

Flood Risk Zoning in Torbat-e Heydarieh Using Fuzzy Logic

Sanaz Saeedi Mofrad^{1✉}, Mehdi Asiaei², Fatemeh Goharkhah³

1. Assistant Professor of Urbanism, Islamic Azad University, Mashhad, Mashhad, Iran

✉ E-mail: Saeedi.s@mshdiau.ac.ir

2. Ph.D Student of Geography and Urban Planning, University of Tehran, Iran

E-mail: Asiaei.mehdi@ut.ac.ir

3. Ph.D Student of Geography and Urban Planning, University of Tehran, Iran

E-mail: Goharkhah@ut.ac.ir



How to Cite: Saeedi Mofrad, S; Asiaei, M; & Goharkhah, F. (2022). Flood Risk Zoning in Torbat-e Heydarieh Using Fuzzy Logic. *Geography and Development*, 20 (66), 81-106.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2022.6714>

Received:

22 February 2021

Received in revised form:

14 September 2021

Accepted :

20 October 2021

Published online:

15 January 2022

ABSTRACT

Awareness of the occurrence of natural hazards is very important for urban planning and development. One of the most important natural hazards is floods, which will cause damage if they occur. One of the ways to deal with flood zoning is flood potential. The present study was conducted with the aim of zoning the risk of floods in Torbat Heydariyeh city with emphasis on urban and rural areas in 2020. This research is an applied type in which fuzzy logic, AHP hierarchical analysis and GIS are used. In this study, eight criteria of slope, distance from the river, altitude, geology, land use, rainfall, drainage density and vegetation have been studied. To flood risk zoning, first the selected layers are rasterized in GIS Arc environment and then using layer membership functions, fuzzy and finally fuzzy maps of the layers are obtained. Then, with the help of Excel software, the process of pairwise comparison of the criteria with each other is performed and then the final weight of the criteria is combined with fuzzy layers and finally the obtained maps are matched with fuzzy operators and the zoning map is extracted. The results show that the main and effective variables in causing floods in the study area are slope with a weight coefficient of 0.306 and precipitation with a weight coefficient of 0.175. However, vegetation variable with a weight coefficient of 0.040 had the least effect in the study area. Therefore, according to the flood risk classification map, Torbat-e Heydarieh city is in a very high risk area, so it is important to carry out watershed management operations at the city level. It should also be noted that the city of Torbat-e Heydarieh is in a very low risk area and in terms of rural settlements, most of the settlements in this city are in a zone with high and very low risk of vulnerability.

Keywords:

Natural hazards,
Vulnerability,
Hierarchical analysis.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

1. Introduction

In the first six months of 2020, at least 207 natural disasters were recorded worldwide, according to the Center for Aon Studies. According to international statistics, in 2019, at least 27% of the risks occurred in the field of natural disasters. In the first half of 2020, the damage caused by natural hazards worldwide is estimated at \$ 75 billion. One of the most important natural hazards is floods, which can cause a lot of damage if they occur. Flood is a

sudden event in which several factors are involved, these factors can be summarized in three main groups of climate, regional characteristics and human activities. It should be noted that land use changes, urbanization, unprincipled constructions, old sewage system and development of impermeable lands in urban areas that are due to human activities also have an important impact on the occurrence of this disaster.

One of the most important ways to identify areas prone to this natural hazard is to zoning areas prone

to flooding. Therefore, in one definition, it can be said that flood zoning potential zoning is the determination and description of areas with potential in terms of surface runoff, which is based on the characteristics of the areas. Therefore, one of the ways to manage flood zoning is its potential occurrence. Iran is one of the most vulnerable countries to natural hazards due to its natural characteristics. Therefore, it is important to know the effective factors in natural hazards and the resulting damages. Khorasan Razavi province, as one of the most important provinces of the country, is affected by these dangers every year, which unfortunately leads to many damages. Therefore, paying attention to the vulnerability of the cities of this province, especially the city of Torbat-e Heydarieh, is considered important. Therefore, this present study has been conducted with the aim of zoning the risk of floods in Torbat-e Heydariyeh city with emphasis on urban and rural areas in 2021.

2. Methods and Material

This research is an applied type in which fuzzy logic, AHP hierarchical analysis and GIS are used. In this study, eight criteria of slope, distance from river, altitude, geology, land use, rainfall, drainage density and vegetation have been studied. In this research, to zoning the risk of floods, first the selected layers are rasterized in GIS Arc environment and then using membership functions, fuzzy and finally fuzzy maps of the layers are obtained. With the help of Excel software, the process of pairwise comparison of the criteria with each other is performed and then the final weight of the criteria is combined with fuzzy layers and finally the obtained maps are matched with fuzzy operators and the zoning map is extracted.

3. Results and Discussion

In zoning the risk of floods, first, the effective criteria in the study area should be identified, and the importance of each should be measured and evaluated. Therefore, according to the limitations and past experiences, eight criteria of slope, distance from the river, altitude, geology, land use,

rainfall, drainage density and vegetation have been studied. First, the desired layers are fuzzy in Arc-Gis environment and in the next step, fuzzy membership of the studied criteria is performed and then pairwise comparisons of the criteria and sub-criteria are performed using the opinion of experts. These pairwise comparisons, described by linguistic variables, are expressed by triangular fuzzy numbers that serve as input to the fuzzy hierarchy analysis model. Based on this method, the final weight of criteria and sub-criteria were determined. Accordingly, vegetation criteria with weight of 0.040 have the least impact and slope with weight of 0.361 have the most impact. 0.666 and rainfall with a weight of 0.589 have the greatest impact on the occurrence of floods in the study area.

4. Conclusion

The results show that slope and rainfall parameters are the first priority in flood risk zoning in the study area. Vegetation parameters, distance from the river, land use, altitude are the next priorities. Also, based on the results of combining the layers by fuzzy overlap method and the final weights obtained from the AHP model, a flood risk classification map was extracted in the study area and it was determined that the areas are very high risk. (30.49%) Includes some central, northern and southern areas, high-risk areas (14.8%) In the northern and southeastern regions, moderate risk areas (5.11%) In the southern extremities, low risk areas (12.9%) in the northwestern regions and very low risk areas It is scattered in the central, western, northern and northeastern areas of the city. The city of Torbat-e Heydarieh, as the center of the city, is in a very low risk range in terms of flood potential, although some parts of it are in a very high risk range. The rural settlements of Tiz County are mostly in very small areas. Of course, in the northern areas, especially in the northeast of the city, some rural areas are at high risk.

Keywords: Zoning, Flood, Torbat-e-Heydariyeh, Fuzzy zone, AHP model, GIS.

5. References

- Esfandiari Darabad, Fariba (2020). Flood Zoning of Ajrluchay Watershed Using L-THIA Method and Fuzzy Logic, Quantitative Geomorphological Research, Eighth Year, No.2, 155.
http://www.geomorphologyjournal.ir/article_98653.html.
- Asghari Moghaddam, Mohammad Reza (2000). Natural geography of the city (hydrology and flooding of the city), first edition, Masi Publications, 45.
<https://library.yazd.ac.ir/DL/SPortal/Books/ShowSP.aspx?DC=29687>.
- Asghari, a hunter. Victory, Elnaz. Zeinali, Batool (2015). Flood Risk Zoning in Aghlaghan Chay Watershed Using Vickor Model, Journal of Quantitative Geomorphological Research, Fourth Year, No. 3, 231-245
http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78014.html.
- Eftekhari, Abdul Reza Ghadiri, Mahmood Pious, Akbar. Shayan, Siavash (2009) An Analysis of Theoretical Perspectives of Society Vulnerability to Natural Hazards, Journal of Humanities Teacher Volume, 13, Number, 1, 30-31.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=105541>.
- Emamia Kia (2015) Microzoning of flood risk in the city of Tabriz using AHP method, Geographical Research, Volume 30, Number 1, z67-180.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=317463>.
- Tharouti, Mohammad Reza (2006) Calculation and analysis of average flood discharge using regional flood analysis method in the range of Khairrood Nowshahr to Sardabroud Chalous, Sarzamin Magazine, No.10, 68.
https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_5951.html.
- Khalili, Ali Asroush, Arian (2021) Evaluation of flood vulnerability in Makran region using ArcGIS software, Geographical Quarterly of Sarzamin, Year.17, No.66, 1-11.
https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_16614.html.
- Rostami, Farhad (2008). Modification of M Psiac sediment estimation model using fuzzy technique in Zagros dam basin, Master Thesis, Faculty of Literature, Geography, Tarbiat Moallem University.42.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/2b03a5d8b3d23962a9910b8317772d84>.
- Meteorological Organization of Khorasan Razavi Province, 2021.
<https://www.irimo.ir>.
- Salami, Mohammad (2010). Analysis of Anzali Wetland Water Quality Parameters Using Fuzzy Mathematical Method, M.Sc. Thesis, Faculty of Science, Tarbiat Moallem University. 20.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/77e191c1de1b0d52f0cd7deb1f5a82c0>.
- Atai, Mohammad (2010). Fuzzy Multi-Criteria Decision Making, Shahroud University of Technology Publications, First Edition, 244.
<https://shahroodut.ac.ir/fa/book/>.
- Alizadeh, Amin (2008). Principles of Applied Hydrology, 24th Edition, Imam Reza University Press, 87.
<http://imamreza.ac.ir/portal/display/?id=3168>
- Ghayyur, Hassan Ali (1996). Floods and flood-prone areas in Iran, Geographical Research Quarterly, No. 4. 18.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=38346>.
- Ghodsipour, Hossein (2005). AHP Hierarchical Analysis Process, Amirkabir University of Technology, Publishing Center, 224.
<http://publication.aut.ac.ir/>.
- Qanavati, Ezatollah (2013). Evaluation and zoning of flood risk in Farahzad Basin, Tehran using fuzzy model, Journal of Geography and Environmental Planning, Volume 23, Number 4, PP.121-138.
<https://www.sid.ir/fa/JOURNAL/ViewPaper.aspx?id=204637>.
- Lotfi, Haidar. Jafari, Mahtab (2011). The process of urban safety to deal with natural hazards (floods) Case study of Tehran, Quarterly Journal of Geographical Space, Volume 11, Number 36, 283-296.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=149464>.
- Mahmoudzadeh, Hassan Bakuei, Maedeh (2017). Flood zoning using fuzzy analysis Sari case study, Journal of Natural Environment Hazards, Volume 7, Number 18, 51-68.
<https://dx.doi.org/10.22111/jneh.2018.19885.1238>.
- Mehdizadeh, Javad (2012). Climate Hazard Analysis in Tabriz Using Fuzzy Logic and ANP Model, M.Sc. in Geography, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, 97.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/e7f659658507e0d6742dc16e3e55c757>.
- Mousavi, Seyedeh Masoumeh. Guard, Saeed. Rakhshani Moghadam, Haidar. Hosseinzadeh, Seyed Mohsen (2016). Evaluation and zoning of flood risk using TOPSIS fuzzy logic in GIS environment Case study of Baghmalek watershed, Journal of Environmental Hazards, Volume 5, Number 10, 79-98.
<https://dx.doi.org/10.22111/jneh.2017.2960>.
- Momeni, Mansour (1999). New Topics in Operations Research, Second Edition, University of Tehran Press, 187.
<https://press.ut.ac.ir/>.
- Nasrin Nejad, Nematullah Rangzan, Kazem. Kalantari, Nasra ..., Saberi, Azim (2014). Zoning of flood potential of Baghan watershed using fuzzy hierarchical analysis (FAHP), Journal of Remote Sensing and GIS in natural resources, Year 5, No. 4, 15-34.
http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_516653.html.

- Vafakhah, Mehdi (2016). Preparation of flood risk map in Noor urban watershed using hierarchical analysis and fuzzy logic, *Watershed Management Research Journal*, Volume 7, Number 14. 11-19.
<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=305232>.
- Yamani, Mojtaba (2005). The Relationship between Geomorphological Characteristics of Basins and Flood Capability (Analysis of Flood Data by Geomorphological Comparison of Fashand and Behjatabad Basins), *Journal of Geographical Research*, No. 54, 49.
<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=37732>.
- Adam Podlaha, Michal Lorinc, Gaurav Srivastava, Steve Bowen, Brian Kerschner (2020). Global Catastrophe Recap: First Half of July 2020. 110.
<http://catastropheinsight.aon.com>.
- Chang CT. (2008). Revised multi-choice goal programming. *Applied mathematical modelling*, 32(12): 2587-2595.
<https://doi.org/10.1016/j.apm.2007.09.008>.
- Fernandez, D.S. M.A. Lutz. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis, *Engineering Geology* No.111, 90-98.
<http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.enggeo.2009.12.006>.
- Laarhoven VP, Pedrycz W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy sets and Systems*, 11(1). 199-227.
<https://www.sciarp.org>.
- Lee AH, Chen WC, Chang CJ. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert systems with applications*,34(1). 96-107.
<https://DOI:10.1016/j.eswa.2006.08.022>.
- OECD (2016), *Financial management of flood risk*, Paris: OECD Publishing.. 76.
<http://DOI:10.1787/9789264257689>.
- Osman Sonmez,Hussein Bizimana(2018). Flood hazard risk evaluation using fuzzy logic and weightage based combination method in Geographic Information System (GIS), September 2018. *Scientia Iranica*, 45-55.
<https://DOI:10.24200/SCI.2018.21037>.
- Pratik Dash,Jishnu Sar (2020). Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index, *Journal of Flood Risk Management* published by Chartered Institution of Water and Environmental Management and John Wiley & Sons Ltd.123-145.
<https://DOI.org/10.1111/jfr.12620>.
- Saaty TL (1994), How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6). 19-43.
<https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1951458>.
- Sufia Rehman, Meheeb Sahana, Haoyuan Hong, Haroon Sajjad & Baharin Bin Ahmed (2019). A systematic review on approaches and methods used for flood vulnerability assessment : framework for future research,*Natural Hazards* Volume.96, 975-998.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-018-03567>.
- UNISDR CRED (2015), *The human cost of weather-related disasters 1995-2015*. 119.
https://www.unisdr.org/files/46796_cop21weatherdisastersreport2015.
- Valentina Nikolova ,Plamena Ventseslavova Zlateva (2017). Assessment of Flood Vulnerability Using Fuzzy Logic and Geographical Information Systems, Conference: International Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction. November 2017, 20.
<https://DOI:10.1007/978-3-319-68486-4>.
- Yahaya, S. (2008). Multicriteria Analysis for Flood Vulnerable Areas in Hadejia-jama are River Basin, Nigeria. Annual Conference Portland, Oregon. ASPRS 2008 Annual Conference Portland, Oregon. April 28-May 2, 2008. 87.
<https://DOI:10.1.1.462.4745>.
- Yen an Wu, Ping-an Zhong, Yu Zhang, Biao Ma, Kun Yan,(2015), Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China, *Natural Hazards*, Issue 1, 635-651.
<https://DOI:10.1007/s11069-015-1737-3>.
- Zening Wu, Yanxia Shen and Huiliang Wang (2019). Assessing Urban Areas' Vulnerability to Flood Disaster Based on Text Data: A Case Study in Zhengzhou City, College of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, and China. Correspondence: Received: 23 July 2019; Accepted: 8 August 2019; Published: 21 August 2019. 168.
<https://DOI:10.3390/su11174548>.



پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در شهرستان تربت حیدریه با استفاده از عملگرهای فازی

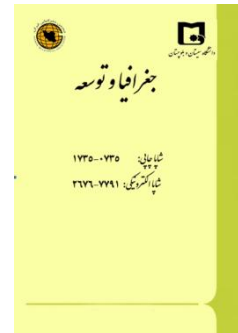
دکتر ساناز سعیدی مفرد^{۱*}، مهدی آسیایی^۲، فاطمه گهرخواه^۳

مقاله پژوهشی

چکیده

آگاهی از وقوع مخاطرات طبیعی برای برنامه‌ریزی و توسعه شهری از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی سیل است که در صورت وقوع، خساراتی را برجا خواهد گذاشت. یکی از راه‌های مقابله با سیل، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی است. پژوهش حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در شهرستان تربت حیدریه با تأکید بر نقاط شهری و روستایی در سال ۱۳۹۹ انجام پذیرفته‌است. این پژوهش از نوع کاربردی است که در آن از منطق فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شده‌است. در این پژوهش هشت معیار شیب، فاصله از رودخانه، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، تراکم زهکشی و پوشش گیاهی مورد مطالعه قرار گرفته‌است. برای پهنه‌بندی خطر وقوع سیل ابتدا لایه‌های انتخاب‌شده در محیط Arc GIS رسترسازی شده و سپس با استفاده از توابع عضویت، فازی و درنهایت نقشه‌های فازی شده لایه‌ها به‌دست آمده‌است. در ادامه نیز با کمک نرم‌افزار اکسل فرایند مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر انجام شده و سپس وزن نهایی معیارها با لایه‌های فازی ترکیب و درنهایت نقشه‌های به‌دست آمده با عملگرهای فازی منطق و نقشه پهنه‌بندی استخراج شده‌است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که متغیرهای اصلی و مؤثر در ایجاد سیل در منطقه مورد مطالعه شیب با ضریب وزنی ۰/۳۰۶ و بارش با ضریب وزنی ۰/۱۷۵ است. البته متغیر پوشش گیاهی با ضریب وزنی ۰/۰۴۰ کمترین تأثیر را در منطقه مورد مطالعه داشته‌است؛ بنابراین شهرستان تربت حیدریه با توجه به نقشه کلاسه‌بندی خطر سیل‌خیزی در منطقه با خطر خیلی‌زیاد قرار دارد؛ از این رو انجام عملیات آبخیزداری در سطح شهرستان مهم است. همچنین لازم به ذکر است شهر تربت حیدریه در محدوده خطر خیلی کم و به لحاظ سکونتگاه‌های روستایی نیز اکثر آبادی‌های این شهرستان در پهنه با خطر آسیب‌پذیری زیاد و خیلی کم قرار دارند.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۶، بهار ۱۴۰۱
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۴
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۸
صفحات: ۸۱-۱۰۶



واژه‌های کلیدی:
مخاطرات طبیعی، آسیب‌پذیری، تحلیل سلسله‌مراتبی.

مقدمه

هر ساله مخاطرات طبیعی خسارات فراوانی را در کشورهای مختلف باعث می‌شود. شواهد حکایت از افزایش انواع بحران‌های طبیعی از نظر شدت و فراوانی است (فتخاری و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۰). براساس گزارش‌های مرکز مطالعات آئون^۴ در شش ماه اول سال ۲۰۲۰ حداقل ۲۰۷ فاجعه طبیعی در سطح جهان ثبت شده‌است. این آمار بالاتر از میانگین قرن ۲۱ است. با توجه به آمارهای بین‌المللی در سال ۲۰۱۹ حداقل ۲۷ درصد از مخاطرات جهانی در حوزه بلایای طبیعی اتفاق افتاده‌است؛ به طوری که بین ژانویه

و ژوئن سال ۲۰۱۹ حداقل ۱۶۳ مخاطره طبیعی ثبت شده‌است. در نیمه اول سال ۲۰۲۰ خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی در سطح جهان ۷۵ میلیارد دلار برآورد می‌شود که نزدیک به خسارات وارده در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۹ است (Podlaha, 2020: 4). یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی سیل است که در صورت وقوع منجر به خسارت‌های فراوانی می‌شود. براساس آمار سازمان ملل در حدود ۲/۳ میلیارد نفر در جهان تحت تأثیر آثار ناشی از آن هستند (United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), (2015))

Saeedi.s@mshdiau.ac.ir

Asiaei.mehdi@ut.ac.ir

Goharkhah@ut.ac.ir

4-AON

۱- استادیار گروه شهرسازی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران (نویسنده مسئول)

۲- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، ایران

۳- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، ایران

شناخت عوامل مؤثر در مخاطرات طبیعی و خسارات ناشی از آن مهم است. استان خراسان رضوی نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین استان‌های کشور هر ساله تحت تأثیر این مخاطرات قرار دارد که متأسفانه منجر به خسارات زیادی می‌شود؛ از این رو توجه به آسیب‌پذیری شهرستان‌های این استان به‌ویژه شهرستان تربت حیدریه امری مهم تلقی می‌شود.

مطالعات بسیار خوبی در سطح بین‌المللی و ملی در این زمینه انجام شده‌است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. پراتیک داش^۲ در سال ۲۰۲۰ در پژوهشی به شناسایی و اعتبارسنجی منطقه‌ی احتمالی خطر سیل با استفاده از تجزیه و تحلیل چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی و شاخص آب مشتق شده از داده‌های ماهواره‌ای در منطقه‌ی الله‌آباد، هند پرداخته‌است. در این پژوهش با تجزیه و تحلیل چندمعیاره احتمال خطر سیل شناسایی شده‌است. این مطالعه شامل هشت معیار تجمع جریان، قابلیت تخلیه، ارتفاع، عمق آب زیرزمینی، کاربری زمین، رواناب، شیب و زمین‌شناسی است. نتایج نشان می‌دهد ۸۱ درصد از زمین‌های کشاورزی در این منطقه، مستعد سیل هستند. زینگوو^۳ در سال ۲۰۱۹ در مطالعه‌ای به ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر سیل در شهر زینگوژای چین پرداخته‌است. نتایج حاصل از این پژوهش، ارائه مدل ارزیابی آسیب‌پذیری این شهر در برابر سیلاب است که براساس فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی ارائه کرده‌است. عثمان سونمز^۴ در سال ۲۰۱۸ به بررسی ارزیابی خطر ریسک سیل با استفاده از منطق فازی و روش ترکیبی مبتنی بر وزن‌دهی در سیستم اطلاعات جغرافیایی در شهر ویورلی کشور ترکیه پرداخته‌است. در این مطالعه متغیرهای ارتفاع، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و

سیل رویدادی ناگهانی است که در بروز آن عوامل متعددی دخالت دارند، این عوامل در سه گروه اصلی اقلیمی، خصوصیات منطقه‌ای و فعالیت‌های انسانی خلاصه می‌شود (لطفی، ۱۳۹۰: ۲۸۴). البته لازم‌به‌ذکر است تغییرات کاربری اراضی، شهرنشینی، ساخت‌وسازهای غیراصولی، سیستم فاضلاب قدیمی و توسعه اراضی غیرقابل نفوذ در مناطق شهری که ناشی از فعالیت‌های انسانی است نیز تأثیر مهمی در وقوع این خطر دارند (Fernandez, 2010: 90). یکی از مهم‌ترین راه‌های شناسایی مناطق مستعد این مخاطره طبیعی، پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل خیزی است؛ از این رو در یک تعریف می‌توان گفت که پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی عبارت است از تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل از نظر رواناب‌های سطحی که براساس خصوصیات مناطق است (ثروتی و همکاران، ۱۳۸۵: ۶۳). کاربردهای نقشه‌های پهنه‌بندی سیل نیز در مدیریت آن است و به‌وسیله آن می‌توان نسبت به تعیین حریم و بستر رودخانه‌ها، توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی، پیش‌بینی، هشدار و عملیات امداد و نجات و... اقدام کرد (افتخاری، ۱۳۸۸: ۳۱). با توجه به توضیحات بالا و با توجه به رشد شهرسازی در سه دهه گذشته که منجر به گسترش شهرها و تخریب محیط طبیعی شده‌است و همچنین تأثیر فعالیت‌های انسانی و بی‌توجهی به برنامه‌ریزی‌های شهری و ایجاد شهرها و شهرک‌های جدید در مناطق مستعد، زمینه‌ساز افزایش سطوح نفوذناپذیر شده‌است که این امر منجر به افزایش دبی آب و وقوع سیل می‌شود (سازمان همکاری اقتصادی و توسعه^۱، ۲۰۱۶)؛ از این رو همان‌طور که اشاره شد، یکی از راه‌های مدیریت مخاطرات طبیعی (سیل) پهنه‌بندی پتانسیل وقوع آن است که در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ایران به‌واسطه خصوصیات طبیعی از جمله کشورهای آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات طبیعی است؛ از این رو

2-Pratik Dash, (2020)

3-Zening Wu, Yanxia Shen and Huiliang Wang (2019)

4- Osman Sonmez, Hussein Bizimana (2018)

1-OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), (2016).

پهنه‌بندی سیل در حوضه آبخیز آجرلوچای با استفاده از منطق فازی پرداخته‌است، نتایج نشان داد که بیشتر مساحت منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل سیل‌خیزی کم، خیلی کم و متوسط است. محمودزاده در سال ۱۳۹۷ در پژوهشی به پهنه‌بندی سیل با استفاده از تحلیل فازی (مطالعه موردی: شهر ساری) پرداخته‌است. این تحقیق به منظور پهنه‌بندی خطر سیل در شهر ساری با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره صورت گرفته‌است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که خطر سیل در مرکز و جنوب شهر ساری از بیشترین مقدار برخوردار است. نقشه پهنه‌بندی خطر سیل نیز بیانگر این موضوع است که ۲۴/۱۲ درصد در پهنه‌بندی خطر خیلی زیاد و ۳۷/۰۵ درصد در پهنه‌بندی خطر خیلی کم قرار گرفته‌است. وفاخواه در سال ۱۳۹۵ اقدام به تهیه نقشه خطرپذیری سیل در حوزه آبخیز شهری نور با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی کرده‌است. وی در این تحقیق از معیارهای کاربری اراضی شهری، فاصله از رودخانه، ارتفاع، شیب و عمق آب زیرزمینی استفاده شده‌است. نتایج نشان می‌دهد ۱۵ درصد از محدوده مطالعاتی در کلاس‌های خطرپذیری خیلی زیاد و زیاد است. امامی‌کیا در سال ۱۳۹۴ ریزپهنه‌بندی خطر سیل در محدوده شهر تبریز را با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و با هدف بررسی میزان خطرپذیری سیل و ارزیابی خسارت وارده به شهر تبریز را انجام داده‌است. در این تحقیق پارامترهای کاربری اراضی، جمعیت، مسیل‌ها، شیب، تراکم مسکونی، رواناب، فضای باز و قدمت ابنیه مطالعه شده‌است. نتایج حاصل بیانگر این موضوع است که بر اثر فعالیت‌های انسان و عملیات عمرانی شاهد افزایش حجم رواناب و شدت آن هستیم. اصغری در سال ۱۳۹۴ در مطالعه‌ای با عنوان پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای با استفاده از مدل ویکور به این نتیجه رسید که عوامل شیب، ارتفاع و فاصله از آبراهه، بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در منطقه آق‌لاقان‌چای دارند.

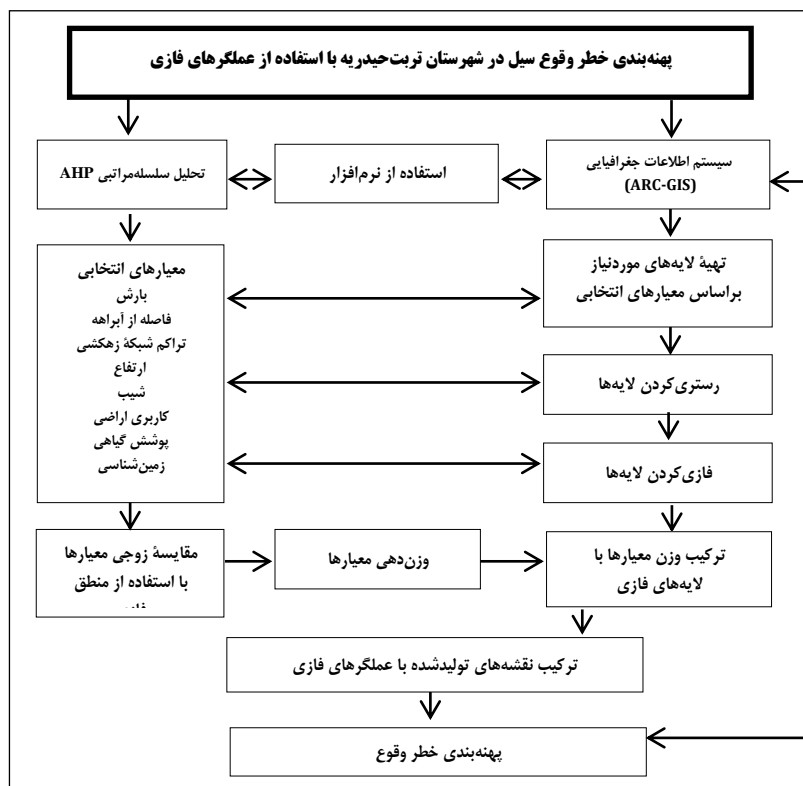
تراکم جمعیت مورد بررسی قرار گرفته‌است. نتایج حاصل از این کار تحقیقاتی تولید نقشه‌های خطر سیل‌خیزی شهر ویورلی و همپوشانی آن‌ها با یکدیگر است. صوفی^۱ در پژوهشی در سال ۲۰۱۸ به بررسی سیستماتیک روش‌های تهیه نقشه سیل پرداخته‌است. این مطالعه در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۸ انجام و از شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌های هیدرودینامیکی و تکنیک‌های زمین‌شناسی استفاده شده‌است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد آسیب‌پذیری در مقابل سیل رابطه‌ای با زمینه‌های اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی دارد. نیکولووا و ضلاتوا^۲ در سال ۲۰۱۷ در پژوهشی با استفاده از منطق فازی اقدام به تهیه نقشه سیل در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی کرده‌است. بارش، فاصله از رودخانه، تجمع جریان، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شیب‌ها و ارتفاع به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در سیل در نظر گرفته شده و نقشه پتانسیل سیل‌خیزی رودخانه لودا کامچیا ارائه شده‌است. ینان^۳ در سال ۲۰۱۵ در حوضه رودخانه هیائی، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پهنه‌بندی خطر سیل را انجام داده‌است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی، در ارزیابی خطر سیل‌های حوضه در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰، سازگار بوده‌است.

در داخل کشور نیز مطالعاتی انجام گرفته که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. خلیلی در سال ۱۳۹۹ در پژوهشی به بررسی ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیل در منطقه مکران با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته‌است. در این مطالعه پنج شاخص به‌روش تحلیل سلسله‌مراتبی مورد ارزیابی قرار گرفته و در انتها تحلیل‌های فضایی با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی ارائه شده‌است. اسفندیاری در سال ۱۳۹۸ در پژوهشی به بررسی

1-Sufia Rehman, Meheub Sahana, Haoyuan Hong, Haroon Sajjad & Baharin Bin Ahmed (2019)
2-Valentina Nikolova, Plamena Ventseslavova Zlateva (2017)
3-Yen an Wu, Ping-an Zhong, Yu Zhang, Biao Ma, Kun Yan, (2015)

سیل خیزی و پهنه‌بندی آن می‌تواند به‌عنوان نوآوری این پژوهش بیان کرد؛ بنابراین هدف اصلی این پژوهش شناسایی معیارهای مؤثر بر میزان آسیب‌پذیری شهرستان تربت‌حیدریه در برابر مخاطره سیل و ارائه پهنه‌بندی سیل خیزی شهرستان با استفاده از روش منطق فازی در محیط Arc-GIS است.

نتایج مطالعه نشان می‌دهد که حوضه آق‌لاقان چای دارای توان بسیار بالا از لحاظ رخداد سیل است؛ بنابراین انجام اقدامات حفاظتی، آب‌خیزداری و مدیریتی در این حوضه لازم است. براساس پیشینه تحقیق مطالعه‌ای در این زمینه در سطح شهرستان تربت‌حیدریه به‌صورت جامع صورت نپذیرفته‌است؛ از این‌رو انجام این پژوهش و معرفی مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار در خصوص



شکل ۱: مراحل انجام تحقیق

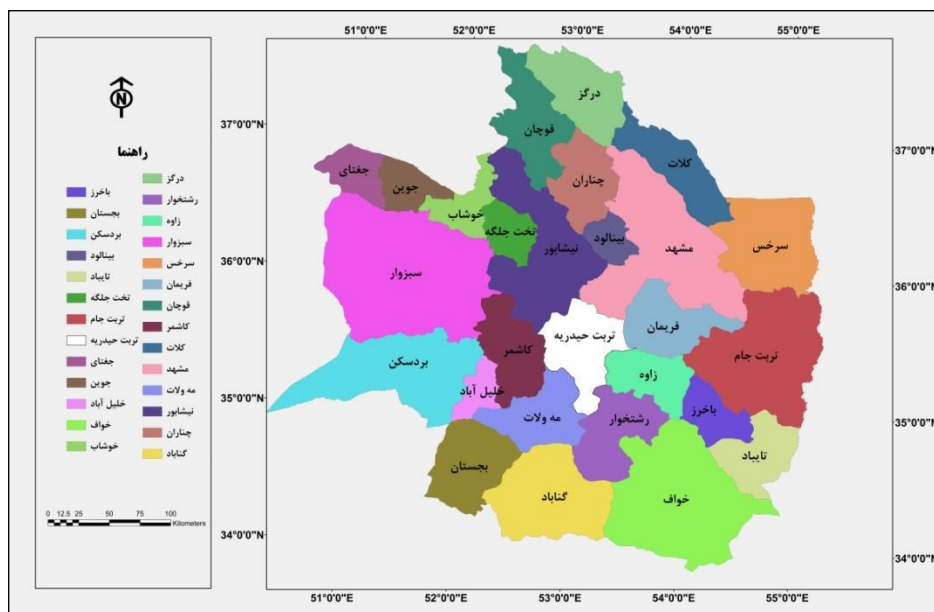
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

تربت‌حیدریه از شمال به شهرستان‌های نیشابور، مشهد و فریمان، از شرق به شهرستان‌های تربت‌جام، تایباد و خواف از جنوب به شهرستان‌های رشتخوار و مه‌ولات و از غرب به شهرستان کاشمر محدود می‌شود (شکل ۱ و ۲). این شهرستان دارای اقلیم سرد و نیمه‌خشک، متوسط بارش آن ۲۵۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۲۷/۲ درجه سلسیوس است (سازمان هواشناسی استان خراسان رضوی، ۱۳۹۹).

مواد و روش‌ها

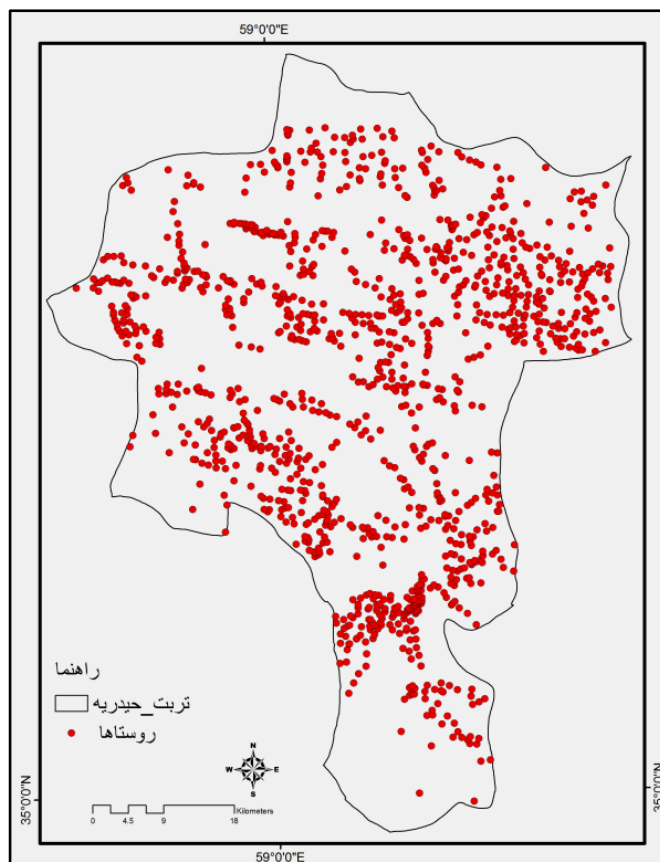
منطقه مورد مطالعه

شهرستان تربت‌حیدریه در فاصله ۱۴۲ کیلومتری جنوب مشهد قرار دارد. این شهرستان در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۹ دقیقه و ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی قرار گرفته و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد ۱۳۳۳ متر است.



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی شهرستان تربت حیدریه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹



شکل ۲: نقشه پراکنش جغرافیایی روستاها در شهرستان تربت حیدریه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

داده‌ها و روش کار

پژوهش حاضر از نوع کاربردی است که در آن از منطق فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی، ARC-GIS و نرم‌افزار Excel نیز استفاده شده‌است که در ادامه به توضیح داده‌های مورد استفاده و روش کار اشاره می‌شود. **الف) داده‌ها:** داده‌هایی که در این پژوهش استفاده شده‌است، عبارت‌اند از:

لایه رقومی/ارتفاع: این لایه با سیل‌خیزی رابطه مستقیم دارد و از نقشه رقومی ارتفاع DEM با قدرت تفکیک‌پذیری ۳۰*۳۰ به دست می‌آید.

لایه شیب: شیب تعیین‌کننده میزان و سرعت حرکت آب است (اصغری‌مقدم، ۱۳۷۸: ۴۵). این لایه از نقشه رقومی ارتفاع DEM به دست می‌آید.

لایه زمین‌شناسی: این لایه به‌طور غیرمستقیم در سیل تأثیرگذار است (ریمانی، ۱۳۸۴: ۴۹) و از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی گرفته شده‌است.

لایه فاصله از آبراهه: از مهم‌ترین عوامل افزایش خسارات سیل استفاده نامناسب از حریم مسیل‌ها است (عیور، ۱۳۷۵: ۱۸). این لایه نیز از نقشه رقومی ارتفاع DEM به دست آمده‌است.

لایه کاربری/اراضی: کاربری اراضی به شیوه‌های گوناگون در بروز سیلاب تأثیرگذار است. هر گونه اقدامی که باعث کاهش رطوبت خاک و کاهش نفوذپذیری شود، افزایش سیلاب را به همراه خواهد داشت (مهدی‌زاده، ۱۳۹۱: ۹۷). نقشه کاربری اراضی شهرستان با مقیاس ۵۰۰۰۰:۱ از اداره کل منابع طبیعی استان تهیه شده‌است.

لایه بارش: بارش مهم‌ترین عامل در چرخه هیدرولوژی است (علیزاده، ۱۳۸۷: ۷۸۳). این لایه از سازمان هواشناسی استان تهیه شده‌است.

لایه تراکم زهکشی: این لایه با سیل‌خیزی رابطه عکس دارد و از نقشه رقومی ارتفاع DEM با قدرت تفکیک‌پذیری ۳۰*۳۰ به دست آمده‌است.

لایه پوشش گیاهی: این لایه از اداره کل منابع طبیعی استان تهیه شده‌است.

ب) روش کار: روش کار در این پژوهش بر تحلیل سلسله‌مراتبی، منطق فازی و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی استوار است که در ادامه به توضیح مختصر آن پرداخته می‌شود.

تحلیل سلسله‌مراتبی: روش تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ معرفی شد (Saaty TL, 1994: 19). با وجود مزایای بسیار زیاد تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، دارای کمبودهایی است (Chang CT, 2008: 2588).

تصمیم‌گیرندگان اغلب به علت طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی قادر نیستند به صراحت نظرشان را در مورد اهمیت معیارها بیان کنند؛ به همین دلیل در قضاوت‌هایشان ارائه یک بازه را به جای یک عدد ثابت ترجیح می‌دهند؛ از این رو برای مدل‌سازی این نوع از عدم اطمینان‌ها از تئوری مجموعه‌های فازی استفاده می‌شود (قدسی‌پور، ۱۳۸۴: ۱۲۲؛ عطائی، ۱۳۸۹: ۹۶).

منطق فازی در دهه ۱۹۶۰ توسط لطفی‌زاده، برای اولین بار ارائه شد. وی عضویت جزئی یک دسته را پیشنهاد کرد؛ از این رو با توجه به اینکه پدیده‌هایی نظیر سیل تحت تأثیر عوامل بسیاری قرار دارند و این عوامل قطعی نیستند؛ بهتر است در مطالعه چنین پدیده‌هایی به جای استفاده از مدل بولین از مدل فازی بهره گرفت (مؤمنی، ۱۳۷۸: ۱۸۷).

منطق فازی شیوه‌ای مرسوم برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم که نیازمند ریاضیات پیشرفته و به نسبت پیچیده است را با استفاده از مقادیر و شرایط زبانی و یا به عبارتی دیگر با دانش فرد خبره و با هدف ساده‌سازی و کارآمدتر شدن طراحی، جایگزین یا تا حد زیادی تکمیل می‌کند (سلامی، ۱۳۸۹: ۲۰).

حالت استاندارد داشته و بیشتر در محاسبات مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ عبارتند از: مثلثی، ذوزنقه‌ای، گوسین، زنگوله‌ای و فازی.

تابع مثلثی: عدد فازی مثلثی یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین اعداد فازی است. استفاده از این تابع در کاربردهای مهندسی معمول است؛ چون سرعت اجرای آن بسیار زیاد است.

تابع ذوزنقه‌ای: مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود:

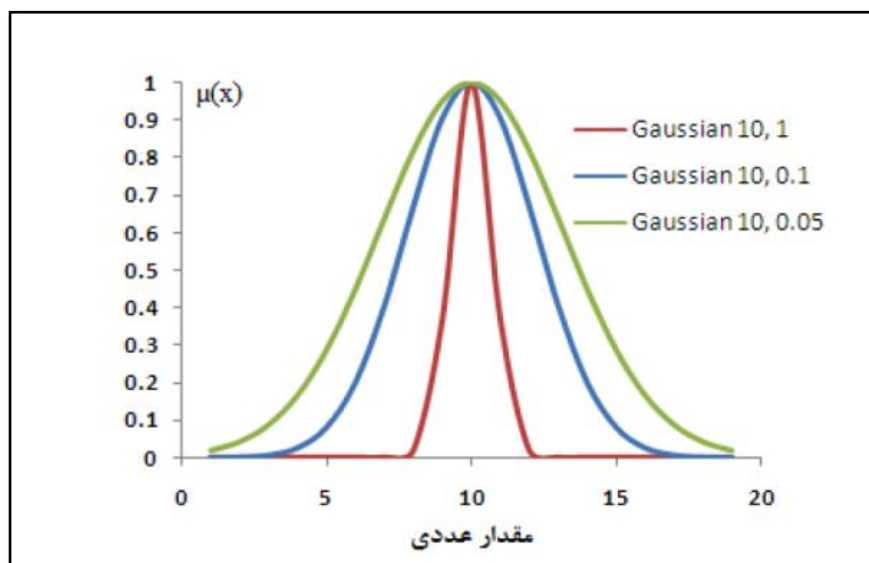
رابطه ۱:

$$\text{Trapmf}(x;a,b,c,d) = \max(\min(x-a/b-a, 1, c-x/c-b), 0)$$

تابع گوسین: این تابع از فرمول‌های گوسی تبعیت می‌کند و بیشتر در پدیده‌های طبیعی به کار می‌رود (شکل ۲). این تابع مقادیر اولیه را به توزیع نرمال تبدیل می‌کند. نقطه مرکزی توزیع نرمال، تعریف ایده‌آل برای مجموعه را تعیین می‌کند که همان مقدار عضویت فازی بیشینه یا عدد ۱ است؛ درحالی که مقدار ورودی باقیمانده در عضویت کاهش می‌یابد تا در طرفین دامنه ورودی به مقدار عضویت صفر برسد.

این نظریه در الگورitm نظریه‌های فیزیکی، نقشه‌برداری و طبقه‌بندی به‌طور گسترده استفاده می‌شود (رستمی، ۱۳۸۷: ۴۲).

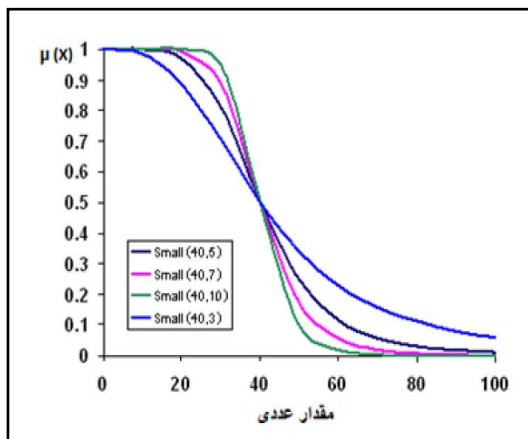
در مدل فازی هر عضو هم‌زمان در مجموعه‌های مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و نیز خود این دو در حال تغییر است. عدد فازی عددی است که ارزش آن تا حدودی نامشخص است. آن‌ها نوع خاصی از مجموعه‌های فازی هستند که اعضایشان اعداد حقیقی می‌باشند؛ از این رو گسترش نامحدود دارند. تابع مربوط به عدد عضویت و درجه عضویت تابع عضویت نامیده می‌شود. هر پارامتر در مدل به وسیله یک سری واژه‌های زبانی توضیح داده می‌شود؛ مثلاً متغیر فاصله از رودخانه را می‌توان با مقادیر زبانی نزدیک، متوسط و دور دسته‌بندی کرد. تابع عضویت باید در دامنه‌ای وسیع‌تر از مقادیر ممکن برای متغیرهایی که آن‌ها را تشریح می‌کنند، تعریف شوند و باید قادر به پذیرفتن شکل‌های مختلف بسته به مفهوم واژه‌های زبانی باشند. اعداد فازی ممکن است هر شکلی داشته باشند؛ ولی تعدادی از آن‌ها که



شکل ۴: تابع عضویت فازی گوسین

مأخذ: Yahaya, 2008

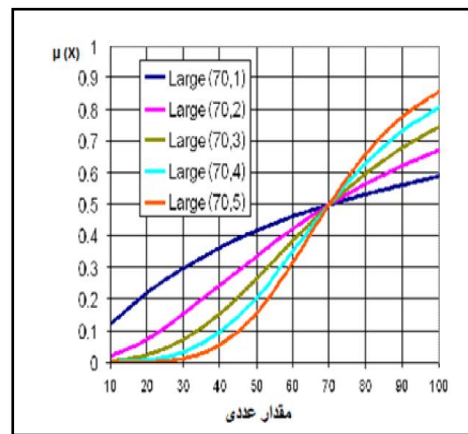
یک عضو به مقدار عضویت ۵ درصد و پارامتر گسترش شکل منطقه انتقال را تعریف می‌کند (شکل ۴). تابع عضویت فازی کوچک: هنگامی از این تابع استفاده می‌شود که مقادیر ورودی کوچک‌تر احتمال بیشتری دارد که عضویت حداکثری مجموعه باشند. شکل زیر تابع عضویت کوچک را نشان می‌دهد (شکل ۵). عملیات روی مجموعه‌های فازی: در اجرای تکنیک فازی به عملگرهایی نظیر OR (اجتماع)، اشتراک AND، Product (ضرب جبری) Sum (جمع جبری) و Gamma گاما نیاز است. در عملگر OR پیکسلی که فقط از نظر یک نقشه مناسب بوده و ارزش یک داشته و از لحاظ سایر لایه‌های اطلاعاتی دارای ارزش صفر باشد، در نقشه خروجی تلفیق می‌یابد و ارزش یک می‌گیرد و مناسب تشخیص داده می‌شود.



شکل ۶: تابع فازی کوچک

تابع زنگوله‌ای: حالت کلی تابع گوسی است که در آن تنها یک نقطه درجه عضویت یک ندارد. بدیهی است که می‌توان بنا به کاربرد مسئله، تابع فازی را آن‌گونه که مدنظر است، تعریف کرد و از شکل‌های متفاوت تابع فازی استفاده کرد. این عمل امکان رسیدن به نتایج مختلف را حاصل می‌کند. توابع عضویت فازی، اطلاعات ورودی را به مقیاس صفر تا یک تبدیل می‌کند. عضویت صفر به مکان‌هایی تعلق دارد که قطعاً عضو مجموعه مشخص شده نیستند و عضویت یک به مقادیری تعلق دارد که دقیقاً عضوی از مجموعه مشخص شده است (شکل ۳).

تابع عضویت فازی بزرگ: در این تابع مقادیر ورودی بزرگ‌تر و بیشتر احتمال عضویت در مجموعه را دارند. نقطه مرکزی تابع بزرگ یا نقطه متقاطع صفر را با مقادیری بیشتر از نقطه میانی تعیین می‌کند. اختصاص



شکل ۵: تابع فازی بزرگ

مأخذ: Yahaya:2008

حساسیت خیلی بالایی عملگر Product و دقت خیلی کم عملگر Sum به نام عملگر Gamma تعریف شده است. مقدار گامای تعدیل‌کننده، بین صفر و یک است و از طریق قضاوت کارشناسانه تعیین می‌شود. گامای صفر معادل ضرب فازی و گامای یک معادل جمع فازی است.

عملگر AND در این عملگر فقط پیکسلی که در تمامی نقشه‌های پایه ارزش یک دارد، در نقشه نهایی ارزش یک خواهد داشت و جزء مناطق مناسب قرار می‌گیرد. عملگر Product موجب می‌شود تا اعداد مجموعه‌ها کوچک‌تر شود و به سمت صفر میل کنند؛ اما عملگر Sum برخلاف عملگر Product موجب می‌شود تا اعداد به سمت یک میل کنند. برای تعدیل

با استفاده از این عملگر فازی مقدار عضویت فازی نقشه خروجی در هر موقعیت همواره بزرگتر یا مساوی بزرگترین مقدار عضویت فازی در موقعیت‌های متناظر نقشه‌های ورودی است؛ بنابراین عملگر فوق اثر افزایشنده دارد.

عملگر گاما فازی (Fuzzy Operation Gamma): این روش ترکیبی از روش‌های SumFuzzy Algabric و Fuzzy Algabric Product است. در این روش فاکتورها با وزن‌های مختلف برطبق این رابطه است (رابطه ۶).

رابطه ۶:

$$\mu \text{ combination} = (\text{Fuzzy Agabric Sum}) \delta (\text{Fuzzy Agabric Product}) 1 - \delta$$

در این رابطه مقدار δ بین عدد صفر تا یک تعیین می‌شود. در صورتی که بخواهیم اهمیت روش Fuzzy Algabric Sum بیشتر باشد، مقدار δ نزدیک به یک و در صورتی که بخواهیم روش Fuzzy Algabric Product بیشتر مدنظر باشد، مقدار δ نزدیک به عدد صفر انتخاب می‌شود. انتخاب صحیح و آگاهانه δ مقدارهایی را در خروجی به وجود می‌آورد که یک سازگاری قابل انعطاف میان گرایش کاهشی و افزایشی دو عملگر فازی Product و Sum را دارد؛ بنابراین به منظور استفاده از مزایای هر دو تکنیک فازی و AHP و غلبه بر نقاط ضعف، ون لارهوون و پدريکز^۱، اولین بار اصول منطق فازی را در تحلیل سلسله‌مراتبی به کار بردند (Laarhoven VP, 1983:199).

این روش دامنه‌ای از مقادیر را برای بیان عدم قطعیت تصمیم‌گیرندگان به کار می‌گیرد (Lee AH, 2008:96). در همین راستا چانگ در سال ۱۹۹۶ روش فازی تحلیل سلسله‌مراتبی FAHP را ارائه کرد. با توجه به توضیحات ارائه شده در جهت ترسیم نقشه‌های پتانسیل سیل‌خیزی شهرستان تربت‌حیدریه براساس منطق فازی ابتدا لایه‌های موردنیاز برحسب معیارهای

عملگر اشتراک فازی: این عملگر به صورت از رابطه زیر تبعیت می‌کند. در این رابطه WC و WB و WA بیانگر مقادیر عضویت فازی فاکتورهای A و B و C در یک موقعیت خاص است. تأثیر این عملگر آن است که نقشه خروجی توسط کوچک‌ترین مقدار عضویت فازی که در هر موقعیت روی می‌دهد، کنترل می‌شود (رابطه ۲).

رابطه ۲:

$$W \text{ combination} = \text{MIN} (WA, WB, WC, \dots)$$

عملگر اجتماع فازی (Fuzzy OR): این عملگر به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود (رابطه ۳).

رابطه ۳:

$$W \text{ combination} = \text{MAX} (WA, WB, WC, \dots)$$

عملگر ضرب فازی (Fuzzy Algabric Product): این عملگر از رابطه زیر تبعیت می‌کند (رابطه ۴).

$$W \text{ combination} = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه، n فاکتور کنترل‌کننده و W_i بیانگر وزن لایه i ام است. مقادیر عضویت فازی با این عملگر به مقداری بسیار کوچک میل می‌کنند؛ به عبارت دیگر مقدار خروجی هر موقعیت همواره کوچک‌تر یا مساوی کوچک‌ترین مقدار عضویت فازی در موقعیت‌های متناظر نقشه‌های ورودی است؛ بنابراین عملگر فوق اثر کاهشی دارد. در این روش برخلاف اشتراک و اجتماع کلیه مقدارهای عضویت نقشه‌های ورودی در نقشه خروجی تأثیر دارند.

عملگر جمع فازی (Fuzzy Algabric Sum): این عملگر به صورت این رابطه تعریف می‌شود (رابطه ۵).

رابطه ۵:

$$W \text{ combination} = 1 - (\sum_{i=1}^n (1 - W_i))$$

وزن نهایی معیارها با لایه‌های فازی شده ترکیب و ضریب همبستگی لایه‌ها با گام‌های ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ محاسبه و نقشه‌های مربوط استخراج شد (جدول ۱).

انتخاب شده تعیین و در ادامه در محیط ArcGIS تبدیل به رستر و با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی شده و سپس با کمک نرم‌افزار EXCEL فرایند مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر انجام و سپس

جدول ۱: ضریب همبستگی همپوشانی لایه‌های تولید شده با گام‌های ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹

Regression Statistics 0.5		Regression Statistics 0.7		Regression Statistics 0.9	
Multiple R	0.894627	Multiple R	0.944798	Multiple R	0.963834
R Square	0.800357	R Square	0.892643	R Square	0.928976
Adjusted R Square	0.785838	Adjusted R Square	0.884835	Adjusted R Square	0.92381
Standard Error	3.04E-06	Standard Error	0.000129	Standard Error	0.004725
Observations	119	Observations	119	Observations	119

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹

جدول (۲) است. در ادامه مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از نظر کارشناسان انجام شد. این مقایسات زوجی که با متغیرهای زبانی توصیف شده‌اند، با اعداد فازی مثلثی بیان می‌شوند که به‌عنوان ورودی مدل تحلیل سلسله‌مراتب فازی عمل می‌کنند. براساس این روش وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها به شرح جدول (۳) و (۴) تعیین شد. بر این اساس معیارهای پوشش گیاهی با وزن ۰/۱۲۲ کمترین تأثیر و توپوگرافی با وزن ۰/۴۰۸ بیشترین تأثیر را دارد. در خصوص زیرمعیارها نیز به ترتیب شیب با وزن ۰/۷۵۱، کاربری اراضی با وزن ۰/۶۶۶، بارش با وزن ۰/۵۸۹ بیشترین تأثیر را در وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه دارند. در ادامه وزن‌های به‌دست آمده از روش FAHP در نقشه‌های فازی شده معیارها و زیرمعیارها ضرب شده که نتایج آن به شرح اشکال ۸ تا ۱۵ است.

یافته‌های تحقیق و بحث

در پهنه‌بندی خطر وقوع سیل ابتدا باید معیارهای تأثیرگذار در منطقه مورد مطالعه، شناسایی و درجه اهمیت هر کدام مورد سنجش و ارزیابی قرار گیرد؛ از این رو با توجه به محدودیت‌هایی که در تهیه برخی از لایه‌ها وجود داشت و همچنین به دلیل محدودیت‌هایی که به دلیل طولانی بودن فرایند مدل وجود دارد، استفاده از لایه‌های اطلاعاتی بیشتر باعث پیچیدگی بیش از حد و زمان طولانی در تحلیل و پردازش اطلاعات می‌شد؛ بنابراین با توجه به محدودیت‌های اشاره شده و تجارب گذشته هشت معیار شیب، فاصله از رودخانه، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، تراکم زهکشی و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سپس لایه‌های موردنظر در محیط Arc-Gis فازی‌سازی شده و در مرحله بعد بر این اساس نسبت به عضویت‌دهی فازی معیارهای مورد مطالعه اقدام شد که نتایج آن به شرح

جدول ۲: نتایج عضویت‌دهی فازی معیارهای مورد مطالعه

ردیف	موضوع	نتیجه
۱	شیب: با سیل رابطه مستقیم و به عبارتی دیگر خطی و افزایشنده است.	Membership Function: Linea Max: 70 Min: 5
۲	فاصله از رود: این لایه با سیل رابطه معکوس و از تابع زیر تبعیت می‌کند.	Membership Function: Linear Midpoint: 380 Spread: 2
۳	ارتفاع: این لایه خطی و کاهنده است.	Membership Function: Linear Max: 2933 Min: 1003
۴	زمین‌شناسی: با سیل خیزی رابطه‌ای معکوس دارد.	Membership Function: Small Midpoint: 7 Sperid: 5
۵	کاربری اراضی: این لایه با سیل خیزی رابطه معکوس دارد.	Membership Function: Large Midpoint: 5 Sperid: 2
۶	بارش: با سیل رابطه خطی و افزایشنده دارد که از روش درون‌یابی استخراج می‌شود.	Membership Function: Large Midpoint: 310 Sperid: 5
۷	تراکم زهکشی: این لایه با سیل خیزی رابطه معکوس و کاهنده دارد.	Membership Function: Small Midpoint: 334 Sperid: 5
۸	پوشش گیاهی: با سیل رابطه معکوس دارد.	Membership Function: Small Midpoint: 256 Sperid: 5

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹

جدول ۳: وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارهای مورد مطالعه

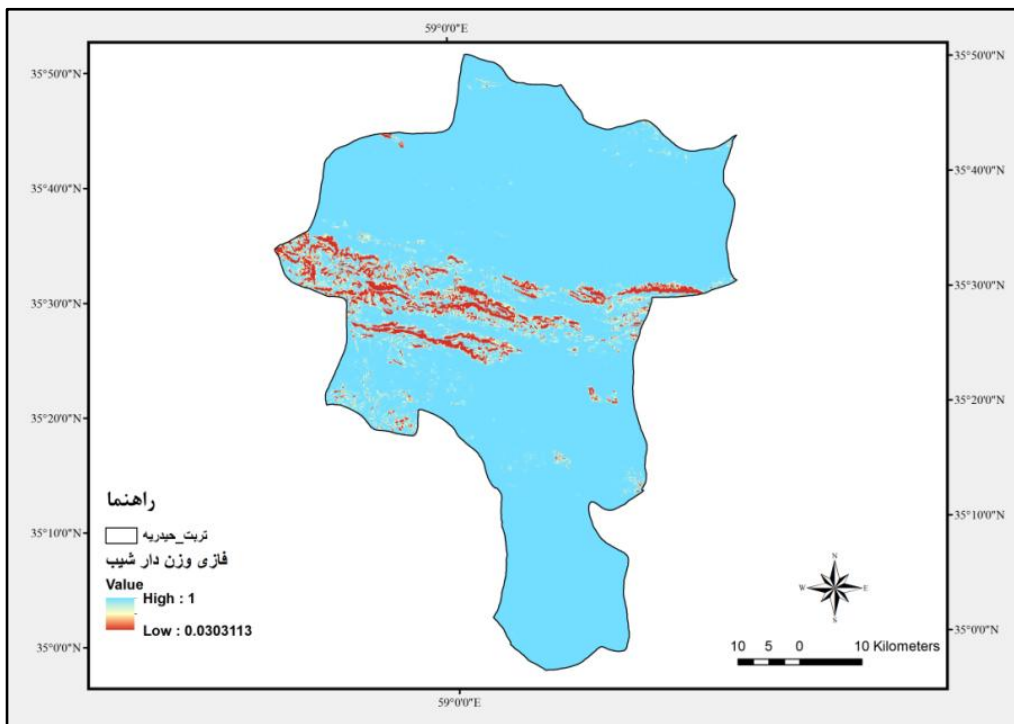
وزن	معیار و زیرمعیار		وزن	معیار و زیرمعیار	
۰/۵۸۹	بارش	۰/۲۹۸	۰/۷۵۱	شیب	۰/۴۰۸
۰/۱۶۰	فاصله از آبراهه		۰/۲۵۰	ارتفاع	
۰/۲۵۲	تراکم زهکشی		۰/۶۶۶	کاربری اراضی	
۱	زمین‌شناسی	۰/۱۷۲	۰/۳۳۳	پوشش گیاهی	۰/۱۲۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹

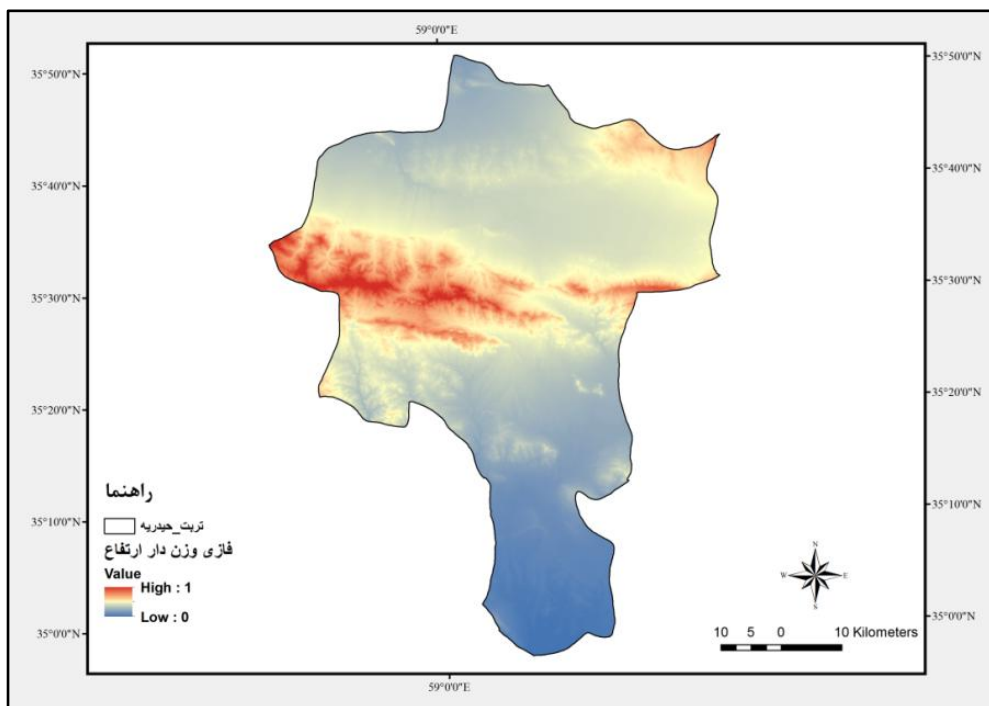
جدول ۴: وزن نهایی معیارهای مورد مطالعه

وزن	معیار	وزن	معیار
۰/۱۷۶	بارش	۰/۳۶۱	شیب
۰/۰۴۷	فاصله از آبراهه	۰/۱۰۱	ارتفاع
۰/۰۷۵	تراکم زهکشی	۰/۰۸۱	کاربری اراضی
۰/۱۷۳	زمین‌شناسی	۰/۰۴۰	پوشش گیاهی

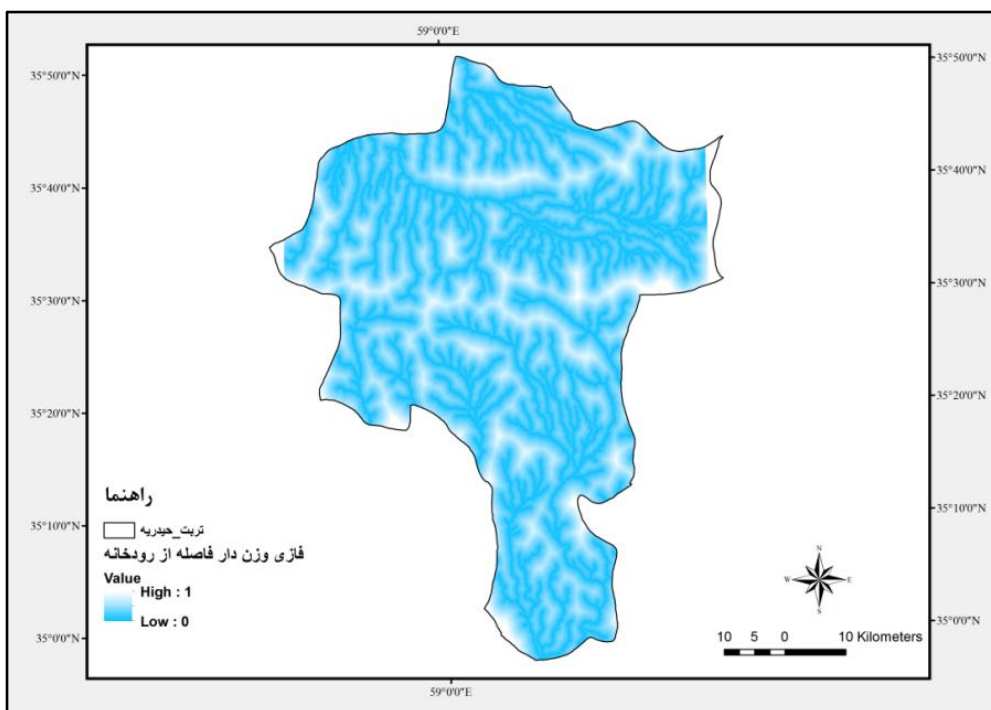
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹



شکل ۸: نقشه فازی وزن دار شیب شهرستان تربت حیدریه
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

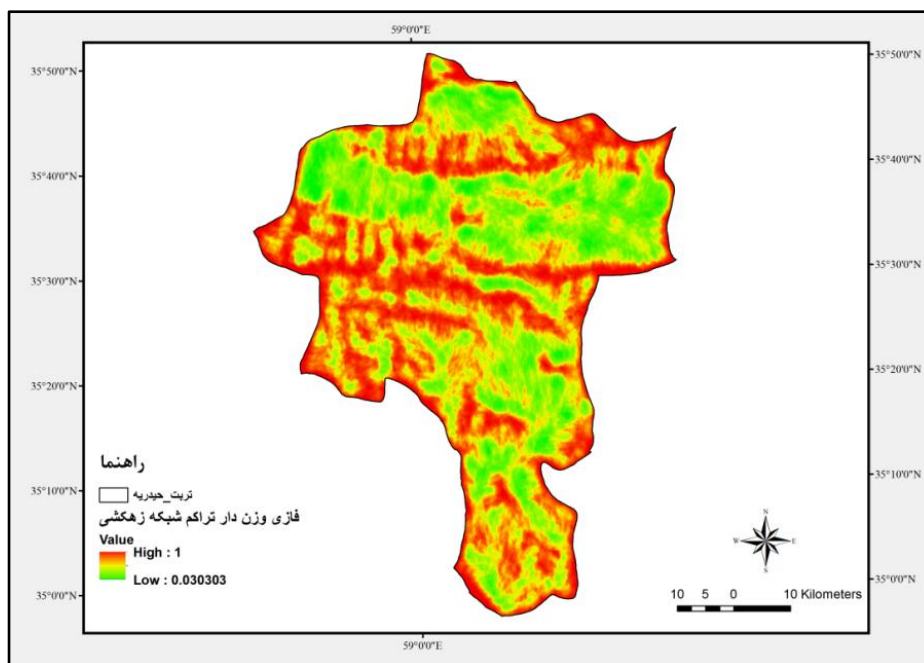


شکل ۹: نقشه فازی وزن دار ارتفاع شهرستان تربت حیدریه
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹



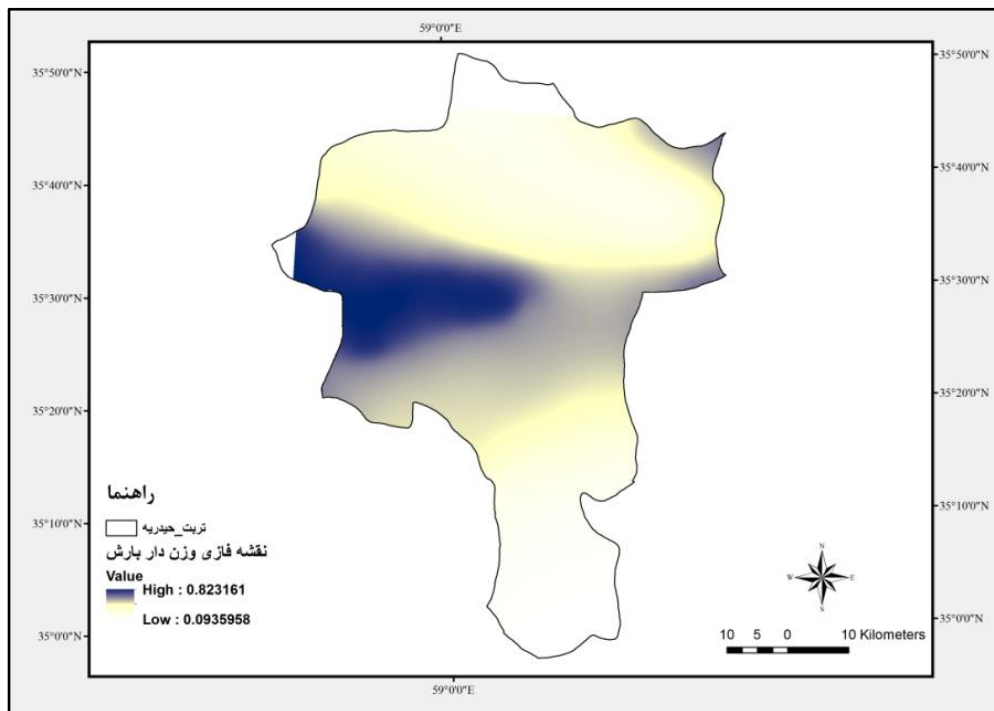
شکل ۱۰: نقشه فازی وزن دار فاصله از رودخانه شهرستان تربت حیدریه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

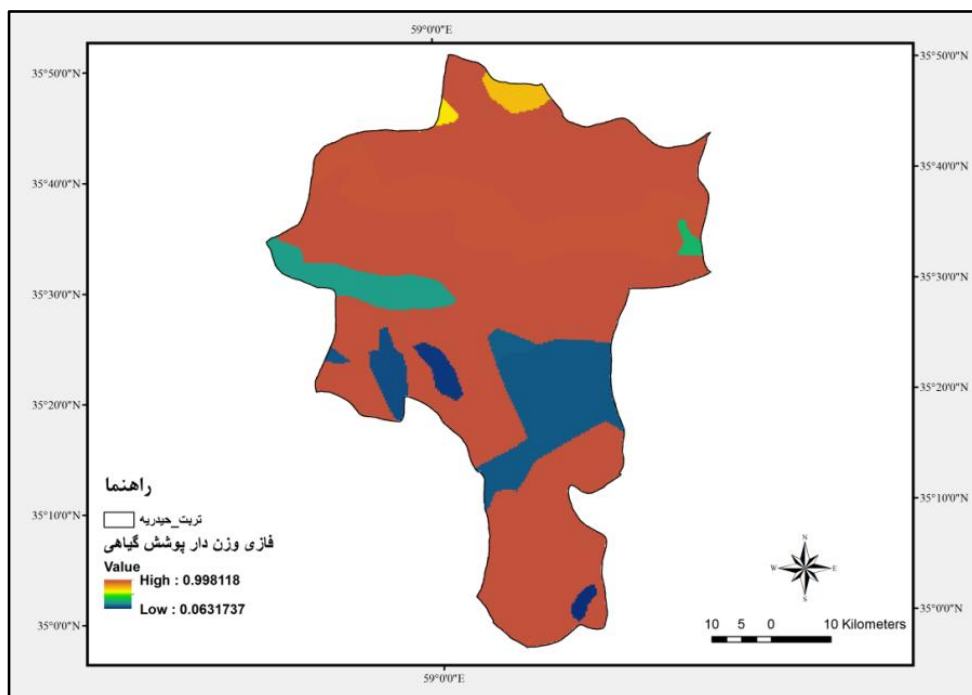


شکل ۱۱: نقشه فازی وزن دار تراکم زهکشی شهرستان تربت حیدریه

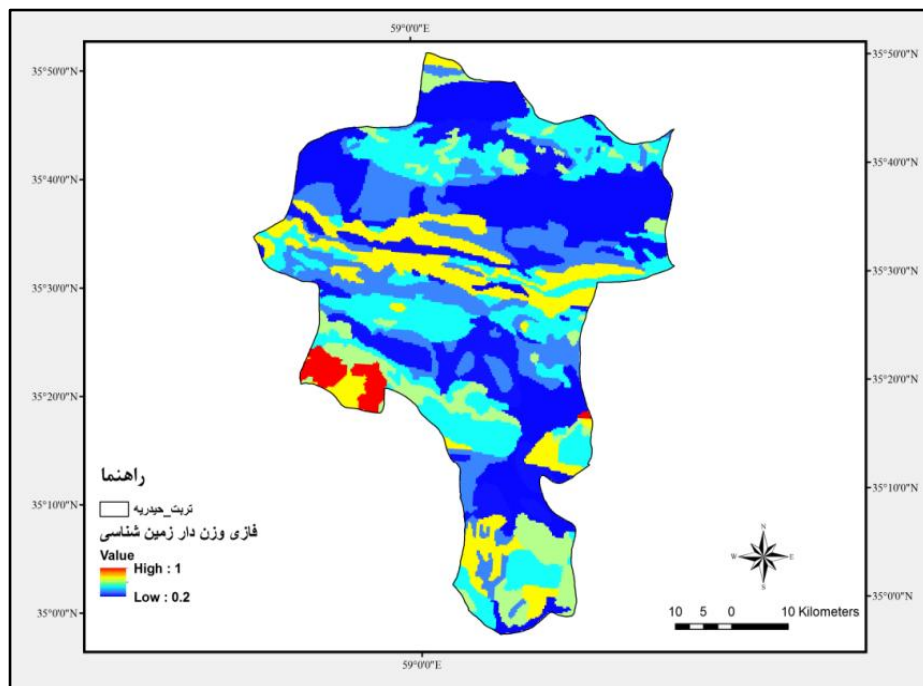
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹



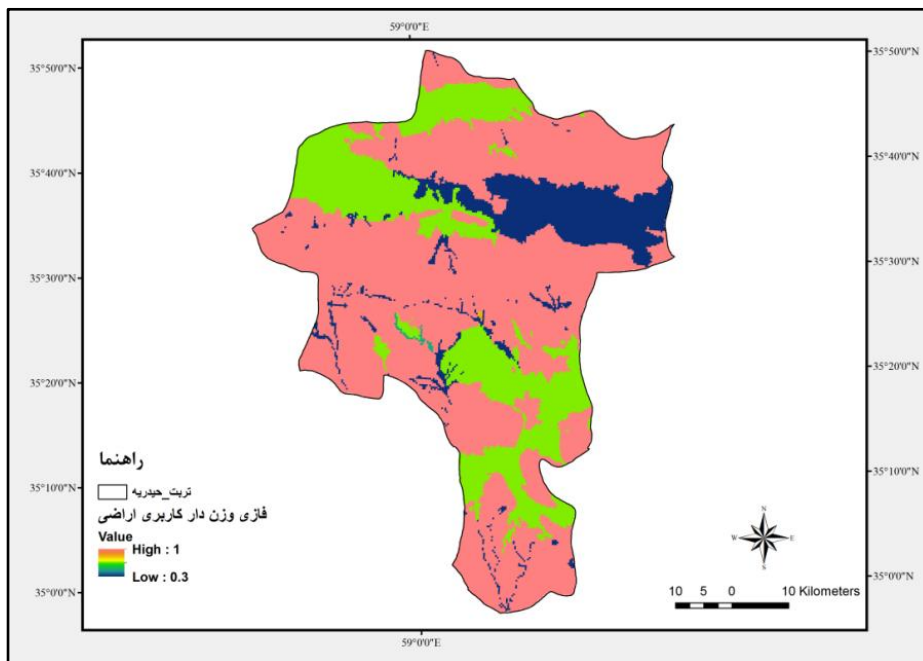
شکل ۱۲: نقشه فازی وزن دار بارش شهرستان تربت حیدریه
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹



شکل ۱۳: نقشه فازی وزن دار پوشش گیاهی شهرستان تربت حیدریه
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹



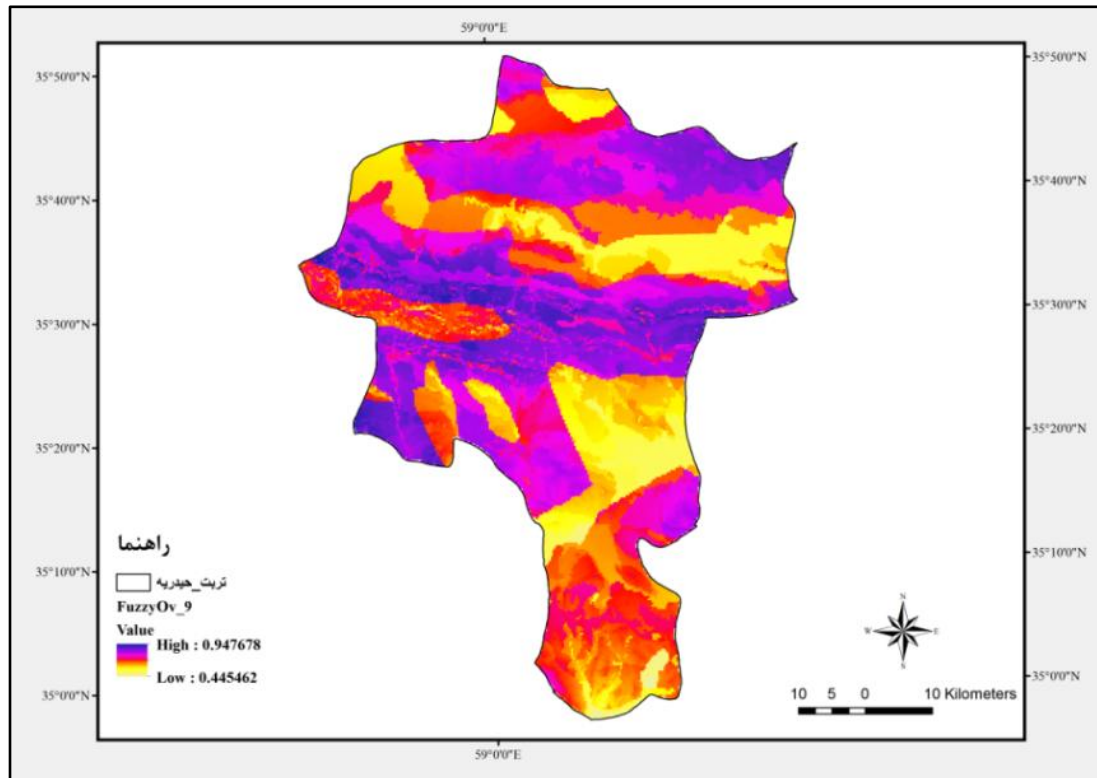
شکل ۱۴: نقشه فازی وزن دار زمین شناسی شهرستان تربت حیدریه
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹



شکل ۱۵: نقشه فازی وزن دار کاربری اراضی شهرستان تربت حیدریه
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

ترسیم پتانسیل سیل خیزی در شهرستان تربت حیدریه استفاده شده است (شکل ۱۶).

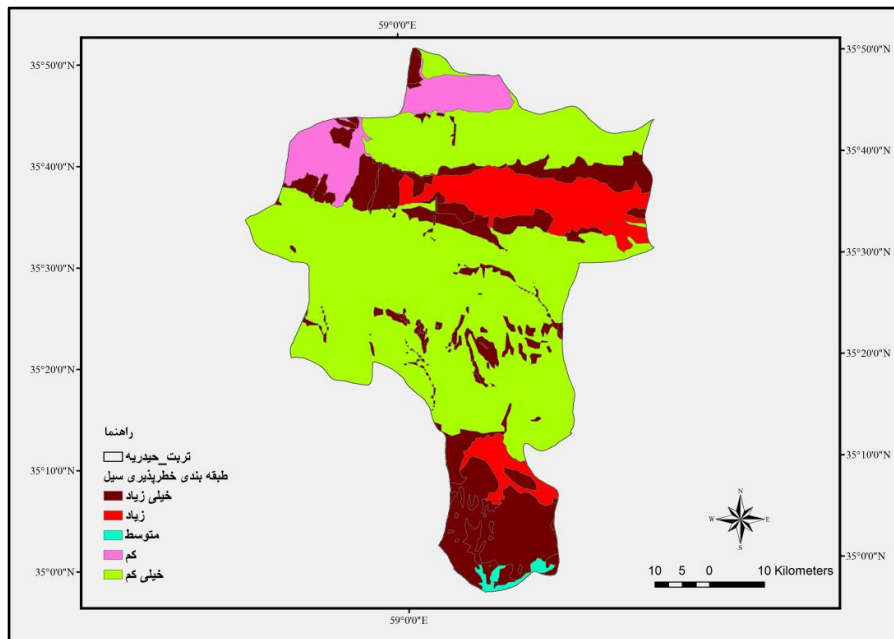
پس از ترکیب لایه های فازی ضریب همبستگی آن ها با گام های ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ محاسبه شده (جدول ۱) و به دلیل همبستگی بالای گامی ۰/۹ (بیش از ۹۶ درصد) از آن برای



شکل ۱۶: نقشه پتانسیل سیل خیزی در شهرستان تربت حیدریه براساس منطق فازی و عملگر گامای ۰/۹ تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

نواحی با خطر خیلی کم با ۳۶/۷ درصد از کل مساحت بیشترین و نواحی با خطر متوسط با ۵/۱۱ درصد کمترین مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. البته نواحی با خطر خیلی زیاد با ۳۰/۴۹ درصد و مناطق با خطر کم و زیاد نیز به ترتیب با ۱۲/۹ و ۱۴/۸ درصد هستند (جدول ۴ و شکل ۱۸).

نقشه کلاسه‌بندی خطر سیل خیزی براساس روش شکستگی‌های طبیعی در ۵ سطح طبقه‌بندی شده است (شکل ۱۷). بر این اساس مناطق با خطر بسیار زیاد در بخش شمالی و جنوبی است که عمدتاً کوهستانی و دارای شیب زیاد است. نواحی با خطر کم نیز اغلب در دشت‌هاست. در این نقشه محدوده‌های با خطر بسیار زیاد با رنگ قهوه‌ای نشان داده شده است. بر این اساس



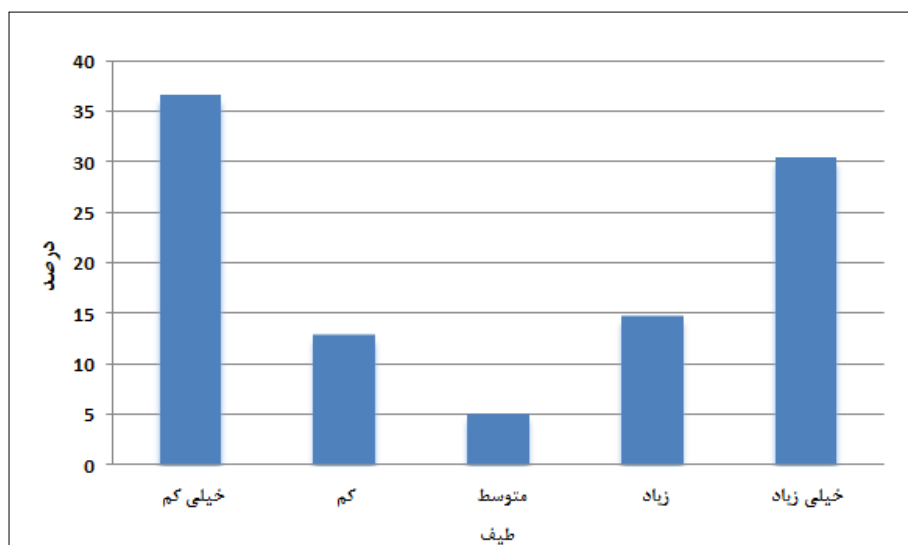
شکل ۱۷: نقشه کلاسه بندی خطر سیل خیزی در شهرستان تربت حیدریه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

جدول ۴: مساحت کلاس های نقشه پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی به درصد

پهنه بندی سیل خیزی شهرستان به درصد	طیف	ردیف
۳۶/۷	خیلی کم	۱
۱۲/۹	کم	۲
۵/۱۱	متوسط	۳
۱۴/۸	زیاد	۴
۳۰/۴۹	خیلی زیاد	۵

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹



شکل ۱۸: نمودار درصد مساحت پتانسیل سیل خیزی در شهرستان تربت حیدریه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

نتیجه

تحقیقات گوناگونی درخصوص تعیین عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از روش‌های فازی، AHP، HEC-RAS در محیط GIS صورت گرفته‌است؛ در همین راستا تحقیق حاضر با استفاده از تلفیق مدل‌های فازی و AHP به تعیین درجه اهمیت و میزان تأثیرگذاری هشت عامل مهم پرداخته‌است. استفاده از مدل مذکور با استفاده از مقادیر فازی این امکان را میسر ساخت تا شرایط لازم به منظور کاهش میزان عدم قطعیت و افزایش میزان اطمینان در تعیین دقیق‌تر درجه تأثیرگذاری و اولویت هر یک از این هشت عامل مهیا شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مدل فازی با وجود پیچیدگی‌هایی که دارد، دارای مزایای بسیاری در مطالعه پدیده‌های مختلف مرتبط با سطح زمین است. از جمله می‌توان به صحت و دقت بالای نتایج حاصل از استفاده از آن اشاره کرد. از دیگر ویژگی‌های این مدل، قابلیت آن در تبدیل عبارت‌های زبانی برگرفته از تجربه و دانش بشری در قالب ریاضی است و از این مدل می‌توان برای مدل‌سازی در زمان نبود قطعیت و صراحت در مسائل دنیای واقعی نظیر دردسترس نبودن داده‌ها و اطلاعات دقیق موردنیاز استفاده کرد. در روش AHP برخلاف روش فازی نظرات کارشناسان در نقشه نهایی بسیار مؤثر بوده‌است؛ درحالی‌که در روش فازی تأثیر نظرات کارشناسان به حداقل می‌رسد و در واقع نتیجه نهایی حاصل برآوردهای پیچیده ریاضی و آماری است؛ بنابراین در تحقیق حاضر از تلفیق دو مدل استفاده شده‌است تا از مزایای هر دو مدل بهره گرفته شود. با توجه به نتایج و نظر کارشناسان خبره در منطقه مورد مطالعه، سیل همیشه در پس بارندگی‌های شدید در این شهرستان اتفاق می‌افتد؛ بنابراین پارامترهای شیب با وزنی معادل ۰/۳۰۶ و بارندگی با وزنی معادل ۰/۱۷۵ بیشترین وزن را به خود اختصاص داده و به عنوان اولویت اول در پهنه‌بندی خطر سیل مطرح شد. پارامترهای پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و ارتفاع اولویت‌های بعدی را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین

براساس نتایج حاصل از تلفیق لایه‌ها به روش همپوشانی فازی و وزن‌نهایی حاصل از مدل AHP، نقشه کلاسه‌بندی خطر سیل خیزی در منطقه مورد مطالعه استخراج (شکل ۱۷ و ۱۸) و مشخص شد که مناطق با خطر خیلی زیاد (۳۰/۴۹ درصد) شامل برخی از نواحی مرکزی، شمالی و جنوب، مناطق با خطر زیاد (۱۴/۸ درصد) در مناطق شمالی و جنوب شرق، مناطق با خطر متوسط (۵/۱۱ درصد) در نواحی منتهی‌الیه جنوبی، مناطق با خطر کم (۱۲/۹ درصد) در مناطق شمال غرب و مناطق با خطر پذیری خیلی کم در نواحی مرکزی، غرب، شمال و شمال شرق شهرستان پراکنده‌گی دارد؛ از این رو پیشنهاد می‌شود نسبت به بهسازی، طراحی و اجرای طرح‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری در منطقه توجه لازم انجام شود. همچنین برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان باید در زمینه کاهش خطرپذیری نسبت به جانمایی مناسب زیرساخت‌ها و تأسیسات شهرستان اقدام لازم را به عمل آورند. لازم به ذکر است، نتایج این پژوهش از بعد معیارهای مورد مطالعه در راستای مطالعات قنواتی ۱۳۹۲، نسرین‌نژاد ۱۳۹۳، اصغری ۱۳۹۴، موسوی ۱۳۹۵، میرزاعلی ۱۳۹۷، محمودزاده ۱۳۹۷ و خلیلی ۱۳۹۹ است و نشان‌دهنده این مهم است که معیارهای شیب و بارش بیشترین تأثیر را در سیل‌خیزی منطقه دارد.

شهر تربت‌حیدریه: این شهر مرکز شهرستان است و از نظر موقعیت جغرافیایی در شرق شهرستان قرار دارد. براساس نقشه پتانسیل سیل‌خیزی، این شهر از لحاظ خطر وقوع سیل در محدوده خطر خیلی کم البته برخی از نقاط آن در محدوده خطر خیلی زیاد است که باید مطالعات لازم در خصوص سیل‌های شهری انجام پذیرد. سکونتگاه‌های روستایی: با توجه به نقشه (۲) و پراکنش فضایی روستاهای شهرستان اکثر سکونتگاه‌های روستایی در محدوده خیلی کم قرار گرفته‌اند. البته در مناطق شمالی و به خصوص شمال شرق شهرستان برخی از مناطق روستایی در محدوده خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند که نیازمند برنامه‌ریزی دقیق در این خصوص است.

منابع

- خلیلی، علی؛ آریان اسروش (۱۳۹۹). ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در منطقه مکران با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، فصلنامه جغرافیایی سرزمین. سال هفدهم، شماره ۶۶. صفحات ۱۱-۱.
- https://journals.srbiau.ac.ir/article_16614.html
- رستمی، فرهاد (۱۳۸۷). اصلاح مدل برآورد رسوب ام‌سیاک با به‌کارگیری تکنیک فازی در حوضه سد زاگرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده ادبیات. رشته جغرافیا. دانشگاه تربیت معلم. صفحه ۴۲.
- سازمان هواشناسی استان خراسان رضوی، ۱۳۹۹.
- سلامی، محمد (۱۳۸۹). تحلیل پارامترهای کیفی آب‌تالاب انزلی با استفاده از روش ریاضی فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم. دانشگاه تربیت معلم. صفحه ۲۰.
- عطائی، محمد (۱۳۸۹). تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. چاپ اول. ۲۴۴ صفحه.
- علیزاده، امین (۱۳۸۷). اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ ۲۴. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). صفحه ۸۷.
- غیور، حسنعلی (۱۳۷۵). سیل و مناطق سیل‌خیز در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۴. صفحه ۱۸.
- http://uijs.ui.ac.ir/jgr/?&slct_pg_id=107&sid=1&slc_lang=fa
- قدسی‌پور، حسین (۱۳۸۴). فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، دانشگاه صنعتی امیرکبیر. مرکز نشر ۲۲۴ صفحه.
- قنواتی، عزت‌الله (۱۳۹۱). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیل در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۳. شماره ۴. صفحات ۱۳۸-۱۲۱.
- https://journals.ui.ac.ir/article_18570.html
- اسفندیاری‌دارآباد، فریبا (۱۳۹۸). پهنه‌بندی سیلاب‌حوضه آبخیز آجرلوچای با استفاده از روش L-THIA و منطق فازی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۸. صفحه ۱۵۵.
- <https://www.sid.ir/fa/JOURNAL/ViewPaper.aspx?ID=528494>
- اصغری‌مقدم، محمدرضا (۱۳۷۸). جغرافیای طبیعی شهر (هیدرولوژی و سیل‌خیزی شهر)، چاپ اول. انتشارات مسعی. صفحه ۴۵.
- اصغری، صیاد؛ النازپوروزی؛ بتول‌زینالی (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای با استفاده از مدل ویکور، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال ۴. شماره ۳. صفحات ۲۴۵-۲۳۱.
- <http://www.geomorphologyjournal.ir/article78014.html>
- افتخاری، عبدالرضا؛ محمودی قدیری؛ اکبر پرهیزکار؛ سیاوش شایان (۱۳۸۸). تحلیلی بر دیدگاه‌های نظری آسیب‌پذیری جامعه نسبت به مخاطرات طبیعی، فصلنامه مدرس علوم انسانی. دوره ۱۳. شماره ۱. صفحات ۳۱-۳۰.
- <https://hsmssp.modares.ac.ir/article-21-9702-fa.html>
- امامی‌کیا (۱۳۹۴). ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از روش AHP، تحقیقات جغرافیایی. سال ۳۰. شماره ۱. پی‌اچ‌اچ ۱۱۶. صفحات ۱۸۰-۱۶۷.
- <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=317463>
- ثروتی، محمدرضا؛ جمشید جداری‌عیوضی؛ کیا بزرگمهر (۱۳۸۵). محاسبه و تحلیل دبی متوسط سیل با استفاده از روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب در محدوده خیرود نوشهر تا سردآبرود چالوس، جغرافیایی سرزمین. دوره ۳. شماره ۲. پی‌اچ‌اچ ۷۹-۶۳.
- https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_5951.html

- وفاخواه، مهدی (۱۳۹۵). تهیه نقشه خطرپذیری سیلاب در حوزه آبخیز شهری نور با استفاده از تحلیل سلسله-مراتبی و منطق فازی، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره ۷، شماره ۱۴، صفحات ۱۹-۱۱.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=305232>

- یمانی، مجتبی (۱۳۸۴). ارتباط ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی (تجزیه و تحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئومورفولوژیک حوضه‌های فشنند و بهجت‌آباد)، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۴، صفحه ۴۹.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=37732>

References

- Adam Podlaha, Michal Lorinc, Gaurav Srivastava, Steve Bowen, Brian Kerschner (2020), Global Catastrophe Recap: First Half of July 2020. 110.

<https://www.sliptcase.com/view/global-catastrophe-recap-december-2020>

- Chang CT. (2008). Revised multi-choice goal programming. Applied mathematical modelling, 32(12), 2587-2595.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2007.09.008>

- Fernandez, D.S. M.A. Lutz. (2010), Urban flood hazard zoning in Tucumán Province Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis, Engineering Geology No.111, 90-98.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.12.006>

- Laarhoven VP, Pedrycz W (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. Fuzzy sets and Systems, 11(1): 199-227.

[https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(83\)80082-7](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(83)80082-7)

- Lee AH, Chen WC, Chang CJ. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. Expert systems with applications, 34(1). 96-107.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.08.022>

- لطفی، حیدر؛ مهتاب جعفری (۱۳۹۰). فرایند ایمن‌سازی شهری در جهت مقابله با مخاطرات طبیعی (سیل) مطالعه موردی: شهر تهران، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۱، شماره ۳۶، صفحات ۲۹۶-۲۸۳.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=149464>

- محمودزاده، حسن؛ مائده باکویی (۱۳۹۷). پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی مطالعه موردی: ساری، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۸، صفحات ۶۸-۵۱.

<https://www.doi.org/10.22111/jneh.2018.19885.1238>

- مهدی‌زاده، جواد (۱۳۹۱). تحلیل مخاطرات اقلیمی در شهر تبریز با استفاده از منطق فازی و مدل ANP، کارشناسی ارشد رشته جغرافیا، دانشگاه محقق اردبیلی، اردیبهشت ۹۷.

- موسوی، سیده معصومه؛ سعید نگهبان؛ حیدر رخشانی مقدم؛ سید محسن حسین‌زاده (۱۳۹۵). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغ‌ملک، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ۵، شماره ۱۰، صفحات ۹۸-۷۹.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=279528>

- مؤمنی، منصور (۱۳۷۸). مباحث نوین تحقیق در عملیات، چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تهران. صفحه ۱۸۷.

- نسرین‌نژاد، نعمت‌اله؛ کاظم رنگزن؛ نصرا... کلانتری؛ عظیم صابری (۱۳۹۳). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)، مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۵، شماره ۴، صفحات ۳۴-۱۵.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=243763>

- Yahaya, S. (2008). Multicriteria Analysis for Flood Vulnerable Areas in Hadejia-jama are River Basin, Nigeria. Annual Conference Portland, Oregon. ASPRS 2008 Annual Conference Portland, Oregon. April 28-May 2, 2008. 87.
<http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/portland08/0088.pdf>
- Yen an Wu, Ping-an Zhong, Yu Zhang, Biao Ma, Kun Yan (2015). Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China, Natural Hazards, Issue 1, 635-651.
<https://doi.org/10.1007/s11069-015-1737-3>
- Zening Wu, Yanxia Shen and Huiliang Wang (2019). Assessing Urban Areas' Vulnerability to Flood Disaster Based on Text Data: A Case Study in Zhengzhou City, College of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, and China. Correspondence: Received: 23 July 2019; Accepted: 8 August 2019; Published: 21 August 2019. 68.
www.mdpi.com/pdf-vor
- OECD (2016), Financial management of flood risk, Paris: OECD Publishing. 76.
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264257689-en>
- Osman Sonmez, Hussein Bizimana (2018), Flood hazard risk evaluation using fuzzy logic and weightage based combination method in Geographic Information System (GIS), September 2018. Scientia Iranica.
[DOI:10.24200/SCI.2018.21037](https://doi.org/10.24200/SCI.2018.21037). PP.45-55.
- Pratik Dash, Jishnu Sar (2020). Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index, Journal of Flood Risk Management published by Chartered Institution of Water & Environmental Management and John Wiley and Sons Ltd. 123-145.
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12620>
- Saaty TL (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. Interfaces, 24(6). 19-43.
<https://www.jstor.org/stable/25061950>
- Sufia Rehman, Meheeb Sahana, Haoyuan Hong, Haroon Sajjad & Baharin Bin Ahmed (2019). A systematic review on approaches and methods used for flood vulnerability assessment: framework for future research, Natural Hazards Vol, 96. 975-998.
<https://doi.org/10.1007/s11069-018-03567-z>
- UNISDR CRED (2015). The human cost of weather-related disasters 1995-2015. 119.
http://www.unisdr.org/2015/docs/climatechange/COP21_WeatherDisastersReport_2015_FINAL.pdf
- Valentina Nikolova, Plamena Ventseslavova Zlateva (2017). Assessment of Flood Vulnerability Using Fuzzy Logic and Geographical Information Systems, Conference: International Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction. November 2017.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-68486-4>. P. 20.

