

Developing a framework for assessing watershed vulnerability to flooding

Omid Rahmati^{1*}, Seyed Masoud Soleimanpour² and Bagher Ghermezcheshmeh³

¹ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran

² Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

³ Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 20 April 2024

Accepted: 14 September 2024

Extended abstract

Introduction

Floods cause significant financial losses and loss of life in Iran every year and have detrimental effects on the sustainable development of watersheds. In terms of frequency, flood rank first among the world's natural disasters, and therefore studies related to flood management are very important. Considering climate change and rainfall patterns in the country, in recent years, it has been observed that in addition to changing the rainfall regime from snow to rain, rainfall intensity has increased and sometimes the total annual rainfall of a watershed is discharged in two or three events, which, considering the saturation of soil moisture in these conditions, causes severe floods. On the other hand, due to the destruction of vegetation in the country's watersheds, conditions are available for surface runoff, and ultimately the probability of flooding in most watersheds of the country has increased. One of the pillars of flood risk management is paying attention to vulnerability, which includes several factors. The purpose of this research is to develop a scientific framework for assessing the vulnerability to flooding in the Zarrineh Watershed.

Materials and methods

In this research, various components including social, economic, organizational and infrastructural were considered to formulate the framework for assessing the watershed vulnerability to floods. For each of the components related to the above vulnerability, several thematic groups were defined, each of which included different variables. In the social vulnerability component, 'percentage of illiterate population', 'percentage of children's and older population', 'the amount of cooperation and consultation', and 'population size' were selected as variables. In terms of the economic vulnerability component, the variables of 'percentage of mortgage or rent', 'the percentage of unemployment', 'percentage of population lacking vehicle', and 'percentage of supply dependency to the outside area' were taken into consideration. The variables related to the component of institutional vulnerability were 'without decision centers' and 'the percentage of cooperation with executive offices'. In addition, infrastructural vulnerability was investigated based on the variables of 'percentage of residential units with low resistance', 'the percentage without telephone and mobile lines', 'percentage without internet access', 'the percentage of dirt roads', and 'percentage without health office'. After collecting the information of 18 villages of Zarrineh Watershed from the relevant departments, as well as direct interviews with the residents of the watershed, the vulnerability of each village to floods was determined based on social, economic, institutional and infrastructure vulnerability indicators. Then, the total vulnerability index was calculated for each village and after its standardization at the scale of Zarrineh Watershed, it was classified into five different groups: very low, low, medium, high and very high. Finally, the vulnerability index map of the entire Zarrineh Watershed was produced.

Results and discussion

Based on the results, Chehelcheshmeh, Golchidar and Obatu districts have the highest degree of social vulnerability, while the lowest degree of social vulnerability was assigned to Sara and Boyen districts. In terms of economic situation, Chehelcheshmeh, Obatu and Golchidar districts are the most vulnerable and

* Corresponding author: o.rahmati@areeo.ac.ir

Miradeh and Boyen districts are the least vulnerable. In terms of organizational vulnerability, Sahib, Imam, Sera, Zolfaghar and Namashir districts had the lowest level of vulnerability, but Chehelcheshmeh and Obatu districts showed the highest vulnerability value. In terms of infrastructural vulnerability, Boyen and Namashir districts had the best situation (lowest value of infrastructure vulnerability index) and Golchidar and Chehelcheshmeh districts showed the most critical situation. Finally, based on the total vulnerability index map, it can be stated that Chehelcheshmeh, Golchidar, and Obatu districts were the most vulnerable, and Boyen, Namashir, and Zolfaghar districts had the lowest total vulnerability index.

Conclusions

Based on the findings of this research, the framework based on social, economic, organizational, and infrastructural conditions has made it possible to prepare a flood vulnerability map of the watershed. The variables considered in the calculation of the total vulnerability index are selected in such a way that they cover different aspects and their information can be collected. The framework compiled in this research is flexible and depending on the diverse conditions of the country's watersheds, it is possible to consider other variables. The vulnerability map of Zarineh Watershed has provided useful information for decision makers and managers in flood management. Improving the condition of different parts of the Zarineh Watershed requires detailed planning of the executive bodies in accordance with their social, economic, organizational, and infrastructural conditions.

Keywords: Crisis, Land management, Natural disasters, Risk, Spatial analysis

Cite this article: Rahmati, O., Soleimanpour, S.M., Ghermezcheshmeh, B., 2025. Developing a framework for assessing watershed vulnerability to flooding. *Water. Eng. Manag.* 17(2), 203-220.

© 2025, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



تدوین چارچوب ارزیابی آسیب پذیری حوزه آبخیز نسبت به سیل

امید رحمتی^{۱*}، سیدمسعود سلیمان پور^۲ و باقر قرمز چشمه^۳

^۱ استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران

^۲ دانشیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

^۳ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱

چکیده مبسوط

مقدمه

سیلاب‌ها هر ساله موجب خسارات مالی و تلفات جانی زیادی در کشور شده و اثرات زیان‌باری بر توسعه پایدار حوزه آبخیز دارد. سیل از نظر فراوانی، در رتبه نخست بلایای طبیعی جهان قرار داد و از این‌رو، مطالعات مربوط به مدیریت سیل بسیار حائز اهمیت است. با عنایت به تغییرات اقلیمی و الگوی بارندگی‌ها در کشور، در سال‌های اخیر مشاهده شده است که علاوه بر تغییر رژیم بارندگی از برف به باران، شدت بارندگی‌ها افزایش یافته و گاهی کل مقدار بارندگی سالانه یک حوزه آبخیز در دو یا سه رخداد تخلیه شده که با در نظر گرفتن اشباع شدن رطوبت خاک در این شرایط، سیلاب‌های مهیبی شکل می‌گیرند. از سوی دیگر، با توجه به تخریب پوشش گیاهی حوزه‌های آبخیز کشور، شرایط برای ایجاد رواناب سطحی فراهم بوده و در نهایت، احتمال رخداد سیل در اکثر حوزه‌های آبخیز کشور بالا رفته است. یکی از ارکان مدیریت ریسک سیل، توجه به آسیب‌پذیری است که عوامل متعددی را در بر می‌گیرد. هدف از انجام این پژوهش، تدوین یک چارچوب علمی برای ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری نسبت به سیل در حوزه آبخیز زرینه است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، مؤلفه‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی برای تدوین چارچوب ارزیابی آسیب‌پذیری حوزه آبخیز نسبت به سیل در نظر گرفته شد. برای هر یک از مؤلفه‌های مربوط به آسیب‌پذیری فوق، چند گروه موضوعی تعریف شده که هر کدام متغیرهای مختلفی را شامل شدند. در مؤلفه آسیب‌پذیری اجتماعی، درصد جمعیت بی‌سواد، درصد جمعیت کودکان و کهنسال، میزان همکاری و مشورت و میزان جمعیت به‌عنوان متغیر انتخاب شدند. از نظر مؤلفه آسیب‌پذیری اقتصادی، متغیرهای درصد سکونت رهن یا استیجاری، درصد بیکاری، درصد جمعیت فاقد وسیله نقلیه و درصد وابستگی تأمین مایحتاج زندگی به خارج محدوده مدنظر قرار گرفتند. متغیرهای مربوط به مؤلفه آسیب‌پذیری نهادی درصد فاقد مراکز تصمیم‌گیری مانند دهیاری و درصد همکاری با دستگاه‌های اجرایی بودند. همچنین، آسیب‌پذیری زیرساختی براساس متغیرهای درصد واحدهای مسکونی با مقاومت کم، درصد فاقد خط تلفن و همراه، درصد فاقد دسترسی به اینترنت، درصد جاده‌های خاکی و درصد فاقد خانه بهداشت و درمانگاه مورد بررسی قرار گرفت. پس از جمع‌آوری اطلاعات ۱۸ دهستان حوزه آبخیز زرینه از ادارات مربوطه و همچنین، مصاحبه مستقیم با

* مسئول مکاتبات: o.rahmati@areeo.ac.ir

ساکنان حوزه آبخیز، وضعیت آسیب‌پذیری هر دهستان نسبت به سیل، براساس شاخص‌های آسیب‌پذیری اجتماعی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی مشخص شد. سپس شاخص آسیب‌پذیری کل برای هر دهستان محاسبه شده و پس از استنادارسازی آن در مقیاس حوزه آبخیز زرينه، به پنج گروه مختلف خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. در نهایت، نقشه شاخص آسیب‌پذیری کل حوزه آبخیز زرينه تهیه شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج به‌دست آمده، دهستان‌های چهل‌چشمه، گلچیدر و اوباتو بیشترین درجه آسیب‌پذیری اجتماعی را کسب نمودند در حالی که کمترین درجه آسیب‌پذیری اجتماعی به دهستان‌های سرا و بوین تعلق یافت. دهستان‌های چهل‌چشمه، اوباتو و گلچیدر از نظر وضعیت اقتصادی، بیشترین آسیب‌پذیری و دهستان‌های میرده و بوین کمترین آسیب‌پذیری را داشتند. از نظر آسیب‌پذیری نهادی، دهستان‌های صاحب، امام، سرا، ذولفقار و نمشیر کمترین میزان آسیب‌پذیری را داشتند ولی دهستان‌های چهل‌چشمه و اوباتو بیشترین مقدار شاخص آسیب‌پذیری نهادی را نشان دادند. از حیث آسیب‌پذیری زیرساختی، دهستان بوین و نمشیر بهترین وضعیت (کمترین مقدار شاخص آسیب‌پذیری زیرساختی) را داشته و دهستان‌های گلچیدر و چهل‌چشمه بحرانی‌ترین وضعیت را نشان دادند. در نهایت، براساس نقشه شاخص آسیب‌پذیری کل می‌توان بیان نمود که دهستان‌های چهل‌چشمه، گلچیدر و اوباتو آسیب‌پذیرترین بوده و دهستان‌های بوین، نمشیر و ذولفقار کمترین مقدار شاخص آسیب‌پذیری کل را داشتند.

نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های این پژوهش، چارچوب مبتنی بر وضعیت‌های اجتماعی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی امکان تهیه نقشه آسیب‌پذیری حوزه آبخیز نسبت به سیل را فراهم نموده است. متغیرهای مد نظر در محاسبه شاخص آسیب‌پذیری کل به گونه‌ای انتخاب شده که جنبه‌های مختلف را پوشش داده و جمع‌آوری اطلاعات آنها قابل انجام باشد. چارچوب تدوین شده در این پژوهش انعطاف‌پذیر بوده و بسته به شرایط متنوع حوزه‌های آبخیز کشور، امکان درنظر گرفتن دیگر متغیرها فراهم شده است. نقشه آسیب‌پذیری حوزه آبخیز زرينه اطلاعات مفیدی را برای تصمیم‌گیران و مدیران در راستای مدیریت سیل تأمین نموده است. بهبود وضعیت بخش‌های مختلف حوزه آبخیز زرينه نیازمند برنامه‌ریزی دقیق دستگاه‌های اجرایی و متناسب با وضعیت اجتماعی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی آنها است.

واژه‌های کلیدی: بحران، بلایای طبیعی، تحلیل مکانی، ریسک، مدیریت سرزمین

مقدمه

و اغلب با ناامنی اجتماعی، اقتصادی، شغلی و بهداشتی مواجه می‌شود (Sharafi and Zarafshani, 2011). یکی از ارکان مهم در محاسبه ریسک سیل حوزه آبخیز، موضوع آسیب‌پذیری نسبت به سیل است. شاخص‌های آسیب‌پذیری سیل به‌عنوان ابزاری مفید در ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری از جنبه‌های مختلف و ارتقاء سیاست‌های مدیریتی کاهش اثرگذاری سیل توسعه یافته‌اند (Endendijk et al., 2023).

مطالعات مختلفی تاکنون به ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری بخش‌های مختلف حوزه آبخیز نسبت به سیل پرداخته‌اند. به عنوان مثال، Ahmadi et al.,

سیلاب به‌عنوان یک رخداد هیدرولوژیکی حدی در حوزه‌های آبخیز سالانه در کشور و جهان موجب ایجاد خسارات مالی و تلفات جانی بسیار زیادی شده است. علاوه بر شرایط طبیعی حوزه‌های آبخیز، نگرش انسان‌ها درباره مؤلفه‌های زیستی، اقتصادی-اجتماعی، آمایش سرزمین، زیرساختی، امدادی و استناداردهای مربوطه نقش به‌سزایی در میزان اثرگذاری سیل و پیامدهای آن دارد (Mazzoleni et al., 2024; Lipatov et al., 2023). آسیب‌پذیری نسبت به سیل به بررسی وضعیتی می‌پردازد که در شرایط سیل جامعه دچار مشکل شده

متغیرهای مختلفی نظیر تراکم جمعیت، فاصله تا مناطق صنعتی و معدنی، تراکم دام، فاصله تا مناطق گردشگری، کاربری اراضی، درصد کشاورزان و دامداران، فاصله تا نهر، میراث فرهنگی، فاصله تا مناطق مسکونی و فاصله تا جاده با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند.

در کشورهای دیگر نیز این موضوع مورد توجه بوده تا با استفاده از موضوع آسیب‌پذیری به مدیریت بهتر سیل دست یابند. به‌عنوان مثال، Balica and Wright (2010) ضمن بیان قابلیت بررسی آسیب‌پذیری در سه مقیاس حوزه آبخیز، زیرحوضه و محدوده شهری، چهار گروه مهم برای انتخاب متغیرهای مربوط به شاخص آسیب‌پذیری نسبت به سیل را اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و فیزیکی بیان نمودند. در مطالعه‌ای در کشور هند، Meraj et al., (2015) به بررسی آسیب‌پذیری دو حوزه آبخیز لیدر و رمبیارا براساس ویژگی‌های محیطی حوزه‌های آبخیز و پراکنش جمعیت‌ها در این دو حوضه پرداختند. نتایج نشان داد که به‌دلیل تراکم جمعیت بیشتر در پایین‌دست حوزه آبخیز لیدر، این حوزه آبخیز از نظر اجتماعی نسبت به حوزه آبخیز رمبیارا در برابر سیل آسیب‌پذیرتر است.

Pathak et al., (2020) به بررسی آسیب‌پذیری نسبت به سیل در منطقه ساپتاری کشور نپال پرداختند و بررسی‌ها نشان داد که متغیرهایی مانند سن سرپرست خانواده، جنس سرپرست خانواده، نوع ساختمان، درجه وابستگی برای تأمین مایحتاج، درآمد حاصل از کشاورزی، وجود درآمدهای جایگزین، فاصله از منابع آب شرب، مهاجرت، وجود سیستم‌های هشدار سیل، نسبت زنان به کل جمعیت، بیمه و درک وقوع سیل بر وضعیت آسیب‌پذیری تأثیر می‌گذارند. از سویی دیگر، جنسیت، مالکیت دام، درآمد سرانه، اقدامات سازگاری، و فاصله از پهنه‌های آبی تأثیر منفی بر سطح آسیب‌پذیری دارند.

همچنین، Van et al., (2022) در حوزه آبخیز بنهای تاج‌هان کشور ویتنام به‌عنوان جایی که سیلاب‌های زیادی را تجربه کرده است، با استفاده از تحلیل‌های مبتنی بر عوامل اقتصادی-اجتماعی، محیط‌زیستی و

(2023) در حوزه آبخیز افرینه استان لرستان به ارزیابی آسیب‌پذیری کشاورزان در برابر وقوع سیل پرداختند. پس از انتخاب ۲۲ روستا در حوزه آبخیز افرینه به عنوان جامعه آماری، جمع‌آوری اطلاعات براساس روش نمونه‌گیری تصادفی ساده و از طریق پرسشنامه انجام شد. متغیرهای مختلفی شامل مواجهه، حساسیت و ظرفیت سازگاری براساس نظر کارشناسی بررسی و امتیازدهی شدند. نتایج آنها نشان داد که آسیب‌پذیری بیشتر خانوارها نسبت به سیل در طبقه آسیب‌پذیری متوسط قرار دارد.

در مطالعه‌ای دیگر، Avand et al., (2022) به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری حوزه آبخیز تجن استان مازندران از نظر سیلاب، چهار بعد اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی، ساختاری-فیزیکی و سیاست‌گذاری-نهادی را مدنظر قرار دادند. شاخص‌ها با استفاده از "روش بهترین بدترین"^۱ وزن‌دهی شدند. نتایج و تحلیل‌ها نشان داد که بعد اقتصادی آسیب‌پذیری مهم‌تر از سه بعد دیگر بوده است.

همچنین نتایج نشان داد که در بعد اجتماعی-فرهنگی شاخص دسترسی به مراکز بهداشتی و درمانی، در بعد اقتصادی، شاخص وابستگی به درآمد کشاورزی، در بعد سیاست‌گذاری نیز شاخص تخریب منابع طبیعی و در بعد ساختاری-فیزیکی شاخص وجود راه‌های ارتباطی (جاده و پل) مناسب دارای بالاترین وزن بوده و تأثیر زیادی در آسیب‌پذیری ساکنین حوزه آبخیز به سیلاب داشتند. در یک مطالعه مروری، Azizi et al., (2021) به بررسی شاخص‌ها و معیارهای مربوط به تعیین آسیب‌پذیری پرداختند و بیان نمودند که عوامل مختلف طبیعی، هیدرولوژیکی، اقتصادی، هواشناسی، اجتماعی و سرمایه‌گذاری بسته به شرایط حوزه آبخیز، در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آنها، شاخص آسیب‌پذیری سیل^۲ مبتنی بر مؤلفه‌های اجتماعی، هیدرولوژیکی، زیرساختی و اقتصادی برای کاهش خسارات و تلفات ناشی از سیل بسیار مفید است. در پژوهش Sajedi Hosseini et al., (2021)، آسیب‌پذیری حوزه آبخیز کشکان با استفاده از

² Flood Vulnerability Index (FVI)

¹ Best Worst Method (BWM)

ادافیکی حوزه آبخیز زرينه، سيلاب‌های متعددی در دهه گذشته اتفاق افتاده که منجر به خسارات مالی زيادی در مناطق شهری و روستایی شده است. دهستان‌های گل‌تپه، تيلکو، صاحب، امام، خورخوره، سرا، ترجان، تموغه، ميرده، ذولفقار، چهل‌چشمه غربی، سرشیو، گلچيدر، چهل‌چشمه، اوباتو، شوه، نمشير و بوين در حوزه آبخيز زرينه قرار گرفته‌اند. ذولفقار، ميرده و تموغه بزرگ‌ترين دهستان‌های حوزه آبخيز زرينه هستند؛ درحالی که نمشير، شوه و اوباتو کمترین سطح را در این حوزه آبخيز به خود اختصاص داده‌اند. کشاورزی و دامپروری اصلی‌ترین فعاليت‌های شغلی ساکنان این دهستان‌ها بوده و فعاليت‌های صنعتی نقش بسیار کم‌رنگی در معيشت آنها دارد.

شغل دامپروری در دهستان‌های ميرده، تموغه و سرا بیشتر از کشاورزی بوده درحالی که کشاورزی فعاليت اصلی دهستان‌های صاحب، گل‌تپه و امام قلمداد می‌شود. ۲۵۰ روستا در حوزه آبخيز زرينه قرار دارند که اهمیت موضوع آسیب‌پذیری نسبت به سيل را به وضوح نشان می‌دهد.

تعیين مؤلفه‌های آسیب‌پذیری نسبت به سيل: آسیب‌پذیری یکی از ارکان اصلی محاسبه ريسک است که جنبه‌های مختلف از یک محیط و جامعه آن را در برمی‌گیرد. از این‌رو، مؤلفه‌های محاسبه آسیب‌پذیری متنوع بوده که بسته به ویژگی‌های حوزه آبخيز، خصوصيات جوامع و داده‌ها و اطلاعات موجود انتخاب می‌شوند (Eftekhari and Sadeghi, 2019). در این پژوهش، چهار مؤلفه مختلف ازجمله آسیب‌پذیری اجتماعی^۱، آسیب‌پذیری اقتصادی^۲، آسیب‌پذیری نهادی^۳ و آسیب‌پذیری زیرساختی^۴ در نظر گرفته شد. آسیب‌پذیری اجتماعی به بررسی ظرفيت‌های جامعه پرداخته که در برخی منابع به‌عنوان تاب‌آوری اجتماعی از آن نیز یاد شده است. آسیب‌پذیری اقتصادی بر روی ویژگی‌های مالی، اعتباری و امکانات مادی یک جامعه تمرکز دارد. در حالت کلی، هرچه یک جامعه از نظر اقتصادی و امکانات مادی ضعیف‌تر باشد، در مقابل مخاطرات طبیعی آسیب‌پذیرتر است. آسیب‌پذیری نهادی به بررسی ساختار و ارتباط میان نهادهای دولتی

فیزیکی به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری نسبت به سيل پرداختند. نتایج آنها نشان داد که ۲۹ مرکز جمعیتی سنتی در این حوزه دارای آسیب‌پذیری بسیار بالایی هستند و پیشنهاد دادند که دولت باید برای این قسمت‌ها چاره‌اندیشی نماید. در مطالعه‌ای دیگر، Ha et al., (2023) آسیب‌پذیری استان کوانگ‌بین کشور ویتنام را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و متغیرهای مربوط به اقتصادی-اجتماعی ارزیابی نمودند. براساس یافته‌های ایشان، تراکم جمعیت، نرخ فقر، تراکم خدمات و امکانات تجاری، تراکم تاسیسات صنعتی و تراکم جاده از نظر اهمیت در تعیین وضعیت آسیب‌پذیری نسبت به سيل، به‌ترتیب در جایگاه‌های اول تا پنجم قرار گرفتند. بنابراین، براساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده در سابقه پژوهش، موضوع آسیب‌پذیری به‌عنوان یکی از ارکان مهم مدیریت سيل، قابلیت بررسی در مقیاس‌های مکانی مختلف را داشته و به‌دلیل گستردگی عوامل اثرگذار، متغیرهای مختلفی برای محاسبه شاخص‌های آسیب‌پذیری مدنظر قرار گرفته‌اند. گام ضروری کاهش ريسک سيل در زمان رویارویی مربوط به آمادگی جامعه در زمان قبل از رخداد سيل و درک ابعاد مختلف آسیب‌پذیری است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف تدوین چارچوب آسیب‌پذیری نسبت به سيل در حوزه آبخيز زرينه استان کردستان با درنظر گرفتن جنبه‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی انجام شد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های حوزه آبخيز مورد مطالعه: موقعیت مکانی آبخيز زرينه در استان کردستان و ایران در شکل ۱ نشان داده شده است. این حوزه آبخيز با مساحتی بالغ بر ۴۴۸۵ کیلومترمربع در شمال غربی استان کردستان واقع شده است و از مناطق مسکونی مهم آن می‌توان به شهرستان‌های سقز و صاحب اشاره کرد. حوزه آبخيز زرينه دارای شبکه زهکشی شاخه درختی بوده و جریان آب در این آبخيز به سمت شمال آن جریان دارد. جریان خروجی آبخيز زرينه در نهایت به دریاچه ارومیه ختم می‌شود. با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و

³ Organizational vulnerability

⁴ Infrastructural vulnerability

¹ Social vulnerability

² Economic vulnerability

بهداشت و درمان و غیره می‌پردازد. از آسیب‌پذیری زیرساختی در برخی منابع به‌عنوان آسیب‌پذیری فیزیکی یاد شده است.

و جامعه محلی می‌پردازد. آسیب‌پذیری زیرساختی نیز به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌های آسیب‌پذیری شناخته شده و بر روی زیرساخت‌های مربوط به ویژگی‌های ساختمان‌ها، ارتباطات، حمل و نقل،



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز زرینه در استان کردستان و ایران
Fig. 1. Location of the Zarineh Watershed in Kurdistan Province and Iran

کهنسال، میزان همکاری و مشورت و میزان جمعیت بررسی شد (Eftekhari and Sadeghi, 2019). میزان سواد افراد جامعه نشان‌دهنده میزان آگاهی نسبی آن جامعه از پدیده‌های طبیعی و درک فرایندهای اثرگذار آن است. بنابراین، جامعه‌ای که درصد بی‌سوادی بالاتری دارد، امکان ایجاد هماهنگی بین دستگاه‌های اجرایی و جامعه و در نهایت مدیریت سیل دشوارتر است.

در بسیاری از مواقع، هشدارهای سیل از طریق نصب علائم، بئر و اطلاعیه منتشر شده و در صورتی که اعضای جامعه قابلیت درک آن را نداشته باشند، مدیریت سیل به آسانی امکان‌پذیر نخواهد بود. از سویی دیگر، از نظر توزیع سنی جامعه، کودکان و کهنسالان عموماً توانایی فیزیکی کمتری برای رویارویی با سیل در شرایط بحرانی

تعیین متغیرهای آسیب‌پذیری نسبت به سیل - آسیب‌پذیری اجتماعی: در این پژوهش، چهار گروه موضوعی (زیرمجموعه) برای بررسی آسیب‌پذیری اجتماعی حوزه آبخیز زرینه مدنظر قرار گرفت که شامل سرمایه آموزشی^۱، سن^۲، تعاون و مشورت^۳ و تراکم جمعیتی^۴ هستند (شکل ۲). اگرچه یک گروه موضوعی می‌تواند از دیدگاه‌های مختلفی به انشعابات متنوع تقسیم شود، در این پژوهش سعی شد تا براساس داده‌های موجود و امکان جمع‌آوری اطلاعات از طریق مصاحبه حضوری یا تلفنی، یک متغیر مهم برای هر یک از گروه‌های موضوعی تعریف شود.

مؤلفه آسیب‌پذیری اجتماعی براساس چهار متغیر درصد جمعیت بی‌سواد، درصد جمعیت کودکان و

³ Co-operative and consultation

⁴ Population density

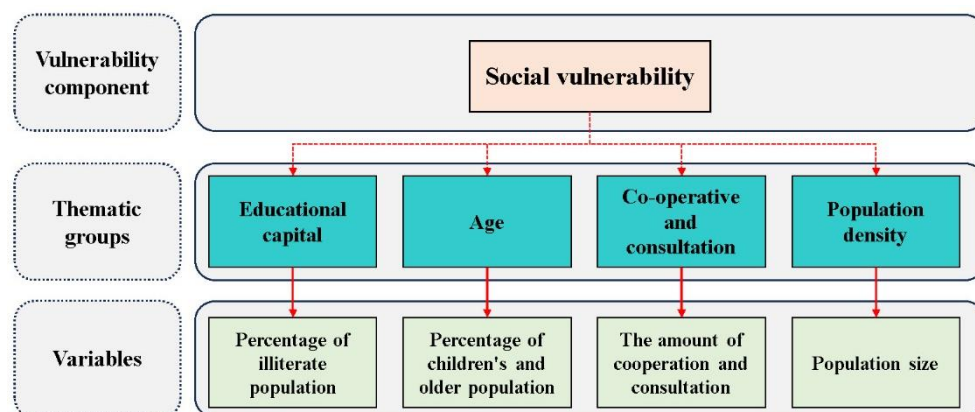
¹ Educational capital

² Age

طبیعی را ندارد. کسب تجربه و اطلاعات درخصوص سیل‌های گذشته از افراد مسن و همچنین توجه به ایده‌ها و راهکارهای اعضای جامعه برای جلوگیری از رخداد سیل از اهمیت بالایی برخوردار است. تراکم و توزیع مکانی جمعیت یکی از موارد مهم دیگر در زمینه آسیب‌پذیری اجتماعی یک حوزه آبخیز به شمار می‌رود. بخش‌های از یک حوزه آبخیز که تراکم جمعیت بالاتری دارد، آسیب‌پذیری بیشتری داشته و نیازمند توجه بیشتری است. در این پژوهش، به‌منظور بررسی این متغیر، جمعیت دهستان‌های مختلف و روستاهای زیرمجموعه دریافت شد.

(مانند تخلیه سکونتگاه و ساخت سیل‌بندهای موقتی) را داشته و درصد فراوانی این دو قشر ارتباط مستقیمی با درجه آسیب‌پذیری جامعه دارند.

در این پژوهش، درصد فراوانی کودکان زیر ده سال و بزرگسالان بالاتر از هفتاد سال به‌عنوان قشر کم‌توان جامعه در نظر گرفته شد. از دیگر موارد مهم در تاب‌آوری و آسیب‌پذیری اجتماعی، درصد همکاری و مشورت در جامعه است. جامعه‌ای که نسبت به تعاون و مشورت کم‌اهمیت باشد، از آینده‌نگری و همفکری کمتری برخوردار بوده و آمادگی لازم در شرایط وقوع مخاطرات



شکل ۲- مؤلفه آسیب‌پذیری اجتماعی، گروه‌های موضوعی و متغیرهای مورد بررسی

Fig. 2. Component of social vulnerability, thematic groups and variables

درصد سکونت رهن یا استیجاری، درصد بیکاری، درصد جمعیت فاقد وسیله نقلیه و درصد وابستگی تأمین مایحتاج زندگی به خارج از محدوده به‌عنوان متغیرهای مرتبط با آسیب‌پذیری اقتصادی در نظر گرفته شد (Eftekhari and Sadeghi, 2019). مسکن یکی از رکن‌های اساسی در زندگی بشر بوده و درصد افراد فاقد مسکن که به‌صورت استیجاری زندگی می‌کنند، در ارزیابی آسیب‌پذیری اقتصادی جامعه نقش مهمی دارد. اشتغال نیز تعیین‌کننده وضعیت معیشت، درآمد و پس‌انداز اعضای جامعه بوده و طبیعتاً جامعه‌ای که از درصد بیکاری بالاتری برخوردار است، در شرایط بحرانی وقوع سیل با مشکل اقتصادی جدی روبرو می‌شود. وضعیت اشتغال در بخش‌های مختلف یک حوزه آبخیز

تعیین متغیرهای آسیب‌پذیری نسبت به سیل- آسیب‌پذیری اقتصادی: آسیب‌پذیری اقتصادی بر روی ویژگی‌های مالی، اعتباری و امکانات مادی یک جامعه تمرکز دارد. در حالت کلی، هرچه یک جامعه از نظر اقتصادی و امکانات مادی ضعیف‌تر باشد، در مقابل مخاطرات طبیعی آسیب‌پذیرتر است. در این پژوهش چهار گروه موضوعی (زیرمجموعه) مختلف در زمینه آسیب‌پذیری اقتصادی انتخاب شدند که شامل سرمایه مربوط به مسکن^۱، اشتغال^۲، وسایل نقلیه^۳ و استقلال و تأمین مایحتاج زندگی^۴ هستند (شکل ۳).

هریک از گروه‌های موضوعی مزبور، می‌توانند با استفاده از شاخص‌های مختلف و چندگانه‌ای ارزیابی شوند. همانگونه که در شکل ذیل قابل ملاحظه است،

³ Vehicles

⁴ Independence in livelihood

¹ Housing capital

² Employment

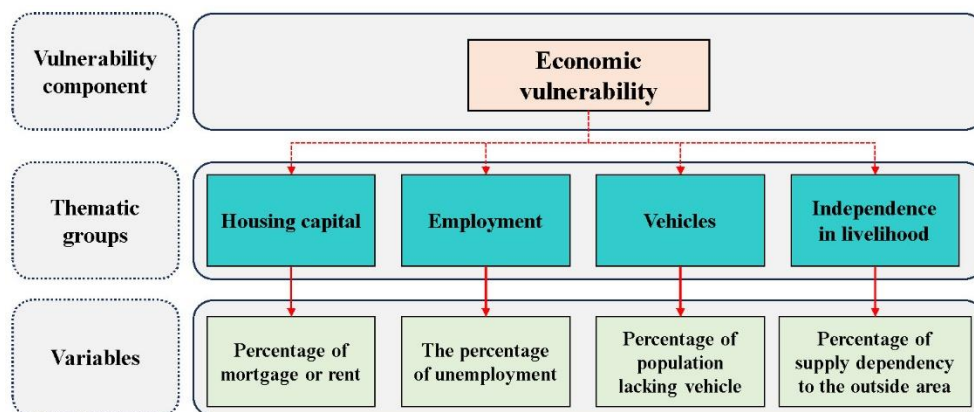
سریع در زمان رخداد سیل به حساب می‌آید. روستاهایی که وسایل نقلیه کمتری دارند، امکانات لازم برای تخلیه اضطراری در شرایط قبل از رسیدن سیل به محل سکونت را ندارند. براساس مطالعه Borowska-Stefańska et al., (2022) وسایل نقلیه شخصی نقش بسیار مهمی در فرایند تخلیه اضطراری ساکنان در زمان‌های رخداد سیل دارند. علاوه بر موارد مزبور، از آنجایی که در شرایط رخداد سیل راه‌های ارتباطی بسته یا تخریب می‌شوند، دسترسی جوامع محلی به شهرها قطع شده و امکان انتقال مواد غذایی به روستاهای گرفتار در سیل وجود ندارد.

هرچه استقلال اقتصادی و همچنین ذخیره آذوقه در جوامع محلی بیشتر باشد، درجه آسیب‌پذیری کمتر خواهد بود. از اینرو، درصد وابستگی تأمین مایحتاج زندگی به خارج از محدوده به‌عنوان یکی دیگر از متغیرهای مربوط به آسیب‌پذیری اقتصادی در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مربوط به متغیرهای فوق از دهیاری روستاها و همچنین دهستان‌ها دریافت شد.

ممکن است بسته به ویژگی‌های محیطی، اقلیمی و انسانی متفاوت باشد. همچنین، وسایل نقلیه از الزامات پاسخ سریع به بحران جهت تخلیه محل مورد تهدید است. معمولاً رخداد سیل در مدت زمان کوتاهی اتفاق افتاده که افراد جامعه فرصت زیادی برای تخلیه محل ندارند. بنابراین، هرچه درصد افراد فاقد وسیله نقلیه در یک جامعه محلی بیشتر باشد، امکان تخلیه سریع فراهم نشده و میزان آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد.

در این پژوهش، درصد خانوارهای فاقد وسیله نقلیه به‌عنوان یکی از متغیرهای مربوط به آسیب‌پذیری اقتصادی در نظر گرفته شد. وسیله نقلیه از منظر تخلیه اضطراری^۱ ساکنین قبل از رسیدن سیل به محل سکونت اهمیت دارد (Riahi et al., 2020). معمولاً قبل از رخداد سیل، مدت زمانی برای تخلیه اضطراری جوامع محلی وجود دارد که در صورت وجود وسایل نقلیه، تخلیه به راحتی انجام می‌گیرد.

تخلیه فرایندی است که باید سریع انجام شود و به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین رکن‌های برنامه‌ریزی واکنش



شکل ۳- مؤلفه آسیب‌پذیری اقتصادی، گروه‌های موضوعی و متغیرهای مورد بررسی

Fig. 3. Component of economic vulnerability, thematic groups and variables

(زیرمجموعه) شامل مراکز تصمیم‌گیری دولتی^۲ و ارتباط و همکاری مؤثر با دستگاه‌های اجرایی^۳ انتخاب شدند. وجود مراکز تصمیم‌گیری دولتی از جمله دهیاری‌ها در روستاها موجب تقویت ارتباط ساختاری میان دولت و جامعه محلی می‌شود.

تعیین متغیرهای آسیب‌پذیری نسبت به سیل- آسیب‌پذیری نهادی: آسیب‌پذیری نهادی به بررسی ساختار و ارتباط میان نهادهای دولتی و جامعه محلی می‌پردازد. این مؤلفه از پیچیدگی زیادی برخوردار بوده و متغیرهای متنوعی را دربرمی‌گیرد. با عنایت به کمبود داده در این زمینه، در این پژوهش دو گروه موضوعی

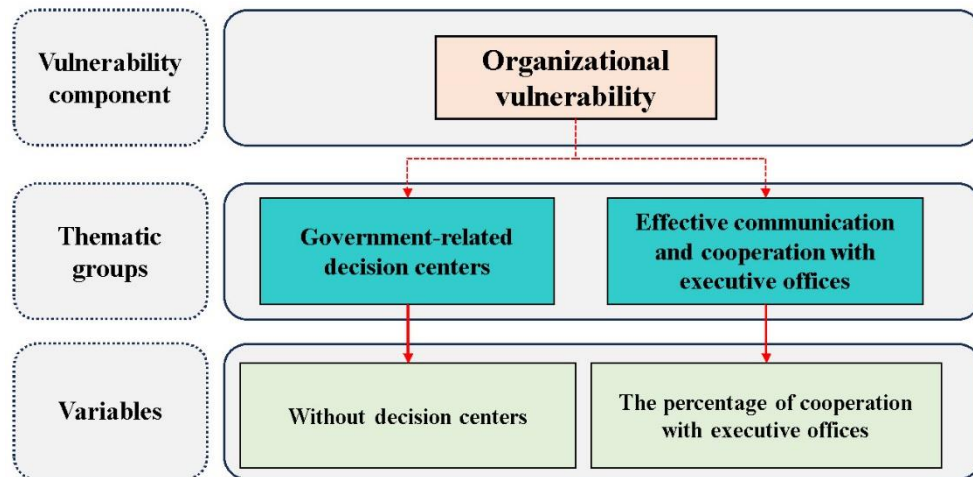
³ Effective communication and cooperation with executive offices

¹ Emergency evacuation

² Government-related decision centers

درصد همکاری مؤثر جوامع محلی با دستگاه‌های اجرایی به‌عنوان متغیر دوم در بررسی این مؤلفه در نظر گرفته شد (Eftekhari and Sadeghi, 2019). متغیرهای مربوط به مؤلفه آسیب‌پذیری نهادی با استفاده از تحقیقات محلی و مصاحبه با اعضای جوامع محلی و دهیاری‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند.

روستاهایی که فاقد دهیاری هستند، عموماً اطلاع‌رسانی و هماهنگی امور اجرایی به سختی قابل انجام است. از دیگر موارد مربوط به این مؤلفه آسیب‌پذیری نهادی می‌توان به حس همکاری جوامع محلی با نهادهای اجرایی اشاره کرد. حس همکاری جوامع محلی یک عامل روانی بوده که متأثر از عوامل متعدد از جمله تجربه همکاری‌های گذشته و میزان اعتماد میان دولت و اعضای جامعه محلی است.



شکل ۴- مؤلفه آسیب‌پذیری نهادی، گروه‌های موضوعی و متغیرهای مورد بررسی
Fig. 4. Component of organizational vulnerability, thematic groups and variables

استان، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و دهیاری‌ها مورد بررسی قرار گرفت. ظرفیت مخابرات و کامل بودن شبکه‌های ارتباطات اعم از خطوط تلفن و همراه موجب اطلاع‌رسانی به موقع قبل، حین و بعد از رخداد سیل می‌شود. از آنجایی که در شرایط رخداد سیل ممکن است جاده‌های ارتباطی قطع شود، مخابرات نقش مهمی در درخواست کمک و حفظ جان جوامع محلی ایفا می‌نماید.

درصد خانوار فاقد خط تلفن و همراه به‌عنوان یک متغیر کمی برای ارزیابی ظرفیت مخابرات تعیین شد. علاوه بر ظرفیت مخابرات، شبکه اینترنت و فضای مجازی نقش مهمی در تبادل اطلاعات و هشدارهای هواشناسی در سال‌های اخیر ایفا نموده‌اند. از این‌رو ظرفیت شبکه اینترنت به‌عنوان سومین طبقه موضوعی در مؤلفه آسیب‌پذیری زیرساختی مدنظر قرار گرفت. درصد فاقد دسترسی به اینترنت در فهرست متغیرهای

تعیین متغیرهای آسیب‌پذیری نسبت به سیل- آسیب‌پذیری زیرساختی: در این پژوهش پنج گروه موضوعی (زیرمجموعه) این مؤلفه آسیب‌پذیری براساس منابع علمی انتخاب شدند که شامل استحکام ساختمان^۱، ظرفیت مخابرات^۲، ظرفیت شبکه اینترنت^۳، نوع جاده و امکان دسترسی^۴ و ظرفیت درمانی^۵ هستند (شکل ۵). ضعیف یا ناقص بودن زیرساخت‌ها موجب افزایش درجه آسیب‌پذیری زیرساختی می‌شود. استحکام ساختمان یکی از موارد مهم در زمان رخداد سیل است که عموماً نقش حیاتی در حفظ خانواده و لوازم زندگی ایفا می‌نماید (Eftekhari and Sadeghi, 2019).

درصد واحدهای مسکونی با مقاومت کم به‌عنوان متغیر در این گروه موضوعی انتخاب شد و براساس اطلاعات موجود در سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی

⁴ Road type and accessibility

⁵ Therapeutic capacity

¹ Building resistance

² Communication capacity

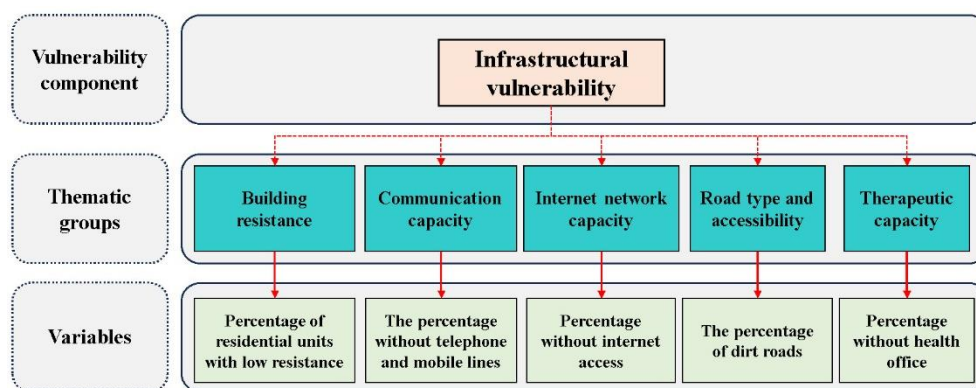
³ Internet network capacity

جاده‌های خاکی در حوزه‌های آبخیز استان کردستان زیاد بوده و این مورد یکی از مشکلات در حال حاضر برای مدیریت ریسک سیل به حساب می‌آیند. بنابراین، درصد جاده‌های خاکی به‌عنوان یک متغیر کمی در ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساختی در این پژوهش انتخاب شد. درصد جاده‌های خاکی در هر دهستان از اداره کل راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استان کردستان دریافت شد.

زیرساخت ظرفیت درمانی نیز از مهم‌ترین موارد برای مدیریت بحران سیل است. جوامع محلی که فاقد درمانگاه و خانه بهداشت هستند، نسبت به وقوع سیل بسیار آسیب‌پذیر هستند. متغیر درصد فاقد خانه بهداشت و درمانگاه در هر دهستان برای بررسی دقیق‌تر آسیب‌پذیری زیرساختی انتخاب شد و اطلاعات مربوطه از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کردستان دریافت شد.

مورد بررسی قرار داده شد. از سویی دیگر، نوع جاده و امکان دسترسی یکی از موارد مهم زیرساختی برای اجرای برنامه‌های مدیریت سیل در عرصه‌های طبیعی و همچنین تخلیه جوامع محلی و یا کمک‌رسانی به جوامع محلی است. در صورتی که جاده روستاها خاکی و صعب‌العبور باشد، امکان دسترسی به راحتی فراهم نیست. جاده‌های خاکی سرعت تخلیه اضطراری ساکنان را کاهش می‌دهند (Riahi et al., 2020).

روستاهایی که از جاده آسفالت بهره‌مند هستند، بدیهی است که سرعت تخلیه و همچنین امدادرسانی برای آنها راحت‌تر و سریع‌تر از روستاهای دارای جاده صعب‌العبور و خاکی است. ظرفیت شبکه جاده‌ای شامل کمیت و کیفیت جاده‌ها باید به‌عنوان یکی از معیارهای مهم در فرایند تخلیه اضطراری مدنظر قرار گیرد (Borowska-Stefańska et al., 2019; Nakanishi et al., 2023).



شکل ۵- مؤلفه آسیب‌پذیری زیرساختی، گروه‌های موضوعی و متغیرهای مورد بررسی

Fig. 5. Component of infrastructural vulnerability, thematic groups and variables

شاخص آسیب‌پذیری اقتصادی (V_E) براساس رابطه ذیل محاسبه شد:

$$V_E = H + U + V + D \quad (2)$$

که در آن، H درصد سکونت رهن یا استجاری در جامعه، U درصد بیکاری، V درصد فاقد وسیله نقلیه و D درصد وابستگی تأمین مایحتاج هستند.

شاخص آسیب‌پذیری نهادی (V_O) با استفاده از رابطه ذیل محاسبه شد.

$$V_O = G + L \quad (3)$$

که در آن، G درصد جوامع فاقد مراکز تصمیم‌گیری دولتی و L ارتباط و همکاری بین دستگاه‌های اجرایی و جامعه هستند.

محاسبه شاخص‌های آسیب‌پذیری نسبت به سیل: چهار شاخص آسیب‌پذیری اجتماعی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی براساس اطلاعات جمع‌آوری شده، محاسبه شد (Eftekhari and Sadeghi, 2019; Rahmati, 2024). شاخص آسیب‌پذیری اجتماعی (V_S) براساس رابطه ذیل به‌دست آمد.

$$V_S = E + A + C + P \quad (1)$$

که در آن، E درصد جمعیت بی‌سواد، A درصد جمعیت کودکان و کم‌سال‌ها، C میزان مشورت و همکاری هستند. بنابراین، برای هر دهستان یک شاخص آسیب‌پذیری اجتماعی محاسبه شد.

وزن‌دهی مستقیم و برای طبقه‌های متغیرهایی که رابطه معکوس با درجه آسیب‌پذیری داشته‌اند، روش وزن‌دهی معکوس اعمال شد. متخصصین تکمیل‌کننده پرسشنامه از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان، شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان، دانشگاه‌ها و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انتخاب شدند.

به‌منظور تجمیع نظرات متخصصین درباره هر طبقه متغیرها، میانگین امتیازات اختصاص‌یافته به هر طبقه محاسبه شد. هر شاخص برای دهستان‌های حوزه آبخیز محاسبه شده و در نهایت نقشه هریک از شاخص‌ها براساس توزیع مکانی دهستان‌های حوزه آبخیز ساخته شد.

تهیه نقشه شاخص آسیب‌پذیری کل: شاخص آسیب‌پذیری کل (V_T) مبتنی بر چهار مؤلفه مزبور و با استفاده از رابطه ذیل محاسبه شد.

$$V_T = V_S + V_E + V_O + V_I \quad (5)$$

که در آن، متغیرهای مورد استفاده پیش‌تر معرفی شده‌اند. به‌منظور درک بهتر وضعیت آسیب‌پذیری کل و مقایسه بخش‌های مختلف یک حوزه آبخیز، مقدار شاخص آسیب‌پذیری کل با استفاده از روش استانداردسازی به شاخص آسیب‌پذیری کل استانداردشده تبدیل شد (Bihanta and Zare- Chahouki, 2008).

$$V_{TN} = \frac{V_T - V_{Tmin}}{V_{Tmax} - V_{Tmin}} \quad (6)$$

که در آن، V_{TN} شاخص آسیب‌پذیری کل استاندارد شده بوده و V_{Tmin} و V_{Tmax} به‌ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر لایه شاخص آسیب‌پذیری کل هستند. در فرایند استانداردسازی فوق، مقادیر شاخص آسیب‌پذیری کل استانداردشده به محدوده صفر و یک ختم می‌شوند. بازه صفر تا یک در شاخص آسیب‌پذیری کل استانداردشده امکان درک بهتر از وضعیت آسیب‌پذیری و همچنین امکان مقایسه وضعیت آسیب‌پذیری چند زیرحوضه یا چند حوزه آبخیز را با یکدیگر فراهم می‌نماید.

پس از جمع‌آوری اطلاعات و پر کردن فرم ارزیابی آسیب‌پذیری برای هر دهستان، مقادیر به‌دست آمده برای هر متغیر در سامانه اطلاعات جغرافیایی به لایه رقومی دهستان‌ها وارد شد. نقشه رقومی متغیرها

آسیب‌پذیری زیرساختی (V_I) نیز براساس رابطه ذیل به‌دست آمد.

$$V_I = B + T + N + R + M \quad (4)$$

که در آن، B استحکام ساختمان‌ها، T درصد جوامع فاقد تلفن و همراه، N درصد فاقد دسترسی به شبکه اینترنت، R درصد جاده‌های خاکی و M درصد جوامع محلی فاقد درمانگاه و خانه بهداشت هستند.

تعیین واحدهای کاری در حوزه آبخیز: دهستان‌ها به‌عنوان واحدهای کاری حوزه آبخیز انتخاب شدند. دلیل اصلی این امر این است که اطلاعات بسیاری از متغیرهای اجتماعی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی تنها براساس دهستان‌ها موجود بوده و با توجه به اینکه حوزه آبخیز زمینه دارای چندین دهستان است، تأمین و تعمیم اطلاعات در مقیاس حوزه آبخیز را میسر ساخته است.

تعیین وزن طبقه‌های هریک از متغیرهای

آسیب‌پذیری: هریک از متغیرهای آسیب‌پذیری به پنج طبقه شامل درجه آسیب‌پذیری خیلی کم، درجه آسیب‌پذیری کم، درجه آسیب‌پذیری متوسط، درجه آسیب‌پذیری زیاد و درجه آسیب‌پذیری خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. پیش از تعیین امتیاز طبقه‌های هریک از متغیرهای آسیب‌پذیری، نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) بین متغیر موردنظر و وضعیت آسیب‌پذیری مشخص شد.

به‌عنوان مثال، متغیر درصد جمعیت بی‌سواد (E) رابطه مستقیمی با وضعیت آسیب‌پذیری اجتماعی داشته در حالی که متغیر میزان مشورت و همکاری (C) رابطه معکوس با وضعیت آسیب‌پذیری اجتماعی دارد. دامنه امتیازات بین صفر تا ۱۰ تعیین شده و پس از طراحی یک پرسشنامه و توزیع آن بین ۱۰ نفر متخصص که دارای تجربه کافی در زمینه مدیریت سیل بودند، امتیاز هریک از طبقه‌های متغیرهای آسیب‌پذیری ثبت شد. به‌عنوان مثال، از نظر متغیر میزان مشورت و همکاری، بالاترین وزن (بیانگر بیشترین آسیب‌پذیری) به طبقه اول (۲۰-۰ درصد، بیانگر میزان مشورت و همکاری خیلی کم) اختصاص می‌یابد.

به‌طور خلاصه، برای طبقه‌های متغیرهایی که رابطه مستقیم با درجه آسیب‌پذیری داشته‌اند، روش

به‌منظور بررسی تغییرات مکانی هریک از آنها در حوزه آبخیز زمینه تهیه شد. هریک از شاخص‌های آسیب‌پذیری اجتماعی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی براساس متغیرهای مربوطه در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 محاسبه شدند. در نهایت، نقشه شاخص آسیب‌پذیری کل محاسبه شده و پس از انجام استانداردسازی، نقشه نهایی آسیب‌پذیری کل استاندارد شده برای حوزه آبخیز زمینه تولید شد.

نتایج و بحث

طبقه‌بندی متغیرهای مربوط به مؤلفه‌های آسیب‌پذیری: براساس نظر کارشناسان با تجربه در زمینه سیل، درصد جمعیت بی‌سواد رابطه مستقیم با آسیب‌پذیری اجتماعی، درصد جمعیت کودکان و کهنسال رابطه مستقیم با آسیب‌پذیری، میزان همکاری و مشورت رابطه معکوس با آسیب‌پذیری و میزان جمعیت رابطه مستقیم با آسیب‌پذیری اجتماعی داشتند. هر متغیر به پنج طبقه طبقه‌بندی شده و ارتباط میان طبقه‌های هر متغیر با درجه یا وضعیت

آسیب‌پذیری نیز تعیین شد. وزن هریک از طبقات براساس نظر کارشناسان مشخص شد (جدول ۱). نحوه وزن‌دهی طبقه‌های هر متغیر به نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) متغیر موردنظر و وضعیت آسیب‌پذیری بستگی داشته است. در خصوص متغیر درصد جمعیت بی‌سواد که رابطه مستقیمی با وضعیت آسیب‌پذیری دارد، بالاترین وزن به طبقه بیشترین میزان بی‌سوادی (۸۰-۱۰۰ درصد جمعیت بی‌سواد) تعلق یافته است و کمترین وزن به پایین درصد جمعیت بی‌سوادی (۲۰-۰ درصد جمعیت بی‌سواد) اختصاص یافته است.

از آنجایی که متغیر درصد جمعیت کودکان و کهنسال مشابه متغیر درصد جمعیت بی‌سواد، رابطه مستقیم با آسیب‌پذیری دارد، کمترین جمعیت کودکان و کهنسالان، کمترین درجه آسیب‌پذیری و پیرو آن کمترین وزن را دریافت نموده است. این درحالی است که متغیر میزان مشورت و همکاری به دلیل داشتن رابطه معکوس با درجه آسیب‌پذیری، طبقه اول آن که کمترین سطح مشورت و همکاری را نشان می‌دهد، بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی متغیرهای مربوط به آسیب‌پذیری اجتماعی

Table 1. Classification of variables related to the social vulnerability

Variable	Class	Vulnerability status	Weight
Percentage of illiterate population	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10
Percentage of children's and older population	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10
The amount of cooperation and consultation	0-20	Very high	10
	20-40	High	8
	40-60	Medium	6
	60-80	Low	4
	80-100	Very low	2
Population size	0-1000	Very low	2
	1000-2000	Low	4
	2000-3000	Medium	6
	3000-4000	High	8
	>4000	Very high	10

نظرات کارشناسان نشان داد که متغیرهای درصد سکونت رهن یا استیجاری، درصد بیکاری، درصد جمعیت فاقد وسیله نقلیه و درصد وابستگی تأمین مایحتاج زندگی به خارج محدوده ارتباط مستقیم با

درجه آسیب‌پذیری داشتند. پس از طبقه‌بندی هر متغیر به طبقه‌های مختلف، درجه آسیب‌پذیری هر طبقه و همچنین وزن آن در مقیاس صفر تا ۱۰ مشخص شد (جدول ۲).

جدول ۲- طبقه‌بندی متغیرهای مربوط به آسیب‌پذیری اقتصادی

Table 2. Classification of variables related to the economic vulnerability

Variable	Class	Vulnerability status	Weight
Percentage of mortgage or rent	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10
The percentage of unemployment	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10
Percentage of population lacking vehicle	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10
Percentage of supply dependency to the outside area	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10

آسیب‌پذیری نهادی معکوس به‌دست آمد. پس از طبقه‌بندی هریک از متغیرهای مربوط به مؤلفه آسیب‌پذیری نهادی، میزان آسیب‌پذیری هر طبقه و همچنین وزن آن مشخص شد (جدول ۳).

براساس نظرات کارشناسان در این پژوهش، درصد فاقد مراکز تصمیم‌گیری مانند دهیاری با وضعیت آسیب‌پذیری نهادی رابطه مستقیم داشته در حالی که رابطه درصد همکاری با دستگاه‌های اجرایی با مؤلفه

جدول ۳- طبقه‌بندی متغیرهای مربوط به آسیب‌پذیری نهادی

Table 3. Classification of variables related to the organizational vulnerability

Variable	Class	Vulnerability status	Weight
Without decision centers	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10
The percentage of cooperation with executive offices	0-20	Very high	10
	20-40	High	8
	40-60	Medium	6
	60-80	Low	4
	80-100	Very low	2

شاخص‌های آسیب‌پذیری: براساس نتایج به‌دست آمده از وضعیت آسیب‌پذیری اجتماعی دهستان‌های حوزه آبخیز زرینه، دهستان‌های چهل‌چشمه، گلچیدر و اوباتو بیشترین درجه آسیب‌پذیری را کسب نمودند درحالی که کمترین درجه آسیب‌پذیری اجتماعی به دهستان‌های سرا و بوین تعلق یافت (شکل ۶). دهستان‌های چهل‌چشمه، اوباتو و گلچیدر از نظر وضعیت اقتصادی، بیشترین آسیب‌پذیری و دهستان‌های میرده و بوین کمترین آسیب‌پذیری را داشتند. از نظر آسیب‌پذیری نهادی، دهستان‌های صاحب، امام، سرا، دولفقار و نمشیر کمترین میزان آسیب‌پذیری را داشتند ولی دهستان‌های چهل‌چشمه

براساس نظرات کارشناسان در خصوص متغیرهای مربوط به آسیب‌پذیری زیرساختی، هریک از متغیرهای مربوط به این مؤلفه آسیب‌پذیری به پنج طبقه طبقه‌بندی شده و وزن هریک از کلاس‌ها به همراه ارتباط آنها با وضعیت آسیب‌پذیری مشخص شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که متغیرهای درصد واحدهای مسکونی با مقاومت کم، درصد فاقد خط تلفن و همراه، درصد فاقد دسترسی به اینترنت، درصد جاده‌های خاکی و درصد فاقد خانه بهداشت و درمانگاه رابطه مستقیمی با میزان آسیب‌پذیری زیرساختی داشتند.

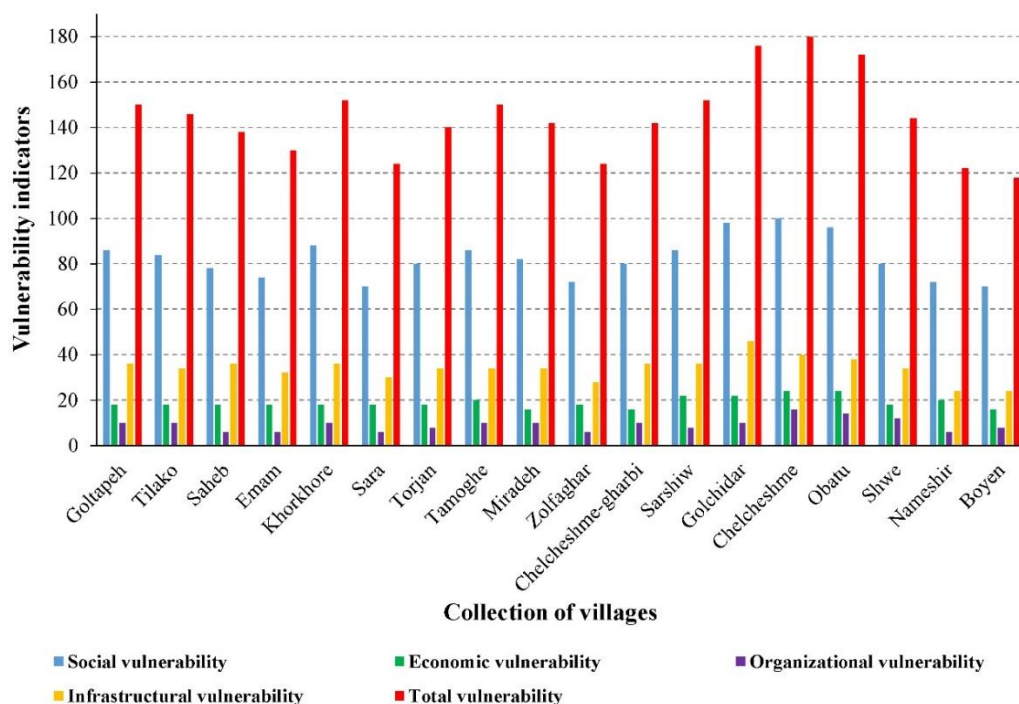
دادند. در نهایت، براساس شاخص آسیب‌پذیری کل می‌توان بیان نمود که دهستان‌های چهل‌چشمه، گلچیدر و اوباتو آسیب‌پذیرترین بوده و دهستان‌های بوین، نمشیر و ذولفقار کمترین مقدار شاخص آسیب‌پذیری کل را داشتند.

و اوباتو بیشترین مقدار شاخص آسیب‌پذیری نهادی را نشان دادند. از حیث آسیب‌پذیری زیرساختی، دهستان بوین و نمشیر بهترین وضعیت (کمترین مقدار شاخص آسیب‌پذیری زیرساختی) را داشته و دهستان‌های گلچیدر و چل‌چشمه بحرانی‌ترین وضعیت را نشان

جدول ۴- طبقه‌بندی متغیرهای مربوط به آسیب‌پذیری زیرساختی

Table 4. Classification of variables related to the infrastructural vulnerability

Variable	Class	Vulnerability status	Weight
Percentage of residential units with low resistance	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10
The percentage without telephone and mobile lines	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10
Percentage without internet access	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10
The percentage of dirt roads	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10
Percentage without health office	0-20	Very low	2
	20-40	Low	4
	40-60	Medium	6
	60-80	High	8
	80-100	Very high	10

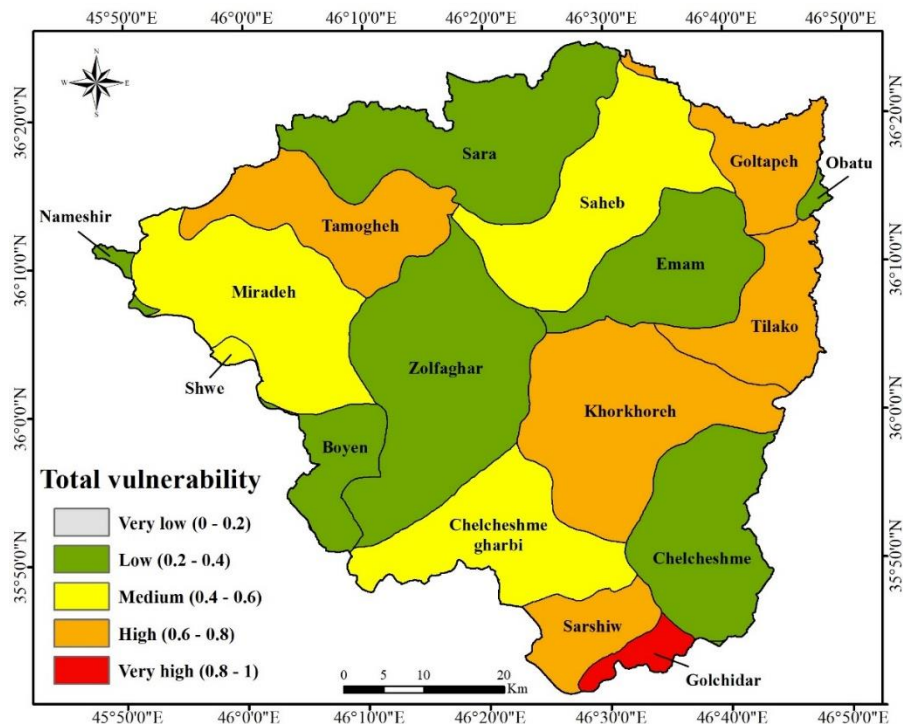


شکل ۶- مقادیر شاخص‌های آسیب‌پذیری نسبت به سیل در دهستان‌های حوزه آبخیز زرینه

Fig. 6. The values of flood vulnerability indicators in the districts of Zarineh Watershed

آسیب‌پذیری دهستان‌ها و مراکز جمعیتی حوزه آبخیز زرینه ارائه می‌دهد. الگوی مکانی آسیب‌پذیری کل دهستان‌های حوزه آبخیز زرینه نسبت به سیل در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، هریک تغییرات مکانی وضعیت آسیب‌پذیری حوزه آبخیز زرینه مشهود بوده و مدیران بایستی در برنامه‌های مدیریت سیل به این موضوع توجه ویژه باشند.

الگوی مکانی آسیب‌پذیری نسبت به سیل: پس از محاسبه شاخص آسیب‌پذیری کل، مقادیر آن با استفاده از روش استانداردسازی به مقیاس صفر تا یک تبدیل شد. مقادیر استانداردسازی شده شاخص آسیب‌پذیری کل به پنج طبقه مختلف خیلی کم ($0-0.2$)، کم ($0.2-0.4$)، متوسط ($0.4-0.6$)، زیاد ($0.6-0.8$) و خیلی زیاد ($0.8-1$) طبقه‌بندی شده که درک بهتری از وضعیت



شکل ۷- الگوی مکانی شاخص آسیب‌پذیری کل در حوزه آبخیز زرینه

Fig. 7. Spatial pattern of the total vulnerability at the Zarineh Watershed

موضوع، بر اهمیت موضوع آسیب‌پذیری در مدیریت سیل تأکید نموده و بیان کردند که در رهیافت مدیریتی با نگرش سیاستی از بالا به پایین، توجه کافی به مسأله آسیب‌پذیری نشده در حالی که در رهیافت مدیریتی مشارکتی تلفیقی مؤلفه‌های آسیب‌پذیری بسیار حائز اهمیت هستند.

برنامه‌های راهبردی توسعه‌مبنا در بخش‌های آموزش، بهداشت و درمان، اشتغال، دسترسی، مخابرات، بیمه و اعتمادسازی میان دستگاه‌های مسئول و ساکنان حوزه آبخیز موجب ارتقاء درجه تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری حوزه آبخیز می‌شود. در این زمینه، Negaresh and Yari, (2013) به اهمیت راهبرد مدیریت ریسک و توجه به مؤلفه‌های آسیب‌پذیری

اولویت‌بندی مکانی برنامه‌های افزایش آگاهی‌های اجتماعی، ساماندهی وضعیت اقتصادی، افزایش اعتماد، تعاون و ارتباط میان دستگاه‌های اجرایی و مردم، بهبود زیرساخت‌های مختلف ارتباطی و حمل‌ونقل جاده‌ای براساس الگوی مکانی به‌دست آمده از پژوهش حاضر امکان‌پذیر است. به عنوان یک نکته مهم در این پژوهش، در زمینه آسیب‌پذیری تاکنون مطالعه‌ای در حوزه آبخیز زرینه انجام نشده و امکان مقایسه مستقیم بین یافته‌های این پژوهش و نتایج آنها فراهم نیست.

به‌هرحال، نتایج به‌دست آمده از این پژوهش به‌عنوان اولین دستاورد کاربردی می‌تواند در مدیریت سیلاب حوزه آبخیز زرینه نقش مهمی ایفا نماید. Hajibigloo and Sheikh, (2018) نیز در راستای این

می‌توانند برنامه‌های مختلف (مانند آگاهی‌بخشی، آموزش، بهداشت و درمان، اشتغال‌زایی، مسکن، استانداردهای ساخت و ساز، توزیع و تراکم جمعیت، دسترسی به وسائل نقلیه، دسترسی به مراکز حمایتی و پشتیبانی) را براساس نقشه الگوی مکانی آسیب‌پذیری حوزه آبخیز زرينه را اولویت‌بندی نمایند. به‌منظور توسعه روش ارائه‌شده و بهبود چارچوب تدوین‌شده در این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که اطلاعات بیشتری برای افزایش متغیرهای مربوط به آسیب‌پذیری جمع‌آوری شده و در قالب یک بانک اطلاعات برای حمایت از پژوهش‌های آتی و همچنین به‌روزرسانی وضعیت آسیب‌پذیری حوزه آبخیز مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود که روند زمانی وضعیت آسیب‌پذیری حوزه آبخیز زرينه در پژوهش‌های آتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر براساس بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی با کد مصوب ۱۰۳۸۲-۰۸-۰۰۸-۲۹-۵۳-۴ و عنوان "پهنه‌بندی ریسک سیل‌گیری در حوزه‌های آبخیز استان کردستان" در پژوهش‌کده حفاظت خاک و آبخیزداری تهیه شده است. بدینوسیله از کلیه افرادی که در بهبود و ارتقای کیفیت مقاله نقش مؤثری ایفا نمودند، قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

تأکید داشته و امکان مدیریت بحران را تنها زمانی منطقی و قابل اجرا دانسته که مدیریت ریسک را قبل از رخداد سیل در سرلوحه برنامه‌های مدیریت سرزمین قرار گیرد. همچنین، پژوهش (Maleki et al., 2023) نشان داد که توجه به آسیب‌پذیری نسبت به سیل موجب ارتقاء پدافند غیرعامل در جامعه و کاهش ریسک سیل خواهد شد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، وضعیت آسیب‌پذیری حوزه آبخیز زرينه براساس مؤلفه‌های اجتماعی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، چارچوب تحلیل آسیب‌پذیری تدوین‌شده در این پژوهش قابلیت تعیین وضعیت آسیب‌پذیری نسبت به سیل را از مؤلفه‌های مختلف را دارد. طراحی و محاسبه شاخص‌های آسیب‌پذیری در مقیاس حوزه آبخیز به‌عنوان یکی از ویژگی‌های کاربردی و ارزشمند چارچوب ارائه شده است. دهستان‌های چهل‌چشمه، گلچیدر و اوباتو از نظر شاخص آسیب‌پذیری کل و براساس جنبه‌های مختلف آسیب‌پذیرترین بوده و دهستان‌های بوین، نمشیر و ذولفقار کمترین مقدار شاخص آسیب‌پذیری کل را داشتند.

ارتقاء پدافند غیرعامل و کاهش ریسک سیل در این حوضه مستلزم توجه به متغیرهای مختلف اجتماعی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی است که در این پژوهش معرفی شدند. مدیران و تصمیم‌گیران دستگاه‌های اجرایی و همچنین سازمان‌های مردم نهاد

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, S., Ghanbari, R., Gholamrezai, S., Rahimian, M., 2023. Vulnerability assessment of rural households to floods (Villages of Afrineh Watershed, Lorestan Province). Iran. J. Agricul. Econom. Develop. Res. 54(2), 439-457 (in Persian).
- Avand, M., Moradi, H., Ramazanzadeh Lasbue, M., 2022. Vulnerability assessment of Tajan Watershed in terms of flood using BWM method. J. Watershed Manage. Res. 13(26), 10-20 (in Persian).
- Azizi, E., Mostafazadeh, R., Hazbavi, Z., Esmali Ouri, A., Mirzaei, S., 2021. Introducing the Flood Vulnerability Index (FVI) as a flood crisis management tool. Disaster Prev. Manag. Know. 11(2), 158-165 (in Persian).
- Balica, S., Wright, N.G., 2010. Reducing the complexity of the flood vulnerability index. Environ. hazards, 9(4), 321-339.
- Bihamta, M.R., Zare-Chahouki, M.A., 2008. Principles of statistics for the natural resources science. University of Tehran Press, 302 pages.

- Borowska-Stefańska, M., Diller, C., Grama, V., Goniewicz, K., Kowalski, M., Kurzyk, P., Sahebgharani, A., Wiśniewski, S., 2022. Effectiveness of the policy for organising self-evacuation by private vehicle transport, as verified in microsimulations. *Int. J. Disast. Risk Re.*, 83, 103431.
- Borowska-Stefańska, M., Kowalski, M., Wiśniewski, S., Dulebenets, M.A., 2023. The impact of self-evacuation from flood hazard areas on the equilibrium of the road transport. *Safety Sci.*, 157, 105934.
- Eftekhari, A.R., Sadeghi, T., 2019. Resilience of local communities against environmental hazards. Tarbiat Modares University Press (in Persian).
- Endendijk, T., Botzen, W.W., de Moel, H., Aerts, J.C., Slager, K., Kok, M., 2023. Flood vulnerability models and household flood damage mitigation measures: An econometric analysis of survey data. *Water Resour. Res.*, 59(8), e2022WR034192.
- 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. *Environ. Dev. Sustain.*, 25(2), 1101-1130.
- Hajibigloo, M., Sheikh, V., 2018. Flood Risk Management Analysis based on Concepts of Hazard, Exposure, and Vulnerability by Providing Frameworks and Models. *J. Water Sustain. Dev.*, 5(1), 73-82 (in Persian).
- Lipatov, V., Mavlyanova, N., Tiefenbacher, J., 2023. Flood hazards, social vulnerability and societal risks in Russia. *Environ. Dev. Sustain.* 26(7), 1-25.
- Maleki, K., Malekhosseini, A., Pakhideh, E., Maleki, Y., 2023. An analysis of the threat network and flood risk ring in land use vulnerability with an approach to passive defense and urban resilience (case study: Ravansar City). *J. Geography Environ. Studies*, 12 (45), 52-67 (in Persian).
- Mazzoleni, M., Mondino, E., Matanó, A., Van Loon, A.F., Barendrecht, M.H., 2024. Modelling the role of multiple risk attitudes in implementing adaptation measures to reduce drought and flood losses. *J. Hydrol.* 636, 131305.
- Meraj, G., Romshoo, S.A., Yousuf, A.R., Altaf, S., Altaf, F., 2015. Assessing the influence of watershed characteristics on the flood vulnerability of Jhelum basin in Kashmir Himalaya. *Nat. Hazards*, 77, 153-175.
- Nakanishi, H., Black, J., Suenaga, Y., 2019. Investigating the flood evacuation behaviour of older people: A case study of a rural town in Japan. *Res. Transporta. Business Manage.* 30, 100376.
- Negaresh, H., Yari, Y., 2013. Analysis of environmental and natural hazards and risk management of lorestan province. *Geogr. Environ. Hazards* 2(5), 107-126 (in Persian).
- Pathak, S., Panta, H.K., Bhandari, T., Paudel, K.P., 2020. Flood vulnerability and its influencing factors. *Nat. Hazards* 104, 2175-2196.
- Rahmati, O., 2024. Zonation of flood risk in watersheds of Kurdistan province. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. Report of The Research Project (in Persian).
- Riahi, V., Toulabi Nejad, M., Toulabi Nejad, M., 2020. Investigating the factors affecting emergency evacuation against the risk of floods in mountainous rural (case study: Poledokhtar township). *Hum. Geogr. Res.* 52(2), 401-418 (in Persian).
- Sajedi Hosseini, F., Sigaroodi, S.K., Salajegheh, A., Moghaddamnia, A., Choubin, B., 2021. Towards a flood vulnerability assessment of watershed using integration of decision-making trial and evaluation laboratory, analytical network process, and fuzzy theories. *Environ. Sci. Pollut. R.* 28, 62487-62498.
- Sharafi, L., Zarafshani, K., 2011. Wheat farmers vulnerability at drought: case study of Islamabad West. 2nd National Symposium on Agriculture and Sustainable Development, Shiraz.
- Van, C.T., Tuan, N.C., Son, N.T., Tri, D.Q., Tran, D.D., 2022. Flood vulnerability assessment and mapping: A case of Ben Hai-Thach Han River basin in Vietnam. *Int. J. Disast. Risk Re.* 75, 102969.