



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Flood Potential Zonation Using Analytic Hierarchy Process in Kurdistan Province, Iran

Bahar Akrami Moqadam¹, Rasoul Ilkhani Pour Zeynali² and Saman Nikmehr^{3*}

¹M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

²Assist. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

³Assist. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Article information

Received: March 03, 2023

Revised: June 09, 2023

Accepted: June 11, 2023

Keywords:

Drainage

Land Use

Rainfall

River

Slope

*Corresponding author:

s.nikmehr@uok.ac.ir



Abstract

Preparation of flood zoning maps is one of the primary and necessary measures in the management of flood prone areas. In this study, analytic hierarchy process, and geographic information system were used to assess and zoning the flood potential map in Kurdistan province, Iran. The factors involved in flooding including rainfall, slope, distance from river, drainage density, land use and topographic wetness index were used for zoning and providing flood maps. Effective criteria, except for land use and rainfall, were prepared using the digital elevation model, and each factor was weighted by Expert Choice software. The results showed that rainfall, slope, and distance from the river with weights of 0.409, 0.295, and 0.134 were the most important factors, respectively. In terms of flood potential zoning, different areas of the province were placed in five categories: very low (0.1%), low (1.9%), medium (43%), high (52%) and very high (3%). The flood potential at the outlet of the watersheds limited to the downstream and low-slope areas of main rivers in the western and central parts of the province was very high.

How to cite this paper: Akrami Moqadam, B., Ilkhani Pour Zeynali, R. & Nikmehr, S. (2024). Flood Potential Zonation Using Analytic Hierarchy Process in Kurdistan Province, Iran. *Environ. Water Eng.*, 10(1), 79-93. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.388125.1850> [In Persian]



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Flood is a major natural phenomenon, prevalent with an extremely large impact on social-ecological systems due to human interventions in nature. Flood is a common phenomenon not only to low-lying or adjacent to rivers areas, but also to mountainous plateaus. Worldwide floods especially during the last decades has been extremely severe, and record significant high rates which means the intensity of flood are increasing due to extreme weather events and climate change. Consequently, this kind of natural phenomenon is critical to be controlled through proper management. According to climate change, the mean precipitation is projected to become more severe in the future which causes river floods, flash floods, urban floods, coastal and sewer flooding, hence findings and assessing of utmost rainfall events could be beneficial in terms of flood management. Floods have affected the geo-environment through the transportation of chemicals wastes, which have this ability to contaminate surface and subsurface waters as well as agricultural lands. The current understanding is that floods are naturally occurring incidents and hence cannot be entirely prevented. Many Asian countries including Iran are heavily affected by floods in recent decades and were the site of the life-threatening natural disaster. In recent years, extreme rainfall events and as a result of ongoing urbanization and accelerated climate change as particular concern which may lead to more frequent and severe rainfall events, urban areas around the world have experienced several floods especially in the Kurdistan province, Iran. Thus, the identification and developing reliable and efficient tools to identify flood-vulnerable areas is vital for comprehensive flood zoning management. Due to the importance of this issue, the main aim of this study was to identify the flood-prone zones in Kurdistan province, Iran.

Material and Methods

The present work introduces a local scale flood potential zonation assessment methodology, using multi-criteria analysis and analytical hierarchy process (AHP) techniques in a GIS environment, which mainly focuses on flood-prone zones in Kurdistan province. Many studies have been conducted to identify the main factors contributing to the severity of floods. A variety of

techniques can be used to incorporate different criteria into an integrated tool for both flood prediction and mitigation, depending on the availability of data. Fig.1 illustrates the stage of the current research. In this study, the geological and hydrological features of the province were evaluated. In order of the most prone flooding areas to be identified, six factors, which are directly related to flood occurrence and generation, were combined in a GIS environment.

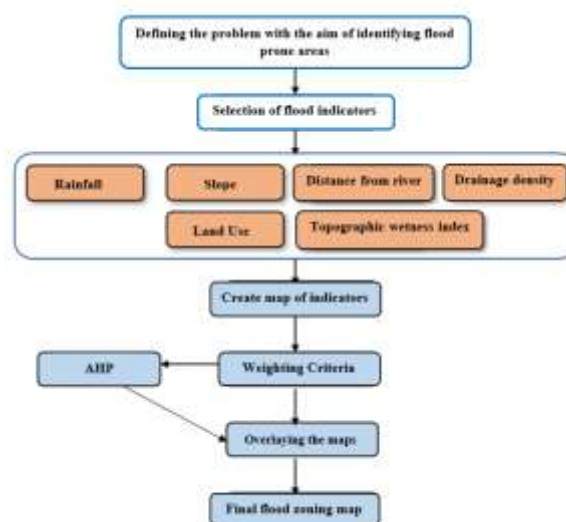


Fig. 1 Flowchart of the stages of research

These conditioning factors involved in the present study are: rainfall, slope, distance from rivers, drainage density, land cover and topographic wetness index. It is notable that for all kinds of flood potential mapping, the digital elevation model (DEM) is one of the principal parameters to derive most of the conditioning factors (Fig. 2).

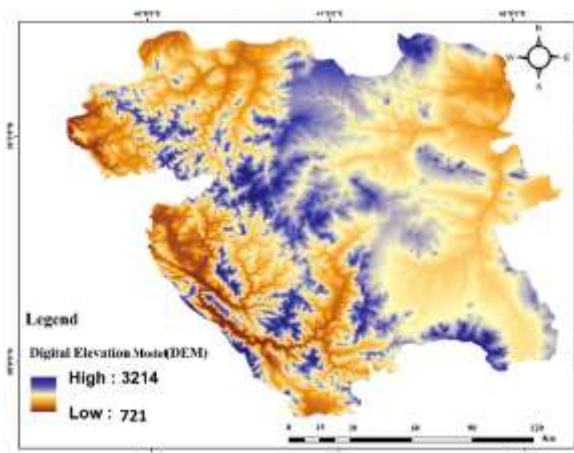


Fig. 2 Digital elevation model of Kurdistan province

By integrating these parameters, flood-prone areas in the study region were mapped. The analytical hierarchy process was used to determine and weight each factor of flood parameter and flood occurrences based on their greater influence towards flooding. By overlaying these six parameters, the final flood hazard map in geographical information system (GIS) was determined. All factors were resampled into a pixel size of 30×30 m and were reclassified through the natural break method and the final flood-zoning map was prepared and reclassified into five categories: Very high, High, Medium, Low and Very low.

Results

According to the results of this study, rainfall, slope and distance from the river have the most important impact in the flood proneness of the province with weights of 0.409, 0.295 and 0.134 respectively. In addition, drainage density, land use and topographic wetness index were the next significant criteria, respectively. Moreover, the results show that almost most of the western areas (northwest and west) and south of the province were the most vulnerable and flood-prone regions in Kurdistan province due to higher rainfall, lower slope, and proximity to rivers. These areas were Saez city in Urmia basin, Divandarreh city in Karkheh basin and parts of Sanandaj city while the eastern parts of the province were the least flood-prone zones mainly due to lower amount of annual rain.

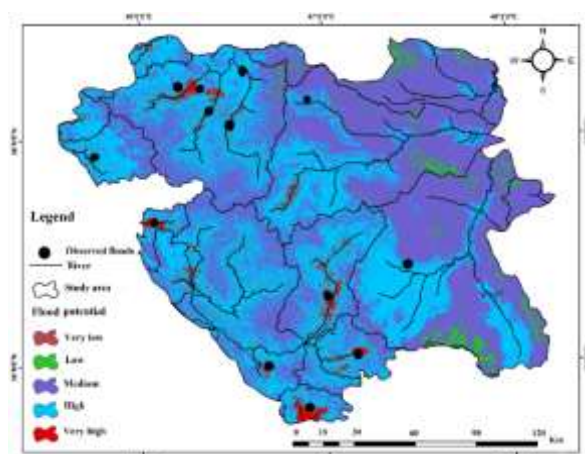


Fig. 3 Flood potential map for Kurdistan Province, Iran

As shown in Fig. 3, it demonstrates that historical flood events have occurred in moderate to very high flood hazard areas, which was consistent with historical floods data. The percentage of different areas prone to flooding were very low

(0.1%), low (1.9%), medium (43%), high (52%), and very high (3%). In addition, it is worth noting that areas with rich vegetation such as forests are far less likely to flood than urban areas and agricultural lands. In addition to the mentioned cases, most of the western and central regions that had a higher flood potential were located in the outlet of the watersheds limited to areas with a low slope and close to the large and main rivers, where rainfall was also significant in these areas.

The highest harvest index was obtained in the irrigation treatment equal to 125% of the water requirement of quinoa. The results showed that the maximum seed yield (2357.5 kg/ha) and biological yield (5415.9 kg/ha) were obtained in the treatment with irrigation water depth equal to 100% of crop water requirement and vermicompost fertilizer at the rate of 15 Ton/ha. The highest water productivity (53 kg/m³) and water use efficiency (527/527 kg/m³) were observed at irrigation water levels.

Conclusions

The method analyzed six parameters combining the information in rainfall, slope, distance from river, Land use, drainage density and topographic wetness index which rainfall and slope were the most effective criteria, respectively and by combining these six criteria, Urmia and Karkheh basins were the most flood-prone areas which were severely affected by flood in past decades. Moreover, about 3% of highly affected areas were located in western and central parts of the province. Therefore, the findings of this study can play a key role in flood potential management in the target region; the local disaster management authority, researchers, planners of local government, and line agencies dealing with flood risk management can use them. In addition, models such as decision tress, random forest and HEC-RAS can be used to improve the final zoning map, basin management, development of flood prevention and mitigation plans that may lead to a reduction of flood impact or damage caused by extensive precipitation.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در استان کردستان

بهار اکرمی مقدم^۱، رسول ایلخانی پور زینالی^۲ و سامان نیک‌مهر^{۳*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۲ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۳ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۱۲/۱۲]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۳/۱۹]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۰۳/۲۱]

واژه‌های کلیدی:

بارش

رودخانه

زهکشی

شیب

کاربری اراضی

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل از اقدامات اولیه و ضروری در مدیریت مناطق سیل‌گیر است. در این پژوهش به‌منظور بررسی و پهنه‌بندی نقشه پتانسیل سیل‌گیری در استان کردستان از روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. از متغیرهای مؤثر بر سیل‌گیری شامل بارش، شیب، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، کاربری اراضی و شاخص رطوبت توپوگرافی به‌منظور پهنه‌بندی و تهیه نقشه سیل‌گیری استفاده شد. معیارهای مؤثر بر پتانسیل سیل‌گیری به‌جز کاربری اراضی و بارش به‌وسیله مدل رقومی ارتفاع تهیه و هریک از معیارهای مذکور به‌وسیله نرم‌افزار Expert Choice وزن‌دهی شدند. نتایج نشان داد که معیارهای بارش، شیب و فاصله از رودخانه به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۴۰۹، ۰/۲۹۵ و ۰/۱۳۴ از بیش‌ترین اهمیت در پتانسیل سیل‌گیری برخوردار بوده‌اند. نواحی مختلف استان از نظر پتانسیل سیل‌گیری در پنج رده خیلی کم (۰/۱)، کم (۱/۹)، متوسط (۴۳/۰)، زیاد (۵۲/۰) و خیلی زیاد (۳/۰) قرار گرفتند. پتانسیل سیل‌گیری در خروجی حوزه‌های آبخیز، محدود به نواحی پایین‌دست و کم شیب رودخانه‌های پرآب بخش غربی و مرکزی استان، خیلی زیاد بود.

* نویسنده مسئول:

s.nikmehr@uok.ac.ir



نحوه استناد به این مقاله:

اکرمی مقدم، بهار، ایلخانی پور زینالی، رسول & نیک‌مهر، سامان. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در استان کردستان. محیط زیست و مهندسی آب. 10(1) 79-93. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.388125.1850>



۱- مقدمه

همواره در سراسر جهان وقایع طبیعی فراوانی رخ می‌دهد که برخی سبب آسیب جانی و اقتصادی می‌شوند. در دنیا بیش‌ترین مرگ‌ومیر ناشی از حوادث طبیعی در اثر توفان‌ها و سیلاب‌ها رخ می‌دهد. سیل یک پدیده طبیعی است که به‌دنبال مداخلات انسان در طبیعت، بیش از هر واقعه طبیعی دیگری بر انسان و شرایط اقتصادی و اجتماعی جامعه اثر می‌گذارد (Sheikhalishahi et al. 2016). دلایل مختلفی برای رخداد سیل وجود دارد. از مهم‌ترین آنها می‌توان به دخالت‌های انسانی، تغییر کاربری اراضی و عوامل اقلیمی اشاره کرد. بررسی‌های اخیر نشان داد که برای کاهش آثار سیل شناخت مناطق سیل‌گیر و درجه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان احتمال رخداد سیل ضروری است. تا بتوان در رابطه با نحوه استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف از جمله کشاورزی، شهری و صنعتی تصمیم‌گیری کرد (Hamidi et al. 2016). در این میان سکونت‌گاه‌های انسانی دارای بیش‌ترین پتانسیل سیل‌گیری هستند.

پژوهش‌های مختلفی به‌منظور ارزیابی و پهنه‌بندی سیل با استفاده از روش و فن‌های مختلف انجام گرفته است. (Amirahmadi et al. 2012) با استفاده از معیارهای ضریب رواناب محدوده‌های بحرانی شهری در برابر سیل و آب‌گرفتگی مشخص و خسارات حاصله، نقشه‌ی ارزیابی خسارت ارائه کردند. بر اساس نقشه مذکور احتمال سیل ۴۵٪، در محدوده پتانسیل سیل‌گیری زیاد قرار داشت. (Mahmoodzadeh et al. 2015) در بررسی خود ریزپهنه‌بندی شهر تبریز و محدوده‌های بحرانی در معرض سیلاب را مشخص کردند. بر این اساس درصد مناطق با پهنه پتانسیل سیل‌گیری متوسط بیش‌تر از زیاد و خیلی زیاد بود. (Hassanzadeh and Khajebafghi 2016) میزان پتانسیل سیل‌گیری زیر حوزه‌های آبخیز شیطان بافق را با بهره از پارامترهای زمین‌شناسی و هیدرولوژی ارزیابی کردند. نتایج بررسی مذکور نشان داد که با افزایش اندازه پیکسل‌ها میزان پتانسیل سیل نیز افزایش می‌یابد. (Kazemi et al. 2016) با استفاده از شبیه‌سازی جریان رودخانه و سایر مشخصه‌های هیدرولیکی،

مکان‌های مستعد سیل در رودخانه سیمینه‌رود را مشخص کردند. (Rahmati et al. 2016) با بهره از چهار پارامتر فاصله از رودخانه^۱، کاربری اراضی^۲، ارتفاع^۳ و شیب^۴ اراضی، مناطق سیل‌گیر بخش‌هایی از رودخانه یاسوج را شناسایی کردند. (Hatami Nejad et al. 2017) پهنه‌بندی پتانسیل سیل-گیری شهرستان ایزه را به‌وسیله ۱۱ شاخص انجام دادند. نتایج نشان داد که مناطق کم شیب بیش‌تر در معرض سیل قرار دارند. (Kourgialas and Karatzas 2017) پتانسیل احتمال رخداد سیل در یونان را بررسی کردند. نتایج نشان داد مناطق شهری و کشاورزی از بیش‌ترین آسیب‌پذیری برخوردار بودند. همچنین ۲۴٪ از کل مساحت یونان دارای پتانسیل سیل‌گیری بسیار زیاد است. (Rostami and Kazemi 2019) پهنه‌بندی پتانسیل سیل در محدوده شهر ایلام را انجام دادند. مناطق مختلف با درجه پتانسیل سیل‌گیری را در پنج رده دسته‌بندی نمودند. مناطق با پتانسیل سیل خیلی کم و خیلی زیاد به‌ترتیب ۷٪ و ۵۶٪/۸ بود. (Valizadeh Kamran et al. 2019) پهنه‌بندی سیل و شناسایی مناطق سیل‌گیر در محدوده‌ی رودخانه لیقوان را انجام دادند. نتایج نشان داد که به‌ترتیب باغات، اراضی بایر و مراکز مسکونی بیش‌تر از سایر کاربری‌ها تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرند. (Ajjur and Mogheir 2020) با شناسایی مناطق سیل‌گیر در محدوده‌ی شهری غزه به تهیه نقشه‌ی سیل‌گیری پرداختند. از پارامترهای شیب، ارتفاع و کاربری اراضی به‌منظور ارزیابی و پهنه‌بندی سیل استفاده نمودند. نتایج حاصل از این پژوهش با داده‌های سیل‌های تاریخی مقایسه و مطابقت داده شد. (Singha et al. 2022) عوامل مؤثر بر پتانسیل سیل‌گیری را براساس شاخص‌های مورفومتریک، هیدرولوژیکی، نفوذپذیری خاک، خصوصیات فیزیکی زمین و استنتاج‌های انسانی بررسی کردند. نتایج نشان داد فاکتورهای شیب و نفوذپذیری از مهم‌ترین عوامل پتانسیل سیل‌گیری بودند. نتایج بررسی‌های (Daneshparvar et al. 2022) نشان داد که فاکتورهای ارتفاع و شیب به‌ترتیب دارای بیش‌ترین تاثیر بودند. همچنین شماره منحنی و فاصله از رودخانه کم‌ترین وزن را در

³Elevation⁴Slope¹Distance from river²Land use/Land cover

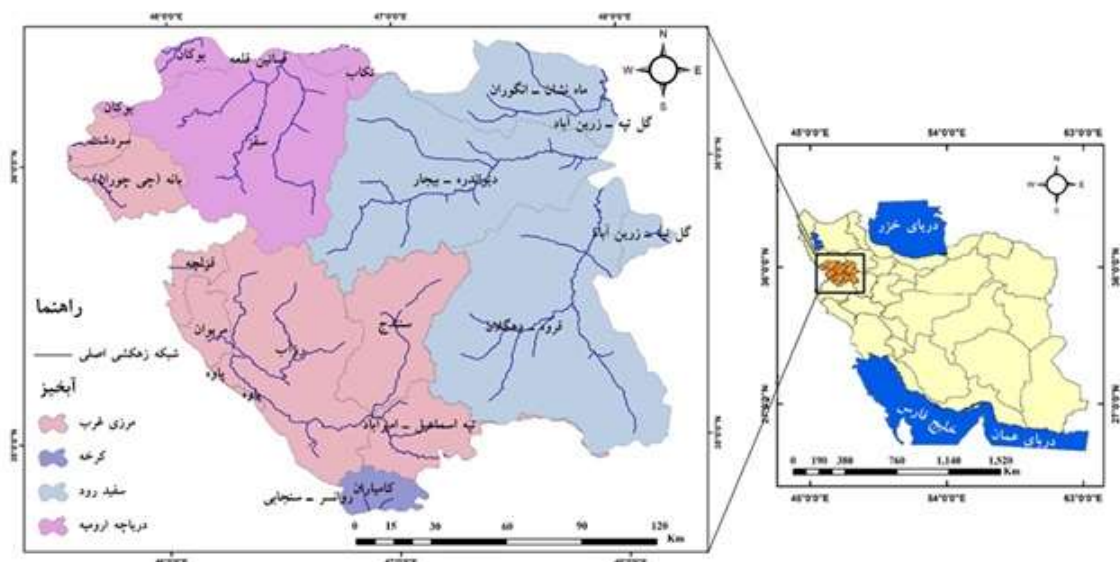
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده استان کردستان است که در شکل (۱) نشان داده شده است. این استان با مساحت km^2 ۲۹۱۳۷ بین مختصات جغرافیایی 34° و $44'$ تا 36° و $30'$ عرض شمالی و 45° و $31'$ تا 48° و $16'$ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. استان کردستان منطقه‌ای کوهستانی است که دارای دشت‌های مرتفع و دره‌های پهن می‌باشد. بخش غربی دارای پوشش جنگلی است. عمده پوشش جنگلی در شهرستان‌های بانه و میوان قرار دارد. بخش‌های شرقی و مرکزی استان بیش‌تر به‌صورت دشت و مراتع کوهستانی است. استان کردستان دارای آب و هوای معتدل و کوهستانی و با پتانسیل بالای بارش است و میزان بارندگی سالیانه در آن حدود 417 mm است. استان کردستان در چهار حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، مرزی غرب، سفیدرود و کرخه واقع شده است و هر حوزه از محدوده‌های مطالعاتی مختلفی تشکیل شده‌اند (شکل ۱).

هر دو روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ و فرایند تحلیل شبکه‌ای^۲ داشتند. (Dung et al. (2022 عوامل مؤثر بر پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری را بر اساس روش AHP ارزیابی کردند. کلیه عوامل مؤثر در گروه‌هایی مرتبط با خصوصیات هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، هواشناسی، پوشش و کاربری اراضی، خاک‌شناسی و زیرساخت‌ها و ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی دسته‌بندی شدند.

امروزه با توجه به توسعه فن‌آوری‌های مدرن، روش‌های زیادی به‌منظور پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌ی پتانسیل سیل‌گیری و محیط ارائه و نمایش این نقشه‌ها، ابداع شده است. در پژوهش حاضر از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) که دارای قابلیت بالایی در تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل‌گیری است، استفاده شد (Ajjur and Mogheir 2020). هم‌چنین نرم‌افزار Expert choice برای وزن‌دهی معیارهای مؤثر در سیل‌گیری بکار گرفته شد (Rostami and Kazemi 2019). هدف اصلی پژوهش حاضر تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری استان کردستان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و استفاده از داده‌های قابل‌اعتماد و نرم‌افزار GIS بود. در این پژوهش پهنه‌بندی و تهیه نقشه پتانسیل سیل‌گیری بر اساس خصوصیات زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی استان انجام شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه‌های آبخیز استان کردستان

Fig. 1 Geographical location of watersheds in Kurdistan province

²Analytic network process
Environment and Water Engineering

Vol. 10, No. 1, 2024

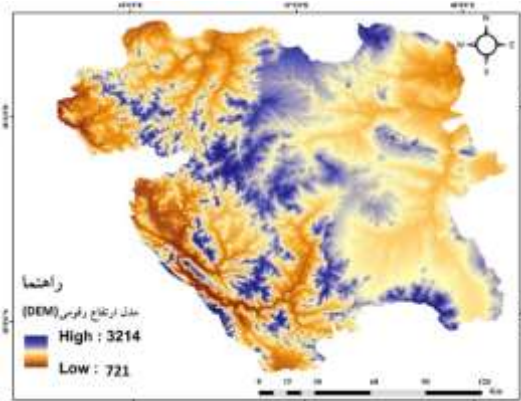
¹Analytic hierarchy process

محیط‌زیست و مهندسی آب

دوره ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

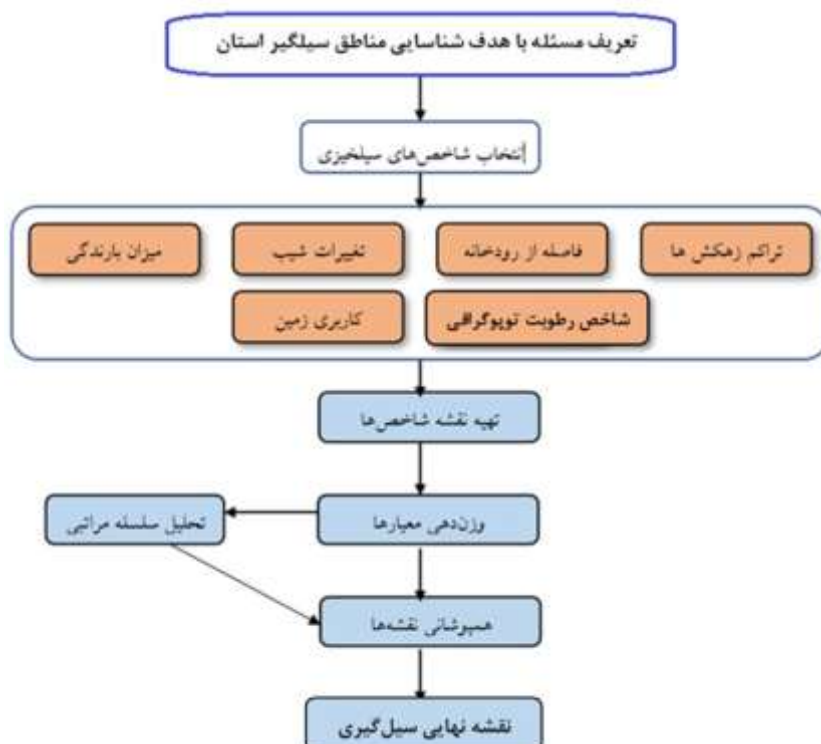
۲-۲- داده‌های مورد استفاده

می‌رسد. ویژگی‌ها و مشخصات هر فاکتور در طبقه‌هایی تقسیم می‌شوند که مرز بین آن‌ها در جایی است که تفاوت‌های نسبتاً زیادی در مقادیر داده، وجود دارد. محیط GIS، بازه هر کدام از زیرمعیارها را به صورت خودکار مشخص می‌کند. در مرحله بعد هر یک از زیرمعیارهای بدست آمده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی شدند.



شکل ۲- مدل ارتفاع رقومی استان کردستان
Fig. 2 Digital elevation map of Kurdistan province, Iran

برای تعیین مناطق مخاطره‌آمیز سیل شیوه‌های مختلفی وجود دارد. در این پژوهش از معیارهای هیدرواقليمی، توپوگرافیک و پوشش زمین استفاده شد. داده‌های اولیه مورد استفاده در این پژوهش برای ارزیابی و پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری شامل مدل رقومی ارتفاع استان کردستان با دقت ۳۰m (شکل ۲)، داده‌های ایستگاه‌های باران سنجی و نقشه کاربری اراضی استان بود. براساس منابع مرتبط و نظر کارشناسان متخصص در این حوزه و با توجه به گستردگی منطقه مطالعاتی، در پژوهش حاضر نقشه‌های شش عامل مؤثر بر امکان پتانسیل سیل‌گیری شامل میزان بارش باران، شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی و شاخص رطوبت توپوگرافی، در محیط GIS تهیه و بررسی شدند. شکل (۳) مراحل و روند کلی پژوهش را نشان می‌دهد. همچنین با استفاده از روش بهینه‌سازی دسته‌بندی طبیعی^۱ هر یک از این معیارها به پنج رده یا زیرمعیار تقسیم شدند. لازم به ذکر است که در این روش طبقات بر اساس گروه‌بندی طبیعی داده‌ها تشکیل می‌شوند. همچنین در این روش تفاوت بین طبقه‌ها به حداکثر



شکل ۳- مراحل انجام پژوهش
Fig. 3 the stages of research

^۱Natural Break

۲-۱-۲- میزان بارندگی

اطلاعات اخذ شده از شبکه ایستگاه‌های بارشی موجود وابسته به وزارت نیرو و همچنین سازمان هواشناسی در سطح استان کردستان، داده‌های اولیه و پایه در این پژوهش را تشکیل دادند. در این پژوهش مقدار بارش روزانه مربوط به کل ایستگاه‌های موجود در استان در یک بازه زمانی ۳۰ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تکمیل و بازسازی داده‌های بارش، در حوزه‌های آبخیز مشترک و در مجاورت با ایستگاه‌هایی با داده‌های مفقوده، ایستگاه یا ایستگاه‌های مناسب به‌عنوان مرجع انتخاب شدند. یکی دیگر از معیارهای انتخاب ایستگاه مناسب، وجود ضریب همبستگی بالا بین داده‌های ایستگاه مرجع و ایستگاه مورد بازسازی بود. بنابراین ایستگاه نزدیک‌تر و دارای داده‌های کامل‌تر با ضریب همبستگی بالاتر به عنوان ایستگاه مرجع انتخاب شد. لازم به ذکر است که داده‌های مفقوده با استفاده از روش آماری کلاسیک و رگرسیون خطی بازسازی شدند.

۲-۲-۲- شیب و فاصله از رودخانه

نقشه شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاع استان کردستان با دقت ۳۰ m و ابزار شیب در محیط GIS تهیه شد. معیار فاصله از رودخانه با استفاده از لایه اطلاعاتی شبکه رودخانه‌های استان که به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 با دقت ۳۰ m تهیه می‌شود، محاسبه شد. هر دو معیار شیب و فاصله از رودخانه با سیل‌گیری رابطه معکوس دارد. با کمتر شدن درجه شیب و فاصله از رودخانه میزان سیل‌گیری افزایش می‌یابد.

۲-۲-۳- تراکم زهکشی

برای تهیه تراکم زهکشی و وجود رواناب‌های سطحی که رابطه مستقیمی با سیل دارد از نسبت طول کل آبراهه‌های استان به کل مساحت استان با بهره‌گیری از روش Line density در محیط GIS و با دقت ۳۰ m استفاده شد.

۲-۲-۴- کاربری اراضی

در پژوهش حاضر نقشه کاربری اراضی استان با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat 8 با هدف تفکیک مناطق مسکونی، مراتع و پوشش جنگلی، زمین‌های کشاورزی (دیم و آبی) و پوشش آبی و با دقت ۳۰ m تهیه شد. همچنین از نقاط زمینی جهت آموزش و طبقه‌بندی نظارت شده برای تهیه نقشه کاربری اراضی نهایی استفاده شد.

۲-۲-۵- شاخص رطوبت توپوگرافی

برای تهیه شاخص رطوبت توپوگرافی^۱ در محیط GIS ابتدا به‌ترتیب جهت جریان، جریان تجمعی و مقدار شیب محاسبه شد. در مرحله بعد تانژانت شیب بدست آمده استان بر حسب رادیان محاسبه شد. در مرحله آخر با استفاده از رابطه (۱) شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI) محاسبه شد.

$$TWI = Ln\left(\frac{A}{\tan(\beta)}\right) \quad (1)$$

که، A مساحت منطقه مورد مطالعه و $\tan(\beta)$ ، تانژانت شیب ناحیه مورد نظر است (Ullah and Zhang 2020).

۲-۳- روش تحلیل سلسله مراتبی

تحلیل سلسله مراتبی بر سه اصل (۱) تهیه سلسله مراتبی (۲) قضاوت و مقایسه بین معیارها و زیرمعیارها و (۳) ترکیب اولویت‌ها، پایدار است (Dağdeviren 2008). در بررسی حاضر بر اساس روش AHP هدف اصلی مسئله یا تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری مورد نظر قرار گرفت و در سطوح بعدی معیارها و زیرمعیارها تعیین شدند. با استفاده از ماتریس‌های زوجی، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و براساس درجه اهمیت هریک نسبت به سایر پارامترها وزن‌دهی شدند. این مقایسه‌ها به دو صورت کمی و کیفی بر مبنای مقیاس ارائه شده (Saaty and Vargas 2001) انجام گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- ارزش‌گذاری شاخص‌ها برای مقایسه زوجی

Table 1 Pairwise comparison scale for preferences

Importance	Definition	Description
9	Extremely Preferred	Extremely high preference
7	Very Strongly Preferred	Too much preference
5	Strongly Preferred	High preference
3	Moderately Preferred	Relative preference
1	Equally Preferred	The two elements are equally important
2,4,6,8		Intermediate values in judgments

^۱ Topographic wetness index

کم‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد تا اینکه سازگاری سیستم قابل قبول باشد.

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (3)$$

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \quad (4)$$

۲-۴- سیل‌های مشاهداتی در سطح استان

در پژوهش حاضر به منظور صحت‌سنجی و ارزیابی میزان دقت نتایج حاصل از پهنه‌بندی نقشه پتانسیل سیل‌گیری در استان کردستان، از ۱۳ رخدادهای سیل ثبت شده در مرکز مدیریت بحران استان در فاصله زمانی سال ۱۳۸۴ الی ۱۴۰۱ استفاده شد. طبق این آمار بیش‌تر سیل‌های مشاهده شده در استان مربوط به شهرستان‌های سقز در حوزه‌ی آبخیز دریاچه ارومیه و بخش‌هایی از شهرستان کامیاران واقع در حوزه‌ی آبخیز کرخه و مسیر رودخانه قشلاق در شهرستان سنندج بود. پس از تهیه نقشه‌ی معیارهای مؤثر در سیل‌گیری، وزن‌دهی هر یک از معیارها انجام شد. سپس نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از هم‌پوشانی معیارها در محیط GIS و با استفاده از ابزار کاربردی همپوشانی پارامترهای وزن‌دار تهیه و ارزیابی شد. برای صحت‌سنجی نتایج حاصله، نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری با داده‌های سیل‌های مشاهداتی در سطح استان کردستان مقایسه شد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- تعیین وزن معیارها

در پژوهش حاضر براساس نتایج مستخرج از پرسش‌نامه‌های حاصل از نظرات متخصصین مربوطه و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice وزن‌دهی معیارها مطابق جدول (۲) انجام گرفت. آهنگ ناسازگاری در این پژوهش برابر ۰/۰۸ بود.

جدول ۲- وزن‌دهی و مقایسه زوجی معیارها

Table 2 Weight calculation and pairwise comparisons of criteria

	LU/LC	Distance to river	Slope	TWI	Drainage density	Rainfall
Rainfall	8.5	5.5	1	6	5	2
Drainage density	4	1	0.18	3	0.5	0.2
TWI	1	0.25	0.117	0.25	0.16	0.125
Slope	8	5	0.5	5	4	1
Distance to river	6	2	0.2	5	1	0.25
LU/LC	4	0.33	0.16	1	0.2	0.2

به این معنی که مقدار ۱ بیانگر اهمیت برابر دو معیار مورد نظر و عدد ۹ بیانگر اهمیت بسیار بالای یک معیار نسبت به دیگری است. اولویت‌بندی هر یک از معیارها و زیرمعیارهای مورد نیاز در بررسی حاضر بر اساس ۳۰ پرسشنامه به همراه نظر افراد متخصص شامل اساتید و کارشناسان حوزه‌ی مدیریت آب انجام شد. به‌طورکلی ساخت سلسله مراتبی، محاسبه وزن و بررسی سازگاری سیستم گام‌هایی است که برای حل مسئله و گرفتن تصمیم به‌ترتیب به آن پرداخته می‌شود.

در مرحله نهایی با روش AHP ارزیابی میزان سازگاری در قضاوت‌ها و مقایسه‌های زوجی انجام شد. روشی که برای ارزیابی و بررسی ناسازگاری در مقایسه‌ها و قضاوت‌ها استفاده می‌شود آهنگ سازگاری^۱ (C.R) است. این آهنگ حاصل تقسیم شاخص سازگاری^۲ (C.I) و شاخص تصادفی بودن^۳ (R.I) است. شاخص تصادفی بودن بر اساس تعداد زوج داده‌های مورد مقایسه محاسبه می‌گردد. از دو تا حداکثر ۱۵ زوج داده به‌منظور مقایسه و محاسبه شاخص تصادفی بودن استفاده می‌شود. مقدار شاخص تصادفی بودن بین صفر تا ۱/۵۹ متغیر است (Bowen et al. 1993). بنابراین ابتدا λ_{max} که میانگین بردار سازگار می‌باشد طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Saaty 1980).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_{ii} \times W_{i,j} / W_{i,j} \quad (2)$$

که، λ_{max} میانگین بردار سازگاری، α میانگین هندسی ماتریس ij و N تعداد جایگزین‌های مقایسه شده است. به کمک محاسبه میانگین بردار سازگاری، شاخص سازگاری (C.I) بر اساس رابطه (۳) محاسبه گردید (Saaty 1977). در نهایت نرخ سازگاری بر اساس رابطه (۴) به دست آمد (Pant et al. 2022). نرخ سازگاری (C.R) در این روش تصمیم‌گیری باید

³Randomness Index

¹Consistency Ratio

²Consistency Index

جدول ۳- وزن معیارها و زیرمعیارها در تعیین پتانسیل سیل گیری
Table 3 Categorization of the factors affecting flood potential

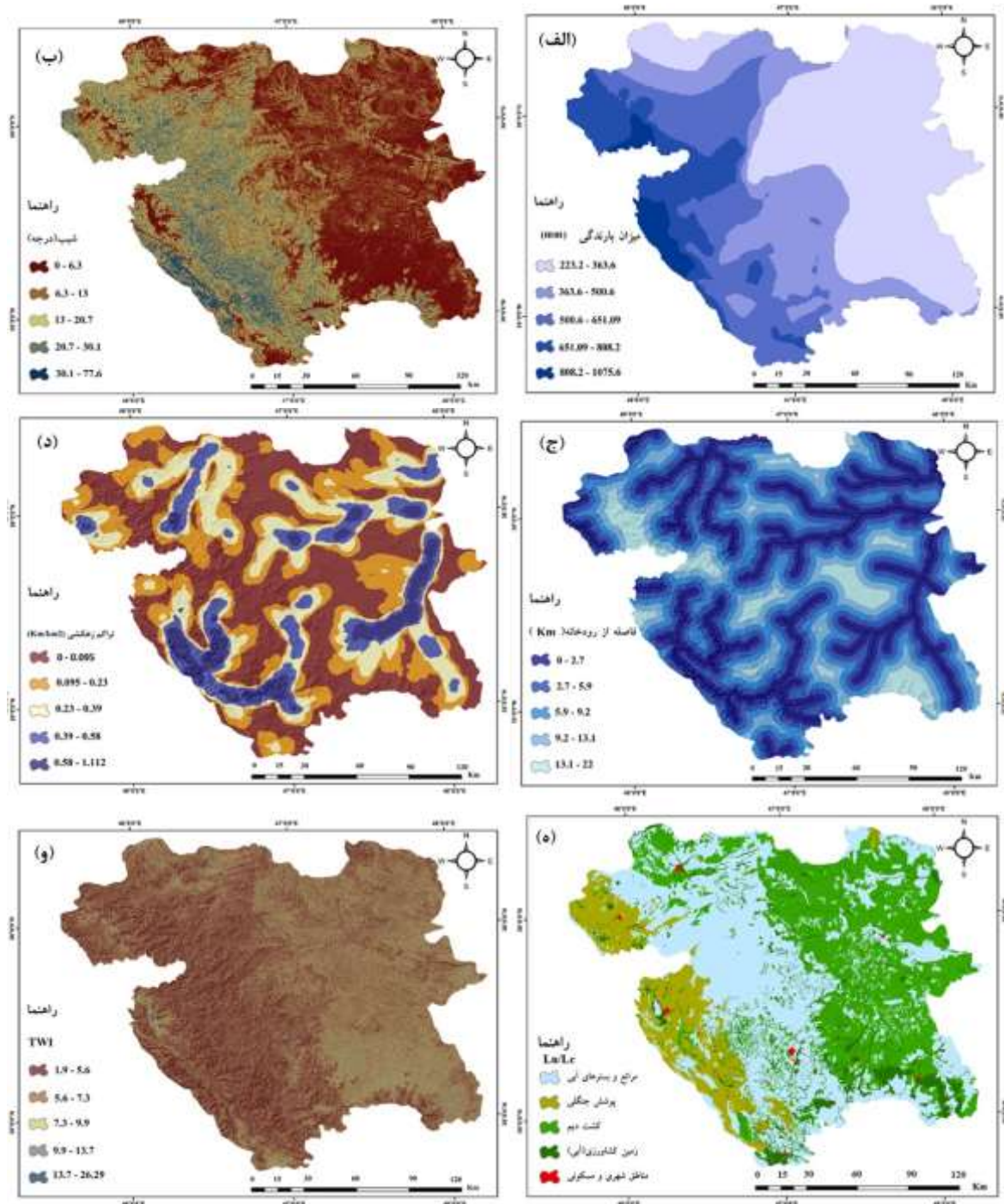
Criteria	Relation	Criteria weight	Sub-criteria	Sub-criteria weight
Rainfall	Direct	0.409	223.2-363.6	0.040
			363.6-500.6	0.068
			500.6-651.09	0.164
			651.09-808.2	0.269
			808.2-1075.6	0.460
Slope	Indirect	0.295	0-6.3	0.515
			6.3-13	0.274
			13-20.7	0.115
			20.7-30.1	0.060
			30.1-77.6	0.037
Distance to river	Indirect	0.134	0-2.7	0.478
			2.7-5.9	0.288
			5.9-9.2	0.119
			9.2-13.1	0.072
			13.1-22	0.043
Drainage density	Direct	0.084	0-0.095	0.052
			0.095-0.231	0.076
			0.231-0.396	0.144
			0.396-0.588	0.289
			0.588-1.112	0.440
Land use	Direct	0.052	Pastures and water	0.051
			Forest	0.072
			Dryland farming	0.153
			agricultural land	0.286
			urban settlements	0.438
TWI	Direct	0.026	1.92-5.65	0.067
			5.65-7.37	0.094
			7.37-9.95	0.165
			9.95-13.77	0.255
			13.77-26.29	0.418

شامل بخش اعظمی از شرق استان کردستان، بخشی از شهرستان کامیاران و قسمت‌هایی از مناطق غربی استان بود. در مقابل تغییرات شیب بیش‌تر از $77/6^\circ$ اثر کم‌تری در پتانسیل سیل‌گیری داشت. این مناطق شامل مساحت زیادی از بخش‌های غربی و قسمت‌هایی از مناطق مرکزی استان بود. لازم به‌ذکر است که بخش‌های غربی استان به‌دلیل وجود ارتفاعات زیاد و مناطق کوهستانی دارای شیب بیش‌تری نسبت به دیگر مناطق استان بود.

معیار فاصله از رودخانه (شکل ۴-ج) بر اساس داده‌های رودخانه‌ای و شبکه آبراهه‌های استان محاسبه شد. این شاخص نیز مانند سایر معیارها به پنج رده طبقه‌بندی شد. نتایج

نقشه متغیرهای مورد استفاده در تهیه و بررسی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری استان کردستان در شکل (۴) به‌ترتیب نشان داده شده است. شاخص میزان بارندگی به‌طور مستقیم از داده‌های بارندگی روزانه تهیه شد. این شاخص مهم‌ترین و اساسی‌ترین فاکتور در بررسی پتانسیل سیل‌گیری بود. مقدار بارش در مناطق مرکزی و غربی استان به‌مراتب بیش‌تر از مناطق شرقی استان بود (شکل ۴-الف). در این پژوهش تغییرات شیب استان (شکل ۴-ب) پس از میزان بارندگی به‌عنوان مهم‌ترین عامل اثرگذار بر پتانسیل سیل‌گیری در نظر گرفته شد. ارزیابی مقدار شیب نشان داد که بازه‌ی صفر تا $6/3^\circ$ دارای بیش‌ترین پتانسیل سیل‌گیری بود. این محدوده

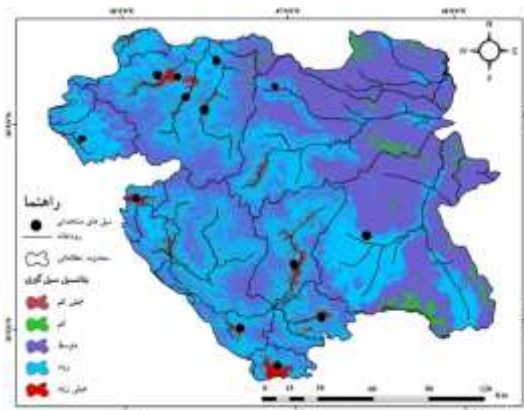
نشان‌داد که فاصله صفر تا ۲/۷۹ km از رودخانه دارای بیش‌ترین و فاصله ۲۲ - ۱۳/۱ km دارای کم‌ترین پتانسیل سیل‌گیری بود. هم‌چنین بازه‌های صفر تا ۲/۷۹ بیش‌ترین و ۱۳/۲۲-۱ کم‌ترین وزن را به خود اختصاص دادند.



شکل ۴- نقشه‌های پهنه‌بندی معیارهای مؤثر در پتانسیل سیل‌گیری استان کردستان: الف) بارش، ب) شیب، ج) فاصله از رودخانه، د) تراکم زهکشی، ه) کاربری اراضی، و) TWI

Fig. 4 Zoning maps of effective criteria in flood potential in Kurdistan province: a) rainfall; b) slope; c) distance to river; d) drainage density; e) land use; f) TWI

زیاد رودخانه‌ها و بارش مناسب در بخش غربی استان پتانسیل سیل‌گیری را تا حد زیادی افزایش داده بود.



شکل ۵- نقشه نهایی پتانسیل سیل‌گیری استان کردستان
Fig. 5 Final flood potential map for Kurdistan Province

در حوزه‌های آبخیز واقع در بخش مرکزی و غربی استان به دلیل رطوبت توپوگرافی بالا پتانسیل سیل در طبقه زیاد و خیلی زیاد قرار داشت. رطوبت توپوگرافیک، نفوذپذیری خاک را به درجات مختلف در این نواحی کاهش و پتانسیل سیل‌گیری را افزایش داده بود. نقاط مرتفع و کوهستانی حوزه‌های آبخیز استان در طبقه پتانسیل کم و خیلی کم سیل‌گیری قرار داشتند. شیب زیاد یکی از مهم‌ترین عوامل برای کاهش پتانسیل سیل‌گیری در نواحی کوهستانی و مرتفع بود. در حوزه آبخیز سفیدرود واقع در شرق استان با وجود شیب پائین زمین، پتانسیل سیل‌گیری در طبقه متوسط و کم قرار داشت. بارش‌های کم در بخش شرقی استان از اصلی‌ترین عامل کاهش پتانسیل سیل‌گیری در این ناحیه بود. با مقایسه و انطباق رخدادهای سیل ثبت شده در استان با نقشه پتانسیل سیل‌گیری، نواحی با طبقه پتانسیل زیاد و خیلی زیاد سیل با محل وقوع سیلاب‌های ثبت شده انطباق مطلوبی داشتند. بخش‌های زیادی از شهرستان سقز دارای بیش‌تر سیل‌های مشاهداتی ثبت شده بود. این در حالی است که محدوده شهرستان سقز در طبقه پتانسیل زیاد و خیلی زیاد سیل‌گیری قرار داشتند. در این پژوهش از میان عوامل مؤثر بر سیل‌گیری، سه فاکتور میزان بارندگی، شیب و فاصله از رودخانه بیش‌ترین تاثیر را بر پتانسیل سیل‌گیری داشتند. در بررسی انجام شده توسط Thirumurugan and Krishnaveni (2019) میزان بارش سالیانه در درجه اول و ژئومورفولوژی منطقه و تراکم زهکش‌ها در درجه دوم بیش‌ترین اثرگذاری را بر سیل‌گیری

براساس شکل (۴-۵)، تراکم زهکشی از دیگر شاخص‌های تاثیر گزار بر پتانسیل سیل‌گیری است. معیار تراکم زهکشی رابطه مستقیمی با پتانسیل سیل‌گیری مناطق مختلف استان داشت. تراکم زهکشی به دلیل شرایط توپوگرافی در بخش‌های غربی استان زیادتر بود. مناطق با تراکم بالای زهکشی با بازه ۱/۱۱۲ - ۰/۵۸۸ بیش‌ترین و بازه صفر تا ۰/۰۹۵ کم‌ترین وزن را مطابق جدول (۳) به خود اختصاص دادند. بخش غربی استان به دلیل تراکم بالای شبکه رودخانه‌ها از پتانسیل سیل‌گیری بیش‌تری برخوردار بود. شاخص رطوبت توپوگرافی از دیگر معیارهای تاثیرگذار بر پتانسیل سیل‌گیری است (شکل ۴-۵). مقدار بالای رطوبت توپوگرافی در مناطقی با شیب کم رخ داده بود. این بخش‌ها بیش‌تر شامل مناطق شرقی و جنوب شرقی استان کردستان بود. بخش‌های شرقی استان به دلیل بالا بودن رطوبت توپوگرافی از پتانسیل سیل‌خیزی کمتری برخوردار بود. نقشه کاربری اراضی (شکل ۴-۵) استان به لحاظ کاربری به پنج گروه کلی تقسیم‌بندی شده است. براین اساس، نوع کاربری شامل مراتع، پوشش جنگلی، کشت دیم، زمین‌های کشاورزی (آبی) و مناطق مسکونی و شهری بود. طبق نقشه کاربری اراضی، مراتع دارای بیش‌ترین مساحت و کم‌ترین پتانسیل سیل‌گیری بودند. مناطق شهری و مسکونی کم‌ترین مساحت و بیش‌ترین میزان پتانسیل سیل‌گیری را دارا بودند.

۳-۲- نقشه پتانسیل سیل‌گیری

پس از وزن‌دهی معیارها در محیط Expert Choice نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری استان کردستان در محیط GIS تهیه شد (شکل ۵). به‌منظور تهیه نقشه نهایی پتانسیل سیل‌گیری از ابزار همپوشانی پارامترهای وزن‌دار در محیط GIS استفاده شد. نتایج نشان داد که پتانسیل سیل‌گیری در نواحی با میزان بارش نسبتاً زیاد و شیب کم بیش‌تر بود. در حوزه‌های آبخیز دریاچه ارومیه و کرخه بیش‌ترین پتانسیل سیل‌گیری وجود داشت. در این حوزه‌های آبخیز در نواحی مجاور رودخانه‌ها به ویژه در قسمت‌های انتهایی و پایین دست رودخانه‌ها پتانسیل سیل‌گیری بالا بود. در بخش جنوبی شهرستان کامیاران واقع در حوزه آبخیز کرخه و همچنین ناحیه روانسر-سنجایی پتانسیل سیل‌گیری خیلی زیاد بود. در همگی این نواحی پتانسیل سیل‌گیری به دلیل شیب کم و مجاورت با رودخانه بالا بود. همچنین تراکم نسبتاً

۱- روش تحلیل سلسله مراتبی با ادغام شاخص‌های توپوگرافیک، هیدرواقليمی و پوشش زمین برای تجزیه و تحلیل و تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری استان کردستان قابل اطمینان است.

۲- میزان بارش مهم‌ترین عامل در پتانسیل سیل‌گیری بود. عامل شیب در درجه دوم اثرگذاری اهمیت بوده و بازه شیب صفر تا $6/3^\circ$ ، بیش‌ترین پتانسیل سیل‌گیری را داشت. معیار فاصله از رودخانه در درجه سوم اثرگذاری قرار داشت.

۳- ۳٪ از وسعت کل استان در طبقه پتانسیل خیلی زیاد سیل‌گیری قرار داشت. این نواحی در خروجی حوزه‌های آبخیز محدود به نواحی پایین‌دست و کم شیب رودخانه‌های پرآب بخش غربی و مرکزی استان قرار داشت.

باید توجه داشت که علاوه بر میزان بارش، لازم است اثر بارش‌های رگباری و شدت آنها در مطالعات مربوط به سیل‌گیری مد نظر قرار گیرد. همچنین به‌منظور تحلیل و پهنه‌بندی سیل می‌توان مدل‌های هوشمند مانند درخت تصمیم، ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی را بکار برد و نیز برای ارتقاء نقشه نهایی پهنه‌بندی سیل از مدل‌هایی نظیر HEC-RAS استفاده کرد.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های به دست آمده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Ajjur, S. B., & Mogheir, Y. K. (2020). Flood hazard mapping using a multi-criteria decision analysis and GIS (case study Gaza Governorate, Palestine). *Arab. J. GeoSci.*, 13(44), 1-11. DOI: [10.1007/s12517-019-5024-6](https://doi.org/10.1007/s12517-019-5024-6)
- Amirahmadi, A., Behniafar, A., & Ebrahimi, M. (2012). Microzonation of Flood Risk in

منطقه دارا بودند. در مطالعه‌ای دیگر توسط Mishra and Sinha (2020) نیز فاکتور بارش بیش‌ترین و شیب و فاصله از آبراهه‌های به ترتیب در رده‌های بعدی اهمیت قرار داشتند. در بررسی انجام شده توسط Ullah and Zhang (2020) شیب، کاربری اراضی و ارتفاع به‌ترتیب بیش‌ترین و معیار تراکم زهکش و میزان بارش سالیانه کم‌ترین تاثیر را در سیل‌گیری داشتند. در مطالعه‌ای که توسط Toosi et al. (2019) انجام پذیرفت عوامل مؤثر در سیل‌گیری به‌ترتیب ضریب نفوذپذیری خاک، ارتفاع و شیب ناحیه ذکر شده بود. با افزایش شیب، سرعت جریان رواناب‌های حاصل از بارش زیاد و با کاهش درجه شیب، پتانسیل سیل‌گیری منطقه افزایش یافت که با پژوهش حاضر مطابقت داشت. همچنین نتیجه پژوهش حاضر درخصوص اثر معیار شیب بر سیل‌گیری با نتایج مطالعه Ullah and Zhang (2020) مطابقت داشت که شیب رابطه عکسی با میزان سیل‌گیری ناحیه دارد.

به طور کلی در نواحی با میزان بارش بالا و شیب زمین کم، پتانسیل سیل‌گیری بالا بود. درجه اهمیت و وزن میزان بارش سالیانه در پژوهش Mishra and Sinha (2020) با پژوهش حاضر مطابقت داشت. با توجه به نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری، از کل مساحت استان، ۳٪ در طبقه خیلی‌زیاد، ۵۲٪ زیاد، ۴۳٪ متوسط، ۱/۹ و ۰/۱٪ به‌ترتیب در طبقه‌های کم و خیلی کم قرار داشتند.

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با هدف شناسایی مناطق سیل‌گیر در استان کردستان، پهنه‌بندی نقشه سیل‌گیری انجام شد. به این منظور ابتدا عوامل مؤثر در سیل‌گیری منطقه مشخص شد. سپس با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی هریک از این عوامل وزن‌دهی شدند. به‌طور کلی با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که:

Sabzevar Suburb with the aim of sustainable urban development. *Amayesh J.*, 5(16), 17-32. [In Persian].

Bowen, W. M., Klosterman, R., & Brail, R. (1993). AHP: Multiple criteria evaluation: Spreadsheet models for urban and regional analysis. New Brunswick, Center for Urban Policy Research, 333-356.

- Dağdeviren, M. (2008). Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. *J. Intell. Manuf.*, 19, 397-406. DOI: [10.1007/s10845-008-0091-7](https://doi.org/10.1007/s10845-008-0091-7)
- Daneshparvar, B., Rasi Nezami, S., Feizi, A., & Aghlmand, R. (2022). Comparison of results of flood hazard zoning using AHP and ANP methods in GIS environment: A case study in Ardabil province, Iran. *J. Appl. Res. Water Wastewater.*, 9(1), 1-7. DOI: [10.22126/arww.2022.6667.1218](https://doi.org/10.22126/arww.2022.6667.1218).
- Dung, N. B., Long, N. Q., Goyal, R., An, D. T., & Minh, D. T. (2022). The role of factors affecting flood hazard zoning using analytical hierarchy process: a review. *Earth Syst. Environ.*, 6(3), 697-713. DOI: [10.1007/s41748-021-00235-4](https://doi.org/10.1007/s41748-021-00235-4).
- Hamidi, N., Vafakhah, M., & Najafi, A. (2016). Development of urban flood hazard map for Nour city using analytical hierarchy process and fuzzy logic. *J. Watershed Manag. Res.*, 7(14), 11-19. DOI: [10.29252/jwmr.7.14.19](https://doi.org/10.29252/jwmr.7.14.19). [In Persian]
- Hassanzadeh, N. M., & Khajebafghi, H. (2016). Flood hazard zoning using multiple criteria decision analysis system (Case study: Sheytoor watershed in Bafgh). *J. Watershed Manag. Res.*, 7(14), 29-37 DOI: [10.29252/jwmr.7.14.37](https://doi.org/10.29252/jwmr.7.14.37). [In Persian]
- Hatami Nejad, H., Atashafrooz, N., & Arvin, M. (2017). Flood hazard zonation using multi-criteria analysis and GIS (case study: Izeh Township). *Disaster Prev. Manag. Know.*, 7(2), 44-57. [In Persian]
- Kazemi, A., Rezaei Moghaddam, M. H., Nikjoo, M. R., Hejazi, M. A., & Khezri, S. (2016). Zoning and management of the hazards of floodwater in the Siminehrood river using the HEC-RAS hydraulic model. *Environ. Manag. Hazard.*, 3(4), 379-393 DOI: [10.22059/jhsci.2016.62373](https://doi.org/10.22059/jhsci.2016.62373). [In Persian]
- Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2017). A national scale flood hazard mapping methodology: The case of Greece – Protection and adaptation policy approaches. *Sci. Total Environ.*, 601-602, 441-452. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.05.197](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.197).
- Mahmoodzadeh, H., Emami Kia, V., & Rasooli, A. A. (2015). Micro zonation of flood risk in Tabriz suburb with using analytical hierarchy. *Process. GeoRes.*, 30(116), 167-180. [In Persian].
- Mishra, K., & Sinha, R. (2020). Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi-criteria decision analysis: A hydro-geomorphic approach. *Geomorphol.*, 350, 1-19. DOI: [10.1016/j.geomorph.2019.106861](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106861).
- Pant, S., Kumar, A., Ram, M., Klochkov, Y., & Sharma, H. K. (2022). Consistency Indices in Analytic Hierarchy Process: A Review. *Math.*, 10(8), 1206. DOI: [10.3390/math10081206](https://doi.org/10.3390/math10081206).
- Rahmati, O., Zeinivand, H., & Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomat. Nat. Hazard. Risk.*, 7(3), 1000-1017. DOI: [10.1080/19475705.2015.1045043](https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1045043).
- Rostami, N., & Kazemi, Y. (2019). Flood hazard zoning in the Ilam city using AHP and GIS. *J. Spatial Anal. Environ. Hazard.*, 6(1), 179-192 [In Persian]. DOI: [10.29252/jsaeh.6.1.10](https://doi.org/10.29252/jsaeh.6.1.10).
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J. Math. Psychol.*, 15(3), 234-281. DOI: [10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5).
- Saaty, T. L. (1980). The Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York, McGraw Hill. 287 pp. ISBN: 9780070543713, 0070543712.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). How to make a decision. models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. International Series in Operations Research & Management Science., Springer, Boston, MA. 34, 1-25. DOI: [10.1007/978-1-4615-1665-1_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1_1).
- Sheikhalishahi, N., Akbarjamali, A., & Hasanzadeh, N. M. (2016). Flood mapping using hydraulic modeling of rivers (case study: Manshad watershed, Yazd Province). *Geogra. Space.*, 16(53), 77-96 [In Persian]
- Singha, C., Swain, K. C., Meliho, M., Abdo, H. G., Almohamad, H., & Al-Mutiry, M. (2022). Spatial analysis of flood hazard zoning map using novel hybrid machine learning technique in Assam, India. *Remote Sens.*, 14(24), 6229-6255. DOI: [10.3390/rs14246229](https://doi.org/10.3390/rs14246229).

- Thirumurugan, P., & Krishnaveni, M. (2019). Flood hazard mapping using geospatial techniques and satellite images—a case study of coastal district of Tamil Nadu. *Environ. Monit Assess.*, 191(3), 1-17. DOI: [10.1007/s10661-019-7327-1](https://doi.org/10.1007/s10661-019-7327-1).
- Toosi, A. S., Calbimonte, G. H., Nouri, H., & Alaghmand, S. (2019). River basin-scale flood hazard assessment using a modified multi-criteria decision analysis approach: A case study. *J. Hydrol.*, 574, 660-671. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2019.04.072](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.072).
- Ullah, K., & Zhang, J. (2020). GIS-based flood hazard mapping using relative frequency ratio method: A case study of Panjkora River Basin, eastern Hindu Kush, Pakistan. *PloS One*, 15(3), 1-18. DOI: [10.1371/journal.pone.0229153](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229153).
- Valizadeh Kamran, K., Delire Hasannia, R., & Azari Amghani, K. (2019). Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using unmanned aerial vehicles (UAV) images and GIS. *J. RS GIS Nat. Resour.*, 10(3), 59-75. DOI: [20.1001.1.26767082.1398.10.3.4.5](https://doi.org/20.1001.1.26767082.1398.10.3.4.5). [In Persian]