



Evaluating the effect of biological practices on the soil loss by remote sensing-based RUSLE model in Chikan and Morzian watershed

Roya Ghahremani¹ | Ebrahim Omidvar^{2✉} | Siamak Dokhani³

1. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran. royaghahremani0071@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran. ebrahimomidvar@kashanu.ac.ir

3. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran. siamakdokhani@kashanu.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol: 16
No: 59
P: 68-86
Received: 2024-05-23
Revised: 2024-07-28
Accepted: 2024-08-23
Published: 2025-05-01

Keywords:

- Soil erodibility
- Vegetation cover.
- Soil conservation
- GIS
- Doroudzan dam basin

Cite this Article:

Ghahremani, Roya., Omidvar, Ebrahim., & Dokhani, Siamak. (2025). Evaluating the effect of biological practices on the soil loss by remote sensing-based RUSLE model in Chikan and Morzian watershed. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 16(59): 68-86.
doi: 10.22034/jargs.2024.458266.1112

Publisher: Hakim Sabzevari University

© The Author(s)



Abstract

Aim: The main objective of this study was to evaluate the impact of biological watershed management measures on soil loss using the RUSLE model, remote sensing, and geographic information systems.

Material & Method: The study area, Chikan and Morzian watershed, is one of the sub-basins of the Darudzen dam basin. In this study, using the RUSLE model and based on remote sensing data, soil loss was estimated over 29 years at 4 time points (1992, 2003, 2017, and 2021). In order to estimate the amount of soil erosion, the map of rain erosion factors (R), soil erodibility (K), topography (LS), vegetation cover (C), and protection factor (P) at the catchment level was first prepared using the relevant instructions in the RUSLE model. In order to study the effect of biological watershed management measures, assuming that the other factors of the model remain constant during the study period, the changes in factor C under the effect of biological measures were studied.

Finding: The results of the C-factor estimations showed that this factor was 0.83 ± 0.29 , 0.80 ± 0.28 , 0.76 ± 0.28 and 0.76 ± 0.28 in the years 1992, 2003, 2017, and 2021, respectively. The average amount of soil erosion in the Chikan and Morzian basins during 1992, 2003, 2017, and 2021 was calculated as 16.88 ± 20.19 , 16.32 ± 19.52 , 15.41 ± 18.29 , and 15.80 ± 18.82 , respectively.

Conclusion: The results indicated that the implementation of biological operations during this period decreased soil erosion. In conclusion, the implementation of biological operations is a useful and reliable measure to reduce soil erosion in degraded watersheds. However, other functions of this operation, such as fodder production, run-off reduction, recreational value, etc., can be added to its soil protection function.

Innovation: One of the most innovative and practical aspects of the research is using remote sensing techniques to study the amount of soil loss over time under the influence of biological watershed management measures.

Extended Abstract

1. Introduction

Soil is recognized as one of the most vital renewable resources globally. Currently, soil erosion has become a serious threat to human welfare and even the survival of humanity. This phenomenon is considered one of the fundamental environmental challenges for human societies. Global studies indicate that nearly 58% of degraded lands worldwide are caused by soil erosion, leading to a 17% reduction in agricultural production and significant environmental damage. Soil erosion is a key issue in natural resource conservation and watershed management research, influenced by natural and human factors. Therefore, understanding the intensity of soil erosion allows for identifying critical areas and prioritizing conservation measures. In this context, to mitigate the negative impacts of soil erosion, it is crucial to examine the factors influencing soil loss and accurately assess the extent of soil erosion to provide a correct evaluation of the current situation. Moreover, calculating the amount of soil erosion using various computational models and methods is feasible, and selecting the optimal method for measuring it is paramount. Various methods have been proposed worldwide to measure soil loss in different regions. Therefore, this study aims to evaluate the impact of biological conservation measures using the RUSLE model, based on remote sensing data, in the Chikan and Morzyan watersheds of Fars Province. By analyzing the effects of these measures, this research contributes significantly to the sustainable management of lands and the reduction of soil erosion-related damages.

2. Materials and methods

The Chikan-Morzyan watershed is located 80 km north of Sepidan city in Fars Province, covering an area of 12,333 hectares. The watershed has a maximum elevation of 3,125 meters and a minimum elevation of 1,811 meters, with the highest annual precipitation reaching 571.2 mm and the lowest precipitation at 471.6 mm. This study used the RUSLE model based on remote sensing data to estimate soil erosion over 29 years at four-time intervals (1992, 2003, 2017, and 2021). To measure soil erosion, the RUSLE model guidelines were applied, and maps of erosivity (R), soil erodibility (K), topography (LS), vegetation cover (C), and conservation practices (P) were prepared for the watershed area. To assess the impact of watershed conservation measures, changes in the C factor were examined under the influence of biological conservation practices, assuming the other model factors remained constant throughout the study period. The amount of soil erosion was then estimated based on these changes.

3. Results and Discussion

The results of evaluating the impact of watershed management interventions in the studied watershed indicated that the values of the rainfall erosivity factor (R) in the watershed ranged from 31.5 to 488.42 MJmmha⁻¹h⁻¹y⁻¹ with a mean value of 224.98 and a standard deviation of 39.45 MJmmha⁻¹h⁻¹y⁻¹. The results of calculating the soil erodibility factor (K) in the study area revealed that the range of K values varied from 0.0129 to 0.0132. The highest erosion rates were observed in the southeast of the watershed, while the lowest values were found in the southern, central, eastern, western, and some northern parts of the watershed. The slope-length (LS) factor map showed that this factor ranged from 0.065 to 196.497 t ha h ha⁻¹M⁻¹mm⁻¹ with an average value of 6.89 t ha h ha⁻¹M⁻¹mm⁻¹ and a standard deviation of 8.12 t ha h ha⁻¹M⁻¹mm⁻¹.

The findings from the assessment of the changes in the cover management factor (C) indicated that the values of this factor for the years 1992, 2003, 2017, and 2021 varied between 0.19 and 1, 0.2 and 1, 0.21 and 0.99, and 0.21 and 1, respectively. Moreover, the annual average soil erosion in the Chikan and Morzyan watershed, under the influence of watershed management practices, showed a relatively decreasing trend over the years, with values of 16.88, 16.32, 15.41, and 15.08 tons per hectare, respectively.

4. Conclusion

The findings of this study indicate that the implementation of biological measures during the study period has had a positive impact on reducing soil erosion in the Chikan and Morzyan watershed. Results from the RUSLE model and the analysis of changes in the C-factor show a reduction in soil erosion over the years. This reduction in soil erosion is primarily attributed to the improvement in vegetation cover and soil structure enhancement resulting from the biological measures. In conclusion, biological measures, such as afforestation and vegetation restoration, can serve as an effective and sustainable solution for reducing soil erosion in vulnerable and degraded watersheds. These methods not only contribute to the reduction of erosion but also can be considered valuable tools in natural resource management. In addition to their positive effects on soil erosion reduction, these measures also offer additional benefits, such as increased

forage production, reduced runoff, enhanced soil moisture retention, improved biodiversity, and even an increase in recreational and ecotourism values in the region. Therefore, it is recommended that in different climatic conditions, the impact of biological measures on soil erosion and sedimentation should be evaluated using various models and methods. Such assessments can significantly influence optimal decision-making regarding watershed management, soil conservation, and water resource protection. Ultimately, further research in diverse regions, utilizing more accurate data, could enhance sustainable natural resource management strategies and strengthen biological conservation measures.

5. Acknowledgement & Funding

I would like to express my deepest gratitude and appreciation for the cooperation of the General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province, which assisted in carrying out various stages of the research, including providing data and vehicles for field visits.

6. Conflict of Interest

The authors of this article declare that they have no conflicts of interest with regard to the writing and publication of the materials and results of this research.



ارزیابی تأثیر اقدامات بیولوژیک روی هدررفت خاک به وسیله مدل RUSLE

مبتنی بر سنجش از دور در حوزه آبخیز چیکان و مورزیان

رویا قهرمانی^۱، ابراهیم امیدوار^۲ , سیامک دخانی

۱- گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران. royaghahremani0071@gmail.com

۲- نویسنده مسئول، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران. ebrahimomidvar@kashanu.ac.ir

۳- گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران. siamakdokhani@kashanu.ac.ir

چکیده

هدف: هدف اصلی این مطالعه بررسی تأثیر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر هدررفت خاک با استفاده از مدل RUSLE، سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است.

روش و داده: منطقه مورد مطالعه، آبخیز چیکان و مورزیان یکی از زیرحوضه‌های حوضه سد درودزن است. در این مطالعه با استفاده از مدل RUSLE و بر مبنای داده‌های سنجش از دور، میزان هدررفت خاک طی یک دوره ۲۹ ساله در ۴ مقطع زمانی (۱۳۷۱، ۱۳۸۲، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰) برآورد گردید. برای اندازه‌گیری، مقدار هدررفت خاک با استفاده از دستورالعمل‌های مربوطه در مدل RUSLE، نقشه عوامل فرسایش‌گری باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، پوشش گیاهی (C) و عامل حفاظت (P) در سطح حوضه تهیه شد. به منظور بررسی اثر اقدامات بیولوژیک آبخیزداری، با فرض ثابت بودن دیگر عوامل مدل طی دوره مورد مطالعه، تغییرات عامل C تحت اثر اقدامات بیولوژیک مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: یافته‌های حاصل از بررسی مقادیر فاکتور C نشان داد که مقادیر این فاکتور برای سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۲، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰ به ترتیب $۰/۸۳ \pm ۰/۲۹$ ، $۰/۸۰ \pm ۰/۲۸$ ، $۰/۷۶ \pm ۰/۲۸$ و $۰/۷۸ \pm ۰/۲۸$ متغیر است. همچنین میانگین هدررفت سالانه خاک در حوضه‌ی چیکان و مورزیان تحت تأثیر اقدامات بیولوژیک طی سال‌های مورد اشاره با یک روند نسبتاً کاهشی به ترتیب برابر $۱۶/۸۸ \pm ۲۰/۱۹$ ، $۱۶/۳۲ \pm ۱۹/۵۲$ ، $۱۵/۴۱ \pm ۱۸/۲۹$ و $۱۵/۸۰ \pm ۱۸/۸۲$ برآورد شد.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها حاکی از آن بود که اجرای عملیات بیولوژیک طی این دوره، منجر به کاهش میزان فرسایش خاک گردیده است. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان نمود که اجرای عملیات بیولوژیک می‌تواند یک اقدام مفید و قابل اطمینان برای کاهش فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز در معرض تخریب تلقی شود. هر چند دیگر کارکردهای این عملیات مانند تولید علوفه، کاهش رواناب، ارزش تفرجگاهی و ... نیز می‌تواند به کارکرد حفاظت خاک آن اضافه شود. پیشنهاد می‌شود در شرایط آب و هوایی متفاوت با استفاده از روش‌های گوناگون ارزیابی اقدامات بیولوژیک آبخیزداری بر میزان فرسایش و رسوب انجام شود.

نوآوری، کاربرد نتایج: از مهم‌ترین جنبه‌های نوآورانه و کاربردی تحقیق می‌توان به بررسی چندزمانه میزان هدررفت خاک تحت تأثیر اقدامات بیولوژیک آبخیزداری با استفاده از تکنیک سنجش از دور اشاره نمود.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره: ۱۶

دوره: ۵۹

صفحه: ۶۸-۸۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۳

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۱۱

کلیدواژه‌ها:

- فرسایش‌پذیری خاک
- پوشش گیاهی
- حفاظت خاک
- سیستم اطلاعات جغرافیایی
- حوضه سد درودزن

نحوه ارجاع به این مقاله:

قهرمانی، رویا، امیدوار، ابراهیم و دخانی، سیامک. (۱۴۰۴). ارزیابی تأثیر اقدامات بیولوژیک روی هدررفت خاک به وسیله مدل RUSLE مبتنی بر سنجش از دور در حوزه آبخیز چیکان و مورزیان. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۶ (۵۹): ۶۸-۸۶.

doi: 10.22034/jargs.2024.458266.1112

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



© نویسنده(گان).



10.22034/jargs.2024.458266.1112

۱- مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین منابع تجدیدپذیر در جهان است. در حال حاضر فرسایش (هدررفت) خاک خطری برای رفاه انسان و حتی برای حیات او به شمار می‌آید. فرسایش خاک یکی از اساسی‌ترین خطرات محیطی برای جوامع بشری است. طی بررسی‌های انجام شده در جهان، تقریباً ۵۸ درصد از اراضی تخریب شده در دنیا به دلیل هدررفت خاک است که باعث کاهش ۱۷ درصدی تولید محصول و آسیب زیست‌محیطی شده است (Bruce et al., 1995). فرسایش خاک به عنوان یک موضوع مهم در پژوهش‌های حفاظت آب و خاک است که تحت تأثیر عوامل انسانی و طبیعی است. بنابراین، آگاهی از میزان فرسایش خاک، امکان شناسایی نواحی بحرانی و اولویت‌بندی اقدامات اجرایی را فراهم می‌کند (Mircholi et al., 2021). بنابراین در راستای حفظ و حراست از تأثیر زیان‌بخش فرسایش خاک، ضروری است که عوامل تأثیرگذار در فرسایش خاک و همچنین مقدار آن بررسی شود تا بتوان ارزیابی مناسبی انجام داد. محاسبه مقدار هدررفت خاک با به کارگیری شیوه‌های محاسباتی گوناگون ممکن بوده و همچنین تعیین بهترین روش جهت اندازه‌گیری آن مهم است (Mircholi et al., 2021).

برای اندازه‌گیری میزان فرسایش خاک در نقاط مختلف جهان روش‌های گوناگونی ارائه شده است. تاکنون مدل‌های فیزیک‌پایه و فرایندمحور بسیاری مانند مدل SWAT، EuroSEM، CREAMS، WEPP و SWAP با درجه پیچیدگی و شرایط متفاوت محیطی توسعه یافته است. مشکل اصلی مدل‌های مبتنی بر فرایند نیازمندی به تعداد پارامترهای ورودی بسیار زیاد و کمبود داده برای مقایسه مقدار فرسایش و رسوب شبیه‌سازی شده با مقدار واقعی در مرحله اعتبارسنجی است (Lazzari et al., 2015). مدل‌های تجربی به سبب به کارگیری آسان و همچنین در دسترس بودن اطلاعات از اهمیت زیادی برخوردار بوده است و توسعه قابل توجهی داشته است. (Babaei et al., 2017).

در رابطه با استفاده از مدل‌های فرسایش و رسوب تاکنون مطالعات زیادی در ایران و جهان صورت گرفته است. محمودی و نقش‌بندی طی پژوهشی با استفاده از مدل RUSLE و داده‌های سنجش از دور، مقدار فرسایش خاک را به‌طور میانگین ۲/۳۵ تن در هکتار در سال محاسبه کردند و آن‌ها شیب را مهم‌ترین فاکتور بازدارنده شدت هدررفت خاک عنوان کردند (Mahmoudi & Naqshbandi, 2020). کوهدرزی‌مقدم و همکاران در پژوهشی با استفاده از مدل MPSIAC به بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر مقدار کاهش هدررفت خاک و ایجاد رسوب پرداختند، نتایج نشان داد که بر اثر اجرای طرح‌های آبخیزداری طی دوره آماری ۱۱ ساله پس از اجرای طرح، فرسایش کل آبخیز دهکوه از ۷/۲۸۳۹۳ به ۵/۱۶۶۷۹ تن در سال (کاهش ۴۰ درصدی) و رسوب کل این حوضه از ۶/۱۵۶۴۷ به ۵/۱۲۱۰۳ تن در سال (کاهش ۲۱ درصدی) تقلیل یافته است (Kuhdarzi Moghadam et al., 2022). پاورسون و همکاران در مطالعه‌ای به برآورد روند هدررفت خاک و ایجاد رسوب در نتیجه تحولات آب و هوا و تغییرات کاربری زمین در رودخانه لانگانگ مکنونگ با استفاده از مدل اصلاح شده RUSLE پرداختند. نتایج نشان داد که فاکتورهای R و C دائماً در حال دگرگونی هستند. به همین علت بر مقدار هدررفت خاک و راندمان رسوب اثر دارد. حداکثر فرسایش در هر دو سال تقریباً ۲۱۰۰۰ و ۲۱۷۲۵ تن در کیلومتر مربع در سال تحت برآورد شد. همچنین عامل C به دلیل تغییر مستقیم کاربری اراضی با توجه به توسعه اجتماعی-اقتصادی، یک عامل تأثیرگذار قوی برای فرسایش خاک در حوضه رودخانه لنکانگ مکنونگ بوده است (Paverson et al., 2020). خانچولا و همکاران در تحقیق خود به بررسی هدررفت خاک در آبخیز ملگی، شمال شرقی الجزایر دریافتند که زیرحوضه‌های چابرو و پایین دست ملگو با بیشترین خطر فرسایش خاک در مقایسه با زیرحوضه مسکینا با سهم ۲۰/۱۴ درصد و ۱۲/۹ درصد مواجه هستند. این عمدتاً به دلیل عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی بدون اقدامات حفاظتی مناسب از زمین‌های کشاورزی است (Khanchula et al., 2020). سیدی‌الموکتار در تحقیقی برای ارزیابی هدررفت خاک با به کارگیری مدل RUSLE و GIS در جنوب مرکزی نیجر دریافتند که مناطق با پوشش طبیعی جنگلی در مناطق سرآب کمترین میزان فرسایش خاک را با ۸۲/۱۴ تن در سال، در حالی که مکان‌هایی با دخالت انسان با ۹/۹۴۴ تن در سال حداکثر مقدار هدررفت خاک را شامل می‌شد (Sidi Al-Mukhtar et al., 2021). فارسی و همکاران در پژوهشی به برآورد مقدار فرسایش خاک پرداختند، نتایج حاکی از آن بود که گستره هدررفت خاک بین ۰ تا ۲/۲۳۹ تن در سال در هکتار و همچنین میانگین آن برابر با ۹۴/۷ تن در هکتار در سال بوده است (Farsi et al., 2021). نتایج پژوهش باقریان کلات و همکاران نشان داد که مقدار فرسایش برآورد شده سالانه خاک در حوضه آبخیز کاخک به کمک مدل MPSIAC در اثر فعالیت‌های زیستی - مکانیکی و مکانیکی از حدود ۲۴ تن در هکتار به حدود ۱۴ تن در هکتار در سال معادل ۵۴ درصد کاهش یافته است (Bagharian Kalat et al., 2022). کریمی سنگ‌چینی

در پژوهشی به ارزیابی اثر اقدامات آبخیزداری بر فرسایش و رسوب پرداختند، نتایج حاکی از آن بود که میزان فرسایش و رسوب کل سالانه در شرایط کنونی نسبت به قبل از اجرای طرح‌های حفاظتی آبخیزداری به ترتیب به طور متوسط ۶۷۹۳ و ۵۷۱۲ متر مکعب کاهش داشته‌اند (Karimi Sangchini et al., 2022).

به‌طور کلی می‌توان دریافت که تغییرات پوشش گیاهی ناشی از عملیات بیولوژیک در گذر زمان می‌تواند خود را در قالب تغییر عامل مدیریت پوشش گیاهی (فاکتور C) نشان دهد. تحقیقات پیشین به‌خوبی نشان‌دهنده نتایج متفاوت ارزیابی پروژه‌های آبخیزداری اجراء شده در کشور و سایر نقاط جهان است. از آنجا که طراحی، اجرا و در نتیجه کارایی پروژه‌های آبخیزداری وابسته به شرایط محیطی و اقتصادی - اجتماعی حوضه است لازم است ارزیابی این طرح‌ها در مناطق مختلف کشور مورد توجه قرار گیرد. بررسی سوابق پژوهشی نشان می‌دهد که تاکنون در رابطه با استفاده از مدل RUSLE برای برآورد کاهش فرسایش خاک ناشی از اقدامات بیولوژیک آبخیزداری مطالعات محدودی در دنیا انجام شده است؛ لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر اقدامات بیولوژیک انجام شده با استفاده از مدل RUSLE بر مبنای داده‌های سنجش از دور، در حوضه چیکان و مورزبان استان فارس، انجام گردید.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز چیکان و مورزبان در ۸۰ کیلومتری شمال شهر سپیدان یکی از زیرحوضه‌های رودخانه کر و سد درودزن است (شکل ۱). مساحت این حوضه برابر ۱۲۳۳۳ هکتار و دارای حداکثر ارتفاع ۳۱۲۵ متر و حداقل ارتفاع ۱۸۱۱ متر است. بررسی آمار بارندگی ۲۵ ساله در ایستگاه‌های مجاور حوضه نشان می‌دهد که میانگین بارندگی بین ۸۴۹/۴۷ میلی‌متر در ایستگاه چوبخه تا ۴۰۷/۵۱ میلی‌متر در ایستگاه چمریز متغیر بوده است. فرسایش خاک در این حوضه بیشتر شامل فرسایش آبی بوده که در اثر عمل انجماد و انقباض آب و انرژی آب تشدید می‌گردد. با وجود این گسترده‌ترین شکل فرسایش، فرسایش‌های پاشمان، ورقه‌ای و شیری بوده که بسته به وضعیت فاکتورهای محلی در نقاط مختلف با شدت‌های متفاوت عمل می‌کند. کاربری‌های اراضی در منطقه شامل زراعت آبی، زراعت دیم، درخت‌کاری و باغ، نهال‌کاری، مرتع و چراگاه فصلی، اراضی حفاظتی، مناطق مسکونی، رودخانه و مسیل است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس، ۱۳۸۱).

۲-۲- روش پژوهش

در این مطالعه اثر اقدامات بیولوژیک با استفاده از مدل RUSLE و بر مبنای داده‌های سنجش از دور، میزان هدررفت خاک، براساس آمار ۲۹ ساله در چهار مقطع زمانی (۱۳۷۱، ۱۳۸۲، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰) برآورد گردید. نمودار گردش کار این پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین جزئیات روش انجام پژوهش در بخش‌های مختلف نیز در ادامه بیان گردیده است.

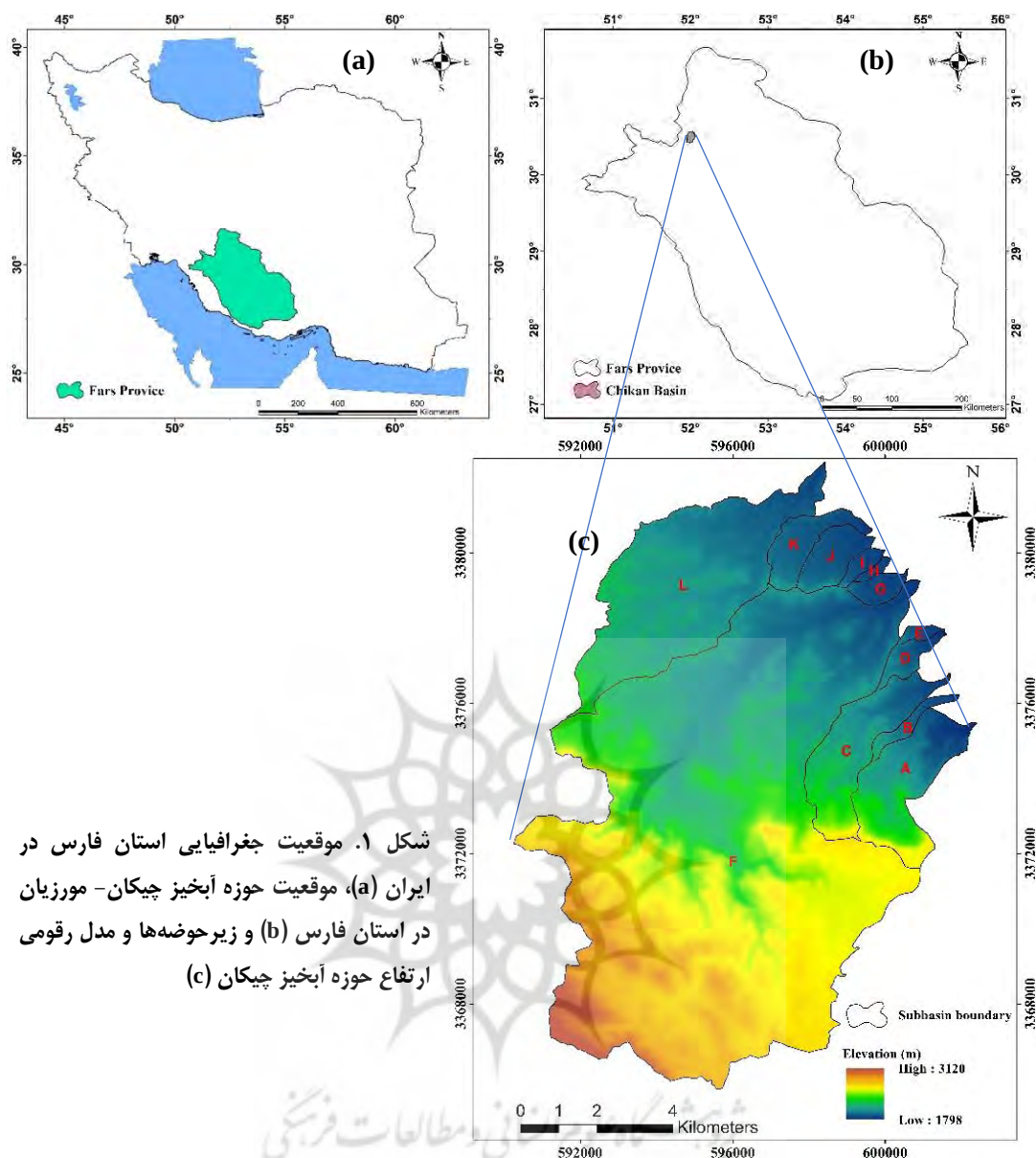
➤ برآورد هدررفت خاک با به‌کارگیری مدل RUSLE

در تحقیق حاضر، جهت برآورد میانگین سالانه هدررفت خاک از مدل RUSLE به‌کار گرفته شد. مدل RUSLE تابعی از شش فاکتور ورودی بوده و فرسایش خاک را با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌نماید (Wischmeyer & Smith., 1978).

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

رابطه (۱)

در این رابطه، A متوسط هدررفت خاک در واحد سطح ($t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$)، R فاکتور فرساینده‌گی باران ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1} \cdot h^{-1}$)، K فاکتور فرسایش‌پذیری خاک ($t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)، LS فاکتور پستی و بلندی، C فاکتور پوشش گیاهی و P فاکتور عملیات حفاظتی است. فاکتورهای LS، C و P بدون واحد هستند. به‌منظور تهیه نقشه نهایی فرسایش خاک ابتدا نقشه‌های تمامی عوامل مدل با فرمت رستری تهیه، سپس در محیط GIS توسط ابزار Raster Calculator، با ضرب همه این لایه‌ها میزان فرسایش خاک در سطح پیکسل محاسبه و نقشه نهایی هدررفت خاک به‌دست آمد (Rokhbin et al., 2015).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان فارس در ایران (a)، موقعیت حوزه آبخیز چیکان-مورزیان در استان فارس (b) و زیرحوضه‌ها و مدل رقومی ارتفاع حوزه آبخیز چیکان (c)

➤ فاکتور فرساینده‌گی باران (R)

فرساینده‌گی باران، نیروی محرکه یا توان عوامل فرسایش‌زا در جداسازی و انتقال ذرات خاک در ارتباط با فرسایش آبی است (Lai., 1994). عامل R برای دوره‌های مختلف، از حاصل ضرب انرژی جنبشی باران (E) در حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای (I_{30}) به دست می‌آید. به دلیل این که نمودار بارندگی و داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) کمتر در ایستگاه‌های هواشناسی وجود دارند، همواره میانگین بارش ماهانه و سالانه، برای محاسبه فاکتور R در مدل‌های RUSLE و USLE به کار گرفته می‌شود (Renard & Ferreira, 1993).

در تحقیق حاضر برای محاسبه فاکتور R از آمار بارندگی ماهیانه و سالانه تعداد ۱۱ ایستگاه در مجاور حوضه (جدول ۳) طی دوره‌ی زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۸ استفاده گردید. بدین منظور با به کارگیری رابطه (۲)، شاخص فورنیه و فاکتور R برای تمام ایستگاه‌ها به محاسبه گردید. رابطه شاخص فورنیه، F به صورت رابطه‌ی (۲) است (Renard & Fremond, 1994).

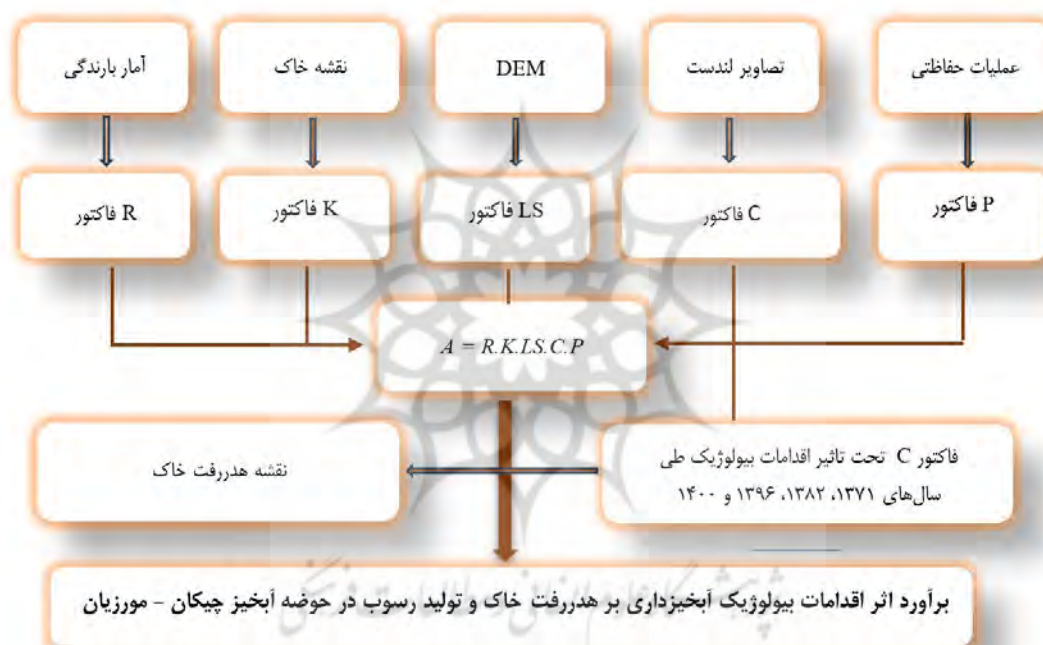
$$F = \sum_{i=1}^{12} P_i^2 / P \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه P_i میانگین بارش (میلی‌متر) در ماه i و P میانگین بارش در سال (میلی‌متر) است. برای برآورد میانگین شاخص فورنیه در طول دوره‌ی آماری در هر ایستگاه، از مقادیر شاخص فورنیه سال‌ها میانگین‌گیری شده است (Renard & Fremond, 1997). فاکتور R در هر ایستگاه بر اساس روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌گردد (Renard & Fremond, 1994):

$$R = \frac{0.07397 * F^{1.847}}{17.2} \quad F < 55 \text{mm} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$R = \frac{95.77 - 6.081 * F + 0.477 * F^2}{17.2} \quad F \geq 55 \text{mm} \quad \text{رابطه (۴)}$$

با توجه به پایین بودن تعداد نقاط ایستگاه‌های مورد مطالعه و همچنین عدم نرمال بودن داده‌های فاکتور R ، برای تبدیل مقادیر برآورد نقطه‌ای عامل فرسایش‌دهی باران به نقشه سطح مطابق با مطالعات گذشته (Dash et al., 2017; Behera et al., 2020; Nourizadeh et al., 2024) از روش میان‌یابی IDW در محیط Arc GIS 10.8 استفاده شد.



شکل ۲. نمودار روند انجام تحقیق

➤ فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)

عامل فرسایش‌پذیری خاک نشان‌دهنده حساسیت ذاتی خاک به فرسایش است و سهولت جدا شدن ذرات خاک بر اثر انرژی جنبشی قطرات باران و انتقال آن‌ها به وسیله نیروی رواناب را نشان می‌دهد (Kiani Harchgani et al., 2019). در این پژوهش از رابطه ۵ که توسط بورسما و شیرازی برای محاسبه فرسایش‌پذیری خاک در معادله RUSLE ارائه شده، استفاده گردید (Borsma & Shirazi, 1984):

$$K = 7.594 \left\{ 0.0017 + 0.049 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(\text{GMD} + 1.675)}{0.6986} \right)^2 \right] \right\} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه مذکور K عامل فرسایش‌پذیری خاک ($\text{t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) و GMD میانگین هندسی قطر ذرات برحسب میلیمتر مستخرج از رابطه ۶، W_i وزن ذرات هر محدوده اندازه ذرات بر حسب گرم و X_i میانگین حسابی قطر ذرات در هر محدوده

از ذرات بر حسب میلیمتر است. در اینجا مقادیر W_i و X_i از آزمایش‌های دانه‌بندی خاک به دست آمد. در این پژوهش بر اساس اطلاعات تعداد شش پروفیل خاک که در مطالعات جامع حوضه ارائه شده، مشخصات خاک و سپس فاکتور فرسایش‌پذیری خاک تعیین شد. موقعیت جغرافیایی نقاط مطالعاتی در حوزه آبخیز چیکان و مورزبان در بخش نتایج و جدول ۴ ارائه شده است.

$$GMD = \exp\left(\frac{\sum W_i \ln X_i}{\sum W_i}\right) \quad \text{رابطه (۵)}$$

➤ فاکتور توپوگرافی (LS)

یکی از عوامل مؤثر در ارزیابی فرسایش خاک، فاکتور طول و درجه شیب است که محاسبه آن با استفاده از روش‌های محاسباتی مختلف امکان‌پذیر بوده و در عین حال انتخاب مناسب‌ترین رابطه برای تخمین آن از اهمیت زیادی برخوردار است (Mircholi et al., 2021). به منظور تهیه نقشه فاکتور LS از روش بوهنر و سلیق در محیط نرم‌افزار SAGA GIS 6.0.0 به شرح ذیل استفاده شد (Bohner & Selighe, 2006):

$$LS_B = \left(\frac{CA^{0.5}}{22.13}\right)^{0.5} (65.14 \sin^2 \beta_{CA} + 0.065) \quad \text{If } \beta_{CA} > 0.0505 \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$LS_B = \left(\frac{CA^{0.5}}{22.13}\right)^{3 * \beta_{CA}^{0.6}} (65.14 \sin^2 \beta_{CA} + 0.065) \quad F \geq 55mm \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن، CA مساحت بالادست و β_{CA} متوسط شیب حوزه آبخیز بالادست هر سلول است. لازمه تهیه این نقشه، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) حوضه بوده که در این پژوهش از نقشه DEM با اندازه سلول ۱۲/۵ متری حاصل از ماهواره ALOS Palsar، که از سایت <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#> دانلود شده، استفاده شد.

➤ عامل پوشش گیاهی (C)

این فاکتور تأثیر پوشش گیاهی و بقایای پوشش گیاهی سطح خاک را بر مقدار هدررفت خاک بیان می‌کند. مقدار فاکتور پوشش گیاهی از رابطه ۹ به‌دست آمد (van der Knijff et al., 2000):

$$C = \exp\left(-\alpha \frac{NDVI}{\beta - NDVI}\right) \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن NDVI شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده و $\alpha = 2$ و $\beta = 1$ پارامترهایی هستند که شکل رابطه منحنی بین NDVI و C را مشخص می‌کنند. NDVI شاخصی از سبزیگی گیاه و فعالیت فتوسنتزی است و یکی از پرکاربردترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که به‌صورت رابطه ۱۰ تعریف می‌شود (Anderson et al., 1993).

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن NIR امواج منعکس شده در طیف مادون قرمز نزدیک و Red امواج منعکس شده در محدوده طیف قرمز مرئی در تصاویر ماهواره‌ای است. NDVI بیان‌گر انرژی تابشی است که می‌تواند صرف فعالیت‌های فتوسنتزی گردد. مقدار NDVI می‌تواند بین -۱ تا +۱ تغییر کند. مقادیر منفی آن معمولاً معنای اکولوژیکی خاصی ندارد. مقادیر بزرگ‌تر از آن با پوشش گیاهی فعال از نظر فتوسنتزی همبستگی دارد (Anderson et al., 1993). در تحقیق حاضر جهت برآورد NDVI از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۷، ۳، ۴ و ۵، سنجنده TM و OLI، ردیف و گذر ۱۶۹-۰۳۹ استفاده شد (جدول ۲).

➤ تعیین فاکتور عملیات حفاظت خاک (P)

به‌دلیل آن‌که در حوضه مورد مطالعه هیچ گونه اقدامات حفاظتی صورت نگرفته بود، لذا مقدار عددی عامل حفاظتی برابر یک در نظر گرفته شد.

➤ ارزیابی تأثیر عملیات بیولوژیک آبخیزداری بر فرسایش خاک

بنا به مدارک موجود در اداره کل منابع طبیعی استان فارس تمامی عملیات اجرا شده در حوزه آبخیز چیکان و به شرح جدول ۱ است. در حوزه آبخیز چیکان و مورزیان اقدامات بیولوژیک در بخش‌هایی از حوضه اجرا شده است. این اقدامات شامل کاشت گیاهان دارویی، کپه‌کاری، بذرکاری (بادام‌کاری)، نهال‌کاری، غنی‌سازی جنگل، حفاظت و نگهداری جنگل‌ها و حفاظت و مدیریت چرا و همچنین قرق بوده است.

جدول ۱. وسعت عملیات بیولوژیک آبخیزداری در حوزه آبخیز چیکان و مورزیان

ردیف	نام طرح	مساحت (هکتار)
۱	گیاهان دارویی	۹/۹۵
۲	غنی‌سازی جنگل	۶۰۲۵/۸۳
۳	کپه‌کاری	۲۶۷۹/۴۷
۴	نهال‌کاری	۲۵۹۸/۳۷
۵	قرق میان‌مدت	۱۱۳۱۳/۶۲
۶	حفاظت و قرق (بلند مدت)	۴۹۳/۴۸
۷	قرق	۱۱۸۰۷/۱۰

همان‌گونه که در قسمت مقدمه بیان شد به‌منظور بررسی ارزیابی تأثیر عملیات بیولوژیک بر فرسایش خاک می‌توان عامل C را در دوره‌های مختلف زمانی، از ابتدا تا انتهای دوره اجرای عملیات محاسبه و با اعمال این فاکتور در مدل RUSLE میزان فرسایش خاک را در دوره‌های متوالی اجرای عملیات برآورد نمود. به‌منظور محاسبه نقشه فاکتور پوشش گیاهی در دوره‌های زمانی مختلف اجرای عملیات بیولوژیک، بر مبنای شاخص NDVI و بر اساس رابطه ۹ و ۱۰ از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۲، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰ استفاده شد. بدین منظور از تصاویر سالی استفاده شده است که میزان بارندگی در آن سال نرمال باشد و از آنجا که میزان پوشش گیاهی در سال‌های مختلف وابسته به زمان است، از تصاویر مربوط به زمان‌هایی استفاده شد که میزان پوشش گیاهی در حداکثر مقدار خود باشد. مشخصات تصاویر مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل باندها، سنجنده‌ها، ردیف و گذر، تاریخ و فرمت فایل‌ها در جدول ۲ ارائه گردیده است.

پس از محاسبه فاکتور C در زمان‌های مختلف، میزان فرسایش سالیانه خاک از طریق مدل RUSLE برای سال‌های مورد بررسی، محاسبه و در نهایت با مقایسه این مقادیر، تأثیر اجرای عملیات بیولوژیک مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۲. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش حاضر

داده‌های ماهواره‌ای	ردیف و گذر	تاریخ تصویر	فرمت
لندست ۵ باند ۴ و ۳ سنجنده TM	۱۶۳-۰۳۹	۵ خرداد ۱۳۷۱	TIFF
لندست ۵ باند ۴ و ۳ سنجنده TM	۱۶۳-۰۳۹	۱ خرداد ۱۳۸۲	TIFF
لندست ۸ باند ۵ و ۴ سنجنده OLI	۱۶۳-۰۳۹	۱۰ خرداد ۱۳۹۶	TIFF
لندست ۸ باند ۵ و ۴ سنجنده OLI	۱۶۳-۰۳۹	۵ خرداد ۱۴۰۰	TIFF

۳- یافته‌ها

۳-۱- عامل فرساینده‌گی باران

میزان فاکتور فرساینده‌گی باران و موقعیت جغرافیایی هر ایستگاه در جدول ۳ ارائه گردیده است. فاکتور فرساینده‌گی باران، بر حسب آمار ۱۹ ساله ۱۱ ایستگاه در محدوده مورد مطالعه محاسبه شد. شکل ۳-الف نقشه فرساینده‌گی باران را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه، قسمت‌های غرب حوضه بیشترین مقدار و نواحی شرقی کمترین مقدار را شامل می‌شود. مقادیر عامل فرساینده‌گی باران در حوضه از ۵/۳۱ تا $488/42 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{y}^{-1}$ متغیر بوده و میزان متوسط و انحراف معیار آن به ترتیب $224/98$ و $\text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ است.

جدول ۳. مقادیر فاکتور فرساینده‌گی باران در ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

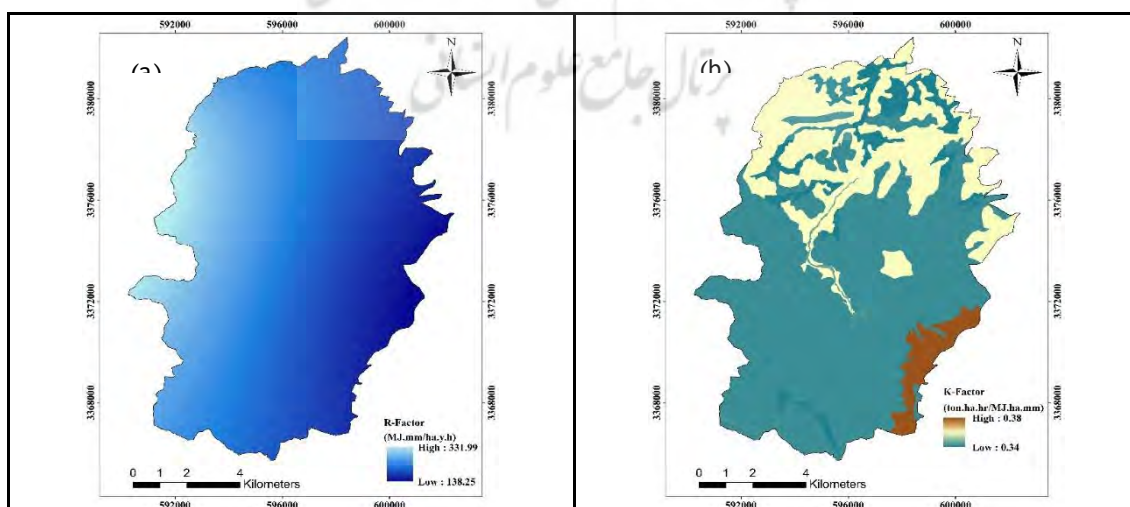
نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین بارش سالانه (mm)	شاخص فورنیه (F)	فاکتور فرساینده‌گی باران (R) (MJmmha ⁻¹ h ⁻¹ y ⁻¹)
چوبخانه	۵۸۵۷۳۷	۳۳۷۹۷۰۹	۸۴۹/۴۷	۱۳۸/۳۵۸	۴۸۸/۴۲۳
بیدکل	۶۵۶۷۱۷۰۳	۳۳۳۸۳۱۱	۳۶۶/۲۶	۶۱/۷۷۱	۸۹/۷۳۴
دروذن	۶۳۸۹۴۵	۳۳۴۲۷۷۶	۴۲۷/۹۷	۷۲/۰۰۹	۱۲۴/۱۵۲
دشتک	۶۴۱۱۶۹	۳۳۵۲۰۲۲	۴۶۱/۳۳	۷۴/۳۶۴	۱۳۲/۸۹۶
قطر آغاج	۵۸۵۲۷۸	۳۳۹۸۹۶۶	۷۴۶/۷۴	۱۲۶/۱۲۱	۴۰۲/۸۴۵
جمال بیگ	۵۹۱۴۲۲	۳۳۸۶۵۸۱	۵۰۰/۶۳	۸۰/۷۳۴	۱۵۸/۰۸۷
دژگرد رئیسون	۵۹۲۰۵۰	۳۳۹۹۰۸۲	۵۱۴/۵۳	۸۵/۷۱۸	۱۷۹/۳۷۲
خسروشیرین	۶۳۹۸۷۸	۳۳۹۲۳۴۹	۳۸۴/۳۹	۶۰/۶۰۳	۸۶/۱۶۷
چمرین	۶۰۵۷۰۱	۳۳۷۱۰۷۴	۴۰۷/۵۱	۶۷/۶۳۹	۱۰۸/۷۴۵
موروز	۶۰۰۵۲۷	۳۳۳۹۳۶۷	۵۸۶/۸۲	۹۷/۴۲۹	۲۳۴/۸۱۶
سده	۶۱۱۴۶۴/۵۵	۳۳۹۹۲۴۲	۲۹۲/۳۲	۴۷/۲۱۸	۵/۳۱۶

۳-۲- عامل فرسایش پذیری خاک

در جدول ۴ ویژگی‌های خاک در پروفیل‌های برداشت شده از سطح حوزه آبخیز چیکان - مورزیان ارائه شده است. نتایج حاصل از محاسبه مقدار K در منطقه مورد مطالعه حاکی از آن بود که دامنه تغییرات مقادیر عامل K از ۰/۳۴ تا ۰/۳۸. $(t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1})$ بوده است (شکل ۳-ب). با توجه به نقشه شکل ۳-ب بیشترین مقدار فرسایش در جنوب شرقی حوزه و کمترین مقدار آن در جنوب، مرکز، شرق، غرب و قسمت‌هایی از شمال حوزه قرار دارد.

جدول ۴. ویژگی‌های بافتی و کربن آلی روی پروفیل‌های خاک حوزه آبخیز چیکان - مورزیان

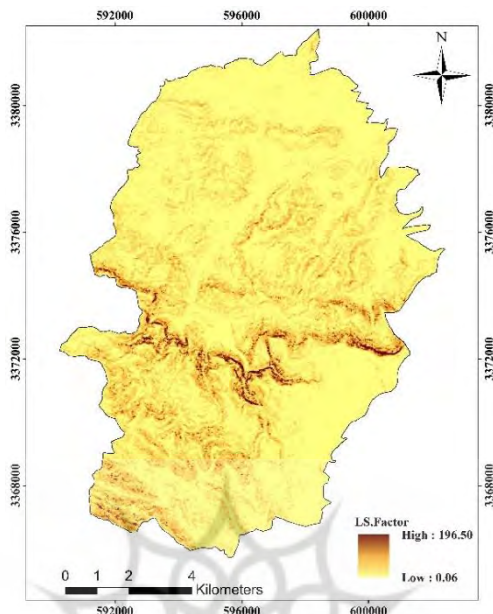
نام پروفیل	X	Y	کربن آلی (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	فاکتور فرسایش پذیری خاک (K)
A1	۵۹۴۸۴۳	۳۳۷۳۶۲۸	۲/۵۶	۳۴	۳۶	۳۰	لومی -رسی	۰/۳۷
A2	۵۹۵۸۱۷۷	۳۳۷۳۴۹۶	۰/۸۹	۳۰	۴۸	۲۲	لومی	۰/۳۶
A3	۵۹۴۲۰۱	۳۳۷۵۱۶۷	۰/۲۲	۳۲	۲۴	۴۴	رسی	۰/۳۸
A4	۵۹۹۴۸۰	۳۳۷۷۴۱۱	۱/۷۲	۲۰	۴۰	۴۰	رسی	۰/۳۸
A5	۵۹۹۳۲۰	۳۳۷۶۶۲۵	۰/۸	۱۸	۳۰	۵۲	رسی	۰/۳۴
A6	۵۹۲۶۲۵	۳۳۷۸۹۲۴	۰/۹۸	۳۲	۳۴	۳۴	لومی -رسی	۰/۳۸



شکل ۳. نقشه فاکتور فرساینده‌گی باران حوزه آبخیز چیکان و مورزیان (الف)، نقشه فاکتور فرسایش پذیری خاک حوزه آبخیز چیکان و مورزیان (ب)

۳-۳- فاکتور طول - درجه شیب

نقشه عامل طول - درجه شیب (LS) در شکل (۴) نشان داده شده است. مقدار این عامل بین 0.06 تا $196.50 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ با میانگین 196.497 و انحراف معیار $6.89 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ محاسبه شد. بیشترین مقدار این عامل در نواحی مرکز، شرق، غرب و جنوب غرب قرار دارد.



شکل ۴. نقشه عامل طول، درجه شیب (LS) حوزه آبخیز چیکان و مورزیان

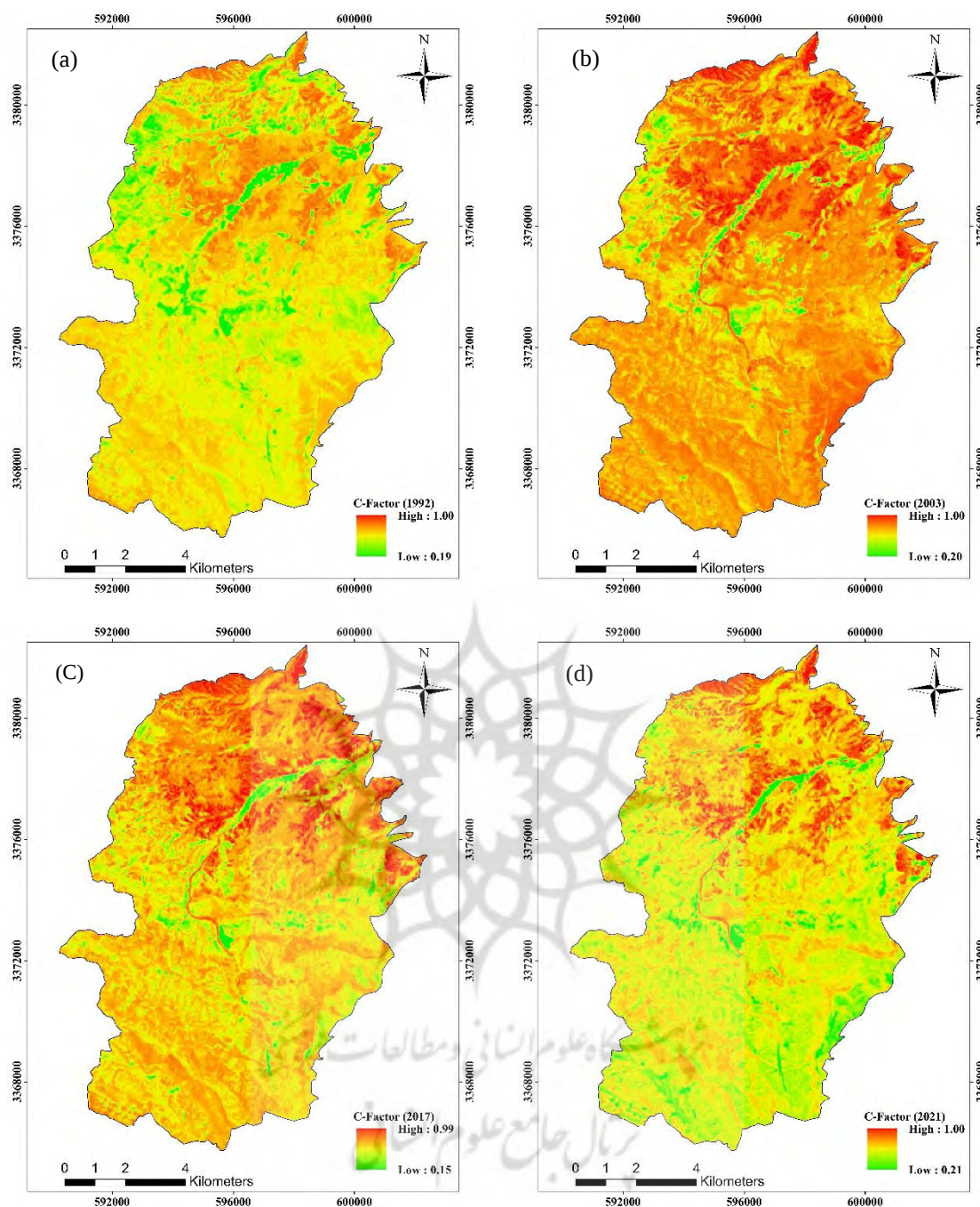
۳-۴- عامل پوشش گیاهی

بر اساس نقشه‌های به‌دست آمده فاکتور پوشش گیاهی، مقدار متوسط C در حوزه چیکان برای سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۲، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰ به ترتیب بین 0.195 تا 0.204 ، 0.1 تا 0.210 و 0.987 تا 0.212 متغیر بوده است (شکل ۵). بررسی نقشه‌های فاکتور C نشان داد که بیشترین مقدار فاکتور C در مناطق فاقد پوشش گیاهی و بایر است و کمترین مقدار آن در مناطق با پوشش متراکم است و مقدار آن بین 0 و 1 متغیر است.

تغییرات عامل پوشش گیاهی طی سال‌های مختلف نیز در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مقادیر این فاکتور برای سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۲، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰ به ترتیب 0.83 ± 0.29 ، 0.80 ± 0.28 ، 0.76 ± 0.28 و 0.78 ± 0.28 متغیر است. این تغییرات نشان داد که طی سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۶ یک روند کاهشی در عامل C اتفاق افتاده و در سال ۱۴۰۰ نیز علی‌رغم افزایش ناچیز نسبت به سال ۱۳۹۶ مقدار این فاکتور از سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۸۲ کمتر بوده است.

جدول ۵. متوسط فاکتور C و برخی آماره‌های میزان فرسایش برآورد شده در حوزه آبخیز چیکان و مورزیان

سال	متوسط فاکتور C				فرسایش (ton/ha/year)			
	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل
۱۳۷۱	۰/۸۳	۰/۲۹	۱/۰۰	۰/۱۹	۱۶/۸۸	۲۰/۱۹	۴۴۰/۳۸	۰/۰۴
۱۳۸۲	۰/۸۰	۰/۲۸	۱/۰۰	۰/۲۰	۱۶/۳۲	۱۹/۵۲	۴۳۱/۰۴	۰/۰۶
۱۳۹۶	۰/۷۶	۰/۲۸	۰/۹۹	۰/۱۵	۱۵/۴۱	۱۸/۲۹	۴۱۵/۴۴	۰/۰۵
۱۴۰۰	۰/۷۸	۰/۲۸	۱/۰۰	۰/۲۱	۱۵/۸۰	۱۸/۸۲	۴۱۲/۱۵	۰/۰۴

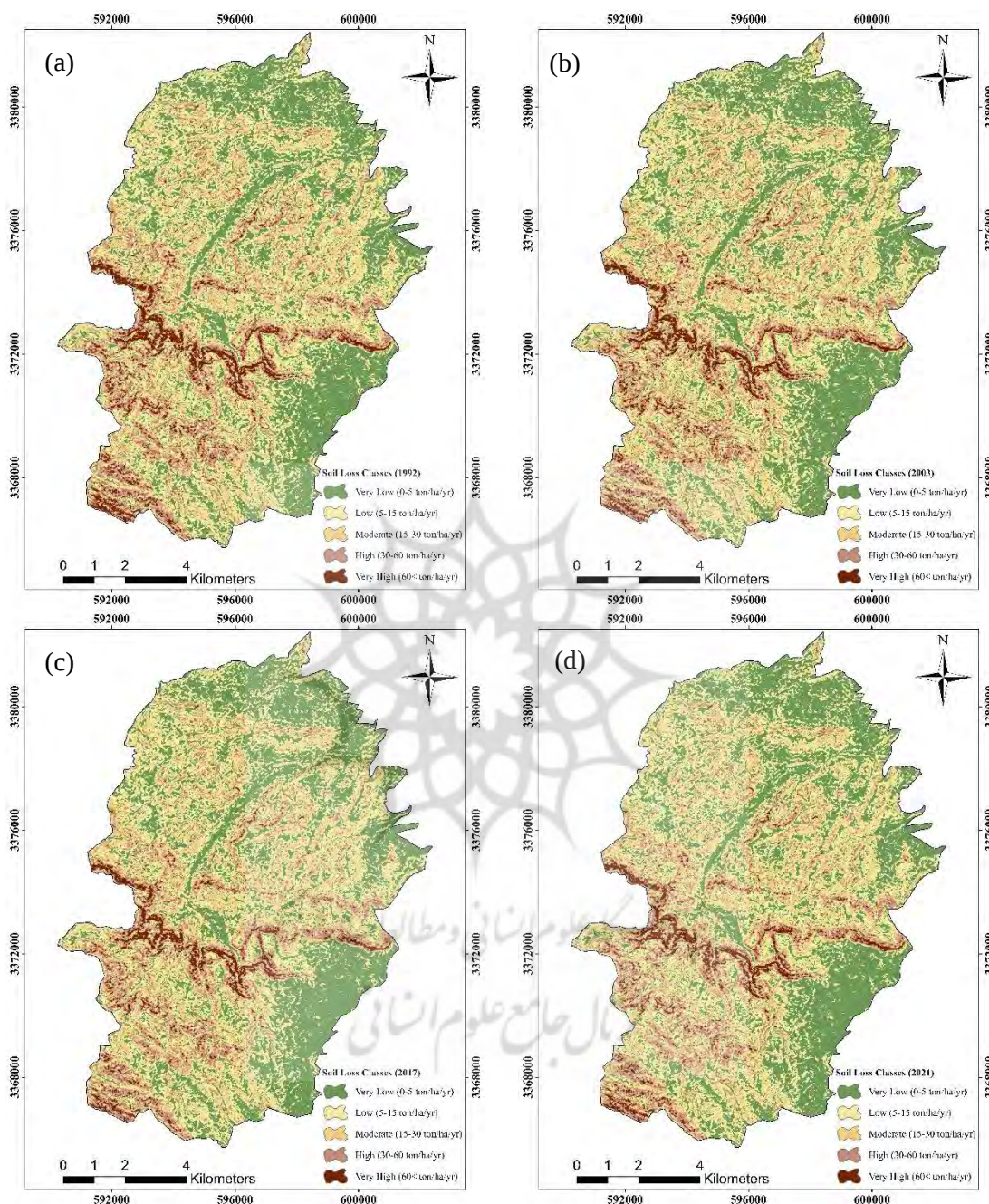


شکل ۵. نقشه‌های عامل مدیریت پوشش حوزه آبخیز چیکان و مورزیان در سال‌های ۱۳۷۱ (الف)، ۱۳۸۲ (ب)، ۱۳۹۶ (ج) و ۱۴۰۰ (د)

۳-۵- برآورد فرسایش خاک سالانه

در پژوهش حاضر مقدار هدررفت سالیانه خاک در سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۲، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰ به ترتیب ۰/۰۴۲ تا ۴۴۰/۳۸۴، ۰/۰۵۸ تا ۴۳۱/۰۳۹، ۰/۰۴۳ تا ۴۱۵/۴۴۲ و ۰/۰۴۳ تا ۴۱۲/۲۴۵ تن بر هکتار بر سال محاسبه گردید. بررسی‌ها نشان داد که روند تغییرات میزان فرسایش از زمان اجرای عملیات تا سال ۱۴۰۰ به صورت کاهشی بوده و کمترین میزان فرسایش در جنوب شرق و شمال حوضه و بیشترین مقدار آن در مرکز و جنوب غرب حوضه اتفاق افتاده است (شکل ۶). در جدول ۶ برخی آماره‌های میزان فرسایش برآورد شده در آبخیز چیکان و مورزیان بیان گردیده است. میانگین هدررفت سالانه خاک در حوضه چیکان و مورزیان تحت تأثیر

اقدامات بیولوژیک طی سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۲، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰ به ترتیب برابر $۱۶/۸۸ \pm ۲۰/۱۹$ ، $۱۶/۳۲ \pm ۱۹/۵۲$ ، $۱۵/۴۱ \pm ۱۸/۲۹$ و $۱۵/۸۸ \pm ۸۰/۸۲$ برآورد شد. این نتایج حاکی از آن است که طی سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۶ میزان فرسایش کاهش یافته و در سال ۱۴۰۰ نیز علی‌رغم افزایش ناچیز نسبت به سال ۱۳۹۶ مقدار متوسط فرسایش از سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۸۲ کمتر بوده است.



شکل ۶. نقشه‌های هدررفت خاک حوزه آبخیز چیکان و مورزبان در سال‌های ۱۳۷۱ (الف)، ۱۳۸۲ (ب)، ۱۳۹۶ (ج) و ۱۴۰۰ (د)

۴- نتیجه‌گیری

محاسبه عوامل مورد ملاحظه در معادله جهانی فرسایش خاک تجدیدنظر شده نشان داد که فاکتور فرسایش باران در سطح منطقه مورد مطالعه از $۵/۳۱۶$ تا $۴۸۸/۴۳۳۱$ مگاژول میلی‌متر بر هکتار بر ساعت در سال متغیر است که این عامل در نیمه غربی حوضه به دلیل ارتفاعات و بارندگی بالاتر، نسبت به نیمه شرقی حوضه بیشتر است. این نتایج با نتایج مطالعه مختاری و همکاران مطابقت دارد (Mukhtari et al., 2018). ایشان در مطالعه خود به محاسبه میزان هدررفت سالانه خاک از طریق مدل RUSLE پرداخته و مقادیر

عامل فرساینده‌ی باران را منطقه مورد مطالعه از ۷۷ تا ۹۷ مگاژول میلی‌متر بر هکتار بر ساعت به‌دست آوردند. دیگر یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که مقادیر عامل فرساینده‌ی باران از قسمت‌های مرکزی حوضه تا نیمه شمالی روند کاهشی داشته و در قسمت‌های جنوبی که ارتفاعات و بارش بیشتر است، فرساینده‌ی افزایش یافته است. دیگر یافته‌های این پژوهش حاکی از آن بود که میزان فرسایش‌پذیری خاک منطقه از ۰/۳۴ تا ۰/۳۸ تن هکتار ساعت بر مگاژول هکتار میلی‌متر متغیر بوده است. عامل فرسایش‌پذیری خاک در قسمت جنوب‌شرق حوضه بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. با توجه به رابطه ۵ مقادیر بالاتر K در محدوده ذرات شن ریز و سیلت به‌دست می‌آید (Getacho Melse, 2015)؛ لذا مقادیر بالای K در منطقه مورد مطالعه نیز بیان‌گر بالا بودن ذرات شن خیلی ریز و سیلت در این نواحی است. نتیجه حاصل از بررسی فاکتور مدیریت پوشش گیاهی نشان داد که مقادیر این فاکتور در سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۲، ۱۳۹۶ روند افزایشی و در فاصله سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ روندی کاهشی داشته است. کاهش میزان NDVI و به تبع آن افزایش فاکتور C در سال ۱۴۰۰ می‌تواند به دلیل کاهش در میزان بارندگی طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ باشد. با وجود این، روند افزایشی در میزان فاکتور C را می‌توان به انجام عملیات بیولوژیک آبخیزداری در حوضه نسبت داد که تا سال ۱۳۹۶ به خوبی خود را نشان داده است. نتایج حاصل از ارزیابی فاکتور پوشش با یافته‌های مطالعه باقری کلات و لشکری‌پور مطابقت دارد (Bagharian Kalat & Lashkaripur, 2017). ایشان در مطالعه خود به ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر پوشش گیاهی و میزان فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز کاخک پرداخته و دریافتند که مقایسه بین وضعیت فاکتورهای پوشش گیاهی مربوط به زمان قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری حوضه در این زمینه تغییرات زیادی حاصل شده است. به‌گونه‌ای که پوشش گیاهی از ۲۵ به ۴۹ درصد افزایش یافته است. میزان علوفه خشک قابل بهره‌برداری از ۱۷ به ۸۹ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته است.

نتایج تحقیق حاضر بیان‌گر این بود که مقدار فرسایش خاک از زمان اجرای عملیات بیولوژیک تا سال ۱۴۰۰ کمتر شده است. با توجه به ثابت در نظر گرفتن عوامل دیگر مدل RUSLE، این امر متأثر از کاهش مقادیر عامل پوشش گیاهی طی دوره مورد بررسی بوده و نشان‌دهنده تأثیر مثبت این اقدامات بر کاهش فرسایش است؛ چرا که میزان شاخص NDVI طی این دوره روند افزایشی داشته است. دیگر یافته‌ها نشان‌دهنده میزان بالاتر فرسایش در نواحی مرکزی است. بررسی نقشه‌های عوامل پنج‌گانه مدل RUSLE در حوضه نشان می‌دهد که عوامل R و Ls در این نواحی بیشترین مقادیر را داشته‌اند، لذا می‌توان بیان نمود که در این مناطق عوامل فرساینده‌ی باران و توپوگرافی نقش بیشتری در هدررفت خاک داشته‌اند. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه امین و همکاران مطابقت دارد (Armin et al., 2020). در مورد تأثیر اقدامات بیولوژیک بر کاهش میزان فرسایش، نتایج فوق با نتایج فاکادو و همکاران، المکتار و همکاران، نورافکن و همکاران و نیز هاریگوبین و همکاران مطابقت دارد. آن‌ها در مطالعه خود دریافتند که اقدامات بیولوژیک باعث کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود (Fakado et al., 2022; Al-Mukhtar et al., 2021; Nourafkan et al., 2021; Harigoin et al., 2012).

آگاهی از میزان هدررفت خاک در حوزه‌های آبخیز، فرصت شناخت نواحی بحرانی و آسیب‌پذیر و اولویت‌بندی برنامه‌های مدیریتی و اجرایی را امکان‌پذیر می‌کند. بنابراین، برآورد صحیح فرسایش خاک به‌عنوان مبنای برنامه‌ریزی در سال‌های اخیر مورد توجه محققین واقع شده است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی نقش اقدامات بیولوژیک بر میزان هدررفت خاک انجام شد. بدین منظور با استفاده از مدل RUSLE و همچنین به کمک سنجش از دور تغییرات پوشش گیاهی ناشی از عملیات بیولوژیک مورد ارزیابی قرار گرفته و این تغییرات در قالب فاکتور C معادله جهانی فرسایش خاک نشان داده شد. در ادامه با استفاده از مدل RUSLE میزان هدررفت خاک از آمار ۲۹ ساله (در چهار مقطع زمانی) محاسبه گردید.

یافته‌ها حاکی از آن بود که اجرای عملیات بیولوژیک طی این دوره منجر به کاهش میزان فرسایش خاک گردیده است. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان نمود که اجرای عملیات بیولوژیک می‌تواند یک اقدام مفید و قابل اطمینان برای کاهش فرسایش خاک در آبخیز تلقی شود. هر چند دیگر کارکردهای این عملیات مانند تولید علوفه، کاهش رواناب، ارزش تفرجگاهی و ... نیز می‌تواند به کارکرد حفاظت خاک آن اضافه شود. نتایج این پژوهش قابلیت بالایی سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور را برای ایجاد داده‌های مورد نیاز جهت ایجاد فاکتورهای مدل RUSLE نشان داد که نتیجه آن به دست آمدن اطلاعات خروجی با کیفیت و قابلیت به‌روزرسانی بالا بود. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند در توسعه برنامه‌های مدیریتی و فراهم کردن گزینه‌های مدیریتی برای تصمیم‌گیران، حائز اهمیت باشد.

۵- سپاس‌گزاری

از همکاری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس که در انجام مراحل مختلف پژوهش از جمله در اختیار قرار دادن داده‌ها و اطلاعات از منطقه مورد مطالعه، وسیله نقلیه و همچنین کارشناس راهنما جهت بازدیدهای میدانی مساعدت فرمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

۶- فهرست منابع

- اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس. (۱۳۸۱). مطالعات جامع حوزه آبخیز چیکان و مورزیان، جلد ششم، مطالعات پوشش گیاهی، ۸۵ ص.
- اسدی، حسین، وظیفه دوست، مجید، موسوی، سید علی، هنرمند، محدثه. (۱۳۹۰). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک با استفاده از RS، GIS، RUSLE و حوزه آبخیز نارود. مجله علوم و فنون کشاورزی، ۱۹(۱)، ۲۳۱-۲۴۴.
<https://civilica.com/doc/1276667/>
- بابایی، مهنار، حسینی، سید زین‌العابدین، نظری سامانی، علی‌اکبر، المدرسی، سید علی. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE 3D، مطالعه موردی: حوزه آبخیز کن. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۸(۲)، ۱۸۱-۱۶۵.
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.106454>
- باقریان کلات، علی، لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد. (۱۴۰۰). ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر پوشش گیاهی و میزان فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز کاخک. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۳(۷)، ۶۳-۵۱.
(DOI): 10.30495/jest.2022.27360.3642
- رخبین، معصومه، نوحه گر، احمد، کمالی، علیرضا، حبیب‌اللهیان، محمود. (۱۳۹۳). برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز لاور فین (استان هرمزگان) با استفاده از سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل تجربی RUSLE. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۳)، ۸۹-۱۰۴.
URL: <http://georesearch.ir/article-1-348-fa.html>
- رفاهی، حسینقلی. (۱۳۷۹). فرسایش آبی و حفاظت آن. انتشارات دانشگاه تهران، ۹۱۲-۹۲۱.
- عبیات، محمد، عبیات، مصطفی، عبیات، مرتضی. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات کاربری اراضی و اثر آن بر روند فرسایش خاک در حوضه باغملک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل RUSLE. محیط‌شناسی، ۴(۱)، ۸۹-۱۱۰.
Doi:10.22059/jes.2021.324250.1008180
- فارسی، راضیه، یگانه، حسن، حسینعلی‌زاده، محسن، عظیمی، مژگان سادات. (۱۳۹۹). برآورد ارزش اقتصادی نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کچیک). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۷(۶)، ۱۵۲-۱۳۷.
10.22069/jwsc.2020.17763.3331
- کریمی سنگچینی، ابراهیم، آرامی، عبدالحسین، یوسفی مبرهن، ابراهیم. (۱۴۰۰). کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در ارزیابی اثرات طرح‌های آبخیزداری اجرا شده در حوزه آبخیز ریمله شهرستان خرم‌آباد. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی، ۱۲(۴)، ۸۶-۷۸.
https://journals.iau.ir/article_694033.html
- کوهدرزی مقدم، مینا، تقی پور، سید مهدی، عرفانی پورقاسمی، وجیهه. (۱۴۰۱). اثربخشی اقدامات آبخیزداری در کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دهلکوه). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۲(۴)، ۱۷-۱.
10.22098/mmws.2022.10282.1080
- کیانی هرچگانی، محبوبه، سعیدی، پری، صادقی، سید حمیدرضا. (۱۳۹۷). تحلیل حلقه‌های سنج رسوبی فرسایش بین شیاری در رگبارهای پیاپی تحت شرایط آزمایشگاهی. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۹(۲)، ۳۰۲-۲۹۳.
<https://sid.ir/paper/225499/fa>
- گلی مختاری، لیلا، شفیعی، نجمه، و رحمانی، ابوالفضل. (۱۳۹۷). برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل (RUSLE)، مطالعه‌ی موردی حوضه‌ی آبریز نورآباد ممسنی. هیدروژئومورفولوژی، ۵(۱۷)، ۲۱-۱.
20.1001.1.23833254.1397.5.17.1.1
- محمودی، محمد علی، نقشبندی، سیده پریا. (۱۳۹۸). برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و داده‌های سنجش از دور در حوضه آبخیز سد گاوشان. آب و خاک، ۳۳(۶)، ۸۴۵-۸۵۶.
10.22067/jsw.v33i6.76446

- میرچولی، فهیمه، صادقی، سیدحمیدرضا، خالدی درویشان، عبدالواحد. (۱۴۰۱). تحلیل مقایسه‌ای اثر روش‌های محاسباتی مختلف برآورد عامل توپوگرافی بر میزان و توزیع مکانی هدررفت خاک در حوزه آبخیز شازند. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۴(۲)، ۲۳۲-۲۴۲. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.341236.1753>
- نژاد افصلی، کرامت، شاه‌رخ، محمد رضا، بیاتانی، فاطمه. (۱۳۹۸). برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوضه آبخیز دهکهان (جنوب کرمان). مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۲۰)، ۳۸-۲۱. [10.22111/jneh.2018.21894.1316](https://doi.org/10.22111/jneh.2018.21894.1316)
- نورافکن، امیرحسین، اختری، روح انگیز، دلاور، مجید. (۱۴۰۰). ارزیابی تأثیرات اقدامات آبخیزداری بر مولفه‌های بیلان آبی و رسوب مطالعه موردی: حوضه آبریز وردیج - واریش. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷(۱)، ۲۷۷-۲۸۹. [20.1001.1.17352347.1400.17.1.17.8](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1400.17.1.17.8)
- نیک پور، نورالله، فتوحی، صمد، نگارش، حسین، سیستانی، مسعود. (۱۳۹۶). مورفومتری فرسایش آبکندی و عوامل مؤثر بر ایجاد و گسترش آن (حوضه‌ی دشت چم فاضل در جنوب غرب استان ایلام). تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴(۱)، ۹۷-۱۱۲. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2696-fa.html>

References

- Abayat, M., Abayat, M., & Abayat, M. (2021). Investigation of land use changes and its effect on soil erosion process in Baghmolek basin using artificial neural network and RUSLE model. *Environmental Journal*, 47(1): 89–110. Doi:10.22059/jes.2021.324250.1008180. **[In Persian]**
- Almouctar, M., A.S., Wu, Y., Zhao, F., & Dossou, J.F. (2021). Soil erosion assessment using the RUSLE model and geospatial techniques (Remote Sensing and GIS) in South-Central Niger (Maradi Region). *Water*, 13(24): 3511. <https://doi.org/10.3390/w13243511>
- Anderson, G.L., Hanson, J.D., & Hass, R.H. (1993). Evaluating landsat thematic mapper derived vegetation indices for estimating above-ground biomass on semiarid rangelands. *Remote Sensing of the Environment*, 45(2): 165–175. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90040-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90040-5)
- Asadi, H., Vazifiedoost, M., Mousavi, S., & Honarmand, M. (2011). Evaluation and zoning soil erosion risk used by RUSLE, GIS and RS in Navroud watershed. *Journal of agricultural science and technology*, 19(1): 231–244. <https://civilica.com/doc/1276667/>. **[In Persian]**
- Babaei, M., Hosseini, Z., Nazari, A., & AlMadras, A. (2015). Zoning of soil erosion using RUSLE 3D model, a case study of the drainage basin. *Watershed management and engineering*, 8(2): 165–181. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.106454>. **[In Persian]**
- Bagherian Kalat, A., Lashkaripour, G., & Ghafouri, M. (2021). Assessing the impact of watershed management measures on vegetation and erosion and sedimentation in Kakhk watershed. *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(7): 51–63. DOI: 10.30495/jest.2022.27360.3642. **[In Persian]**
- Behera, M., Sena, D. R., Mandal, U., Kashyap, P. S., & Dash, S. S. (2020). Integrated GIS-based RUSLE approach for quantification of potential soil erosion under future climate change scenarios. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(11), 733. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08688-2>
- Boardman, J., Ligneau, L., De Roo, A.D., & Vandaele, K. (1994). Flooding of property by run off from agricultural land in northwestern Europe. *Geomorphology and Natural Hazards*, 10(3): 183–196. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-82012-9.50017-7>
- Böhner, J., & Selige, T. (2006). Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalization. *SAGA - Analyses and Modelling Applications*, 115: 13–28. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1304675/document.pdf>
- Bruce, R.R., Langdale, G.W., East, L.J., & Miller, W.P. (1995). Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. *Soil Science Society of America Journal*, 59(3): 654–660. <https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900030003x>
- Chuenchum, P., Xu, M., & Tang, W. (2020). Predicted trends of soil erosion and sediment yield from future land use and climate change scenarios in the Lancang–Mekong River by using the modified RUSLE model. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(3): 213–227. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.06.006>
- Dash, C. J., Das, N. K., & Adhikary, P. P. (2019). Rainfall erosivity and erosivity density in Eastern Ghats Highland of east India. *Natural Hazards*, 97, 727–746. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03670-9>

- Farsi, R., Yeganeh, H., Hosseinalizadeh, M., & Azimi, M. (2020). Estimating the economic value of the role of vegetation in soil erosion control (case study: Kechik watershed). *Journal of water and soil protection research*, 27(6): 137–152. 10.22069/jwsc.2020.17763.3331. **[In Persian]**
- Fekadu, A., Soromessa, T., & Dullo, B.W. (2022). Assessment of the erosion protection service and its economic value of the southwestern Ethiopia forest coffee. *Environmental Challenges*, 8, 100580. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100580>
- Haregeweyn, N., Berhe, A., Tsunekawa, A., Tsubo, M., & Derege Tsegaye, M. (2012). Integrated Watershed Management as an Effective Approach to Curb Land Degradation: A Case Study of the Enabered Watershed in Northern Ethiopia. *Environmental Management*, 50(6): 1219–1233. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9952-0>
- Karimi Sangchini, A., Arami, A., & Yousefi, E. (2022). The use of geographic information system and remote sensing in evaluating the effects of watershed management projects implemented in the Rimle watershed of Khoramabad city. Application of geographic information system and remote sensing in planning, 12(4): 78–86. https://journals.iau.ir/article_694033.html. **[In Persian]**
- Khanchoul, K., Selmi, K., & Benmarce, K. (2020). Assessment of soil erosion by RUSLE model in the mellegue watershed, northeast of Algeria. *Environ Ecosyst Sci*, 4(1): 15–22. DOI: <http://doi.org/10.26480/ees.01.2020.15.22>
- Kiani Harchegani, M., Saeidi, P., & Sadeghi, S.H. (2018). Analysis of rating loops of interrill erosion on consecutive storms under laboratory conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(2): 293–302. <https://sid.ir/paper/225499/fa>. **[In Persian]**
- Kohdarzi Moghadam, M., Taghipour, M., & Erfanipour Ghasemi, V. (2022). The effectiveness of watershed measures in reducing soil erosion and sediment production (case study: Dehlkoh watershed). *Modeling and Water and soil management*, 2(4): 1–17. 10.22098/mmws.2022.10282.1080. **[In Persian]**
- Lal, R. (1994). Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17(4): 319–464. <https://doi.org/10.1080/07352689891304249>
- Lazzari, M., Gioia, D., Piccarreta, M., Danese, M., & Danese, A. (2015). Sediment yield and erosion rate estimation in the mountain catchments of the Camastra artificial reservoir (Southern Italy): a comparison between different empirical methods. *Catena*, 127: 323–339. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.11.021>
- Mahmoudi, M., & Naqshbandi, P. (2018). Estimating the amount of soil erosion using the RUSLE model and remote sensing data in the watershed of Gavshan Dam. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries)*, 33(6): 845–856. 10.22067/jsw.v33i6.76446. **[In Persian]**
- Mircholi, F., Sadeghi, H., & Khalidi, A. (2021). Comparative analysis of the effect of different calculation methods for estimating the topographic factor on the amount and spatial distribution of soil loss in the Shazand watershed. *Journal of watershed engineering and management*, 14(2): 23–242. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.341236.1753>. **[In Persian]**
- Mokhtari, L.G., Shafiei, N., & Rahmani, A. (2018). Estimation of soil erosion using RUSLE model, a case study of Noorabad Mamasani basin. *Hydrogeomorphology*, 5(17): 1–21. 20.1001.1.23833254.1397.5.17.1.1. **[In Persian]**
- Nejad Afzali, K., Shahrokhi, M., & Byatani F. (2019). Estimating soil erosion using the RUSLE model and identifying its most effective factor in the Dehkhaneh watershed (south of Kerman). *Natural Environment Hazards*, 8(20): 21–38. 10.22111/jneh.2018.21894.1316. **[In Persian]**
- Nikpour, N., Fatuhi, S., Negaresh, H., & Sistani, M. (2016). Morphometry of watershed erosion and factors affecting its creation and expansion (Cham Fazel basin in the southwest of Ilam province). *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 4(1): 97–12. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2696-fa.html>. **[In Persian]**
- Nourafkan, A.H., Akhtari, R., & Delavar, M. (2021). Evaluating the Impact of Watershed Management Practices on Water Balance Components and Sediment in Verdij–Varish Catchment. *Iran-Water Resources Research*, 17(1): 277–289. 20.1001.1.17352347.1400.17.1.17.8. **[In Persian]**
- Nourizadeh, M., Naghavi, H., & Omidvar, E. (2024). The effect of land use and land cover changes on soil erosion in semi-arid areas using cloud-based google earth engine platform and GIS-based RUSLE model. *Natural Hazards*, 120(7), 6901–6922. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06375-2>
- Pacheco, F.A.L., & Varandas, S.G.P., Fernandes, L.S., Junior, R.V. (2014). Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Science Total Environ.* 485: 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.069>

- Pimental, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Saffouri, R., & Blair, R. (1995). Environmental costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201): 1117–1123. DOI: 10.1126/science.267.5201.1117
- Pradhan, B., Chaudhari, A., Adinarayana, J., & Buchroithner, M.F. (2012). Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: a case study at Penang Island, Malaysia. *Environmental monitoring and assessment*, 184(2): 715–727.
- Rakhbin, M., Nohegar, A., Kamali, A., & Habib Ellahian, M. (2014). Estimates of erosion and sediment yield in the watershed Lavrfyn (Hormozgan eparchy) using remote sensing (RS), Geographic Information System (GIS) and experimental models RUSLE. *Geographical Research*, 3(114): 89–104. URL: <http://georesearch.ir/article-1-348-fa.html>. **[In Persian]**
- Refahi, H. (2000). water erosion & conservation. Tehran University Press, Sciences, 19: 912–921. **[In Persian]**
- Renard, K.G., & Ferreira, V.A. (1993). RUSLE model description and database sensitivity. *Journal of environmental quality*, 22(3): 458–466. <https://doi.org/10.2134/jeq1993.00472425002200030009x>
- Renard, K.G., & Freimund, J.R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. *Journal of Hydrological*, 157(1-4): 287–306. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90110-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4)
- Renard, K.G., Meyer, L. D., & Foster, G.R. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation, planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE), 2–18.
- Römkens, M.J.M., Poesen, J., & Wang, J.Y. (1988). Relationship between the USLE soil erodibility factor and soil properties. international soil conservation conference on Land Conservation For Future Generations, II. System Analysis for erosion evaluation, In *Proceedings*, 371–385.
- Shirazi, M.A., & Boersma, L. (1984). A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Science Society of America Journal*, 48(1): 142–147. <https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800010026x>
- Sidi Almouctar, M.A., Wu, Y., Zhao, F., & Dossou, J.F. (2021). Soil Erosion Assessment Using the RUSLE Model and Geospatial Techniques (Remote Sensing and GIS) in South-Central Niger (Maradi Region). *Water*, 13(24): 3511–3523. <https://doi.org/10.3390/w13243511>
- Wijitkosum, S. (2012). Impacts of land use changes on soil erosion in Pa Deng sub-district, adjacent area of Kaeng Krachan National Park, Thailand. *Soil and Water Research*, 7(1): 10 –17. <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/swr/2012/01/02>.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.