




<https://gep.ui.ac.ir/?lang=en>
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 35, Issue 4, No.96, Winter 2024, pp. 1- 18
Received: 03/08/2024 Accepted: 18/11/2024

Analysis of the Roles of Environmental Factors in the Occurrence of Floods Using the Google Earth Engine System (Case Study: West of Golestan Province)

Saeed Negahban ¹ *, Hamid Ganja'iyani ², Atrin Ebrahimi ³, Sayyed Saeed Gheysarian ⁴

1- Associate professor, Department of Geography, Shiraz University, Shiraz, Iran
snegahban@shirazu.ac.ir

✉

2- Ph.D. in Geomorphology, Department of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
h.ganjaeain@ut.ac.ir

3- Ph.D. in Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
ebrahimiasad955@gmail.com

4- Bachelor of Natural Resources, Rangeland, and Watershed Management, University of Malayer, Malayer, Iran
saadigh1369@gmail.com

Abstract

Flooding is a significant natural hazard that has increasingly threatened numerous Iranian cities, particularly in the western regions of Esan and Golestan in recent years. One notable event was the flood of April 2018, which resulted in substantial loss of life and financial damage across various western cities in Golestan Province. This research focused on monitoring the flooded areas in western Golestan and analyzing the environmental factors contributing to these events. The study utilized several key data sources, including Sentinel 1 and 2 radar images, MODIS, CHIRPS, Landsat 9 satellite imagery, and a 30-m digital elevation model. The primary research tools employed were Google Earth Engine, IDRISI, and ArcGIS. Initially, flood-affected areas were identified using Google Earth Engine followed by an analysis of their relationship with various environmental factors. Finally, flood-prone areas were delineated using the Weighted Linear Combination (WLC) model. The analysis of radar images indicated that in April 2018, significant flooding impacted urban and suburban areas, including Aqh Qhala, Siminshahr, and Gomishtappeh. The study revealed that altitude, slope, and vegetation density were the most influential environmental factors with correlation coefficients of 0.652, 0.619, and 0.543, respectively.

*Corresponding Author

Negahban, S. , Ganjaeian, H. , Ebrahimi, A. and Ghaysarian, S. S. (2024). Analysis of the role of environmental factors in the occurrence of floods using the Google Earth Engine system (case study: West of Golestan province). *Geography and Environmental Planning*, 35 (4), 1 - 18 .



2252-0910 © University of Isfahan

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



10.22108/gep.2024.142342.1659

Additionally, the WLC model identified the northern and western regions of the study area—comprising the urban and suburban areas of Gorgan, Agh Qhala, Siminshahr, Gomishtappeh, Kordkoy, and Bandar Turkaman—as having high flood potential due to their low elevation, gentle slopes, sparse vegetation, and proximity to rivers.

Keywords: Flood, Environmental Factors, Google Earth Engine, West of Golestan Province.

Introduction

A flood is characterized by a sudden rise in river water levels or a rapid and often destructive flow of water. Flood risk affects populations worldwide, primarily because many people reside in areas prone to flooding. This widespread natural phenomenon poses significant challenges for regions vulnerable to floods, particularly as human activities and environmental interventions have intensified. In recent years, the increasing population and human activities have heightened the likelihood of floods, exacerbating the associated risks. According to the International Hazard Database, floods, alongside earthquakes and droughts, account for the highest rates of human and financial losses. Statistics from 2010 indicate that floods represent over 40% of natural disasters globally. Different regions exhibit varying potentials for flood risk based on geomorphological, hydroclimatic, and land cover factors. The northern regions of Iran, especially the eastern areas bordering the Caspian Sea, are particularly susceptible to flooding due to high rainfall and specific geomorphological conditions. This vulnerability has led to significant flood events in recent years, including the notable flood of April 2018. Given the importance of this issue, this research employed remote sensing methods to identify vulnerable areas in the western regions of Golestan Province and analyze the factors influencing flood occurrence. The study focused on parts of western Golestan Province and the eastern Caspian Sea selected for their flood potential. Geomorphologically, this area lies between the Alborz and Caspian Plain units. Its topography is predominantly low-lying with elevations below 50 m above sea level. Despite receiving an average annual rainfall of approximately 800 mm—less than that of the western Caspian coasts—the region's topography has facilitated the occurrence of numerous floods.

Materials & Methods

This research utilized several key datasets, including Sentinel 1 and 2 radar images, MODIS, CHIRPS, Landsat 9 satellite imagery, and a 30-m digital elevation model. The main tools employed in this study were Google Earth Engine (for generating maps of flooded areas and land cover), IDRISI (for running the Weighted Linear Combination (WLC) model), and ArcGIS (for map preparation). The research was conducted in several stages:

1. Identification of Flood-Affected Areas: In the first stage, flood-affected regions were identified using the Google Earth Engine.

2. Analysis of Environmental Factors: The second stage involved analyzing the influence of various environmental factors on flooding, including rainfall, distance from rivers, elevation, slope, vegetation density, and soil type. The selection of these parameters was informed by the specific conditions of the region and previous research. To create a map of regional rainfall, both Google Earth Engine and CHIRPS satellite images were utilized. Additionally, vegetation density maps were developed using Google Earth Engine, MODIS satellite imagery, and the NDVI index. For mapping elevation, slope, and distance from rivers, the SRTM 30-m digital elevation model was employed.

3. Vulnerability Assessment: In the third stage, the results and parameters from the previous stages—including precipitation, distance from rivers, elevation, slope, vegetation density, and soil type—were analyzed to identify areas vulnerable to flooding. Information layers for each parameter were prepared and standardized. These layers were then weighted based on the correlation coefficients obtained in the earlier analysis, which indicated the relationship between each parameter and areas prone to flooding. After applying the calculated weights to each layer, the information layers were imported into IDRISI software, where they were combined using the WLC model to generate the final map of flood-prone areas.

Research Findings

The research findings indicated significant insights into the flood events of April 2018 in Golestan Province, particularly regarding the environmental factors influencing flood risk.

Flood-Affected Areas

The analysis confirmed that substantial flooding occurred in urban and suburban areas, notably Aqh Qhala, Siminshahr, and Gomishtappeh. The data derived from Sentinel 1 and 2 radar images, along with other remote sensing tools, highlighted the extensive reach of the floodwaters.

Environmental Factors

The study evaluated the correlation between the flooded areas and several environmental parameters, yielding the following correlation coefficients: altitude (0.652), slope (0.619), vegetation density (0.543), rainfall (-0.517) (indicating an inverse relationship), and distance from river (0.437). These coefficients illustrated that lower altitudes and gentle slopes significantly contributed to the flooding. Additionally, areas with reduced vegetation density were particularly susceptible.

Soil Type Impact

The findings also identified that Aridisol soils were the most affected during the flood, suggesting a specific vulnerability linked to soil characteristics.

Flood Risk Mapping

Using the Weighted Linear Combination (WLC) model, flood-prone areas were delineated. The northern and western sectors of the study area characterized by low altitude, low slope, minimal vegetation, and proximity to rivers, were classified as having high flood potential.

Implications for Urban Planning

Given the high flood risk in western Golestan Province, the research underscored the necessity of integrating flood risk considerations into environmental planning and urban development strategies. The results advocate for heightened awareness and preparedness among local authorities and communities to mitigate future flood impacts.

Overall, the study provides a comprehensive assessment of the factors contributing to flooding and serves as a critical resource for future flood risk management in the region.


Discussion of Results & Conclusion

The findings indicated that during the floods of April 2018, a significant portion of the region, particularly the urban and suburban areas of Aqh Qhala, Siminshahr, and Gomishtappeh, experienced extensive flooding. After identifying the flooded areas, this research analyzed the relationships between these areas and various environmental factors, including average annual precipitation, distance from rivers, elevation, slope, vegetation density, and soil type. The correlation coefficient between flooded areas and average annual rainfall was found to be -0.517, suggesting an inverse relationship. In contrast, the correlation coefficients for vegetation density and distance from rivers were 0.543 and 0.437, respectively. The analysis revealed that low-slope and low-altitude areas were particularly susceptible to flooding with coefficients of 0.652 and 0.619 for elevation and slope, respectively, indicating a strong correlation. Additionally, flooding was most prevalent in areas with Aridisol soil types.

The western regions of Golestan Province demonstrated a high potential for flooding due to various environmental factors. This vulnerability had posed significant threats to residential areas and agricultural lands in recent years. The April 2018 flood exemplified this risk, affecting numerous cities in the region. The analysis of environmental factors revealed that altitude, slope, and vegetation density were the most influential with coefficients of 0.652, 0.619, and 0.543, respectively. Areas with low elevation, gentle slopes, and sparse vegetation experienced the highest levels of flooding. This research also produced a map indicating flood-prone areas based on the relationship between radar imagery and environmental parameters. The results highlighted

that the northern and western regions of the study area, including urban and suburban areas of Gorgan, Agh Qhala, Siminshahr, Gomishtappeh, Kordkoy, and Bandar Turkaman, were classified as having high flood potential due to their low altitude, gentle slopes, low vegetation density, and proximity to rivers. Given these findings, it is crucial to consider flood risks in environmental planning and urban development strategies. Special attention should be given to the flood-prone areas in the western regions of Golestan Province to mitigate future flooding impacts and enhance community resilience.

تحلیل نقش عوامل محیطی در وقوع سیلاب‌ها با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین (مطالعه موردی: غرب استان گلستان)

سعید نگهبان* ، دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

snegahban@shirazu.ac.ir

حمید گنجائیان، دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

h.ganjaeain@ut.ac.ir

عطرین ابراهیمی، دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

ebrahimiasad955@gmail.com

سیدسعدی قیصریان، کارشناسی منابع طبیعی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

Saadigh1369@gmail.com

چکیده

سیلاب از جمله مخاطره‌های طبیعی است که در طی سال‌های اخیر بسیاری از شهرهای ایران از جمله شهرهای غربی استان گلستان با آن روبه‌رو بوده است. از جمله سیلاب‌هایی که در این منطقه رخ داده سیلاب فروردین ۱۳۹۸ بوده است که بسیاری از شهرهای غربی استان گلستان با خسارت‌های جانی و مالی مواجه شد. با توجه به اهمیت موضوع در پژوهش حاضر به پایش مناطق سیل‌زده غرب استان گلستان و تحلیل نقش عوامل محیطی در وقوع آن پرداخته شده است. در این مطالعه از تصاویر راداری سنتینل ۱ و ۲، تصاویر ماهواره MODIS، CHIRPS و لندست ۹ و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای این مطالعه سامانه گوگل ارث انجین، IDRISI و ArcGIS بوده است. در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین مناطق سیل‌زده شناسایی و در ادامه، ارتباط آن با عوامل محیطی تحلیل و در نهایت، مناطق مستعد وقوع سیلاب با استفاده از مدل WLC شناسایی شده است. نتایج حاصل شده از تصاویر راداری نشان داده است که در فروردین ۱۳۹۸ بخش زیادی از شهرهای منطقه از جمله مناطق شهری و حاشیه شهری آق‌قلا، سیمین‌شهر و گمیش‌تپه با سیلاب مواجه شده است. نتایج تحلیل نقش عوامل محیطی در سیلاب رخ داده نشان داده است که وضعیت ارتفاعی، شیب و تراکم پوشش گیاهی به ترتیب با ضرایب ۰/۶۵۲، ۰/۶۱۹ و ۰/۵۴۳ بیشترین تأثیرگذاری را داشته است. همچنین، نتایج مدل WLC نشان داده است که مناطق شمالی و غربی منطقه مطالعه شده و از جمله مناطق شهری و حاشیه شهری شهرهای گرگان، آق‌قلا، سیمین‌شهر، گمیش‌تپه، کردکوی و بندرترکمن به دلیل ارتفاع و شیب کم، تراکم کم پوشش گیاهی و نزدیکی به رودخانه در طبقه پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیادی قرار دارند. واژه‌های کلیدی: سیلاب، عوامل محیطی، گوگل ارث انجین، غرب استان گلستان

*نویسنده مسئول

نگهبان، سعید، گنجائیان، حمید، ابراهیمی، عطرین و قیصریان، سید سعید (۱۴۰۳). تحلیل نقش عوامل محیطی در وقوع سیلاب‌ها با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین (مطالعه موردی: غرب استان گلستان). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۵ (۴)، ۱۸-۱.



مقدمه

امروزه مخاطره‌های طبیعی و به‌خصوص سیلاب به‌عنوان یک چالش مهم بسیاری از مناطق را دربرگرفته است (Mugagga et al., 2012, P. 40). سیلاب عبارت است از بالا آمدن ناگهانی آب رودخانه‌ها و یا جریان آبی تند و بیشتر ویرانگر که به‌طور ناگهانی اتفاق می‌افتد (Rinat et al., 2018, P. 847). مخاطره سیلاب در بیشتر مناطق جهان روی انسان تأثیر می‌گذارد؛ زیرا اغلب انسان‌ها در مناطق مستعد وقوع سیل ساکن شده‌اند. درواقع، طغیان آب سیلاب یک پدیده طبیعی گسترده، فراگیر و مشکلی برای نواحی سکونتگاهی مستعد وقوع سیلاب است (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۳، ص. ۹۵). در طی سال‌های اخیر با توجه به روند افزایشی جمعیت، افزایش فعالیت‌های انسانی و دخالت‌های نابخردانه انسان در طبیعت احتمال وقوع سیلاب افزایش یافته و خطرهای ناشی از آن تشدید شده است (Pascacio et al., 2018, P. 181; Kim & Gim, 2020, P. 102). به‌طوری که براساس گزارش پایگاه داده بین‌المللی مخاطره‌ها و سیلاب‌ها در کنار زلزله و خشکسالی بیشترین خسارت‌های جانی و مالی را داشته است (Zekouda et al., 2020, P. 409). همچنین، براساس آمار منتشرشده در سال 2010 بیش از ۴۰ درصد از بلایای طبیعی در جهان مختص سیلاب‌هاست (Feng & Lu, 2010, P. 2975).

مناطق مختلف با توجه به وضعیت ژئومورفولوژی، هیدرواقلمی، پوشش زمین و غیره پتانسیل‌های متفاوتی از نظر وقوع مخاطره سیلاب دارد (گنجائیان، ۱۳۹۹، ص. ۱۷). از جمله مناطقی که پتانسیل فراوانی در برابر مخاطره سیلاب دارد، مناطق شمالی کشور است. درواقع، بسیاری از مناطق شمالی کشور از جمله مناطق شرقی دریای خزر تحت‌تأثیر بارش زیاد و وضعیت ژئومورفولوژی در معرض مخاطره سیلاب قرار دارد و همین مسئله سبب شده است تا در طی سال‌های اخیر از جمله در فروردین سال ۱۳۹۸ وقوع مخاطره سیلاب در این منطقه مشاهده شود. با توجه به اهمیت موضوع در پژوهش حاضر با استفاده از روش‌های سنجش از دوری مناطق آسیب‌پذیر مناطق غربی استان گلستان در برابر مخاطره سیلاب شناسایی و عوامل مؤثر در وقوع آن تحلیل شده است.

پیشینه پژوهش

درباره شناسایی مناطق سیل‌زده با استفاده از روش‌های سنجش از دوری پژوهش‌های مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است. در ادامه، به هریک از آنها اشاره خواهد شد.

براه و همکاران پژوهشی با عنوان «نقشه‌برداری و پایش سیلاب در پارک ملی کازیرانگا، آسام با استفاده از داده‌های Sentinel-1 SAR» انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داده است که این منطقه با دو موج سیلاب در طی ماه‌های ژوئیه و آگوست همراه بوده است (Borah et al., 2018).

انگیا و همکاران پژوهشی با عنوان «استفاده از موتور Google Earth برای نقشه‌برداری و نظارت بر سیل در استان‌های پایین‌دست رودخانه مکونگ» انجام دادند. نتایج این تحقیق بیانگر تغییرات الگوی سیلاب در مناطق پایین‌دست حوضه است (Nghia et al., 2022).

سوندارام و همکاران در پژوهشی با عنوان «نقشه‌برداری و ارزیابی وسعت فضایی سیل از تصاویر رادار روزنه مصنوعی چندزمانی: مطالعه موردی بر روی حوضه آبخیز آدیار هند» مناطق سیل‌زده در حوضه آبریز آدیار هند را با استفاده از تصاویر راداری شناسایی کردند. نتایج این تحقیق بیانگر کاربردی بودن تصاویر سنتینل ۱ در پایش مخاطره سیلاب است (Sundaram et al., 2023).

وکاربا و همکاران در پژوهشی با عنوان «یک رویکرد تشخیص تغییر برای نقشه‌برداری سیلاب با استفاده از تصاویر چندزمانی Sentinel-1 SAR، رودخانه برهماپوترا، آسام» مناطق در معرض سیلاب را در حوضه آبریز برهماپوترا در هند با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ شناسایی کردند. نتایج این تحقیق نشان داده است که بیشترین پهنه سیل‌زدگی مربوط به ماه ژوئیه سال 2020 بوده است (Vekaria et al., 2023).

سای و همکاران پژوهشی با عنوان «ارزیابی خطر سیل شهری با استفاده از Sentinel-1 در موتور Google Earth: مطالعه موردی در شهر تایلندی نگوین، ویتنام» انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داده است که ۳۳ مؤسسه آموزشی، ۴ مرکز درمانی، ۱۱۶ هکتار جاده ترافیکی، ۱۴۰۶ هکتار زمین کشاورزی و ۷۶۳ هکتار زمین مسکونی در معرض خطر سیل قرار دارد (Sy et al., 2023).

هالدر و بوس در پژوهشی با عنوان «نقشه‌برداری پایدار خطر سیل با GLOF» با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین مناطق سیل‌زده را در حوضه رودخانه تستا در هند شناسایی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر تأثیر مستقیم نوع پوشش زمین بر وضعیت مناطق سیل‌زده است (Halder & Bose, 2024).

رستمی فتح‌آبادی و همکاران (۱۳۹۹) پژوهشی با عنوان «تحلیل فضایی مناطق سیل‌زده و سیل‌خیز شهر نورآباد لرستان و مخاطرات آن» انجام دادند. نتایج این پژوهش بیانگر انطباق نتایج حاصل‌شده از تصاویر راداری و مدل HEC-RAS است.

سلیمانی ساردو و همکاران (۱۴۰۰) پژوهشی با عنوان «استفاده از تصاویر سنتینل-۱ جهت پایش خسارت سیلاب فروردین ۱۳۹۹، جنوب استان کرمان براساس الگوریتم جنگل تصادفی» انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داده است که اراضی بایر، مسکونی و مرتع به ترتیب با میزان ۲۷/۹، ۱۶ و ۱۲ درصد بیشترین درصد آب‌گرفتگی را دارد.

دودانگه و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی با عنوان «شناسایی مناطق سیل‌زده با محاسبات آماری سری زمانی برپایه تلفیق داده‌های راداری و اپتیکی» مناطق سیل‌زده استان‌های گلستان و خوزستان را با محاسبات آماری سری زمانی برپایه تلفیق داده‌های راداری و اپتیکی شناسایی کردند. نتایج پژوهش بیانگر کاربردی بودن روش‌های استفاده‌شده در این تحقیق برای پایش مناطق سیل‌زده است.

امینی و همکاران (۱۴۰۱) پژوهشی با عنوان «شناسایی پهنه‌های آبی ناشی از سیل استان گلستان با استفاده از قطبش‌های VV, VH و VV+VH تصاویر سنتینل ۱ و لندست ۸» انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داده است که بارش‌های ممتد و بی‌سابقه روزهای پایانی سال ۱۳۹۷، سرریز شدن سد وشمگیر و رُسی‌بودن خاک منطقه از مهم‌ترین عوامل سیلابی شدن این منطقه بوده است.

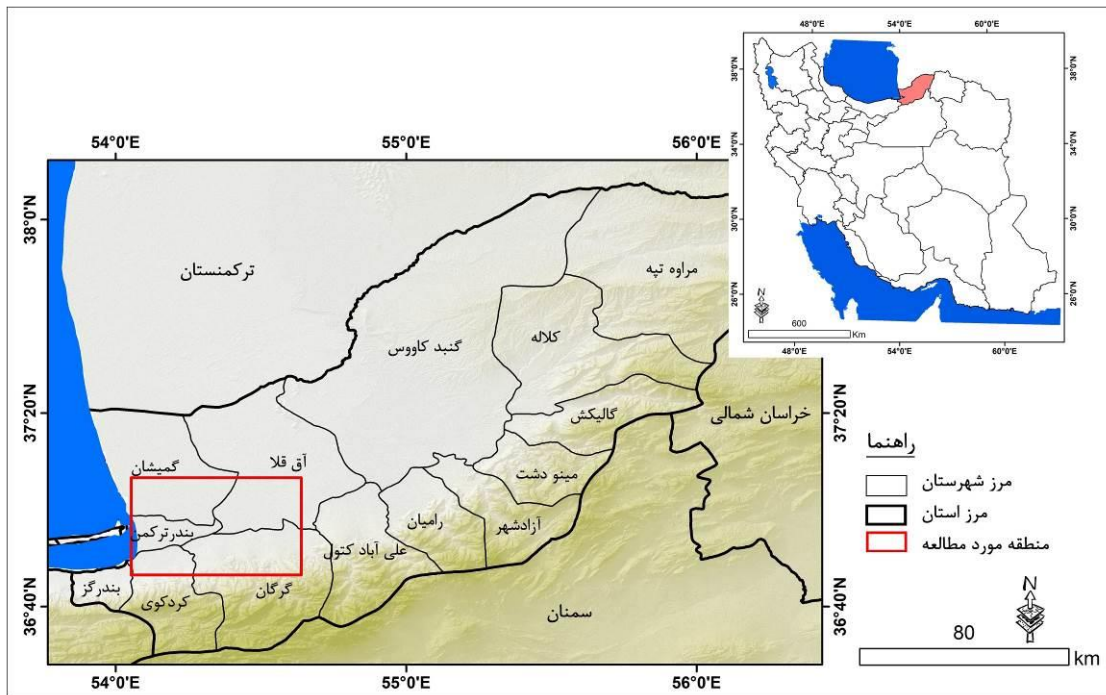
باقری و همکاران (۱۴۰۱) پژوهشی با عنوان «توسعه روش‌شناسی برآورد سیلاب مبتنی بر سنجش از دور در محیط گوگل ارث انجین» انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داده است که استفاده از ماهواره‌ای راداری با ارائه ایده استفاده از ترکیب رنگی حاصل از تصاویر بعد و قبل سیلاب می‌تواند به‌تنهایی نقش مؤثری در شناسایی پهنه سیلابی و برآورد خسارت‌های حاصل از سیلاب داشته باشد.

اسکندری دامنه و همکاران (۱۴۰۲) پژوهشی با عنوان «پایش تغییرات مکانی و زمانی سیلاب و پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص‌های مستخرج از ماهواره لندست: مطالعه موردی: جنوب غرب ایران» انجام دادند. نتایج این مطالعه بیانگر کاربردی بودن شاخص‌های سنجش از دوری حاصل از تصاویر ماهواره لندست برای پایش مخاطره سیلاب است.

بررسی پژوهش‌های پیشین صورت گرفته نشان داده است که در این پژوهش‌ها بر کاربردی بودن روش‌های سنجش از دوری در مطالعات مربوط به مخاطره سیلاب تأکید شده است. در راستای پژوهش‌های پیشین صورت گرفته هدف از پژوهش حاضر شناسایی مناطق سیل‌زده غرب استان گلستان در طی سیلاب‌های فروردین سال ۱۳۹۸ و تحلیل نقش عوامل محیطی در وقوع آن است.

منطقه مطالعه شده

محدوده مطالعاتی این پژوهش شامل بخش‌هایی از مناطق غربی استان گلستان و شرق دریای خزر است. انتخاب محدوده برمبنای پتانسیل سیل‌خیزی آن بوده است. این منطقه از نظر تقسیمات سیاسی در محدوده شهرستان‌های گرگان، کردکوی، بندرترکمن، گمیش تپه و آق‌قلا قرار دارد (شکل ۱). همچنین، از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی در بین واحدهای البرز و جلگه خزر قرار دارد. از نظر توپوگرافی بخش زیادی از منطقه را مناطق کم‌شیب و با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از سطح دریا دربرگرفته است. این منطقه از نظر اقلیمی نیز با میانگین بارش سالانه حدود ۸۰۰ میلی‌متر بارش کمتری نسبت به سواحل غربی دریای خزر دارد؛ ولی وضعیت توپوگرافی آن زمینه را برای وقوع سیلاب‌های متعدد در این منطقه فراهم آورده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعه شده (منبع: نگارندگان)

Fig. 1: Geographical position of the studied area

روش‌شناسی پژوهش

در پژوهش حاضر از تصاویر راداری سنتینل ۱ و ۲ (با فرمت GRD)، تصاویر ماهواره MODIS، CHIRPS و لندست ۹ و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر به عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای تحقیق سامانه گوگل ارث انجین (برای تهیه نقشه مناطق سیل‌زده و نقشه پوشش زمین)، IDRISI (اجرای مدل WLC) و ArcGIS (برای تهیه نقشه‌های مدنظر) بوده است. همچنین، در این پژوهش از مدل ترکیب خطی وزنی (WLC) برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره سیلاب استفاده شده است. با توجه به موضوع و هدف‌های مدنظر این پژوهش در چند مرحله انجام شده است که در ادامه، تشریح شده است.

مرحله اول (شناسایی مناطق سیل‌زده): در این پژوهش برای شناسایی مناطق سیل‌زده از سامانه گوگل ارث انجین استفاده و نقشه مناطق سیل‌زده با استفاده از تصاویر راداری (سنتینل ۱) قبل از وقوع سیلاب (تصاویر موجود از تاریخ 2019/02/01 تا 2019/03/01) و تصاویر بعد از وقوع سیلاب (تصاویر موجود از تاریخ 2019/03/01 تا 2019/04/01) تهیه شده است. پس از تهیه نقشه مدنظر از نقشه تهیه شده خروجی گرفته و در نهایت، نقشه نهایی مدنظر در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده است.

مرحله دوم (تحلیل عوامل مؤثر در وقوع سیلاب): در این مرحله پس از شناسایی مناطق سیل‌زده نقش وضعیت بارش، فاصله از رودخانه، ارتفاع، شیب، تراکم پوشش گیاهی و نوع خاک در سیلاب رخ داده تحلیل شده است (انتخاب پارامترها بر مبنای وضعیت منطقه و تحقیقات پیشین بوده است). در این مرحله برای تهیه نقشه وضعیت

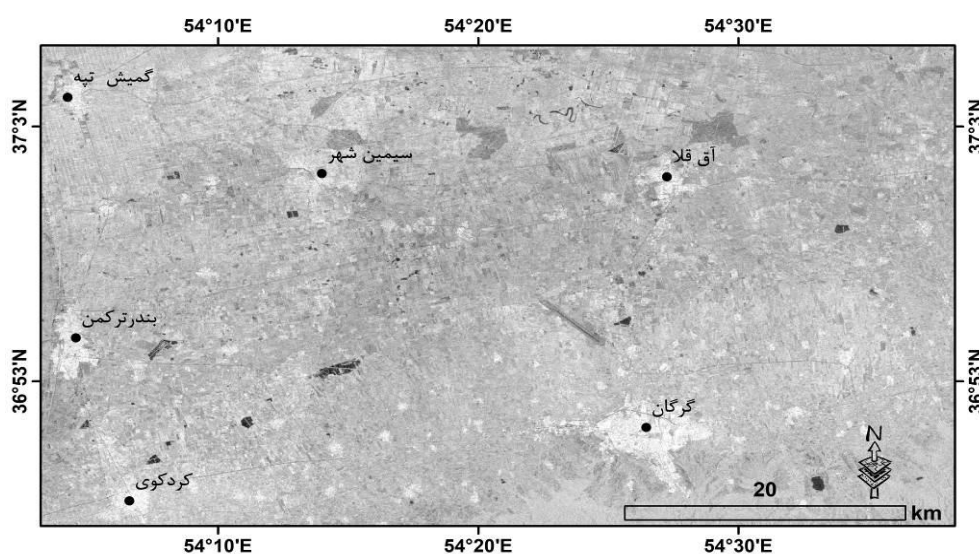
بارش منطقه از سامانه گوگل ارث انجین و تصاویر ماهواره CHIRPS، برای تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه از سامانه گوگل ارث انجین، تصاویر ماهواره MODIS و شاخص NDVI و برای تهیه نقشه ارتفاع، شیب و فاصله از رودخانه‌های منطقه از مدل قومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM استفاده شده است. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر پارامتر میزان همبستگی آنها با پارامتر مناطق سیل‌زده محاسبه و تحلیل شده است.

مرحله سوم (شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره سیلاب): در این مرحله برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب از نتایج و پارامترهای مراحل قبل شامل بارش، فاصله از رودخانه، ارتفاع، شیب، تراکم پوشش گیاهی و نوع خاک استفاده شده است. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر پارامتر و استانداردسازی آنها بر مبنای ضریب همبستگی به دست آمده در مرحله قبل (ضریب همبستگی هر پارامتر با پارامتر مناطق سیل‌زده) به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شده است. پس از وزن‌دهی و اعمال وزن به دست آمده روی هر لایه، لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار IDRISI و در نهایت، با استفاده مدل WLC با هم ترکیب و نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره سیلاب تهیه شده است.

یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

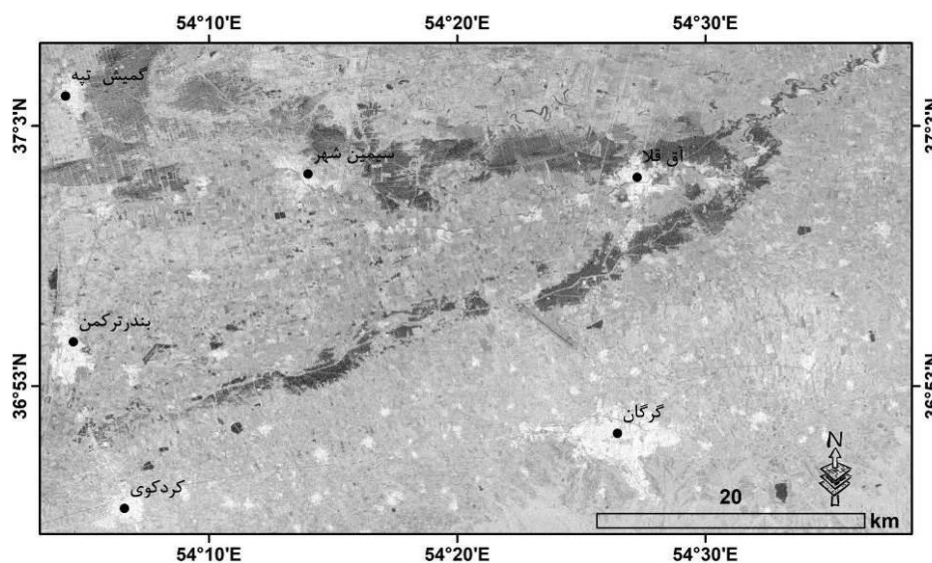
شناسایی مناطق سیل‌زده

در پژوهش حاضر برای شناسایی مناطق سیل‌زده در منطقه مطالعه شده از سامانه گوگل ارث انجین استفاده شده است. برای انجام دادن این کار از تصاویر راداری سنتینل ۱ مربوط به قبل و بعد از وقوع سیلاب استفاده شده که به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. بر اساس تصاویر مذکور پهنه‌های آبی (مناطق تیره) در دوره قبل از وقوع سیلاب وسعت کمی دارند و در واقع، در حد نرمال هستند؛ ولی بعد از وقوع سیلاب بخش زیادی از محدوده را مناطق تیره (به دلیل وجود پهنه آبی، بازتابش کمی داشته‌اند و به صورت تیره مشخص هستند) دربر گرفته است.



شکل ۲: تصاویر راداری منطقه مطالعه شده (قبل از وقوع سیلاب) (منبع: نگارندگان)

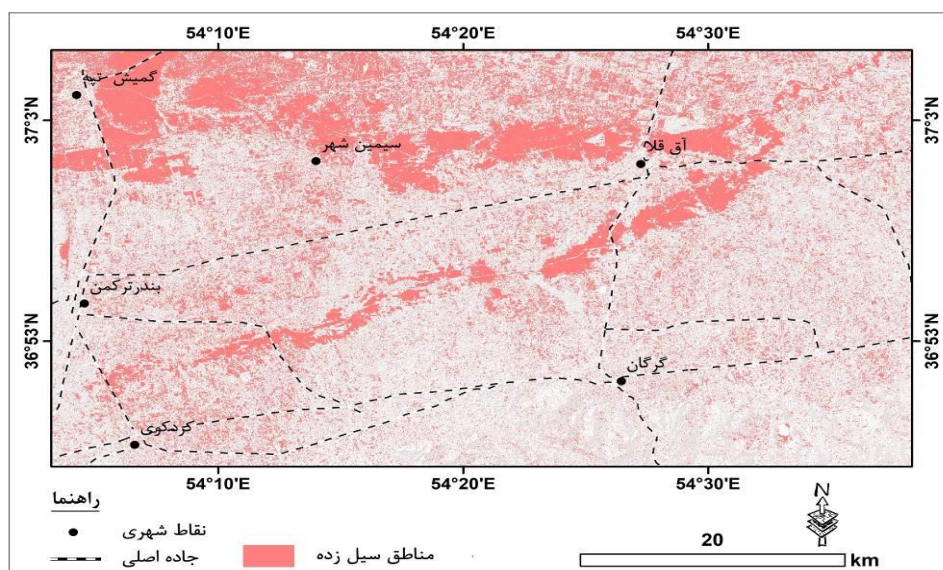
Fig 2: Radar images of the studied area (before the flood)



شکل ۳: تصاویر راداری منطقه مطالعه شده (بعد از وقوع سیلاب) (منبع: نگارندگان)

Fig 3: Radar images of the studied area (after the flood)

نقشه مناطق سیل زده غرب استان گلستان در فروردین ماه سال ۱۳۹۸ پس از تهیه تصاویر مدنظر و اعمال فیلترها و مشخص کردن حد آستانه در سامانه گوگل ارث انجین تهیه شده است (شکل ۴). براساس نقشه تهیه شده در جریان سیلاب‌های فروردین سال ۱۳۹۸ بخش زیادی از منطقه از جمله مناطق شهری و حاشیه شهری آق قلا، سیمین شهر و کمیش تپه با سیلاب مواجه شده است. در واقع، اختلاف پهنه آبی تصاویر قبل و بعد از وقوع سیلاب بیانگر مناطق سیل زده است که با توجه به حجم زیاد بارش‌های رخ داده و وضعیت هیدروژئومورفولوژی منطقه بخش زیادی از محدوده با مخاطره سیلاب مواجه شده است.



شکل ۴: نقشه مناطق سیل زده در منطقه مطالعه شده (منبع: نگارندگان)

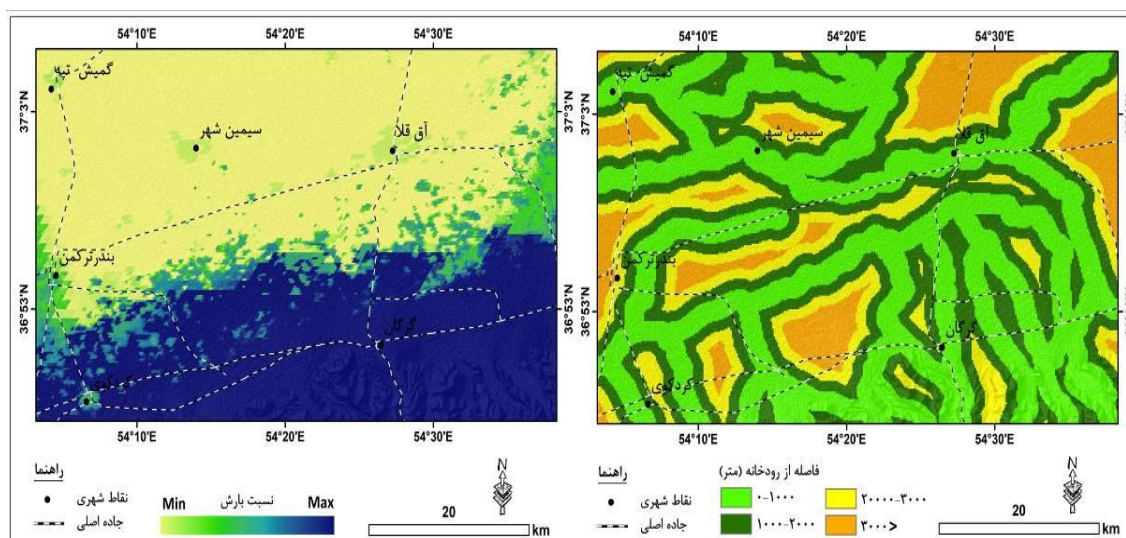
Fig 4: Map of flooded areas in the study area

تحلیل عوامل مؤثر در وقوع سیلاب

پس از شناسایی مناطق سیل‌زده غرب استان گلستان در طی سیلاب‌های فروردین سال ۱۳۹۸ در این بخش ارتباط بین سیلاب رخ داده و پارامترهای محیطی تحلیل شده است. برای این منظور از ۶ پارامتر میانگین بارش سالانه، فاصله از رودخانه، ارتفاع، شیب، تراکم پوشش گیاهی و نوع خاک استفاده شده است که در ادامه تشریح خواهد شد.

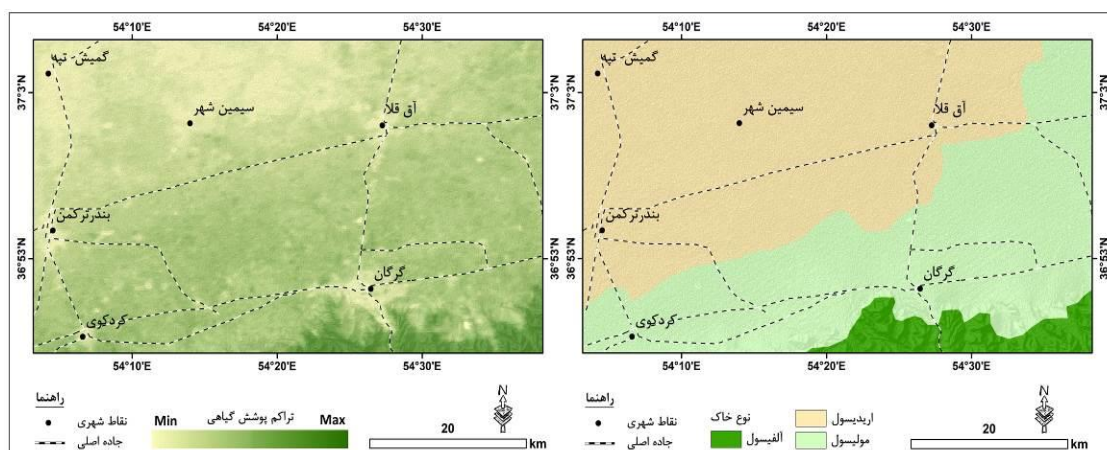
تحلیل ارتباط بین مناطق سیل‌زده با میانگین بارش و فاصله از رودخانه‌های منطقه

بارش از جمله پارامترهای مؤثر در وقوع سیلاب است. در این بخش برای بررسی وضعیت بارش منطقه با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین و تصاویر ماهواره‌ای CHIRPS نقشه میانگین بارش سالانه منطقه تهیه شده است (شکل ۵). براساس نقشه تهیه شده در یک روند کلی میانگین بارش سالانه از سمت شمال به جنوب منطقه روند افزایشی دارد. با توجه به اینکه بیشترین میزان بارش مربوط به مناطق کوهستانی و بیشترین میزان سیل‌زدگی مربوط به واحد جلگه بوده است، ضریب همبستگی بین لایه مناطق سیل‌زده و لایه میانگین بارش سالانه منطقه ۰/۵۱۷- به دست آمده است. بر این اساس، بین میانگین بارش سالانه و وضعیت سیل‌خیزی منطقه ارتباط معناداری وجود نداشته است. علاوه بر بارش، فاصله از رودخانه نیز به عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در نظر گرفته شده است. به‌طور معمول، مناطق نزدیک به رودخانه پتانسیل سیل‌خیزی زیادی دارد. در این بخش نیز برای تأثیرگذاری فاصله از رودخانه با سیلاب‌های رخ داده ضریب همبستگی بین لایه مناطق سیل‌زده و فاصله از رودخانه محاسبه شده است. با توجه به اینکه ضریب به دست آمده ۰/۴۳۷ بوده است، می‌توان گفت که ارتباط معناداری (نقش فزاینده) بین لایه فاصله از رودخانه و لایه مناطق سیل‌زده وجود داشته است.



شکل ۵: نقشه میانگین بارش سالانه و فاصله از رودخانه‌های منطقه (منبع: نگارندگان)

Fig 5: Map of average annual precipitation and distance from rivers in the region

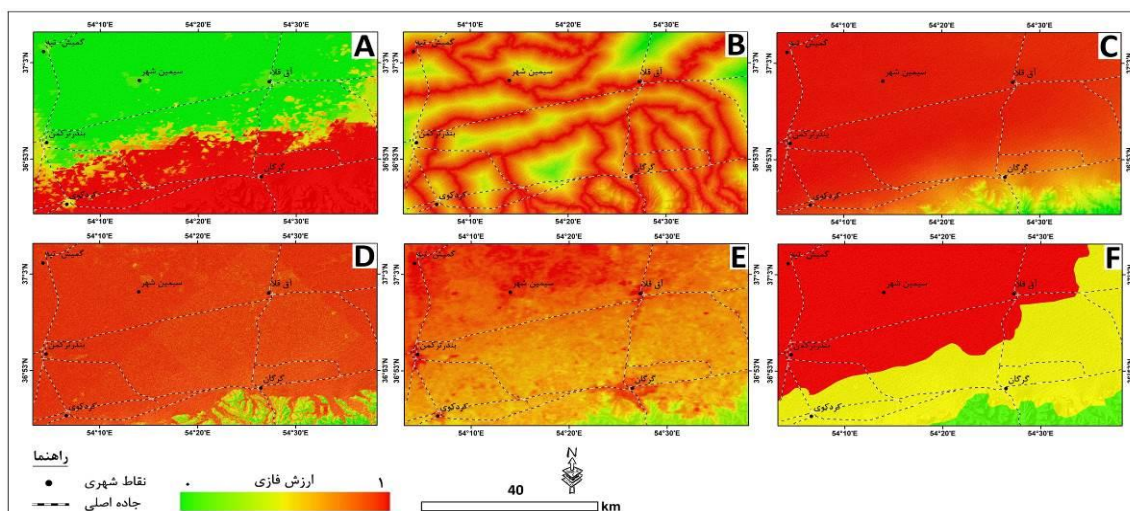


شکل ۷: نقشه وضعیت تراکم پوشش گیاهی و نوع خاک‌های منطقه (منبع: نگارندگان)

Fig 7: Map of vegetation density and soil types in the region

شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره سیلاب

در این مطالعه برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره سیلاب در محدوده مطالعاتی از پارامترهای مرحله قبل شامل میانگین بارش سالانه، فاصله از رودخانه، ارتفاع، شیب، تراکم پوشش گیاهی و نوع خاک استفاده شده است. در این مرحله ابتدا لایه‌های اطلاعاتی بر مبنای پتانسیل سیل‌خیزی استانداردسازی شده است که برای این منظور به مناطق با میانگین بارش بیشتر، مناطق نزدیک رودخانه، مناطق با ارتفاع و شیب کمتر، مناطق با پوشش گیاهی کم‌تراکم‌تر و واحد خاک‌های آریدیسول ارزش نزدیک به ۱ داده شده است. همچنین، به مناطق با میانگین بارش کمتر، مناطق دور از رودخانه، مناطق با ارتفاع و شیب بیشتر، مناطق با پوشش گیاهی متراکم‌تر و واحد خاک‌های آلفیسول ارزش نزدیک به صفر داده شده است (شکل ۸).



شکل ۸: نقشه استانداردسازی شده لایه‌های اطلاعاتی (A) میانگین بارش سالانه (B) فاصله از رودخانه (C) ارتفاع (D) شیب (E) تراکم پوشش گیاهی (F) نوع خاک (منبع: نگارندگان)

Fig 8: Standardized set of information layers A) Average annual precipitation B) Distance from the river C) Altitude D) Slope E) Vegetation density F) Soil type

پس از استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی برای ارزش‌گذاری به این لایه‌ها از نتایج مراحل قبل استفاده و بر مبنای میزان همبستگی بین این لایه‌ها با لایه مناطق سیل‌زده به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شده است (جدول ۱). با توجه به اینکه بیشترین ضریب همبستگی بین لایه‌های اطلاعاتی با لایه مناطق سیل‌زده مربوط به لایه ارتفاعی منطقه بوده است، می‌توان گفت که لایه ارتفاع بیشترین وزن را داشته است.

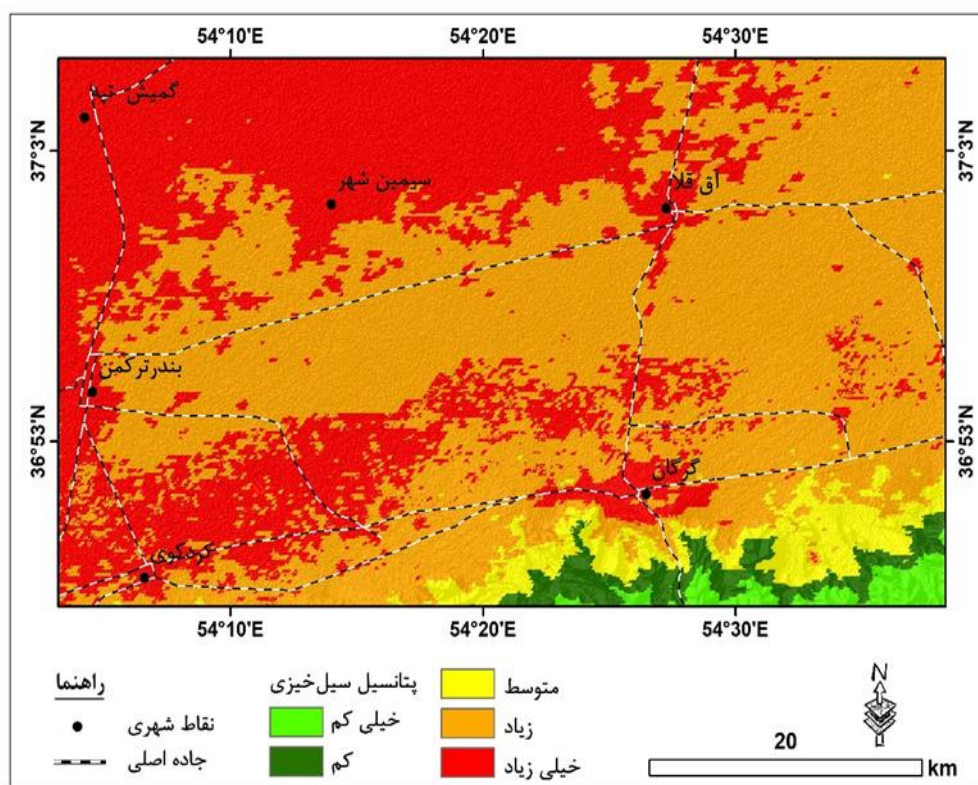
جدول ۱: وزن لایه‌های اطلاعاتی

Table 1: Weight of information layers

ردیف	لایه اطلاعاتی	وزن
۱	میانگین بارش سالانه	۰/۱۶۶
۲	فاصله از رودخانه	۰/۴۳۷
۳	ارتفاع	۰/۶۵۲
۴	شیب	۰/۶۱۹
۵	تراکم پوشش گیاهی	۰/۵۴۳
۶	نوع خاک	اردیسول: ۰/۶۶۶ مولیسول: ۰/۳۳۳ آلفیسول: ۰/۱۶۶

منبع: نگارندگان

پس از استانداردسازی و وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار IDRISI و در نهایت، با استفاده از مدل WLC با یکدیگر ترکیب و نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره سیلاب تهیه شده است (شکل ۹). بر اساس نقشه تهیه‌شده بخش زیادی از منطقه پتانسیل سیل‌خیزی زیادی دارد. در واقع، این مناطق که بیشتر شامل مناطق شمالی و غربی منطقه مطالعه‌شده است به دلیل ارتفاع و شیب کم، تراکم کم پوشش گیاهی و نزدیکی به رودخانه مستعد وقوع سیلاب است. نکته مهم این است که شهرهای مهم منطقه شامل گرگان، آق‌قلا، سیمین‌شهر، گمیش‌تپه، کردکوی و بندر ترکمن در طبقه پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیادی قرار دارد؛ بنابراین می‌توان گفت که سیلاب یکی از مخاطره‌های تهدیدکننده شهرهای غربی استان گلستان است.



شکل ۹: نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره سیلاب (منبع: نگارندگان)

Fig 9: The final map of vulnerable areas against flood risk

نتیجه‌گیری

بخش‌های غربی استان گلستان تحت‌تأثیر عوامل محیطی پتانسیل سیل‌خیزی زیادی دارد و همین مسئله سبب شده است تا در طی سال‌های اخیر بسیاری از نواحی سکونتگاهی و اراضی کشاورزی این منطقه با این مخاطره روبه‌رو شوند. از جمله سیلاب‌های رخ داده در منطقه سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۸ بوده است که براساس نتایج به‌دست‌آمده بخش زیادی از شهرهای منطقه از جمله مناطق شهری و حاشیه شهری آق‌قلا، سیمین‌شهر و گمیش‌تپه با سیلاب مواجه شده است. نتایج تحلیل نقش عوامل محیطی در سیلاب‌های رخ داده در فروردین ماه ۱۳۹۸ نشان داده است که در بین عوامل محیطی، وضعیت ارتفاعی، شیب و تراکم پوشش گیاهی به‌ترتیب با ضرایب ۰/۶۱۹، ۰/۵۴۳ و بیشترین تأثیرگذاری را داشته است؛ به‌طوری‌که مناطق کم‌ارتفاع، کم‌شیب و مناطق با تراکم کم پوشش گیاهی با بیشترین میزان سیل‌زدگی مواجه شده است. همچنین، در این پژوهش بر مبنای نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر راداری و ارتباط آن با پارامترهای محیطی نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب در منطقه مطالعه‌شده تهیه شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده مناطق شمالی و غربی منطقه مطالعه‌شده و از جمله مناطق شهری و حاشیه شهری شهرهای گرگان، آق‌قلا، سیمین‌شهر، گمیش‌تپه، کردکوی و بندرترکمن به دلیل ارتفاع و شیب کم، تراکم کم پوشش گیاهی و نزدیکی به رودخانه در طبقه پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیادی قرار دارند. مجموع نتایج این مطالعه نشان داده است که بسیاری از نواحی

سکونتگاهی مناطق غربی استان گلستان تحت تأثیر عوامل محیطی در معرض مخاطره سیلاب قرار دارد. بر این اساس، لازم است تا در برنامه‌ریزی‌های محیطی و از جمله توسعه شهری به وضعیت سیل‌خیزی منطقه توجه ویژه‌ای شود. همچنین، با توجه به اینکه مخاطره سیلاب از جمله مخاطره‌های پیش روی منطقه است برای بررسی این مخاطره به آمار و اطلاعات دقیق و به‌روز مربوط به منابع آبی از جمله رودخانه‌ها نیاز است؛ بنابراین ضروری است تا مسئولان مربوط ضمن ثبت اطلاعات دقیق زمانی و مکانی از وضعیت هیدرولوژی منطقه همکاری‌های لازم را نیز با پژوهشگران داشته باشند.

منابع

- اسکندری دامنه، هادی، برخوردار، سعید، اژدری، زهرا، ناوکی، عبدالوحید، اسکندری دامنه، حامد، و خسروی حسن (۱۴۰۲). پایش تغییرات مکانی و زمانی سیلاب و پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص‌های مستخرج از ماهواره لندست (مطالعه موردی: جنوب غرب ایران). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۳(۳)، ۴۹-۶۲.
<https://doi.org/10.22034/iwm.2023.2007585.1094>
- امینی، لیلا، ارگانی، میثم، و عبدالمهی کاکرودی، عطا (۱۴۰۱). شناسایی پهنه‌های آبی ناشی از سیل استان گلستان با استفاده از قطبش‌های VH، VV، و VV+VH تصاویر سنتینل ۱ و لندست ۸. جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۱(۴۳)، ۹۴-۱۰۷.
https://journals.iau.ir/article_690808.html
- باقری، محمدحسین، فرزانه، محمدرضا، و رایگانی، بهزاد (۱۴۰۱). توسعه روش‌شناسی برآورد سیلاب مبتنی بر سنجش از دور در محیط گوگل ارث انجین. محیط زیست و توسعه فرابخشی، ۷(۷۶)، ۱۲-۲۶.
<https://doi.org/10.22034/envj.2022.154826>
- ثروتی، محمدرضا، آزاد، فریبا، و منصور، رضا (۱۳۹۳). مخاطرات محیطی. سپهر، ۲۳(۹۰)، ۹۴-۱۰۵.
https://www.sepehr.org/article_13035.html
- دودانگه، پریسا، عبادی، حمید، و کیانی، عباس (۱۴۰۰). شناسایی مناطق سیل‌زده با محاسبات آماری سری زمانی برپایه تلفیق داده‌های راداری و اپتیکی. اکوهیدرولوژی، ۸(۳)، ۶۲۳-۶۳۹.
<https://doi.org/10.22059/ije.2021.322145.1495>
- رستمی فتح‌آبادی، محمد، جعفریگلو، منصور، و مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۹). تحلیل فضایی مناطق سیل‌زده و سیل‌خیز شهر نورآباد لرستان و مخاطرات آن. مدیریت مخاطرات محیطی، ۷(۳)، ۳۱۳-۳۲۹.
<https://doi.org/10.22059/jhsci.2020.310534.609>
- سلیمانی ساردو، فرشاد، رفیعی ساردوئی، الهام، مصباح‌زاده، طیبه، و آذر، علی (۱۴۰۰). استفاده از تصاویر سنتینل-۱ جهت پایش خسارت سیلاب فروردین ۱۳۹۹، جنوب استان کرمان براساس الگوریتم جنگل تصادفی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۵(۵۳)، ۲۳-۳۲.
<http://jwmsei.ir/article-1-976-fa.html>
- گنجائیان، حمید (۱۳۹۹). مخاطرات ژئومورفولوژیک مناطق شهری: روش‌های مطالعه و راهکارهای کنترل آن. نشر انتخاب.

References

- Amini, L., Organi, M., & Abdulahi Kakrodi, A. (2022). Identification of water areas caused by floods in Golestan province using VV, VH and VV+VH polarizations of Centile 1 and Landsat 8 images. *Geography and Environmental Studies*, 11(43), 94-107. https://journals.iau.ir/article_690808.html [In Persian].
- Bagheri, M. H., Farzaneh, M., & Rayegani, B. (2022). Development of flood estimation methodology based on remote sensing in Google Earth Engine environment. *Environment and Transsectoral Development*, 7(76), 12-26. <https://doi.org/10.22034/envj.2022.154826> [In Persian].
- Borah, S.B., Sivasankar, T., Ramya, M.N.S., & Raju, P.L.N. (2018). Flood inundation mapping and monitoring in Kaziranga National Park Assam using Sentinel-1 SAR data. *Environ, Monit. Assess*, 190(9). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6893-y>
- Dodangeh, P., Ebadi, H., & Kayani, A. (2019). Identification of flooded areas with time series statistical calculations based on combining radar and optical data. *Ecohydrology*, 8(3), 639-623. <https://doi.org/10.22059/ije.2021.322145.1495> [In Persian].
- Eskandari Dameneh, H., Barkhouri, S., Azhdari, Z., Naoki, A., Eskandari-Damaneh, H., & Khosravi, H. (2023). Monitoring spatial and temporal changes of floods and water bodies using indicators extracted from Landsat satellite (Case study: Southwest Iran). *Comprehensive Watershed Management*, 3(3), 49-62. <https://doi.org/10.22034/iwm.2023.2007585.1094> [In Persian].
- Feng, L.H., & Lu, J. (2010). The practical research on flood forecasting based on artificial neural networks. *Expert Syst Appl*, 37(4), 2974–2977. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.09.037>
- Ganjaian, H. (2019). *Geomorphological hazards of urban areas, study methods and its control strategies*. Entekhab publication. [In Persian].
- Halder, S., & Bose, S. (2024). Sustainable flood hazard mapping with GLOF: A Google Earth Engine approach. *Natural Hazards Research*. 4(4), 573-578. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2024.01.002>
- Kim, J., & Gim, T.H.T. (2020). Assessment of social vulnerability to floods on Java Indonesia. *Natural Hazards*, 102(2), 101–114. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03912>
- Mugagga, F., Kakembo, V., & Buyinza, M. (2012). Land use changes on the slopes of mount Elgon and the implications for the occurrence of landslides. *Catena*, 90(10), 39–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2011.11.004>
- Nghia, B.P.Q., Pal, I., Chollacoop, N., & Mukhopadhyay, A. (2022). Applying Google earth engine for flood mapping and monitoring in the downstream provinces of Mekong River. *Progress in Disaster Science*, 14(12), <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100235>
- Pascacio, E.D., Argueta, A.O., Mercedes, M., Uzcanga, C., & Marcial, N.R. (2018). Influence of land use on the riparian zone condition along an urban-rural gradient on the Sabinal River Mexico. *Botanical Sciences*, 96(2), 180-199. <https://doi.org/10.17129/botsci.1858>
- Rinat, Y., Marra, F., Zoccatelli, D., & Morin, E. (2018). Controls of flash flood peak discharge in Mediterranean basins and the special role of runoff-contributing areas. *Journal of Hydrology*, 565(2), 846-860. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.055>
- Rostami Fathabadi, M., Jafar Baglo, M., & Moghimi, I. (2019). Spatial analysis of flood-affected and flood-prone areas of Noorabad city of Lorestan and its risks. *Environmental Risk Management*, 7(3), 329-313. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2020.310534.609> [In Persian].
- Servati, M., Azad, F., & Mansouri, R. (2012). Environmental hazards. *Sepehr*, 23(90), 94-105. https://www.sepehr.org/article_13035.html [In Persian].
- Soleimani-Sardo, F., Rafiei-Sardo, E., Mesbahzadeh, T., & Azare, A. (2020). Using Sentinel-1 images to monitor flood damage in April 2019 south of Kerman province based on random forest algorithm. *Iranian Journal of Watershed Sciences and Engineering*, 15(53), 23-32. <http://jwmsei.ir/article-1-976-fa.html> [In Persian].
- Sundaram, S., Devaraj, S., & Yarrakula, K. (2023). Mapping and assessing spatial extent of floods from multitemporal synthetic aperture radar images: a case study over Adyar watershed, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(22), 63006–63021. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26467-7>
- Sy, H.M., Luu, C., Bui, Q.D., Ha, H., & Nguyen, D.Q. (2023). Urban flood risk assessment using Sentinel-1 on the google earth engine: A case study in Thai Nguyen city Vietnam. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100987>
- Vekaria, D., Chander, S., Singh, R.P., & Dixit, S. (2023). A change detection approach to flood inundation mapping using multi-temporal Sentinel-1 SAR images the Brahmaputra River Assam (India): 2015–2020. *Journal of Earth System Science*, 132(3), 1-19. <https://doi.org/10.1007/s12040-022-02020-x>
- Zekouda, N., Meddi, M., LaVanchy, G.T., & Remaoun, M. (2020). The impact of human activities on flood trends in the Semi-Arid climate of cheliff basin. *Algeria. Water Resources*, 47(3), 409-420. <https://doi.org/10.1134/S0097807820030136>