



Evaluating the Physical- Spatial Resilience of Rural Settlements in Aliabadkatoul County Against Flood Using Shannon Entropy

Hirsa Taherimashhadi¹, Esmail Salehi², Ahmad Nohegar³, Shahrzad Faryadi *⁴

1. PhD Candidate in Environmental Planning, Department of agriculture and natural resources, Alborz Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Profe, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
3. Profe, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
4. Associate Profe, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

DOI: <http://doi.org/10.22034/eiap.2025.229983>

Abstract

Climate change has led to an increase in the intensity and frequency of floods. These natural hazards have significant negative impacts on the lives and infrastructure of communities. Examining resilience in various dimensions can provide effective solutions to deal with climate change. This research aimed to evaluate the physical-infrastructure resilience against floods in rural areas of Aliabadkatoul County to enhance the resilience capacity of rural settlements. Flood vulnerability indicators, including elevation, slope, topographic wetness index, rainfall, soil texture, distance from the river, and the 100-year flood zone, were identified. These indicators were evaluated using AHP method. Indicators of quality and structure of buildings, healthcare centers, and distance from roads, electricity, gas, and water were considered as physical indicators in this study, and their weights were determined using Shannon entropy. Then, using a Geographic Information System (GIS), a map of physical-infrastructure resilience for rural areas was prepared. The results showed that regarding the distribution of the rural population, 45.5% of rural areas in the county have good physical-infrastructure resilience, 23.4% have moderate resilience, and 31.1% have low resilience against floods. The central and northern parts of the county have greater resilience due to their more favorable physical and infrastructure features. In contrast, the southern and western regions have lower flood resilience due to the poor quality of structures (60% moderate and 15% low), limited access to infrastructure (52% moderate and 28% low), and unfavorable geographical location. Therefore, policymaking to increase the physical-structural resilience of vulnerable areas is essential.

Keywords: Aliabadkatoul, Climate change, Flood, Physical-infrastructure resilience, Shannon entropy.

Document Type
Research Paper

Received
2024/10/03

Accepted
2025/06/02



Introduction

Climate change has led to an increase in the frequency and intensity of extreme weather events such as heavy rainfall and floods, which have detrimental effects on people's livelihoods worldwide (Mehryar & Surminski, 2022; Zhang et al., 2023). Resilience refers to the capacity of systems to respond to disturbances and maintain an acceptable level of function, reflected in processes such as damage absorption and adaptation to hazards (Rafieeian et al., 2011; Zhang et al., 2023). Various factors, including socio-economic, managerial, and infrastructural dimensions, impact resilience, but physical resilience has become crucial due to the significant rise in natural and man-made disasters (IPCC, 2022; UNDRR, 2019).

Critical infrastructures must remain operational during natural hazards, as failures in infrastructure components can negatively affect the resilience of other areas (Nan & Sansavini, 2017). According to the National Flood Report, Iran faces heavy rainfall, droughts, and severe heat, potentially leading to soil moisture reduction and weakened vegetation cover (ministry of energy, 2019). The ability of rural areas to respond to external changes while maintaining an acceptable living standard is called rural resilience. Infrastructures and natural resources play essential roles in this process (Anthopoulou et al., 2017; Heijman et al., 2019). In this context, rural resilience can be seen as a multidimensional concept, where the presence of reliable infrastructure, sustainable use of natural resources, and effective management strategies work together to reduce vulnerability. Strengthening infrastructure not only ensures the continuity of vital services such as transportation, energy, and water supply but also enhances the adaptive capacity of local communities in facing recurring disasters. Moreover, integrating traditional knowledge of rural societies with modern disaster management practices can create a more comprehensive and sustainable framework for resilience building.

Studies indicate that future rainfall will become more temporally and spatially concentrated, highlighting the need for localized water resource management (Zhu et al., 2021). In rural areas of Aliabadkatoul County, frequent floods have caused significant damage. According to the Golestan Flood Report (Beytollahi, 2019), there have been 40 flood events in Aliabadkatoul County up to 2019. The estimated rainfall from March 18 to March 22, 2019, at the Aliabad-Katoul synoptic station was 138 millimeters, which is a significant amount compared to the annual average rainfall of 716 millimeters. The average annual rainfall for the Gorgan River basin over a 50-year period is 267 millimeters per year. This is 58% of the 11-year average for the Qarasou and Gorgan basins and approximately 67% of the 50-year long-term average.

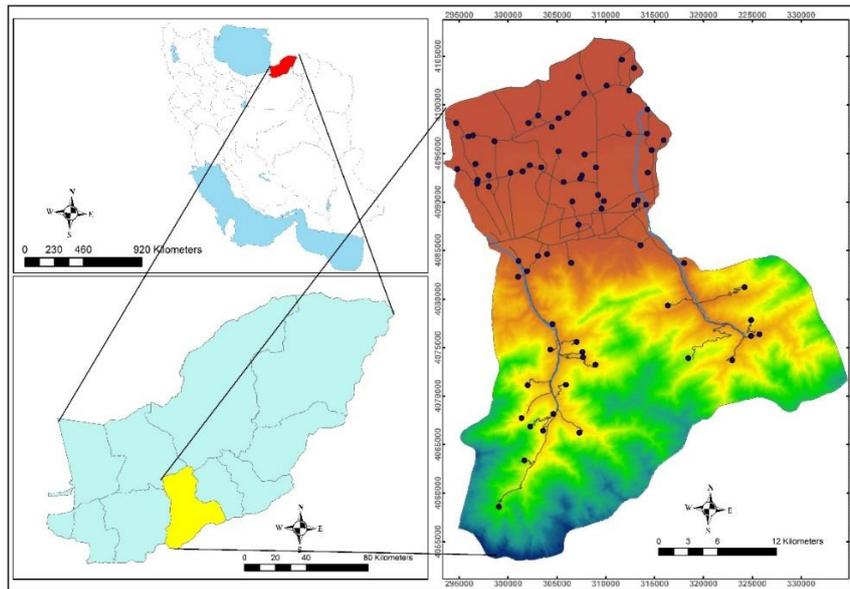
Such statistics reveal that not only the intensity but also the irregular distribution of rainfall events has placed enormous pressure on rural infrastructures, agricultural lands, and local livelihoods. The repetition of floods in short intervals has increased the cumulative vulnerability of households, reducing their recovery time and weakening their adaptive capacity. Moreover, the interaction between environmental degradation, such as deforestation and overgrazing, and extreme weather events further amplifies flood risks in the region.

Here, a new method is provided for studying the physical resilience by integrating hydraulic data with flood-influencing factors for better understanding of high vulnerability areas. Due to the extensive damage caused by floods in the rural areas of Aliabadkatoul County, the main objective of this research is to evaluate the physical resilience of these areas to provide better disaster management.

Study Area

Aliabadkatul, located in the northern part of Iran in east longitude $54^{\circ} 47' - 55^{\circ} 8'$ and north latitude $36^{\circ} 36' - 37^{\circ} 6'$, is considered as the study area. Aliabadkatoul has a semi-humid climate with average air temperature, average annual precipitation, and drought coefficient of 17.75°C , 716.1 mm, and 25.85, respectively.

Further, two rivers are located in the area including Zarringol and Mohammadabad, the 40-year maximum discharge of which was 150 and 241 m^3/s during 2011 and 2013, respectively. The precipitation patterns have altered due to climate change during the recent years. The population distribution and structure of buildings do not comply with spatial planning regulations and disaster flood risk management. The study area experienced a large scale during March 28, 2019-April 2, 2019. Aliabadkatul weather station recorded a heavy rainfall of 148 mm during this period.



Study Area

Methodology

The main objective of this study is to evaluate the physical resilience of rural settlements in Aliabadkatoul County. To achieve this aim, two groups of indicators were selected: flood hazard assessment indicators based on environmental factors and hydraulic data, and physical indicators selection based on the capability of infrastructure to cope with flood.

- Flood hazard assessment: Understanding flood risk requires a combination of spatial data of the area. According to various studies, the severity of floods depends on meteorological factors and environmental factors. In this study, environmental factors include elevation, slope, Topographic Wetness Index (TWI), rainfall, soil texture, distance from the river, vegetation, floodplain, and land use. To determine the floodplain with a 100-year return period, the peak discharge for the 100-year return period was first calculated using EasyFit software. Then, using HEC-RAS 6 software, the flow modeling of the Zarrin Gol and Mohammadabad rivers was carried out. The results were converted into a floodplain in the ArcGIS environment. After preparing these maps, the Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to determine the importance and weight of the indices. To define and weight the criteria, the Weighted Overlay tool in the GIS environment was used for calculations.
- Physical indicators selection: The criteria in this section indicate the existing capacity of rural settlements to cope with floods. Indices such as access to educational and healthcare services, water, electricity, gas, communications, distance from roads, and building quality and structure were employed to assess physical resilience. Given the varying importance of these indices, Shannon entropy was used to determine the weight and relative importance of each index. Based on the weights obtained from Shannon entropy, the index with the highest weight plays a more significant role in the resilience of rural settlements in Aliabadkatoul against floods.

After determining and assessing the weights of the indices, Geographic Information Systems (GIS) was used as a tool for subsequent calculations and to assist in decision-making. Following the determination and assessment of the flood resilience indices' weights, GIS was used to integrate and analyze various spatial layers, such as flood hazard maps and physical resilience. The spatial analysis performed using the Raster Calculator tool in GIS clearly highlighted the strengths and weaknesses of resilience in different villages. This valuable information aids in making more informed decisions regarding natural disaster risk management and provides suitable strategies to enhance resilience in vulnerable areas.

Result and Discussion

One of the effective dimensions of resilience in rural settlements is the physical aspect, which allows for the evaluation of a rural community's status based on physical and geographical characteristics impacting flood occurrence. Environmental indices play a crucial role in flood risks. According to the flood hazard, the southern areas have the lowest flood risk. The presence of forest lands and distance from river flow in the central and southern parts place these areas at a lower risk level. The northern parts of the study area, where densely populated rural settlements are concentrated, face higher flood risks mainly due to proximity to the river and low elevation. Access to infrastructure plays a significant role in flood risk management. The villages with poor physical conditions are mainly located in the southern part of the study area, characterized by high elevation and steep slopes. Additionally, the roads in these areas are of lower quality compared to the central and northern parts. From the overlay of flood hazard maps and physical indices, the final physical resilience capacity map was obtained. According to this map, resilience is higher in the central parts and lower in the less developed areas. According to Table 8, 51.4% of the villages in this county have low resilience, 22.2% have moderate resilience, and 26.4% have good resilience. In terms of population distribution, 31.1% of the rural population in this county has low resilience, 23.4% has moderate resilience, and 45.5% has good resilience.

Conclusion

This research investigates the impact of resilience within sustainable development on rural areas and disaster mitigation, with a specific focus on Aliabad Katul County. It underscores the essential role of resilience as a key factor in sustainable rural development, highlighting how the capacity of communities and systems to withstand shocks, adapt to new conditions, and recover from disturbances can determine their long-term stability. In the face of natural disasters, particularly floods that frequently threaten rural settlements, resilience becomes a critical element not only for immediate survival but also for ensuring continuity in social, economic, and environmental processes. The study emphasizes that resilience should be understood as both a structural and functional quality of rural systems, reflecting their ability to maintain relationships, preserve essential functions, and reorganize effectively in times of crisis. To evaluate physical resilience in the study area, a combined approach was employed, integrating environmental flood risk indices with physical infrastructure indices to provide a comprehensive picture of vulnerability and adaptive capacity. The weighting of these indices was conducted using advanced decision-making methods such as the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Shannon entropy, which allowed for an objective and systematic prioritization of factors and facilitated the creation of detailed spatial maps of resilience. The findings reveal considerable variation across the county, with 37 villages falling into the low-resilience category, 16 villages demonstrating moderate resilience, and 19 villages exhibiting good resilience. These results indicate that a significant portion of the rural population remains highly vulnerable to disaster risks, underscoring the urgent need for targeted interventions aimed at strengthening resilience in critical areas. Enhancing resilience in rural communities is not only vital for safeguarding livelihoods and protecting infrastructure in the short term, but also represents a cornerstone for advancing long-term national development goals, reducing socio-economic inequalities, and addressing the uncertainties of climate change. By providing a methodological framework and practical insights, this study offers a potential model that can be adapted and applied to other rural regions facing similar environmental and developmental challenges.

ارزیابی تاب‌آوری کالبدی - فضایی سکونتگاه‌های روستایی علی‌آبادکتول در برابر سیلاب با استفاده از آنتروپی شانون

هیرسا طاهری مشهدی^۱، اسماعیل صالحی^۲، احمد نوحه گر^۳، شهرزاد فریادی^{۴*}

۱. دانشجوی دکترا برنامه‌ریزی محیط‌زیست، گروه کشاورزی و منابع طبیعی، پردیس البرز، دانشگاه تهران، ایران
۲. استاد دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران
۳. استاد دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران
۴. دانشیار دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۱۲

چکیده

تغییر اقلیم موجب افزایش شدت و فراوانی سیلاب‌ها شده است. این مخاطرات طبیعی تأثیرات منفی قابل توجهی بر زندگی و زیرساخت‌های جوامع دارند. بررسی تاب‌آوری در ابعاد مختلف می‌تواند راهکارهای مؤثری برای مقابله با پدیده‌های اقلیمی ارائه دهد. این پژوهش با هدف ارزیابی تاب‌آوری کالبدی-زیرساختی در برابر سیل در مناطق روستایی شهرستان علی‌آبادکتول به منظور ارتقا ظرفیت تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی انجام شده است. شاخص‌های مؤثر بر خطرپذیری سیل شامل ارتفاع، شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، بارندگی، پوشش گیاهی، بافت خاک، فاصله از رودخانه و پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله شناسایی شدند. سپس این شاخص‌ها با روش تحلیل سلسله مراتبی ارزیابی شدند. شاخص‌های مراکز درمانی، فاصله از جاده، کیفیت و اسکلت ابنیه، برق، گاز و آب در این پژوهش به عنوان شاخص‌های کالبدی مورد بررسی قرار گرفتند که با کمک آنتروپی شانون وزن‌دهی شدند. سپس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه تاب‌آوری کالبدی-زیرساختی برای مناطق روستایی تهیه شد. نتایج نشان داد که از لحاظ پراکنش جمعیت روستایی، ۴۵/۵ درصد از مناطق روستایی شهرستان دارای تاب‌آوری کالبدی-زیرساختی خوب، ۲۳/۴ درصد متوسط و ۳۱/۱ درصد پایین در برابر سیل هستند. مناطق مرکزی و شمالی شهرستان به دلیل برخورداری از ویژگی‌های کالبدی-زیرساختی مناسب‌تر، از تاب‌آوری بالاتری برخوردارند. در مقابل، مناطق جنوبی و غربی به دلیل کیفیت پایین سازه‌ها (۶۰ درصد متوسط و ۱۵ درصد پایین)، دسترسی محدود به زیرساخت‌ها و خدمات (۵۲ درصد متوسط و ۲۸ درصد پایین) و موقعیت جغرافیایی نامطلوب، تاب‌آوری کمتری در برابر سیل دارند. بنابراین، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی برای افزایش تاب‌آوری کالبدی-ساختی نواحی آسیب‌پذیر ضروری است.

کلیدواژه‌ها: آنتروپی شانون، تاب‌آوری کالبدی-زیرساختی، تغییر اقلیم، سیلاب، علی‌آبادکتول

سرآغاز

تغییرات اقلیمی منجر به افزایش فراوانی و شدت رویدادهای شدید آب و هوایی مانند بارندگی شدید و سیل شده است که از رایج‌ترین و شدیدترین خطراتی هستند که اثرات مخرب بر معیشت مردم در سراسر جهان دارند (Mehryar & Surminski, 2022; Zhang et al., 2023). پیامدهای تغییرات اقلیمی و سیل‌های گسترده می‌تواند چالش‌های بیشتری برای جوامع بشری ایجاد کند و حمایت از جوامع آسیب‌پذیر ساکن در سکونتگاه‌ها را دشوارتر نماید. (Cerbaro et al., 2022; Taherimashhadi & Ghazban, 2018).

استفاده از کلمه تاب‌آوری در برابر بلایا و حوادث چند سالی است که در مدیریت بلایا و حوادث رو به افزایش نهاده است اما علیرغم استفاده وسیع از این کلمه در رشته‌های مختلف علوم، هنوز تعریف شفاف و واضحی از آن ارائه نشده است (Laurien et al., 2022; Olsson et al., 2015; Parker, 2020). یکی از دلایل این عدم شفافیت این مسئله است که موضوع تاب‌آوری یک مسئله ذهنی بوده و بسته به شرایط فرهنگی و اجتماعی جوامع، ممکن است مفهوم آن تغییر یابد. تاب‌آوری به قابلیت‌های یک سیستم برای پاسخگویی به اختلالات گذرا، شوک‌ها یا تغییرات و عدم قطعیت‌های طولانی مدت اشاره دارد و بر فرآیندهای خودسازماندهی سیستم‌ها در پاسخ به بلایا تأکید می‌کند (Zhang et al., 2023). به عبارت دیگر، تاب‌آوری ظرفیت یک سیستم برای تطبیق با سوانح و با هدف دستیابی و یا حفظ سطح قابل قبولی از عملکرد و ساختار است (Rafieeian et al., 2011). تاب‌آوری جامعه شرایطی است که در آن جامعه برای رفع ضعف‌های قبلی و اتخاذ تدابیر به جلو حرکت می‌کند. برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد گام دیگری برای ادغام تاب‌آوری با کاهش خطر بلایا در نظر گرفته است. طبق نظر این سازمان، از طریق برنامه کاهش خطر بلایا، محیط‌ها و اکوسیستم‌ها باید احیا شوند تا جوامع و کشورها تاب‌آور شوند (Nehren et al., 2014). به طور خاص، تاب‌آوری در فرآیندهایی مانند جذب آسیب، سازگاری با مخاطرات، محدود کردن گسترش بیشتر بلایا در هنگام بازیابی از بلایا، و کاهش اثرات منعکس می‌شود (Hosseini & Barker, 2016). برای تقویت تاب‌آوری، عوامل متعددی مانند ابعاد اقتصادی-اجتماعی، مدیریتی، زیرساخت‌ها و خدمات تأثیرگذار هستند، اما تاب‌آوری کالبدی نقش برجسته و حیاتی در این میان دارد زیرا در

دهه‌های اخیر شاهد افزایش چشمگیر حوادث طبیعی و انسان‌ساخت بوده‌ایم که خسارات اقتصادی و اجتماعی فراوانی به دنبال داشته است (IPCC, 2021; UNDRR, 2019). بر اساس گزارش دفتر کاهش خطر بلایا سازمان ملل متحد در سال ۲۰۲۲، خسارات ناشی از بلایای طبیعی در جهان در دهه اخیر بیش از ۷۰۰ میلیارد دلار بوده است (UNDRR, 2022). در همین راستا، تاب‌آوری کالبدی به عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی توسعه پایدار مورد تأکید قرار گرفته است (UN-Habitat, 2017; UNDRR, 2015). این مفهوم به معنای مقاومت و انعطاف‌پذیری ساختمان‌ها و زیرساخت‌های شهری در برابر مخاطرات است که می‌تواند به حفظ و ادامه فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی در زمان بحران منجر شود (Coaffee & Lee, 2016). آسیب‌پذیری کالبدی نیز به عنوان عاملی مؤثر در افزایش آسیب‌پذیری شهرها در برابر مخاطرات شناخته شده است (UNDRR, 2019). بنابراین، مدیریت آسیب‌پذیری کالبدی از طریق طراحی تاب‌آور می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری شهرها کمک کند (Serre & Heinzlef, 2018). سکونتگاه‌های انسانی زمانی تاب‌آور تلقی می‌شوند که دارای یک شبکه پایدار باشند که هم سیستم‌های کالبدی و هم جوامع انسانی را شامل می‌شود. این شبکه شامل عناصری مانند جاده‌ها، ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و اجزای طبیعی مانند مسیرهای آبی، خاک و توپوگرافی می‌باشد (Anabestani & Javanshiri, 2019; Ebrahimipoor et al., 2021).

توانایی نواحی روستایی در پاسخگویی به تغییرات خارجی همراه با حفظ استاندارد زندگی قابل قبول، تاب‌آوری روستایی نامیده می‌شود (Heijman et al., 2019). منابع طبیعی و انسانی، سرمایه‌گذاری‌ها و زیرساخت‌ها نقش اساسی در فرآیندهای سازگار و خلاقانه ایفا می‌کنند که امکان واکنش به تغییرات ناشی از بلایای طبیعی یا بحران‌های اقتصادی-اجتماعی را فراهم می‌سازند (Anthopoulou et al., 2017; Bristow & Healy, 2015). با وجود این که زیرساخت‌ها در مناطق شهری و روستایی به طور منفی تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی قرار می‌گیرند، تحقیقات کمی در مورد انعطاف‌پذیری زیرساخت‌های روستایی در برابر بلایای ناشی از تغییرات اقلیمی مانند سیل انجام شده است (Chirisa & Nel, 2021). زیرساخت‌ها نقش حیاتی در دستیابی به اهداف توسعه پایدار (آرمان یازدهم) ایفا می‌کنند و بلایا اغلب تأثیر بیشتری بر مناطق روستایی نسبت به مناطق

می‌باشند (Bui et al., 2022; Ha et al., 2023). شرایط هیدرولیک رودخانه شامل سرعت و جریان آب نیز از عوامل مهم خطرپذیری سیلاب هستند که تاثیر زیادی بر تعیین پهنه‌های با خطرپذیری سیلاب می‌گذارند (M. Jibhakate et al., 2023). با توجه به گزارش ملی سیلاب‌ها (Ministry of Energy, 2019)، زنگ خطری از تشدید پدیده‌های حاد جوی در ایران به دلیل تغییرات اقلیم به صدا در آمده است. این امر پیامدهای ناگواری مانند کاهش رطوبت خاک در مناطق داخلی و ضعیف شدن پوشش گیاهی را به دنبال خواهد داشت. بارش‌های سیل‌آسای فروردین ۱۳۹۸ نمونه‌ای از این پدیده‌ها بود که نشان داد نباید این ویژگی اقلیمی ایران را نادیده گرفت. مسئولان و مردم باید خود را برای این نوسانات و حوادث غیرمترقبه ناشی از آن آماده‌کنند. در پژوهشی تحت عنوان سنجش ابعاد کالبدی تاب‌آوری جوامع روستایی در مواجهه با سیل در حوضه آبخیز گرگانرود، مشخص شد که ۲۱۵ روستا در این حوضه در معرض خطر دائم سیل قرار دارد (MirzaAli et al., 2018). تعداد سیلاب‌های رخ داده در شهرستان علی‌آبادکتول تا سال ۱۳۹۸، ۴۰ مورد بوده است (Beytollahi, 2019). مقدار بارندگی برآورد شده از ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ تا ۲ فروردین ۱۳۹۸ در ایستگاه سینوپتیک علی‌آبادکتول ۱۳۸ میلی‌متر بوده است که نسبت به میانگین سالانه بارندگی ۷۱۶ میلی‌متر، عدد قابل ملاحظه‌ای است. میانگین بارش سالانه در حوضه رود گرگان برای دوره ۵۰ ساله ۲۶۷ میلی‌متر در سال می‌باشد که در مقایسه با متوسط ۱۱ ساله حوضه قره‌سو و گرگان معادل ۵۸ درصد متوسط سالیانه و در مقایسه با میانگین ۵۰ ساله ۲ حدود ۶۷ درصد میانگین دراز مدت سالیانه است. در هر حال مقدار و به ویژه شدت بارندگی، بسیار بالا و مقادیر به خودی خود معرف قابلیت وقوع سیل ناگهانی می‌باشند. تحقیقات نشان می‌دهد که در آینده، بارش‌ها از نظر زمانی و مکانی متمرکزتر خواهند شد. این امر ضرورت مدیریت منابع آب به صورت محلی را برجسته می‌کند و رویکردهای متمرکز و یکسان برای کل حوضه‌ها را ناکارآمد می‌سازد. اکوسیستم‌ها با شرایط نرمال سازگار شده‌اند و پدیده‌های حاد و غیرمنتظره (مانند سیل‌های با دوره برگشت بالا) تحمل اکوسیستم را تجاوز کرده و باعث بحران می‌شوند. تکیه بر میانگین‌ها در برنامه‌ریزی اشتباه است بلکه باید در همه مراحل مدیریت و برنامه‌ریزی به حداقل و حداکثر مقادیر توجه شود. مطالعات موجود در زمینه تاب‌آوری

شهری دارند که به دلیل استفاده از مصالح و تکنیک‌های پایین‌تر در ساخت زیرساخت‌های روستایی است که معمولاً به قوانین ساختمانی پایبند نیستند (Chirisa & Nel, 2021). برای ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت‌های مناطق روستایی، اتخاذ رویکرد تفکر سیستمی ضروری است، زیرا زیرساخت‌ها و ابعاد فضایی به لحاظ عملکردی به یکدیگر مرتبط هستند و نقص در اجزای زیرساختی یک سکونتگاه روستایی (مانند برق، مخابرات، حمل‌ونقل و تأمین آب) می‌تواند تأثیر منفی بر تاب‌آوری سایر سکونتگاه‌های روستایی در همان منطقه داشته باشد (Nan & Sansavini, 2017). زیرساخت‌های حیاتی باید در زمان وقوع مخاطرات طبیعی عملیاتی باقی بمانند. در غیر این صورت، کیفیت زندگی در مناطق روستایی بدون خدمات اساسی به شدت کاهش می‌یابد. برای کاهش احتمال وقوع این مشکل، دولت محلی باید یک سیستم زیرساختی مستحکم ایجاد کند (Curt & Tacnet, 2018). بلایای طبیعی می‌توانند برای سیستم‌های زیرساختی خطرات جدی ایجاد کنند. برعکس، زیرساخت‌هایی که به خوبی طراحی شده‌اند می‌توانند خطر بلایا را کاهش داده و حتی از وقوع آن‌ها جلوگیری کنند. بر اساس مطالعات متعدد برنامه‌ریزان شهری و متخصصان، شاخص‌های متنوعی برای ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهرها مورد بررسی قرار گرفته است. هر یک از این مطالعات، تاب‌آوری را از منظر و دیدگاه خاصی مورد توجه قرار داده و به بررسی آن پرداخته‌اند. با توجه به مطالعات انجام شده در این خصوص، شاخص‌های تاب‌آوری کالبدی شامل کیفیت ابنیه، دسترسی به مراکز مدیریت بحران و آتش نشانی، مراکز انتظامی و آموزشی و درمانی، وجود امکانات آب و برق و گاز، مخابرات و فناوری اطلاعات، کیفیت راه و تنوع و انعطاف‌پذیری شبکه حمل‌ونقل، قابلیت ارتقاء و بازسازی سریع زیرساخت‌ها، تنوع و پایداری منابع تأمین خدمات و انرژی می‌باشند (Anabestani & Javanshiri, 2019; Maesoumian et al., 2022; Naghdi et al., 2020). تعیین خطرپذیری و آسیب‌پذیری نقش مهمی در تاب‌آوری دارد. پهنه‌های با خطر بیشتر مخاطرات طبیعی، تاب‌آوری کمتری دارند. مطالعات نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری محیطی و تاب‌آوری با هم ارتباط معکوس دارند و در دو سوی یک بردار هستند (Wilson, 2012). عواملی که بر خطرپذیری سیلاب تاثیرگذار هستند شامل ارتفاع، شیب، بارندگی، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، بافت خاک و شاخص رطوبت توپوگرافی

محدوده مطالعاتی از لحاظ فضایی در کدام قسمت قرار دارند؟

مواد و روش‌ها

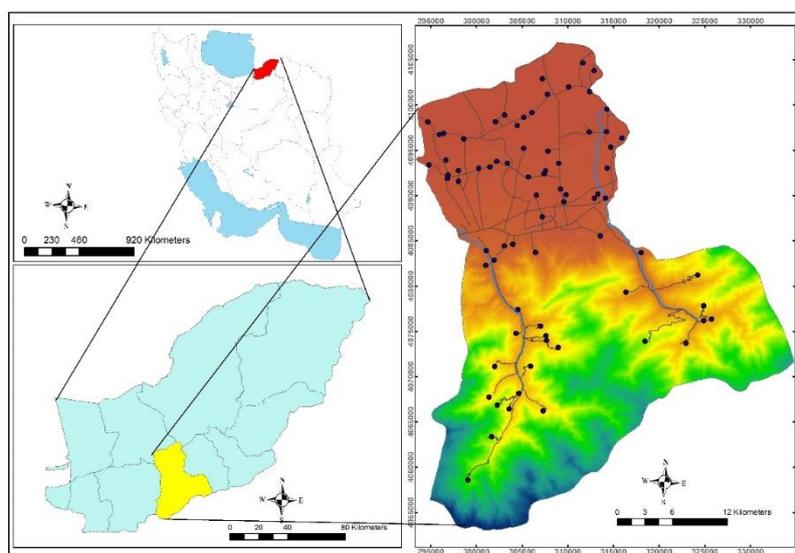
روش تحقیق در این پژوهش بر اساس هدف از نوع کاربردی و از لحاظ ماهیت، توصیفی-تحلیلی است. مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی مبنای اصول تئوری است. جمع‌آوری داده از طریق مراجعه به سازمان‌های ذی‌ربط و روش میدانی صورت گرفت.

• منطقه مورد مطالعه

شهرستان علی‌آبادکتول در گستره جنوبی استان گلستان و در ۵۴ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است و از شمال به شهرستان‌های گنبد کاووس و آق‌قلا، از غرب به شهرستان گرگان، از شرق به شهرستان رامیان و گنبد کاووس و از جنوب هم به ارتفاعات البرز و استان سمنان شهرستان شاهرود محدود است. مرکز این شهرستان، شهر علی‌آبادکتول با وسعت ۳/۳۸ کیلومترمربع و فاصله حدود ۴۱ کیلومتر از مرکز استان قرار دارد. شکل (۱)، موقعیت مکانی محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

عمدتاً به موضوع تعیین پهنه‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف نمی‌پردازند (Zhu et al., 2021). در حالی که استفاده از داده‌های هیدرولیکی رودخانه، نقش مهمی در تعیین دقیق پهنه‌های خطرپذیری سیلاب و تاب‌آوری ایفا می‌کند. در این پژوهش، پهنه‌های سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به عنوان یکی از مولفه‌های تاثیرگذار بر خطرپذیری سیلاب در نظر گرفته شد.

از آنجا که در سال‌های اخیر، خسارات بسیار زیادی در اثر وقوع سیلاب به مناطق روستایی شهرستان علی‌آبادکتول وارد شده است، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی تاب‌آوری کالبدی مناطق روستایی در این شهرستان است. بررسی سابقه سیل در این منطقه، ضرورت مدیریت بحران و وجود تفکر تاب‌آور در برنامه‌ریزی مخاطرات طبیعی و افزایش تاب‌آوری کالبدی روستایی در محدوده مطالعاتی را افزایش داده است. نوآوری این پژوهش در تعیین پهنه‌های خطرپذیری سیلاب، انجام مطالعات هیدرولیکی رودخانه در محیط HEC-RAS و تبدیل خروجی آن به پهنه سیلابی در محیط GIS برای ارزیابی تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در منطقه است. سؤالات پژوهش بر این اصل استوار است که کدام یک از روستاها از نظر تاب‌آوری کالبدی در وضعیت مطلوب‌تری قرار دارند؟ و علاوه بر آن، پهنه‌های تاب‌آور در



شکل (۱): موقعیت شهرستان علی‌آبادکتول

می‌باشد و پوشش گیاهی منطقه عمدتاً جنگلی می‌باشد و از شمال به اراضی جلگه‌ای منتهی می‌شود. وجود اراضی جلگه‌ای در شمال

بخش اعظم شهرستان علی‌آبادکتول دارای شیب بالای ۳۰ درصد می‌باشد که شامل ارتفاعات البرز شرقی در جنوب شهرستان

نشان‌دهنده تراکم جمعیت در قسمت‌های پست و کم ارتفاع است. به طوری که حدود ۵۰ نقطه سکونتگاه روستایی در ارتفاع کمتر از ۲۰۰ متر واقع شده‌اند. جدول (۱)، وضعیت استقرار سکونتگاه‌های روستایی را نشان می‌دهد.

جدول (۱): وضعیت استقرار روستاهای شهرستان علی‌آبادکتول از نظر طبیعی

وضعیت طبیعی اراضی	اراضی پست	کوهپایه	مخروط افکنه	تپه ماهور	کوهستان	جمع
تعداد روستا	۳	۴۲	۵	۲	۲۰	۷۲

بر اساس مطالعات مختلف، شدت سیلاب به عوامل هواشناسی و عوامل مؤثر بر سیلاب بستگی دارد. در این مطالعه، عوامل مؤثر بر سیلاب شامل ارتفاع، شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، بارندگی، بافت خاک، فاصله از رودخانه، پوشش گیاهی، پهنه سیلابی و کاربری اراضی است که در بخش‌های بعدی توضیح داده می‌شود.

ارتفاع: ارتفاع در ترسیم نقشه سیل و ارزیابی حساسیت برای شناسایی مناطقی با ریسک بالاتر به دلیل ارتفاع کمتر، بسیار مهم است. نقشه ارتفاع از مدل DEM ماهواره آستر با تفکیک ۳۰ متر با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.8 تهیه شد (شکل ۲ الف).

شیب: شیب به دلیل تأثیر بر جریان آب، نقش اساسی در ترسیم نقشه خطر سیل دارد. شیب‌های تندتر، خطر سیلاب‌های ناگهانی و تأثیر بارندگی‌های شدید را افزایش می‌دهند، در حالی که شیب‌های ملایم‌تر خطر سیلاب‌های محلی را افزایش می‌دهند. شیب‌های تندتر ممکن است باعث جریان آب سریع‌تر شوند. (شکل ۲ ب).

بارندگی: لایه بارش بر اساس داده‌های ایستگاه گرگان از سازمان هواشناسی ایران برای دوره ۱۹۸۴-۲۰۱۸ تولید شده است. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از روش وزن معکوس فاصله (IDW) که یک تکنیک شناخته شده در سیستم اطلاعات جغرافیایی است، به چهار طبقه از ۳۵۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر طبقه‌بندی شد. نقشه بارندگی در شکل ۲ پ نشان داده شده است.

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI): شاخص رطوبت توپوگرافی معیاری است که بر اساس توپوگرافی و شیب، پتانسیل تجمع آب در یک منطقه را کمی‌سازی می‌کند (Janizadeh et al., 2021). شاخص رطوبت توپوگرافی با در نظر گرفتن توزیع مکانی ارتفاع و شیب، اطلاعات ارزشمندی در مورد مناطقی که مستعد

و اراضی کوهستانی متعلق به رشته‌کوه‌های البرز در جنوب سبب شده که اختلاف ارتفاع در پهنه‌های جنوبی و شمالی شهرستان تفاوت محسوسی داشته باشد؛ به طوری که اختلاف ارتفاع نسبی نزدیک به ۳۰۰۰ متر در سطح شهرستان مشاهده می‌شود. پراکنش نقاط روستایی و توزیع جمعیت بر اساس ارتفاع نیز

متوسط سالانه، بیشترین و کمترین درجه حرارت در شهرستان علی‌آبادکتول به ترتیب ۱۶، ۲۱/۵ و ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. میزان بارندگی سالانه بیش از ۷۱۶/۱ میلی‌متر بوده و تعداد روزهای یخبندان ۱۷ روز می‌باشد. به طور کلی شهرستان علی‌آبادکتول دارای اقلیم نیمه مرطوب است. دو رودخانه اصلی به نام‌های زرین‌گل و محمدآباد در محدوده مطالعاتی وجود دارد. رودخانه زرین‌گل یکی از شاخه‌های مهم رودخانه گرگان است که پس از آبیاری روستاهای زرین‌گل و کردآباد، به رودخانه گرگان می‌ریزد. آورد سالانه این رودخانه ۷۳ میلیون مترمکعب و دبی متوسط این رودخانه ۱/۸۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. میزان دبی اوج این رودخانه در سال ۱۳۹۶ به میزان ۲۲۰ مترمکعب بر ثانیه است. رودخانه محمدآباد در مسیر خود، روستاهای قریب‌آباد، آلان، محمدآباد، رحمت‌آباد و فاضل‌آباد را مشروب می‌نماید و سپس به رودخانه گرگان می‌پیوندد. آورد سالانه آب رودخانه محمدآباد ۴۳ میلیون مترمکعب است. دبی متوسط این رودخانه ۱/۱۸ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. میزان دبی اوج این رودخانه در سال ۱۳۹۳ به میزان ۲۴۱ مترمکعب بر ثانیه است.

• داده‌های مورد استفاده

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان علی‌آبادکتول است. بدین منظور دو گروه شاخص شامل شاخص‌های تخمین خطرپذیری سیلاب بر مبنای عوامل محیط‌زیستی و شاخص‌های کالبدی بر مبنای قابلیت زیرساخت‌ها در مقابله با بحران سیلاب انتخاب گردیدند.

• شاخص‌های محیط‌زیستی مؤثر بر خطرپذیری سیلاب
درک خطر سیلاب نیازمند ترکیبی از داده‌های مکانی منطقه است.

نیمه انبوه، جنگل تنک، مرتع و کشاورزی تقسیم شد (شکل ح). پهنه سیلابی: به منظور تعیین پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ابتدا دبی پیک برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله توسط نرم‌افزار EasyFit محاسبه شد. سپس با استفاده از نرم افزار HEC-RAS مدل سازی جریان دو رودخانه زرین گل و محمدآباد صورت گرفت. نتایج خروجی آن در محیط ArcGIS به پهنه سیلابی تبدیل شد (شکل ۲ خ).

پس از تهیه نقشه‌های فوق به منظور تعیین اهمیت و وزن شاخص‌ها از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. به منظور تعیین و وزن دهی معیارها، از ابزار Weighted Overlay در محیط GIS برای انجام محاسبات استفاده شد.

• شاخص‌های کالبدی

معیارهای این بخش نشان دهنده ظرفیت موجود در سکونتگاه‌های روستایی جهت مقابله با سیلاب است. بدین منظور از داده‌های شناسنامه آبادی‌ها در سال ۱۳۹۵ استخراج شد. شاخص‌های برخورداری از خدمات درمانی، آب، برق، گاز، ارتباطات، فاصله از جاده و کیفیت و اسکلت ابنیه برای ارزیابی تاب‌آوری کالبدی به کار گرفته شدند (شکل ۳). با توجه به یکسان نبودن اهمیت تمام شاخص‌های تاب‌آوری کالبدی، در این پژوهش از آنتروپی شانون جهت تعیین وزن و اهمیت نسبی شاخص‌ها استفاده شده است. آنتروپی شانون مقدار اطلاعات موجود در یک شاخص را کم می‌کند، بنابراین پایه و اساس نظریه‌ای پیرامون مفهوم اطلاعات را فراهم می‌کند. این روش عوامل اصلی را در بین عوامل مؤثر یک هدف تخمین می‌زند و برای مقایسه با الگوریتم آنتروپی-خوشه بهبود یافته مناسب است تا رویکرد پیشنهادی برای ارزیابی تاب‌آوری روستایی را تأیید کند (Xu et al., 2018). آنتروپی بیانگر این است که چگونه می‌توان از میان عوامل مؤثر بر یک هدف، مهم‌ترین آنها را برآورد نمود (Nohani et al., 2016; Pourghasemi et al., 2014). در واقع، آنتروپی متغیرهایی را که بیشترین تأثیر را بر وقوع یک پدیده دارند، تعیین می‌کند. با توجه به این که در تاب‌آوری کالبدی در برابر سیل، عوامل متفاوتی با درجات اهمیت گوناگون دخیل هستند، رویکرد آنتروپی شانون رویکردی مناسب شناخته شده است. در ادامه آنتروپی شاخص‌ها از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

تجمع آب هستند ارائه می‌دهد که برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی، درک دینامیک کلی آب در یک منطقه و توزیع مکانی رواناب خروجی بسیار مهم است. در نتیجه، مقدار TWI را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) محاسبه کرد:

$$TWI = \ln(a / \tan(\beta)) \quad (1)$$

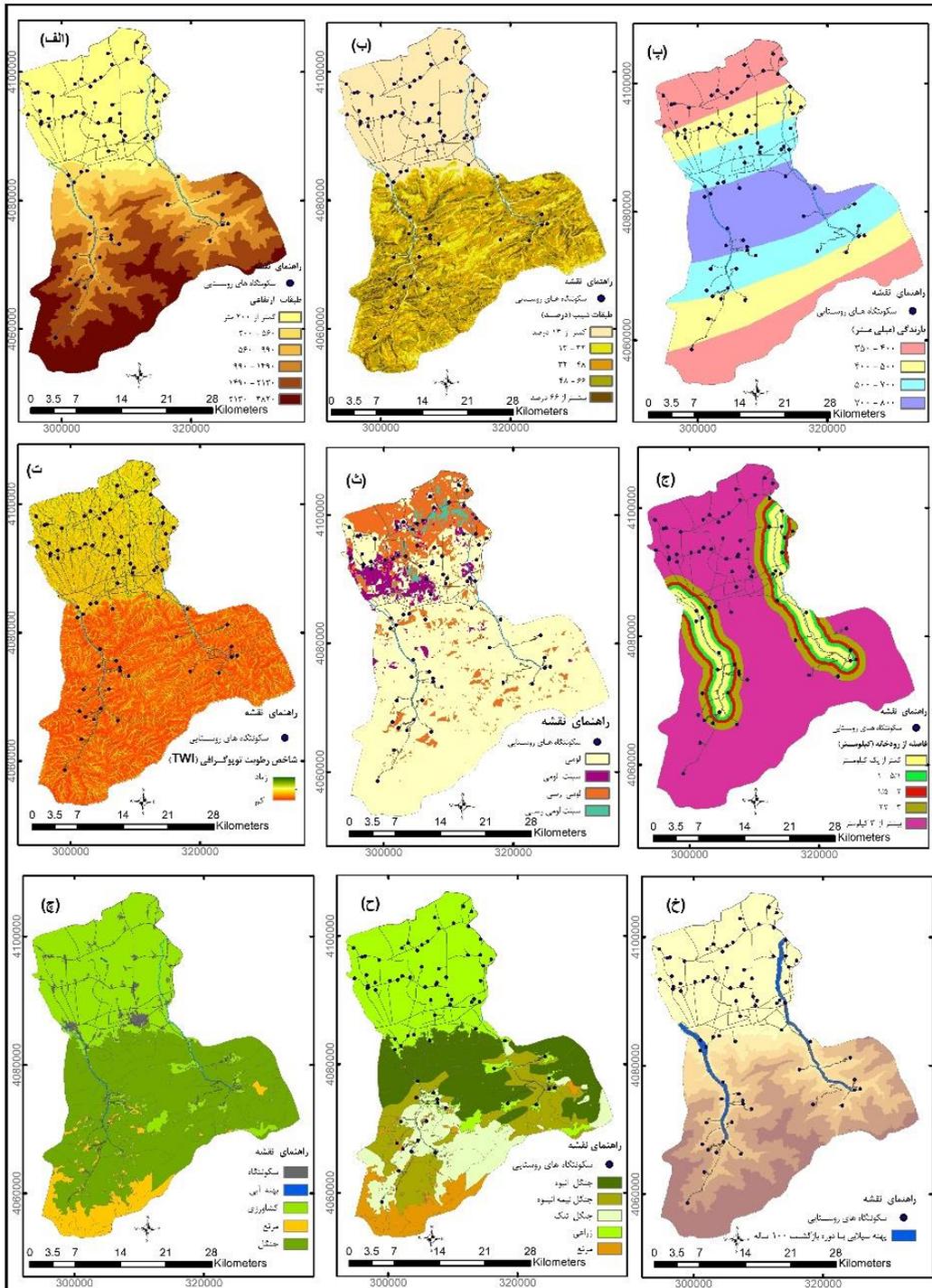
که در آن a مساحت بالادست است که از طریق یک نقطه معین در یک منحنی هم‌ارتفاع تخلیه می‌شود و $\tan(\beta)$ شیب بر حسب رادیان است.

شاخص TWI در منطقه مورد مطالعه از کمترین مقدار ۴/۱۱ تا بالاترین مقدار ۲۱/۳۱ متغیر بود (شکل ۲ ت).

بافت خاک: بافت خاک با تأثیر بر نفوذ آب ناشی از بارش و ظرفیت نگهداری آب، به طور قابل توجهی بر مناطق مستعد سیلاب تأثیر می‌گذارد (Hagos et al., 2022). خاک‌های شنی دارای هدایت هیدرولیکی بالاتری هستند، در حالی که خاک‌های رسی دیرتر نفوذ می‌کنند. عوامل بافت خاک، ویژگی‌های فیزیکی مانند بافت را برای تعیین فرآیند نفوذ و حجم رواناب سطحی در نظر می‌گیرند. نقشه بافت خاک توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران تهیه شده است. این نقشه به ۴ دسته لوم، لوم شنی، لوم رسی و لوم رسی سیلتی طبقه‌بندی شده است (شکل ۲ ث).

فاصله از رودخانه: فاصله از رودخانه تأثیر قابل توجهی بر آسیب‌پذیری و خطر سیلاب دارد، زیرا مناطقی که در نزدیکی رودخانه‌ها قرار دارند، به دلیل جریان آب و بارندگی شدید، بیشتر در معرض سیل قرار دارند (Ahmed et al., 2022) (شکل ۲ ج). کاربری اراضی: کاربری زمین تأثیر قابل توجهی بر حساسیت به سیل دارد. مناطق ساخته شده با کاهش جذب آب، روان آب سطحی را افزایش می‌دهند (Rahayu et al., 2023; Sugianto et al., 2022). جنگل‌ها دارای نرخ تبخیر تعرق و نفوذپذیری بالاتری هستند و در نتیجه روان آب سطحی را کاهش می‌دهند. در این مطالعه، نقشه کاربری اراضی شهرستان علی‌آبادکتول با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در محیط google earth engine به دست آمد و به پنج طبقه جنگل، زمین کشاورزی، مرتع، منطقه ساخته شده و پهنه آبی (شکل ۲ چ) طبقه‌بندی شد.

پوشش گیاهی: پوشش گیاهی نقش مهمی در کنترل سیلاب دارد. در این مطالعه پوشش گیاهی به پنج طبقه جنگل انبوه، جنگل



شکل (۲): شاخص‌های محیط‌زیستی تاثیرگذار بر خطرپذیری محدوده مطالعاتی

که در آن $p(x)$ توزیع احتمال متغیر تصادفی X است. افزایش در آنتروپی شانون باعث افزایش عدم اطمینان و کاهش اطلاعات در مورد دانش متغیر تصادفی می‌شود.

$$E_{ij} = -k \sum_{n=1}^n (P_{ij} * \ln P_{ij}) \quad (۲)$$

با هر d_j تقسیم بر مجموع d_j ها می‌باشد.

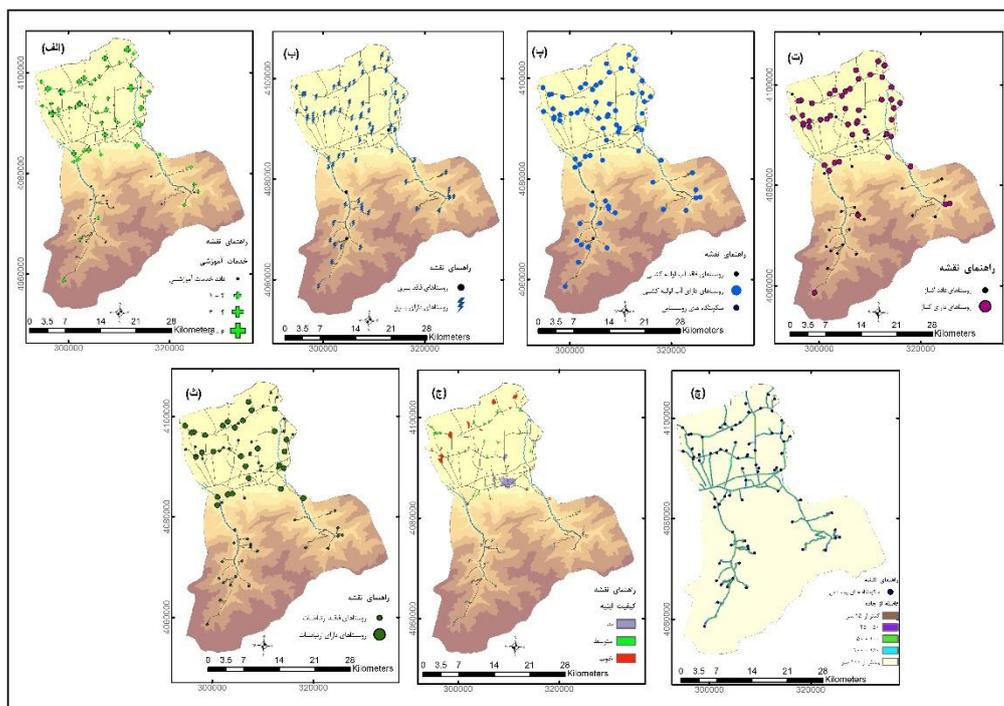
$$w_j = d_j / \sum d_j \quad (۴)$$

بر اساس وزن‌های به‌دست آمده از آنتروپی شانون، شاخصی که بیشترین وزن را دارد، نقش بیشتری در تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان علی‌آبادکتول در برابر سیل دارد. پس از تعیین و سنجش وزن شاخص‌ها، از سامانه اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزاری برای انجام محاسبات بعدی و یاری‌رساندن به تصمیم‌گیری استفاده شد.

در ادامه مقدار d_j (درجه انحراف) محاسبه می‌شود که بیان می‌کند شاخص مربوطه (d_j) چه میزان در تاب‌آوری کالبدی مؤثر است. هر چه مقادیر اندازه‌گیری شده شاخصی به صفر نزدیک باشند نشان‌دهنده آن است که روستاهای محدوده مطالعاتی از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. لذا نقش آن شاخص در تاب‌آوری کالبدی باید به همان اندازه کاهش یابد.

$$d_j = 1 - E_j \quad (۳)$$

سپس مقدار وزن W_j محاسبه می‌گردد. در واقع وزن معیار برابر



شکل (۳): شاخص‌های کالبدی محدوده مطالعاتی

نشان داد. این اطلاعات ارزشمند به تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر در خصوص مدیریت ریسک سوانح طبیعی کمک کرده و امکان ارائه راهکارهای مناسب برای افزایش تاب‌آوری در مناطق آسیب‌پذیر را فراهم آورد. این تحلیل مکانی امکان ارائه راهکارهای مناسب برای افزایش تاب‌آوری در مناطق آسیب‌پذیر را فراهم آورد و به تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر در خصوص مدیریت ریسک سوانح طبیعی کمک کرد.

• ظرفیت تاب‌آوری کالبدی

پس از تعیین و سنجش وزن شاخص‌های تاب‌آوری در برابر سیل‌های گسترده، از سامانه اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزاری جهت تلفیق و تحلیل لایه‌های مکانی مختلفی مانند نقشه‌های خطرپذیری سیل و تاب‌آوری کالبدی استفاده گردید. تحلیل مکانی انجام شده با استفاده از ابزار Raster Calculator در محیط GIS، نقاط ضعف و قوت تاب‌آوری در روستاهای مختلف را به وضوح

یافته‌های پژوهش

یکی از ابعاد مؤثر بر تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی، بعد کالبدی است که با توجه به آن می‌توان وضعیت جامعه روستایی را از نظر خصوصیات فیزیکی و جغرافیایی تاثیرگذار در هنگام بروز سیلاب ارزیابی کرد.

شاخص‌های محیط‌زیستی نقش مهمی در خطرات سیلاب دارد. بدین‌منظور از شاخص‌های ارتفاع، شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، بارندگی، بافت خاک، فاصله از رودخانه و پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برای ارزیابی خطر سیلاب استفاده شد. ارتفاع از جمله مواردی است که با پیدایش و شکل‌گیری سیلاب رابطه عکس دارد. ارتفاع شهرستان علی‌آبادکتول از ۴ متر تا ۳۸۰۰ متر متغیر است. نقشه ارتفاع تولید شده نشان می‌دهد که مناطق شمالی از ارتفاع پایین‌تری برخوردارند و لذا مستعد مخاطره سیل هستند و بخش‌های جنوبی محدوده مطالعاتی که در ارتفاعات بالاتر قرار دارند، در معرض خطر کمتری برای سیل قرار دارند. شیب زمین نیز یکی از

پارامترهای اساسی در وقوع سیلاب و تشدید روان‌آب به شمار می‌رود. در قسمت جنوبی محدوده مطالعاتی، شاهد شیب‌های تندی هستیم. ارتفاع و نوع بارندگی، میزان تبخیر و تعرق و وضعیت پوشش گیاهی نیز بر روان‌آب و در نتیجه بر سیلاب تاثیرگذار هستند. محققان به اهمیت و نقش این پارامتر در کنترل سیلاب اشاره کرده‌اند (Hamidi et al., 2017; Nadiri, 2019). پوشش اراضی محدوده مطالعاتی شامل جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی و باغات، پهنه آبی، و نواحی روستایی می‌باشد. بیشترین مساحت محدوده مطالعاتی مربوط به اراضی کشاورزی است.

جهت وزن‌دهی شاخص‌های محیط‌زیستی مؤثر بر خطرپذیری سیلاب، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. وزن‌دهی شاخص‌ها با توجه به مقایسه زوجی فازی بر اساس نظرات کارشناسان انجام گردید. جدول (۲)، وزن‌های به دست آمده از این روش را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، بیشترین وزن مربوط به پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و کمترین وزن مربوط به بافت خاک است.

جدول (۲): وزن‌های به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای شاخص‌های خطرپذیری سیلاب

شاخص	فاصله از رودخانه	بافت خاک	شاخص رطوبت توپوگرافی	بارندگی	شیب	ارتفاع	پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله	کاربری اراضی	پوشش گیاهی
وزن	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۲

و عمر ابنیه آنها در مقابل بار سیلاب و اثر رطوبت و آب‌گرفتگی و سیلاب، استحکام لازم را ندارند و بیشتر دچار استهلاک و تخریب خواهند شد. در محدوده مطالعاتی ۱۶۹۶۰ واحد مسکونی قرار دارد که ۱۳ درصد دارای کیفیت خوب، ۵۰ درصد کیفیت متوسط و ۲۷ درصد کیفیت بد هستند. اسکلت ابنیه هم نقش مهمی در تاب‌آوری ابنیه دارد. اسکلت ابنیه در محدوده مطالعاتی شامل اسکلت فلزی، بتون‌آرمه و سایر می‌باشد. در بخش‌های جنوبی شهرستان علی‌آبادکتول به دلیل عدم دسترسی مناسب به زیرساخت‌های مورد بررسی در این پژوهش، در صورت بروز سیلاب آسیب بیشتر خواهد بود.

برای تعیین وزن شاخص‌های کالبدی از روش آنتروپی شانون استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این روش از شناسنامه آبادی‌های سال ۱۳۹۵ به دست آمد. جدول (۳)، وزن‌های

نقشه حاصل از عملیات همپوشانی شاخص‌های محیط‌زیستی در شکل (۴ الف) نشان داده شده است. با توجه به این نقشه کمترین سطح خطر سیل‌خیزی در قسمت‌های جنوبی قرار دارد. وجود اراضی جنگلی و دوری از جریان آب رودخانه در بخش‌های مرکزی و جنوبی، این مناطق را در سطح خطرات کمتر در برابر سیلاب قرار داده است. بخش‌های شمالی محدوده مطالعاتی که محل تمرکز سکونتگاه‌های روستایی پر جمعیت است، خطرات بیشتری در برابر سیلاب دارند که عمدتاً به دلیل مجاورت با رودخانه و ارتفاع پست می‌باشد.

دسترسی به زیرساخت‌ها نقش مهمی در مدیریت ریسک سیلاب دارد. شاخص‌های کالبدی شامل راه‌های ارتباطی، مراکز درمانی، برق، گاز و آب است. همچنین، کیفیت ابنیه در تاب‌آوری در برابر سیلاب نقش مهمی دارد. واحدهای روستائی با توجه به نوع مصالح

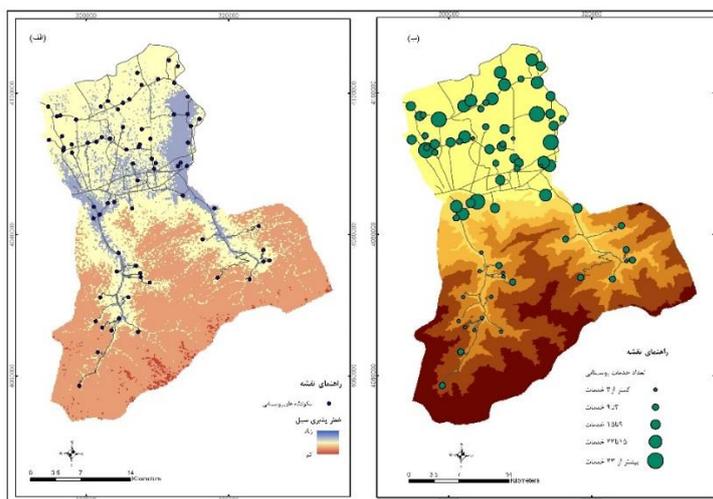
شاخص‌های کالبدی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، بیشترین وزن مربوط به کیفیت ابنیه و کمترین وزن مربوط به برق است.

جدول (۳): وزن‌های به‌دست آمده از روش آنتروپی شانون برای شاخص‌های کالبدی

شاخص	فاصله از جاده	گاز	برق	آب	کیفیت ابنیه	نوع اسکلت ابنیه	ارتباطات	خدمات درمانی
وزن	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۱۹

همچنین، در این نواحی راه از کیفیت نامناسبی نسبت به قسمت‌های مرکزی و شمالی محدوده برخوردار است.

شکل (۴ ب) نشان می‌دهد که پراکندگی روستاهایی که از نظر کالبدی در وضعیت نامطلوب قرار دارند، عمدتاً در قسمت جنوبی محدوده مطالعاتی است که دارای ارتفاع و شیب زیاد می‌باشند.



شکل (۴): الف: خطرپذیری سیلاب در محدوده مطالعاتی، ب: شاخص‌های کالبدی نواحی روستایی در محدوده مطالعاتی

از همپوشانی نقشه‌های خطر سیل‌خیزی و شاخص‌های کالبدی، نقشه نهایی ظرفیت تاب‌آوری کالبدی به‌دست آمد. مطابق با شکل (۵)، تاب‌آوری در بخش‌های مرکزی بیشتر و قسمت‌های کمتر خواهد بود. مطابق با جدول (۴)، ۵۱/۴ درصد از روستاهای این شهرستان دارای تاب‌آوری کم، ۲۲/۲ درصد تاب‌آوری متوسط و

۲۶/۴ درصد تاب‌آوری خوب هستند. از لحاظ پراکنش جمعیت، ۳۱/۱ درصد از جمعیت روستایی این شهرستان دارای تاب‌آوری کم، ۲۳/۴ درصد تاب‌آوری متوسط و ۴۵/۵ درصد تاب‌آوری خوب هستند.

جدول (۴): طبقه بندی تاب‌آوری کالبدی روستاهای شهرستان علی‌آبادکول

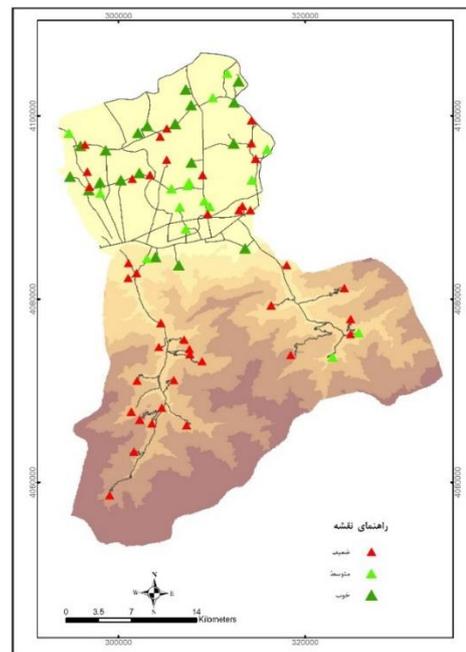
روستا		جمعیت (سال ۱۳۹۵)		تاب‌آوری
درصد	تعداد	درصد	تعداد	
۵۱/۴	۳۷	۳۱/۱	۱۸۷۲۲	کم
۲۲/۲	۱۶	۲۳/۴	۱۴۰۷۵	متوسط
۲۶/۴	۱۹	۴۵/۵	۲۷۳۹۴	خوب
۱۰۰	۷۲	۱۰۰	۶۰۱۹۱	جمع

با برنامه‌ریزی مناسب، رویکردهای فعلی را بهبود بخشیده و جامعه‌ای قوی‌تر و مؤثرتر بسازند. این مطالعه به‌طور خاص به ارزیابی تاب‌آوری کالبدی و ارتقاء آن در جوامع روستایی شهرستان علی‌آبادکتول می‌پردازد.

تاب‌آوری کالبدی در محدوده مطالعاتی از تلفیق شاخص‌های محیط‌زیستی خطرپذیری سیلاب و شاخص‌های کالبدی به‌دست آمد. برای تعیین میزان خطرپذیری سیلاب در شهرستان علی‌آبادکتول، در مجموع از ۸ شاخص محیط‌زیستی مؤثر بر خطرپذیری سیلاب که نقش مهمی در وقوع سیل دارند استفاده شد. به منظور دستیابی به تحلیل دقیق در نقشه خطرپذیری سیلاب، داده‌های هیدرولیکی و در نهایت پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله نیز به عنوان یکی از شاخص‌های خطرپذیری سیلاب لحاظ گردید. برای وزن‌دهی و تهیه نقشه خطرپذیری سیلاب از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. بر اساس نتایج تحلیل سلسله مراتبی فاصله از رودخانه و قرارگیری در پهنه سیلابی بیشترین وزن را دارند. سپس میزان پوشش گیاهی و کاربری اراضی از نظر وزن‌دهی در رتبه دوم قرار دارند. برای تهیه نقشه کالبدی ۸ شاخص مورد استفاده قرار گرفت که وزن‌دهی این شاخص‌ها با کمک آنتروپی شانون صورت گرفت. وزن‌دهی شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های کیفیت و نوع اسکلت ابنیه، بیشترین تاثیر را در تاب‌آوری کالبدی در محدوده مطالعاتی دارند. سپس نقشه خطرپذیری سیلاب و نقشه کالبدی با هم تلفیق شدند و نقشه نهایی تاب‌آوری کالبدی نواحی روستایی شهرستان علی‌آبادکتول به‌دست آمد. نتایج پژوهش حاضر، بیانگر آن است که تاب‌آوری کالبدی در نواحی روستایی شهرستان علی‌آبادکتول در وضعیت مناسبی قرار ندارد. ۳۷ روستا در طبقه با تاب‌آوری کم، ۱۶ روستا در طبقه با تاب‌آوری متوسط و ۱۹ روستا در طبقه با تاب‌آوری خوب قرار دارند. بنابراین، تقویت تاب‌آوری در محدوده مطالعاتی امری ضروری است.

با توجه به اهمیت مدیریت بحران در سیستم برنامه‌ریزی، تقویت تاب‌آوری مناطق روستایی نه تنها به افزایش توانایی جوامع در مواجهه با تهدیدات محیطی کمک می‌کند، بلکه اجرای این رویکرد در سیستم برنامه‌ریزی، زمینه‌های توسعه ملی را در بلندمدت فراهم می‌کند. بنابراین، ایجاد تعادل محیطی و رفع مشکلات توسعه در سیستم برنامه‌ریزی محلی برای ارتقاء مکان‌های امن و زیست‌پذیر، کلید موفقیت در تقویت ظرفیت

از لحاظ پراکندگی فضایی روستاها، روستاهای با تاب‌آوری کمتر عمدتاً در قسمت‌های جنوبی واقع شده‌اند. این روستاها در مناطقی با ارتفاع و شیب زیاد قرار دارند. این ویژگی‌های جغرافیایی باعث می‌شود این روستاها در برابر مخاطرات و تغییرات محیطی آسیب‌پذیرتر باشند و تاب‌آوری کمتری داشته باشند. با توجه به این شرایط، این روستاها نیازمند اقدامات و راهکارهایی هستند که بتواند تاب‌آوری آنها را افزایش دهد که می‌توان به اقداماتی در زمینه‌های مختلف از جمله مدیریت منابع طبیعی، سازگاری با تغییر اقلیم، تقویت زیرساخت‌ها و ارتقای سطح معیشت و رفاه اجتماعی اشاره کرد. با اجرای این راهکارها می‌توان تاب‌آوری این روستاهای واقع در مناطق جنوبی شهرستان و با ارتفاع و شیب زیاد را افزایش داد.



شکل (۵): ظرفیت تاب‌آوری نواحی روستایی محدوده مطالعاتی

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر ایجاد تاب‌آوری در چارچوب توسعه پایدار بر نواحی روستایی و کاهش اثرات بلایا، به تحلیل انواع تعاریف تاب‌آوری پرداخته است. بیشتر این تعاریف بر توانایی سیستم‌ها در مواجهه با تغییرات، مقابله با اختلالات و حفظ روابط بین افراد یا عوامل تأکید دارند. اهمیت تاب‌آوری در برابر بلایای طبیعی به مردم، برنامه‌ریزان و دولتمردان این امکان را می‌دهد که

- تاب‌آوری است. راهکارهای پیشنهادی برای افزایش تاب‌آوری کالبدی مناطق روستایی به شرح ذیل است:
- ارتقای دانش و آگاهی ساکنین در زمینه اصول ساختمان‌سازی استاندارد در نواحی در معرض سیل
 - افزایش انطباق قوانین و مقررات ساخت‌وساز مسکن با سیل‌خیزی نواحی روستایی
 - آینده‌نگری درباره ایمن بودن زیرساخت‌های مسکن روستایی در مواجهه با سیل
 - ممانعت از تغییر غیرمجاز کاربری اراضی کشاورزی به مسکونی در نواحی سیل‌خیز و پرهیز از جنگل‌تراشی
 - توجه به توان اکولوژیک منطقه
 - تعیین حریم رودخانه‌ها با توجه به دوره بازگشت‌های مختلف و عدم اجازه ساخت‌وساز در نواحی سیل‌خیز
 - بازسازی و مقاوم‌سازی دوره‌ای مسکن روستایی در معرض سیل

منابع

- Ahmed, N., Hoque, M. A. A., Howlader, N., & Pradhan, B. (2022). Flood risk assessment: role of mitigation capacity in spatial flood risk mapping. *Geocarto International*, 37(25), 8394–8416. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.2002422>
- Anabestani, A., & Javanshiri, M. (2019). A spatial assessment of the infrastructure resilience capacity in rural communities of Bojnourd County by FAHP model and fuzzy logic in GIS. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(20), 167-196. (In Persian). <https://doi.org/10.22111/jneh.2018.23018.1351>
- Anthopoulou, T., Kaberis, N., & Petrou, M. (2017). Aspects and experiences of crisis in rural Greece. Narratives of rural resilience. *Journal of Rural Studies*, 52, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.03.006>
- Beytollahi, A. (2019). *Golestan flood report*. Road, Housing and Urban Development Research Center.
- Bristow, G., & Healy, A. (2015). Crisis response, choice and resilience: insights from complexity thinking. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8, 241–256. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:11786897>
- Bui, Q. D., Luu, C., Mai, S. H., Ha, H. T., Ta, H. T., & Pham, B. T. (2022). Flood risk mapping and analysis using an integrated framework of machine learning models and analytic hierarchy process. *Risk Analysis*, 43(7), 1478–1495. <https://doi.org/10.1111/risa.14018>
- Cerbaro, M., Morse, S., Murphy, R., Middlemiss, S., & Michelakis, D. (2022). Assessing Urban Vulnerability to Flooding: A Framework to Measure Resilience Using Remote Sensing Approaches. *Sustainability (Switzerland)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/su14042276>
- Chirisa, I., & Nel, V. (2021). Resilience and climate change in rural areas: a review of infrastructure policies across global regions. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 7(5), 380–390. <https://doi.org/10.1080/23789689.2020.1871538>
- Coaffee, J., & Lee, P. (2016). *Urban resilience: planning for risk, crisis and uncertainty* (1st ed.). Red Globe Press.
- Curt, C., & Tacnet, J. (2018). Resilience of Critical Infrastructures: Review and Analysis of Current Approaches. *Risk Analysis*, 38. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:51984946>
- Ebrahimipour, M., Zayyari, K., & Ardalan, A. (2021). Explaining the Pattern of Physical Resilience Measurement in River-centered city Against the Impact of Floods (Case study: Tonekabon City). *Journal of Geographical Research in Space*, 11(41), 43-68. (In Persian).
- Energy, M. of. (2019). *National flood report*. Center for Social Affairs of Water and Energy Resources.
- Ha, H., Bui, Q. D., Nguyen, H. D., Pham, B. T., Lai, T. D., & Luu, C. (2023). A practical approach to flood hazard, vulnerability, and risk assessing and mapping for Quang Binh province, Vietnam. *Environment, Development and Sustainability*, 25(2), 1101–1130. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02041-4>
- Hagos, Y. G., Andualem, T. G., Yibeltal, M., & Mengie, M. A. (2022). Flood hazard assessment and mapping using GIS integrated with multi-criteria decision analysis in upper Awash River basin, Ethiopia. *Applied Water Science*, 12(7), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01674-8>
- Hamidi, N., Vafakhah, M., & Najafi, A. (2017). Development of Urban Flood Hazard Map for Nour City

- Using Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Logic. *Journal of Watershed Management Research*, 7(14), 19-11. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jwmr.7.14.19>
- Heijman, W., Hagelaar, G., & van der Heide, M. (2019). *Rural Resilience as a New Development Concept*. January, 195–211. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28642-2_11
- Hosseini, S., & Barker, K. (2016). Modeling infrastructure resilience using Bayesian networks: A case study of inland waterway ports. *Comput. Ind. Eng.*, 93, 252–266. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:10520341>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- IPCC. (2022). Fact Sheets | Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. In *Fact Sheet*.
- Janizadeh, S., Chandra Pal, S., Saha, A., Chowdhuri, I., Ahmadi, K., Mirzaei, S., Mosavi, A. H., & Tiefenbacher, J. P. (2021). Mapping the spatial and temporal variability of flood hazard affected by climate and land-use changes in the future. *Journal of Environmental Management*, 298(February). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113551>
- Laurien, F., Martin, J. G. C., & Mehryar, S. (2022). Climate and disaster resilience measurement: Persistent gaps in multiple hazards, methods, and practicability. *Climate Risk Management*, 37, 100443. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100443>
- M. Jibhakate, S., V. Timbadiya, P., & L. Patel, P. (2023). Multiparameter flood hazard, socioeconomic vulnerability and flood risk assessment for densely populated coastal city. *Journal of Environmental Management*, 344, 118405. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118405>
- Maesoumian, R., Motevalli, S., Janbaz Ghobadi, G., & Khaledi, S. (2022). Spatial analysis of physical-infrastructure resilience of Chamestan City against flood. *Journal of Natural Environment Hazards*, 11(32), 37-56. (In Persian). <https://doi.org/10.22111/jneh.2021.36464.1725>
- Mehryar, S., & Surminski, S. (2022). Investigating flood resilience perceptions and supporting collective decision-making through fuzzy cognitive mapping. *Science of the Total Environment*, 837(March), 155854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155854>
- MirzaAli, M., Nazari, A. H., & Ownegh, M. (2018). Measuring the physical dimension of rural resilience against flood (Case study: Gorganroud watershed basin). *Journal of Physical Development Planning*, 3(7, (New Series)), 111-133. (In Persian). <https://doi.org/10.30473/psp.2018.5262>
- Mirzaali Mohammad, N. A., & Ownegh Majid. (2018). Measuring the physical dimension of rural resilience against flood (Case study: Gorganroud watershed basin). *Journal of Physical Development Planning*, 3, (New Se(7), 111-133. (In Persian).
- Nadiri, M. (2019). Assessment of Aydoghmoos watershed flood risk using AHP-TOPSIS model. *Quarterly of Geography & Regional Planning*, 9(3), 298-306. (In Persian).
- Naghdi, A., Mafi, E., & Vatanparast, M. (2020). Evaluation of urban regeneration of worn-out neighborhoods to enhance physical resilience (Case study: The worn-out texture of Faroj city). *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 20(58), 261-281(In Persian).
- Nan, C., & Sansavini, G. (2017). A quantitative method for assessing resilience of interdependent infrastructures. *Reliability Engineering and System Safety*, 157, 35–53. <https://doi.org/10.1016/j.res.2016.08.013>
- Nehren, U., Sandholz, S., Sudmeier-Rieux, K., & Vicarelli, M. (2014). *The Ecosystem-based Disaster Risk Reduction*. Partnership for Environment and Disaster Risk Reduction and Center for Natural Resources and Development: Geneva, Switzerland; Cologne, Germany.
- Nohani, E., Darabi, F., Maroofinia, E., & Khosravi, K. (2016). Evaluation of Shannon entropy in order to flood probability and susceptibility mapping at Haraz catchment. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(5), 99-116. (In Persian). <https://doi.org/doi:10.22111/jneh.2017.2958>
- Olsson, L., Jerneck, A., Thorén, H., Persson, J., & O'Byrne, D. (2015). Why resilience is unappealing to social science: Theoretical and empirical investigations of the scientific use of resilience. *Science Advances*, 1. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:6899890>
- Parker, D. J. (2020). Disaster resilience—a challenged science. *Environmental Hazards*, 19(1), 1–9.

- <https://doi.org/10.1080/17477891.2019.1694857>
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., & Mohammadi, M. (2014). Landslide Susceptibility Zoning, Using Weight of Evidence Probabilistic Model. *Journal of Geospatial Information Technology*, 1(2), (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jgit.1.2.69>
- Rafieeian, M., Rezaee, M., Asgari, A., Parhizkar, A., & Shayan, S. (2011). Conceptual explanation of resilience and creation of its indicator in the community base disaster management. *The Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 15(4), 19-41. (In Persian). <http://hsmssp.modares.ac.ir/article-21-9255-fa.html>
- Rahayu, R., Mathias, S. A., Reaney, S., Vesuviano, G., Suwarman, R., & Ramdhan, A. M. (2023). Impact of land cover, rainfall and topography on flood risk in West Java. *Natural Hazards*, 116(2), 1735–1758. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05737-6>
- Serre, D., & Heinzlef, C. (2018). Assessing and mapping urban resilience to floods with respect to cascading effects through critical infrastructure networks. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 30(February), 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.02.018>
- Sugianto, S., Deli, A., Miswar, E., Rusdi, M., & Irham, M. (2022). The Effect of Land Use and Land Cover Changes on Flood Occurrence in Teunom Watershed, Aceh Jaya. *Land*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/land11081271>
- Taherimashhadi, H., & Ghazban, F. (2018). Flood Risk Assessment In KAND Watershed Of Iran. *Global Journal of Engineering Science and Research Management*, 5(6), 5–12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1286786>
- UN-Habitat. (2017). *New Urban Agenda*. United Nations Human Settlements Programme.
- UNDRR. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*.
- UNDRR. (2019). *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*.
- UNDRR. (2022). *The Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years (2001-2020)*.
- Wilson, G. A. (2012). Community resilience, globalization, and transitional pathways of decision-making. *Geoforum*, 43(6), 1218–1231. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2012.03.008>
- Xu, H., Ma, C., Lian, J., Xu, K., & Chaima, E. (2018). Urban flooding risk assessment based on an integrated k-means cluster algorithm and improved entropy weight method in the region of Haikou, China. *Journal of Hydrology*, 563(June), 975–986. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.060>
- Zhang, X., Mao, F., Gong, Z., Hannah, D. M., Cai, Y., & Wu, J. (2023). A disaster-damage-based framework for assessing urban resilience to intense rainfall-induced flooding. *Urban Climate*, 48, 101402. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101402>
- Zhu, S., Li, D., Huang, G., Chhipi-Shrestha, G., Nahiduzzaman, K. M., Hewage, K., & Sadiq, R. (2021). Enhancing urban flood resilience: A holistic framework incorporating historic worst flood to Yangtze River Delta, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 61(September 2020), 102355. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102355>
- رفیعیان، م.، رضایی، م.، عسگری، ع.، پرهیزکار، ا.، & شایان، س. (۱۳۹۰). تبیین مفهومی تاب‌آوری و شاخص سازی آن در مدیریت سوانح اجتماع محور (CBDM). *برنامه ریزی فضایی (علوم انسانی مدرس)*, ۱۵(۴)، ۱۹–۴۱.