Hydrogeomorphology Vol. 10, Issue. 36 Fall 2023

Research Paper

Zoning of soil erosion potential using the MABAC method
Case study: Givi Chay watershed

Elnaz Piroozi [1], Aghil Madadi*[2]

DOI:10.22034/HYD.2023.56590.1694

Refference to this article: Piroozi, E; Madadi, M. (2023). Zoning of soil erosion potential using the MABAC method Case study: Givi Chay watershed. *Hydrogeomorphology*, 10(36): 73–93.

Keywords

Soil erosion, MABAC, Givi Chay, Ardabil province.

Receive Date: 2023/05/13

Accept Date: 2023/08/20

Available: 2023/10/30

A B S T R A C T

Soil erosion is one of the most important problems in the watersheds of Iran, which causes the loss of thousands of tons of arable soil every year. The aim of the present study is to zoning the risk of soil erosion in the Givi Chay watershed (northwestern Iran). In this study, first, the effective factors for erosion in the region were identified and then the information layers of each criterion were prepared in Geographic Information System (GIS). Valuation and standardization of layers were done using the fuzzy membership function and criteria weighting, using the critic method. Final analysis and modeling were performed using the Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC) method as one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods According to the results of the study, the factors of slope, land use, soil, and lithology respectively; With the values of 0.201, 0.188, 0.166 and 0.145, they had the highest weight coefficient. Also, the results of the study showed; 283.89 and 414.93 square kilometers, respectively, of the area, have a very high and high-risk potential, and very high-risk and high-risk areas in resistant and erodible formations, agricultural uses, and slopes of 40 -15% are located. It can be said that the results of this study indicate the high potential of the study area in terms of erosion occurrence and it is necessary to control erosion in areas with high erosion potential in the framework of conservation plans to preserve natural areas. It should be on the agenda of specialists and managers. In addition, the validation of the results showed that according to the values of erosion density (SCIA) obtained (0.81 in high-risk areas and 0.99 in high-risk areas), the use of the MABAC method is highly accurate for studying There is a risk of soil erosion.

-This article is derived from the research project under the contract number 401/108 from the funds of the Research and Technology Vice-Chancellor of Mohaghegh Ardabili University.

*** Corresponding Author: Aghil Madadi**
E-mail: aghil48madadi@yahoo.com

1. PhD of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Professor of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Extended Abstract

Introduction

Soil is the most important but most vulnerable natural resource in the world (Lal, 2001:520). Erosion is a factor that endangers the existence of soil and has always been one of the most important problems of watersheds in the world (Molla and Sisheber, 2017:14). The Givi Chai watershed is not an exception to this rule, and therefore, the purpose of this research; Zoning of soil erosion potential in this basin

Methodology

The present research is of applied type and its research method is analytical based on the combination of data analysis, GIS and the use of multi-criteria analysis techniques. ENVI (The Environment for Visualizing Images), Ecognition Developer, Arc GIS, Idrisi and Excel soft wares have been used for image processing and data analysis. In order to investigate the factors affecting erosion, in the data collection stage, the influential components must first be identified and based on them, the required data and information must be collected and classified. For this purpose, in this study, first the influential factors in soil erosion (including: slope, lithology, land use, soil, precipitation, distance from the communication road, distance from the waterway and distance from the fault), according to the natural and human conditions of the region were identified. In the next step, information layers related to each factor were prepared in the GIS environment. Valuation and standardization of layers was done using fuzzy membership function and criteria weighting, using critic method. Final analysis and modeling was performed using the Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC) method as one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods.

Results and Discussion

The results of the study showed, slope factors, land use, soil and lithology; With values of 0.201, 0.188, 0.166 and 0.145, respectively, had the highest weight coefficient and considering the role and importance of each of the factors involved in soil erosion. Using the maps of each of the criteria and applying the weights obtained from the cortical weighting and applying other steps of the model, the erosion zoning map was obtained in 5 very high to very low risk classes. According to the results, 283.89 square kilometers of the area is in the high-risk category and 414.93 square kilometers in the high-risk category. Also, 430.74 square kilometers of the area have a moderate risk and 416.85 and 267.59 square kilometers have a very low and low risk, respectively.

The results of the study of pixels show the conformity of these standardized scores with the actual values recorded from the criteria obtained according to the digital maps, and significantly contribute to a more tangible understanding of the result. And confirms the accuracy of the output of the present study. The result of validating the model using the SCAI index, also shows that the prepared map is relatively valid. This is because the SCAI index in the high-sensitivity and high-sensitivity class has a low value, while the value of the SCAI index in the very low-sensitivity and high-sensitivity class is high

Conclusions

Considering the natural conditions of the region, field surveys and data collection and integration using the Mabac model in the Givi Chay watershed, we concluded that there are factors such as; Sensitive and erodible formations, which are mainly loose Quaternary formations, high altitude and mountainous of the basin, high slope, good rainfall and abundance of waterway network, unprincipled use of pastures, destruction of vegetation due to conversion of rangeland to agricultural land, dry farm cultivation in Sloping lands (including dry farm cereals in sloping lands and especially cultivation on slopes above 20% and even on debris), crossing

the canal to irrigate agricultural lands and gardens, non-observance of crop rotation and Unprincipled construction of roads; The most important factors involved in soil erosion are in the Givi Chay watershed.

References

Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion, *Land Degrad Dev*, 12, 519–539.

Molla, T., & Sisheber, B. (2017). Estimating soil erosion risk and evaluating erosion control measures for soil conservation planning at Koga watershed in the highlands of Ethiopia, *Solid Earth*, 8, 13–25.

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک با استفاده از روش MABAC مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز گیوی‌چای

الناز پیروزی[۱]، عقیل مددی*[۲]

DOI:10.22034/HYD.2023.56590.1694

ارجاع به این مقاله: پیروزی، الناز؛ مددی، عقیل (۱۴۰۲). پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک با استفاده از روش MABAC مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز گیوی‌چای. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۰ (۳۶): ۹۳–۳-۷.

کلیدواژه‌ها

فرسایش خاک، MABAC، گیوی‌چای، استان اردبیل.

چکیده

فرسایش خاک یکی از معضلات مهّم در حوضه‌های آبریز کشور ایران می‌باشد که هر ساله موجب هدر رفتن هزاران تن خاک می‌شود. حوضه آبریز گیوی‌چای نیز، از این قاعده مستثنی نمی‌باشد و لذا، هدف تحقیق حاضر؛ پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک در این حوضهٔ آبریز، می‌باشد. در این مطالعه ابتدا، عوامل مؤثر جهت فرسایش در منطقه شناسایی شدند و سپس لایه‌های اطلاعاتی هر معیار، در GIS تهیه گردید. ارزش-گذاری و استانداردسازی لایه‌ها با استفاده از تابع عضویت فازی و وزن‌دهی معیارها، با استفاده از روش کرتیک انجام گردید. تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش MABAC به عنوان یکی از روش‌های تصمیم-گیری چند معیاره، انجام شد. طبق نتایج حاصل از مطالعه، عوامل شیب، کاربری‌اراضی، خاک و لیتولوژی به ترتیب؛ با مقادیر ۰/۲۰۱، ۰/۱۸۸، ۰/۱۶۶ و ۰/۱۴۵، بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند. همچنین، نتایج مطالعه نشان داد؛ به ترتیب ۲۸۳/۸۹ و ۴۱۴/۹۳ کیلومترمربع از مساحت محدوده، دارای پتانسیل خطر بسیار زیاد و زیاد، می‌باشد و مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در سازندهایی نامقاوم و فرسایش‌پذیر، کاربری‌های زراعی و شیب‌های ۴۰-۱۵ درصد قرار دارند. می‌توان گفت که نتایج حاصل از این مطالعه، حاکی از توان بالای حوضهٔ مطالعاتی از لحاظ رخداد فرسایش می‌باشد و لازم است تا جهت حفظ عرصه‌های طبیعی، کنترل فرسایش در مناطق با پتانسیل فرسایشی بالا، در چارچوب طرح‌های حفاظتی در دستور کار متخصصین و مدیران قرار گیرد. به علاوه، صحت‌سنجی نتایج، نشان داد که با نظر به مقادیر تراکم فرسایش (SCIA) به دست آمده (۰/۸۱ در مناطق بسیار پرخطر و ۰/۹۹ در مناطق پرخطر)، استفاده از روش MABAC، از دقت بالایی جهت مطالعهٔ خطر فرسایش خاک برخوردار است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸

- این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی به شماره قرارداد (۴۰۱/۱۰۸) از محل اعتبارات معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی می باشد.

* نویسنده مسئول:عقیل مددی
رایانامه: aghil48madadi@yahoo.com

۱- دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲- استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۱- مقدمه

خاک منبع طبیعی گرانبها است و در عملکرد اکوسیستم نقش کلیدی ایفا می‌کند (مرادی و همکاران ،۱۴۰۲: ۲۴۹). فرسایش عاملی است که موجودیت خاک را به خطر می‌اندازد و همیشه یکی از مهم‌ترین مشکلات حوضه‌های آبریز در جهان بوده است. می‌توان فرسایش خاک را یکی از بزرگ‌ترین موانع برای دستیابی به توسعه پایدار در کشاورزی و استفاده از منابع طبیعی دانست (مولا وسیسبر[۱]،۲۰۱۷: ۱۴؛ سینگ و پندا[۲]،۲۰۱۷: ۲۰۲). فرسایش خاک فرآیندی است که در آن ذرات خاک، سنگ‌دانه‌ها و قطعات سنگی جدا شده و توسط آب انتقال می‌یابند و سپس در مناطق جدید قرار می‌گیرند (مسلینک و همکاران [۳]،۲۰۱۷: ۳). این امر باعث تخریب شدید زمین می‌شود و بر باروری خاک، بهره‌وری کشاورزی، کیفیت آب و اکوسیستم‌ها و محیط‌های منطقه‌ای تأثیر می‌گذارد (آئیلو[۴]،۲۰۱۵: ۱۷۵). پدیده‌ی فرسایش و آثار سوء آن شاید در کوتاه‌مدت چندان چشم‌گیر نباشد، ولی در بلند مدت بسیار محسوس است. در صورت عدم اقدام، خسارات عظیم و جبران‌ناپذیری به همراه خواهد داشت (اوزشاهین و ایراغلو و همکاران [۵]،۲۰۱۹: ۳). لذا، ارزیابی فرسایش خاک و شناسایی اراضی مستعد فرسایش، جهت فرآیند مدیریت فرسایش بسیار ضروری است (پاندیساران[۶]،۲۰۱۹: ۲) و اگر پهنه‌بندی حوضه‌ها از لحاظ فرسایش صورت نگیرد، منابع مالی بسیاری به هدر خواهد رفت (آرمین و همکاران،۱۳۹۹: ۴۲).

از یک سو، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ابزاری مؤثر برای سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری تعاملی برای عملیات مدیریت ریسک محسوب می‌گردد (بوخیر و همکاران[۷]،۲۰۰۶: ۳۴۸) و در سال‌های اخیر، جهت مطالعه پدیدهٔ فرسایش خاک نیز، مورد استفاده فراوان قرار گرفته است (کادم و همکاران[۸]،۲۰۱۹: ۹۸۷). از سوی دیگر، از آن‌جایی که مدل‌های مبتنی بر معادله جهانی فرسایش، موفق به در نظر گرفتن وابستگی متقابل عوامل موثر بر فرسایش خاک نمی‌باشند (نیکی و همکاران[۹]،۲۰۰۹: ۳۰۹۱)، برای کشف طیف وسیعی از گزینه‌ها از نظر درگیری‌های عینی و معیارهای چندگانه (همانند موضوع فرسایش)، از روش MCDM [۱۰] استفاده می‌شود (آهر و همکاران[۱۱]،۲۰۱۳: ۱۳). لذا می‌توان گفت، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با یک رویکرد تلفیقی، می‌تواند باعث تسریع در روند برنامه‌ریزی در تشخیص موارد بحرانی و اضطراری شده و منجر به صدور نتایج مناسبی گردد. می‌توان اذعان داشت که مطالعات متعددی در نقاط مختلف جهان، در زمینه ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش با استفاده از روش‌های متنوع تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، انجام شده و توانایی این روش‌ها، در ارائهٔ چارچوب قاعده‌مند، در تعیین و پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش تأیید شده است. از جملهٔ این مطالعات، می‌توان به؛ موسی‌بیگ و همکاران (۱۳۹۸)، برآورد و پهنه‌بندی فرسایش خاک در حوضه قلعه چای با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای و GIS، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۸)، بررسی اثرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک با الگوریتم WLC در حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای، وحیدی و همکاران (۱۳۹۹)، تحلیل و رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مناطق روستایی شهرستان درمیان خراسان جنوبی، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۰)، بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز گیوی‌چای و تأثیر آن بر فرسایش با استفاده از سنجش از دور، GIS و روش ترکیب خطی وزنی، هنرمندنژاد و پورقاسمی (۱۴۰۰)، شناسایی مهم‌ترین عوامل موثر بر فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌های آبریز قره آغاج با استفاده ازمدل تاپسیس، باقری و همکاران (۱۴۰۱)، اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبریز رود زرد استان خوزستان از نظر حساسیت به فرسایش خاک با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS، VIKOR وSAW، جوکار سرهنگی و همکاران (۱۴۰۱)، ارزیابی و اولویت‌بندی حساسیت فرسایش آبکندی با استفاده از مدل‌های تراکم سطح و تاپسیس در حوضه آبخیز چنارلی استان گلستان، مددی و همکاران (۱۴۰۱)، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر فرسایش خاک در حوضه بالادست سد یامچی اردبیل، با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری چند معیاره ARAS، عرب‌عامری و همکاران [۱۲](۲۰۱۸)، اولویت‌بندی فرسایش‌پذیری در زیرحوضه‌های مربوط

[1]- Molla and Sisheber
[2]- Singh and Panda
[3]- Masselink et al
[4]- Aiello
[5]- Ozsahin and Eroglu
[6]- Panditharathne
[7]- Boukheir et al
[8]- Kadam et al
[9]- Nekhay et al
[10]- Multi-criteria decision making
[11]- Aher et al
[12]- Arabameri et al

به حوضهٔ آبریز قائمشهر، با استفاده از تحلیل پارامترهای مورفومتریک و مقایسه مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS، VIKOR، SAW و CF، ساها و همکاران[1] (۲۰۱۹)، شناسایی مناطق مستعد فرسایش خاک با استفاده از منطق فازی و مدل‌سازی فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی در حوضه آبریز کشاورزی منطقه بردوان هند، اندوعالم و همکاران[2] (۲۰۲۰)، شناسایی مناطق مستعد فرسایش خاک با استفاده از تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره در ارتفاعات اتیوپی، اسلام و همکاران[3] (۲۰۲۱)، بررسی حساسیت فرسایش خاک با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره AHP مبتنی بر GIS در ناحیه چیترال پاکستان، کارترایت و همکاران[4] (۲۰۲۲)، استفاده از تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره با هدف تهیه نقشه پتانسیل فرسایش در حوضه آبریز خلیج مکزیک، عباسی و همکاران[5] (۲۰۲۳)، تهیه نقشه شدت فرسایش خاک حوضه آبریز رودخانه صفارود شمال ایران با بهره‌گیری از تکنیک چند معیاره AHP، اشاره کرد.

فرسایش خاک در ایران نیز بسیار شدید است و سالیانه فرسایش در ایران به هدر رفت بیش از دو میلیارد تن خاک منجر می‌شود (پروین، ۱۴۰۲: ۱۹۱). فرسایش خاک در ایران به طور متوسط، سه برابر بیشتر از سایر کشورهای آسیایی و ۲۲ برابر میانگین جهانی است (مزبانی و همکاران، ۱۴۰۰:۴۲). حوضه‌ی گیوی‌چای از حوضه‌های شمال غرب ایران، واقع در جنوب استان اردبیل، می‌باشد که وجود اراضی کوهستانی و پرشیب در این حوضه، باعث شکل‌گیری مورفوژنز فعال این حوضه شده و زمینه ایجاد انواع فرسایش، در سطح آن موجود می‌باشد. به علاوه، بخش اعظمی از مساحت حوضه، اغلب کاربری اراضی به صورت زمین‌های کشاورزی، باغات و مراتع می‌باشد و به دلیل استفاده غیراصولی و بی‌رویه از اراضی (به ویژه زراعی)، میزان فرسایش حوضه زیاد می‌باشد. به همین علّت، این حوضه، از مقادیر زیاد بار معلق رسوبی برخوردار است و این فرآیند در کنار وقوع طغیان‌های رودخانه، باعث کاهش عمر مفید سد گیوی و کانال‌های واقع بر روی این رودخانه می‌گردد. بنابراین مطالعه عوامل مؤثر در وقوع فرسایش و پهنه‌بندی سطح حوضه از لحاظ پتانسیل وقوع، جهت شناخت و معرفی نواحی پرخطر، ارائه راه حل‌ها و شیوه‌های مناسب جهت مهار و کنترل فرسایش، ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس، پژوهش حاضر با استفادهٔ تلفیقی از روش تحلیل چند معیارهٔ MABAC[6] و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، به دنبال بررسی پتانسیل فرسایش-پذیری خاک حوضه گیوی‌چای، می‌باشد. به علاوه، شایان ذکر می‌باشد که، تاکنون خطر فرسایش در حوضه گیوی‌چای با استفاده از روش تحلیل چند معیاره ماباک، مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا استفاده از روش ماباک در پژوهش حاضر دارای اهمیت فراوانی می‌باشد و نتایج حاصل از این پژوهش، از یک سو، با شناسایی مناطق اولویت‌دار از نظر خطر فرسایش در حوضه گیوی‌چای، به اقدامات لازم جهت کنترل فرسایش حوضه، برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهینه از خاک و استراتژی‌های مدیریت پایدار زمین در این حوضه کمک می‌نماید و از سوی دیگر، با معرفی روش تحلیل چند معیاره ماباک، به منظور مطالعه خطر فرسایش، در امر انتخاب روش مناسب بررسی و پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوضه‌هایی با شرایط طبیعی و انسانی مشابه با محدوده حوضه گیوی‌چای، می تواند بسیار مفید بوده و مورد توجه پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای پتانسیل‌سنجی فرسایش خاک، قرار گیرد.

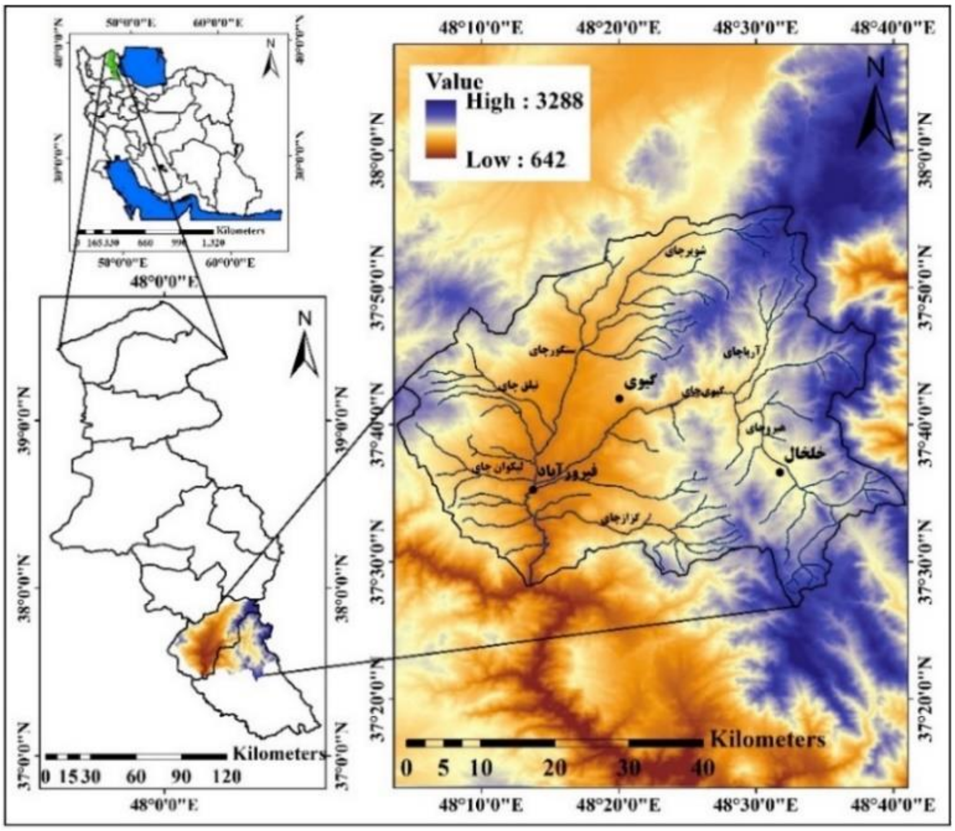
۲- مواد و روش

۲-۱- معرفی حوضهٔ آبریز مورد مطالعه

حوضهٔ آبریز گیوی‌چای با مساحت ۱۸۱۴ کیلومتر مربع، از زیر حوضه‌های آبریز سفیدرود می‌باشد که در مختصات ۴۸ درجه و ۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه و ۱۲ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۶ دقیقه و ۳ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۵۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض شمالی، در جنوب استان اردبیل و در محدوده شهرستان‌های خلخال و گیوی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه از شمال به حوضه‌ی آبریز قره‌سو و ارتفاعات ترکا، پیله، چاله مرز و گنداب، از غرب به حوضهٔ آبریز رودخانه قرنقو و از شرق به حوضه آبریز رودخانه‌های آق‌اولر،

1- Saha et al
2- Andualem et al
3- Aslam et al
4- Cartwright et al
5- Abbasi et al
6- Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison

ناورود و رشته کوه‌های تالش و از جنوب به حوضه‌ی آبریز پایاب رودخانهٔ قزل‌اوزن محدود می‌شود. حوضه‌ی آبریز گیوی‌چای از رودخانه‌های اصلی به نام‌های هروچای، آرپاچای و گیوی‌چای، تشکیل شده است. هروچای از ارتفاعات جنوب شهر خلخال سرچشمه می‌گیرد و به‌سوی شمال جاری است. آرپاچای تقریباً در همان امتداد، ولی درجهت مخالف از شمال به جنوب جریان دارد. هر دو رودخانه در پایین دست به هم متصل می‌شوند و به سمت غرب منحرف شده و ارتفاعات ما بین خلخال و گیوی را با دره‌ای باریک و عمیق بریده و به شهر گیوی می‌رسد. در این منطقه این رود به نام گیوی‌چای معروف است. روخانه‌های اصلی، پس از دریافت جریان رودخانه‌های فرعی سنگورچای، نیلق‌چای و گزاز، به رودخانه قزل‌اوزن تخلیه می‌گردد. متوسط ارتفاع حوضه آبریز گیوی‌چای ۱۹۳۸متر از سطح آزاد دریاها، می‌باشد. حداقل ارتفاع حوضه ۸۷۰ متر در محل الحاق گیوی چای به رودخانه قزل‌اوزن و حداکثر ارتفاع آن ۳۰۰۵ متر در ارتفاعات شمال شرق و شمال حوضه می‌باشد. با توجه به طبقه‌بندی دومارتن حوضه گیوی‌چای از نوع اقلیم نیمه‌خشک و طبق گروه‌بندی اقلیمی سلیانینوف دارای اقلیم نیمه‌خشک خفیف است و با در نظر گرفتن، نمودار آمبروترمیک محدوده مطالعاتی از نوع اقلیم نیمه مرطوب محسوب می‌گردد. از نظر زمین‌ساختی منطقهٔ مورد مطالعه در پهنهٔ زمین‌ساختی البرز غربی -آذربایجان قرار دارد.



شکل (۱): نقشه موقعیت حوضه گیوی‌چای در کشور ایران و استان اردبیل

Fig (1): Location map of Givi Chay watershed in Iran and Ardabil Province

۲-۲- منابع داده ها و ابزارها

پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و روش تحقیق آن تحلیلی مبتنی بر تلفیق آنالیز داده‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از فنون تحلیل چند معیاره است. جهت پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم افزارهای ENVI, Ecognition, Arc GIS، Idrisi وExcel، بهره‌گیری شده است. فرآیندهای فرسایش به متغیرهای اقلیمی و زمین‌محیطی مختلف، بستگی دارد. به جهت بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش، در مرحله جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا باید مؤلفه‌های تأثیرگذار مشخص شده و بر مبنای آن‌ها داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز گردآوری و طبقه‌بندی شوند. بدین منظور، در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر در فرسایش خاک (شامل: شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، خاک، بارش، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه و فاصله از گسل)، با بررسی‌های میدانی (توجه به شرایط طبیعی و

انسانی منطقه)، مطالعه منابع؛ از کانال‌هایی چون مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، بررسی ادبیات موضوع و پیمایش نظرات و عقاید افراد صاحب نظر، شناسایی گردید. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. نقشه مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک (۱۲/۵×۱۲/۵ متر) از سایت دانشگاه آلاسکا دریافت و محدوده مورد مطالعه استخراج شد و لایه‌های شیب نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از دستور Slope در Arc map تهیه شد. نقشهٔ راه‌های ارتباطی از شیپ فایل خطوط ارتباطی استان اردبیل، استخراج گردید. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها) و گسل‌ها، با رقومی‌سازی از روی نقشه زمین‌شناسی برگهٔ گیوی، خلخال-رضوانشهر و ماسوله؛ با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. کاربری اراضی محدودهٔ مورد مطالعه، با استفاده از تصاویر لندست هشت (سنجنده OLI)، به شماره گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۳، ، تاریخ ۲۰۲۱/۸/۱۴، اخذ شده از سایت (earthexplorer.usgs.gov)، استخراج شد. سپس طبقه‌بندی با روش شیءگرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی در نرم‌افزار Ecognition، صورت گرفت در تحقیق حاضر برای قطعه‌بندی از روش قطعه‌بندی چند مقیاسه استفاده شد. قبل از انجام طبقه‌بندی به روش شی‌گرا لازم است قطعه‌بندی تصویر صورت گیرد. برای این منظور با تجزیه و تحلیل، مقیاس ۸۹ و شکل ۰/۶ و ضریب فشرگی ۰/۴ برای قطعه‌بندی انتخاب شد و نتایج حاصله از طبقه بندی کاربری‌ها در مطالعه‌ی حاضر، چه ازنظر تک‌تک کاربری‌ها و چه ازنظر مجموع صحت و آمار کاپا، از صحت قابل قبولی (بزرگ‌تر از ۸۵ درصد)، در ارتباط با اطلاعات تولیدشده برخوردار می‌باشد. جهت تهیه نقشه خاک نیز از نقشه خاک استان اردبیل با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، استفاده شده است. نقشه بارش حوضه نیز، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی (گیوی‌علیا، قره قشلاق، هواشانق، خانقاه سادات، کورائیم، میان‌رودان، آرپاچای،برندق، هل‌آباد، هشتجین، مجره و خلخال)، در طی بازهٔ زمانی ۲۰۲۰- ۲۰۰۰ و با استفاده از روش از معادله گرادیان بارش (P:0.11104H+193.24)، ترسیم شد. بدین‌-صورت‌که در نرم افزار Arc map، با استفاده از دستور Raster Calculator، نقشه طبقات ارتفاعی جایگزین مولفه H شده و سپس نقشه بارش استخراج گردید.

۲-۳- مراحل تهیه نقشه خطر فرسایش با روش ماباک

۱- تعیین معیارها و گزینه‌های پژوهش: اولین گام در این روش تعیین عوامل و گزینه‌های پژوهش است.

۲- تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم در این روش به صورت معیار-گزینه است. یعنی یک ماتریس که ستون‌های آن را معیارهای مساله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند (رابطه ۱).

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_{1\,1} & x_{1\,2} \ \dots & x_{1\,n} \\ x_{2\,1} & x_{2\,2} \ \dots & x_{2\,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m\,1} & x_{m\,2} & x_{m\,n} \end{bmatrix} \tag{۱}$$

۳- استانداردسازی یا بی‌مقیاس‌کردن ماتریس تصمیم: استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان‌کردن دامنهٔ تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنهٔ مشخّص دیگر است. در این مرحله، سعی می‌شود معیارها با ابعاد مختلف به معیارهایی بی‌بعد تبدیل شوند و درایه‌های ماتریس تصمیم نرمال با nij نمایش داده می‌شود (رابطه ۲). در این پژوهش، از روش فازی و تابع عضویت خطی و سیگموئیدال، جهت استانداردسازی استفاده شده است. در حالت سیگموئیدال، حالت تغییرات به صورت منحنی‌های خم‌دار و تدریجی است و در حالت لاینر، تغییرات به صورت ناگهانی می‌باشد. به منظور استاندارسازی معیار شیب از روش Sigmoidal و جهت استانداردسازی معیارهایی مانند؛ فاصله از گسل، از روش linear استفاده شده است. در مجموعه‌های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حدّاکثر عضویّت و کمترین ارزش یعنی صفر به حدّاقل عضویّت در مجموعه تعلّق می‌گیرد (حسینی و همکاران[1]،۲۰۱۹: ۱۳).

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} n_{1\,1} & n_{1\,2} \ \dots & n_{1\,n} \\ n_{2\,1} & n_{2\,2} \ \dots & n_{2\,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ n_{m\,1} & n_{m\,2} & n_{m\,n} \end{bmatrix} \tag{۲}$$

1- Hoseini et al

۴- وزن دار کردن ماتریس نرمال: در این گام با استفاده از رابطه ۳، ماتریس نرمال را وزن‌دار می کنیم

$$V_{ij} = W_j * (nij + 1) \tag{۳}$$

که در این رابطه، W وزن معیارها می‌باشد که در آن n_{ij} عناصر ماتریس نرمال شده (N) و w_i ضرایب وزنی معیار را نشان می‌دهد. در این مطالعه از روش CRITIC جهت وزن‌دهی معیارها استفاده شده است که توسط دیاکولایی و همکاران[۱] (۱۹۹۵)، پیشنهاد شده است. در این روش، داده‌ها بر اساس میزان تداخل و تضادّ موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این روش، پس از محاسبهٔ انحراف معیار هر یک از عوامل مورد بررسی، ماتریس متقارنی به ابعاد m×m ایجاد می‌گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل‌شده است (علی‌نژاد و خلیلی[۲]، ۱۹۹:۲۰۱۹). با تعیین پارامترهای بالا، تضادّ موجود بین معیار j با معیارهای دیگر با استفاده از رابطهٔ ۴ محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{Cjk} = \sum_{k=1}^{m}(1 - \mathrm{rjk}) \tag{۴}$$

که در آن Cjk معرّف مجموع تضادّ معیار j با معیارهای k است که از k =1 شروع شده و تا k =m ادامه دارد و rjk، همبستگی بین دو معیار k و j را نشان می‌دهد. میزان اطّلاعات عامل j را می‌توان با استفاده از رابطهٔ ۵ محاسبه نمود.

$$\mathrm{Cj} = \delta \mathrm{j} \sum_{k=1}^{m}(1 - \mathrm{rjk}) \tag{۵}$$

که در آن Cj، معرّف میزان اطّلاعات معیار j و انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار j را نشان می‌دهد. با توجّه به روابط یادشده، معیارهایی که دارای Cj بیشتری باشند، وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عامل مانند j از رابطهٔ ۶ تعیین می‌گردد.

$$\mathrm{Wj} = \frac{\mathrm{Cj}}{\sum_{k=1}^{m} \mathrm{C_k}} \tag{۶}$$

که در آن Wj معرّف وزن معیار j و Ck نشانگر میزان اطّلاعات مجموع معیارهای k است که از k =1 شروع شده و تا k = m ادامه دارد. در راستای انجام مراحل وزن‌دهی کرتیک ابتدا در محیط ادریسی انحراف معیار و همبستگی میان لایه‌های اطلاعاتی مربوطه به هر یک از عوامل، با استفاده از تابع REGRESS به دست آمد و در مرحله بعد، با توجه به روابط مربوطه نسبت به محاسبه ماتریس تضاد، میزان اطلاعات و وزن نهایی در اکسل اقدام گردید.

۵- تعیین مرز ناحیه شباهت ماتریس (g): در این مرحله با استفاده از رابطه ۷، برای هر معیار یک مرز ناحیه شباهت مشخص می‌شود. در واقع باید از امتیازات هر معیار میانگین هندسی گرفته شود تا مرز ناحیه شباهت بدست آید.

$$g_i = \Pi\left(V_{ij}\right) \tag{۷}$$

بنابراین اگر n معیار داشته باشید یک ماتریس G1×n به صورت زیر خواهیم داشت (رابطه ۸):

$$G = [g1. g2. \dots . gn] \tag{۸}$$

۶- محاسبه فاصله گزینه‌ها تا مرز ناحیه شباهت: در این بخش با استفاده از رابطه ۹، فاصله گزینه‌ها را تا ناحیه g بدست می‌آید. در واقع باید ماتریس وزن‌دار را از ماتریس g کم کرد.

$$Q = V - G \tag{۹}$$

پس از مشخص شدن ماتریس Q، می‌توان با استفاده از حد بالایی مساحت (+G) و حد پایین مساحت (-G) وضعیت هرگزینه را مشخص کرد. بر این اساس گزینه Ai متعلق به اجتماع مجموعه مذکور است. حد بالای مساحت (+G) ناحیه‌ای است که گزینه ایده آل مثبت در آن قرار دارد و حد پایین مساحت (-G) ناحیه‌ای است که گزینه ضد ایده‌آل در آن قرار دارد. میزان تعلق گزینه Ai به اجتماع بالا بر اساس رابطه ۱۰، بدست می‌آید. بر اساس منطق روش ماباک، برای این که گزینه ای بهتر از بقیه باشد، باید در منطقه بالای تخمین قرار بگیرد.

---

[1]- Diakoulaki et al

[2]- Alinezhad and Khalili

$$A_i \in \begin{cases} G^+ & if \quad q_{ij} > 0 \\ G^- & if \quad q_{ij} = 0 \\ G^- & if \quad q_{ij} < 0 \end{cases} \qquad (۱۰)$$

برای انتخاب گزینه Ai به عنوان بهترین فرم، لازم است حداکثر معیارهای ممکن به منطقه تقریبی فوقانی (G+) تعلق داشته باشد. مقدار بالاتر qi∈G+ نشان می‌دهد که گزینه جایگزین به گزینه ایده آل نزدیک‌تر است، در حالی که مقدار پایین تر qi∈G− نشان می‌دهد که گزینه جایگزین، به گزینه ضد ایده آل نزدیک‌تر است.

۷- انتخاب گزینه بهینه: در روش ماباک (MABAC)، با استفاده از رابطه ۱۱، امتیاز نهایی هر گزینه را مشخص کرده و بر اساس آن گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

$$S_i = \Sigma(qij); i = 1.2 \dots . n; j = 1.2. \dots m \qquad (۱۱)$$

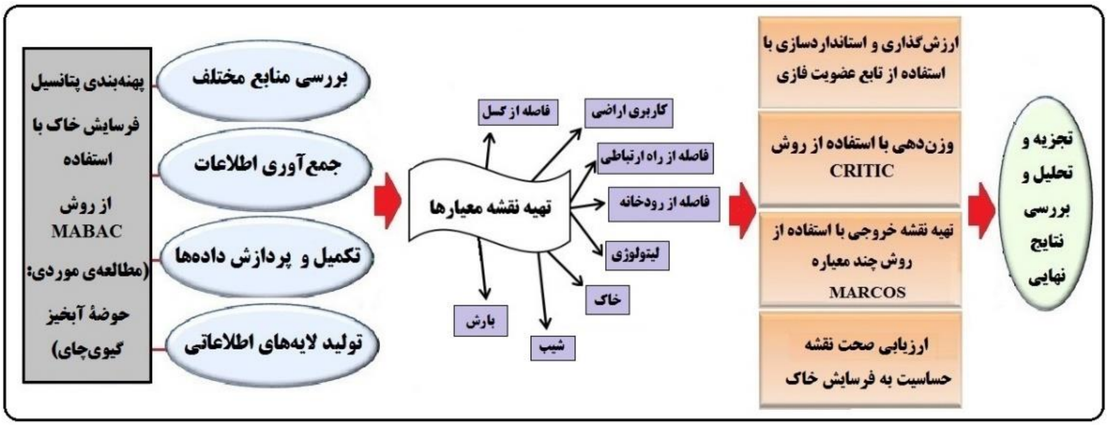
محاسبه مقادیر توابع معیار، توسط گزینه‌ها به عنوان مجموع فاصله‌های جایگزین از مناطق تقریبی مرزی qi بدست می‌آید. با جمع کردن عناصر ماتریس Q در هر سطر، مقادیر نهایی تابع معیار گزینه‌ها بدست می‌آید. در این رابطه n تعداد معیارها را نشان می‌دهد و m تعداد گزینه است (علی‌نژاد و خلیلی[1]، ۲۰۱۹: ۲۱۱).

۲-۴- ارزیابی صحت نقشه حساسیت به فرسایش خاک

به منظور ارزیابی صحت نقشه حساسیت به فرسایش خاک از شاخص SCAI ، (رابطه ۱۲)، استفاده شد.

$$SCAI = \frac{\text{مساحت کلاس‌های حساس به فرسایش \%}}{\text{میزان فرسایش مشاهده شده در هر کلاس \%}} \qquad (۱۲)$$

انتظار می‌رود که در طبقات با حساسیت بالا و بسیار بالا، مقدار این شاخص بسیار کم و در طبقات با حساسیت کم و خیلی کم، مقدار آن بیشتر باشد (عرب‌عامری و همکاران[2]، ۲۰۲۰: ۱۲). به این منظور طی انجام عملیات میدانی به صورت تصادفی ۲۶ نقطه از حوضه، از لحاظ میزان فرسایش خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. به علاوه در مطالعه حاضر جهت تأیید نتایج حاصله، تعدادی پیکسل از نواحی بسیار پرخطر معرفی شده به صورت تصادفی انتخاب شد و وضعیت آن‌ها، از لحاظ کلیه‌ی معیارها، مورد بررسی قرار گرفت. فلوچارت مربوط به فرآیند پژوهش، در شکل ۲، نمایش داده شده است.



شکل (۲): فلوچارت مربوط به فرآیند تحقیق

Fig (2): Flowchart related to the research process

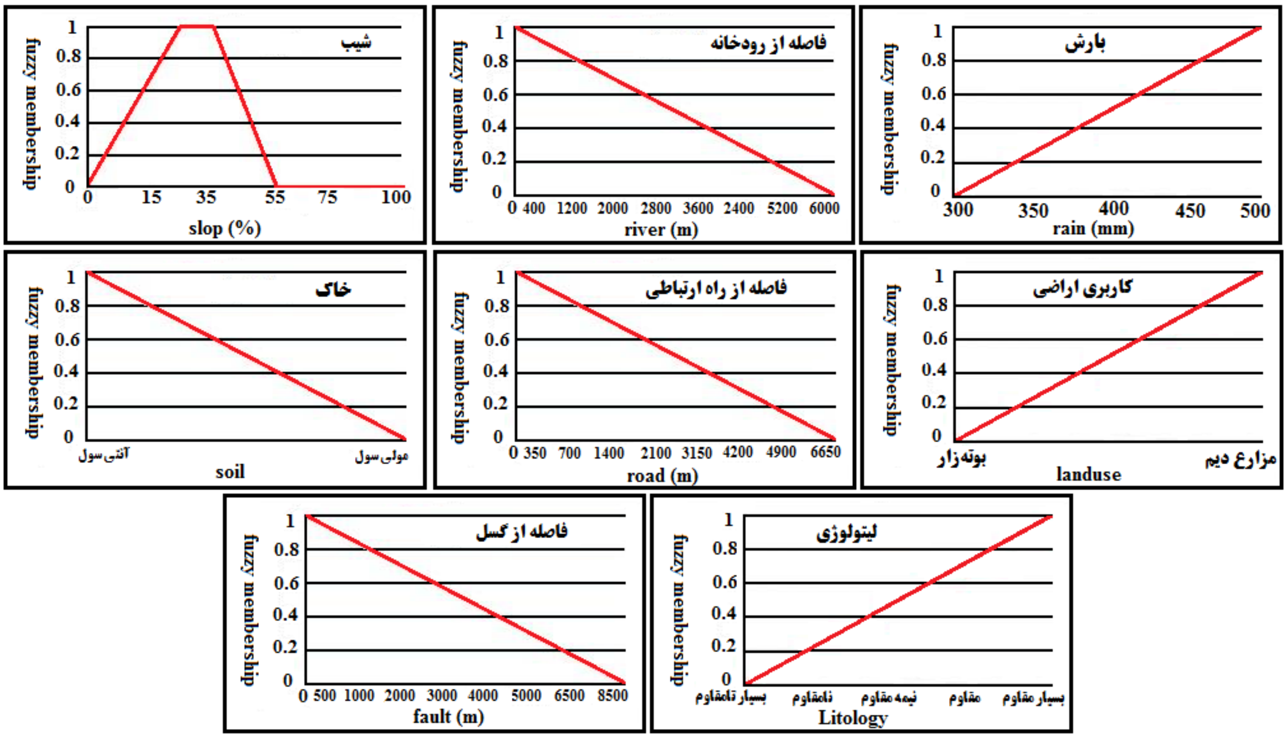
[1]- Wang et al

[2]- Arabameri et al

۳- یافته ها و بحث

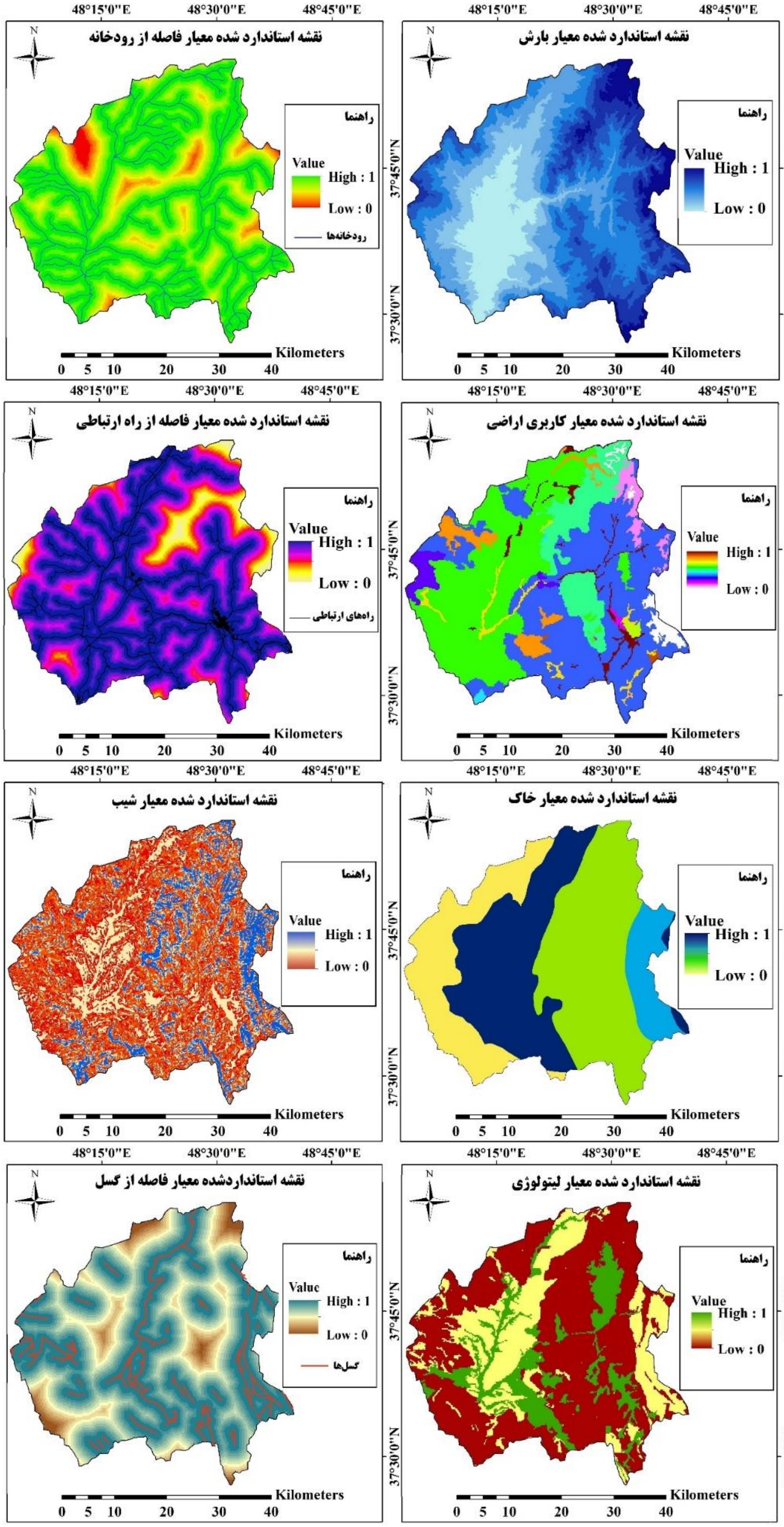
۳-۱- پهنه‌بندی خطر فرسایش

جهت دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی خطر فرسایش خاک در حوضهٔ گیوی‌چای، ارزش‌گذاری با استفاده از توابع فازی انجام گردید. در معیارهای فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از راه‌های ارتباطی، از تابع خطی و روند کاهشی استفاده شده است. بدین صورت که هر چه از رودخانه، گسل و راهها دورتر شویم، میزان پتانسیل فرسایش خاک کاهش می‌یابد. در معیارهای بارش، روند افزایشی مورد استفاده قرار گرفت و بدین با افزایش بارش مقدار پتانسیل فرسایش خاک افزایش می‌یابد. در مورد معیار شیب، به مقدار شیب بین ۱۵ تا ۵۵ بیشترین ارزش داده شد و با کاهش و افزایش شیب از این مقدار، ارزش فازی هم کاسته می‌شود. از لحاظ لیتولوژی، سازندهای آتشفشانی و آذرین (با مقاومت بسیار زیاد)، ارزش کم فازی را دریافت کردند و به ترتیب با کاهش مقاومت سازندها، ارزش فازی اختصاص داده شده، افزایش داده شد. از لحاظ معیار خاک، بیش‌ترین ارزش فازی، به خاک‌های آنتی‌سول داده شد. در معیار کاربری اراضی نیز، اراضی زراعی و بوته‌زار، به ترتیب بیشترین و کم‌ترین ارزش را دریافت کردند. شکل ۳، توابع عضویت فازی و شکل ۴، نقشه استاندارد شدهٔ معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه گیوی‌چای را نشان می‌دهد.



شکل (۳): توابع عضویت فازی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش حوضه گیوی‌چای

Fig (3): Fuzzy membership functions criteria for erosion zoning in the Givi Chay watershed



شکل (۴): نقشه استاندارد شده معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه گیوی‌چای

Fig (4): Standardized map of criteria in soil erosion zoning of Givi Chay watershed

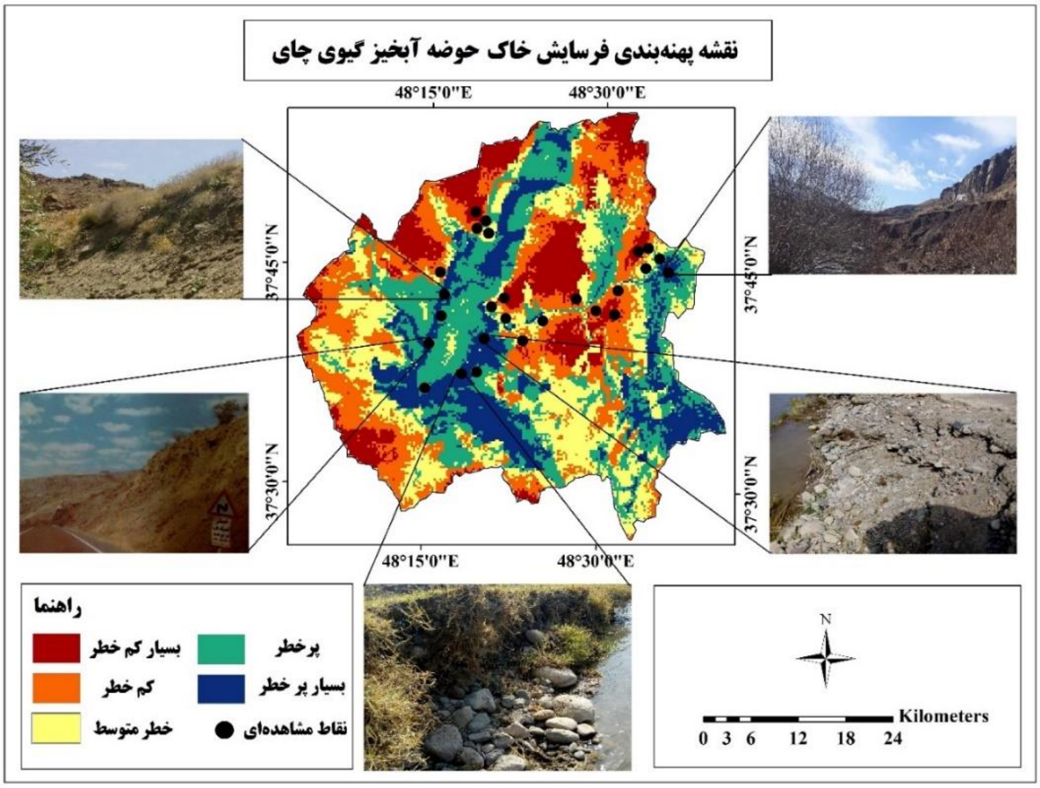
به علاوه در طی انجام مراحل پهنه‌بندی، با بکارگیری روش وزن‌دهی کرتیک که در آن کارشناس دخالتی ندارد و وزن‌دهی باتوجه به نقشه‌های معیار و میزان همبستگی، تضاد و انحراف معیار بین لایه‌های اطّلاعاتی مورد استفاده، تعیین می‌گردد، مهم‌ترین عوامل یا معیارهای دخیل در ایجاد فرسایش در سطح حوضه، تعیین شده است. مفروضات پایه‌ای (ماتریس همبستگی، ماتریس تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات) و همچنین، وزن نهایی حاصل از وزن‌دهی کرتیک در بین معیارهای مطرح در پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک حوضۀ مورد مطالعه، در جدول ۱، آورده شده است و با توجه به نتایج حاصله، به ترتیب معیارهای، شیب، کاربری اراضی، خاک و لیتولوژی بیشترین وزن و اهمیت را دریافت کردند. می‌توان اذعان داشت که استفاده از روش کرتیک، در وزن‌دهی معیارها در پژوهش حاضر گامی در جهت حلّ معضل استقلال صفات از یکدیگر می‌باشد که به هنگام مقایسۀ زوجی در چارچوب روش‌هایی مانند: ANP و AHP، در شرایط عدم تحقّق همبستگی بین صفات، عینیّت می‌یابد؛ زیرا در این روش، وجود همبستگی بالای یک معیار با معیارهای دیگر، می‌تواند در کاهش وزن آن معیار اثرگذار باشد.

جدول (۱): ماتریس همبستگی، ماتریس تضاد و محاسبه وزن نهایی معیارها با استفاده از روش کرتیک

Table (1): Correlation matrix, conflict matrix and calculation of final weight of criteria using Critic method

ماتریس هم‌بستگی								
معیار	شیب	رودخانه	راه	بارش	لیتولوژی	گسل	خاک	کاربری راضی
شیب	۱	-۰/۰۱۹	-۰/۲۰۰	۰/۱۳۱	-۰/۳۴۳	-۰/۰۱۲	-۰/۳۲۹	۰/۰۲۶
رودخانه	-۰/۰۱۹	۱	۰/۲۱۲	-۰/۱۲۳	۰/۰۵۰	-۰/۱۱۶	۰/۰۵۹	-۰/۰۴۸
راه	-۰/۲۰۰	۰/۲۱۲	۱	-۰/۶۳۰	۰/۳۶۰	-۰/۰۸۱	۰/۲۵۰	۰/۰۱۵
بارش	۰/۱۳۱	-۰/۱۲۳	-۰/۶۳۰	۱	-۰/۳۴۰	۰/۰۴۲	-۰/۱۲۵	۰/۰۹۳
لیتولوژی	-۰/۳۴۳	۰/۰۵۰	۰/۳۶۰	-۰/۳۴۰	۱	۰/۱۴۸	۰/۵۲۶	-۰/۱۹۹
گسل	-۰/۰۱۲	-۰/۱۱۶	-۰/۰۸۱	۰/۰۴۲	۰/۱۴۸	۱	۰/۱۷۶	۰/۱۰۹
خاک	-۰/۳۲۹	۰/۰۵۹	۰/۲۵۰	-۰/۱۲۵	۰/۵۲۶	۰/۱۷۶	۱	-۰/۲۳۰
کاربری اراضی	۰/۰۲۶	-۰/۰۴۸	۰/۰۱۵	۰/۰۹۳	-۰/۱۹۹	۰/۱۰۹	-۰/۲۳۰	۱
ماتریس تضاد								
معیار	شیب	رودخانه	راه	بارش	لیتولوژی	گسل	خاک	کاربری راضی
شیب	۰	۱/۰۱۹	۱/۲۰۰	۰/۸۶۹	۱/۳۴۳	۱/۰۱۲	۱/۳۲۹	۰/۹۷۴
رودخانه	۱/۰۱۹	۰	۰/۷۸۸	۱/۱۲۳	۰/۹۵۰	۱/۱۱۶	۰/۹۴۱	۱/۰۴۸
راه	۱/۲۰۰	۰/۷۸۸	۰	۱/۶۳۰	۰/۶۴۰	۱/۰۸۱	۰/۷۵۰	۰/۹۸۵
بارش	۰/۸۶۹	۱/۱۲۳	۱/۶۳۰	۰	۱/۳۴۰	۰/۹۵۸	۱/۱۲۵	۰/۹۰۷
لیتولوژی	۱/۳۴۳	۰/۹۵۰	۰/۶۴۰	۱/۳۴۰	۰	۰/۸۵۲	۰/۴۷۴	۱/۱۹۹
گسل	۱/۰۱۲	۱/۱۱۶	۱/۰۸۱	۰/۹۵۸	۰/۸۵۲	۰	۰/۸۲۴	۰/۸۹۱
خاک	۱/۳۲۹	۰/۹۴۱	۰/۷۵۰	۱/۱۲۵	۰/۴۷۴	۰/۸۲۴	۰	۱/۲۳۰
کابری اراضی	۰/۹۷۴	۱/۰۴۸	۰/۹۸۵	۰/۹۰۷	۱/۱۹۹	۰/۸۹۱	۱/۲۳۰	۰
محاسبه وزن نهایی								
معیار	شیب	رودخانه	راه	بارش	لیتولوژی	گسل	خاک	کاربری راضی
مجموع تضاد	۷/۷۴۶	۶/۹۸۵	۷/۰۷۴	۷/۹۵۲	۶/۷۹۸	۶/۷۳۴	۶/۶۷۳	۷/۲۳۴
انحراف معیار	۰/۳۵۱	۰/۱۴۷	۰/۱۴۵	۰/۰۹۹	۰/۲۸۹	۰/۱۷۸	۰/۳۳۶	۰/۳۵۱
میزان اطلاعات	۲/۷۱۸	۱/۰۲۶	۱/۰۲۵	۰/۷۸۷	۱/۹۶۴	۱/۱۹۸	۲/۲۴۲	۲/۵۳۹
وزن نهایی	۰/۲۰۱	۰/۰۷۶	۰/۰۷۵	۰/۰۵۸	۰/۱۴۵	۰/۰۸۸	۰/۱۶۶	۰/۱۸۸

با استفاده از نقشه‌های هر یک از معیارها و اعمال کردن وزن‌های حاصل از وزن‌دهی کرتیک و با اعمال دیگر مراحل مدل، نقشه پهنه‌بندی فرسایش در ۵ طبقه‌ی بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر، بدست آمد (شکل ۵). با توجه به نتایج به دست آمده، ۲۸۳/۸۹ کیلومترمربع از مساحت در طبقه‌ی بسیار پرخطر و ۴۱۴/۹۳ کیلومترمربع در طبقه پرخطر قرار دارد. همچنین ۴۳۰/۷۴ کیلومترمربع از مساحت منطقه، دارای خطر متوسط و به ترتیب ۴۱۶/۸۵ و ۲۶۷/۵۹ کیلومترمربع دارای خطر بسیار کم و کم می‌باشند.



شکل (۵): نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک حوضه گیوی‌چای

Fig (5): Zoning map of soil erosion risk of Givi Chay watershed

با توجه به نقشۀ پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک حوضه گیوی‌چای، می‌توان گفت؛ وضعیت توپوگرافی و شیب مهم‌ترین عامل دخیل در فرسایش خاک محسوب می‌گردد و در شیب‌های تند آب فرصت کافی برای نفوذ را از دست می‌دهد و لذا، با سرعت بیشتری به طرف پایین جاری می‌شود و در نتیجه انرژی جنبشی و قدرت فرسایندگی آن بیشتر می‌شود. در حوضه گیوی‌چای مقدار شیب بین ۰ تا ۷۵ درصد می‌باشد. در مجموع ۱۰۳۵/۱۲، کیلومترمربع از مساحت حوضه دارای شیب ۱۵-۰ و ۶۶۹/۰۵ کیلومترمربع دارای شیب ۳۵-۱۵، می‌باشد. به ترتیب شیب‌های ۵۵-۳۵ و ۷۵-۵۵ درصد نیز ۸۲/۱۶ و ۲۸/۶۹ کیلومترمربع از مساحت حوضه را پوشش می‌دهند. حوضه گیوی‌چای با داشتن متوسط شیب ۳۸ درصد مستعد برای فرسایش است. معمولاً بر روی دامنه‌های با شیب بیش از ۴۰ درصد ضخامت خاک کاهش می‌یابد و نقش کمتری در تولید رسوب ناشی از وقوع فرسایش دارند و مناطق بسیار پرخطر، به طور عمده در شیب ۱۵ تا ۴۰ درصد قرار دارند.

در حوضه مورد مطالعه، انواع کاربری‌ها شامل: زراعی، باغات، ترکیب زراعی و باغات، مراتع، بوته‌زار، اراضی بایر، مناطق مسکونی (شهر و روستا) و مناطق آبی می‌باشد. بررسی معیار کاربری اراضی حاکی از این موضوع است که در حوضه‌ی گیوی‌چای، کاربری زراعی، بیشترین درصد از مساحت مناطق پرخطر را به خود اختصاص داده است و با توجه به پیمایش‌های میدانی به عمل آمده، عدم رعایت تناوب زارعی، کشت در اراضی شیب‌دار در سطح حوضه، مشاهده می‌گردد. به علاوه، بیشتر اراضی مرتعی توسط روستاییان منطقه به اراضی کشاورزی و به خصوص، به دیم‌زارهای کم‌بازده، تغییر کاربری داده‌اند و لذا، با توجه به کوهستانی بودن منطقۀ مورد مطالعه، با تبدیل مراتع اطراف

روستاها به دیم‌زارها و شخم خوردن مراتع در شیب‌های تند، مـواد مغـذی درون خـاک شسـته شـده و قـدرت حاصلخیزی خاک پس از چند سال از دست رفته و احتمال فرسایش بیشتر می‌شود. البته بخشی از نابودی پوشش‌گیاهی محدوده، در اثر احدث سد گیوی و تخریب پوشش‌گیاهی طبیعی منطقه، اعم از باغات و مراتع بوده است و کاهش میزان مراتع، پوشش‌گیاهی متراکم و اراضی زراعی در بالا دست سد و در نتیجه از بین رفتن پوشش طبیعی منطقه، تغییرات بسیار زیادی را در سیستم‌های مورفولوژیک منطقه ایجاد می‌نماید و این تغییرات عمدتاً در جهت افزایش میزان فرسایش و رسوب می‌باشد.

از دیگر معیارهای مهم که در ارزیابی فرسایش خاک مورد بررسی قرار می‌گیرد، لیتولوژی می‌باشد. در حوضه مورد مطالعه واحدهای سنگ‌شناسی مختلف، به شکل آتشفشانی و رسوبی گسترده شده است. از جمله این واحدها به گدازه‌های آندزیتی، گدازه‌ها و گنبدهای داسیتی، تراکی آندزیتی، بازالت و مواد آتشفشانی ایگنمبریت و توف، به همرا سنگ‌های رسوبی تراورتن، پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیمی حاصل از تخریب و فرسایش سنگ‌های آتشفشانی، می‌توان اشاره داشت. هر یک از این سازندها از مقاومت متفاوتی برای فرسایش برخوردارند. لحاظ مقاومت سازندهای محدوده به ۵ طبقه، از مقاومت بسیار کم تا مقاومت بسیار زیاد، تقسیم گردیده است. به ترتیب ۲۵۴/۹۸ و ۶۴/۰۸ کیلومترمربع از مساحت حوضه دارای مقاومت بسیار کم و کم هستند. ۴۳۸/۴۲ کیلومترمربع از سطح حوضه را سازندهای با مقاومت متوسط پوشانده است و به ترتیب سازندهایی با لیتولوژی مقاوم و بسیار مقاوم، ۶۲۲/۱۴ و ۴۳۵/۴۰ کیلومترمربع از مساحت حوضه را تشکیل داده است. بررسی نقشه نهایی و مقایسه‌ی آن با عامل لیتولوژی نشان می‌دهد، سازندهای نامقاوم، که عمدتاً سازندهای سست کواترنری هستند (Qt_1، Qt_2، Qal) و مارن‌های خاکستری، رس و قرمز ژیپس‌دار (Ngms) که بخش اعظم منطقه را پوشانده‌اند، دارای حساسیت بالایی نسبت به فرسایش می‌باشند و سالانه حجم قابل توجهی از رسوبات آبرفتی درشت‌دانه و ریزدانه بر اثر فرسایش به همرا سیلاب‌ها وارد بستر رودخانه می‌شوند و رسوبات مذکور نهایتاً به سمت مخزن سد گیوی زهکشی و هدایت می‌شوند که این مسئله منجر به کاهش عمر مفید سد می‌گردد. کوه‌های واقع در منطقه مورد مطالعه، قسمت اعظم حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. بخشی از این کوه‌ها شامل سازندهای آذرین است که ساختار اصلی آن‌ها را گدازه و آندزیت و توف‌های تراکی آندزیتی تشکیل می‌دهند. قسمت دیگری از کوه‌های منطقه را مارن قرمز و کنگلومرا تشکیل می‌دهند که به شدت فرسایش یافته یا در معرض فرسایش هستند. در نواحی مرزی این حوضه در شرق منطقه، ارتفاعات مرتفعی وجود دارد که از سنگ آهک مخلوط با ماسه سنگ، مارن و کنگلومراهای آهکی مربوط به دوره کرتاسه تشکیل شده است. بعد از کوه‌ها، تپه ها مرتفع‌ترین سطوح تخریبی سطح زمین هستند که همانند آن‌ها در دوره‌های مختلف زمین‌شناسی در اثر حرکت‌های کوهزایی به وجود آمده‌اند. بیشتر تپه‌های واقع در محدوده مورد مطالعه، شامل؛ تپه‌هایی با قلل مدور هستند که عمدتاً از مواد مادری آهکی با مارن و کنگلومرا تشکیل شده‌اند. قسمتی از تپه‌های واقع در این محدوده متشکل از سنگ‌ها و مواد آذرین و یا مواد کنگلومرای قرمز رنگ می‌باشد. تپه‌هایی که از مارن تشکیل شده‌اند در قسمت‌هایی دچار فرسایش شده و خاک‌های سطحی خود را از دست داده و یا در معرض فرسایش هستند.

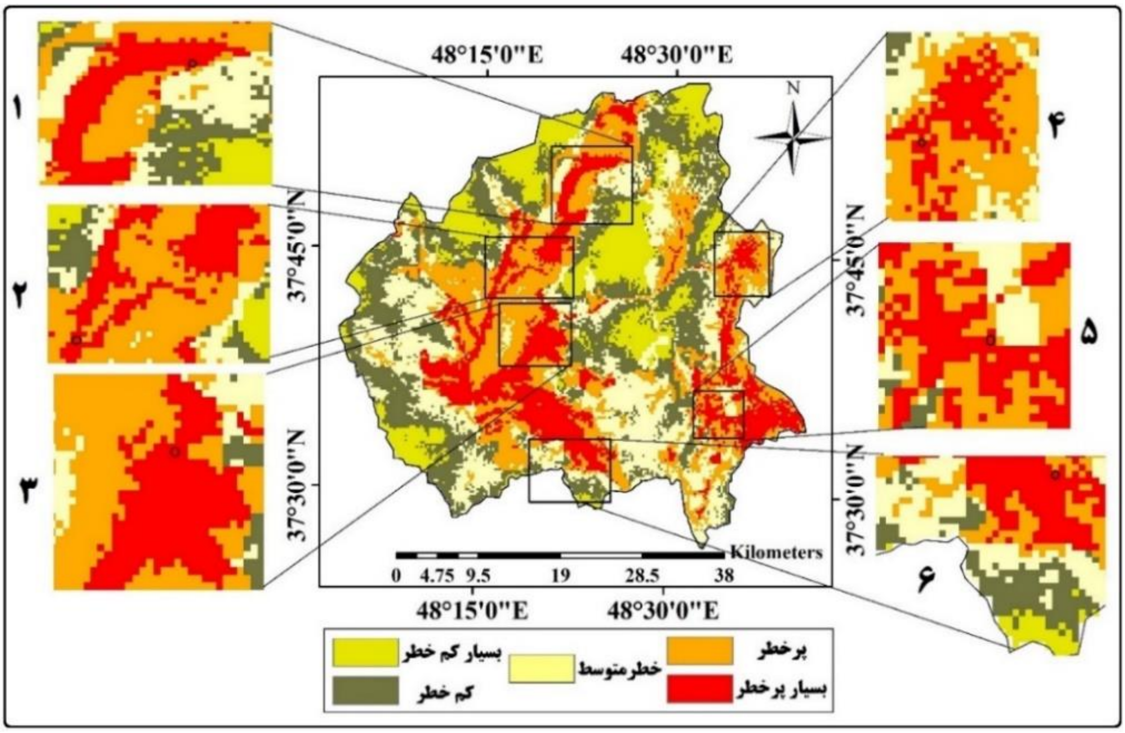
در مناطق کوهستانی حوضه خاک از نوع ریگوسول و لیتوسول بسیار کم عمق تا کم عمق همراه با گراول، ماسه، سیلت، رس و قطعات زاویه‌دار سنگی متلاشی شده است و در تراس‌ها و حواشی رودخانه‌ها خاک‌ها از لیتوسول نیمه عمیق تا کم عمق می‌باشد و در بعضی نقاط، خاک‌ها به صورت، نیمه تکامل یافته است. مشخصات بارندگی مانند شدت، مدت زمان و حجم، در ایجاد فرسایش خاک، نقش مهم و اساسی دارد. مقدار بارش سالیانه در حوضه مطالعاتی ۵۵۰-۳۰۰ میلی‌متر و میانگین بارندگی سالانه حدود ۴۳۰ میلیمتر بوده و بیشترین مقدار بارش حوضه مربوط به ماه‌های اردیبهشت و فروردین می‌باشد که نقش مهمی را در تشدید و توسعه‌ی فرسایش خطی رواناب‌ها در سطح حوضه مورد مطالعه، بر عهده دارد. مناطق با بارش زیاد عمدتاً در نواحی کوهستانی و مرتفع حوضه گسترده شده‌اند، و مناطق با بارش کم، در واحد دشت و کم ارتفاع حوضه قرار دارند. مناطق پرخطر، به طور عمده در مناطق با بارش (۴۵۰-۳۰۰ میلی‌متر)، قرار دارند و در پی بارش‌های سنگین و یا به دنبال ذوب برف‌ها در فصل بهار و در سازندهای مستعد (ریزدانه و سست) فرسایش شکل می‌گیرند. همچنین، اراضی پرخطر معرفی شده حاصل از روش تحقیق، نشان می‌دهد که اراضی پرخطر به طور نسبی، در فواصل نزدیک از جاده، رودخانه و گسل قرار دارند. در این رابطه می‌توان گفت، عامل جاده، به دلیل زیربری و از بین بردن پاشنه دامنه و تغییر در شیب دامنه‌ها در فرسایش خاک نقش بسیار مهمی دارد. در حوضه مطالعاتی، فاصله از راه ارتباطی بین صفر تا ۷۰۰۰ متر می‌باشد و نقاط

مستعد فرسایش، در فواصل نزدیک به جاده‌ها قرار دارد و به ویژه، راه‌های ارتباطی اردبیل- خلخال و گیوی – خلخال، بسیار پرخطر محسوب می‌گردند و به طور مکرر، در این محورهای ارتباطی شاهد وقوع فرسایش و لغزش‌های کوچک و بزرگ هستیم. در حوضه گیوی‌چای؛ از یک سو، احداث راه‌ها به دلیل ایجاد ترانشه‌ها و تغییر وزن بر اثر خاک‌برداری و خاک‌ریزی، به زیربری دامنه و از بین بردن تکیه‌گاه دامنه‌ها، منجر شده است. از سوی دیگر احداث جاده در منطقه مطالعاتی، با تخریب پوشش مرتعی در دامنه‌های پرشیب باعث شده است تا در هنگام بارش بهاری و ذوب برف، زمینه برای فرسایش‌پذیری خاک فراهم گردد.

فاصله از آبراهه در حوضه مطالعاتی بین صفر تا ۶۰۰۰ متر می‌باشد و مناطق مجاور رودخانه‌ها، دارای مقادیر بالایی از پتانسیل خطر فرسایش هستند. رودخانه‌ها (به ویژه رودخانه‌های دائمی و پرآب هیروچای، آرپاچای و گیوی‌چای)، با زیرشویی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه‌گاه در فرسایش خاک دارای اهمیت‌اند و مناطق پرخطر، بیشتر بستر طغیانی رود را شامل می‌شود و این بخش از حوضه در معرض مستقیم فرسایش توسط جریان رود می‌باشد. مخصوصاً در محل پیچ مقعر مئاندرها، به دلیل افزایش سرعت جریان رودخانه و زیربری، تخریب شدیدتر است و وجود سازندهای آبرفتی حساس از عوامل مهم اثرگذار بر رودخانه‌های بوده است. گسل‌ها به گسیختگی دامنه‌ای، ایجاد شکستگی در لایه‌ها، خردشدن سنگ‌ها و در نهایت نفوذ آب به داخل زمین و کاهش مقاومت برشی منجر می‌گردند. بنابراین، وجود و توزیع آن‌ها بر نرخ و الگوهای فرسایش تأثیر می‌گذارد. فاصله از گسل در حوضه مطالعاتی بین صفر تا ۸۵۰۰ می‌باشد و گسل‌های اصلی منطقه هم راستای گسترش ساختمان‌های چین‌خورده، (یعنی شمال غرب- جنوب شرق)، توسعه و پراکندگی دارند. از جمله اصلی‌ترین گسل‌های موجود در محدوده، گسل‌های فیروزآباد- مجدر، با طولی بیش از ۵۰ کیلومتر با راستای شمال - شمال خاوری و جنوب -جنوب باختری می‌باشد که با عبور از محدوده‌ی آلتراسیون‌های حاصل از فرسایش شیمیایی آندزیت‌های پورفیری و ایجاد شیب زیاد، باعث فرسایش و وقوع زمین‌لغزش‌هایی در غرب حوضه شده است. طبقات مارنی و ماسه‌سنگی نئوژن در مجاورت این گسل در محدوده گیوی پایین، تا ۸۵ درصد شیب پیدا کرده اند و ادامه این گسل وارد رودخانه گیوی چای شده و این خط گسلی در این بخش به وسیلۀ رسوبات جوان پوشانده شده است، ما بین روستای گرم‌خانه و رودخانه گیوی‌چای، یک گسل معکوس دیگری نیز مشاهده می‌گردد که به روراندگی آهک‌های کرتاسه بر روی واحدهای ولکانو ائوسن منجر شده است. از سایر گسل های حوضه می‌توان به گسل گیوی (با راستای شمالی-جنوبی و طولی قریب به ۱۴۰ کیلومتر است که مرز رسوبات مزوزوئیک و سنگ‌های آتشفشانی در شرق و رسوبات نئوژن را در غرب خود تشکیل می‌دهد)، گسل مجره (با طولی نزدیک به ۱۵ کیلومتر در جنوب شرق حوضه که رخساره‌های مختلف کرتاسه را تحت تأثیر قرار داده است)، اشاره کرد.

۳-۲- صحت‌سنجی نتایج

مهم‌ترین چالش موجود در زمینه‌ی پهنه‌بندی فرسایش، چگونگی و دقت روش تهیه نقشه‌ی خطر فرسایش می‌باشد. جهت مستندسازی بیشتر اعتبار نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر فرسایش به دست آمده از تحقیق سعی گردیده است، بعد از انتخاب تصادفی تعدادی از پیکسل‌های معرفی شده به عنوان نقاط پرخطر (شکل ۶)، به بررسی مورد به مورد ویژگی‌های این پیکسل‌ها به لحاظ معیارهای تعیین شده پرداخته شود (جدول ۲). همانطور که مشاهده می‌گردد، نتایج بررسی پیکسل‌ها، انطباق این نمرات استاندارد شده با ارزش‌های واقعی ثبت شده از معیارها که با توجه به نقشه‌های رقومی به دست آمده است را نشان می‌دهد و به درک ملموس‌تر نتیجه حاصل کمک قابل توجهی کرده و دقت خروجی حاصل از مطالعه‌ی حاضر را نیز تأیید می‌کند.



شکل (۶): نقشه موقعیت پیکسل‌های انتخابی دارای احتمال خطر بسیار زیاد در پهنه‌بندی فرسایش حوضه گیوی‌چای

Fig (6): Location map of selected pixels with a high-risk of erosion zoning in The Givi Chay watershed

جدول (۲): بررسی موردی پیکسل‌های دارای احتمال خطر بسیار زیاد در پهنه‌بندی فرسایش حوضه گیوی‌چای

Table (2): A Case Study of High-Risk Pixels in The Erosion Zoning of the Givi Chay Watershed

معیار	پیکسل ۱	پیکسل ۲	پیکسل ۳	پیکسل ۴	پیکسل	پیکسل
خاک	لیتوسول	لیتوسول	لیتوسول	لیتوسول	لیتوسول	لیتوسول
لیتولوژی	نامقاوم (Ngm.s: تناوبی از مارن ژیپس‌دار و ماسه سنگ)	بسیار نامقاوم (Qal: رسوبات رودخانه‌ای جدید)	بسیار نامقاوم (Qt2: پادگانه آبرفتی جدید)	بسیار نامقاوم (Qal: رسوبات رودخانه‌ای جدید)	بسیار نامقاوم (Qt2: پادگانه آبرفتی جدید)	بسیار نامقاوم (Qt2: پادگانه آبرفتی جدید)
فاصله از گسل (متر)	۷	۳۰۰۰	۲۰	۱۰	۹۰	۱۵
کاربری اراضی	مراتع	ترکیب باغ و زراعی	ترکیب باغ و زراعی	ترکیب باغ و زراعی	زراعی	ترکیب باغ و زراعی
فاصله از جاده (متر)	۲۱	۱۵	۲۰	۱۵۰	۵۰	۱۱۰
شیب (درصد)	۲۰	۲۵	۳۰	۴۰	۳۵	۳۰
بارندگی (میلی‌متر)	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۳۵۰
فاصله از رودخانه (متر)	۲۰	۱۰	۴	۱۱	۱۵	۷

با توجه به این امر که نتیجه‌ی حاصل از صحت‌سنجی مدل با استفاده از شاخص SCAI (جدول ۳ و ۴)، نیز نشان می‌دهد که شاخص SCAIدر کلاس با حساسیت زیاد و خیلی زیاد، دارای ارزش پایین بوده، در حالی که ارزش شاخص SCAI در کلاس با حساسیت خیلی کم و کم، بالاست و می‌توان گفت که نقشه تهیه شده از دقت بالایی برخوردار است.

جدول (۳): داده‌های حاصل از صحت‌سنجی مدل به روش مشاهده‌ای

Table (3): Data obtained from model Validation by Observational method

حساسیت (خروجی مدل)	حساسیت (مشاهده‌ای)	Y (utm)	X (utm)	نقاط
بسیار کم	بسیار کم	۲۶۳۶۵۳/۵۹۱	۴۱۸۸۸۲۱/۸۱۵	۱
زیاد	زیاد	۲۴۷۵۶۶/۸۹	۴۱۸۵۳۲۹/۳۰	۲
کم	کم	۲۳۹۹۴۶/۸۷۷	۴۱۸۵۵۴۰/۹۷	۳
متوسط	زیاد	۲۳۷۱۹۵/۲۰۵	۴۱۷۰۴۰۶/۷۷۱	۴
کم	متوسط	۲۳۴۶۵۵/۲	۴۱۹۹۸۲۸/۵۰	۵
بسیار زیاد	بسیار زیاد	۲۵۹۷۳۷/۷۵	۴۱۷۸۲۳۸/۴۶	۶
زیاد	زیاد	۲۵۹۳۱۴/۴۱۴	۴۱۷۵۴۸۶/۷۸	۷
بسیار زیاد	بسیار زیاد	۲۵۷۷۲۶/۹۱	۴۱۷۱۹۹۴/۲۸	۸
زیاد	زیاد	۲۵۷۳۰۳/۵۷	۴۱۶۷۴۴۳/۴۳۱	۹
بسیار زیاد	بسیار زیاد	۲۶۱۷۴۸/۵۸	۴۱۶۸۵۰۱/۷۷	۱۰
زیاد	زیاد	۲۶۳۴۴۱/۹۲۴	۴۱۶۸۵۰۱/۷۷۴	۱۱
بسیار زیاد	بسیار زیاد	۴۶۴۵۰۰/۲۶	۴۱۷۲۵۲۳/۴۴	۱۲
متوسط	متوسط	۲۶۸۷۶/۰۹۶	۴۱۷۶۶۵۰/۵۹۷	۱۳
متوسط	کم	۲۶۷۳۵۷/۷۶۵	۴۱۷۴۹۵۷/۶۲۱	۱۴
کم	کم	۲۶۹۸۹۷/۷۷	۴۱۷۲۱۰۰/۱۱۵	۱۵
بسیار کم	کم	۲۶۷۲۵۱/۹۳۲	۴۱۷۷۸۱۵/۱۲۶	۱۶
متوسط	متوسط	۲۳۴۵۴۹/۳۶۶	۴۱۴۸۴۹۹/۲۳۴	۱۷
بسیار کم	کم	۲۷۶۴۵۹/۴۵	۴۱۷۷۶۰۳/۴۵۹	۱۸
کم	متوسط	۲۷۸۷۸۷/۷۸۸	۴۱۷۵۵۹۲/۶۲۲	۱۹
خیلی کم	یسیار کم	۲۸۱۳۲۷/۷۹۳	۴۱۷۵۳۸۰/۹۵۵	۲۰
کم	متوسط	۲۸۱۸۵۶/۹۶۱	۴۱۷۸۷۶۷/۶۲۸	۲۱
بسیار کم	بسیار کم	۲۸۴۰۷۹/۴۶۵	۴۱۸۳۶۳۵/۹۷۱	۲۲
کم	کم	۲۸۵۴۵۵/۳۰۲	۴۱۸۴۰۵۹/۳۰۵	۲۳
متوسط	متوسط	۲۸۵۰۳۱/۹۶۷	۴۱۸۱۴۱۳/۴۶۷	۲۴
زیاد	زیاد	۲۸۶۸۳۱/۱۳۸	۴۱۸۲۷۸۹/۳۰۳	۲۵
بسیار زیاد	بسیار زیاد	۲۸۷۸۸۹/۴۷۳	۴۱۸۰۹۹۰/۱۳۳	۲۶

جدول (۴): پراکندگی فرسایش مربوط به هر یک از طبقات خطر
Table (4): Erosion distribution related to each of the hazard Classes

طبقه خطر	نواحی پیش‌بینی شده (KM^2)	نواحی پیش-بینی شده (٪)	نواحی مشاهده شده (٪)	تراکم فرسایش (SCIA)
بسیار پرخطر	۲۸۳/۸۹	۱۵/۶۵	۱۹/۲۳	۰/۸۱
پر خطر	۴۱۴/۹۳	۲۲/۸۷	۲۳/۰۸	۰/۹۹
خطر متوسط	۴۳۰/۷۴	۲۳/۷۵	۲۳/۰۸	۱/۰۲
کم خطر	۴۱۶/۸۵	۲۲/۹۸	۲۳/۰۸	۱/۰۳
بسیار کم خطر	۲۶۷/۵۹	۱۴/۷۵	۱۱/۵۳	۱/۲۷

۴- نتیجه گیری

هدف پژوهش حاضر، شناسایی و پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبریز گیوی‌چای، می‌باشد. نتایج مطالعه نشان داد، عوامل شیب، کاربری اراضی، خاک و لیتولوژی؛ به ترتیب؛ با مقادیر ۰/۲۰۱، ۰/۱۸۸، ۰/۱۶۶ و ۰/۱۴۵، بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند و لذا، با توجه به اهمّیت معیارهای دخیل در پهنه‌بندی فرسایش حوضه گیوی‌چای و بررسی های میدانی به عمل آمده و مشاهده شریط طبیعی و انسانی حاکم بر حوضه می‌توان گفت که، وجود سازندهای حساس و فرسایش‌پذیر که عمدتاً سازندهای سست کواترنر هستند، ارتفاع و شیب زیاد حوضه، بهره‌برداری غیر اصولی از مراتع، تخریب پوشش‌گیاهی در اثر تبدیل اراضی مرتعی به زراعی، کشت دیم در اراضی شیب‌دار (از جمله کشت غلات به صورت دیم در اراضی شیب‌دار و خصوصاً کشت در شیب‌های بالای ۲۰ درصد) و عدم رعایت تناوب زراعی؛ مهم‌ترین عوامل دخیل در فرسایش خاک در حوضهٔ گیوی‌چای می‌باشند. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۰)، نیز در پژوهشی که در رابطه با بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز گیوی‌چای و تأثیر آن بر فرسایش انجام داده‌اند، به این نتیجه دست یافته بودند که عوامل شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، خاک و بارش، در پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبریز گیوی‌چای، از اهمّیت بیشتری برخوردار هستند. بنابراین نتیجه‌ی پژوهش حاضر، با نتایج این مطالعه نیز، هم‌خوانی دارد.

به علاوه، تجزیه و تحلیل نقشه نهایی، به ترتیب با پوشش ۱۵/۶۵ و ۲۲/۸۷ درصدی پهنه‌های با پتانسیل بسیار پرخطر و پرخطر، نشان‌دهنده‌ی آسیب‌پذیری بالای حوضهٔ مورد مطالعه، از لحاظ رخداد فرسایش می‌باشد. انتظار می‌رود، این مطالعه و نتایج حاصل از این تحقیق، با معرفی مناطق دارای احتمال وقوع بالای فرسایش، راه‌گشایی برای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان ذی‌صلاح از جمله اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل، اداره کل راه و شهرسازی استان، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل، در این زمینه گردد و در نواحی معرفی شده با پتانسیل خطر بالا، اقدامات حفاظتی، آبخیزداری مناسب و البته کارشناسی شده توسط متخصصان، مانند؛ نظارت برهر گونه فعالیت در شیب‌های بالای ۱۵ درصد، جلوگیری از تخریب پوشش‌گیاهی (به صورت کاهش کمی و کیفی پوشش‌گیاهی در اثر چرای بی‌رویه دام‌ها یا تخریب پوشش‌گیاهی در اثر تبدیل کاربری مرتعی به زراعی)، تقویت پوشش‌گیاهی، تثبیت دیواره‌ها و پیش‌بینی سیلاب‌ها جهت جلوگیری از فرسایش کنار رودخانه‌ای، تدوین قوانین خاص بر نحوه کاربری و تغییر آن، رعایت تناوب زراعی، ممانعت از کشت دیم در اراضی شیب‌دار، جلوگیری از احداث و دستکاری‌های غیراصولی جهت احداث جاده و تعدیل و کاهش شیب دامنه‌ی ارتفاعات مشرف بر مسیر احداث جاده، ایجاد ترانشه در مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی، صورت پذیرد.

همان‌گونه که می‌دانیم، هر یک از روش‌های مطالعهٔ مخاطرات محیطی از جمله؛ فرسایش، به‌نوبه خود دارای مزایا و معایبی می‌باشند. این امر که یک روش در یک منطقه تا چه حد از کارایی برخوردار است به شرایط انسانی و طبیعی محدوده مطالعاتی، بستگی دارد. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از مطالعه، بررسی موردی پیکسل‌های اولویت‌دار معرفی شده در خروجی حاصل از روش تحقیق و مقایسه‌ی آن با شرایط اقلیمی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و انسانی حاکم بر منطقه و استفاده از شاخص صحت‌سنجی SCAI (مقادیر تراکم فرسایش (SCIA)، ۰/۸۱ در مناطق بسیار پرخطر و ۰/۹۹ در مناطق پرخطر)، می‌توان، نتیجه گرفت که استفاده از روش

MABAC، از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه‌ی فرسایش در حوضهٔ گیوی‌چای، برخوردار است و لذا می‌توان گفت که نتایج مطالعه‌ی حاضر با نتایج مطالعات موسی بیگ و همکاران (۱۳۹۸)، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۸)، وحیدی و همکاران (۱۳۹۹)، هنرمندنژاد و پورقاسمی (۱۴۰۰)، باقری و همکاران (۱۴۰۱)، جوکار سرهنگی و همکاران (۱۴۰۱)، مددی و همکاران (۱۴۰۱)، عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۸)، ساها و همکاران (۲۰۱۹)، اندوعالم و همکاران (۲۰۲۰)، اسلام و همکاران (۲۰۲۱)، کارترایت و همکاران (۲۰۲۲)، عباسی و همکاران (۲۰۲۳)، مبنی بر توانایی تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک همخوانی دارد. به علاوه می‌توان اذعان داشت که نتایج حاصل از این پژوهش، در راستای انتخاب روش مناسب بررسی و پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوضه‌هایی با شرایط طبیعی و انسانی مشابه با محدوده حوضه گیوی‌چای، می‌تواند بسیار مفید بوده و مورد توجه پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای پتانسیل‌سنجی فرسایش خاک، قرار گیرد.

۵- منابع

Armin, M., Eskandari Jahmani, F., Alvaninejad, S., & Mirzaei, M. (2020). Prioritization of erosion-sensitive areas using satellite imagery (Case study: part of Bahmei county in Kohgiluyeh and Boyerahmad province), Environmental Erosion Research Journal, 10 (2), 41-58.

Asghari saraskanroud, S., Faal-Naziri, M., & Ardashirpay, A.A. (2019). studying the effects of land use on soil Erosion with WLC algorithm. Case of study: Aghlaghan Chay basin, Environmental Erosion Research Journal, 9 (2), 53-71.

Asghari Saraskanrood, S., Omidifar, M., & Ghale, E. (2021). Investigation of land use changes in Givi Chay catchment and its effect on erosion using RS and GIS. Journal of Environmental Science Studies, 6(1), 3466-3477.

Bagheri, S., Ansari, M., & Norouzi, A. (2022). Prioritization of Erosion Prone Sub-Watersheds using MCDM Methods in Roudzard Watershed, Khuzestan Province, Journal of Water and Soil Science, 26 (3), 35-54.

Honarmandnejad, F., & Pourqasmi, H. (2021). Identification of the most important factors affecting the erodibility of Qara-Aghaj watershed sub-basins using the TOPSIS model, the 6th international conference on knowledge and technology of agricultural sciences, natural resources and environment of Iran, Tehran.

Jokar Sarhangi, E., Safarrad, T., & Shotatzadeh, M. (2022). Evaluation and Prioritization of Gully Erosion Susceptibility Using Density Area and TOPSIS Models (Case Study: Chenarli Watershed, Golestan Province), Environmental Erosion Research Journal, 12 (1), 58-75.

Madadi, A., Faal Naziri, M., & Piroozi, E. (2022). Evaluation of land use changes and its effects on soil erosion in the basin upstream of Yamchi Dam in Ardabil, using ARAS multi-criteria decision algorithm and modern remote sensing methods, Quantitative Geomorphological Research, 11(2), 52-70.

Mezbani, M., Rezaei Moghadam, M., & Hejazi, A. (2021). Assessment of soil erosion risk in land uses using Revised Universal Soil Loss Equation (Case Study: Sikan Basin). Journal of Geography and Environmental Hazards, 10(1), 41-63.

Moradi, A., Emadodin, S., & Sedaghat Deghi, A. (2023). Assessment of Tunnel Erosion in Cheshmeh Lee Village in Golestan Province, Environmental Erosion Research Journal; 13 (1), 248-276.

Mosabeaigi, M., Baharloo, I., & Vafaeinezhad, A. (2020). Estimation and Zoning Soil Erosion using the Analysis Network Process and GIS (Case Study: Ghale Chay Basin). Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 11(4), 1-10.

Parvin, M., (2023). Zoning of Areas Prone to Soil Erosion Using the Analysis of Modified Morphometric Parameter Method and Sediment Production (Case Study of Mianrahan Basin), Environmental Erosion Research Journal, 13 (1), 190-208.

Vahidi, M., Mirabbasi Najafabadi, R., & Ahmadi, M. (2020). Analysis and ranking of soil erosion prevention methods using multi-criteria decision-making methods in rural areas of Darmian County, South Khorasan, Hydrogeomorphology, 7(23), 233-209.

Abbasi, A.P., Ahmadi, H., Khan, S.M., & Moeini, A. (2023). Prioritizing areas for watershed management activities by preparing soil erosion intensity map (Case study: Safaroud River watershed, Northern Iran), Caspian Journal of Environmental Sciences, 21(1), 177-189.

Aher, P., Adinarayana, J., & Gorantiwar, SD. (2013). Prioritization of watersheds using multi-criteria evaluation through the fuzzy analytical hierarchy process, Agric Eng Int CIGR J, 15(1), 11–18.

Aiello, A., Adamo, M., & Canora, F. (2015). Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy, Catena, 131, 174–185.

Alinezhad, A., & Khalili, J. (2019). New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM), International Series in Operations Research & Management Science, 277, Springer, Cham.

Andualem, T.G., Hagos, Y.G., Kefale, A., & Zelalem, B. (2020). Soil erosion‑prone area identification using multi‑criteria decision analysis in Ethiopian highlands, Modeling Earth Systems and Environment, 1-13.

Arab Ameri, A., Pourghasemi, H.R., & Cerda. A. (2018). Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models, Science of The Total Environment, 613-614, 1385 -1400.

Arabameri, A., Saha, S., Roy, J., Blaschke, T., & Bui, D.T. (2020). Machine Learning-Based Gully Erosion Susceptibility Mapping: A Case Study of Eastern India, Sensors (Basel), 20(5), 1-25.

Aslam, B., Maqsoom, A., Salah Alaloul, W., Musarat, M-A., Jabbar, T., & Zafar, A. (2021). Soil erosion susceptibility mapping using a GIS-based multi-criteria decision approach: Case of district Chitral, Pakistan, Ain Shams Engineering Journal, 12(2), 1637-1649.

Bou kheir, R., Cerdan, O., & Abdelah, C. (2006). Regional soil erosion risk mapping in Lebanon, Geomorphology, 82, 347-359.

Cartwright, J.H., Shammi, S.A., & Rodgers, J.C. (2022). Use of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) for Mapping Erosion Potential in Gulf of Mexico Watersheds, Water, 14 (1923). 1-25.

Hoseini, H. (2019). Use fuzzy interface systems to optimize land suitability evaluation for surface and trickle irrigation, Information Processing in Agriculture, 6 (1), 11-19.

Kadam, AJ., Jaweed, TH., Kale, SS., Umrikar, BN., & Sankhua, RN. (2019). Identification of erosion-prone areas using modified morphometric prioritization method and sediment production rate: a remote sensing and GIS approach, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10 (1), 986–1006.

Masselink, R., Temme, A.J.A.M., Giménez, R., Casalí, J., & Keesstra, S.D. (2017). Assessing hillslope-channel connectivity in an agricultural catchment using rare-earth oxide tracers and random forests models, Cuadernos de Investigación Geográfica.

Molla, T., & Sisheber, B. (2017). Estimating soil erosion risk and evaluating erosion control measures for soil conservation planning at Koga watershed in the highlands of Ethiopia, Solid Earth, 8, 13–25.

Nekhay, O., Arriaza, M., & Boerboom, L. (2009). Evaluation of erosion risk using Analytic Network Process and GIS: a case study from Spanish mountain olive plantations, Journal of Enviromental Manegment, 90 (10), 3091-3104.

Ozşahin, E., & Eroglu, I., (2019). Soil Erosion Risk Assessment due to Land Use/Land Cover Changes (LULCC) in Bulgaria from 1990 to 2015, Alinteri J of Agr. Sci, 34(1), 1-8.

Panditharathne, D. L. D., Abeysingha, N. S., Nirmanee, K. G. S., & Mallawatantri, A. (2019). Application of Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle) Model to Assess Soil Erosion in Kalu Ganga River Basin in Sri Lanka, Applied and Environmental Soil Science, 4037379, 1-16.

Saha, S., Gayen, A., Pourghasemi, H.R., & Tiefenbacher, J.P. (2019). Identification of soil erosion-susceptible areas using fuzzy logic and analytical hierarchy process modeling in an agricultural watershed of Burdwan district, India, Environmental Earth Sciences , 78 (23), 649.

Singh, G., & Panda, RK. (2017). Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: A case study in the Kapgari watershed, India, Int Soil Water Conserv Res, 5, 202–211.