas is a fundamental step for flood risk management. The importance of reducing the vulnerability of urban lands to floods on the one hand and the necessity of zoning and providing necessary and sufficient information on the vulnerability status of different urban lands at risk of flooding for risk management on the other hand increase the importance and necessity of the present study. The present study is of an applied type and its method is descriptive-analytical. Its aim is to zone and examine the vulnerability of different urban lands at risk of flooding and the factors affecting this risk in areas 5, 1 and 10 of Tabriz city. The results of this study show that 1 percent of the lands in the mentioned areas are in the very high vulnerability risk zoning, 17 percent are in the high risk zone, 30 percent are in the medium risk zone, 40 percent are in the low risk zone and 3 percent are in the very low risk zone in terms of flooding.

Study Area

The scope of this research is the northern lands of Tabriz metropolis, including areas 1, 5 and 10 of Tabriz Municipality, located at 46°16′12″ to 46°23′17″ east longitude and 38°6′42″ to 38°2′9″ north latitude, which is limited to the Aun Ebn Ali mountain range from the north, to Darvazeh Tehran Street and Imam Khomeini Street from the south, to Tabriz-Ahar Road from the east, and to Eram Town and Azariaijan Square from the west.

Material and Methods

In the first step, data, maps, photographs, and determination of the main priority criteria and relevant sub-criteria were collected using field and library methods, using standards, expert opinions, and flood occurrence statistics in the study area. To zone the vulnerability of the lands of the study areas, six effective variables with layers of 1- slope 2- height 3- distance from rivers 4- distance from green space 5- distance from streams 6- distance from canals, along with 5 sub-criteria for each criterion that are effective factors in the occurrence of floods, were used and examined. Each of the variables defined in this study is a main criterion and each main criterion is divided into several sub-criteria, the definition of which sub-criteria increases the accuracy of the calculated weights and ultimately the optimal output of zoning maps of high-risk areas. Also, to assess the damage caused by floods, we have used the variables of the age of buildings, quality of buildings, building density, population density, distance to rivers, open space and land use in the study area. In this study, considering that several criteria and sub-criteria were used to determine the vulnerability of urban lands to flooding, the MCDM multi-criteria decision-making model was used, and to select the best option based on different criteria through pairwise comparison, the AHP hierarchical process, one of the most widely used methods for ranking and determining the importance of factors, was used.

After determining the factors from the existing digital maps, written documents, statistics and various reports were entered into Arc GIS software to prepare the maps and the required information after editing and defining topological relationships. Also, advanced models such as AHP and SAW weighting were used to zone the risk area. After determining the matrix and the two-to-two relationship of the factors, the specific value was calculated by Choice ExPert software. After determining the weight of each factor in the Arc GIS environment, we multiplied the prepared weights in each of the layers, so that a flood risk zoning map was obtained from the combination of layers in the Arc GIS environment. AUTO DESKMAP software was also used to digitize the existing maps. Given that land suitability analysis is a multi-attribute problem and can be performed using a Raster model, Arc GIS software was selected for multi-attribute analysis operations and the UTM coordinate system was considered for them.

To examine the vulnerability of different parts of the study areas to flooding, after weighting each of the criteria and sub-criteria determined based on the AHP method in the GIS geographic information system, it was categorized into five groups from very high to very low vulnerability. Based on the identified criteria, which is the first part of the AHP analysis, the candidates were evaluated. Using pairwise comparisons of options, each of the criteria was prioritized. The purpose of using the analytic hierarchy process technique was to select the

best option based on different criteria through pairwise comparison. It should be noted that for weighting and combining the layers, by presenting a questionnaire to expert experts, the factors determined in this study were compared and their importance was valued from 1 to 9, so that the value of 1 indicates the equal importance of two factors and the number 9 indicates the very high importance of one factor compared to another. After collecting the opinions of the experts, all factors and criteria were compared two by two using the Expert Choice software and placed in the weight matrix, and the result was determined as follows.

Distane to space green	Distance from channels	Distance from the river	Distance from masil	Slope	Height	**Criterion name**
0.088	0.182	0.205	0.224	0.158	0.143	**Weight relative**

Result and Discussion

Relative weight maps of each of the criteria (elevation, slope, distance to the stream, distance to the river, distance to canals and distance from green space) and the determined sub-criteria were prepared based on the level of vulnerability of the lands of the study area. In this stage of the research, for zoning and preparing a flood risk map in the lands of regions (1, 5 and 10) of Tabriz metropolis, the maps obtained from examining the layers effective in flood risk were integrated again in the Arc GIS environment and the final weight of the layers and the final flood risk zoning map in the study area were produced. Which were identified with different colors of the points with very low flood risk and very high risk in the study area map. The prepared zoning map shows that approximately 1 percent of the lands of regions 5, 1, and 10 of Tabriz city are in very high risk zoning, 17 percent in high risk zoning, 39 percent in medium risk zone, 40 percent in low risk zone, and 3 percent in very low risk zone in terms of flooding. In the final step, the flood risk zoning map was combined with the land use map on the building density blocks, and a new map was created with the flood risk zoning in the building density blocks of the study area.

Conclusion

The present study examined and zoned the lands of regions 1, 5, and 10 of Tabriz Municipality by selecting 6 influential variables along with the relevant subvariables. The layers were classified into five normal units from 1 to 5, where the number 1 indicates the lowest risk and the number 5 means the highest risk of flooding. Then, using the AHP method, the relative weight of the aforementioned layers was calculated separately and the zoning map of each of them was extracted separately, which in the present study, each layer is marked with different colors in the zoning maps. Several methods have been proposed for determining weight, including ranking, attribution, and pairwise comparison methods. In this study, the pairwise analysis process method was used to weight the criteria. This method and the results obtained are consistent with the methods and results of the research of Mousavinasb et al. (1403), Mohammad Doost et al. (1403), Vojdani Nozar et al. (1402), Ghanbari et al. (1402), Zarei and Keshavarz (1403). The results of this study show that 1 percent of the lands in the aforementioned areas are in the very high risk zone, 17 percent are high risk, 30 percent are medium risk, 40 percent are in the low risk zone, and 3 percent are in the very low risk zone in terms of flooding. Using the final zoning map and the zoning map of urban areas, while identifying safe and vulnerable areas of lands in areas 1, 5, and 10 of Tabriz Municipality during floods, appropriate management strategies for proper planning and necessary preparedness to deal with floods in vulnerable areas of the study area were expressed, along with predicting the extent of damage caused by floods and strategies to reduce damage and adjust the damage caused by floods in the study area. The results of the present study and the final zoning map of urban lands located in areas 1, 5 and 10 of Tabriz metropolis, based on the level of vulnerability to flooding, indicate the presence of canals, rivers and streams along with a decrease in height and slope in the south and southwest of the region, as well as the presence of heights in the north of the study area, making the lands of these areas vulnerable to flooding. Therefore, it is proven that most of the urban settlements vulnerable to flooding (18%) are concentrated in the south and southwest of the northern lands of Tabriz city.

1- About 18% of the study area is at serious risk of flooding, requiring the adoption of necessary measures to prevent human, financial, and social losses in these areas.

2- In the northern parts of the study area, due to the high altitude and steep slope leading to the Aun Ebn Ali Mountains, in order to prevent mud from flowing into urban streets and its penetration into various uses and to prevent damage during heavy rainfall, the need to create flood barriers in the required places becomes apparent, such as the end of Yousef Abad Street and Shahid Beheshti Street in District One, the end of Vali Amr Street in District Five, and Rezvan and Beheshti Streets in District Ten.

3- Continuous dredging of Meydan Chayi and Mehran Chayi and other channels and streams located in the danger zone

4- Preventing unauthorized construction and preventing the expansion of the city in the area of Meydan Chayi and Mehran Chayi rivers
5- Increasing vegetation cover in accordance with the climate of the study area in areas where a high risk of flooding has been identified and preventing the change in use of this type of land
6- Non-issuance a building permit for underground applications in the southern and southwestern parts of the study area, which have variable heights and steep slopes.
7- Establishment of fire departments, rescue centers, and necessary machinery in the southern and southwestern parts of the study area.
8- Vulnerable uses should be removed from flood-prone areas or moved to appropriate locations in the study area.
9- Providing necessary facilities and incentives for urban regeneration and reconstruction and retrofitting of dilapidated urban fabric located in lands with high vulnerability risk in the study area
10- Preventing the accumulation and dumping of waste on the Mehran Chayi route and Meydan Chayi
11- Improving the urban sewage system and not using it to repel floods and taking necessary measures to repel surface water in the entire study area.
12- Providing necessary training to citizens of the study area regarding floods and solutions to deal with them
13- Timely forecasting of flood risk and establishment of urban and public warning systems in the study areas
14- Continuous monitoring and evaluation of the measures taken and the relevant programs.

Key words: Tabriz metropolis, flood, urban land vulnerability, zoning, Arc GIS, AHP.

References

Abedini, Musa; Nezafat, Behrouz; Pasban, Amir Hesam. (2024). Zoning of flood risk in the Balikhli-Chay River with different return periods using the HEC-RAS hydraulic model. Geographical Space Journal, Islamic Azad University, Ahar Branch, Volume 24, Issue 86, pp. 1-23. *(In Persian)*

http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-4021-fa.html

Adil Akallouch, Ayoub Al Mashoudi, Mouloud Ziani & Rachid Elhani. 2024 " GIS Application in Urban Flood Risk Analysis: Midar as a Case Study " Open Journal of Ecology, Volume14, Number 2,125-148

Aidi Huo, Muhammad Ibrahim, Waheed Ullah, Safi Ullah, Adnan Ahmad, Fangqian Zhong.. "Flood vulnerability assessment in the flood prone area of Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan" , ORIGINAL RESEARCH article. Front. Environ. Sci., 19 January 2024. Volume 12.

https://www.researchgate.net/publication/377814547_Flood_vulnerability_assessment_in_the_flood_prone_area_of_Khyber_Pakhtunkhwa_Pakistan

D.J. Wagenaar, R.J. Dahm, F.L.M. Diermanse, W.P.S. Dias, D.M.S.S. Dissanayake, H.P. Vajja, J.C. Gehrels, L.M. Bouwer.2019. " Evaluating adaptation measures for reducing flood risk: A case study in the city of Colombo, Sri Lanka", International Journal of Disaster Risk Reduction, 37 ,10.

Ghanbari, Abolfazl; Amirian, Sohrab; Amirian, Yousef. (2023). Assessment and zoning of flood risk in Kermanshah city, application of remote sensing and GIS in sciences Environmental, University of Tabriz, Volume 3, Issue 9, pp. 105-131. *(In Persian)*

https://journals.tabrizu.ac.ir/article_18315.html

Hedayati Dezfuli, Akram; Qasabi, Zahra. (2014). Flood investigation in Golestan province from a synoptic and statistical perspective (case study: March 2018), Journal of Applied Research in Geographic Sciences, Kharazmi University of Tehran, Volume 24, Issue 73, pp. 210-233. *(In Persian)*

https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_id=3802&sid=1&slc_lang=fa

Hualin Li, Shouhong Zhang, Jianjun Zhang, Wenlong Zhang & Zhuoyuan Song. 2023 framework for identifying priority areas through integrated eco-environmental risk assessment for a holistic watershed management approach", Journal of Ecological Indicators,volom146.

https://doaj.org/article/d7beba62a7b24605b00747289b111ddd

Istak Ahmed , Nibedita Das(Pan) , Jatan Debnath , Moujuri Bhowmik , Shaswati Bhattacharje,2024 "Flood hazard zonation using GIS-based multi-parametric Analytical Hierarchy Process" Journal of geosystems-and-geoenvironment, vol 3, issue2 .

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772883823000730

Jalili Sadrabad, Samaneh; Zabetian-Torghi, Elham and Moradi, Pegah. (2023). Resilience against floods due to climate change in development plans, Journal of Disaster Prevention and Management, Tehran Disaster Prevention and Management Organization, Volume 13, No. 1, pp. 35-49. *(In Persian)*

https://dpmk.ir/browse.php?a_code=A-10-617-1&sid=1&slc_lang=fa

Meihanparast, Anise. (2019). Estimation and zoning of flood risk potential in the Tehran catchment area using a fuzzy decision-making model, Journal of Geographic Information System and Remote Sensing Applications in Planning, Islamic Azad University, Semnan Branch, Volume 10, Issue 3, pp. 106-118 . *(In Persian)*

https://sanad.iau.ir/Journal/gisrs/Article/934712

Mohammad Doost, Adel and Shamsnia, Seyyed Amir. (2023). Identification and zoning of flood-prone areas using GIS-AHP (Case study of Dir County, Bushehr Province), Quarterly Journal of Geography and Environmental Studies, Islamic Azad University, Najafabad Branch, Volume 12, Issue 47, pp. 152-167. *(In Persian)*

https://journals.iau.ir/article_702170.html

Mousavinasab, Seyyed Jahangir; Malek-Hosseini, Abbas and Shams, Majid. (2024). Analysis and zoning of urban vulnerability to natural hazards, case study: Ilam City, Journal of Geographical Spatial Planning, Golestan University, Volume 14, Issue 2, pp. 1-22. *(In Persian)*

https://gps.gu.ac.ir/article_200773.html

Prasoon Singh, Vinay Shankar Prasad Sinha, Ayushi Vijhani, Neha Pahuja. 2018. " Vulnerability assessment of urban road network from urban flood", International Journal of Disaster Risk R, Volume 28, June 2018, Pages 237-250.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420918303261

R. Berndtsson, P. Becker, A. Persson, H. Aspegren, S. Haghighatafshar, K. JönssonR.Larsson, S. Mobini, M. Mottaghi, J. Nilsson, J. Nordström, P. Pilesjö, M. Scholz,C.Sternudd, J. Sörensen, K. Tussupova. 2019. " Drivers of changing urban flood risk: A framework for action" , Journal of Environmental Management 240,47–56.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719303974

Raisi, Ahmad; Mohebi, Majid; Mirghaffari, Elham; Sargazi, Ruhollah and Goli, Samaneh. (2022). Zoning of flood risk in Chabahar city using fuzzy model in GIS, First Conference of Iran's Qavi Crisis Management Event. *(In Persian)*

Robati, Maryam; Karimi Saremi, Sargol; Munavari, Seyyed Masoud. (2023). Vulnerability assessment of urban areas exposed to natural hazards of floods and earthquakes using the IHWP method, Quarterly Journal of Geographic Information, Geographical Organization, Volume 32, No. 126, pp. 153-170. *(In Persian)*

https://www.sepehr.org/article_705645.html

Saaty,T.1980." the analytical hierarchical process: planning ,priority setting resource allocation" .NEW YORK .Mc Graw – Hill.

Samadi Kouchasaraei, Bahareh; Danehkar, Afshin. (2021). A review of multi-criteria decision-making methods in environmental studies, Quarterly Journal of Man and Environment, Iranian Association of Environmental Specialists, Volume 19, Issue 2, pp. 106-124. *(In Persian)*

https://www.sid.ir/paper/1042256/fa

Sami, Ebrahim and Ebadi, Maryam. (2024). Zoning of urban flood risk using Analytical Network (ANP) and Fuzzy Logic, Case Study: Maragheh City, Quarterly Journal of Urban Ecology Research, Payam Noor University, Volume 15, Issue 1, pp. 171-186. *(In Persian)*

https://grup.journals.pnu.ac.ir/article_10668.html

Toosi Ardakani, Alalah; Golkar, Kourosh and Fallahi, Alireza. (2024). The role of flood-adapted urban design from the perspective of improving risk perception (A systematic interdisciplinary review, Manzar Quarterly, Nazar Art, Architecture and Urban Planning Research Institute, Volume 16, Issue 66, pp. 32-43. *(In Persian)*

https://www.manzar-sj.com/article_183999.html

Vajdani Nozar, Ali; Givehchi, Saeed. (2019). Presenting a flood risk assessment model in Hamadan province for the purpose of classifying vulnerability and possible consequences in population centers, Journal of Housing and Rural Environment, Natural Disaster Research Institute, Volume 42, Issue 181, pp. 119-132. *(In Persian)*

https://jhre.ir/browse.php?a_id=2339&sid=1&slc_lang=fa&ftxt=0

Valizadeh Kamran, Khalil; Dalirhasannia, Reza; Azari Amaghani, Khadija. (2019). Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using drone images and geographic information system. Journal of Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources, Islamic Azad University, Bushehr Branch, Volume 10, Issue 3, pp. 59-75. *(In Persian)*

https://journals.iau.ir/article_668470.html

Wenyan Pan, Mengwei Yan, Zhikun Zhao & Muhammad Awais Gulzar. 2022 " Flood Risk Assessment and Management in Urban Communities: The Case of Communities in Wuhan" Journal of Land, volom 12, issue 1, 1-14.

Yared Abayneh Abebe, Ghorbani, Igor Nikolic, Zoran Vojinovic, Arlex Sanchez.2019. " A coupled flood-agent-institution modelling (CLAIM) framework for urban flood rismanagement", nvironmental Modelling and Software 111,483–492.

Zarei, Saeed; Keshavarz, Saeedeh. (2024). Zoning of flood risk in arid areas using AHP-FUZZY hybrid model in Dashti city, South Iran, Quarterly Journal of Arid Biom, Yazd University, Volume 14, Issue 1, pp. 47-60. *(In Persian)*

https://aridbiom.yazd.ac.ir/article_3438.html?lang=fa

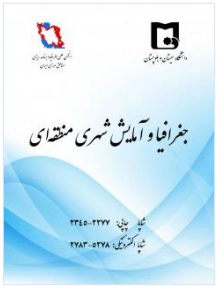
جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای
شاپا چاپی: ۲۳۴۵-۲۲۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۷۸

ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اراضی شهری در معرض خطر سیل (نمونهٔ موردی: مناطق ۱، ۵ و۱۰ کلان‌شهر تبریز)

یوسف حضرتی لیلان [۱]، حسن ستاری ساربانقلی [۲*]، میرسعید موسوی [۳]

مقاله پژوهشی

جغرافیا و آمایش شهری–منطقه‌ای
زمستان ۱۴۰۳، سال ۱۴، شمارهٔ ۵۳
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵
صفحات : ۱۷۸-۱۵۱



واژه‌های کلیدی:
کلان‌شهر تبریز، سیل، آسیب‌پذیری اراضی شهری، پهنه‌بندی، «Arc GIS»، «AHP».

چکیده

سیل، یکی از بحرانی‌ترین و مخرب‌ترین تهدیدات برای جوامع بشری، شهرهای در حال توسعه و ساکنین آن‌ها می‌باشد و در صورت عدم آمادگی قبلی و برنامه‌ریزی صحیح ممکن است خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیری را بر سکونتگاه‌ها، استحکام ابنیه و تاسیسات شهری وارد سازد. کلان‌شهر تبریز نیز به‌علت موقعیت جغرافیایی ویژه و سوابق وقوع سیل‌های مخرب، از این تهدید مستثنی نیست. عبور و تلاقی دو رودخانهٔ «میدان چایی» و «مهران چایی» و ارتفاعات «عون‌ابن‌علی» در مناطق ۵،۱ و۱۰ شهر تبریز، خطر آسیب‌پذیری اراضی این مناطق را افزایش داده و این محدوده را به یکی از مهمترین نقاط سیل‌خیز کلان-شهر تبریز تبدیل می‌نماید. پژوهش حاضر از نوع کاربردی و روش تحقیق، توصیفی-تحلیلی می‌باشد. هدف این تحقیق پهنه‌بندی و بررسی آسیب‌پذیری نقاط مختلف اراضی شهری در برابر سیل و عوامل تأثیرگذار بر این مخاطره در مناطق ۵،۱ و ۱۰ کلان‌شهر تبریز است. معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار بر وقوع سیل، توسط کارشناسان و متخصصین خبره انتخاب و سپس برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اراضی این مناطق و محاسبهٔ نقش هر کدام از معیارها و زیرمعیارهای مذکور از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره «MCDM[1]» و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی«AHP[2]» بهره گرفته و با استفاده از قابلیت‌های تحلیل مکانی نرم‌افزار « Arc GIS[3]» لایه‌های نهایی پهنه‌بندی خطر سیل و عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی تهیه گردید. با تلفیق این لایه‌ها، نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطر سیل و شناسایی نقاط امن و آسیب‌پذیر محدودهٔ مورد مطالعه مشخص گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد ۱ درصد از اراضی مناطق مذکور، در پهنه‌بندی خطر آسیب‌پذیری خیلی‌زیاد، ۱۷ درصد خطر زیاد، ۳۰ درصد خطر متوسط، ۴۰ درصد در پهنهٔ کم‌خطر و ۳ درصد در پهنهٔ خطر خیلی کم از لحاظ سیل‌گیری قرار دارند.

مقدمه

سیل یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی به‌حساب می‌آید و همه‌ساله خسارات گسترده‌ای را به منابع مالی و انسانی کشور وارد می‌آورد. بخش‌های عمده‌ای از کشور ایران نیز همواره در معرض خطر وقوع سیل قرار دارند (هدایتی و قصابی، ۱۴۰۳: ۲۱۰). رشد روزافزون جمعیت و توسعهٔ شهرها در حاشیهٔ رودخانه‌ها و در حریم مسیل‌ها و مسدود شدن آن‌ها نیز منجر به ایجاد مناطق مستعدی برای سیلاب و افزایش خسارات ناشی از آن شده است (سامی و عبادی، ۱۴۰۳: ۱۷۱).

1. Multi-Criteria Decision-Making
2. Analytical Hierarchy Process
3. Geographic Information System

۱- دانشجوی دکتری شهرسازی، گروه معماری و شهرسازی، واحد بین الملل تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران Hazrati_yosef@yahoo.com
۲- دانشیار گروه معماری و شهرسازی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. (نویسنده مسئول) sattari@iaut.ac.ir
۳- استادیار گروه معماری و شهرسازی، واحد تبریز، دانشگاه آزاداسلامی، تبریز، ایران. ms.moosavi@iaut.ac.ir

عدم درک صحیح از خطرپذیری سیل، در زمان وقوع جریان‌های شدید سیل می‌تواند به تلفات عدیده‌ای منجر شود (طوسی و همکاران، ۱۴۰۳: ۳۲). در سال‌های اخیر رشد بی‌رویهٔ جمعیت و خسارت‌های فراوان ناشی از مخاطرات طبیعی و انسانی به کالبد و محیط شهرها موجب شده است تا موضوع ارزیابی آسیب‌پذیری به یکی از اهداف مهم مطالعهٔ شهرها تبدیل شود. یکی از موضوعاتی که بیشتر شهرهای جهان با آن دست به‌گریبان هستند، حوادث طبیعی است که طی قرن گذشته شمار آن‌ها همواره رو به افزایش بوده و تلفات انسانی و کالبدی زیادی را متوجه شهرها نموده است (سارمی و رباطی، ۱۴۰۲: ۱۵۲).

به استناد آمار و اطلاعات[۱]، خسارات ناشی از سیل، بیشترین میزان خسارت‌های حاصل از بلایای طبیعی را در دنیا دارد. ۷/۲ درصد قربانیان بلایای طبیعی نیز مربوط به رویداد سیل است؛ از این‌رو شناخت مناطق سیل‌خیز با هدف کنترل خسارات ناشی از آن، ذخیرهٔ روان‌آب و افزایش ذخایر آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا می‌توان با استفاده از روش‌های پیشرفته مکانی، مناطق سیل‌خیز را شناسایی و نتایج آن‌را در برنامه‌ریزی‌های مدیریت شهری به‌کار برد (محمددوست و شمس‌نیا، ۱۴۰۲: ۱۵۲). اگرچه چهار دهه از تهیه و اجرای طرح‌های شهری می‌گذرد اما در عمل موفقیت چندانی حاصل نشده است (جلیلی و همکاران۱۴۰۲: ۳۵). با توجه به شرایط طبیعی کشور ایران، عدم توجه به موضوع سیلاب‌ها می‌تواند خسارات‌های جبران‌ناپذیری به بار آورد که در این میان برآورد سیلاب و پهنه‌بندی نواحی سیل‌گیر اهمیت بسیار زیادی در کنترل خطرات دارد (میهن‌پرست و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۰۶).

کلان‌شهر تبریز به‌علت موقعیت جغرافیایی ویژه و سوابق وقوع سیل‌های مخرب، همیشه در معرض آسیب‌پذیری و خسارات ناشی از سیل قرار دارد. آسیب‌پذیری اراضی مناطق ۱، ۵ و ۱۰ کلان‌شهر تبریز در برابر سیل به‌دلیل عبور و تلاقی دو رودخانهٔ پرخطر «میدان‌چایی» و «مهران‌چایی» از وسط محدودهٔ مورد مطالعه و وجود ارتفاعات «عون-ابن‌علی» در حاشیهٔ شمالی این محدوده به‌دلیل ایجاد شیب تند، خطر آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های واقع در اراضی این‌مناطق‌را در برابرسیل‌افزایش‌داده و این منطقه را به‌یکی از مهم‌ترین‌مناطق‌سیل‌خیزکلان‌شهرتبریزتبدیل‌می‌نماید. توسعهٔ نامناسب و نامتوازن شهری به‌دلیل افزایش جمعیت شهرها در اثر مهاجرت و ایجاد سکونتگاه‌های غیر رسمی که شهر تبریز هم از این قاعده مستثنی نیست، دومین عامل افزایش میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های شهری تبریز در برابر مخاطرات طبیعی مخصوصا سیل شده است؛ لذا شناسایی مناطق سیل‌خیز یک گام اساسی برای مدیریت ریسک سیل است. منطقه‌بندی خطر سیلاب، اندازه‌گیری کمی از خطر سیل را فراهم می‌کند (ولی‌زاده و همکاران،۱۳۹۸: ۵۹)؛ بنابراین اهمیت موضوع کاهش آسیب‌پذیری اراضی شهری در برابر سیل از یک‌سو و ضرورت پهنه‌بندی و تهیهٔ اطلاعات لازم و کافی از وضعیت آسیب‌پذیری نقاط مختلف اراضی شهری در معرض خطر سیل برای مدیریت ریسک از سوی دیگر اهمیت و ضرورت پژوهش حاضر را افزایش می‌دهد.

پژوهش‌های مختلفی در جهان و ایران در ارتباط با این موضوع صورت پذیرفته است که می‌توان به مواردی چند از آن‌ها اشاره نمود. (سامی و عبادی۱۴۰۳: ۱۷۲) در پژوهشی اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از تحلیل شبکه «ANP» و منطق فازی در شهر مراغه نموده‌اند. برای این منظور از؛ لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، فاصله از رودخانه، کاربری زمین، تراکم ساختمانی و تراکم جمعیتی استفاده شده است. وزن‌دهی لایه‌ها به روش تحلیل شبکه (ANP) با استفاده از نرم‌افزار سوپردسیژن انجام شده سپس تمامی

[۱]. ارزیابی خسارات سیلاب، وزارت نیرو، نشریه شماره۲۹۶

لایه‌ها در محیط «ArcGIS» فازی سازی شده و در نهایت با وزن‌دار کردن لایه‌ها و تلفیق آن‌ها به روش گاما، نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب را تهیه کردند. نتایج حاصل از تلفیق مدل‌های (ANP) و (Fuzzy)، حاکی از کارایی بالای آن‌ها در تعیین مناطق با ریسک بالای سیلاب می‌باشد و ضرورت دارد در فرآیند برنامه‌ریزی و آمایش به‌ویژه ارزیابی خطر این سطوح پهنه‌بندی شده مد نظر قرار گرفته شود.

(عابدینی و همکاران۱۴۰۳: ۱) در مطالعه‌ای اقدام به پهنه‌بندی وقوع سیلاب در رودخانه بالیخلی‌چای با دوره بازگشت‌های مختلف در استان اردبیل کرده‌اند. جهت پهنه‌بندی مخاطره سیلاب از مدل هیدرولیکی «HEC-RAS» استفاده شده و از طریق الحاقی «HEC-GEORAS» پردازش داده‌های ژئومتری انجام شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار «Hyfran» دورهٔ بازگشت‌های مختلف سیلاب استخراج گردید. براساس تجزیه تحلیل‌های انجام‌گرفته نتایج حاصل از پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف مشخص شد. در نهایت در راستای کاهش خسارات جانی و مالی براساس پهنه‌بندی سیلاب رودخانه بالیخلی‌چای اقداماتی از قبیل: تجاوز نکردن به حریم رودخانه، جلوگیری از تغییر کاربری اراضی به کاربری مسکونی و زهکشی مناسب آب رودخانه براساس پهنه سیلابی را پیشنهاد داده‌اند.

(رباطی و همکاران۱۴۰۲: ۱۵۳) در پژوهشی با استفاده از شاخص‌های شناسایی‌شده به ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه یک شهرداری تهران در برابر سیل و زلزله با استفاده از روش«IHWP» پرداخته‌اند که نتایج تحقیق نشان می‌دهد مرکز و غرب منطقه از آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار است و از غرب به شرق از میزان آسیب‌پذیری کاسته می‌شود. با شناخت وضعیت موجود اولویت‌ها و اقدامات مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های لازم در مقابل بحران احتمالی مخاطرات بعدی را مشخص نموده‌اند.

(رئیسی و همکاران؛ ۱۴۰۱) در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از مدل فازی و پنج پارامتر؛ فاصله تا رودخانه، بارش، کاربری اراضی، ارتفاع و شیب زمین، اقدام به شناسایی مناطق بالقوه خطر سیل در محیط نرم‌افزار «Arc GIS» برای محدودهٔ شهرستان چابهار نموده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که پهنه‌های با خطر خیلی‌خیلی‌زیاد در مناطق شمال و شمال شرق منطقه یعنی در بخش‌های پیرسهراب و پلان قرار دارند و بخش مرکزی چابهار نیز در پهنه خطر زیاد قرار دارد ایشان با در نظر گرفتن نقشهٔ نهایی خطر سیلاب، مطرح نمودند که به منظور توسعه و ایمنی شهری باید از ساخت-وسازها در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر در معرض خطر سیل و حاشیه رودخانه‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه باید جلوگیری شود.

(آکالوچ[1] و همکاران۲۰۲۴: ۱۴۸)، در پژوهشی با اقدام به بررسی کاربردهای پیشرفتهٔ سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی «GIS» در ارزیابی خطرات سیل شهری، با تمرکز خاص بر روی میدار، مراکش نمودند. این مطالعه با شناسایی دقیق و پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل در میدار، بینش های ارزشمندی را در مورد آسیب پذیری های بالقوه شهری در برابر سیل ارائه‌می‌دهد. علاوه بر آن، این تحقیق کاربرد عملی «GIS» را در کاهش تلفات در مناطق شهری مستعد سیل را نشان می‌دهد. رویکرد پیشگیرانهٔ پیشنهادشده در این مطالعه، با تمرکز بر استفاده از «GIS»، با هدف محافظت از جمعیت و زیرساخت های «Midar» از اثرات مخرب سیل است. این رویکرد به‌عنوان الگویی برای سایر مناطق شهری که با چالش‌های مشابه مواجه هستند، نقش ضروری «GIS» را در آمادگی و واکنش در برابر سیل برجسته و آن‌را به ابزاری حیاتی در مبارزه با سیل تبدیل می‌کند.

[1] Akallouch, et al

(ایستاک[1] و همکاران ۲۰۲۴) در مطالعه‌ای اقدام به شناسایی اراضی پرخطر در برابر سیل در ایالت «Tripura» هند نمودند. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی «AHP» همراه با «GIS» برای شناسایی اراضی منطقهٔ مورد مطالعه در برابر خطر سیل به کار گرفته شد و ۹ پارامتر برای این منظور انتخاب شد. نقشه‌های موضوعی پارامترها پس از تخصیص رتبه به طبقات مختلف مجدداً طبقه‌بندی شدند. یک ماتریس مقایسه زوجی بین تمام پارامترها با استفاده از «AHP» برای تعیین وزن نسبی هر پارامتر تهیه شد. در نهایت، نقشهٔ پهنه‌بندی خطر سیل منطقه مورد مطالعه با استفاده از «Arc GIS» تهیه شد. این مطالعه نشان‌داد که منطقهٔ پرخطر در مقایسه با دو منطقهٔ دیگر دارای بیشترین تراکم زمین کشاورزی (۶۸/۶۳ درصد) و مساحت سکونتگاه (۹/۷۷ درصد) است که آسیب پذیری در برابر خطر سیل را افزایش داده است.

(آیدی‌هیو[2] و همکاران۲۰۲۴) در ارزیابی آسیب‌پذیری سیل در منطقهٔ مستعد سیل‌خیز خیبر پختونخوای پاکستان یک چهارچوب مفهومی جدید برای آسیب‌پذیری و ارزیابی خطر سیل در این منطقه ارائه نمودند. آسیب‌پذیری سکونتگاه ها در برابر سیل را بر اساس چهار شاخص ارزیابی می کنند: تراکم جمعیت، متوسط تولید ناخالص داخلی زمین، فاصله بین سکونتگاه ها و رودخانه ها، کاربری و پوشش زمین. تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی «AHP» با سیستم اطلاعات جغرافیایی «GIS» برای ارزیابی سطح آسیب پذیری در برابر سیل در منطقه مورد مطالعه ادغام شدکه نتایج نشان دهنده درجهٔ آسیب پذیری بالای سیل در منطقه است. این مطالعه تجزیه‌وتحلیل عمیق و جامعی از شاخص های انتخاب‌شده، روش های ارزیابی و نتایج ارائه می کند که کمک ارزشمندی به حوزهٔ ارزیابی و مدیریت آسیب‌پذیری سیل می‌کند.

(هوالین لی[3] و همکاران ۲۰۲۳) یک مطالعهٔ موردی در حوزهٔ آبخیز رودخانه «بییون» چین انجام داده‌اند که هدف آن شناسایی مناطقی بود برای اجرای برنامه‌های مدیریتی که در اولویت هستند، در این مطالعه مخاطرات زیست-محیطی از طریق یک چهارچوب جدید مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان‌داد که خطر آلودگی آب، سیل و تخریب پوشش گیاهی در مناطق دشتی جنوب شرقی زیاد و در مناطق کوهستانی شمال غربی حوزهٔ آبخیز کم بود. کنترل آلودگی آب برای مدیریت جامع حوزهٔ آبخیز امری بسیار مهم است. در این مطالعه مشخص‌شد که این چارچوب ابزار مؤثری برای ارزیابی مخاطرات زیست‌محیطی در حوضه‌های آبخیز و شناسایی مناطقی است که برای اجرای برنامه‌های مدیریتی در اولویت هستند.

(ونیان پان[4] و همکاران۲۰۲۲: ۱۴) در مطالعه‌ای سطح خطر سیل جوامع در ووهان از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی «AHP» و نظریه شواهد Dempster-Shafer (DS)، با استفاده از نمونه‌ای از جامعهٔ معمولی ووهان ارزیابی نمودند. یافته‌ها حاکی از آن است که: (۱) وزن عوامل خطرساز بزرگترین و بیشترین تأثیر را بر خطر سیل در جامعه دارد. (۲) خطر عوامل خطرساز به تدریج افزایش می یابد، در حالی‌که خطرات مرتبط با حاکمیت سیستمی، کارهای حفاظتی و آسیب پذیری جامعه به‌طور پیوسته کاهش می یابد. ایجاد جوامع تاب‌آور و افزایش قابلیت مدیریت خطر سیل باید اولویت دولت، جوامع محلی و شهروندان باشد.

[1] Istak Ahmed, et al
[2] Aidi huo, et al
[3] Hualin Li, et al
[4] Wenyan Pan, et al

در مطالعهٔ دیگری توسط (واگنر[1] و همکاران ۲۰۱۹: ۱۰) زنجیره‌ای از مدل‌های پیشرفته ارائه شده است که این روش‌ها برای مطالعهٔ موردی در شهر کلمبو در سریلانکا استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که کلمبو با مشکلات ناشی از سیل مواجه است که انتظار می‌رود با کاهش بیشتر تالاب‌ها این تغییرات اقلیمی بدتر شود. برای مقابله با این مشکل، اقدامات محلی (مداخلات زیربنایی) پیشنهاد شده است. این مقاله روشی برای ایجاد نقشه‌هایی برای آبریزش احتمالاتی با استفاده از مدل هیدرودینامیکی D2D1 نشان می‌دهد. زمانی که کاهش تالاب در کلمبو ادامه یابد، خطر سیل افزایش می‌یابد. در این مورد، تأثیر متوقف‌شدن تجمع آب در تالاب‌ها بیشتر از تأثیر اندازه‌گیری سازگاری ساختاری است.

در مطالعهٔ موردی دیگری توسط (آبینه آبی[2] و همکاران ۲۰۱۹: ۴۸۳) که چهارچوب مدل‌سازی را توصیف می‌کنند، امکان ادغام مؤلفه‌های انسانی و فیزیکی را بیان می‌کند که خطر سیل را فراهم می‌آورند. در این چهارچوب مدیریت ریسک سیل به‌عنوان یک سیستم انسانی شناخته می‌شود. چهارچوب یکپارچگی پویا بین مدل‌های مبتنی بر عامل افراد و مؤسسات و مدل‌های سیل عددی را به ما ارائه می‌دهد. مدل‌سازی چهارچوب را با بررسی اثرات سه نهاد در جزیره کارائیب سینت مارتن نشان می‌دهند. مدل‌های مبتنی بر سمبل همکاری شده با استفاده از چهارچوب، برای تجزیه‌وتحلیل گزینه‌های سیاسی که در معرض خطر سیل و آسیب‌پذیری جوامع و قرارگرفتن در معرض تصمیم‌گیری سیاسی هستند، مفید هستند. این مدل‌ها همچنین نشان می‌دهد که چگونه خطر سیل در طول زمان در رابطه با دینامیک انسان در محیط شهری تغییر می‌کند.

در مطالعه‌ای که توسط (برندتسون[3] و همکاران۲۰۱۹: ۴۷) بر عوامل تغییر خطر سیلاب شهری تمرکز دارد. چهارچوبی برای هدایت اقدامات انطباق تغییرات آب‌وهوایی در مورد ریسک سیل و قابلیت مدیریت در شهرها پیشنهاد شده است. آن‌ها عوامل شناسایی‌شده برای خطر سیلاب شهری را در سه حوزهٔ زمانی مختلف گروه‌بندی نمودند. گروه اول تأثیر زیادی دارد اما در سطح شهر قابل کنترل است. گروه دوم آگاهی عمومی و تمایل فردی به مشارکت و شهرنشینی و ترویج شهری بیان شده است. گروه سوم به عوامل مربوط به سیاست و تغییرات طولانی مدت مرتبط است. این گروه با رشد اقتصادی و افزایش ارزش در معرض خطر، تغییرات اقلیمی و افزایش پیچیدگی جامعه نمایان می‌شود که تاثیر بسیار بالایی دارند، اما قابلیت مدیریت آن‌ها کم است.

مطالعهٔ (پراسون سینق[4] و همکاران ۲۰۱۸: ۲۳) این مطالعه با هدف ارائهٔ چهارچوبی برای ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌های جاده‌ای شهری ناشی از سیل می‌باشد و یک چهارچوب یکپارچه‌ای را ارائه می‌دهد که اطلاعات مربوط به هواشناسی، توابع استفاده از زمین و مدل هیدرودینامیکی را با عملکرد سرعت ایمنی مرتبط می‌کند. این چهارچوب برای ارتباط میزان عمق سیل با کاهش سرعت در تعیین آسیب‌پذیری شبکه جاده‌ای استفاده می‌شود. دو رخداد بارندگی با دوره بازگشت ۱ تا۱۰ ساله و ۱ تا ۱۰۰ ساله برای بهره‌برداری بیش‌ازحد از جاده شبکه‌ای شبیه‌سازی شده و آسیب پذیری شبکه جاده مورد بررسی قرار گرفت. نقشه و شاخص بحرانی برای شناسایی طول جاده آسیب‌پذیر به سیل ایجاد شده و مشاهده شده است که در بیش از ۴۰ درصد طول جاده در سراسر شبکه سالی یک‌بار آسیب‌های ناشی از سیل اتفاق می‌افتد.

[1] Wagenaar, et al
[2] Abayneh Abebe, et al
[3] . Berndtsson, et al
[4] Prasoon Singh, et al

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و روش انجام آن توصیفی-تحلیلی است. هدف آن پهنه‌بندی و بررسی آسیب‌پذیری نقاط مختلف اراضی شهری در معرض خطر سیل و عوامل تأثیرگذار بر این خطر در مناطق ۵،۱ و ۱۰ شهر تبریز می‌باشد. برای پهنه‌بندی آسیب پذیری اراضی این مناطق و محاسبهٔ نقش هر کدام از معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار بر وقوع سیل از مدل تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ «MCDM» و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی «AHP» بهره گرفته و با استفاده از قابلیت‌های تحلیل مکانی «Arc GIS» لایه‌های نهایی پهنه‌بندی خطر سیل و عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی تهیه گردید. با تلفیق این لایه‌ها ضمن تولید نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطر سیل و شناسایی نقاط امن و آسیب‌پذیر محدودهٔ مورد مطالعه، مشخص‌شد که ۱ درصد از اراضی مناطق مذکور در پهنه‌بندی خطر آسیب‌پذیری خیلی‌زیاد، ۱۷ درصد خطر زیاد، ۳۰ درصد خطر متوسط، ۴۰ درصد در پهنه کم‌خطر و ۳ درصد در پهنهٔ خطر خیلی کم از لحاظ سیل‌گیری قرار دارند. با این اطلاعات برنامه‌ها و راه‌کارهای کاربردی مناسبی برای پیش‌بینی و کنترل آسیب‌پذیری اراضی شهری از سیل برای مدیران شهری ارائه‌شد.

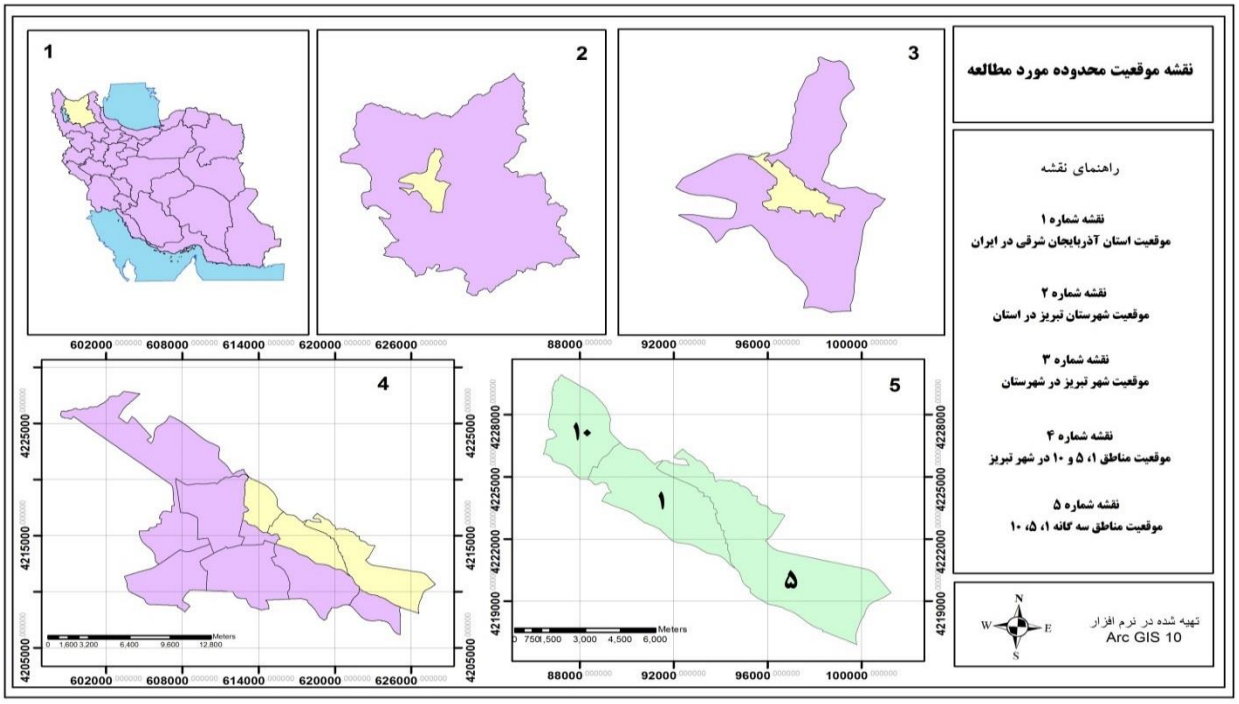
منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ این تحقیق، اراضی شمالی کلان‌شهر تبریز شامل مناطق ۱، ۵ و۱۰ شهرداری تبریز واقع در ″12 ′ 16 ° 46 الی ″17 ′ 23 ° 46 طول شرقی و ″42 ′ 6 ° 38 الی ″9 ′ 2 ° 38 عرض شمالی که از شمال به رشته کوه عون ابن علی و از جنوب به خیابان دروازه تهران و در امتداد آن خیابان امام‌خمینی که رودخانه‌های میدان چای (آجی‌چای) و مهران چای نیز به موازات این خیابان از شرق به غرب داخل منطقهٔ مورد مطالعه جاری است و از سمت شرق به جادهٔ تبریز اهر و از غرب به شهرک ارم و میدان آذربایجان محدود شده است. (شکل۱). جمعیت کل تبریز طبق آمار سال ۱۳۹۹ سایت معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تبریز ۱۵۵۸۶۹۳ نفر و جمعیت محدودهٔ مورد پژوهش ۵۳۲۷۲۹ نفر می‌باشد. تقریبا ثلث جمعیت شهر تبریز در محدودهٔ مورد مطالعه (مناطق۱، ۵ و۱۰) ساکن می‌باشند. مساحت کل شهر تبریز ۲۴۴۵۱ هکتار و مساحت مورد مطالعه ۵۱۱۰ هکتار می‌باشد. (جدول۱) به لحاظ تراکم جمعیت منطقه ۱۰ با ۱۹۱.۴ نفر در هکتاردارای‌بیشترین تراکم‌جمعیتی را در بین‌مناطق‌ده‌گانه شهر تبریز دارا می‌باشد.

جدول ۱. تراکم جمعیت محدودهٔ پژوهش

منطقه	جمعیت نفر	درصد	مساحت هکتار	تراکم جمعیت (نفر در هکتار)
منطقه ۱	۲۱۸۶۴۷	۱۴	۱۵۰۸	۱۳۷.۷
منطقه ۵	۱۲۶۱۲۴	۶	۲۶۲۰	۲۹.۳
منطقه ۱۰	۱۸۷۹۵۸	۱۳	۹۸۲	۱۸۵.۱
تبریز	۱۵۵۸۶۹۳	۱۰۰	۲۴۴۵۱	۶۱.۱

(منبع: سالنامه شهرداری تبریز، ۱۳۹۹)



شکل ۱ . موقعیت محدودهٔ پژوهش

مواد و ابزار لازم

۱- نقشهٔ شهر تبریز مورد مطالعه با دقت ۱:۲۰۰۰ ، تهیه‌شده از سازمان فن‌آوری شهرداری تبریز.

۲- لایه‌های مناطق شهرداری تبریز، شیب، ارتفاع، رودخانه‌ها، مسیل‌ها، فضای سبز، کانال‌ها، کاربری اراضی، تراکم جمعیت و ساختمانی از نقشه‌های توپوگرافی سازمان فن‌آوری شهرداری تبریز، معاونت شهرسازی شهرداری تبریز و گروه «GIS» دانشگاه تبریز تهیه شد.

۳- نقشه‌های توپوگرافی منطقهٔ پژوهش در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه‌شده از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

۴- نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که از نقشه‌های مربوط به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی و عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است.

نرم‌افزارهای مورد استفاده

۱- برای انجام عملیات رقومی‌سازی و ویرایش نمودن نقشه‌ها Autodesk Map 2004

۲- برای انجام عملیات پردازش تصویر و ساخت مدل رقومی ارتفاع Envi 7

۳- استفاده از مدل پیشرفته «AHP» برای وزن‌دهی لایه‌ها به کمک نرم‌افزار Expert choice

۴- برای ایجاد و تکمیل پایگاه داده لایه‌ها، ژئورفرنس کردن نقشه‌ها، تعیین سیستم مختصات و سیستم تصویر و اجرای مدل«AHP» برای انجام تحلیل، ارزیابی چندمعیاره در ویرایش، پرسش و تحلیل، ایجاد لایه‌های اطلاعاتی و خلاصه‌سازی و تلفیق لایه‌ها و تهیهٔ نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطر سیل Arc GIS 10.3

روش و مراحل انجام تحقیق

پژوهش حاضر یک تحقیق توصیفی– تحلیلی است. مراحل انجام این تحقیق به‌صورت فلوچارت زیر(شکل۲) می‌باشد. برای هر پژوهشی ضرورت استفاده از یک روش علمی معتبر به‌عنوان فلوچارت و نقشه راه ضروری به‌نظر می‌رسد. در تحلیل‌های سلسله‌مراتبی قدم اول، ساختن سلسله مراتب است. برای این منظور به‌روش میدانی و کتابخانه‌ای اقدام به جمع‌آوری داده‌ها، نقشه‌ها، عکس‌ها و تعیین معیارهای اصلی اولویت‌دار و زیرمعیارهای مربوطه، با استفاده از استانداردهای موجود و نظر متخصصین همچنین آمار رخداد سیل در منطقهٔ مورد مطالعه اقدام شد.



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

برای پهنه‌بندی خطر سیل، در این پژوهش از شش متغیر مؤثر با لایه‌های اطلاعاتی، ۱- شیب ۲- ارتفاع ۳- فاصله از رودخانه‌ها ۴- فاصله از فضای سبز ۵- فاصله از مسیل‌ها ۶- فاصله از کانال‌ها، که از عوامل مؤثر در وقوع سیلاب می‌باشد استفاده شده است. برای ارزیابی خسارت ناشی از سیل نیز از متغیرهای قدمت ابنیه‌های ساختمانی، کیفیت بناها، تراکم ساختمان، تراکم جمعیت، فاصله تا حریم رودخانه‌ها، فضای باز و کاربری اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه، بهره‌گرفته‌ایم. در این پژوهش با توجه به این‌که در تعیین آسیب‌پذیری اراضی شهری در برابر سیل از چندین معیار و زیرمعیار استفاده شده است؛ بنابراین از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره «MCDM» استفاده شد و برای انتخاب بهترین گزینه براساس معیارهای مختلف، از طریق مقایسه زوجی از فرآیند سلسله‌مراتبی «AHP» و یکی از روش‌های پرکاربرد برای رتبه‌بندی و تعیین اهمیت عوامل استفاده شده است. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی «AHP» توسط توماس. ال. ساعتی[1] عراقی‌الاصل در سال ۱۹۷۵معرفی شد. این فرآیند یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است که بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و شامل مراحل زیر است:۱- آماده‌سازی داده‌ها و تشکیل ماتریس ۲- محاسبه وزن نهایی ۳- به‌دست‌آوردن نسبت توافق.

[1] Thomas L . Saaty

هدف این تکنیک وزن‌دهی به شاخص‌ها، همچنین انتخاب بهترین گزینه براساس شاخص‌های مختلف می‌باشد. نقشه و شیب منطقهٔ مورد مطالعه، از نقشهٔ توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ رقومی استخراج شده و برای تهیهٔ نقشه‌های کاربری اراضی و مسیل‌های محدودهٔ مورد مطالعه، از نقشه‌هایی با دقت ۱:۲۰۰۰ استفاده شده و هر یک از کاربری‌ها در محیط «ArcGIS» بر روی نقشه مشخص شد. نقشهٔ تراکم جمعیت و تراکم مسکونی محدوده مطالعاتی و نقشهٔ قدمت بناهای شهر براساس تاریخ صدور پایان‌کار بررسی و نقشه آن در محیط «ArcGIS» تهیه گردید. پس از تعیین فاکتورها از نقشه‌های رقومی موجود، اسناد مکتوب، آمارنامه‌ها و گزارش‌های مختلف برای تهیه نقشه‌ها و اطلاعات مورد نیاز استفاده شد که پس از ویرایش و تعریف روابط توپولوژیک وارد نرم-افزار«ArcGIS» شدند. همچنین برای پهنه‌بندی محدودهٔ خطر از مدل‌های پیشرفته‌ای مانند «AHP» و وزن‌دهی از «SAW» استفاده گردید. پس از تعیین ماتریس و رابطهٔ دو به دو فاکتورها توسط نرم‌افزار «Choice ExPert» مقدار ویژه محاسبه شد. پس از تعیین وزن هر یک از فاکتورها در محیط «ArcGIS» وزن‌های تهیه‌شده را در هر یک از لایه‌هاضرب‌کردیم که به‌این‌ترتیب، نقشهٔ پهنه‌بندی خطر سیل از ترکیب لایه‌ها در محیط «ArcGIS» حاصل‌گردید.

رقومی نمودن نقشه‌ها

جهت رقومی نمودن نقشه‌های موجود از نرم‌افزار «AUTO DESKMAP» استفاده گردید. این نرم‌افزار قابلیت‌های گسترده‌ای جهت رقومی‌نمودن نقشه‌های اسکن‌شده دارد. با توجه به این‌که تحلیل تناسب اراضی، یک مسئلهٔ چندصفته بوده و با استفاده از مدل رستری قابل انجام است، بدین‌منظور نرم‌افزار «ArcGIS» جهت عملیات آنالیز چندصفته انتخاب و سیستم مختصات «UTM» برایشان درنظر گرفته شد. مشخص‌شد کل منطقهٔ مورد مطالعه در زون ۳۸ شمالی قرار دارد. با توجه به اهمیت تحلیل‌های محیطی در محیط رستر، عوارض‌برداری رقومی‌شده به اطلاعات رستری تبدیل شده و در این عملیات، توان تفکیک فضایی اطلاعات ماهواره‌ای مورد استفاده مد نظر قرار گرفته و اندازه پیکسل‌ها برابر ۲۰ در ۲۰ متر تعیین گردیده است.

تشکیل مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با مفروش‌سازی بر روی تصویر ماهواره‌ای

روش‌های مختلفی در تهیه‌وتحلیل داده‌های ارتفاعی وجود دارند. در این تحقیق، مدل رقومی ارتفاع با استفاده از روش شبکه نامنظم مثلثی «TIN» در محیط «ArcGIS» تهیه شده است. «TIN» عوارض سطح زمین را مانند مجموعه‌ای از سطوح مثلثی به‌هم‌پیوسته نمایش می‌دهد. از مزایای مدل «TIN» آن است که اطلاعات اضافی برای نواحی یا عوارض پیچیده کدگذاری می‌شود بدون آن‌که نیازی به جمع‌آوری داده با حجم زیاد برای نواحی با عوارض ساده باشد. چون اندازهٔ هر سطح متغیر می‌باشد، مثلث‌های کوچکتر و در نتیجه با جزئیات بیشتری را می‌توان در جایی که تراکم بیشتر از نقاط داده باشد، ارائه نمود. عوارض دارای شکست در سطح زمین، مانند خط‌الرأس‌ها، خط‌القعر دره‌ها، نقاط مرتفع و گذرگاه‌های زمین را می‌توان به‌دقت با استفاده از تراکم بیشتر نقاط ارتفاعی کدگذاری نمود. در نتیجه این عوارض می‌توانند در «TIN» با دقت و صحت بیشتری نسبت به نمایش سلولی شبکه که در آن عوارض دارای تیزی، هموار شده‌اند کدگذاری می‌شوند. در تحقیق حاضر با توجه به هدف مورد نظر از روش‌های مشروحه«TIN» فوق استفاده شد.

قواعد تصمیم‌گیری

قاعدهٔ تصمیم‌گیری، فضای تصمیم را از طریق ایجاد ارتباط یک‌به‌یک یا یک به چند نتایج یا گزینه‌های تصمیم‌گیری مرتبط می‌سازد. تصمیم‌گیری شامل بیان درست اهداف، تعیین راه‌حل‌های مختلف و ممکن، ارزیابی امکان‌پذیری آنان، ارزیابی عواقب و نتایج ناشی از اجرای هر یک از راه‌حل‌ها و بالاخره انتخاب و اجرای آن می‌باشد. کیفیت مدیریت اساساً تابع کیفیت تصمیم‌گیری است. در اکثر موارد، تصمیم‌گیری‌ها وقتی مطلوب و مورد رضایت تصمیم‌گیرنده است که تصمیم‌گیری براساس چندین معیار مورد بررسی قرار گرفته باشد. معیارها ممکن است کمی یا کیفی باشند. در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره که در دهه‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است به‌جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی، از چندین معیار استفاده می‌شود. تصمیم‌گیری در پروژه‌های محیط زیستی، عملی دشوار و پیچیده است که لزوم تعادل بین عوامل سیاسی اجتماعی، محیط زیستی، اکولوژیک و اقتصادی در این پروژه‌ها، مدیریت و تصمیم‌گیری در این حوزه را دشوارتر می‌سازد. در مدل‌های چند «MCDM»، تعدد معیارها، پیچیدگی داده‌ها و پویایی محیط، از جمله عواملی هستند که مسألهٔ تصمیم‌گیری را به چالشی در دهه‌های اخیر مبدل نموده است (صمدی کوچک‌سرایی و دانه‌کار،۱۴۰۰) قواعد تصمیم‌گیری متعددی در این زمینه وجود دارند که شناخته‌شده‌ترین آن‌ها عبارتند از: روش وزن‌دهی افزودنی ساده، روش‌های تابع مقدار سودمندی، فرآیند سلسله‌مراتب تحلیلی، روش‌های نقطهٔ ایده‌آل و روش‌های مطابقت.

متغیرهای مورد بررسی در قالب یک مدل مفهومی و اندازه‌گیری متغیرها

۶ معیار اصلی به همراه ۵ زیرمعیار برای هر معیار در برابر سیل انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این‌که متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش، شاخص‌های طبیعی مؤثر در مطالعات مخاطرات شهری می‌باشد؛ لذا تعریف صحیح و رده‌بندی متغیرها جهت وزن‌دهی مناسب و انتقال وزن‌های محاسبه‌شده به نرم‌افزار «GIS» و تهیهٔ نقشه‌های تناسب، از ضروریات تعریف متغیرهای مناسب و تاثیرگذار می‌باشد. هر کدام از متغیرهای تعریف‌شده در این پژوهش، به‌عنوان معیار اصلی و هر معیار اصلی به چند زیرمعیار تقسیم می‌گردد که تعریف آن زیرمعیارها باعث افزایش میزان دقت در وزن‌های محاسبه‌شده و نهایتا خروجی بهینهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی مناطق با ریسک خطر بالا می‌باشد.

تجزیه‌وتحلیل‌های مکانی و آماری

این مرحله از تحقیق شامل؛ ورود اطلاعات و رقومی‌سازی نقشه‌ها، تجزیه‌وتحلیل داده‌های آماری، پردازش تصاویر ماهواره‌ای، آنالیز اطلاعات در پایگاه داده و سیستم اطلاعات جغرافیایی و در نهایت انجام تحلیل‌های ارزیابی است.
در آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره «MCDM». دو طیف وسیع از تصمیم‌گیری چندمعیاره قابل تشخیص می‌باشد:
الف- تصمیم‌گیری چندصفته «MCDM». ب- تصمیم‌گیری چندمنظوره «MCDM».
ارزیابی چندمعیاری «MCE»: هدف از انجام تحلیل چندمعیاری، انتخاب بهترین آلترناتیو (بهترین مکان یا پیکسل) بر مبنای رتبه‌بندی آن‌ها از طریق ارزیابی چند معیار اصلی است.

مراحل ارزیابی چندمعیاره

به‌کارگیری روش‌های چندمعیاره مستلزم انجام عملیاتی است که عمده‌ترین آنها، تشکیل ماتریس ارزیابی، استاندارد کردن داده، تعیین وزن عوامل و تحلیل اطلاعات می‌باشد. در این پژوهش جهت ارزیابی چندمعیاری از روابط زیر استفاده شد:

رابطه (۱) $X = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$

رابطه (۲) $X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{1j} & x_{1m} \\ x_{i1} & x_{ij} & x_{im} \\ x_{n1} & x_{nj} & x_{nm} \end{bmatrix}$

استاندارد کردن

برای استاندارد نمودن داده از رابطه زیر استفاده شد:

$$e_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sum_{i=1}^{di} S_{ij}}$$

معمول‌ترین روش استاندارد کردن داده‌ها که در ارزیابی چندمعیاری کاربرد زیادی دارد، استفاده از روش کشش خطی، رابطهٔ زیر می‌باشد که در این پژوهش نیز از آن استفاده شد.

$$e_{ij} = \frac{S_{ij} - MinS_{ij}}{MaxS_{ij} - MinS_{ij}}$$

در مواردی که هدف، دادن نمرات بیشتر به ارزش‌های پایین‌تر از گزینه ۲ باشد، از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود.

$$w_j = \frac{(n - r_j + 1)^p}{\sum (n - rk + 1)^p}$$

تعیین وزن معیار

روش‌های متعددی برای تعیین وزن ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های؛ رتبه‌بندی، نسبت‌دهی و مقایسهٔ زوجی اشاره کرد. در این تحقیق برای وزن‌دهی به معیارها از روش فرآیند تحلیل زوجی استفاده شد.

روش مقایسهٔ زوجی شامل سه مرحله است: ایجاد ماتریس مقایسهٔ زوجی، محاسبهٔ وزن عوامل و تخمین شاخص سازگاری.

جدول۲. اهمیت نسبی معیارها

درجه اهمیت	تعریف
۹	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر ۱۰۰ درصد اهمیت دارد.
۷	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر بسیار مهم است.
۵	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر مهم است.
۳	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر قدری مهم است.
۱	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر با متغیر ستون از نظر اهمیت مساوی است.
۱/۳	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر قدری کم اهمیت است.
۱/۵	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر کم اهمیت است.
۱/۷	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر بسیار کم اهمیت است.
۱/۹	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر ۱۰۰ درصد بی‌اهمیت است.

(منبع:Saaty, 1980: 34)

ایجاد ماتریس مقایسهٔ دوتایی

این روش، مقیاسی اساسی را با مقادیری از ۱ تا ۹ برای تعیین میزان اولویت‌های نسبی دو معیار به‌کار می‌گیرد (جدول۲) ابتدا فرض می‌کنیم که ماتریس مقایسه دو طرفه باشد؛ یعنی اگر معیار A دو برابر معیار B ارجحیت داشته باشد. معیار B به اندازه نصف معیار A ارجح است؛ بنابراین اگر معیار A به امتیازی برابر ۲ نسبت به معیار B برسد، معیار B در مقایسه با A معادل ۰/۵ خواهد گرفت. این منطق برای کلیهٔ گوشه‌های چپ پایینی ماتریس مقایسه‌های دوتایی، به‌کار گرفته می‌شود و بدین‌ترتیب جدول تکمیل خواهد شد. مقیاس هر معیار با خودش امتیاز ۱ را منجر می‌شود (ارجحی معادل)؛ بنابراین عدد ۱ در قطر اصلی ماتریس منظور می‌شود.

محاسبهٔ وزن‌های معیار

این مرحله شامل مراحل زیر است:

۱) جمع‌کردن مقادیر هر ستون ماتریس مقایسهٔ دوتایی.

۲) تقسیم‌نمودن‌هرمؤلفهٔماتریس بر مجموع ستونش (ماتریس حاصل "ماتریس مقایسه دوتایی نرمال‌شده" نام دارد).

۳) محاسبهٔ میانگین مؤلفه‌ها در هر ردیف از ماتریس نرمال‌شده؛ یعنی تقسیم‌کردن مجموع امتیازات نرمال‌شده برای هر ردیف بر تعداد معیارها. این میانگین‌ها تخمینی از وزن نسبی معیارهای مقایسه‌شونده را ایجاد می‌کند.

تخمین نسبت توافق

در این مرحله، تعیین می‌شود که مقایسه‌های انجام‌شده سازگار هستند یا نه؟ این مرحله شامل عملیات زیر است: تعیین بردار مجموع وزنی به‌وسیلهٔ ضرب‌کردن وزن اولین معیار در اولین ستون ماتریس مقایسهٔ دوتایی اصلی، سپس ضرب دومین معیار در دومین ستون، سومین معیار در سومین ستون ماتریس اصلی، درآخر جمع‌نمودن این مقادیر در سطرها.

استفاده از روش «AHP»

انتخاب سنجه‌ها یا «criterion»، بخش اول واکاوی «AHP» است، سپس براساس سنجه‌های شناسایی‌شده نامزدها ارزیابی می‌شوند. علت سلسله‌مراتبی خواندن این روش آن است که ابتدا باید از اهداف و راهبردهای سازمان در راس هرم آغاز کرد و با گسترش آن‌ها سنجه‌ها را شناسایی نمود تا به پایین هرم برسیم. این روش یکی از روش‌های پرکاربرد برای رتبه‌بندی و تعیین اهمیت عوامل است که با استفاده از مقایسهٔ زوجی گزینه‌ها، به اولویت‌بندی هر یک از معیارها پرداخته می‌شود. چنان‌چه گزینه‌ها زیاد باشد، تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی کار دشواری است. هدف تکنیک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، انتخاب بهترین گزینه براساس معیارهای مختلف از طریق مقایسهٔ زوجی است. این تکنیک برای وزن‌دهی به معیارها نیز استفاده می‌شود چون افزایش تعداد عناصر هر خوشه، مقایسهٔ زوجی را دشوار می‌کند؛ بنابراین معمولاً معیارهای تصمیم‌گیری را به زیرمعیارهایی تقسیم می‌کنند. فرآیند تحلیل سلسله-مراتبی «AHP» شامل مراحل زیر است:

۱- آماده‌سازی داده‌ها و تشکیل ماتریس.

۲- محاسبهٔ وزن نهایی: اعداد هر کدام از ستون‌ها و ردیف‌ها در هم ضرب می‌شوند و سپس حاصل‌ضرب وزن‌ها به توان N۱ م می‌رسد و برای محاسبهٔ وزن نهایی معیارها، وزن‌های نرمال‌نشده هر ردیف را به مجموعهٔ کل وزن‌های نرمال‌نشده تقسیم می‌کنیم. مجموع کل وزن‌ها باید برابر ۱ باشد.

۳- به‌دست‌آوردن نسبت توافق که خود دارای چهار مرحله است:

محاسبه AW : که برای تعیین مقدار بردار باید هر کدام از وزن‌ها به مقدار وزن معیار ضرب شوند.

محاسبه بردار توافق $L=\frac{1}{N}\left[\sum_{I=1}^{N}\left(\frac{AW}{WI}\right)\right]$ محاسبه شاخص سازگاری $Ci=\frac{L-n}{n-1}$ محاسبه ضریب سازگاری

$$CR=\frac{Ci}{Ri}$$

مقدار ضریب سازگاری همواره باید کمتر از ۰/۱ باشد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۷۸).

سازگاری در قضاوت‌ها

تقریباً تمامی محاسبات مربوط به فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، بر اساس قضاوت اولیهٔ تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هرگونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها نتیجه نهایی به‌دست‌آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد. نرخ ناسازگاری، وسیله‌ای است که سازگاری را مشخص ساخته و نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسه‌های عددی اعتماد کرد. شاید مقایسه دو گزینه امری ساده باشد اما وقتی‌که تعداد مقایسه‌ها افزایش یابد، اطمینان از سازگاری مقایسه‌ها به‌راحتی میسر نبوده و باید با به‌کارگیری نرخ سازگاری به این اعتماد دست یافت. اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱۰ باشد سازگاری مقایسه‌ها قابل قبول بوده و در غیر این‌صورت، مقایسه‌ها باید تجدید نظر شود. قدم‌های زیر برای محاسبهٔ نرخ ناسازگاری به‌کار گرفته می‌شود:

۱- محاسبهٔ بردار مجموع وزنی: ماتریس مقایسه‌های زوجی در بردار ستونی «وزن نسبی» ضرب شد و بردار مجموع وزنی به‌دست آمد.

۲- محاسبه بردار سازگاری: عناصر بردار مجموع وزنی را بر بردار اولویت نسبی تقسیم کردیم، بردار سازگاری به‌دست آمد.

۳- به‌دست‌آوردن Lmax، میانگین عناصر برداری سازگاری Lmax را به‌دست می‌دهد.

۴- محاسبه شاخص سازگاری: CI=(Lmax-n)/(n-1) که n عبارتست از تعداد معیارهای موجود در مسئله.

۵- محاسبه نسبت سازگاری: نسبت سازگاری از تقسیم شاخص سازگاری بر شاخص تصادفی به‌دست آمد. CR=CI/RI نسبت سازگاری ۰،۱ یا کمتر سازگاری در مقایسه‌ها را بیان می‌کند. شاخص تصادفی از جدول زیر (جدول۳) استخراج شد.

جدول ۳. شاخص سازگاری تصادفی (RI)

n	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RI	۰	۰،۵۸	۰،۹	۱،۱۲	۱،۲۴	۱،۳۲	۱،۴۱	۱،۴۵	۱،۴۹	۱،۵۱	۱،۴۸	۱،۵۶	۱،۵۷	۱،۵۹

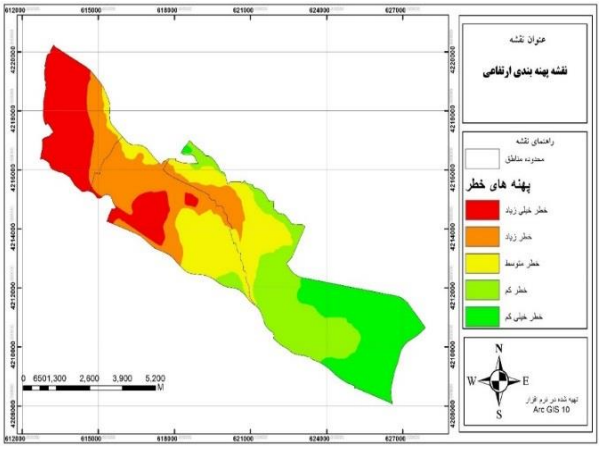
(منبع: Saaty, 1980: 34)

بررسی میزان آسیب‌پذیری مناطق مورد مطالعه در برابر سیل

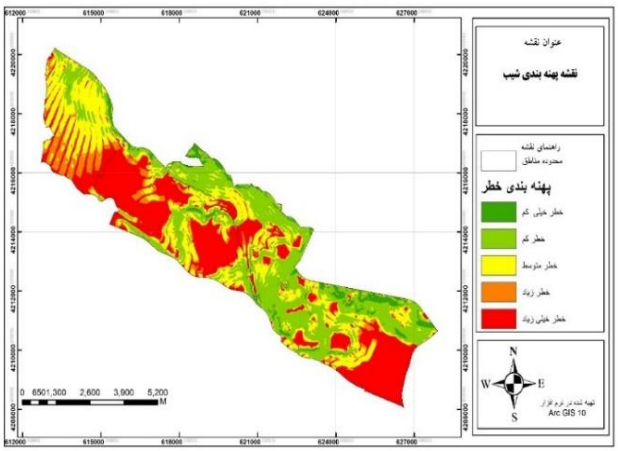
برای بررسی میزان آسیب‌پذیری نقاط مختلف مناطق مورد مطالعه در برابر سیل، ابتدا هر یک از معیارها و زیرمعیارهای تعیین‌شده بر اساس روش «AHP» وزن‌دهی شده و بر اساس وزن به‌دست‌آمده در سیستم اطلاعات جغرافیایی «GIS» به پنج گروه آسیب‌پذیری خیلی‌زیاد تا آسیب‌پذیری خیلی‌کم دسته‌بندی شد.

یافته های پژوهش

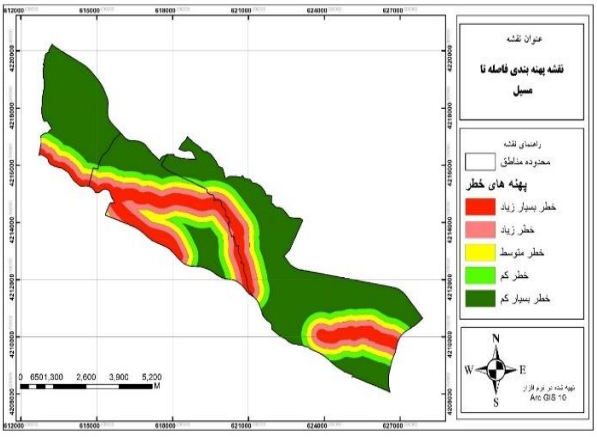
نقشه‌های وزن نسبی هر یک از معیارها (ارتفاع، شیب، فاصله تا مسیل، فاصله تا رودخانه، فاصله تا کانال‌ها و فاصله از فضای سبز) و زیرمعیارهای تعیین‌شده براساس میزان آسیب‌پذیری اراضی محدودهٔ مورد مطالعه مشخص شد. (اشکال ۳تا۸)



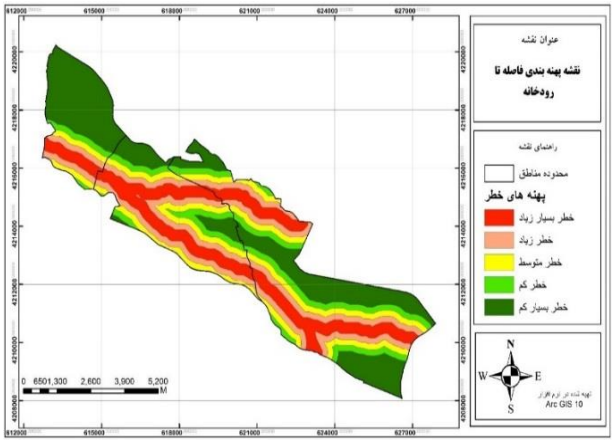
شکل۳) نقشه آسیب‌پذیری در برابر سیل در معیار ارتفاع (منبع نگارندگان)



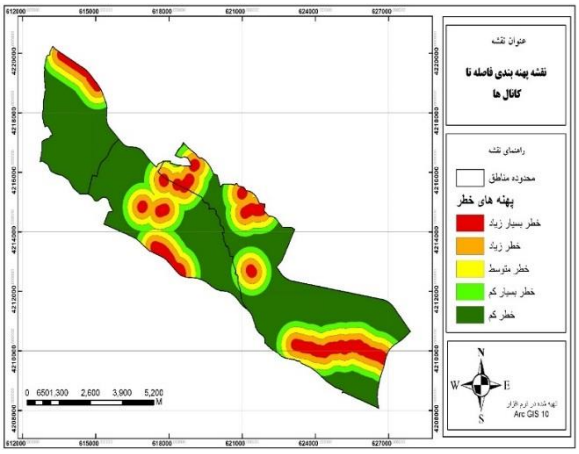
شکل۴) نقشه آسیب‌پذیری در برابر سیل در معیار شیب (منبع نگارندگان)



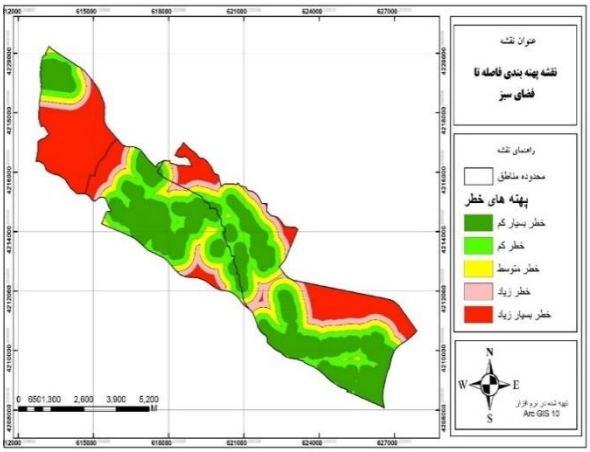
شکل۵) نقشه آسیب پذیری در برابر سیل در معیار فاصله تا مسیل (منبع نگارندگان)



شکل۶) نقشه آسیب پذیری در برابر سیل معیار فاصله تا رودخانه (منبع نگارندگان)



شکل۷) نقشهٔ آسیب‌پذیری در معیار فاصله تا کانال‌ها (منبع نگارندگان)



شکل۸) نقشهٔ آسیب‌پذیری در معیار فاصله از فضای سبز (منبع نگارندگان)

وزن‌دهی و تلفیق لایه‌ها

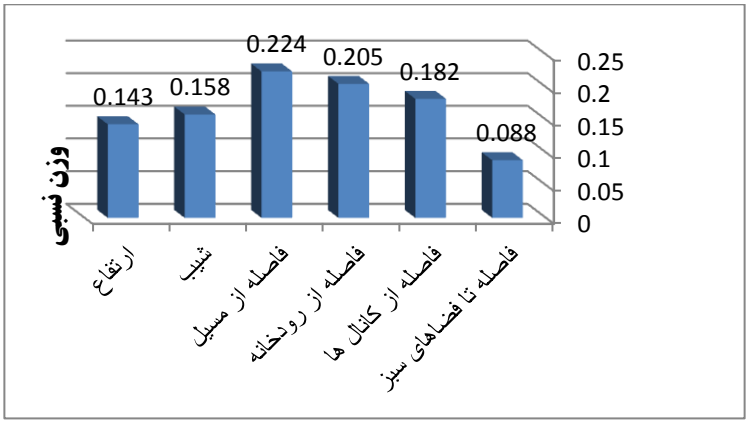
با ارائهٔ پرسش‌نامه به کارشناسان خبره، فاکتورهای تعیین‌شده در این پژوهش، مقایسه و شدت اهمیت آن‌ها از ۱ تا ۹ ارزش‌گذاری شد به‌طوری‌که ارزش ۱ بیان‌کنندهٔ اهمیت برابری دو فاکتور و عدد ۹ نشان‌دهندهٔ اهمیت بسیار بالای یک فاکتور در مقایسه با فاکتور دیگر می‌باشد (جدول۵). بعد از جمع‌آوری نظر کارشناسان، همهٔ فاکتورها و معیارها با استفاده از نرم‌افزار «Expert choice» دو به دو با هم مقایسه و در ماتریس وزن قرار گرفت. نتیجهٔ این عملیات به‌صورت نمودار (شکل۹) نمایش داده شد.

جدول۵) اعداد مقایسه دو به دو فاکتورها

شدت اهمیت	تعریف
۱	اهمیت برابر
۲	اهمیت برابر تا اهمیت متوسط
۳	اهمیت متوسط
۴	اهمیت متوسط تا اهمیت قوی
۵	اهمیت قوی
۶	اهمیت قوی تا اهمیت خیلی‌قوی
۷	اهمیت خیلی‌قوی
۸	اهمیت خیلی‌قوی تا فوق‌العاده‌قوی
۹	اهمیت فوق‌العاده‌قوی

(منبع: مالچفسکی[17]، ۱۳۸۵: ۳۱۵-۳۱۴)

17. Malchevski jacek



شکل۹. وزن نسبی فاکتورها با نرم‌افزار«Expert choice»

(منبع نگارندگان، ۱۴۰۲)

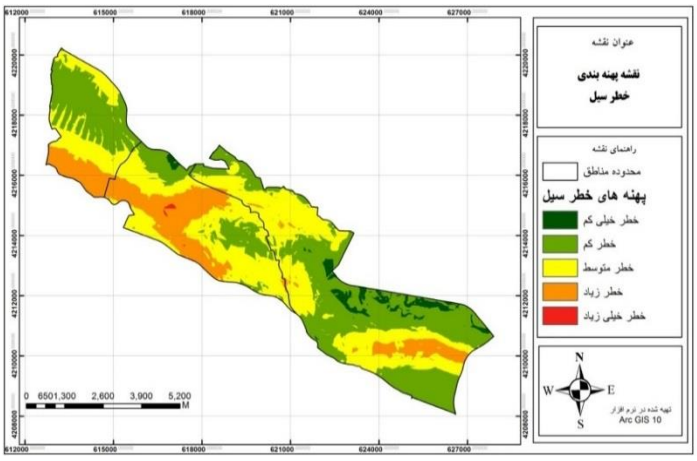
پهنه‌بندی نهایی خطر سیل در محدودهٔ پژوهش

در این مرحله از پژوهش، برای پهنه‌بندی و تهیهٔ نقشهٔ خطر سیل در اراضی مناطق(۱، ۵ و۱۰) کلان‌شهر تبریز، نقشه‌های به‌دست‌آمده از بررسی لایه‌های مؤثر در خطر سیل مجددا در محیط «Arc GIS» تلفیق شده و وزن نهایی لایه‌ها (شکل۱۰) و نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطر سیل(شکل۱۱) در محدودهٔ پژوهش تولید شد.



شکل ۱۰) وزن نهایی لایه‌ها برای پهنه‌بندی سیل با نرم‌افزار Expert Choice

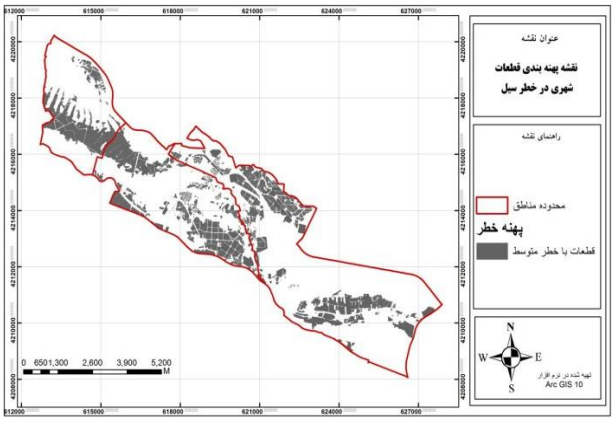
(منبع نگارندگان)



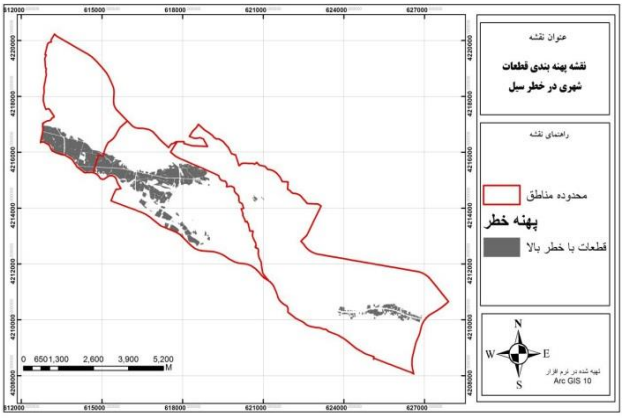
شکل ۱۱) نقشهٔ پهنه‌بندی خطر سیل در اراضی مناطق ۱و۵ و۱۰ شهر تبریز

(منبع نگارندگان)

رنگ سبز، نقاط با ریسک خطر سیل خیلی‌کم و رنگ قرمز، نقاط با خطر ریسک خیلی‌زیاد در نقشهٔ محدودهٔ پژوهش را نشان می‌دهد. نقشهٔ پهنه‌بندی تهیه‌شده نشان می‌دهد که حدودا ۱ درصد از اراضی مناطق۱،۵ و ۱۰ شهر تبریز در پهنه‌بندی خطر خیلی‌زیاد، ۱۷ درصد در پهنه‌بندی خطر زیاد، ۳۹ درصد در پهنه خطر متوسط، ۴۰ درصد در پهنه کم‌خطر و ۳ درصد در پهنه خطر خیلی‌کم از لحاظ سیل‌گیری قرار دارند. در گام آخر نقشهٔ پهنه‌بندی خطر سیل را با نقشه کاربری اراضی بر روی بلوک‌های تراکم ساختمانی تلفیق نموده و نقشه‌ای جدید با پهنه‌بندی خطر سیل در بلوک‌های تراکم ساختمانی منطقهٔ مورد پژوهش(شکل۱۲و۱۳) ایجاد گردید.



شکل ۱۲)پهنه‌بندی قطعات شهری در خطر سیل با ریسک متوسط (منبع نگارندگان)



شکل ۱۳)پهنه‌بندی قطعات شهری در خطر سیل با ریسک خطر بالا (منبع نگارندگان)

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی آسیب‌پذیری اراضی شهری مناطق ۱، ۵ و ۱۰ شهر تبریز در برابر سیل با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ «MCDM» و وزن‌دهی بر اساس روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی«AHP» پرداخته و با استفاده از قابلیت‌های تحلیل مکانی «Arc GIS» اقدام به تولید نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطر سیل و عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی در مناطق۱، ۵ و ۱۰ تبریز نموده است. در این راستا، با انتخاب ۶ متغیر تاثیرگذار به‌همراه زیرمتغیرهای مربوطه، اقدام به بررسی و پهنه‌بندی اراضی مناطق ۱ و ۵ و ۱۰ شهرداری تبریز شد. لایه‌ها در پنج واحد نرمال از ۱ تا ۵ کلاس‌بندی شدند که عدد ۱ نشانهٔ کمترین احتمال خطر و عدد ۵ به‌معنای بیشترین احتمال خطر وقوع سیل می‌باشد. سپس با استفاده از روش «AHP» وزن نسبی لایه‌های مذکور به‌صورت جداگانه محاسبه و نقشهٔ پهنه‌بندی هر یک از آن‌ها به‌صورت مجزا استخراج گردید که در تحقیق حاضر نیز در نقشه‌های پهنه‌بندی، هر لایه با رنگ‌های مختلف مشخص شده است. روش‌های متعددی برای تعیین وزن، ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های؛ رتبه‌بندی، نسبت‌دهی و مقایسهٔ زوجی اشاره کرد. در این تحقیق برای وزن‌دهی به معیارها از روش فرآیند تحلیل زوجی استفاده شد. این روش و نتایج به‌دست‌آمده با روش و نتایج پژوهش موسوی‌نسب و همکاران(۱۴۰۳)، محمددوست و همکاران(۱۴۰۳)، وجدانی‌نوذر و همکاران(۱۴۰۲)، قنبری و همکاران(۱۴۰۲)، زارعی و کشاورز(۱۴۰۳) همسو است و مطابقت دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ۱ درصد از اراضی مناطق مذکور در پهنه‌بندی خطر آسیب‌پذیری خیلی‌زیاد، ۱۷ درصد خطر زیاد، ۳۰ درصد خطر متوسط، ۴۰ درصد در پهنهٔ کم‌خطر و ۳ درصد در پهنهٔ خطر خیلی‌کم از لحاظ سیل‌گیری قرار دارند. با استفاده از نقشهٔ پهنه‌بندی نهایی و

نقشهٔ پهنه‌بندی قطعات شهری، ضمن شناسایی نقاط امن و آسیب‌پذیر اراضی مناطق۱، ۵ و۱۰ شهرداری تبریز به هنگام وقوع سیل، راه‌کارهای مناسب مدیریتی برای برنامه‌ریزی صحیح و آمادگی لازم برای مقابله با سیل در نقاط آسیب‌پذیر محدودهٔ مورد مطالعه به‌همراه پیش‌بینی دامنهٔ خسارات ناشی از وقوع سیل و راه‌کارهای کاهش خسارات و تعدیل آسیب‌های ناشی از وقوع آن در محدودهٔ مورد مطالعه بیان شد. نتایج تحقیق حاضر و نقشه نهایی پهنه-بندی اراضی شهری واقع در مناطق ۱، ۵ و ۱۰ کلان‌شهر تبریز، بر اساس میزان آسیب‌پذیری در برابر سیل نشانگر وجود کانال‌ها، رودخانه و مسیل‌ها به‌همراه کاهش ارتفاع و شیب در قسمت جنوب و جنوب غربی منطقه، همچنین وجود ارتفاعات در شمال محدودهٔ مورد مطالعه، اراضی این مناطق را جزء اراضی آسیب‌پذیر در سیل قرار داده است؛ از این‌رو اثبات می‌شود که اغلب سکونتگاه‌های شهری آسیب‌پذیر از سیل(۱۸ درصد) در جهت جنوب و جنوب غربی اراضی شمالی شهر تبریز متراکم می‌باشند.

۱- حدود ۱۸درصد محدودهٔ مورد مطالعه در معرض خطر جدی سیل قرار گرفته و ضرورت اتخاذ تدابیر لازم برای جلوگیری از خسارات جانی، مالی و اجتماعی در این نقاط را ایجاب می‌کند.

۲- در قسمت‌های شمالی محدودهٔ مورد مطالعه، با توجه به ارتفاع بالا و شیب زیاد به علت منتهی بودن به کوه‌های «عون ابن علی»، جهت جلوگیری از جاری‌شدن گل‌ولای در معابر شهری و نفوذ آن به داخل کاربری‌های مختلف و جلوگیری از خسارات در بارش‌های زیاد، ضرورت ایجاد سیل‌بند در محل‌های مورد نیاز، مانند انتهای خیابان یوسف‌آباد و خیابان شهید بهشتی در منطقه یک، انتهای خیابان ولی امر در منطقه پنج و خیابان‌های رضوان و بهشت در منطقه ده آشکار می‌شود.

۳- لایروبی‌مداوم و مستمر میدان‌چایی و مهران‌چایی و سایرکانال‌ها و مسیل‌های‌واقع‌در محدوده خطر.

۴- جلوگیری از ساخت‌وساز غیر مجاز و جلوگیری از گسترش شهر در حریم رودخانه میدان‌چای و مهران‌چای.

۵- افزایش پوشش گیاهی منطبق بر اقلیم محدودهٔ مورد مطالعه در مناطقی که ریسک بالای وقوع سیلاب در آن‌ها مشخص شده و جلوگیری از تغیر کاربری این نوع اراضی.

۶- عدم صدور پروانهٔ ساختمانی برای درخواست زیر زمین در قسمتهای جنوب و جنوب غربی محدودهٔ مورد مطالعه که ارتفاع متغیر و شیب زیاد دارند.

۷- استقرار آتش‌نشانی،مراکز امدادونجات و ماشین‌آلات‌لازم در قسمت‌های‌جنوب‌وجنوب غربی‌محدودهٔ‌مورد مطالعه.

۸-کاربری‌های‌آسیب‌پذیر از محل‌های‌خطر سیلاب برچیده و یا به محل‌های‌مناسب‌محدودهٔ موردمطالعه‌منتقل گردد.

۹- فراهم‌آوردن تسهیلات لازم و تشویقی برای بازآفرینی شهری و بازسازی و مقاوم‌سازی بافت فرسوده شهری واقع در اراضی با ریسک آسیب‌پذیری زیاد در محدودهٔ مورد مطالعه.

۱۰- جلوگیری از انباشت و دپو نخاله در مسیر مهران چایی و میدان چایی.

۱۱- اصلاح سیستم فاضلاب شهری و عدم استفاده از آن برای دفع سیلاب و اتخاذ تدابیر لازم برای دفع آب‌های سطحی در کل محدودهٔ مورد مطالعه.

۱۲- ارائهٔ آموزش‌های لازم به شهروندان محدودهٔ مورد مطالعه درخصوص سیل و راه‌کارهای مقابله با آن.

۱۳- پیش‌بینی به موقع خطر سیل و ایجاد سیستم‌های هشدار شهری و همگانی در مناطق مورد مطالعه.

۱۴- نظارت و ارزیابی مستمر بر اقدامات انجام‌گرفته و برنامه‌های مربوطه.

منابع

جلیلی صدرآباد، سمانه؛ ضابطیان طرقی، الهام و مرادی، پگاه. (۱۴۰۲). تاب آوری در برابر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی در طرح های توسعه، نشریه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، دوره ۱۳ شماره ۱، صص، ۳۵-۴۹.

https://dpmk.ir/browse.php?a_code=A-10-617-1&sid=1&slc_lang=fa

رباطی، مریم؛ کریمی صارمی، سارگل؛ منوری، سیدمسعود.(۱۴۰۲). ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری در معرض مخاطرات طبیعی سیل و زلزله با استفاده از روشIHWP ، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، سازمان جغرافیایی، دوره ۳۲، شماره ۱۲۶، صص ۱۵۳-۱۷۰.

https://www.sepehr.org/article_705645.html

رئیسی، احمد؛ محبی، مجید؛ میرغفاری، الهام؛ سرگزی، روح اله و گلی، سمانه. (۱۴۰۱). پهنه بندی خطر سیلاب شهرستان چابهار با استفاده از مدل فازی درGIS ، اولین کنفرانس رویداد مدیریت بحران ایران قوی.

زارعی، سعید؛ کشاورز، سعیده.(۱۴۰۳). پهنه‌بندی خطر سیل در مناطق خشک با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY در شهرستان دشتی، جنوب ایران، فصلنامه خشک بوم، دانشگاه یزد، دوره ۱۴، شماره۱، صص۴۷-۶۰.

https://aridbiom.yazd.ac.ir/article_3438.html?lang=fa

سامی، ابراهیم و عبادی، مریم. (۱۴۰۳). پهنه بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از تحلیل شبکه ی (ANP) و منطق فازی، مطالعه موردی: شهر مراغه، فصلنامه پژوهش های بوم شناسی شهری، دانشگاه پیام نور، دوره ۱۵، شماره ۱، صص ۱۷۱-۱۸۶.

https://grup.journals.pnu.ac.ir/article_10668.html

صمدی کوچکسرائی، بهاره؛ دانه‌کار، افشین. (۱۴۰۰). مروری بر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مطالعات محیط زیست، فصلنامه انسان و محیط زیست، انجمن متخصصان محیط زیست ایران، دوره ۱۹، شماره ۲، صص ۱۰۶-۱۲۴.

https://www.sid.ir/paper/1042256/fa

طوسی اردکانی، آلاله؛ گلکار، کورش و فلاحی، علیرضا.(۱۴۰۳). نقش طراحی شهری سازگار با سیل از منظر بهبود ادراک خطرپذیری (یک مرور نظام مند بین رشته ای، فصلنامه منظر، پژوهشکدهٔ هنر، معماری و شهرسازی نظر، دوره۱۶، شماره۶۶، صص،۳۲-۴۳.
https://www.manzar-sj.com/article_183999.html

عابدینی، موسی؛ نظافت، بهروز؛ پاسبان، امیر حسام. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در رودخانه بالیخلی‌چای با دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS. نشریه فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، دوره ۲۴، شماره ۸۶، صص۱-۲۳.

http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-4021-fa.html

قنبری، ابوالفضل؛ امیریان، سهراب؛ امیریان، یوسف. (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه بندی خطر سیالب در شهرستان کرمانشاه، کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم محیطی، دانشگاه تبریز، دوره ۳، شماره ۹، صص ۱۰۵-۱۳۱.

https://journals.tabrizu.ac.ir/article_18315.html

محمد دوست، عادل و شمس‌نیا، سیدامیر. (۱۴۰۲). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق سیل خیز با استفاده از GIS – AHP (مطالعه موردی شهرستان دیر، استان بوشهر)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، دوره ۱۲، شماره ۴۷، صص. ۱۵۲-۱۶۷.

https://journals.iau.ir/article_702170.html

موسوی نسب، سید جهانگیر؛ ملک‌حسینی، عباس و شمس، مجید. (۱۴۰۳). تحلیل و پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطرات طبیعی مطالعه موردی: شهر ایلام، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دانشگاه گلستان، دوره ۱۴، شماره۲، صص ۱-۲۲.

https://gps.gu.ac.ir/article_200773.html

میهن پرست، انیسه. (۱۳۹۸). برآورد و پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیل‌گیری در حوضه آبریز کن تهران با استفاده از مدل تصمیم‌گیری فازی، مجله کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، دوره ۱۰، شماره ۳، صص، ۱۰۶-۱۱۸ .

https://sanad.iau.ir/Journal/gisrs/Article/934712

وجدانی نوذر، علی؛ گیوه چی، سعید. (۱۴۰۲). ارائه مدل ارزیابی خطر سیل در استان همدان به منظور رده بندی آسیب پذیری و پیامدهای‌محتمل در مراکز جمعیتی، مجله مسکن و محیط روستا، پژوهشکده سوانح طبیعی، دوره ۴۲، شماره ۱۸۱، صص ۱۱۹-۱۳۲.

https://jhre.ir/browse.php?a_id=2339&sid=1&slc_lang=fa&ftxt=0

ولی زاده کامران، خلیل؛ دلیرحسن نیا، رضا؛ آذری آمقانی، خدیجه. (۱۳۹۸). پهنه بندی سیلاب و تأثیر آن بر کاربری اراضی محیط پیرامونی با استفاده از تصاویر پهپاد و سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، دوره ۱۰، شماره ۳، صص، ۵۹-۷۵.

https://journals.iau.ir/article_668470.html

هدایتی دزفولی، اکرم؛ قصابی، زهرا. (۱۴۰۳). بررسی سیل استان گلستان از دیدگاه همدیدی و آماری (مطالعه موردی: اسفند ۱۳۹۷)، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، دوره ۲۴، شماره ۷۳، صص،۲۱۰-۲۳۳.

https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_id=3802&sid=1&slc_lang=fa

References

Adil Akallouch, Ayoub Al Mashoudi, Mouloud Ziani & Rachid Elhani. 2024 " GIS Application in Urban Flood Risk Analysis: Midar as a Case Study " Open Journal of Ecology, Volume14, Number 2,125-148

Aidi Huo, Muhammad Ibrahim, Waheed Ullah, Safi Ullah, Adnan Ahmad, Fangqian Zhong.. "Flood vulnerability assessment in the flood prone area of Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan" , ORIGINAL RESEARCH article. Front. Environ. Sci., 19 January 2024. Volume 12.

https://www.researchgate.net/publication/377814547_Flood_vulnerability_assessment_in_the_flood_prone_area_of_Khyber_Pakhtunkhwa_Pakistan

D.J. Wagenaar, R.J. Dahm, F.L.M. Diermanse, W.P.S. Dias, D.M.S.S. Dissanayake, H.P. Vajja, J.C. Gehrels, L.M. Bouwer.2019. " Evaluating adaptation measures for reducing flood risk: A case study in the city of Colombo, Sri Lanka", International Journal of Disaster Risk Reduction, 37 ,10.

Hualin Li, Shouhong Zhang, Jianjun Zhang, Wenlong Zhang & Zhuoyuan Song. 2023 framework for identifying priority areas through integrated eco-environmental risk assessment for a holistic watershed management approach", Journal of Ecological Indicators,volom146.

https://doaj.org/article/d7beba62a7b24605b00747289b111ddd

Istak Ahmed , Nibedita Das(Pan) , Jatan Debnath , Moujuri Bhowmik , Shaswati Bhattacharje,2024 "Flood hazard zonation using GIS-based multi-parametric Analytical Hierarchy Process" Journal of geosystems-and-geoenvironment, vol 3, issue2 .

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772883823000730

Prasoon Singh, Vinay Shankar Prasad Sinha, Ayushi Vijhani, Neha Pahuja. 2018. " Vulnerability assessment of urban road network from urban flood", International Journal of Disaster Risk R, Volume 28, June 2018, Pages 237-250.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420918303261

R. Berndtsson, P. Becker, A. Persson, H. Aspegren, S. Haghighatafshar, K. JönssonR.Larsson, S. Mobini, M. Mottaghi, J. Nilsson, J. Nordström, P. Pilesjö, M. Scholz,C.Sternudd, J. Sörensen, K. Tussupova. 2019. " Drivers of changing urban flood risk: A framework for action" , Journal of Environmental Management 240,47–56.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719303974

Saaty,T.1980." the analytical hierarchical process: planning ,priority setting resource allocation" .NEW YORK .Mc Graw – Hill.

Wenyan Pan, Mengwei Yan, Zhikun Zhao & Muhammad Awais Gulzar. 2022 " Flood Risk Assessment and Management in Urban Communities: The Case of Communities in Wuhan" Journal of Land, volom 12, issue 1, 1-14.

Yared Abayneh Abebe, Ghorbani, Igor Nikolic, Zoran Vojinovic, Arlex Sanchez.2019. " A coupled flood-agent-institution modelling (CLAIM) framework for urban flood rismanagement", nvironmental Modelling and Software 111,483–492.