



Analysis of the Relationship between Forms of Water Erosion and Sediment Yield: A case study of Qarnaveh Olya Watershed, Golestan Province

Mehri Shirvani¹ , Eisa Jokar Sarhangi²  , Mansoor Bakhshi³ 

1. Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Email: mehrieh202@umz.ac.ir

2. (Corresponding Author) Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Email: e.jokar@umz.ac.ir

3. Department of Geography, Faculty of Humanities, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Email: mansoor.bakhshi39@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

30 November 2024

Received in revised form:

27 February 2025

Accepted:

6 April 2025

Available online:

25 April 2025

Keywords:

Forms of Water Erosion,
Sediment Yield,
Qarnaveh Olya
Watershed.

ABSTRACT

Erosion forms can also indicate the intensity of erosion and sediment yield in a watershed. The Qarnaveh Olya watershed in northeastern Golestan Province is covered with loess sediments, which are highly susceptible to water erosion. Human activities have also contributed to water erosion in various forms, including sheet, rill, and gully erosion. This study aims to determine the sediment yield of each erosion form and understand their impact on increasing the sediment load in the area. To achieve this, the erosion class maps in the area were initially prepared using the MPSIAC and RUSLE models. Statistical indices such as RMSE, MAE, MSE, and NSEC were employed to evaluate their accuracy, along with the baseline model BLM, which was based on factors obtained through field observations. Since the map produced by the MPSIAC model had greater overlap with the actual conditions of the area, this model was utilized to determine the degree of sediment yield in the erosion forms. Then, the relationship between erosion forms and sediment yield was analyzed using variance analysis. The results, with a confidence level of 0.99, indicate that there is a significant difference in sediment yield among the different erosion forms in the region, with each form contributing uniquely to sediment production. Therefore, models that consider the differences between these forms can provide more accurate sediment yield predictions. Additionally, the highest sediment yield was associated with gully erosion, reaching a value of 57, followed by rill and sheet erosion. These results contribute to improving the accuracy and efficiency of sediment estimation and can be useful for erosion control and targeted conservation measures in the watershed.

Citation: Shirvani, M., Jokar Sarhangi, E., & Bakhshi, M. (2025). Analysis of the Relationship between Forms of Water Erosion and Sediment Yield: A case study of Qarnaveh Olya Watershed, Golestan Province. *Geographical planning of space quarterly journal*, 15 (1), 83-100.

<http://doi.org/10.30488/gps.2025.485077.3795>



© The Author(s)

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

Publisher: Golestan University Press

Extended Abstract

Introduction

Various forms of water erosion are severely intensifying the loss of nonrenewable resources, pollution, and land degradation, threatening the sustainable development of agriculture. Although most methods for assessing soil erosion rates are directly related to the forms of erosion and their intensity in an area, few studies comprehensively examine the spatial distribution of all forms of water erosion in a single study. The Qarnaweh Olya Watershed is an area extensively covered with loess sediments, and erosion in this watershed occurs in various forms as sheet, rill, and gully erosion, each playing a different role in sediment production. The Qarnaweh River, in particular, has become a large, unstable gully in some areas, with significant depth and severe erosion. Examining the forms of erosion and their sediment yield allows for the identification of critical areas and improves the accuracy and efficiency of sediment estimation. Furthermore, the type of proposed work and the implementation of conservation projects vary depending on whether the area is affected by sheet, rill, or gully erosion. Therefore, a precise and scientific understanding of the impact of these forms of erosion on sediment yield in watersheds is essential. In this context, the present study was conducted to identify the forms of water erosion in the area and analyze the specific contribution of each to sediment production in the Qarnaweh Olya Watershed.

Methodology

The Qarnaweh Olya Watershed is located in the east of Golestan province, in the geographical location of $55^{\circ} 49'$ to $56^{\circ} 02'$ and east longitude is $37^{\circ} 38'$ to $37^{\circ} 45'$ north latitude. A comprehensive research method was employed to achieve the study's objectives, including field data collection, remote sensing, and Geographic Information System (GIS) analysis. After identifying various forms of water erosion in the area, including surface, gully, and rill erosion, erosion class maps were prepared using the MPSIAC and RUSLE models. To evaluate their accuracy, statistical indices

such as RMSE, MAE, MSE, and NSEC were utilized, along with the base model BLM, for which all factors were obtained through field observations. Since the map produced by the MPSIAC model had a greater overlay with the BLM model and the actual conditions of the area, this model was used to determine the sediment yield of the erosion forms. Based on the relevant relationships and depending on the intensity of their effects, scores were assigned to the layers of factors influencing erosion and sediment production, including geology, soil, climate, runoff, slope, land cover, and land use. Statistical analyses, including variance analysis, were performed to evaluate the significant differences in sediment production among different erosion forms. The analysis was performed at a 99% confidence level, ensuring the reliability and validity of the results.

Results and discussion

The analysis of statistical indicators in this study showed that the MPSIAC model has higher efficiency than the RUSLE model. Therefore, according to the relationships related to this model, scores were assigned to the layers of influencing factors, and the degree of sedimentation from erosion forms was obtained. The results showed that sediment yield from various forms of water erosion in the area changes with different variables and is influenced by factors such as rock type, elevation, climate, runoff, slope, soil, vegetation cover, and land use. These factors affect the development of different erosion forms, from sheet erosion to gully erosion. However, among these factors, geology, runoff, and land use not only influence the formation of various erosion forms but also their intensity. Specifically, the average sediment yield from advanced gully erosion is higher in the layers associated with geological factors, runoff, and land use than in other erosion forms. In another stage of the study, the changes in their sediment yield rates were also identified based on the overlap of the sediment yield map with the erosion forms map in the area. The results indicated that from sheet erosion to gully erosion, both the intensity of erosion and the amount of

sediment production increase. The highest average sediment yield in the area was found in gully erosion, with a value of 56.99. Statistical analysis confirmed that the differences in sediment production between the various erosion forms are statistically significant. The analysis of variance (ANOVA) results indicated that each erosion form has a unique impact on sediment production, influenced by the interaction of environmental and human factors. The significant contribution of gully erosion to sediment production highlights the urgent need for targeted conservation measures in the studied watershed.

Conclusion

This study investigated the existing forms of water erosion in the Qarnaweh Olya Watershed, including natural, sheet, rill, and gully erosion. To determine the sediment yield degree of each type of erosion, the total scores of various factors related to the MPSIAC model were used because evaluating the accuracy of the models using the baseline model BLM and comparing the results of the statistical indices RMSE, MAE, MSE, and NSEC showed that the spatial distribution map of erosion classes from this model has higher accuracy than the RUSLE model. The results showed that the highest average sediment yield among the area's water erosion forms is related to gully erosion. Therefore, gully erosion has the most significant role and contribution to the increase in sediment yield compared to other forms of erosion in the area, as it leads to greater soil loss due to the greater

depth and higher volume of variable water flow. Thus, effective watershed management in the area requires special attention to controlling and reducing gully erosion. An analysis of variance was used to assess the significance of the differences between the forms of erosion in the area concerning their sediment yield. The results, with a confidence level of 0.99, indicated that the sediment yield of the erosion forms in the area differs significantly from each other, and each erosion form has a specific contribution to sediment production. Therefore, water erosion forms can be more effectively used to estimate erosion and sediment yield. Indeed, models considering the differences between these erosion forms can achieve more accurate sediment yield predictions.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

تحلیل ارتباط بین اشکال فرسایش آبی و میزان رسوبدهی مطالعه موردی: حوضه قرناوه علیا، استان گلستان

مهری شیروانی^۱، عیسی جوکار سرهنگی^۲، منصور بخشی^۳

- ۱- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. رایانامه: mehrich202@umz.ac.ir
۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. رایانامه: e.jokar@umz.ac.ir
۳- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: mansoor.bakhshi39@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	اشکال فرسایش می‌توانند شدت فرسایش و رسوبدهی در یک حوضه را نیز نشان دهند. حوضه قرناوه در شمال شرقی استان گلستان به وسیله رسوبات لس پوشیده شده که حساسیت بالایی به فرسایش آبی دارد و فعالیت‌های انسانی نیز باعث بروز فرسایش در اشکال مختلف سطحی، شیاری و آبکندی شده است. هدف از این تحقیق تعیین درجه رسوبدهی تمامی اشکال فرسایش آبی در منطقه و بررسی تأثیر آن‌ها در افزایش بار رسوبی می‌باشد. برای این منظور، ابتدا نقشه طبقات فرسایش در منطقه به کمک مدل‌های MPSIAC و RUSLE تهیه شد و برای ارزیابی میزان دقت آن‌ها از شاخص‌های آماری RMSE، MAE، MSE و NSEC و مدل پایه BLM که تمامی عوامل آن از طریق مشاهدات میدانی به دست آمد، استفاده گردید. از آنجا که نقشه حاصل از مدل MPSIAC همپوشانی بیشتری با شرایط واقعی منطقه داشت، از این مدل برای تعیین درجه رسوبدهی اشکال فرسایش بهره گرفته و سپس برای تحلیل ارتباط بین اشکال فرسایش با میزان رسوب از آزمون آنالیز واریانس استفاده شده است. نتایج در سطح اطمینان ۰/۹۹ نشان می‌دهد که درجه رسوبدهی اشکال فرسایش در منطقه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند. از این رو، مدل‌هایی که تفاوت بین این اشکال را در نظر می‌گیرند، می‌توانند دقت پیش‌بینی رسوب بیشتری داشته باشند. همچنین بالاترین درجه رسوبدهی مربوط به فرسایش آبکندی بوده که به رقم ۵۷ می‌رسد. پس از آن فرسایش سطحی و شیاری قرار دارند. این نتایج به بهبود دقت و کارایی برآورد رسوب کمک کرده و می‌تواند برای کنترل فرسایش و اقدامات حفاظتی هدفمند در حوضه مفید باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۰۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۷	
تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۲/۰۵	
واژگان کلیدی: اشکال فرسایش آبی، درجه رسوبدهی، قرناوه علیا.	

استناد: شیروانی، مهری؛ جوکار سرهنگی، عیسی و بخشی، منصور. (۱۴۰۴). تحلیل ارتباط بین اشکال فرسایش آبی و میزان رسوبدهی مطالعه موردی: حوضه قرناوه علیا، استان گلستان. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۵ (۱)، ۸۳-۱۰۰.

<http://doi.org/10.30488/gps.2025.485077.3795>

مقدمه

بهره‌وری صحیح از منابع طبیعی مستلزم شناخت مکانیسم عملکرد فرایندهای محیطی است (موسوی، ۱۳۹۶: ۱۵). شناسایی نوع رابطه بین مؤلفه‌های مختلف فرسایش خاک می‌تواند اطلاعات کامل‌تری از نحوه عملکرد این مؤلفه‌ها در حوضه‌های آبخیز ایجاد کند (سعیدیان و مرادی، ۱۴۰۱: ۱۱۵). همچنین، تعیین سهم اشکال مختلف فرسایش آبی در کل تولید رسوب برای بهبود تصمیم‌گیری در زمینه کاهش رسوب و اقدامات حفاظت از خاک اهمیت بسزایی دارد. (Zhang et al, 2018: 246). فرسایش سطحی در تمام سطح زمین تأثیرگذار است و به همین دلیل کم‌تر محسوس است؛ اما فرسایش شیاری، پیشرفته‌تر از فرسایش سطحی هست و زمانی اتفاق می‌افتد که رواناب متمرکز شده و کانال‌هایی در دل خاک ایجاد کنند (صالحی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۲). فرسایش سطحی، در آغاز بارندگی بر روی شیب‌های خاک اشباع شده رخ می‌دهد. با پیشرفت فرسایش، جریان‌های سطحی متمرکز می‌شوند و خطوط فرسایشی (شیار) تشکیل می‌شوند (Li et al, 2022). تشکیل شیارها نتیجه تعامل بین ویژگی‌های هیدرولیکی آب و مقاومت خاک است. ترکیب ذرات خاک تأثیر مهمی بر مقاومت فرسایش خاک دارد (Ni ShiMin et al, 2018: 149). یکی از مهم‌ترین اشکال فرسایش آبی، فرسایش آب‌کندی است که به علت تمرکز رواناب در شیارها و عریض‌تر و عمیق‌تر شدن آن‌ها شکل می‌گیرد. فرسایش آب‌کندی را می‌توان مخرب‌ترین شکل فرسایش آبی قلمداد کرد که سالانه موجب ایجاد حجم عظیمی از رسوبات می‌شود (ذاکری‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۲: ۷۲). همچنین این شکل فرسایش به تخریب حجم بزرگی از خاک‌های کشاورزی یک منطقه منجر می‌شود و خسارت‌های زیادی را برای کشاورزان به همراه دارد (دمی زاده و شادفر، ۱۴۰۰: ۱۴۰). با توجه به اهمیت سازندهای لسی که سطح وسیعی از استان گلستان را در بر گرفته است و نقش بسزای آن در تولید رسوب رودخانه گرگان رود، شناخت دقیق‌تر اشکال فرسایشی لسی‌ها جهت ارائه راهکارهای لازم برای معضل فرسایش و رسوب در آن‌ها به‌ویژه فرسایش آب‌کندی ضروری به نظر می‌رسد (خوجه و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۰۲). به‌علاوه، بررسی عامل فرسایش‌پذیری در اراضی لسی اطلاعات خوبی در مورد توان بالقوه خاک به فرسایش ارائه داده و این امر می‌تواند در چگونگی بهره‌برداری از آن و اقدامات حفاظتی مؤثر باشد (جندقی و همکاران، ۱۴۰۳: ۸۴۴۰).

با وجود آن‌که بیش‌تر روش‌های ارزیابی میزان فرسایش خاک، ارتباط مستقیمی با اشکال فرسایش و شدت آن‌ها در یک منطقه دارد، اما مطالعات در ارتباط با توزیع فضایی همه اشکال فرسایش آبی در یک پژوهش اندک است (جوکار سرهنگی و عموزاد، ۱۴۰۱: ۱۶۹). در این راستا، ویرتز^۱ و همکاران (۲۰۱۲) به مقایسه سهم فرسایش سطحی و شیاری در تلفات خاک از زمین‌های بایر در آندلس پرداختند. این مطالعه که با هدف اندازه‌گیری و مقایسه نرخ فرسایش از فرسایش سطحی و شیاری برای درک بهتر نقش و تأثیر آن‌ها انجام شد، بیانگر نقش مهم شیارها به‌عنوان منابع رسوب و اثرگذاری آن‌ها در جمع‌آوری رواناب است. با این حال، با وجود نرخ‌های فرسایش کمتر مناطق با فرسایش سطحی به دلیل گستردگی آن‌ها به‌طور قابل‌توجهی به از دست دادن کلی خاک کمک می‌کنند. روئیز^۲ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی فرسایش شیاری و آب‌کندی در یک زیرحوضه کوچک در جنوب اسپانیا پرداختند. بارندگی، رواناب و بار رسوب در خروجی زیرحوضه اندازه‌گیری شد و کمی سازی فرسایش توسط جریان متمرکز از طریق تحلیل تغییرات هندسی و ژئومورفولوژیکی شیارها و آب‌کندها انجام شد. نتایج نشان داد که نسبت‌های رسوب فرسایش شیاری به کل بار رسوب کمتر بوده و توسعه شبکه آب‌کندها بیشتر با رویدادهای شدید همراه بود. بیشتر رویدادها توانستند به فرسایش سطحی و شیاری کمک کنند، اما فقط رویدادهای بسیار شدید قادر به حمل رسوب به خروجی بوده و آب‌کندها منابع مهم رسوب بودند. et

1. Wirtz

2. Ruiz

دابی^۱ و همکاران (۲۰۱۵) از دو مدل به طور مشترک برای برآورد فرسایش و انتقال رسوب از یک حوضه آبخیز کوچک استفاده کردند. در این پروژه از نسخه جدیدی از RUSLE2 به نام RUSLER و مدل جدید آبکندهای موقتی استفاده شد. نتایج مدل سازی شده با رواناب و رسوب مقایسه شدند. تحول آبکند محاسبه شده بر اساس خصوصیات خاک، رواناب و حمل و نقل رسوب تقریباً یک چهارم از فرسایش کل را تشکیل داد؛ در حالی که بقیه از فرسایش سطحی و شیاری ناشی می شد. ژائو^۲ و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی در لس های فلات چین، تراکم آبکندها را با استفاده از گوگل ارث و سهم فرسایش سطحی خاک به تولید رسوب کل اندازه گیری و تجزیه و تحلیل کردند و به این نتیجه رسیدند که دخالت انسان در فرایند فرسایش سطحی به مراتب کمتر است و تولید رسوب بالا عمدتاً به عوامل توپوگرافی، پوشش گیاهی و آب و هوا بستگی دارد. نیشی مین^۳ و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی رابطه بین مورفولوژی فرسایش شیاری و تولید رسوب در شیب های مختلف و خاک شنی با درصدهای مختلف شن پرداختند. نتایج نشان داد با افزایش شیب، عمق متوسط شیار افزایش و عرض متوسط آن کاهش می یابد. همچنین عمق متوسط شیارها و پارامترهای جامع مورفولوژی آن ها تأثیر قابل توجهی بر پیش بینی تولید رسوب داشتند. ژانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۸) در حوضه رودخانه جینشا در چین بر اساس خصوصیات رسوباتی که در خروجی حوضه تجمع یافته است؛ حجم هر لایه از رسوبات تجمع یافته را محاسبه کردند. علاوه بر این، مقادیر فرسایش سطحی را با استفاده از مدل USLE تخمین زدند. نتایج نشان داد که فرسایش سطحی تنها ۱۴/۲۸ تا ۲۳/۳۹ درصد از کل تولید رسوب در حوضه آبخیز را شامل می شود. بنابراین، فرسایش آبکندهی منبع اصلی از دست رفتن خاک و تخریب زمین در این منطقه است. لی و همکاران (۲۰۲۲) به کمی سازی و مقایسه شکل های فرسایش سطحی و شیاری در طول یک شیب خاک اشباع پرداختند. در این تحقیق روش برازش فرسایش سطحی و روش تحلیلی فرسایش شیاری برای تعیین مراحل مختلف فرسایش از سطحی تا شیاری استفاده شد. نتایج نشان داد که فرسایش در اشکال سطحی و شیاری نسبت به شدت بارش حساس تر از شیب بودند. علاوه بر این، فرسایش در شکل شیاری تقریباً ۲/۳۱ تا ۵/۴۲ برابر بیشتر از فرسایش سطحی بودند.

در ایران، سلماسی و پیروان (۱۳۹۱) ارتباط بین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مارن با اشکال مختلف فرسایش در حوضه تلخه رود را مورد بررسی قرار دادند که نتایج آن ها نشان داد در بین فرسایش های توده ای و هزار دره ای، اسیدیتته تفاوت معنی دار دارد. همچنین درصد ماسه در بین اشکال مختلف فرسایش آبکندهی و هزار دره ای و مقدار گچ در بین اشکال فرسایش شیاری، آبکندهی و هزار دره ای تفاوت معنی دار نشان داد. در پژوهشی دیگر سکوتی اسکوتی و همکاران (۱۳۹۴) رابطه فرسایش پذیری، اشکال فرسایش و تلفات خاک های حاصل از سه نوع مارن را در آذربایجان غربی بررسی کردند که نتایج نشان داد، فرسایش سطحی در طبقه متوسط قرار داشته و در مناطق قره تپه و قره آغاج فرسایش آبکندهی امتیاز بیشتری به خود اختصاص داده و فرسایش شیاری در کلیه نقاط امتیازات بالایی داشته است. قاسمی دهنوی و همکاران (۱۳۹۴) مارن های جنوب حسن آباد ورامین را از نظر شکل و شدت فرسایش، ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و واگرایی مورد بررسی قرار دادند و با مقایسه با شاخص خمیری در بین اشکال مختلف فرسایش ملاحظه کردند شاخص خمیری فرسایش سطحی نسبت به سایر اشکال فرسایش اختلاف زیادی ندارد؛ اما مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در نمونه های با فرسایش آبراهه ای و آبکندهی بیشتر از بقیه واحدهای سازند قرمز بالایی است. مکی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی ارتباط بین نوع فرسایش و ویژگی های رسوب شناسی در اراضی مارنی دو سازند میشان و آغاچاری در باختر

1. Dabney

2. Zhao

3. NiShiMin

4. Zhang

بندرعباس پرداختند. نتایج نشان داد در فرسایش سطحی، مارن میشان نسبت به مارن آغاچاری دارای رس و سیلت بیشتری است که سبب افزایش چسبندگی خاک و مقاومت بیشتر در برابر فرسایش و انتقال رسوب شدند. در شکل فرسایش آبکندی در هر دو سازند میشان و آغاچاری، میزان ماسه نسبت به مجموع سیلت و رس به شدت افزایش یافته و با افزایش میزان ماسه، واگرایی خاک زیاد شده و توسعه فرسایش آبکندی فراهم می‌شود. صابر چناری و همکاران (۱۳۹۸) خطر فرسایش آبکندی را با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و گوپتا و جوشی در حوضه قرناوه پهنه‌بندی کردند و به این نتیجه رسیدند که ۷۴/۵۲ تا ۷۸/۱۱ درصد پهنه‌ها در طبقات خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. عرب‌خدری (۱۴۰۰) وضعیت فرسایش آبی و رسوب‌دهی ایران را با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری فرسایش کرت و سزیم ۱۳۷ و رسوب‌سنجی رودخانه‌ها و مخزن سدها در ۱۰۰۰ محل واکاوی نمود که نظر به اختلاف زیاد فرسایش کرت‌ها و رسوب‌دهی رودخانه‌ها، به احتمال زیاد سازندهای حساس، دیمزارهای شیب‌دار، شکل‌های فرسایش تشدید و عمیق آبکندی (بیش از ۱/۴ میلیون هکتار) نقش بیشتری در رسوب‌دهی دارند. عمادالدین و همکاران (۱۴۰۰) در ارزیابی خطر وقوع فرسایش آبکندی در حوضه آبخیز قویجق استان گلستان به این نتیجه رسیدند که نوع لیتولوژی لس توانسته بیشترین اثرگذاری را در ایجاد آبکندهای خطی از خود نشان دهد. علت را می‌توان در حساسیت بسیار بالای این سازند و این نوع لیتولوژی به فرایند فرسایش خاک به خصوص فرسایش انحلالی دانست، به طوری که انحلال‌پذیری زیاد سازند لسی که از نظر زمین‌شناسی از رس و آهک همراه با مارن هستند، در اثر پدیده انحلال و راهروهای زیرزمینی ایجاد شده و به تدریج این آبراهه‌ها توسعه پیدا کرده و سقف آن ریزش نموده و نهایتاً آبکند ایجاد می‌شود. در تحقیقی دیگر، جوکار سرهنگی و عموزاد (۱۴۰۱) در بررسی نقش سازندهای زمین‌شناسی و توپوگرافی در توسعه اشکال فرسایش آبی حوضه گلیداغ استان گلستان به این نتیجه رسیدند که اشکال پیشرفته فرسایش آبی شامل فرسایش آبکندی و بدلند در سازند لس غالب بوده و از مقدار مورد انتظار، گسترش بیشتری دارند. همچنین به وجود آمدن اشکال فرسایش در منطقه مورد بررسی بیش‌تر وابسته به متغیرهای ارتفاع و سازندهای زمین‌شناسی هستند و از این متغیرها می‌توان در انتخاب روش‌ها و راهکارهای اجرایی مناسب برای مدیریت اشکال فرسایش و کنترل شدت آن‌ها استفاده نمود.

در بیشتر مطالعات یاد شده سعی شد که با روش‌ها و مدل‌های مختلف، مناطق حساس به فرسایش و رسوب‌دهی حوضه‌ها را شناسایی نمایند که با توجه به شرایط حاکم بر هر حوضه، روش خاصی به کار گرفته شده است. بیشتر سطح حوضه قرناوه در استان گلستان را سازندهای حساس به فرسایش لس پوشانده که به طور کلی میزان فرسایش و رسوب‌دهی زیادی دارند. کلمه لس، که از لغت آلمانی Lös به معنی شل گرفته شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۳)، یک نوع رسوب نرم و کم تراکم است که عمدتاً از ذرات سیلت تشکیل شده و در مناطقی با بادهای قوی تشکیل می‌شود. این نوع خاک به دلیل ساختار ضعیف و تراکم پایین، حساسیت زیادی به فرسایش دارد. فرآیند شکل‌گیری لس در دوره‌های خشک و بادی، به ویژه در دوران یخبندان‌های پلیستوسن، رخ داده است. به همین دلیل، خاک‌های لسی به راحتی تحت تأثیر رواناب و باد قرار گرفته و دچار فرسایش می‌شوند. از این رو، ضرورت دارد برای دستیابی به روش‌های کاربردی مهار و مبارزه با فرسایش در اراضی لسی از طریق شناسایی عوامل مؤثر بر آن‌ها اقدام به پژوهش‌های مناسبی گردد (خوجه و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۰۳). گسترش اشکال مختلف فرسایش سطحی، شیاری و آبکندی روی اراضی لسی حوضه قرناوه که بیشتر به کاربری زراعی اختصاص یافته، بسیار زیاد است. رودخانه قرناوه به صورت یک آبکند بزرگ و ناپایدار (شکل ۱) و در برخی نقاط با عمق زیاد و کاملاً فرسایشی است (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۴). بررسی اشکال فرسایش و میزان رسوب‌دهی آن‌ها در منطقه، امکان شناسایی نواحی بحرانی و بهبود دقت و کارایی برآورد رسوب را نیز فراهم می‌کند. از طرفی، نوع کار پیشنهادی و اجرای طرح‌های حفاظتی در مناطق با فرسایش سطحی، شیاری و آبکندی

متفاوت است؛ از این رو، شناخت دقیق و علمی از کم و کیف تأثیر این اشکال بر میزان رسوبدهی حوضه‌ها ضرورت می‌یابد. در این راستا، پژوهش حاضر به منظور شناسایی اشکال فرسایش آبی در منطقه و بررسی نقش این اشکال در افزایش رسوبدهی حوضه قرناوه علیا انجام شده است. لازم به ذکر است که تاکنون این ارتباط به صورت کمی مورد توجه چندانی قرار نگرفته و دید جامعی از اشکال مختلف فرسایش و تأثیر همه آن‌ها بر رسوبدهی در یک حوضه ارائه نشده است.



شکل ۱. اشکال فرسایش طبیعی (بالا راست)، سطحی (بالا وسط)، شیاری (بالا چپ)، آبکندی (پایین راست) در منطقه و رودخانه قرناوه به صورت یک آبکند بزرگ (پایین چپ)

روش پژوهش

در پژوهش حاضر، ابتدا اشکال فرسایش آبی در منطقه اعم از سطحی، شیاری و آبکندی با کمک عکس‌های هوایی، تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای میدانی و برداشت نقاط توسط GPS شناسایی و نقشه آن در محیط ArcGIS 10.3 تهیه شد. سپس برای تهیه لایه‌های عوامل مؤثر بر آن‌ها، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه از سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۳۰ متر از سایت USGS و نقشه خاک از گزارش اداره منابع طبیعی استان گلستان و همچنین نقشه پوشش و کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست⁺ ETM⁺ تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. آنگاه برای تهیه نقشه طبقات فرسایش از متداول‌ترین مدل‌های تجربی یعنی MPSIAC¹ و

1. Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

¹RUSLE و برای ارزیابی دقت مکانی نقشه‌های تهیه‌شده از مدل ²BLM استفاده شده است. این مدل‌ها که عوامل بیشتری را در ارزیابی فرسایش و رسوب از حوضه‌ها در نظر می‌گیرند، بیشترین کاربرد را در مطالعات و تحقیقات آبخیزداری دارند (بیات و همکاران، ۱۳۹۹: ۵). مدل PSIAC ابتدا در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت آب آمریکا برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب این کشور بر اساس ۹ فاکتور زمین‌شناسی، خاک، آب‌وهوا، پوشش گیاهی، رواناب سطحی، پستی‌وبلندی، استفاده از زمین، وضعیت فرسایش سطحی و فرسایش رودخانه‌ای ارائه شد. سپس در سال ۱۹۸۲ در روش تعیین فاکتورهای مذکور تغییراتی داده شد و موردبازنگری قرار گرفت. در مدل پسیاک اصلاح شده (MPSIAC) برای هر یک از عوامل مؤثر در فرسایش و رسوب‌دهی، ضرابی در نظر گرفته شد. همچنین معادلاتی جهت برآورد فاکتورهای مورد ارزیابی پیشنهاد شده که برآورد کمی هر یک از فاکتورها آسان‌تر و دقت مدل نیز افزایش یافته است. این مدل که در حال حاضر مناسب‌ترین مدل مطالعه برای حوضه‌های آبخیز کشور شناخته شده است (معمدوزیری و همکاران، ۱۴۰۲: ۵۱)؛ به دلیل همپوشانی بیشتر با شرایط واقعی منطقه و دقت بالاتر در پژوهش حاضر نیز مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین میزان دقت مدل‌ها چون تمامی عوامل مدل BLM از طریق بازدید میدانی به دست می‌آیند، به‌عنوان نقشه واقعیت زمینی، مدنظر قرار گرفت. به‌علاوه، یک لایه نقطه‌ای به‌صورت شبکه‌بندی منظم جهت نمونه‌برداری در ۱۰۵۱ نقطه از نقشه‌های حاصل از این مدل‌ها تهیه و با توجه به نقاط نمونه‌برداری مذکور، میزان هر یک از آماره‌های ³RMSE (جذر میانگین مربعات خطا)، ⁴MAE (میانگین خطای مطلق)، ⁵MSE (میانگین مربعات خطا) و ⁶NSEC (ضریب کارایی ناش و ساتکلیف) محاسبه شد. در مرحله بعد، با توجه به میزان دقت مدل‌ها برای تعیین درجه رسوب‌دهی از مجموع امتیازات عوامل مختلف مربوط به مدل MPSIAC، استفاده گردید و طبق روابط مربوط به آن و بسته به‌شدت و ضعف تأثیر آن‌ها به لایه‌های عوامل مؤثر در فرسایش و تولید رسوب، شامل زمین‌شناسی، خاک، اقلیم، رواناب، شیب، پوشش زمین و کاربری اراضی امتیاز داده شد، اما از عامل‌های فرسایش سطحی (عامل ۸) و فرسایش آبراهه‌ای (عامل ۹) به‌عنوان متغیرهایی که در تعیین امتیاز آن‌ها، اشکال فرسایش سطحی، شیاری و آبکندی دخالت داده می‌شوند و به نحوی مدل فرسایش و رسوب را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند، صرف‌نظر شده و از هفت عامل به‌عنوان متغیرهای مؤثر، بهره گرفته و امتیاز رسوب‌دهی آن‌ها مدنظر قرار گرفت. هر یک از این نقشه‌ها با نقشه‌های اشکال فرسایش آبی منطقه همپوشانی گردید و با جمع امتیاز عوامل، درجه رسوب‌دهی هر یک از اشکال فرسایش به دست آمد. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به‌دست‌آمده از آمار توصیفی آن‌ها استفاده شده و برای تحلیل رابطه بین متغیرهای اشکال فرسایش آبی با درجه رسوب‌دهی آن‌ها از آزمون آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) استفاده گردید. این آزمون وقتی انجام می‌شود که نمونه انتخاب‌شده از یک جمعیت با توزیع نرمال بوده و در فرضیه مطرح‌شده چگونگی اختلاف چند گروه مستقل مقایسه شده باشد. آماره آزمون در این حالت به‌صورت رابطه (۱) است (نویخت، ۱۳۹۶: ۱۰۱).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^K n_i (\bar{X}_i - \bar{X}_{..})^2 / K - 1}{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 / \sum_{i=1}^K n_i - K} \quad \text{رابطه (۱)}$$

1. Revised Universal Soil Loss Equation
2. Bureau of Land management
3. Root Mean Square Error
4. Mean Absolute Error
5. Mean Square Error
6. Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient

که در آن \bar{X}_i میانگین مشاهدات جامعه i ام و \bar{X} میانگین همه nk مشاهده شده است. خلاصه محاسبه آماری آنالیز واریانس را می توان به صورت جدول ۱ ارائه نمود (بی همتا و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۸۸). منابع تغییر شامل تیمار (متغیر گروه بندی) و خطای آزمایشی است. ابتدا مجموع مربعات منابع تغییر مشخص شده و سپس از تقسیم مجموع مربعات تیمار و خطا به درجه آزادی آن ها، میانگین مربعات (واریانس) برای هر کدام محاسبه می شود. برای محاسبه آماره F میانگین مربعات تیمار به میانگین مربعات خطا تقسیم می گردد.

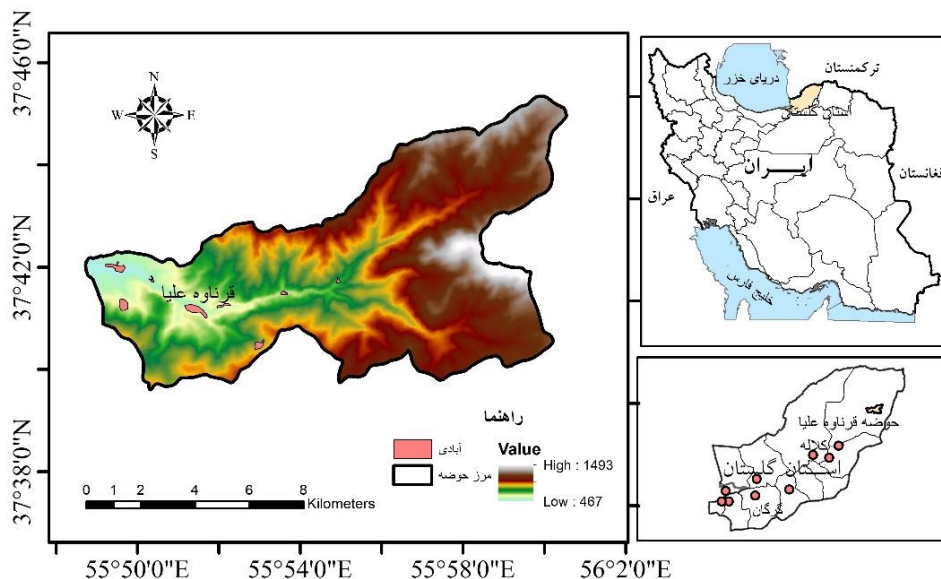
جدول ۱. آنالیز واریانس

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره آزمون
بین گروه ها (تیمار)	$n \sum_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	k-1	MSB	$\frac{MSB}{MSE}$
داخل گروه ها (خطا)	$\sum_i \sum_j (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$	n-k	MSE	
کل	$\sum_i \sum_j (X_{ij} - \bar{X})^2$	n-1		

منبع: (بی همتا و زارع چاهوکی، ۱۳۹۴: ۱۸۹)

محدوده مورد مطالعه

حوضه قرناوه علیا در شرق استان گلستان و در شهرستان مراوه تپه قرار دارد (شکل ۲). این حوضه که خود یکی از زیر حوضه های قرناوه بزرگ و گرگانرود محسوب می شود، در موقعیت جغرافیایی (۴۹° ۵۵' تا ۰۲° ۵۶' طول شرقی و ۳۸' ۳۷° تا ۴۵' ۳۷° عرض شمالی واقع است. مساحت این حوضه ۴۹/۳۳ کیلومتر مربع است. کمترین ارتفاع آن از سطح دریا ۴۸۰ متر و بیشترین ارتفاع آن ۱۴۹۴ متر است.



شکل ۲. نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه قرناوه علیا در استان گلستان

یافته ها

نقشه اشکال فرسایش آبی حوضه قرناوه علیا در شکل ۳ ارائه شده که بیانگر تنوع و ظهور اشکال مختلف فرسایش در آن است. فرسایش به شکل طبیعی با مساحت ۲۳۵۵ هکتار در مناطق با پوشش جنگلی و بیشتر در سرشاخه ها و

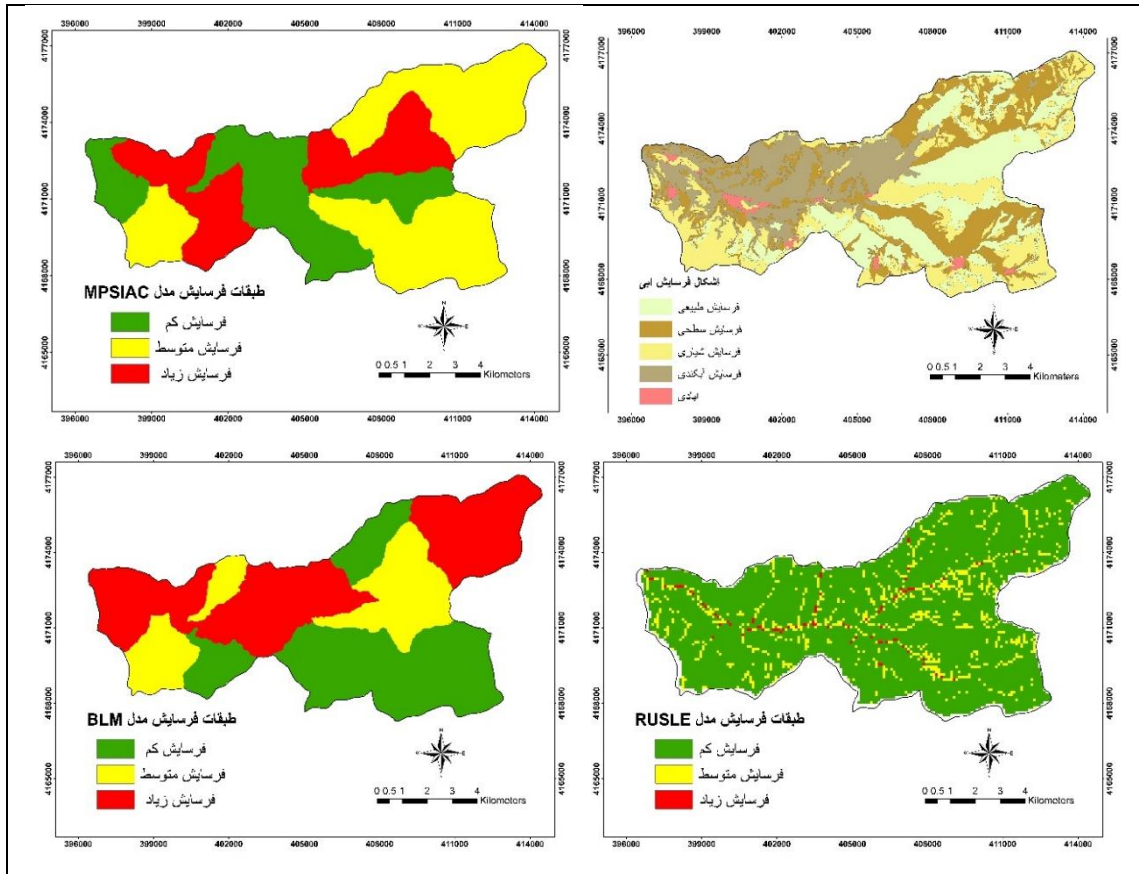
قسمت‌های شرقی حوضه وجود دارد؛ اما فرسایش سطحی با مساحت ۲۳۸۱ هکتار به‌صورت پراکنده در بیشتر نقاط حوضه با توجه به لسی بودن خاک آن به چشم می‌خورد. فرسایش شیاری نیز همانند فرسایش سطحی به‌صورت پراکنده در سراسر حوضه گسترده است؛ اما فرسایش آبکندی با مساحت ۲۰۶۲ هکتار به‌صورت متمرکز در قسمت‌های غرب و شمال غربی حوضه با فقر پوشش گیاهی گسترش پیدا کرده است. به‌منظور تعیین درجه رسوب‌دهی اشکال فرسایش مذکور، ابتدا ارزیابی پراکنش طبقات فرسایش حاصل از مدل‌های MPSIAC و RUSLE در مقایسه با مدل BLM انجام شد. مقادیر عوامل مدل‌های مذکور در حوضه قرناوه علیا در جدول ۱ ارائه شده است. از عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC که از عوامل مؤثر بر تولید رسوب محسوب می‌شوند، عوامل پوشش زمین و فرسایش رودخانه‌ای به ترتیب با ۱۰/۸۳ و ۱۰/۲ بالاترین مقدار از عوامل موردبررسی را به خود اختصاص دادند. نتایج عوامل مدل RUSLE نیز نشان می‌دهد که عامل توپوگرافی طول شیب و درجه شیب، عوامل اصلی و مؤثر در فرسایش خاک هستند که به ترتیب با مقادیر ۴/۴۱ و ۳/۳۷ بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند. نقشه‌های حاصل از اجرای مدل‌های مذکور در شکل ۳ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که طبقات فرسایش متوسط و زیاد در مدل MPSIAC به ترتیب ۴۶ و ۲۴ درصد از مساحت کل حوضه را به خود اختصاص دادند، اما مساحت این طبقات در مدل RUSLE تنها ۱۱ درصد از مساحت حوضه است که بیانگر تفاوت زیاد بین این دو مدل است. جهت بررسی صحت مکانی نقشه‌های دو مدل مذکور، از مدل BLM استفاده شد. نتایج به کمک شاخص‌های آماری RMSE، MAE، MSE و NSEC و بر اساس نقشه نقاط تصادفی (۱۰۵۱ نقطه) در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر میانگین عوامل مدل MPSIAC و RUSLE در سطح حوضه قرناوه علیا

مدل	عوامل مدل	مقدار	مدل	عوامل مدل	مقدار
MPSIAC	زمین‌شناسی سطحی	۶/۰۴	RUSLE	فرسایش باران	۳/۳۴
	خاک	۹/۴۶		فرسایش‌پذیری خاک	۰/۵۷
	آب‌وهوا	۲/۶۰		توپوگرافی طول شیب	۴/۴۱
	رواناب	۱۰/۰۸		توپوگرافی درجه شیب	۳/۳۷
	توپوگرافی	۸/۰۹		مدیریت پوشش گیاهی	۰/۳۰
	پوشش زمین	۱۰/۸۳		عملیات حفاظتی برای خاک	۱/۰۰
	استفاده از زمین	۹/۱۶		میانگین شدت فرسایش	۶/۰۹
	فرسایش سطحی	۶/۵۹		(به تن در هکتار در سال)	
	فرسایش رودخانه‌ای	۱۰/۲۰			

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های آماری ارزیابی مدل‌های MPSIAC و RUSLE

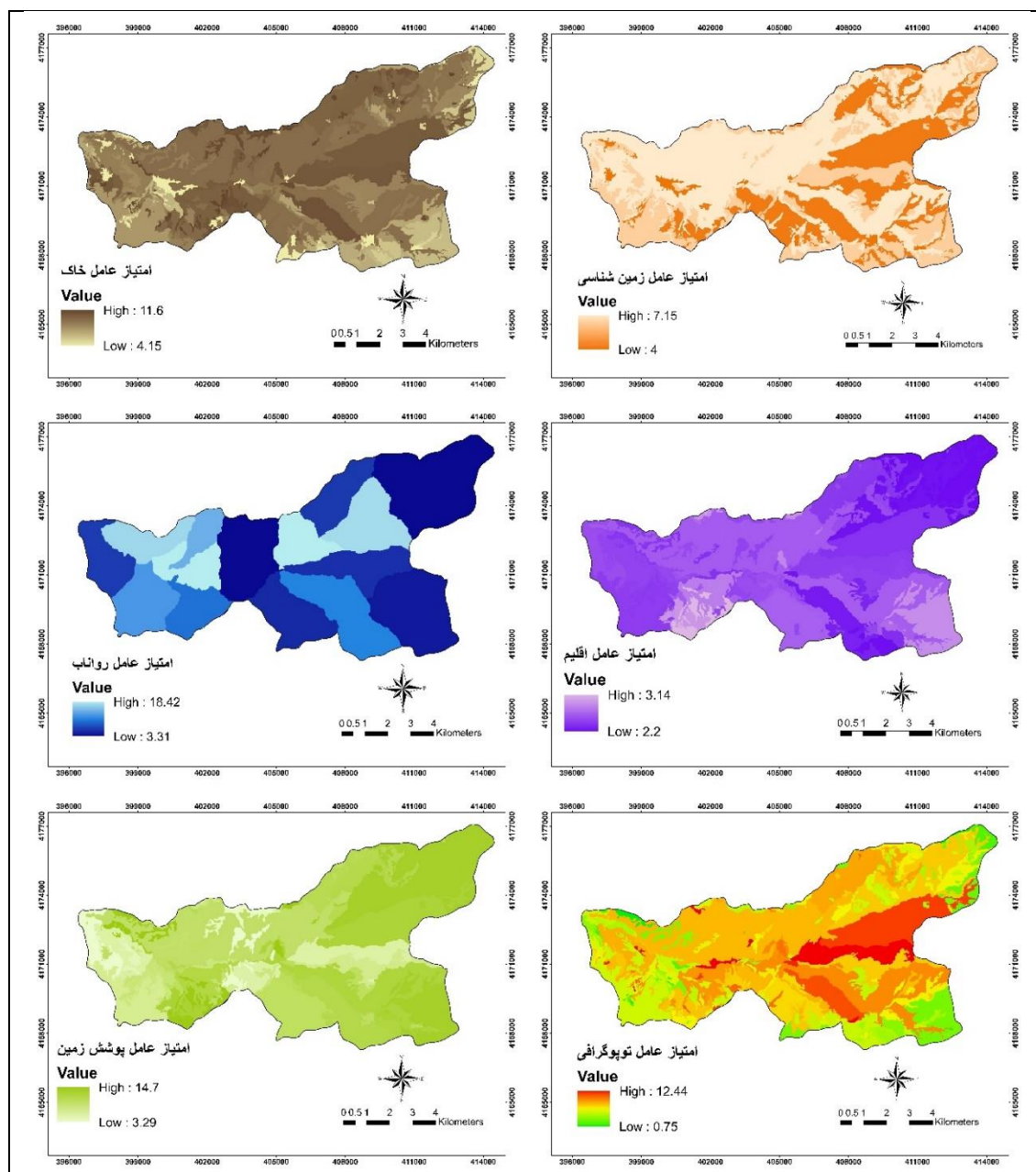
شاخص	MPSIAC	RUSLE
مدل		
NSEC	-۰/۶۳۰	-۱/۲۷۱
MAE	۰/۹۱۱	۱/۰۱۵
MSE	۱/۲۶۷	۱/۷۴۲
RMSE	۱/۱۲۵	۱/۳۳۰



شکل ۳. نقشه اشکال فرسایش آبی در حوضه قرناوه علیا (بالا راست)، طبقات فرسایش مدل MPSIAC (بالا چپ)، مدل RUSLE (پایین راست) و مدل BLM (پایین چپ)

بررسی شاخص‌های آماری یادشده نشان می‌دهد که شاخص‌های MAE ، $RMSE$ و MSE در مدل MPSIAC دارای مقادیر پایین‌تری هستند، در نتیجه این مدل دارای خطای کمتری است. همچنین بررسی مقدار ضریب $NSEC$ در دو مدل نشان می‌دهد که مقدار این ضریب در مدل MPSIAC به یک نزدیک‌تر است که نشان از کارایی بهتر این مدل در حوضه قرناوه دارد. بنابراین، طبق روابط مربوط به این مدل، به لایه‌های عوامل مؤثر امتیاز داده شد و درجه رسوبدهی اشکال فرسایش در منطقه نیز به دست آمد که نتایج در شکل ۴ ارائه شده است. بررسی عامل زمین‌شناسی نشان داد امتیاز رسوبدهی آن در اشکال مختلف فرسایش از ۴ تا $7/15$ متغیر است؛ اما میانگین رسوبدهی این عامل در شکل فرسایش آب‌کندی بالاتر است که به رقم $6/54$ می‌رسد و پس از آن، شکل فرسایش شیاری با رقم $6/33$ قرار دارد. بررسی عامل خاک در منطقه نشان می‌دهد تغییرات امتیاز آن در منطقه از رقم $4/15$ تا $11/6$ متغیر است. اما بیشترین میانگین امتیاز رسوبدهی عامل خاک در منطقه مربوط به فرسایش شیاری است که به رقم $7/79$ می‌رسد. بررسی‌های مربوط به عامل اقلیم نشان داد که حداقل و حداکثر امتیاز رسوبدهی اشکال فرسایش در آن از $2/2$ تا $3/14$ متغیر می‌باشد، بنابراین تغییرات میانگین امتیاز این عامل در اشکال مختلف فرسایش نیز کم است. تغییرات امتیاز عامل رواناب از $3/31$ تا $18/42$ را شامل می‌شود، اما میانگین آن در فرسایش آب‌کندی بیشتر است که به رقم $11/471$ می‌رسد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به اشکال فرسایش طبیعی و سطحی است که به رقم $9/21$ و $10/23$ کاهش می‌یابد. همچنین تغییرات امتیاز رسوبدهی عامل توپوگرافی در اشکال مختلف فرسایش از $0/75$ تا $12/44$ بوده و میانگین آن در اشکال فرسایش طبیعی و سطحی به ترتیب $7/69$ و $7/31$ به دست آمد. معمولاً فراوانی این اشکال در ارتفاعات منطقه بیشتر است که با شیب

بالاتری نیز همراه هستند. سرانجام بررسی‌های مربوط به کاربری اراضی نشان داد که امتیاز رسوب‌دهی آن در اشکال فرسایش از ۵/۳ تا ۱۶/۷۱ متغیر است و بیشترین میانگین رسوب‌دهی این عامل در منطقه مربوط به فرسایش آبکندی است که به رقم ۱۰/۸ می‌رسد. در مقابل کم‌ترین مقدار آن مربوط به فرسایش طبیعی است که به رقم ۸/۶۸ کاهش می‌یابد.



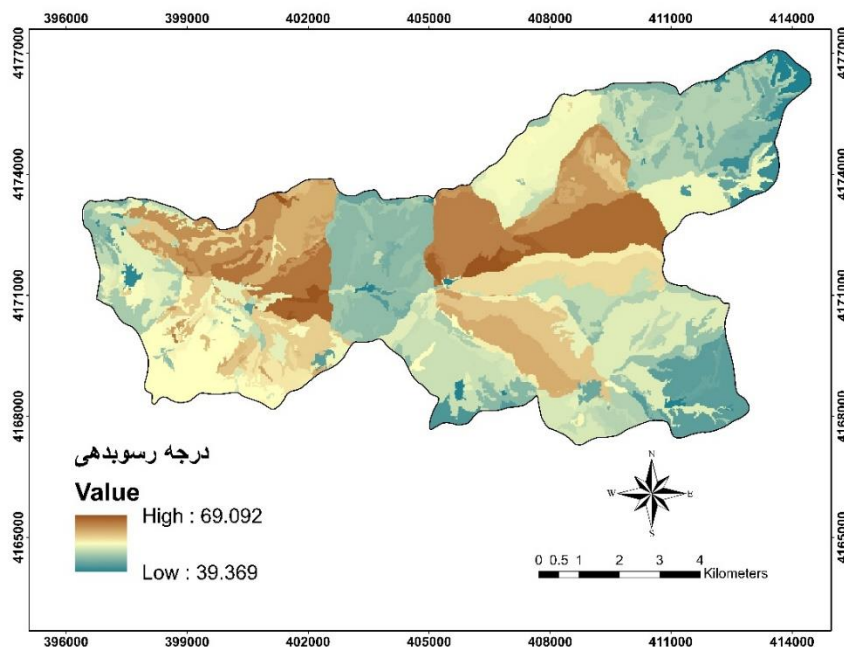
شکل ۴. امتیاز رسوب‌دهی اشکال مختلف فرسایش در ارتباط با هر عامل در حوضه قرناوه علیا

پس از ارزیابی و تعیین امتیازهای هر یک از عوامل مؤثر در فرسایش و تولید رسوب منطقه، با جمع آن‌ها درجه رسوب‌دهی حاصل شد. از همپوشانی این نقشه با نقشه اشکال فرسایش در منطقه، درجه رسوب‌دهی آن‌ها نیز به دست آمد که نتایج در شکل ۵ و جدول ۴ آمده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، تغییرات درجه رسوب‌دهی در

منطقه از رقم ۳۹/۴ تا ۶۹/۱ را شامل می‌شود. با توجه به جدول ۳، بیشترین میانگین درجه رسوبدهی در منطقه مربوط به شکل فرسایش آبکندی است که به رقم ۵۶/۹۹ می‌رسد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به فرسایش طبیعی است که به رقم ۵۴/۴۸ کاهش می‌یابد. به این ترتیب آبکندهای منطقه در میزان فرسایش و تولید رسوب حوضه قرناوه تأثیر بیشتری دارند.

جدول ۴. میانگین درجه رسوبدهی هر یک از اشکال فرسایش در حوضه قرناوه علیا

اشکال فرسایش	تعداد داده	میانگین درجه رسوبدهی	انحراف معیار
طبیعی	۲۵۰	۵۴/۴۸۳	۴/۵۲۸
سطحی	۴۴۴	۵۴/۵۳۷	۴/۷۱۸
شیاری	۴۳۳	۵۵/۵۳۲	۵/۲۹۷
آبکندی	۱۷۱	۵۶/۹۹۳	۵/۴۴۸



شکل ۵. درجه رسوبدهی اشکال مختلف فرسایش حوضه قرناوه علیا

به منظور بررسی معنی داری تفاوت درجه رسوبدهی در اشکال فرسایش آبی منطقه با توجه به حجم نمونه‌ها (که بزرگ هست) از آزمون آنالیز واریانس استفاده گردید. نتایج به دست آمده از آزمون مذکور در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج بررسی در سطح ۰/۰۱ نشان می‌دهد که درجه رسوبدهی اشکال فرسایش در منطقه تفاوت معنی داری با یکدیگر دارند و به این ترتیب، سهم هر شکل فرسایش در تولید رسوب با اشکال دیگر فرسایش متفاوت است.

جدول ۵. نتایج آزمون آنالیز واریانس درجه رسوبدهی اشکال فرسایش در حوضه

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره آزمون	سطح معناداری
اشکال فرسایش	۹۲۰/۸۹۶	۳	۳۰۶/۹۶۵	۱۲/۳۵۹	۰/۰۰۰
خطا	۳۲۱۳۹/۱۰۶	۱۲۹۴	۲۴/۸۳۷		
کل	۳۳۰۶۰/۰۰۲	۱۲۹۷			

به منظور بررسی دقیق تر درجه رسوبدهی در محدوده‌های مختلف از آزمون توکی استفاده شده است. نتایج بررسی در جدول (۶) ارائه شده است. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود، درجه رسوبدهی در محدوده‌های با فرسایش طبیعی، شیاری و سطحی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند؛ زیرا این اشکال فرسایش، درجه رسوبدهی کمتری دارند. اما درجه رسوبدهی محدوده‌های مذکور با شکل فرسایش آبکندی تفاوت معنی‌داری دارند و محدوده‌های با فرسایش آبکندی دارای بیشترین درجه رسوبدهی می‌باشد.

جدول ۶. زیرمجموعه‌های یکسان بر اساس آزمون توکی درجه رسوبدهی اشکال فرسایش

شکل فرسایش	میانگین زیرمجموعه ۱	میانگین زیرمجموعه ۲
طبیعی	۵۴/۴۸۳۷	
سطحی	۵۴/۵۳۷۲	
شیاری	۵۵/۵۳۲۹	
آبکندی		۵۶/۹۹۳۴

بحث

در پژوهش حاضر، دو مدل MPSIAC و RUSLE برای تعیین طبقات فرسایش خاک در حوضه قرناوه علیا اجرا شد و با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای BLM و شاخص‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت که بیانگر دقت بیشتر مدل MPSIAC در این حوضه است. در این راستا، بیات و همکاران (۱۳۹۹)، صحت و نحوه پراکنش طبقات فرسایش حاصل از مدل‌های EPM و MPSIAC در حوضه شهریاری را مورد مطالعه قرار دادند. بررسی شاخص‌های آماری در تحقیق مذکور نیز نشان داد که میزان تطابق طبقات فرسایش مدل MPSIAC بیشتر است. بر این اساس، در تحقیق پیش رو، برای تعیین رسوبدهی اشکال فرسایش آبی حوضه قرناوه از این مدل استفاده شد که نتایج نشان داد رسوبدهی اشکال فرسایش با متغیرهای مختلف تغییر کرده و تحت تأثیر عوامل جنس سنگ، ارتفاع، اقلیم، رواناب، شیب، جهت شیب، خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی قرار دارد. در واقع، این عوامل بر پیدایش اشکال مختلف فرسایش از سطحی تا آبکندی تأثیرگذار هستند؛ اما در بین آن‌ها عوامل زمین‌شناسی، رواناب و کاربری اراضی نه تنها در پیدایش اشکال مختلف فرسایش، بلکه در شدت آن‌ها نیز تأثیرگذار هستند. به این صورت که میانگین رسوبدهی شکل فرسایش آبکندی در لایه‌های عوامل زمین‌شناسی، رواناب و کاربری اراضی بالاتر از دیگر اشکال فرسایش است و این میزان در ارتباط با عامل زمین‌شناسی ۶/۵۴، رواناب ۱۱/۴۷ و کاربری اراضی ۱۰/۸ بوده که بیشتر از میانگین رسوبدهی در شکل فرسایش طبیعی، سطحی و شیاری منطقه است. امتیاز رسوبدهی عامل زمین‌شناسی بین ۴ تا ۷/۱۵ متغیر بوده و این تغییرات نشان می‌دهد که ویژگی‌های سنگ‌شناسی نقش مهمی در شدت فرسایش و در نتیجه میزان رسوبدهی ایفا می‌کند. به طور کلی، سنگ‌هایی که از مقاومت کمتری برخوردارند (اراضی لسی منطقه)، مستعد فرسایش بیشتری هستند. در مناطق با سنگ‌های نرم‌تر و نفوذپذیری بیشتر توانایی آب برای نفوذ و ایجاد شیارهای عمیق بیشتر است و شکل‌گیری آبکندها و شیارها سریع‌تر اتفاق می‌افتد که این امر به نوبه خود منجر به رسوبدهی بالاتر می‌شود. همچنین، امتیاز رسوبدهی عامل رواناب نیز متغیر بوده و بیشترین میانگین آن در فرسایش آبکندی و کمترین مقدار آن در اشکال فرسایش طبیعی و سطحی مشاهده شده است. رواناب، به ویژه در مناطقی که پوشش گیاهی کم است، نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد فرسایش آبکندی دارد. حجم بالای رواناب می‌تواند موجب افزایش انرژی آب شود و در نتیجه قدرت آن برای حمل و جابجایی رسوبات بیشتر شود. تغییرات امتیاز رسوبدهی در ارتباط با کاربری اراضی نیز نشان‌دهنده تأثیر نوع کاربری بر شکل فرسایش و رسوبدهی در منطقه است. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین

رسوبدهی در مناطق با فرسایش آبکندی مشاهده می‌شود. این امر ممکن است به دلیل تغییرات کاربری اراضی و تبدیل زمین‌های طبیعی به زمین‌های کشاورزی یا ساخت‌وسازها باشد که منجر به کاهش پوشش گیاهی و افزایش رواناب سطحی می‌شود. در مقابل، کمترین مقدار رسوبدهی در ارتباط با فرسایش طبیعی دیده می‌شود که نشان‌دهنده اهمیت حفظ پوشش گیاهی طبیعی در کاهش رسوبدهی و حفظ پایداری خاک است. در راستای این نتایج، Conforti (2011) et al نیز نشان دادند که شکل و میزان فرسایش آبکندی متأثر از برآیند تأثیر عوامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی و قدرت روان آب‌ها است. نتایج باقریان کلات و همکاران (۱۳۹۷) نیز نشان داد که سنگ‌های موردبررسی از نظر فرسایش و رسوبدهی با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند. واحد کاری مارن با املاح فراوان واجد فرسایش شیاری و دارای بیشترین مقدار رسوبدهی هستند. همچنین نتایج سعیدیان و مرادی (۱۳۹۲) نشان داد که تلفات خاک و رسوبدهی در کاربری‌ها اختلاف معنی‌داری باهم دارند. مدل‌های رگرسیونی به‌دست‌آمده نشان داد که در کاربری‌های مختلف، مقادیر سیلت، ماسه خیلی ریز، آهک، شوری، اسیدیته خاک و ماده آلی بیشترین نقش را در تولید رسوب داشته است. Ayadiuno et al (2022) نیز نشان دادند که تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی می‌تواند ابعاد گسترش آبکنند و از دست دادن ذرات خاک را در محل فرسایش تحت تأثیر قرار دهد.

در مرحله دیگر از پژوهش حاضر، باهمپوشانی نقشه درجه رسوبدهی و نقشه اشکال فرسایش در منطقه، تغییرات درجه رسوبدهی آن‌ها نیز مشخص شد. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین درجه رسوبدهی منطقه در شکل فرسایش آبکندی با رقم ۵۶/۹۹ بوده و کم‌ترین مقدار آن مربوط به فرسایش طبیعی است که به رقم ۵۴/۴۸ کاهش می‌یابد. آزمون‌های آماری آنالیز واریانس نیز نشان‌دهنده تفاوت معنادار درجه رسوبدهی بین اشکال مختلف فرسایش در سطح ۰/۰۱ است. این امر بیانگر آن است که هر یک از اشکال فرسایش آبی سهم متفاوتی در تولید رسوب دارند. از میان اشکال فرسایش موردبررسی، فرسایش طبیعی، سطحی و شیاری دارای درجه رسوبدهی کمتری بوده و تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. اما فرسایش آبکندی دارای درجه رسوبدهی بالاتری است و تفاوت معنی‌داری با سایر اشکال فرسایش نیز نشان می‌دهد. نتایج آزمون توکی این یافته‌ها را تقویت می‌کند. این آزمون نشان داد که درجه رسوبدهی در محدوده‌های با فرسایش آبکندی به‌طور معناداری بیشتر از سایر اشکال فرسایش است. این امر با تحقیقات (2013) Najm et al و (2017) Zarei & Amiri که نشان می‌دهند فرسایش آبکندی به دلیل شدت بالای رواناب و تخریب بیشتر زمین، رسوبدهی بالاتری نسبت به دیگر اشکال فرسایش دارد، همخوانی دارد. در این راستا، lai et al (2023)، jiang et al (2023) و nurlina et al (2022) در منطقه تحقیق خود نشان داده‌اند که فرسایش آبکندی به‌عنوان مرکز اصلی تولید رسوب شناخته‌شده و اقدامات برای کاهش این نوع فرسایش بسیار حیاتی است. تحقیقات یاد شده این موضوع را تأیید کرده‌اند که از فرسایش سطحی به فرسایش آبکندی، شدت فرسایش و تولید رسوب افزایش می‌یابد. Zhang et al (2018) و (2019) جاویدان و همکاران نیز به این نتیجه رسیدند که فرسایش آبکندی منبع اصلی از دست رفتن خاک و رسوبدهی در منطقه است و اقدامات مؤثر برای کاهش فرسایش آبکندی برای مدیریت تولید رسوب از اهمیت بسزایی برخوردار است. همچنین مکی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در بررسی ارتباط بین نوع فرسایش و ویژگی‌های رسوب‌شناسی نشان دادند از فرسایش سطحی به آبکندی شدت فرسایش و میزان تولید رسوب بالاتر می‌رود. نتایج عمادالدین و همکاران (۱۴۰۰) در مجاورت منطقه مورد مطالعه در حوضه قویچق استان گلستان نشان داد که ۵۰ درصد از سطح منطقه در مناطق با خطر بسیار زیاد و زیاد فرسایش آبکندی قرار داشته و در نواحی که آبراهه‌ها، جاده و سازندهای لسی وجود دارد، به‌شدت فرسایش آبکندی دیده می‌شود. نتایج جوکار سرهنگی و عموزاد (۱۴۰۱) در حوضه گلیداغ استان گلستان نیز بیانگر گسترش بیش‌تر اشکال فرسایش به‌ویژه شکل پیشرفته آن در سازند لس است.

فراوانی مشاهده شده اشکال پیشرفته فرسایش آبکندی در سازند لس از مقادیر مورد انتظار آن‌ها بیش تر بوده که نشانه فرسایش پذیری بالای آن است. در مقابل، مساحت اشکال فرسایش ابتدایی مثل فرسایش سطحی در مناطق لسی از مقدار مورد انتظار بسیار کم تر است. به نظر کریمی و همکاران (۱۳۹۰) نیز سیلت فراوان و رس کم باعث می‌شوند که سازندهای لسی در صورت مدیریت نامناسب، حساس‌ترین خاک‌ها به فرسایش باشند.

نتیجه‌گیری

بررسی پیشینه تحقیق در مورد اشکال فرسایش آبی و تأثیر آن‌ها بر رسوبدهی نشان داد که در بیشتر تحقیقات، اشکال فرسایش به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و در زمینه بررسی دقت مکانی نقشه‌های شدت فرسایش و ارتباط بین اشکال آن با میزان رسوبدهی در حوضه‌ها نیز پژوهش‌های قابل توجهی انجام نشده است. در این تحقیق با وجود مشکلات دسترسی و بازدیدهای مکرر از منطقه و محدودیت‌های مدل‌های تجربی در برآورد فرسایش خاک و همچنین فقدان نقشه مشاهده‌ای فرسایش خاک معتبر، ابتدا اشکال فرسایش آبی موجود در حوضه قرناوه علیا اعم از طبیعی، سطحی، شیاری و آبکندی مورد بررسی قرار گرفت و برای تعیین درجه رسوبدهی هر شکل فرسایش، از مجموع امتیازات عوامل مختلف مربوط به مدل MPSIAC استفاده شد؛ زیرا ارزیابی دقت مدل‌ها با استفاده از مدل پایه BLM و مقایسه نتایج شاخص‌های آماری MSE، MAE، RMSE و NSEC نشان داد که نقشه توزیع مکانی طبقات فرسایش این مدل نسبت به مدل RUSLE از دقت بالاتری برخوردار است. بالاترین میانگین درجه رسوبدهی اشکال فرسایش آبی در منطقه مربوط به فرسایش آبکندی است که به رقم ۵۶/۹۹ می‌رسد. بنابراین فرسایش آبکندی بیشترین نقش و سهم را در افزایش میزان رسوبدهی نسبت به سایر اشکال فرسایش در منطقه دارد و تلفات خاک در آن به دلیل عمق زیاد و حجم بالاتر جریان‌های متغیر آب از سایر اشکال فرسایش بیشتر است؛ درحالی‌که میانگین تولید رسوب سایر اشکال فرسایش کمتر بوده و درجه رسوبدهی شکل فرسایش طبیعی از همه اشکال کمتر است.

برای بررسی معنی‌داری تفاوت بین اشکال فرسایش در منطقه با درجه رسوبدهی آن‌ها از آزمون آنالیز واریانس استفاده گردید. نتایج بررسی در سطح اطمینان ۰/۹۹ نشان داد که درجه رسوبدهی اشکال فرسایش در منطقه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند و هر شکل فرسایش سهم خاصی در تولید رسوب دارد. بنابراین مدل‌هایی که تفاوت بین اشکال فرسایش را در نظر می‌گیرند، می‌توانند دقت پیش‌بینی رسوب بیشتری نیز داشته باشند. در واقع تعیین اشکال فرسایش آبی و اولویت‌بندی آن‌ها در حوضه مورد مطالعه و حوضه‌های مشابه می‌تواند به بهبود دقت برآورد فرسایش و رسوب کمک نماید. همچنین با توجه به نقش و تأثیر بیشتر اشکال پیشرفته فرسایش آبی به‌ویژه فرسایش آبکندی در افزایش بار رسوبی از حوضه مورد مطالعه، پیشنهاد می‌شود، برنامه‌ریزی و اقدامات حفاظتی هدفمند در این مناطق اجرایی شود تا از گسترش فرسایش خاک و افزایش تولید رسوب جلوگیری شود.

حامی مالی

این اثر حامی مالی ندارد.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

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

تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند، بابت در اختیار گذاشتن برخی داده‌ها و اطلاعات منطقه مورد مطالعه از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان و کارشناس محترم آن اداره تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

- باقریان کلات، علی؛ لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد و عباسی، علی اکبر. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر نوع لیتولوژی بر میزان فرسایش و رسوبدهی خاک در حوزه آبخیز سد سنگرد. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۰(۴)، ۶۷۱-۶۸۵. doi: 10.22092/ijwmse.2017.108911.1249
- بیات، رضا، عرب خدری، محمود، بهنام، نجمه و گرامی، زهرا. (۱۳۹۹). بررسی کارایی مدل‌های EPM و MPSIAC در تعیین وضعیت فرسایش حوزه آبخیز شهریار، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۷(۳)، ۱-۱۶. doi: 10.29252/jsah.7.3.1
- بی‌همتا، محمدرضا و زارع چاهوکی، محمدعلی. (۱۳۹۴). اصول آمار در علوم منابع طبیعی. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران.
- جندقی، نادر؛ قره محمودلو، مجتبی و قربانی واقعی، حجت. (۱۴۰۳). ارزیابی مدل‌های مختلف برآورد فرسایش‌پذیری خاک در خاک‌های لسی استان گلستان. مطالعات علوم محیط‌زیست، ۹(۲۹)، ۸۴۵۰-۸۴۴۰. doi: 10.22034/jess.2023.417583.2133
- جوکار سرهنگی، عیسی و عموزاد مهدیرجی، جواد. (۱۴۰۱). نقش سازندهای زمین‌شناسی و توپوگرافی در توسعه اشکال فرسایش آبی حوزه آبخیز گلیداغ، استان گلستان. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۳(۲۵)، ۱۶۸-۱۷۸. doi: 10.52547/jwmr.13.25.168
- خوجه، نصیر؛ قدوسی، جمال و اسماعیلی، روح اله. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر عوامل زمین محیطی بر شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه تهر قره قوزی، استان گلستان). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۸(۱۵)، ۲۰۲-۲۱۲. doi: 10.29252/jwmr.8.15.202
- دمی زاده، محمود و شادفر صمد. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات بلندمدت رشد فرسایش خندقی در حوضه کندوران، استان هرمزگان. پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱۱(۳)، ۱۵۹-۱۴۰. doi: 20.1001.1.22517812.1400.11.3.1.3
- ذاکری نژاد، رضا؛ کهرانی، عباس و انتظاری، مژگان. (۱۴۰۲). ارزیابی حساسیت خاک به فرسایش خندقی با استفاده از مدل CART و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز خسویه استان فارس. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۲(۲)، ۹۰-۷۲. doi: 10.22034/gmpj.2023.391714.1429
- سعیدیان، حمزه و مرادی، حمیدرضا. (۱۴۰۱). تعیین نوع رابطه مؤلفه‌های مختلف فرسایش خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران در سازند گچساران. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۲(۴)، ۱۲۸-۱۱۵. doi: 10.30488/gps.2022.285254.3402
- سعیدیان، حمزه و مرادی، حمیدرضا. (۱۳۹۲). حساسیت به فرسایش و تولید رسوب کاربری‌های مختلف نهشته‌های سازند آغاچاری. علوم آب و خاک، ۱۷(۶۴)، ۲۲۱-۲۰۹. doi: 20.1001.1.24763594.1392.17.64.7.7
- سلماسی، رامین و پیروان، حمیدرضا. (۱۳۹۱). بررسی ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن حساس به فرسایش (M2mg) حوزه آبخیز تلخه‌رود با اشکال مختلف فرسایش. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۴(۳)، ۱۶۹-۱۶۰. doi: 20.1001.1.22519300.1391.4.3.6.1
- سکوتی اسکوتی، رضا؛ پیروان، حمیدرضا؛ نیک‌کامی، داود و مهدیان، محمدحسین. (۱۳۹۴). بررسی رابطه فرسایش‌پذیری، اشکال فرسایش و تلفات خاک‌های حاصل از سه نوع مارن در آذربایجان غربی. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۷(۴)، ۳۷۹-۳۸۸. doi: 20.1001.1.22519300.1394.7.4.4.2
- صابر چناری، کاظم؛ بهره مند، عبدالرضا؛ واحد بردی، شیخ و کمکی، چوقی بایرام. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی در حوزه آبخیز قرناوه استان گلستان. نشریه زمین‌شناسی مهندسی، ۱۳(۱)، ۹۴-۶۹. doi: 10.18869/acadpub.jeg.13.1.69

- صالحی، محمدحسن؛ اسفندیار پوربروجنی، عیسی؛ مهاجر، رضا و باقری بداغ آبادی، محسن. (۱۳۹۳). حفاظت آب و خاک تکمیلی. انتشارات دانشگاه پیام نور.
- عرب‌خدری، محمود. (۱۴۰۰). وضعیت فرسایش آبی و رسوب‌دهی ایران، واکاوی آماری و مقایسه‌ای. *مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۶(۲)، ۱۵۶-۱۳۹. doi: 10.22047/srjasnr.2021.140574
- عرفانیان، مهدی؛ قهرمانی، پریسا و سعادت، حسین. (۱۳۹۲). تهیه نقشه خطر پتانسیل فرسایش خاک با استفاده از منطق فازی در حوزه آبخیز قرناوه گلستان. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۷(۲۳)، ۵۲-۴۳. doi: 20.1001.1.20089554.1392.7.23.3.1
- عمادالدین، سمیه؛ امید، مرجانه؛ آرخی، صالح و کرم، امیر. (۱۴۰۰). ارزیابی خطر وقوع فرسایش خندقی در حوضه آبخیز قویجق. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۰(۳۰)، ۳۴-۱۷. doi: 10.22111/jneh.2020.34212.1662
- قاسمی دهنوی، آرتیمس؛ ساریخانی، رامین؛ پیروان، حمیدرضا؛ شعاعی، ضیاءالدین و کریمی‌خالدی، محمد. (۱۳۹۴). بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارن‌های نئوژن بر اشکال و شدت فرسایش در منطقه ورامین جنوب شرق استان تهران. *دو فصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی*، ۳(۶)، ۶۹-۵۷.
- کریمی، علیرضا؛ خادمی، حسین و جلالیان، احمد. (۱۳۹۰). لس: ویژگی‌ها و کاربردها برای مطالعات اقلیم گذشته. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۴۳(۷۶)، ۲۰-۱.
- معمدووزیری، بهارک؛ واله، صادق و احمدی، حسن. (۱۴۰۲). بررسی رابطه واحدهای زمین‌شناسی با شدت فرسایش به کمک دو مدل با ساختار متفاوت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اختراآباد). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۲(۳)، ۵۹-۴۱. doi: 10.22067/geoeh.2022.78329.1269
- مکی، سیمین؛ رضایی، پیمان و پیروان، حمیدرضا. (۱۳۹۴). بررسی ارتباط بین نوع فرسایش و ویژگی‌های رسوب‌شناسی در اراضی مارنی باختر بندرعباس. *دومین کنفرانس بین‌المللی زمین‌شناسی کاربردی*، مشهد.
- موسوی، سید حجت. (۱۳۹۶). برآورد میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز شاهرود - میامی با استفاده از مدل SLEMSA و تکنیک GIS. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۷(۲۴)، ۳۴-۱۵.
- نوبخت، محمدباقر. (۱۳۹۶). روش تحقیق پیشرفته. چاپ پنجم، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی.

References

- Ayadiuno, R. U., Ndulue, D. C., Mozie, A. T., & Nwokolo, I. J. (2022). Effects of Time and Land Use Land Cover Change (LULCC) in the Dimension of the Gully Expansion and Soil Particles Loss at Ibeziako Erosion Site in Nsukka Urban, Enugu State, Nigeria. *Asian Journal of Geographical Research*, 5(2), 1-18. doi: 10.9734/ajgr/2022/v5i2129
- Bagherian Kalat, A., Lashkaripour, G., Ghafouri, M., & Abbasi, A. (2018). Investigation on effects of lithology on soil erosion and sediment yield in Sangerd Drainage Basin. *Watershed Engineering and Management*, 10(4), 671-685. doi: 10.22092/ijwmse.2017.108911.1249
- Conforti, M., Aucelli, P. P., Robustelli, G., & Scarciglia, F. (2011). Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). *Natural hazards*, 56, 881-898.
- Dabney, S. M., Vieira, D. A. N., Yoder, D. C., Langendoen, E. J., Wells, R. R., & Ursic, M. E. (2015). Spatially distributed sheet, rill, and ephemeral gully erosion. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(6), C4014009. doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001120
- Javidan, N., Kavian, A., Pourghasemi, H.R., Conoscenti, C., & Jafarian, Z. (2019). Gully Erosion Susceptibility Mapping Using Multivariate Adaptive Regression Splines Replications and Sample Size Scenarios. *Water*, 11(11), 1-22. doi.org/10.3390/w11112319
- Jiang, K., Shuhong, Mo., Kunxia, Yu., Pingzhi, Li., & Zhanbin, Li. (2023). Analysis of Spatial and Temporal Characteristics of Runoff Erosion Power in Fujiang River Basin Based on the SWAT Model. *Sustainability*, 15(21), 15642. doi: org/10.3390/su152115642
- Lai, X., Jia, J., Hou, Y., Jiang, B., Lin, C., Lin, X., Xu, P., Chen, C., Jiang, J., Liu, Y., & Wei, W. (2023). Analysis of the driving factors of the change of erosion-deposition in the

- Minjiang Estuary, Southeast China. *Frontiers in Marine Science*. 10, 1287169. doi: 10.3389/fmars.2023.1287169
- Li, D., Chen, X., Tao, T., Tan, W., & Ma, L. (2022). Quantifying the sheet-rill erosion process along a saturated soil slope. *Catena*, 219, 106631. doi: 10.1016/j.catena.2022.106631
- Najm, Z., Keyhani, N., Rezaei, K., Nezamabad, A. N., & Vaziri, S. H. (2013). Sediment yield and soil erosion assessment by using an empirical model of MPSIAC for Afjeh & Lavarak sub-watersheds, Iran. *Earth*, 2(1), 14-22. doi: org/10.11648/j.earth.20130201.13
- Ni ShiMin, N. S., Feng ShuYue, F. S., Wang JunGuang, W. J., & Cai ChongFa, C. C. (2018). Relationship between rill erosion morphology and hydraulic characteristics and sediment yield on artificial soils slope with different textures. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 34(15), 149-156. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.15.019
- Ruiz, E. T., Guzmán, E., Guzmán, G., Vanwallegem, T., & Calero, J. A. G. (2015). Characteristics and importance of rill and gully erosion: a case study in a small catchment of a marginal olive grove. Cuadernos de investigación geográfica. *Geographical Research Letters*, 41(1), 107-126. doi: org/10.18172/cig.2644
- Nurlina, N., Kadir, S., Kurnain, A., Ilham, W., & Ridwan, I. (2023). Analysis of soil erosion and its relationships with land use/cover in Tabunio watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 976, 012027. doi: 10.1088/1755-1315/976/1/012027
- Wirtz, S., Iserloh, T., Rock, G., Hansen, R., Marzen, M., Seeger, M., & Ries, J. B. (2012). Soil Erosion on Abandoned Land in Andalusia: A Comparison of Interrill-and Rill Erosion Rates. *International Scholarly Research Notices*, 2012 (1), 730870. doi: 10.5402/2012/730870
- Zarei, A., & Amiri, M. (2017). Evaluation of soil losses and sediment yield using modified PSIAC model. *Iran Agricultural Research*, 36, 111-116. doi: 10.22099/iar.2017.4035
- Zhang, X., Fan, J., Liu, Q., & Xiong, D. (2018). The contribution of gully erosion to total sediment production in a small watershed in Southwest China. *Physical Geography*, 39(3), 246-263. doi: 10.1080/02723646.2017.1356114
- Zhao, J. L., Van maercke, M., Chen, L., & Govers, G. (2016). Vegetation cover and topography rather than human disturbance control gully density and sediment production on the Chinese Loess Plateau. *Geomorphology*, 274, 92-105. Doi: 10.1016/j.geomorph.2016.09.022
- Arabkhedri, M. (2021). Water Erosion and Sediment Production Status in Iran: Statistical and Comparative Analyses. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 6(2), 139-156. doi: 10.22047/srjasnr.2021.140574 [In Persian]
- Bagherian Kalat, A., Lashkaripour, G., Ghafoori, M. & Abbasi, A. (2019). Investigation on effects of lithology on soil erosion and sediment yield in Sangerd Drainage Basin. *Watershed Engineering and Management*, 10(4), 671-685 doi: 10.22092/ijwmse.2017.108911.1249 [In Persian]
- Bayat R, Arabkhedri M, Behnam N, Gerami Z. (2020). Performance evaluation of EPM and MPSIAC Models for determination of Erosion Status of Shahriari Watershed. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7 (3), 1-16 doi:10.29252/jsaeh.7.3.1 [In Persian]
- Bihanta, M.R. & Zare Chahoki, M.A. (2015). *Principle of statistics for the natural resource's science*. Tehran University Press. [In Persian]
- Damizadeh, M., & ShadFar, S. (2021). Assessment of Long-Term Changes of Gully Eroiosn Growth in Kondouran Catchment, Hormozgan Province. *Environmental Erosion Research Journal*. 11(3), 140-159. doi:20.1001.1.22517812.1400.11.3.1.3 [In Persian]
- Erfanian, M., Ghahrmani, P., & Saadat, H. (2014). Preparation of soil erosion potential risk map using fuzzy logic in Gharanave watershed of Golestan. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 7(23), 43-52. [In Persian]
- Emadodin, S., Omid, M., Arekhi, S., & Karam, A. (2021). Assessment the Gully Erosion Risk in Quyoq watershed. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(30), 17-34. doi: 10.22111/jneh.2020.34212.1662 [In Persian]
- Ghasemi dehnavi, A., Sarikhani, R., Peyrawan, H., Shoaei, Z., & Kerimi, M. (2015). Investigation of chemical and physical properties of neogen marls effects on the forms and intensity of erosion in Varamin area, southwest of Tehran province. *Applied Sedimentology*, 3(6), 57-69. [In Persian]

- Jandaghi, N., G Mahmoodlu, M., & Ghorbani Vagheie, H. (2024). Evaluation of different models for estimating soil erodibility in loamy soils of Golestan province. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(2), 8450-8440. doi: 10.22034/jess.2023.417583.2133 [In Persian]
- Jokar Sarhangi, E., & Amozad Mahdiraji, J. (2022). The Role of Geological Formations and Topography in Development of Forms of Water Erosion in Golidagh Watershed, Golestan Province. *J Watershed Manage Res*, 13(25), 168-178. doi:10.52547/jwmr.13.25.168 [In Persian]
- Karimi, A., Khademi, H., & Jalalian, A. (2011). Loess: Characteristics and Implications in Paleoclimate Studies. *Physical Geography Research*, 43(76), 1-20. [In Persian]
- Khojeh, N., Ghoddosi, J., & Esmaili, R. (2017). Investigation of the Effect of Earth Environmental Factors on Initiation and Expansion of Gully Erosion by using Geographical Information System (Case Study in Temer Ghareh Khozi, Kalaleh, Golestan Province). *J Watershed Manage Res*, 8(15), 202-212. doi:10.29252/jwmr.8.15.202 [In Persian]
- Makki, S., Rezaei, P., & Pirovan, H. (2014). investigation of the relationship between the type of erosion and sedimentological characteristics in the marly lands of West Bandar Abbas. *the second international congress of applied geology, Mashhad*. [In Persian]
- MotamedVaziri, B., Valeh, S., & Ahmadi, H. (2023). The Relationship between Erosion Intensity and Geologic Units using Two Models with Different Structures (Case Study: Akhtarabad Watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(3), 41-59. doi: 10.22067/geoeh.2022.78329.1269 [In Persian]
- Mousavi, S. H. (2017). Estimation of soil erosion rate in Shahroud-Mayami watershed using SLEMSA model and GIS technique. *Geographical Planning of Space*, 7(24), 15-34. [In Persian]
- Nobakht, M. B. (2016). *Advanced research method*. Academic Jihad Publishing Organization. [In Persian]
- Saber Chenari, K., Bahremand, A., Berdi Sheikh, V., & Bairam Komaki, C. (2019). Gully Erosion Hazard Zoning in the Gharnaveh Watershed, Golestan Province. *Journal of Engineering Geology*, 13 (1), 69-94. doi: 10.18869/acadpub.jeg.13.1.69 [In Persian]
- saeediyani, H., & moradi, H. R. (2023). Determining the relationship type between different components of soil erosion using rain simulator in Gachsaran Formation. *Geographical Planning of Space*, 12(4), 115-128. doi: 10.30488/gps.2022.285254.3402 [In Persian]
- Saeidian, H., & Moradi H. R. (2013) Investigating of Erosion and Sediment Different Land uses on Aghajari Deposits. *Journal of Water and Soil Science*, 17 (64), 209-221. doi:20.1001.1.24763594.1392.17.64.7.7 [In Persian]
- Salmasi, R., & Peyrowan, H.R. (2012). Study of the relation between physico-chemical properties and erosional features of marly sediments in the Talkheh Rood watershed. *Watershed Engineering and Management*, 4(3), 160-169. doi: 20.1001.1.22519300.1391.4.3.6.1 [In Persian]
- Sokouti, R., Peyrowan, H., Nikkami D., & Mahdian, M. (2016). Investigation on erodibility and soil loss of marly drived soils in west Azerbaijan province, Iran. *Watershed Engineering and Management*, 7(4), 379-388. doi: 20.1001.1.22519300.1394.7.4.4.2 [In Persian]
- Zakeri nejad, R., Kahrani, A., & Entrzari, M. (2023). Assessment of gully erosion susceptibility with using CART model and GIS (Case study: Khasyeh watershed). *Quantitative Geomorphological Research*, 12(2), 72-90. doi: 10.22034/gmpj.2023.391714.1429 [In Persian]