



Flood zoning of Mamulan City using ECMWF satellite data and ANP multi-criteria decision-making methods

Mohammad Taghi Heydari^a  , Mahtab Amraie^b , Mehdi Azari^c , Zahra Khalesi^d 

- a. Department of Geography, Faculty of Social Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
Email: mt.heydari@znu.ac.ir
- b. Department of Geography, Faculty of Social Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
Email: m.amraie1372@yahoo.com
- c. Department of Geography, Faculty of Social Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
Email: mehdi.azari@znu.ac.ir
- d. Department of Geography, Faculty of Geographical Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.
Email: zkhalesi22@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper


Received:
21 January 2025
Received in revised form:
28 February 2025
Accepted:
29 April 2025
pp.82-99.

Keywords:
Zoning,
Flood,
Analytic Network Process,
Mamulan County.

ABSTRACT

One of the impacts of climate change is the increased risk of flooding and its effects. Environmental disasters are occurring with increasing frequency and intensity around the world, with flooding being a major cause of both material and non-material damage, and its effects continuing long after the flood has occurred. One of the flood-prone areas of Iran, especially in 2018, was Mamulan City, which is located in the Karkheh riverbed that faces floods annually. Therefore, monitoring flood disasters and risk assessment has become an urgent need to increase prevention capacity and reduce flood-related damages in this city. In the present research, an evaluation and zoning of flood in this city was attempted. Nine layers, namely, topographic humidity, slope, elevation classes, distance from the river, drainage density, distance from the road, vegetation cover, precipitation and soil type were chosen as the indicators that affect the flood in the region. In this study, digital elevation model (DEM) data with a spatial resolution of 28 meters extracted from ASTER satellite and monthly precipitation data provided by ECMWF for the years 2014 to 2023- converted into annual data- were used for ANP flood classification and network analysis in Super Decisions software, the weighting of which was done based on experts' opinions. The results show that in Mamulan city the highest percentage of land belongs to the high and medium category in terms of flood risk. The rest of the classes are low and very high respectively, and the very low class has the lowest amount.

Citation: Heydari, M.T., Amraie, M., Azari, M., & Khalesi, Z. (2025). Flood zoning of Mamulan City using ECMWF satellite data and ANP multi-criteria decision-making methods. *Journal of Geography and Urban Research*, 2(1), 82-99.

 <https://doi.org/10.22130/gur.2025.2051347.1009>

© The Author(s)

Publisher: University of Maragheh.

This is an open access article under the CC BY license(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Extended Abstract

Introduction

The western and southwestern parts of Iran were severely affected by the devastating flood disaster in 2019, and this disaster is causing deeper concern every day. These concerns are usually more intense in counties without proper access facilities, usually located in the western part of Lorestan province and Iran. The majority of the people in this county are engaged in agriculture, gardening, animal husbandry, and driving heavy machinery. The flood in this county in 2019 severely affected the jobs of the people throughout the county. Many agricultural lands and orchards were turned into ruins, and even access roads to the county were cut off or had severe problems for several months. While the damage caused by the flood in this county has not yet been repaired, it has once again been exposed to floods with a weaker intensity than in 2019 due to heavy rainfall in the winter of 2023, and this is a serious warning for the authorities and people of this county with the start of spring rainfall. Considering what was stated, in the face of the flood situation in the city of Mokhlan, monitoring flood disasters and assessing the risk has become an urgent need to increase the capacity to prevent and reduce flood-related losses in this city, and also to reduce the current flood problem, it is necessary to strengthen systematic research on flood disaster risk assessment. Therefore, in the present study, we have tried to assess and zone the flood in this city, considering the flood situation in the city of Mokhlan, in order to identify both the dangerous and risky points caused by floods in this city and to prioritize the factors affecting the flood.

Methodology

The present study is of applied type in terms of purpose and descriptive and analytical in nature. The method of data collection is based on library resources and other research sources such as articles published on reputable sites related to the subject of floods, flood zoning and the city of Mamulan and field observations, spatial/satellite data. In this study, nine layers, namely topographic moisture, slope, elevation classes, distance from the river,

drainage density, distance from the road, vegetation, precipitation and soil type were selected as indicators that have a greater impact on the flooding situation of the region. To carry out this study, input data of the Digital Elevation Model (DEM) with a spatial resolution of 28 meters extracted from the ASTER satellite (ASTER GDEM) were used. To obtain the total precipitation over a decade, we used the monthly precipitation data provided by ECMWF for the years 2014 to 2023 and converted it into annual data.

Results and discussion

In the present study, the following criteria were used: topographic moisture, slope, elevation classes, distance from the river, drainage density, distance from the road, vegetation cover, precipitation, and soil type. After preparing and providing the nine main information layers, the pairwise comparison method was used to determine the weight of the classes of each layer and the ANP method was used to determine the final weight of the criteria. As mentioned earlier, the Super Decision software was used to determine the weights. The general process for determining the weight of the criteria affecting the flooding of the region using the ANP method has been explained in the previous section. In this method, the criteria were placed in two clusters including land condition and hydrology. Then, each of these clusters was classified according to the sub-criteria it has for flood zoning.

Conclusion

Finally, the weights obtained for each class in the Geographic Information System (GIS) were applied to the desired layers and, using the overlay functions, the flood map of Mamulan County was drawn. Based on this, the flood map of Mamulan County shows that the highest percentage of flood-prone lands belongs to the high and medium classes. The rest of the classes are low and very high, respectively, and the very low class has the lowest amount. In a way, this class does not exist at all in the flood-prone zoning of Mamulan County. As the findings of the present study showed, most of the area of Mamulan County is at risk of flooding, and this is due to the city's influence on the Karkheh Riverbed. In a way, the initial core

of Mamulan County was formed and developed in the riverbed, and this has caused floods with great damage, especially in recent years.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article.

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



پهنه‌بندی سیل خیزی شهرستان معمولان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ECMWF و روش‌های

تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP

محمدتقی حیدری^۱✉، مهتاب امرایی^۲، مهدی آذری^۳، زهرا خالصی^۴

۱- گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. Email: mt.heydari@znu.ac.ir

۲- گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. Email: m.amraie1372@yahoo.com

۳- گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. Email: mehdi.azari@znu.ac.ir

۴- گروه جغرافیا، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. Email: zkhalesi22@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

یکی از پیامدهای تغییرات اقلیمی، افزایش خطر وقوع سیل و آثار ناشی از آن است. بلایای زیست‌محیطی با شدت و فراوانی بیشتری در سراسر جهان رخ می‌دهند و سیل به‌عنوان یکی از این بلایا، خسارات گسترده‌ای از جنبه‌های مادی و غیرمادی به‌همراه داشته و اثرات آن تا مدت‌ها پس از وقوع نیز ادامه می‌یابد. شهرستان معمولان، که در مسیر رودخانه کرخه قرار دارد، یکی از مناطق سیل‌خیز ایران است که به‌ویژه در سال ۱۳۹۸ با سیلاب‌های شدیدی مواجه شد و هر ساله نیز در معرض این پدیده قرار دارد. از این‌رو، پایش بلایای سیل و ارزیابی میزان خطر آن به یک ضرورت فوری برای افزایش ظرفیت پیشگیری و کاهش خسارات در این شهرستان تبدیل شده است. در پژوهش حاضر، تلاش شده است تا ارزیابی و پهنه‌بندی سیلاب در این منطقه انجام گیرد. در این راستا، ۹ لایه شامل رطوبت توپوگرافی، شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از راه، پوشش گیاهی، میزان بارش و نوع خاک به‌عنوان شاخص‌های مؤثر در سیل‌خیزی منطقه انتخاب شدند. در این پژوهش، از داده‌های مدل رقمی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۲۸ متر برگرفته از ماهواره ASTER و داده‌های بارش ماهانه سازمان ECMWF در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ استفاده شد و داده‌ها به مقادیر سالانه تبدیل گردیدند. برای پهنه‌بندی سیل‌خیزی، از روش تحلیل شبکه (ANP) در نرم‌افزار Super Decisions بهره گرفته شد که در آن، وزن‌دهی شاخص‌ها بر اساس نظرات کارشناسان انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین درصد اراضی شهرستان معمولان در طبقات با خطر سیل‌خیزی زیاد و متوسط قرار دارند. سایر طبقات به ترتیب شامل کم و خیلی زیاد هستند و طبقه خیلی کم، کمترین سهم از سطح منطقه را به خود اختصاص داده است.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۱۱/۰۲

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۲/۰۹

صص. ۸۲-۹۹

واژگان کلیدی:

پهنه‌بندی،

سیل،

فرایند تحلیل شبکه،

شهرستان معمولان.

استناد: حیدری، محمدتقی؛ امرایی، مهتاب؛ آذری، مهدی و خالصی، زهرا. (۱۴۰۴). پهنه‌بندی سیل‌خیزی شهرستان معمولان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ECMWF و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP. *مجله جغرافیا و پژوهش‌های شهری*، ۲(۱)، ۸۲-۹۹.

<https://doi.org/10.22130/gur.2025.2051347.1009>

ناشر: دانشگاه مراغه

© نویسندگان

مقدمه

در حال حاضر، تغییرات اقلیمی به یکی از مهم‌ترین و چالش‌برانگیزترین مسائل پیش‌روی کره زمین تبدیل شده است (Arnal et al, 2023: 16). تغییرات اقلیمی، الگوهای زمانی و مکانی چرخه آب را دگرگون کرده است؛ این دگرگونی نه تنها دسترسی به منابع آب را تحت تأثیر قرار داده، بلکه امنیت آبی بشر را نیز با تهدید جدی مواجه ساخته است. دگرگونی در چرخه آب به شکلی ملموس و گسترده بر تحولات جهانی اثر گذاشته و موجب شده است که شناخت و تحلیل روند تکامل این چرخه، به یکی از ارکان اساسی در بررسی و درک تغییرات اقلیمی تبدیل شود. این مسئله آن‌چنان حائز اهمیت است که سازمان‌های بین‌المللی و نهادهای دولتی، از جمله هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی (IPCC¹) و بنیاد ملی علوم (NSF²)، آن را به‌عنوان یکی از موضوعات کلیدی در دستور کار خود قرار داده‌اند. همچنین، این موضوع به‌طور مستمر در چارچوب برنامه بین‌المللی ژئوسفر-زیست‌کره (IGBP³) و برنامه بین‌المللی هیدرولوژیکی (IHP⁴) مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد (Ludwig et al, 2022: 1278; Cheng et al, 2022: 2).

در حالت کلی، تغییرات اقلیمی یک واقعیت انکارناپذیر است و تأثیرات آن بر زندگی انسان و امنیت زیستی به‌طور فزاینده‌ای در حال گسترش و تعمیق است (Arnal et al, 2023: 9). یکی از پیامدهای بارز تغییرات اقلیمی، افزایش شدت و فراوانی سیلاب‌هاست؛ به‌گونه‌ای که پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند انواع مختلف سیل در نتیجه تغییرات اقلیمی با شدت بیشتری رخ خواهند داد (Yang et al, 2023: 1; Darlington et al, 2023: 1). افزایش شمار این‌گونه بلایای طبیعی به‌تدریج به یک پدیده جهانی تبدیل شده و چالشی جدی برای برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران در سراسر جهان به وجود آورده است. اثرات ناشی از این حوادث، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که نسبت به کشورهای توسعه‌یافته آسیب‌پذیری بیشتری دارند، بسیار پیچیده و چندلایه است. ابعاد و مقیاس این رویدادها نیز می‌تواند بسیار متغیر باشد؛ از خسارت‌های محدود در سطح محله گرفته تا فجایعی گسترده در ابعاد ملی یا فراملی (Vazhuthi & Kumar, 2020: 140).

بررسی داده‌های تاریخی نشان می‌دهد که آب عامل نزدیک به ۹۰ درصد بلایای طبیعی در سطح جهان بوده است. در این میان، سیلاب‌ها به‌تنهایی مسئول حدود ۴۵ درصد از کل بلایای گزارش‌شده در سال ۲۰۲۲ بوده‌اند، که این امر بر نقش برجسته و تهدیدآمیز آن‌ها در میان مخاطرات طبیعی تأکید دارد (Mudef, 2023: 1). شکل (۱) نیز با ارائه آماری جامع از رخداد‌های سیل شدید در سطح جهانی طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲، به‌خوبی گویای ابعاد گسترده این پدیده است. این آمار شامل میزان تلفات انسانی، انواع مختلف سیلاب، توزیع جغرافیایی رویدادها و خسارات اقتصادی ناشی از آن‌هاست و به‌روشنی صحت و شدت تأثیر سیلاب‌ها به‌عنوان یکی از پیامدهای جدی تغییرات اقلیمی را نشان می‌دهد (Cheng et al, 2022: 4). همان‌طور که در داده‌های ارائه‌شده مشخص است، در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲، مجموعاً ۵۳ مورد سیلاب عادی در سطح جهان به ثبت رسیده است. بررسی درصد وقوع این حوادث بر اساس سال و قاره نشان می‌دهد که قاره آسیا با سهمی معادل ۳۵ درصد، بیشترین تعداد رویدادهای سیل را در این دوره تجربه کرده است. بر اساس گزارش سازمان کاهش خطرات بلایای طبیعی سازمان ملل متحد (UNDRR⁵)، آسیا در حال حاضر بیش از هر منطقه دیگری در معرض خطر سیلاب قرار دارد؛ به‌طوری‌که ۴۱ درصد از کل سیلاب‌های جهان در این قاره رخ داده‌اند (Cheng et al, 2022: 5).

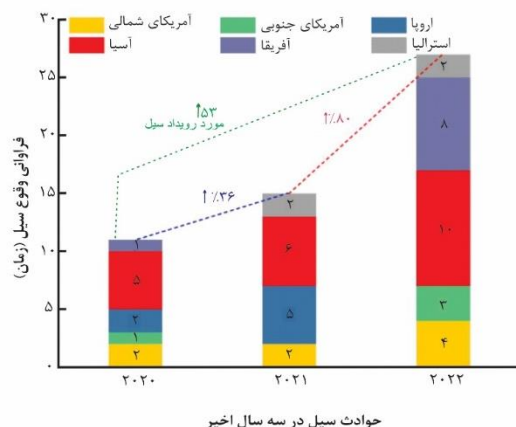
1 Intergovernmental Panel on Climate Change

2 National Science Foundation

3 International Geosphere-Biosphere Program

4 International Hydrological Program

5 United Nations Office for Disaster Risk Reduction



شکل ۱. حواث سیل‌خیز در سه سال ۲۰۲۰، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۳

منبع: Cheng et al, 2022: 7

جدول ۱. رویدادهای سیل در جهان در سال ۲۰۲۲

مکان/سال	خسارات	مکان/سال	خسارات
طوفان استوایی آنا/اولخر ژانویه ۲۰۲۲	این سیل از چندین منطقه در جنوب مالایو عبور کرده و خسارات فراوانی به‌جای گذاشته است. بر اساس آمارها، نزدیک به ۹۹۰,۰۰۰ نفر در یکی از ۲۸ نقطه آسیب‌دیده کشور تحت تأثیر مستقیم این رویداد قرار گرفته‌اند.	سیل در استرالیا/۱ مارس ۲۰۲۲	بارندگی تجمعی در مناطق شمال نیوساوت ولز و جنوب کوئزلند بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر ثبت شده و در برخی نقاط ساحلی، میزان بارش حتی از ۴۰۰ میلی‌متر فراتر رفته است. سواحل جنوب شرقی استرالیا در این دوره با شدیدترین سیلاب‌های چند دهه اخیر مواجه شدند که متأسفانه منجر به فوت ۲۰ نفر گردید.
سیل در پتروپولیس برزیل/۱۵ فوریه ۲۰۲۲	بارش بیش از حد در ماه فوریه موجب وقوع سیلاب و رانش گل در روز پس از آن شد که متأسفانه منجر به کشته شدن ۱۷۱ نفر گردید. در مناطقی که بیشترین آسیب را تجربه کردند، رانش زمین بیش از ۸۰ خانه واقع در دامنه تپه‌ها را به کلی ویران کرده است.	طوفان استوایی مگی در فیلیپین/۱۰ آوریل ۲۰۲۲	این طوفان شدید چندین روستا در حوالی شهر بیبی در استان مرکزی لیته را درنوردید. بر اثر رانش زمین و سیلاب‌های ناشی از آن، دست‌کم ۱۶۷ نفر جان خود را از دست دادند، ۱۱۰ نفر مفقود شدند و حدود ۱.۹ میلیون نفر نیز تحت تأثیر مستقیم این بحران قرار گرفتند.
سیل مرگبار شرق آفریقا/۹ تا ۱۳ آوریل ۲۰۲۲	بارش تجمعی در سواحل شرقی آفریقای جنوبی به حدود ۱۰۰ میلی‌متر رسید و در برخی مناطق حتی از ۳۰۰ میلی‌متر نیز فراتر رفت. این بارش شدید که در ۶۰ سال گذشته در آفریقای جنوبی کمتر مشاهده شده بود، منجر به وقوع سیلاب و رانش گل در استان کوازولو-ناتال شد و متأسفانه باعث مرگ ۴۴۸ نفر و مفقود شدن بیش از ۶۰ نفر گردید.	بارندگی شدید در کلمبیا/۱۶ مارس تا ۹ می ۲۰۲۲	بارش شدید باران، ۲۸۵ شهر در ۲۵ استان کلمبیا را فرا گرفت و بیش از ۱۸,۱۰۰ خانوار را تحت تأثیر قرار داد. بر اساس گزارش واحد ملی مدیریت بحران کلمبیا (UNGRD)، این بارش‌های سنگین منجر به کشته شدن حداقل ۴۷ نفر، زخمی شدن ۴۹ نفر و مفقود شدن ۷ نفر شده است.
سیل ویرانگر سودان/مه تا سپتامبر ۲۰۲۲	سیلاب‌های متعدد ناشی از بارش‌های شدید در سودان، جان دست‌کم ۱۴۶ نفر را گرفت و بیش از ۳۰۰,۰۰۰ نفر را تحت تأثیر قرار داد. نزدیک به ۱۲,۶۰۰ جریب زمین کشاورزی نابود شد و بیش از ۴,۸۰۰ رأس دام تلف گردید. همچنین، حداقل ۱۳,۲۰۰ خانه در ۱۵ ایالت به‌طور کامل ویران و ۳۴,۲۰۰ خانه دیگر دچار خسارت شدند.	سیل در جنوب آسیا/از ۲۲ تا ۲۵ مه ۲۰۲۲	شمال شرق هند در پی بارش‌های شدید فصلی با سیلاب‌های گسترده‌ای مواجه شد که منجر به کشته شدن ۱۰۱ نفر در ایالت آسام گردید. در همین حال، بنگلادش نیز در جریان باران‌های موسمی دست‌کم ۴۲ کشته را گزارش کرده است. در ماه ژوئن، سیلاب‌های گسترده در برخی مناطق این دو کشور جنوب آسیایی میلیون‌ها نفر را مجبور به ترک خانه‌های خود کرد.

این رویداد فاجعه‌ای گسترده در سراسر ایالت به‌راه انداخت که صدها خانواده را دچار بحران کرد. خانه‌ها، جاده‌ها و پل‌ها به‌طور جدی آسیب دیدند و خدمات برق و آبرسانی دچار اختلال شدند، امری که اعلام وضعیت اضطراری را اجتناب‌ناپذیر ساخت.	سیل مونتانا در ایالات متحده/ ۱۳ تا ۱۵ ژوئن ۲۰۲۲	طوفان آگاتا که قوی‌ترین طوفان پس از سال ۱۹۴۹ محسوب می‌شود، مکزیک را درنوردید. در پی این حادثه، حداقل ۳۳ نفر مفقود شدند، ۱۱ نفر جان خود را از دست دادند و بیش از ۴۰,۰۰۰ نفر تحت تأثیر مستقیم این طوفان قرار گرفتند.	طوفان آگاتا در مکزیک/ اواخر ماه مه و اوایل ژوئن ۲۰۲۲
--	---	--	--

منبع: Cheng et al, 2022: 11-12

با استناد به تجربیات کشورهای مختلف در مواجهه با سیلاب‌ها، می‌توان اظهار داشت که تکرار وقوع سیل منجر به افزایش خطر و آسیب‌پذیری جوامع، به‌ویژه گروه‌های کم‌درآمد، اقوام قبیله‌ای و بدوی، زنان و کودکان، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌شود. نمونه شاخص این موضوع، سیلاب‌های گسترده در سال ۱۳۹۸ در مناطق غربی و جنوب‌غربی ایران است که خسارات فراوانی برجای گذاشت و نگرانی‌های عمیقی را به همراه داشت. این نگرانی‌ها در شهرستان‌هایی با امکانات دسترسی محدود، مانند شهرستان معمولان در غرب استان لرستان، شدت بیشتری یافت. عمده فعالیت اقتصادی مردم این شهرستان شامل کشاورزی، باغداری، دامپروری و رانندگی ماشین‌های سنگین است. وقوع سیل در سال ۱۳۹۸ به‌شدت این مشاغل را تحت تأثیر قرار داد؛ بسیاری از اراضی کشاورزی و باغات به ویرانه تبدیل شدند و راه‌های دسترسی برای چندین ماه قطع یا با مشکلات جدی مواجه گردیدند. با وجود اینکه خسارات ناشی از سیل مذکور تاکنون به‌طور کامل جبران نشده، بارش‌های شدید زمستان ۱۴۰۲ مجدداً این منطقه را در معرض سیلاب‌هایی با شدت کمتر نسبت به سال ۱۳۹۸ قرار داده است. این مسئله به‌ویژه با آغاز فصل بارش‌های بهاری، به‌عنوان هشدار جدی برای مسئولان و ساکنان شهرستان معمولان مطرح می‌باشد (Srivastava & Sahay, 2023: 1).

با توجه به مطالب مطرح شده، در مواجهه با وضعیت سیل در شهرستان معمولان، انجام پایش مستمر بلایای سیل و ارزیابی دقیق خطر به‌عنوان یک ضرورت فوری جهت افزایش ظرفیت پیشگیری و کاهش خسارات ناشی از سیل مطرح می‌شود. همچنین، به‌منظور کاهش اثرات فعلی سیلاب‌ها، تقویت پژوهش‌های نظام‌مند و علمی در زمینه ارزیابی خطر بلایای سیل امری حیاتی است (Li et al, 2022: 2). لذا در پژوهش حاضر، با توجه به وضعیت سیل‌خیزی شهرستان معمولان، تلاش شده است تا ارزیابی و پهنه‌بندی سیل در این منطقه انجام شود. هدف از این کار، تعیین مناطق پرخطر و آسیب‌پذیر در برابر سیلاب‌ها و همچنین اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع سیل در شهرستان معمولان می‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع، پژوهشگران در بازه‌های زمانی مختلف و مناطق گوناگون جهان به‌طور مداوم به تحقیق در این زمینه پرداخته‌اند. از این رو، در ادامه، برخی از جدیدترین و برجسته‌ترین پژوهش‌ها در قالب جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. پیشینه‌های مرتبط با پژوهش حاضر

نویسندگان	عنوان	یافته‌ها و نتایج
بزک ^۱ و همکاران (۲۰۲۳)	ارتباط کوتاه: اولین بررسی هیدرولوژیکی سیل شدید اوت ۲۰۲۳ در اسلوونی، اروپا	دوره بازگشت شدت بارش روزانه، فرعی روزانه و دبی اوج هر دو به بازه‌ای بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ سال رسید. همچنین، ضریب رواناب در یک حوضه معمولی سیل‌آسا، عمدتاً با پوشش جنگلی و در مقیاس متوسط، تقریباً معادل ۰.۵ برآورد شد.
گوپتا و نیکام ^۲ (۲۰۲۳)	ارزیابی خطر بلایای سیل برای زیرساخت‌های مهم حمل و نقل تحت تغییرات آب و هوا	اقدامات انطباقی و کاهش‌دهنده پیشنهادی، این امکان را برای راه‌آهن هند فراهم می‌آورد که حتی در مواجهه با بارش‌های بسیار شدید آینده، عملیات قطارها را به‌طور مستمر و پایدار ادامه دهد.

¹Bezak

²Gupta & Nikam

این پژوهش پیشنهادی را برای طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم هشدار اولیه سیل مطرح می‌کند.	مفهومی برای هشدار اولیه سیل	سیمووا ^۱ و همکاران (۲۰۲۳)
استراتژی‌های پیشنهادی شامل تقویت سیاست‌های کنترل سیل و همچنین بهبود ساختار بوروکراسی و فرآیندهای سیاست‌گذاری می‌باشد.	سیاست مدیریت سیل در شهر باندونگ: چالش‌ها و استراتژی‌های بالقوه با هدف تحلیل سیاست کنترل سیل در شهر باندونگ، جاوه غربی، اندونزی	ستیادی ^۲ و همکاران (۲۰۲۳)
«مسیرهای دگرگونی» که در تمامی طیف‌های سیل تا خشکسالی کاربرد دارد، می‌تواند چارچوبی ارزشمند برای توسعه مدیریت پایدار منابع آب ارائه دهد.	مدیریت آب در سراسر طیف سیل-خشکسالی: تجربیات هلند و چالش‌های آن	بارتولومئوس ^۳ و همکاران (۲۰۲۳)
این مقاله، راه‌حل‌های بالقوه‌ای برای برخی از چالش‌ها را برجسته کرده و راهنمایی‌هایی ارائه می‌دهد تا مدل‌سازان بتوانند فرآیند مدل‌سازی و جمع‌آوری داده‌ها را در آینده بهبود بخشند.	بررسی سیستماتیک مدل‌سازی مدیریت سیل طبیعی: رویکردها، محدودیت‌ها و راه‌حل‌های بالقوه	هیل ^۴ و همکاران (۲۰۲۳)
جاری شدن سیل با بهره‌گیری از شاخص‌های چندمتغیره مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تحلیل زمین‌آماري به صورت کمی ارزیابی می‌شود؛ همچنین روندها و سناریوهای احتمالی آینده مرتبط با این پدیده بررسی و مطرح می‌گردند.	همبستگی فضایی بین الگوهای برنامه‌ریزی شهری و آسیب‌پذیری در برابر خطر سیل: مطالعه موردی در مورسیا (اسپانیا)	گارسیا-آیلون و فرانکو ^۵ (۲۰۲۳)
این ارزیابی، سناریوهای تغییرات آب و هوایی آینده را مدنظر قرار داده و اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری مبتنی بر سناریو و تحلیل هزینه-فایده جهت مدیریت خطر سیل شدید در شهر شانگ‌های را فراهم می‌آورد.	ارزیابی آسیب و خطر ساختمان تحت سناریوهای سیل شدید در شانگ‌های	تو ^۶ و همکاران (۲۰۲۳)
تئوری تاب‌آوری شهری در برابر سیل، پیشنهادی برای تغییر پارادایم در نحوه واکنش شهرها به سیلاب ارائه می‌دهد.	ایمنی در برابر سیل تا ایمنی در سیل: نظریه تاب‌آوری شهری تا سازگاری با سیل و هم‌افزایی در جهت کاهش آن	سریواستاوا و ساهای ^۷ (۲۰۲۳)
نتایج نشان می‌دهد که اجرای این سیستم‌ها موجب پیشرفت در کاهش خطر سیل شهری و تطبیق با تغییرات اقلیمی می‌شود و فضاهای شهری مقاوم‌تر و امن‌تری را برای ساکنان فراهم می‌آورد.	سیل و سازگاری با تغییرات آب و هوایی در مناطق توریستی: تجارب مدیریتی در سواحل استان آلیکانت ^۸ (اسپانیا)	سانچز-آلمودوار ^۹ و همکاران (۲۰۲۳)
تراکم ساختمان‌ها و شبکه معابر شهری، از عوامل کلیدی در وقوع سیلاب در شهر سندنچ محسوب می‌شوند.	پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر سندنچ با استفاده از مدل‌های ترکیبی شاخص آماری و تابع شواهد قطعی	آزادطلب و همکاران (۱۳۹۹)
از کل مساحت منطقه، ۰/۶ درصد در طبقه آسیب‌پذیری بسیار بالا قرار دارند.	پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی در محیط GIS (نمونه موردی: شهر ایلام)	زیاری و همکاران (۱۴۰۰)
۸۳ درصد از کل مساحت حوضه در پهنه‌های کم‌خطر یا بدون خطر قرار دارند، در حالی که ۱۷ درصد از اراضی آن در معرض خطر متوسط تا بالا سیلاب هستند.	تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیل (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان)	ساسانپور و همکاران (۱۴۰۰)
متغیرهای اصلی و مؤثر در ایجاد سیل در منطقه مورد مطالعه، شامل شیب با ضریب وزنی ۰/۳۰۶ و بارش با ضریب وزنی ۰/۱۷۵ می‌باشند.	پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در شهرستان تربت-حیدریه با استفاده از عملگرهای فازی	سعیدی‌مفرد و همکاران (۱۴۰۱)
بر اساس نمودار چکنایف، لایه‌های ارتفاع، فاصله از آبراهه و بارندگی به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل مؤثر بر حساسیت و احتمال وقوع سیل محسوب می‌شوند.	پهنه‌بندی حساسیت سیل در حوزه آبخیز سد کرج و تعیین عوامل مؤثر بر آن با استفاده از روش حداکثر آنتروپی	فرضی و همکاران (۱۴۰۱)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

1 Simova et al

2 Setiadi et al

3 Bartholomeus et al

4 Hill et al

5 García-Ayllón & Franco

6 Tu et al

7 Srivastava & Sahay

8 Alicante

9 Sánchez-Almodóvar et al

مبانی نظری

تعاریف متعددی درباره سیل وجود دارد که یکی از آنها توسط دپارتمان آبیاری و زهکشی مالزی (DID) در سال ۲۰۲۳ ارائه شده است. این دپارتمان سیل را به عنوان تجمع آب، بالا آمدن، افزایش حجم و سرریز شدن آن بر روی زمین تعریف می‌کند. همچنین، سیلاب را در دسته‌های سرریز شدن آب از حاشیه رودخانه، دریاچه یا سیستم‌های زهکشی به زمین‌های مجاور، ناشی از عواملی مانند طوفان، ذوب یخ، جزر و مد و انسداد کانال‌ها طبقه‌بندی می‌کند (Rosmadi et al, 2023: 24). بنابراین، با توجه به این تعاریف، می‌توان نتیجه گرفت که سیلاب ممکن است ظرف چند ساعت پس از وقوع بارندگی شدید، شکست سد، یا رهاسازی ناگهانی آب ناشی از یخ یا تجمع زباله‌ها رخ دهد. سیلاب‌های ناگهانی اغلب بدون هشدار قبلی اتفاق می‌افتند و می‌توانند افراد را غافلگیر کرده و خطرات جدی به همراه داشته باشند. از این رو، در مناطق مستعد سیلاب ناگهانی، ضرورت دارد اقدامات پیشگیرانه و برنامه‌ریزی مناسبی برای حفاظت از جان افراد، خانواده‌ها و اموال صورت گیرد (Josipovic & Viergutz, 2023: 944). به بیان دیگر، سیل زمانی رخ می‌دهد که حجم آب جاری، از ظرفیت کانال‌های زهکشی مانند رودخانه‌ها و نیز از سرعت جذب زمین‌های اطراف فراتر رود. از منظر تعادل آب، سیل نوعی از رواناب سطحی محسوب می‌شود، چرا که در این شرایط، آب موجود در حوضه رودخانه امکان نفوذ به زمین، جریان یافتن در مسیرهای طبیعی یا تبخیر را ندارد (Setiadi et al, 2023: 2).

سیل یک مخاطره طبیعی است؛ پدیده‌ای که در نتیجه عوامل گوناگونی مانند بارندگی شدید، ذوب سریع برف و یخ، رانش سنگ و توده‌های بزرگ که منجر به طغیان رودخانه‌ها می‌شوند، شکل می‌گیرد. این پدیده می‌تواند بارندگی‌هایی را شامل شود که موجب ریشه‌کن شدن درختان، تخریب ساختمان‌ها و وارد آمدن آسیب‌های گسترده به زیرساخت‌ها گردد. همچنین، سیلاب ممکن است در پی امواج عظیم دریایی (مانند سونامی) رخ دهد. سونامی‌ها عمدتاً در امتداد سواحل اقیانوس‌ها و به دلیل زمین‌لرزه‌ها، فعالیت‌های آتشفشانی، طوفان‌ها، گردبادها و دیگر پدیده‌های طبیعی به وقوع می‌پیوندند، بنابراین در پروژه‌های مرتبط با ارزیابی خطر سیل، ضروری است که جامعه محلی در فرآیند تصمیم‌گیری مشارکت داشته باشند؛ به‌ویژه در خصوص تعیین محل‌های محتمل برای تمرکز یا انحراف جریان سیلاب در مناطقی که هم در معرض منابع ساحلی و هم رودخانه‌ای هستند. در این راستا، دستورالعمل‌های مرتبط باید برای شناسایی دورترین نقاط پایین دست جهت نقشه‌برداری دقیق سیلاب مورد استفاده قرار گیرند.

اگرچه سیل در اصل یک پدیده طبیعی ناشی از عوامل محیطی مانند توپوگرافی، شیب زمین و ویژگی‌های طبیعی حوضه‌های آبریز است، اما نقش مداخلات انسانی در شدت و فراوانی آن بسیار قابل توجه است. اقداماتی نظیر تغییر بسترهای طبیعی رودخانه‌ها به دلیل توسعه شهرنشینی، بهره‌برداری بی‌رویه از زمین برای کشاورزی، جنگل‌زدایی و تغییر در کاربری اراضی، همگی موجب برهم خوردن تعادل طبیعی سیستم‌های هیدرولوژیکی شده و شرایط را برای وقوع سیلاب‌های شدیدتر فراهم می‌کنند. از سوی دیگر، همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، تغییرات سریع اقلیم جهانی نیز عامل مهمی در افزایش شدت و فراوانی وقوع سیلاب‌ها به شمار می‌رود. این تغییرات با افزایش بارش‌های شدید، تغییر الگوهای بارندگی، و افزایش دمای زمین، احتمال وقوع سیلاب‌های گسترده و پرخطر را در آینده نزدیک بیشتر کرده‌اند. سیل یکی از بلایای طبیعی محسوب می‌شود که طی آن بخشی از سطح زمین در اثر تجمع غیرعادی آب، به‌ویژه ناشی از بارش‌های شدید، طغیان رودخانه‌ها یا سایر منابع آبی، دچار غرقاب می‌شود. برخلاف بسیاری از دیگر بلایای طبیعی، سیلاب‌ها به‌طور نسبی از نظر زمان وقوع، گستره مکانی و پیامدهای محتمل، قابلیت پیش‌بینی بیشتری دارند.

پیامدهای سیلاب به مجموعه‌ای از عوامل بستگی دارد که می‌توان آن‌ها را در دو دسته کلی طبقه‌بندی کرد:

خطرات فیزیکی سیل: شامل عمق آب، سرعت جریان، شتاب اولیه (سرعت شروع)، مدت زمان تداوم سیل، شدت امواج و کیفیت آب است و ۲. ویژگی‌های آسیب‌پذیری گیرنده‌ها: نظیر نوع و تراکم توسعه شهری، ماهیت زیرساخت‌ها (مثلاً مقاوم یا فرسوده بودن آن‌ها)، سن و ترکیب جمعیتی، و همچنین وجود یا عدم وجود اقدامات پیشگیرانه و تاب‌آورانه و میزان قابلیت اعتماد به آن‌ها. ترکیب این عوامل مشخص می‌کند که یک منطقه تا چه اندازه در برابر وقوع سیلاب آسیب‌پذیر بوده و چه میزان خسارت را ممکن است تجربه کند، لذا ارزیابی خطرات و خسارات ناشی از سیل اهمیت زیادی دارد (Agonafir et al, 2023: 130; Dalal, 2023: 78; Narendr et al, 2023: 109 ; Simova et al, 2023: 14).

بلایای ناشی از سیل امروزه یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های اجتماعی محسوب می‌شوند (Rosmadi et al, 2023: 25). سیل‌ها نه تنها جان انسان‌ها را تهدید می‌کنند، بلکه به اموال نیز خسارت وارد کرده و زیان‌های غیرمادی برجای می‌گذارند که اثرات آن ممکن است تا مدت‌ها پس از وقوع فاجعه ادامه یابد. در مناطق گرمسیری، سیل یک فاجعه بزرگ با خطرات فزاینده به‌شمار می‌رود که این امر ناشی از تغییرات چشم‌انداز و نبود سیاست‌های منطقه‌ای سازگار است. افزون بر این، رفتارهای انسانی منجر به ایجاد لایه‌های لجن، آسیب به اکوسیستم‌های ساحلی و تخریب وضعیت رودخانه‌ها شده است؛ شرایطی که در صورت افزایش قابل توجه دبی آب، می‌تواند وضعیت را وخیم‌تر کند (Setiadi et al, 2023: 2). بسیاری از مناطق مسکونی فاقد سیستم‌های مؤثر زهکشی، مدیریت پسماند جامد و مدیریت منابع آب هستند که این امر منجر به بروز سیل و مشکلات بهداشتی می‌شود. احیای تالاب‌ها و تجاوز به اراضی به‌دلیل رشد شهرنشینی، توان اکوسیستم‌های شهری را در تضمین تنظیم طبیعی و حفاظت در برابر سیل تهدید کرده است. افزایش این تهدیدها، دولت را در تمامی سطوح تحت فشار قرار داده تا سیاست‌هایی را در جهت مدیریت بلایا و ارتقای تاب‌آوری جوامع اتخاذ کند. به‌عنوان نمونه، چین با درک اهمیت حفظ این دارایی‌های طبیعی در منظر شهری، برنامه «شهرهای اسفنجی» را با هدف مقاوم‌سازی مناظر طبیعی در ۳۰ شهر پایلوت راه‌اندازی کرده است؛ هدف از این برنامه جذب ۷۰ درصد رواناب‌های طوفانی تا سال ۲۰۳۰ است (Setiadi et al, 2023: 2; Nivya et al, 2023: 124). قابل توجه است که مسائل مربوط به سیل باید پیش از وقوع، از طریق شاخص‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و فرهنگی مورد بررسی قرار گیرد. سیاست‌های مدیریت سیل، اقداماتی برای انطباق با تغییرات اقلیمی و تحولات زمینی آینده محسوب می‌شوند. ناکامی در مدیریت بلایا منجر به افزایش خسارات اجتماعی و اقتصادی پس از وقوع فاجعه می‌گردد. سیاست‌های مدیریت بلایا که با شرایط محیطی و جوامع محلی هماهنگ نباشند، اغلب به بی‌تفاوتی اجتماعی منجر می‌شوند. هرچند جنبه فاجعه، منبع اصلی اطلاعات برای جوامع و سیاست‌گذاران جهت شناخت محیط و برنامه‌ریزی بر اساس منابع و فناوری موجود است، این وضعیت چالش عظیمی را برای سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و کارشناسان حوزه ایجاد می‌کند (Setiadi et al, 2023: 2).

جدول ۳. شاخص‌های پژوهش

ردیف	معیار
۱	شیب
۲	رطوبت
۳	طبقات ارتفاعی
۴	فاصله از رود
۵	تراکم زهکشی
۶	فاصله از راه
۷	پوشش گیاهی
۸	بارش
۹	نوع خاک

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

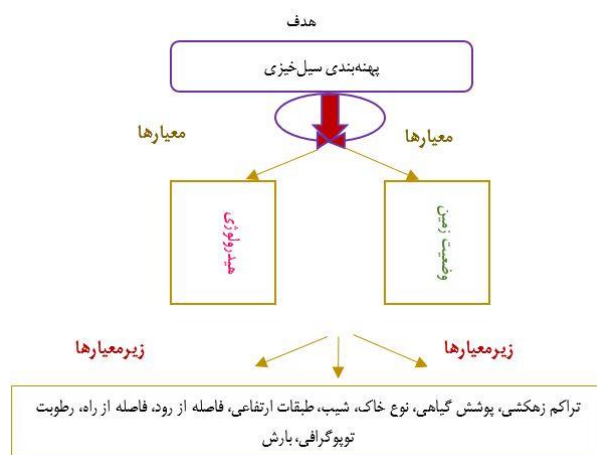
روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و از منظر ماهیت، توصیفی-تحلیلی است. روش گردآوری داده‌ها شامل استفاده از منابع کتابخانه‌ای، مقالات منتشرشده در وبسایت‌های معتبر مرتبط با موضوع سیل، پهنه‌بندی سیل و شهرستان معمولان، مشاهدات میدانی، داده‌های فضایی و ماهواره‌ای مرتبط با محدوده مورد مطالعه و همچنین گفتگو با ساکنان شهرستان معمولان می‌باشد. در این پژوهش ابتدا محدوده مورد مطالعه با توجه به اهمیت سیل‌خیزی آن در چند سال اخیر مشخص گردید و شناسایی منطقه و وضعیت عوامل مورد توجه قرار گرفت. در پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی شاخص‌های زیادی دخیل هستند که با توجه به محدوده مورد مطالعه برای مناطق مختلف متفاوت خواهد بود. در این پژوهش با توجه به وضعیت شهرستان معمولان که عمدتاً شرایط سیل‌خیزی این شهرستان به وضعیت و شرایط طبیعی بستگی دارد و با توجه به مشاهدات میدانی و مشورت با متخصصین و با توجه به شرایط طبیعی و اقلیمی شهرستان معمولان ۹ لایه؛ رطوبت توپوگرافی، شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از رود، تراکم زهکشی، فاصله از راه، پوشش گیاهی، بارش و نوع خاک را به عنوان شاخص‌هایی که تأثیرگذاری بیشتری بر وضعیت سیل‌خیزی منطقه دارند بر اساس نظر اساتید دانشگاه زنجان انتخاب شدند.

برای اجرای این پژوهش، از داده‌های ورودی مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت مکانی ۲۸ متر استخراج شده از ماهواره (ASTER GDEM) استفاده شد. مجموع بارش طی یک دهه نیز با بهره‌گیری از داده‌های ماهانه بارش ارائه شده توسط ECMWF برای سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ محاسبه و به داده‌های سالانه تبدیل گردید. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، در این مطالعه به‌عنوان مدل وزن‌دهی معیارها به کار رفت؛ وزن‌دهی شاخص‌ها بر اساس نظرات کارشناسان و با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions انجام شد.

روش مذکور توسط توماس ال. ساعتی^۱ در سال ۱۹۸۰ توسعه یافته است، برای حل مسائل به این صورت عمل می‌کند: ابتدا باید شبکه‌ای شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها، گزینه‌ها و روابط میان آن‌ها شناسایی و تعریف شود. سپس مقایسه‌های زوجی انجام می‌گیرد که معیارهای مقایسه‌شده نسبت به یک معیار کنترلی یا معیار مرجع صورت می‌پذیرد. وزن معیارها و گزینه‌ها در سوپر ماتریسی به دست می‌آید که سطرهای آن به مقدار ثابتی همگرا می‌شوند. در واقع، مدل ANP روابط متقابل بین مؤلفه‌ها را نیز مدنظر قرار می‌دهد. اندازه‌گیری اهمیت نسبی در ANP با استفاده از مقایسه‌های زوجی و طیف عددی ۱ تا ۹ انجام می‌شود. عدد ۱ بیانگر برابری اهمیت بین دو عامل و عدد ۹ نشان‌دهنده اولویت بسیار زیاد یک عامل نسبت به عامل دیگر است. استفاده از این روش مستلزم شناخت کامل تصمیم‌گیرنده از هدف تصمیم‌گیری، محیط آن و تمامی عناصر مرتبط است. این شناخت ضروری است تا تصمیم‌گیرنده بتواند تمامی معیارهای مؤثر را شناسایی، روابط تأثیرگذاری متقابل آن‌ها را تعیین و شبکه واقعی‌ترین حالت ممکن را ترسیم نماید. برای طراحی این ساختار شبکه‌ای از روش‌های مختلفی مانند توفان فکری، گروه اسمی یا روش‌های ریاضی همچون DEMATEL بهره گرفته می‌شود. در این شبکه، وابستگی‌های داخلی با پیکان و وابستگی‌های خارجی با کمان نمایش داده می‌شوند (Hejazi & Loghmannia, 2023: 76).

¹Thomas L. Saati



شکل ۲. وزن دهی به روش ANP

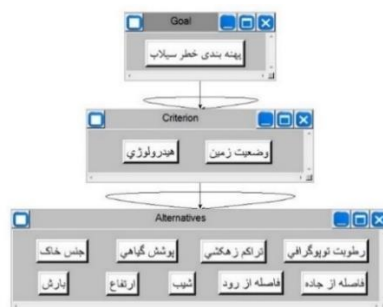
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

اجرای مدل و تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار ArcGIS صورت پذیرفت. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و تحلیل داده‌هایی به کار می‌رود که موقعیت جغرافیایی (مکانی) آن‌ها جزء ویژگی‌های اصلی و اساسی است. در این سیستم‌ها، سه پرسش اساسی مطرح است: ۱- پدیده مورد نظر چیست؟ (ویژگی‌ها و مقادیر آن) ۲- کجا قرار دارد؟ ۳- چگونه با سایر پدیده‌ها در ارتباط است؟ (توپولوژی). داده‌های جغرافیایی به دلیل برخورداری از صدها ویژگی و عارضه، حجم بسیار بالایی دارند؛ بنابراین، توانمندی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در تحلیل این داده‌ها از اهمیت حیاتی برخوردار است. انجام انواع پردازش‌ها و تحلیل‌ها در این محیط‌ها با صرفه‌جویی قابل توجه در زمان و هزینه همراه است (Taheri, 2021: 42)، از این رو، GIS به عنوان ابزاری کاربردی، امروزه جایگاه ویژه‌ای در میان جغرافی‌دانان یافته است.

مراحل روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

گام اول: پایه‌ریزی مدل و ساختار مسئله

مسئله یا موضوع مورد نظر باید به‌طور واضح و دقیق به یک سیستم منطقی، نظیر یک شبکه، تبدیل شود. این ساختار شبکه‌ای را می‌توان از طریق روش‌هایی مانند طوفان فکری یا گروه اسمی استخراج کرد. در این مرحله، مسئله مورد نظر به ساختاری شبکه‌ای تبدیل می‌شود که در آن، گروه‌ها به‌صورت خوشه‌ها تعریف می‌گردند. عناصر موجود در هر خوشه ممکن است با یک یا تمامی عناصر سایر خوشه‌ها ارتباط داشته باشند. این ارتباط‌ها که به‌عنوان وابستگی‌های بیرونی شناخته می‌شوند، با پیکان نمایش داده می‌شوند (شکل ۳).



شکل ۳. نمایش وابستگی درونی و بیرونی از ساختار شبکه‌ای خوشه‌ها

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

گام دوم: ماتریس مقایسات زوجی و برآورد نمودن وزن

مشابه مقایسه‌های زوجی در روش AHP، عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها با توجه به میزان اهمیت آن‌ها در ارتباط با معیارهای کنترلی به صورت دو به دو مقایسه می‌شوند. همچنین، خود خوشه‌ها نیز بر اساس نقش و تأثیر آن‌ها در تحقق هدف، به صورت زوجی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. تصمیم‌گیرندگان باید در خصوص این مقایسه‌های دو به دو، چه برای عناصر درون خوشه‌ها و چه برای خود خوشه‌ها، تصمیم‌گیری کنند.

علاوه بر این، وابستگی‌های متقابل میان عناصر درون یک خوشه نیز باید به صورت دو به دو مورد مقایسه قرار گیرند. میزان تأثیر هر عنصر بر عنصر دیگر از طریق بردار ویژه قابل محاسبه است. اهمیت نسبی عناصر بر اساس مقیاس ۹ نقطه‌ای کمی ساعتی تعیین می‌شود. در این مرحله، برداری به نام «اهمیت داخلی» محاسبه می‌گردد که نشان‌دهنده اهمیت نسبی عناصر یا خوشه‌ها بوده و از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A_W = \lambda_{\max}^w \quad (1)$$

که در آن λ_{\max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس A است. بردار W با استفاده از رابطه زیر نرمال می‌شود:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n w_i \quad (2)$$

نتیجه‌ی آن یک بردار واحد W است. به عبارتی، جمع عناصر هر ستون نرمال شده در ماتریس مقایسه زوجی برابر با ۱ می‌شود. برای ارزیابی میزان سازگاری در مقایسه‌های زوجی، از شاخص سازگاری بهره گرفته می‌شود که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

در کل با توجه به رابطه فوق اگر CI از ۰/۱ کمتر باشد مقایسه قابل قبول است.

گام سوم: تشکیل سوپر ماتریس اولیه

در روش ANP، عناصر مختلف در تعامل متقابل با یکدیگر قرار دارند. این عناصر می‌توانند شامل واحد تصمیم‌گیری، معیارها، زیرمعیارها، گزینه‌ها، نتایج حاصل از تصمیم‌گیری و یا سایر مؤلفه‌های مرتبط باشند. برای تعیین وزن نسبی هر عنصر، از مقایسات زوجی مشابه آنچه در روش AHP انجام می‌شود، استفاده می‌گردد. وزن‌های به دست آمده، در قالب یک سوپر ماتریس وارد می‌شوند که اگرچه ارتباطات متقابل بین عناصر سیستم را ثبت می‌کنند، اما لزوماً روابط تأثیرگذاری میان آن‌ها را به طور مستقیم نشان نمی‌دهند. نمای کلی ساختار این سوپر ماتریس در شکل زیر قابل مشاهده است.

← CN نشان‌دهنده‌ی خوشه N^{ام}.

← ENn عنصر n^{ام} در خوشه N^{ام}.

← WIj ماتریس بلوک شامل وزن‌های نسبی.

بردارهای w، بیانگر میزان تأثیر عناصر خوشه i نسبت به عناصر خوشه z هستند. در صورتی که خوشه i تأثیری بر عناصر درون خودش نداشته باشد (یعنی وابستگی درونی وجود نداشته باشد)، مقدار WIj برابر با صفر خواهد بود. در این مرحله، ماتریسی که حاصل می‌شود، «سوپر ماتریس اولیه» نامیده می‌شود. شکل ۴، ساختار استاندارد یک سوپر ماتریس را نمایش می‌دهد.

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & & C_k & & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ e_{1m1} \\ \vdots \\ e_{21} \\ e_{22} \\ \vdots \\ e_{kmk} \\ \vdots \\ e_{n1} \\ e_{n2} \\ \vdots \\ e_{nmn} \end{matrix} & \begin{bmatrix} W_{11} & \dots & W_{1k} & \dots & W_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W_{k1} & \dots & W_{kk} & \dots & W_{kn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W_{n1} & \dots & W_{nk} & \dots & W_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

شکل ۴. نمایش فرمت استاندارد یک سوپر ماتریس w

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

گام چهارم: تشکیل سوپر ماتریس وزنی

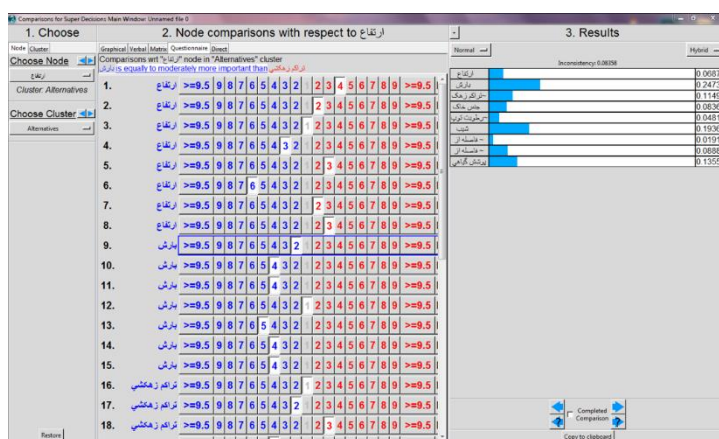
در واقع، ستون‌های سوپر ماتریس از چند بردار ویژه تشکیل شده‌اند که مجموع هر یک از این بردارها برابر با یک است. بنابراین این امکان وجود دارد که مجموع عناصر هر ستون از سوپر ماتریس اولیه بیش از یک باشد، چراکه هر ستون می‌تواند شامل چند بردار ویژه باشد. برای آنکه سهم هر عنصر در ستون متناسب با وزن نسبی‌اش لحاظ شود و مجموع ستون برابر با یک شود، هر ستون ماتریس استانداردسازی می‌شود. در نتیجه، ماتریس جدیدی حاصل می‌شود که جمع عناصر هر یک از ستون‌های آن برابر با یک است. این فرآیند مشابه زنجیره مارکوف است که در آن مجموع احتمال تمام وضعیت‌ها برابر با یک است. به این ماتریس جدید، «ماتریس وزنی» گفته می‌شود.

گام پنجم: محاسبه بردار وزنی عمومی

در این مرحله، سوپر ماتریس وزنی تا رسیدن به توان حدی تکرار می‌شود تا عناصر آن همگرا شوند و مقادیر هر سطر با یکدیگر برابر گردد. نتیجه این فرایند، ماتریس حدی‌ای است که در آن تمامی سطرها دارای مقادیری برابر هستند. در صورتی که ساختار سوپر ماتریس دارای ویژگی زنجیره‌وار باشد، ممکن است بیش از یک ماتریس حدی حاصل شود.

گام ششم: محاسبه وزن نهایی معیارها

در مرحله پایانی، با استفاده از جدول وزن خوشه‌ها و سوپر ماتریس حدی، وزن نهایی هر یک از معیارها محاسبه می‌شود (Younesi et al, 2020: 189).



شکل ۵. مقایسه زوجی معیارها

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

در این پژوهش، به منظور تعیین وزن کلاس‌های مربوط به هر یک از عوامل مؤثر در شناسایی مناطق با درجات مختلف ریسک سیلاب، از روش مقایسه زوجی بهره گرفته شد. برای این منظور، ابتدا ماتریس مقایسه زوجی برای هر یک از

معیارها تهیه گردید و سپس با استفاده از نظرات کارشناسان، مقایسات به صورت زوجی انجام شد (شکل ۵). وزن ۹ معیار شامل رطوبت توپوگرافی، شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از رود، تراکم زهکشی، فاصله از راه، پوشش گیاهی، بارش و نوع خاک با استفاده از مدل ANP در نرم‌افزار Super Decisions محاسبه شد. نتایج به دست آمده به ترتیب در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۴).

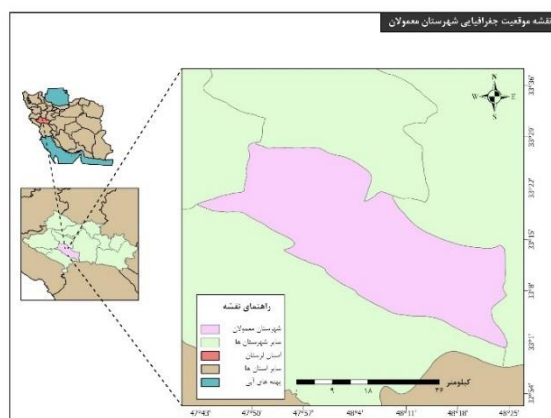
جدول ۴. وزن نهایی معیارها

ردیف	معیار	وزن
۱	رطوبت توپوگرافی	۰/۰۴۸۱۹
۲	شیب	۰/۱۹۳۶۱
۳	طبقات ارتفاعی	۰/۰۶۸۷۴
۴	فاصله از رود	۰/۰۸۸۲
۵	تراکم زهکشی	۰/۱۱۴۹۵
۶	فاصله از راه	۰/۰۱۹۱۵
۷	پوشش گیاهی	۰/۱۳۵۵۶
۸	بارش	۰/۲۴۷۳۸
۹	نوع خاک	۰/۰۸۳۶۱

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، شهرستان معمولان است. این شهرستان یکی از مناطق استان لرستان به شمار می‌رود و مرکز آن، شهر معمولان می‌باشد. شهرستان معمولان در تاریخ ۱۲ بهمن ۱۴۰۱ از شهرستان پلدختر جدا شد و به صورت مستقل شکل گرفت. این شهرستان از شمال با شهرستان چگنی، از شمال شرق تا شرق با شهرستان خرم‌آباد، از غرب با شهرستان کوه‌دشت و از جنوب با شهرستان پلدختر هم‌مرز است. شهرستان معمولان شامل ۲ بخش، ۴ دهستان و ۱ شهر است. تراکم جمعیت در این منطقه حدود ۱۵ نفر در هر کیلومتر مربع بوده و بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت آن برابر با ۲۱۳۷۲ نفر گزارش شده است. مساحت این شهرستان نیز ۱۴۴۰ کیلومتر مربع می‌باشد.



شکل ۶. محدوده مورد مطالعه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳



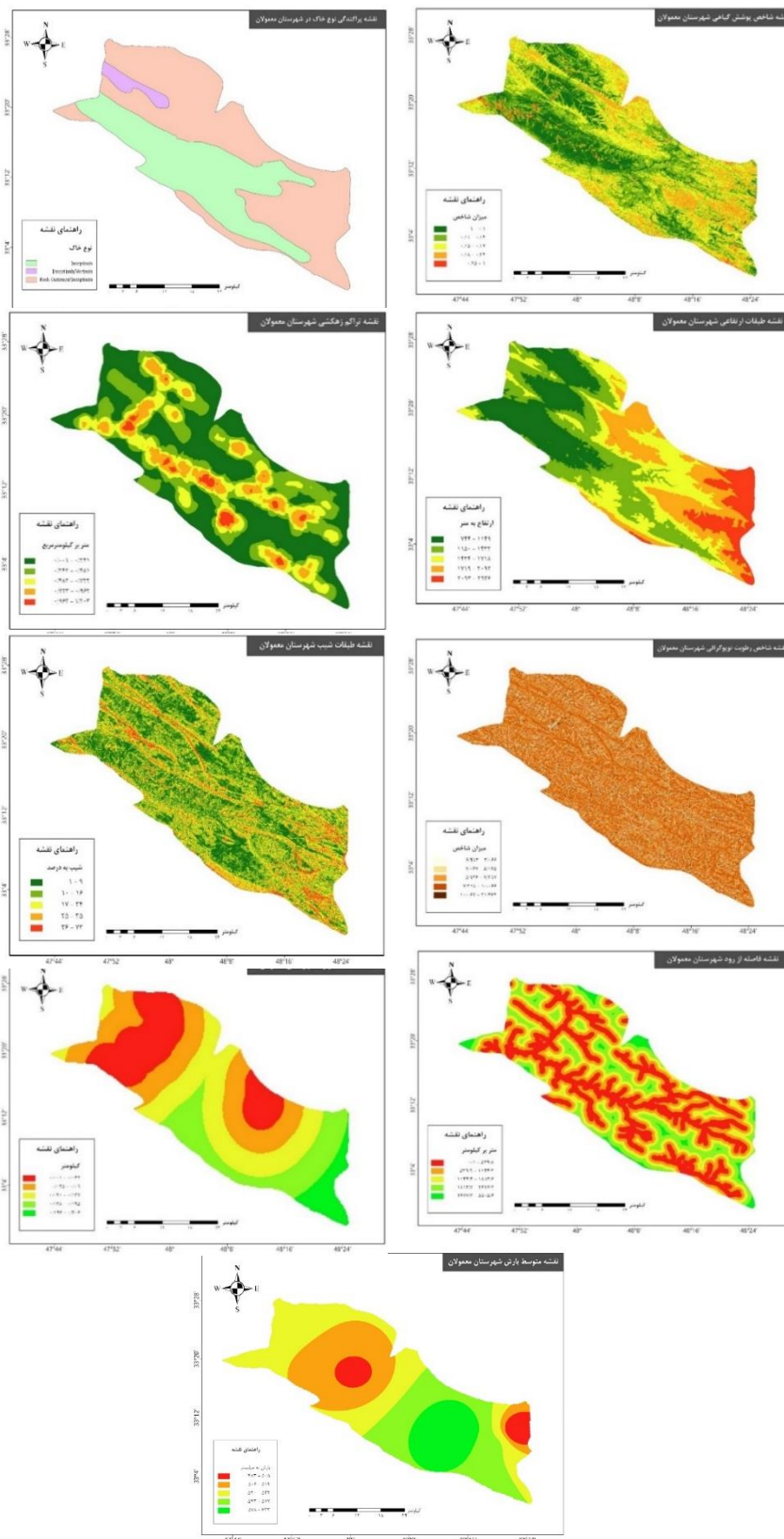
شکل ۷. پهنه سیلابی رود کرخه در مرکز شهرستان معمولان
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، مرکز شهرستان معمولان در بخش شرقی رودخانه کرخه گسترش یافته است. به همین دلیل، در جریان سیل خروشان رودخانه کرخه در فروردین ماه سال ۱۳۹۸، بیش از نیمی از این منطقه در معرض آثار و خسارات شدید ناشی از سیلاب و غرش ناگهانی رودخانه قرار گرفت.

یافته‌های پژوهش

پردازش و تلفیق داده‌ها

در این پژوهش، ارزیابی با استفاده از معیارهای رطوبت توپوگرافی، شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از رود، تراکم زهکشی، فاصله از راه، پوشش گیاهی، بارش و نوع خاک انجام شد. پس از تهیه و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی مربوط به این ۹ معیار اصلی، مطابق شکل (۸)، ابتدا از روش مقایسه زوجی برای تعیین وزن کلاس‌های هر لایه استفاده گردید و سپس به‌منظور محاسبه وزن نهایی معیارها، روش ANP به کار گرفته شد. همان‌طور که پیش‌تر نیز توضیح داده شد، برای انجام محاسبات مربوط به وزن‌دهی، از نرم‌افزار Super Decisions بهره گرفته شد. روند کلی تعیین وزن معیارهای مؤثر بر سیل‌خیزی منطقه با استفاده از روش ANP، در بخش پیشین تشریح شده است. در این روش، معیارها در قالب دو خوشه کلی شامل «وضعیت زمین» و «هیدرولوژی» دسته‌بندی شدند و هر یک از این خوشه‌ها با توجه به زیرمعیارهای مرتبط با پهنه‌بندی سیل‌خیزی، طبقه‌بندی گردید.



شکل ۸. نمایش شماتیک ۹ لایه پهنه‌بندی شده به روش مقایسه زوجی
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

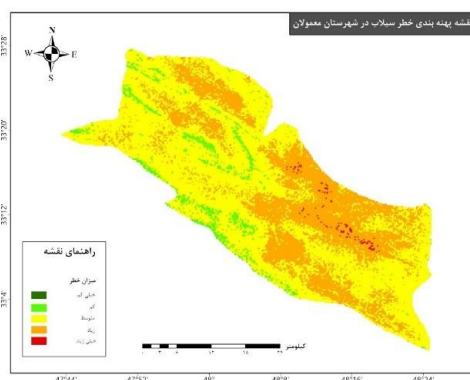
بحث

سیل‌خیزی پدیده‌ای پیچیده و چندعاملی است که تحت تأثیر ترکیبی از عوامل طبیعی و انسانی شکل می‌گیرد. در میان عوامل طبیعی، توپوگرافی نقشی کلیدی دارد؛ به طوری که شیب زیاد زمین موجب افزایش سرعت رواناب سطحی شده و فرصت نفوذ آب به درون خاک را کاهش می‌دهد. همچنین، نواحی مرتفع به دلیل دریافت بارش بیشتر و ذوب برف، حجم آب روان را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهند. رطوبت خاک نیز یکی از عوامل تعیین‌کننده در این زمینه است؛ خاک اشباع شده ظرفیت کمتری برای جذب آب دارد و در نتیجه، بارش‌های اضافی را به سرعت به رواناب تبدیل می‌کند. نوع خاک نیز در میزان نفوذپذیری آن مؤثر است؛ برای مثال، خاک‌های رسی به دلیل نفوذپذیری پایین، آب را به سختی جذب کرده و احتمال وقوع سیلاب را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، بارش‌های شدید و مداوم، به ویژه در مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف، می‌توانند حجم رواناب سطحی را به شدت افزایش داده و خطر سیلاب را تشدید کنند.

در کنار عوامل طبیعی، فعالیت‌های انسانی نیز نقش قابل توجهی در تشدید پدیده سیل‌خیزی دارند. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به تغییر کاربری اراضی، احداث سازه‌های غیراصولی در مسیر رودخانه‌ها و تخریب پوشش گیاهی اشاره کرد. با این حال، نقش عوامل طبیعی در بروز این بحران پررنگ‌تر است. بر همین اساس، در پژوهش حاضر از ۹ عامل شامل رطوبت توپوگرافی، شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از راه، پوشش گیاهی، بارش و نوع خاک برای تحلیل پتانسیل سیل‌خیزی در شهرستان معمولان استفاده شده است. در این بخش، نقشه نهایی پهنه‌بندی سیل‌خیزی شهرستان معمولان، بر پایه یافته‌های اصلی تحقیق ترسیم شده است. در واقع، این قسمت را می‌توان مهم‌ترین بخش پژوهش حاضر به‌شمار آورد، چرا که نتایج نهایی تجزیه و تحلیل‌ها را به صورت فضایی و کاربردی ارائه می‌دهد.

تهیه نقشه پهنه‌بندی سیل‌خیزی شهرستان معمولان

در نهایت، وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر طبقه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بر روی لایه‌های مربوطه اعمال گردید و با استفاده از توابع هم‌پوشانی (Overlay)، نقشه سیل‌خیزی شهرستان معمولان تهیه شد. بر اساس نتایج حاصل، نقشه نهایی پهنه‌بندی سیل‌خیزی این شهرستان در شکل ۹ نمایش داده شده است. طبق این نقشه، بیشترین درصد اراضی سیل‌خیز به طبقات «زیاد» و «متوسط» تعلق دارد. سایر طبقات به ترتیب شامل «کم» و «خیلی زیاد» هستند، در حالی که طبقه «خیلی کم» کمترین سطح را به خود اختصاص داده و در عمل، در پهنه‌بندی سیل‌خیزی شهرستان معمولان حضور محسوسی ندارد. همان‌گونه که یافته‌های این پژوهش نیز نشان می‌دهد، بخش عمده‌ای از اراضی شهرستان معمولان در معرض خطر سیل قرار دارند. این وضعیت تا حد زیادی ناشی از توسعه شهر در بستر رودخانه کرخه است؛ به گونه‌ای که هسته اولیه شهر معمولان در مجاورت بستر رودخانه شکل گرفته و با گذر زمان در همان مسیر گسترش یافته است. این الگوی توسعه موجب بروز سیلاب‌های خسارت‌بار، به ویژه در سال‌های اخیر، شده است.



شکل ۹. نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی سیل‌خیزی شهر معمولان

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

نتیجه‌گیری

بلاایای طبیعی همواره در نقاط مختلف جهان رخ می‌دهند، اما در سال‌های اخیر، شدت و فراوانی برخی از این پدیده‌ها افزایش یافته است. در بسیاری موارد، این وضعیت با دخالت‌های انسانی در طبیعت تشدید شده است. یکی از مهم‌ترین پیامدهای این مداخلات، تغییرات اقلیمی است؛ پدیده‌ای که از جمله آثار بارز آن، بروز سیلاب‌های مخرب است که نظم زندگی انسان را در مناطق مختلف دچار اختلال می‌کند. در ایران نیز، طی سال‌های اخیر، برخی شهرها، روستاها و حتی کلان‌شهرها با پیامدهای ناشی از سیلاب‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی مواجه بوده‌اند. نمونه‌ای شاخص از این وضعیت را می‌توان در شهرهای جنوب‌غربی کشور، به‌ویژه شهرستان معمولان مشاهده کرد؛ منطقه‌ای که شدت خسارات وارده از سیل، ضرورت توجه علمی و عملی به این پدیده را دوچندان کرده است. بر این اساس، در پژوهش حاضر تلاش شده است با توجه به وضعیت سیل‌خیزی شهرستان معمولان، به ارزیابی و پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر سیل پرداخته شود. هدف اصلی آن است که ضمن شناسایی نواحی خطرآفرین و آسیب‌پذیر ناشی از سیلاب، اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر سیل نیز انجام گیرد تا زمینه برای مدیریت مؤثرتر ریسک فراهم شود. پژوهش حاضر از نظر روش، هدف و مبانی با پژوهش دارلینگتون و همکاران^۱ (۲۰۲۳)، با عنوان نقشه‌برداری سیل فعلی و آینده با استفاده از مدل سیل ۵ متری و پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی همخوان است.

پژوهش حاضر با رویکردی کاربردی و ماهیتی توصیفی-تحلیلی، به بررسی و پهنه‌بندی میزان سیل‌خیزی در شهرستان معمولان می‌پردازد. برای گردآوری داده‌ها، از ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای، بررسی اسناد و مقالات علمی، مشاهدات میدانی و تحلیل داده‌های فضایی و ماهواره‌ای استفاده شده است. در این راستا، ۹ لایه اطلاعاتی به عنوان شاخص‌های کلیدی مؤثر بر سیل‌خیزی منطقه انتخاب گردیدند. این شاخص‌ها شامل: رطوبت توپوگرافی، شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از راه، پوشش گیاهی، میزان بارش و نوع خاک هستند. این داده‌ها مبنای تحلیل‌های مکانی و مدلسازی سیل در محیط GIS قرار گرفتند.

برای تحلیل داده‌ها، از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با دقت ۲۸ متر حاصل از داده‌های ASTER GDEM استفاده شد. همچنین، داده‌های بارش ماهانه در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ از پایگاه ECMWF به عنوان یکی از منابع اصلی اطلاعات اقلیمی به کار گرفته شد. فرآیند وزن‌دهی به شاخص‌های منتخب با بهره‌گیری از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) و با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions انجام گرفت. در این مرحله، نظرات کارشناسان خبره به منظور انجام مقایسات زوجی و تعیین وزن نسبی هر شاخص لحاظ گردید. در ادامه، وزن‌های نهایی به‌دست‌آمده در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اعمال شد و با استفاده از توابع روی‌هم‌گذاری (Overlay)، نقشه نهایی پهنه‌بندی سیل‌خیزی شهرستان معمولان تولید گردید. نتایج پژوهش نشان داد که بیشترین سطح مناطق سیل‌خیز شهرستان معمولان در طبقات «زیاد» و «متوسط» متمرکز است. طبقات «کم» و «خیلی زیاد» به ترتیب در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. قابل توجه است که طبقه «خیلی کم» عملاً در پهنه‌بندی سیل‌خیزی این شهرستان مشاهده نشده است. با توجه به شرایط خاص شهرستان معمولان و یافته‌های این مطالعه، نویسندگان دو پیشنهاد کلیدی را ارائه می‌کنند:

مسئولین، مدیران و تصمیم‌گیرندگان: با توجه به اینکه شهر معمولان در بستر رودخانه کرخه شکل گرفته و توسعه یافته است، ضروری است از گسترش بیشتر شهر در این مناطق جلوگیری شود. همچنین، لازم است دولت تمهیداتی اتخاذ کند تا آگاهی عمومی درباره خطرات سیل افزایش یابد. این اقدامات می‌تواند به پیشگیری از وقوع حوادث ناگوار و کاهش خسارات مالی و جانی ناشی از سیل در شهرستان معمولان کمک کند.

پژوهشگران: با عنایت به آثار گسترده اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی و زیست‌محیطی سیل، نیاز است مطالعات جامع‌تری درباره ابعاد و تأثیرات این پدیده انجام شود. این تحقیقات می‌تواند به افزایش شناخت عمومی و مسئولان نسبت

¹ Darlington et al

به مخاطرات سیل منجر شده و زمینه‌ساز اتخاذ راهکارهای مؤثر در پیشگیری و کاهش آسیب‌های ناشی از این بحران گردد.

References:

1. Agonafir, C., Lakhankar, T., Khanbilvardi, R., Krakauer, N., Radell, D., & Devineni, N. (2023). A review of recent advances in urban flood research. *Journal of Water Security*, 19(5), 100-141. [10.1016/j.wasec.2023.100141](https://doi.org/10.1016/j.wasec.2023.100141)
2. Arnal, A., Berglund, J. E., Tamame, M., & Arnaud, Y. (2023). *Report on Urban Flood and Water & Food security indicators*.
3. Azadtalab, M., Shahabi, H., Shirzadi, A., & Chapi, K. (2020). Flood hazard mapping in Sanandaj using combined models of statistical index and evidential belief function. *Journal of Motaleate Shahri*, 9(36), 27-40. 10.34785/J011.2021.801 [In Persian].
4. Bartholomeus, R. P., Van Der Wiel, K., Van Loon, A. F., Van Huijgevoort, M. H., Van Vliet, M. T., Mens, M., & Pot, W. (2023). Managing water across the flood–drought spectrum: Experiences from and challenges for the Netherlands. *Journal of Cambridge Prisms Water*, 1(1), 1-22.
5. Bezak, N., Panagos, P., Liakos, L., & Mikoš, M. (2023). Brief communication: A first hydrological investigation of extreme August 2023 floods in Slovenia, Europe. *Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(12), 3885-3893. 10.5194/nhess-23-3885-2023
6. Cheng, Z., Wuxia, B., Hongbin, Z., Wenyang, L., Xiaolei, Z., Qiang, M., & Yiyang, L. (2022). *Report on 2020-2022 Global Flood Events: Case Analysis & Response Strategies*. International Conferences on Flood Management, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, China.
7. Dalal, P., Wanare, R., Patil, M., Reddy, S., Dave, T., & Iyer, K. (2023). Water stability test: a tool to assess resilience of geotechnical structures to flooding and water inundation. *Journal of Sustainable and Resilient Infrastructure*, 8(2), 78–84.
8. Darlington, C., Raikes, J., Henstra, D., Thistlethwaite, J., & Raven, E. K. (2023). Mapping current and future flood exposure using a 5-metre flood model and climate change projections. *Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 20(23), 1-28. [10.5194/nhess-24-699-2024](https://doi.org/10.5194/nhess-24-699-2024)
9. Farzi, H., Bayat, A., Vakili Tajareh, F., & Rahmani, M. (2022). Zonation of Flood Susceptibility and Determining the Factors Affecting it Using the Maximum Entropy Method. *Journal of jwmseir*, 16(59), 1-11. [20.1001.1.20089554.1401.16.59.6.9](https://doi.org/10.1001.1.20089554.1401.16.59.6.9) [In Persian].
10. García-Ayllón, S., & Franco, A. (2023). Spatial Correlation between Urban Planning Patterns and Vulnerability to Flooding Risk: A Case Study in Murcia (Spain). *Journal of Land*, 12(3), 543-560. [10.3390/land12030543](https://doi.org/10.3390/land12030543)
11. Gupta, K., & Nikam, V. (2023). Flood disaster risk assessment for critical transportation infrastructure under climate change. *Journal of Sustainable and Resilient Infrastructure*, 8(2), 1-22. [10.1080/23789689.2023.2181552](https://doi.org/10.1080/23789689.2023.2181552)
12. Hejazi, S. A., & Loghmannia, K. (2023). Temporal and spatial zoning of flood risk in Karganrood catchment using AWBM model and Fuzzy-ANP method. *Journal of Physical Geography Research*, 55(3), 71-88. [10.22059/JPHGR.2023.361608.1007778](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.361608.1007778) [In Persian].
13. Hill, B., Liang, Q., Boshier, L., Chen, H., & Nicholson, A. (2023). A systematic review of natural flood management modelling: Approaches, limitations, and potential solutions. *Journal of Flood Risk Management*, 16(3), 1-29. [10.1111/jfr3.12899](https://doi.org/10.1111/jfr3.12899)
14. Josipovic, N., & Viergutz, K. (2023). Smart Solutions for Municipal Flood Management: Overview of Literature, Trends, and Applications in German Cities. *Journal of Smart Cities*, 6(2), 944-964. [10.3390/smartcities6020046](https://doi.org/10.3390/smartcities6020046)
15. Li, C., Sun, N., Lu, Y., Guo, B., Wang, Y., Sun, X., & Yao, Y. (2022). Review on Urban Flood Risk Assessment. *Journal of Sustainability*, 15(1), 765. [10.3390/su15010765](https://doi.org/10.3390/su15010765)
16. Ludwig, P., Ehmele, F., Franca, M. J., Mohr, S., Caldas-Alvarez, A., Daniell, J. E., & Wisotzky, C. (2022). A multi-disciplinary analysis of the exceptional flood event of July 2021 in central Europe. Part 2: Historical context and relation to climate change. *Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 13(3), 1-42. 10.5194/nhess-23-1287-2023
17. Mudēfi, E. (2023). Disaster management ‘deeds’ in the context of April 2022 KwaZulu-Natal floods: A scoping review. *Journal of Disaster Risk Reduction*, 98(20), 1-21. [10.1016/j.ijdrr.2023.104122](https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104122)
18. Narendr, A., Aithal, B., & Das, S. (2023). Cost–benefit analysis of NbS using flood resilient scenario modelling (FReSMo). *Journal of Sustainable and Resilient Infrastructure*, 8(2), 109–114.

19. Nivya, P., Karmakar, S., & Maria Sajan, S. (2023). Exploring the potential of urban open spaces as city flood mitigation Infrastructure. *Journal of Sustainable and Resilient Infrastructure*, 8(2), 124-129.
20. Rosmadi, H. S., Ahmed, M. F., Mokhtar, M. B., & Lim, C. K. (2023). Reviewing challenges of flood risk management in Malaysia. *Journal of Water*, 15(13), 23-90. [10.3390/w15132390](https://doi.org/10.3390/w15132390)
21. Saeedi, S., Asiaei, M., & Goharkhah, F. (2022). Flood risk zoning in Torbat-e Heydarieh city using by fuzzy logic. *Journal of Geography and Development*, 20(66), 81-106. [10.22111/j10.22111.2022.6714](https://doi.org/10.22111/j10.22111.2022.6714) [In Persian].
22. Sánchez-Almodóvar, E., Olcina-Cantos, J., Martí-Talavera, J., Prieto-Cerdán, A., & Padilla-Blanco, A. (2023). Floods and Adaptation to Climate Change in Tourist Areas: Management Experiences on the Coast of the Province of Alicante (Spain). *Journal of Water*, 15(4), 807-833. [10.3390/w15040807](https://doi.org/10.3390/w15040807)
23. Sasanpour, F., Mohebbi, F., & Kazem, H. (2021). Flood risk analysis and zoning - Case study: Taleghan Watershed. *Journal of Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 30(119), 159-173. [10.22131/sepehr.2021.247892](https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.247892) [In Persian].
24. Setiadi, S., Sumaryana, A., Bektı, H., & Sukarno, D. (2023). The flood management policy in Bandung city: Challenges and potential strategies. *Journal of Cogent Social Sciences*, 9(2), 1-18. [10.1080/23311886.2023.2282434](https://doi.org/10.1080/23311886.2023.2282434)
25. Simova, I., Ganey, B., Velichkova, R., & Gieva, E. (2023). *A concept for flood early warning*. In E3S Web of Conferences, EDP Sciences.
26. Srivastava, A. K., & Sahay, A. (2023). From Safety Against Floods to Safety at Floods*: Theory of Urban Resilience to Flood Adaptation and Synergy with Mitigation. *Journal of Anthropocene Science*, 2(3), 1-7. [10.1007/s44177-023-00064-2](https://doi.org/10.1007/s44177-023-00064-2)
27. Taheri, A. (2021). *Flood damage zoning using hydraulic models SWMM and HEC-RAS 2D, and flood risk assessment in urban areas based on flood susceptibility analysis using AHP and GIS*. Master's thesis, Kharazmi University, Tehran. [In Persian].
28. Tu, J., Wen, J., Yang, L. E., Reimuth, A., Young, S. S., Zhang, M., & Garschagen, M. (2023). Assessment of building damage and risk under extreme flood scenarios in Shanghai. *Journal of Natural hazards and earth system sciences*, 23(10), 3247-3260. [10.5194/nhess-23-3247-2023](https://doi.org/10.5194/nhess-23-3247-2023)
29. Vazhuthi, H. I., & Kumar, A. (2020). Causes and impacts of urban floods in Indian cities: a review. *Journal of Int J Emerg Technol*, 11(4), 140-147.
30. Yang, W., Zhang, J., Hua, P., & Krebs, P. (2023). Global framework for flood risk management under climate change and urbanization. *Journal of The Innovation Geoscience*, 1(1), 1-19. [10.59717/j.xinn-geo.2023.100009](https://doi.org/10.59717/j.xinn-geo.2023.100009)
31. Younesi, H., Godarzi, A., & Javadi, B. (2020). Spatial assessment and analysis of flood risk in desert and desert areas based on the combination of ANP methods and pairwise comparison in GIS environment, Case study of Khorasan Razavi province. *Journal of Hydrogeomorphology*, 7(24), 183-200. [10.22034/hyd.2020.42094.1551](https://doi.org/10.22034/hyd.2020.42094.1551) [In Persian].
32. Ziari, K., Rajai, S. A., & Darabkhani, R. (2021). Flood Zoning Using Hierarchical Analysis and Fuzzy Logic in GIS Case Study: Ilam City. *Journal of Emergency Management*, 10(1), 21-30. [In Persian].