Quantitative evaluation of soil erodibility potential using SLEMSA model (Case study: Karkheh watershed, Lorestan province, Iran)

Mohammad Jahani[a], **Sajjad Taleghani**[b,*], **Morteza Akbari**[c]
[a] *M. Sc. Student in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.*
[b,*] *M. Sc. Student in remote sensing and geographic information systems, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.*
[c] *Associate professor, Department of Desert Areas Management, Faculty of Natural Resources and Environment. Ferdowsi University of Mashhad, Iran.*

Research Full Paper
Article History (Received: 2024/01/10 Accepted: 2024/04/07)

Extended abstract

1- Introduction

Soil erosion is the most common type of land degradation occurring in arid and semi-arid areas, as well as in flooded areas, due to natural and human processes. Erosive factors lead to the loss of land fertility, transforming damaged areas into abandoned lands and disrupting the balance of natural ecosystems. Soil erosion, as an important environmental issue, poses a threat to the sustainability of natural resources and soil productivity, turning it into a major problem in many parts of the world. To address this challenge, evaluating soil erodibility and preparing a risk zoning map is one of the most important preventive measures. One of the methods for estimating soil erosion is the SLEMSA model, which utilizes basic environmental information to assess the amount of soil loss. Consequently, the present research aims to determine soil loss values and create zoning maps for high erosion areas using the SLEMSA model and remote sensing data. The results obtained from this study can assist organizational managers and executive departments in formulating effective plans to control soil erosion and contribute to the achievement of the country's sustainable development goals.

3- Methodology

The SLEMSA model divides the soil erosion environment into four physical systems: crops, climate, soil, and topography. These control variables are then integrated into three sub-models: the soil erodibility sub-model, topography sub-model, and vegetation sub-model. In this study, the topographic factor map is generated using two parameters: slope and domain length. These parameters are derived from the Digital Elevation Model (DEM), obtained from the SRTM Digital Elevation Data version 4 of the Google Earth Engine system, with a spatial resolution of 90 meters. To create the soil erodibility map, rain kinetic energy maps and soil erodibility factors are required. The Google Earth Engine System's Global Precipitation Measured (GPM) v6 data was used to extract rain kinetic energy. Simultaneously, the soil erodibility factor was obtained from a geological formations map acquired from the World Soil Database (HWSD) for the year 2022. Additionally, a vegetation factor map was generated using ESA-CCI global land use data.

3- Results

The topographic factor map was created using slope and domain length maps. Based on this factor's map, it is evident that the highest values are in the high mountain areas of the basin. The soil erodibility factor map is prepared based on soil erodibility and rain kinetic energy. The results of the soil erosion factor map for this basin show that erosion is more evident in areas with weak and unstable formations mainly affected by the kinetic energy of rainfall. The vegetation factor map was prepared using released energy maps and land use maps. Considering the direct relationship between the vegetation factor and erosion, it can be concluded that the highest

* **Corresponding Author: sajjadtaleghany@mail.um.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

soil losses occur in areas with a higher vegetation factor. Consequently, the combination of topographical factors, erodibility, and vegetation indicates the amount of soil erosion in terms of tons per hectare per year. The research findings indicate that the marginal areas from the northeast to the southeast of the basin, in the altitude range of 1880 to 3622 meters, lack suitable vegetation due to the high altitude and slope. Also, due to the high amount of precipitation in these areas, an increase follows the speed of surface runoff. Additionally, sensitive formations in these areas contribute to intensifying soil erosion. Approximately 11.7% of the basin area is in the erosion risk group, with the erosion rate ranging from 37.1 to 67.7 tons per hectare per year. Planning, management, and control measures are needed to address soil erosion and protection in these high-risk areas.

4- Discussion & Conclusions

The results of this research indicate that approximately 96.61% of the region has a low to moderate erodibility rate. Meanwhile, the lowest erosion values are observed in the middle and outlet areas of the basin, characterized by lower altitudes and better vegetation conditions. These areas are more favorable in terms of sensitivity to erosion, and the presence of annual rainfall between 460 and 600 mm leads to a decrease in runoff, consequently reducing the rate of erosion. On the other hand, the highest amount of erosion can be seen in the Doab and Kakareza watersheds, attributed to inappropriate vegetation, annual rainfall exceeding 600 mm, and structures with low resistance. Finally, it can be said that in Iran, especially in Lorestan province, the lack of models to estimate erosion with limited data has become a significant challenge. Therefore, the purpose of this research was to investigate soil erosion in the Karkheh watershed of Lorestan province using the SLEMSA model. Utilizing simple environmental data, this model shows promising potential for estimating soil erodibility in the Karkheh watershed of Lorestan province.

Key Words: Remote Sensing, Google Earth Engine System, Land Degradation, Sustainable Development.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

Cite this article: Jahani, M., Taleghani, S., & Akbari, M. (2024). Quantitative evaluation of soil erodibility potential using SLEMSA model (Case study: Karkheh watershed, Lorestan province, Iran. *Journal of Environmental Erosion Research. 2023; 14 (2) :161-179*. http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

ارزیابی کمّی پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از مدل SLEMSA (مطالعه موردی: حوزۀ آبخیز کرخه استان لرستان، ایران)

محمد جهانی: *دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری گرایش سیلاب و رودخانه، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.*

سجاد طالقانی *: *دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد. ایران*

مرتضی اکبری: *دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه فردوسی مشهد. ایران*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچۀ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹)

DOI: http//doi.org/

چکیده

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و مخاطرات محیطی در جهان بوده و از موانع اصلی دستیابی به توسعه پایدار محسوب می‌شود. به طوریکه، شناسایی و ارزیابی عوامل موثر فرسایش خاک و پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر، می‌توانند به اقدامات مناسب حفاظتی با هدف دستیابی به توسعه پایدار کمک فراوانی نمایند. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی کمی فرسایش خاک در حوزۀ آبخیز کرخه در استان لرستان در غرب ایران، با استفاده از مدل جهانی SLEMSA است. برای این منظور، ابتدا مقادیر پارامترهای اصلی مدل همچون شیب، طول جریان و انرژی جنبشی باران با استفاده از داده‌های سنجش از دوری سامانۀ گوگل ارث انجین (GEE)، عامل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از اطلاعات پایگاه داده هماهنگ خاک جهان (HWSD) و فاکتور پوشش گیاهی به کمک داده‌های کاربری اراضی ESA-CCI بدست آمد. سپس با تلفیق لایه‌های رقومی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشۀ فرسایش‌پذیری حوزۀ آبخیز کرخه تهیه شد. تحلیل فضایی نقشه فرسایش‌پذیری خاک نشان داد که حوزۀ آبخیز کرخه دامنۀ فرسایش‌پذیری در حدود ۱۰/۶۱ تا ۶۵/۷۶ تن در هکتار در سال را دارد. به نحویکه ۱۱/۷ درصد از مساحت حوزۀ آبخیز کرخه که عمدتاً در بخش‌های شرق و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه قرار دارند، در کلاس خطر فرسایش‌پذیری زیاد بوده که میزان فرسایشی در حدود ۱۴/۷۳ تا ۶۵/۷۶ تن در هکتار در سال را به خود اختصاص داده است. ارزیابی شدت فرسایش خاک و پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر به مسئولین و کارشناسان ادارات اجرایی در انجام اقدامات حفاظتی-کنترلی و کاهش هدررفت بیشتر خاک کمک فراوانی خواهد نمود.

واژگان کلیدی: سنجش از دور، سامانۀ گوگل ارث انجین، تخریب سرزمین، توسعه پایدار.

* نویسندۀ مسئول: sajjadtaleghany@mail.um.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

۱ـ مقدمه

یکی از مشکلات مهم محیط‌زیستی، فرسایش خاک می‌باشد که به شدت، پایداری منابع طبیعی و بهره‌وری خاک را تهدید می‌کند (Karami et al, 2023; Mezbani et al , 2021; Esmali and Kateb, 2020; khaleghi et al, 2020). فرسایش خاک، رایج‌ترین نوع تخریب سرزمین است که طی یک فرآیند طبیعی و یا انسانی در مناطق مختلف جهان به وسیله عوامل فرسایش‌زا رخ می‌دهد و ذرات خاک را که در اثر فعل و انفعالات دراز مدت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بر روی زمین ایجاد و تکامل می‌یابند از بستر اولیهٔ خود جدا نموده و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده جابجا می‌نماید (Pazhuhesh et al, 2017; Bagheri et al, 2022; Kori, 2023). به عبارت دیگر فرسایش خاک زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار آن بیش از میزان خاک‌سازی و خاک‌زایی در طبیعت باشد و در نتیجه این فرآیند زمین حاصخیزی خود را از دست داده و سبب بهم خوردن پایداری منابع و تعادل اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود (Soheili and Niazi, 2022; karimi et al, 2019; Shirazi et al, 2020; Behrahi et al, 2018).

فرسایش خاک و پیامدهای زیان‌بار آن به محدودیتی جهانی برای رسیدن به توسعه پایدار تبدیل شده است که تأثیرات منفی بر تولیدات کشاورزی، امنیت غذایی و سلامت و پایداری اکوسیستم و منابع طبیعی دارد (Kiani et al, 2018; Madadi and Piroozi, 2016; Sahour et al, 2021). تأثیر فرسایش خاک فراتر از تولید مواد غذایی است. فرسایش خاک می‌تواند باعث از دست‌دادن پوشش گیاهی، بروز سیلاب، پراکندگی خاک از طریق آبراهه‌ها، تجمع رسوبات در مخازن و در نتیجه کاهش عمر مفید سدها، افزایش‌خسارات اقتصادی،گسترش بیابان‌زایی و تغییر شدید کاربری اراضی شود (Heydarnejad et al, 2020; Parvin et al, 2022; Akbari et al, 2016). بنابراین، سرمایه‌گذاری‌ها بیش از آنکه صرف احیا و بازسازی این منابع از دست‌رفته شود، بایستی برای شناسایی مناطق فرسایش پذیر و جلوگیری از آن به کار برده شود (Sitayelo, 2022; Ma et al, 2021; Memarian and Akbari, 2021). لذا ارزیابی فرسایش خاک و تهیه نقشه پهنه‌بندی‌خطر فرسایش‌خاک، یکی از مهم‌ترین اقدامات پیش‌گیرانه در این زمینه است که می‌تواند موجبات دستیابی به اهداف توسه پایدار منطقه‌ای و ملی را فراهم سازد (Nainiva et al, 2023; Akbari et al, 2023; Akbari et al, 2022; Rostami and Rabbani, 2023;).

یکی از روش‌های ارزیابی پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک، استفاده از مدل‌های جهانی به کمک تلفیق داده‌های سنجش از دور (RS[1]) و فنآوری‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[2]) است (Shahiri and Afzalimehr, 2024; karimi et al, 2019). بهره‌گیری از داده‌های RS و تکنیک‌های GISبه کمک مدل‌های فرسایش خاک، تجزیه و تحلیل داده‌ها را سریع‌تر و آسان‌تر می‌نماید و می‌توان از آن‌ها در کنترل و مدیریت منابع طبیعی استفاده نمود. مدل‌های WEPP[3]، EPM[4]، SLEMSA[5]، PSIAC[6]، MPSIAC[7] از مجموعه مدل‌های مناسب مورد توجه برای تعیین و ارزیابی میزان شدت فرسایش می‌باشند (Roostaei et al, 2023; Hassanzadeh et al, 2021; Panagos and

1. Remote Sensing
2. Geographic Information System
3. Water Erosion Prediction Project
4. Erosion Potential Method
5. Soil Loss Estimation Model for Southern Africa
6. Pacific Southwest Inter-Agency Committee
7. Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

(Katsoyiannis, 2019; Panagos et al, 2020). این مدل‌های به نسبت ساده از نظر فیزیکی به سهولت قابل تفسیر هستند و می‌توانند با حداقل ورودی به کمک محاسبهٔ برخی روابط و ضرایب، مناطق مستعد فرسایش پذیری خاک را مشخص نمایند (Kazeminia et al, 2023; Rezaei arefi et al, 2020).

با توجه به اهمیت شدت فرسایش خاک و نیاز به کنترل و مدیریت آن، پژوهشگران مطالعات گسترده‌ای را برای ارزیابی و برآورد فرسایش خاک انجام داده‌اند (Gandoamkar et al, 2008; Taghavi and Hashemi, 2013; Mallam et al, 2016; Kiani et al, 2018). مدل SLEMSA یکی از روش‌های برآورد میزان فرسایش خاک است، که به کمک اطلاعات سادهٔ محیطی، می‌تولند میزان فرسایش‌پذیری خاک را تخمین بزنند (Salari et al, 2012; Entezari et al, 2013; Mousavi, 2017).

این مدل برای نخستین بار توسط Elwell (1978)، و به منظور تعیین میزان فرسایش خاک در کشور زیمباوه استفاده شد سپس به طور گسترده‌تر توسط Elwell and Stocking (1982)، در شمال آفریقا برای ارزیابی نرخ تخریب خاک استفاده شد که نتایج قابل قبولی را به دست آورده است. مطالعات Sitayelo (2022)، که در ناحیهٔ ککاتلنگ در کشور بوتسوانا در آفریقا به ارزیابی پتاسیل خطر فعلی فرسایش خاک با استفاده از مدل فرسایشی SLEMSA پرداختند، نشان داد که ۸۸ درصد از این ناحیه دارای خطر فرسایش خاک کم تا متوسط و تنها ۱۲ درصد از منطقه مورد مطالعه خطر فرسایش بسیار بالا تا شدید را دارا می‌باشد. همچنین مدل SLEMSA با سایر روش‌های برآورد میزان فرسایش‌پذیری در مطالعات حفاظت خاک مقایسه شده است (Entezari and Gholami, 2012; Entezari and Gholam Heydari, 2014; Ajon et al, 2018; Moesi, 2021) مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد این مدل به دلیل حساس بودن آن به عوامل ورودی برای پیش‌بینی فرسایش خاک تحت شیوه‌های مختلف مدیریت خاک مناسب است.

در ایران نیز پژوهش‌های متعددی با استفاده از مدل SLEMSA انجام شده است. Heydarnejad و همکاران (2020)، در استان لرستان، Heydari و همکاران (2022)، در حوزهٔ آبخیز زیارت و Nainiva و همکاران (2023)، در زیرحوضه چهل گزی سد قشلاق (وحدت) سنندج با کمک گرفتن از مدل SLEMSA به ارزیابی ریسک و پهنه بندی مناطق در خطر فرسایش خاک و تعیین میزان آن پرداختند، نتایج این مطالعات نشان داد که خروجی این مدل با شرایط مناطق مورد مطالعه همخوانی دارد و می‌تواند با دقت قابل قبولی میزان فرسایش پذیری خاک را تعیین کند.

با توجه عامل توپوگرافی، اقلیم و زمین شناسی در مناطق مختلف ایران، میزان و نوع فرسایش در همه مناطق ایران یکسان نبوده و بایستی میزان شدت فرسایش خاک در مناطق مختلف محاسبه و مناطق با میزان فرسایش بالا و خطر پذیری زیاد مشخص شوند. در همین راستا حوزهٔ آبخیز کرخه نیز به دلیل همسایگی با کشور عراق به لحاظ ژئوپولیتیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و همچنین مطالعات محدودی در زمینهٔ کنترل فرسایش در این منطقه انجام شده است. لذا ارزیابی پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک نقش قابل توجهی در کنترل و مدیریت این پدیده خواهد داشت و ضروری است تا تدابیر لازم به منظور جلوگیری از مشکلات ناشی از خطر فرسایش خاک صورت گیرد. لذا، بر این اساس پژوهش حاضر با هدف ارزیابی میزان هدر رفت خاک و پهنه‌بندی مناطق فرسایش یافته به کمک مدل SLEMSA سعی خواهد نمود تا نتایج بدست آمده از این تحقیق، بتواند به مدیران سازمان و ادارت اجرایی در زمینهٔ

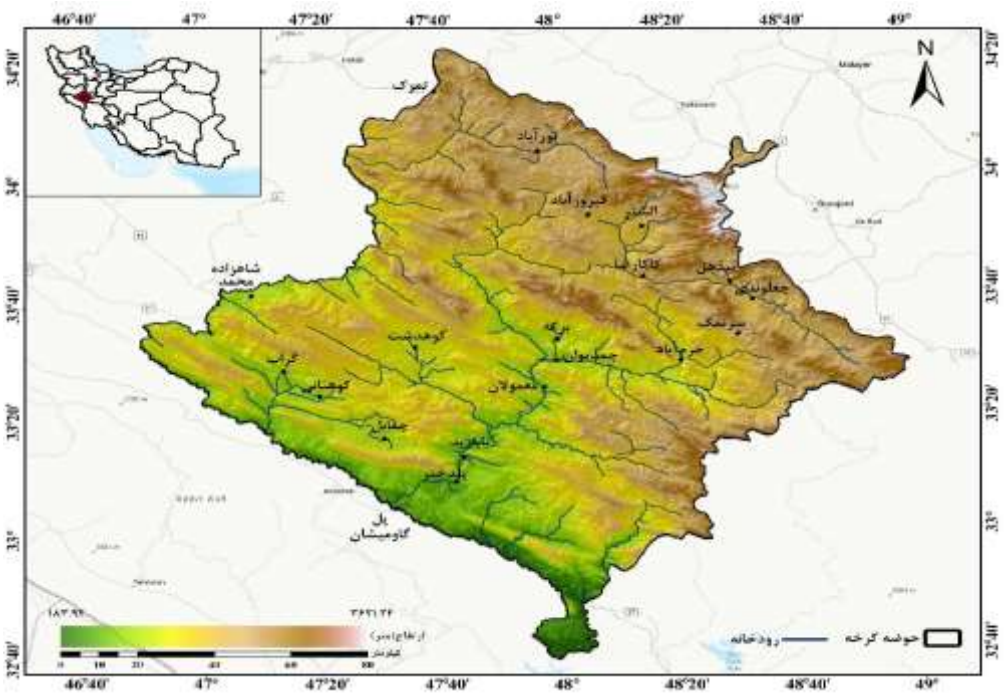
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

اتخاذ برنامه‌ریزی‌های صحیح در راستای کنترل فرسایش خاک و رسیدن کشور به اهداف توسعه پایدار کمک نماید. در این پژوهش از داده‌های سنجش از دوری سامانهٔ گوگل ارث انجین و اطلاعات پایگاه داده هماهنگ خاک جهان (HWSD) استفاده شده است.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

بخشی از حوزهٔ آبریز رودخانه کرخه با مساحت ۱۶۵۰۱ کیلومتر مربع در غرب کشور ایران در استان لرستان، در محدوده جغرافیایی ´۳۸ °۳۲ تا ´۲۲ °۳۴ عرض شمالی و ´۰۰ °۴۹ تا ´۵۰ °۴۶ طول شرقی قرار دارد. میزان بارش سالانه در ارتفاعات این حوزه به بیش از ۸۰۰ میلی‌متر می‌رسد و در مناطق جنوبی به کم‌تر از ۳۰۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد. علیرغم این میزان از بارش، این حوزه دارای اقلیم نیمه خشک‌بوده و شروع دوره خشکی آن اوایل خرداد و پایان دوره خشکی آن اوایل آبان‌ماه است (Akbari et al, 2023). با توجه به شرایط طبیعی، می‌توان گفت که این حوزه عمدتاً کوهستانی بوده و تنها فقط ۳۸ درصد این حوزه را، اراضی غیرکوهستانی تشکیل داده است. مناطق کوهستانی بیشتر در بخش‌های شرقی و شمالی واقع شده‌اند، در حالیکه دشت‌ها در قسمت‌های غربی و جنوبی قرار دارند. بخش عمده سازندهای این منطقه حساس به فرسایش بوده که درصد فراوانی آن چیزی در حدود ۶۰ درصد می‌باشد (Bayat et al, 2021; Akbari et al, 2023). در همین راستا، در چند دهه اخیر روند رو به تخریب این مناطق ادامه حیات در محیط‌های طبیعی و انسان‌ساخت اطراف این حوزه را با مشکل مواجه کرده است. در نتیجه فرسایش خاک به عنوان مهمترین و اصلی‌ترین عامل مخرب فعال در منطقه مورد مطالعه تأثیر اساسی بر تمامی بخش‌های حوزه آبخیز کرخه گذاشته است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

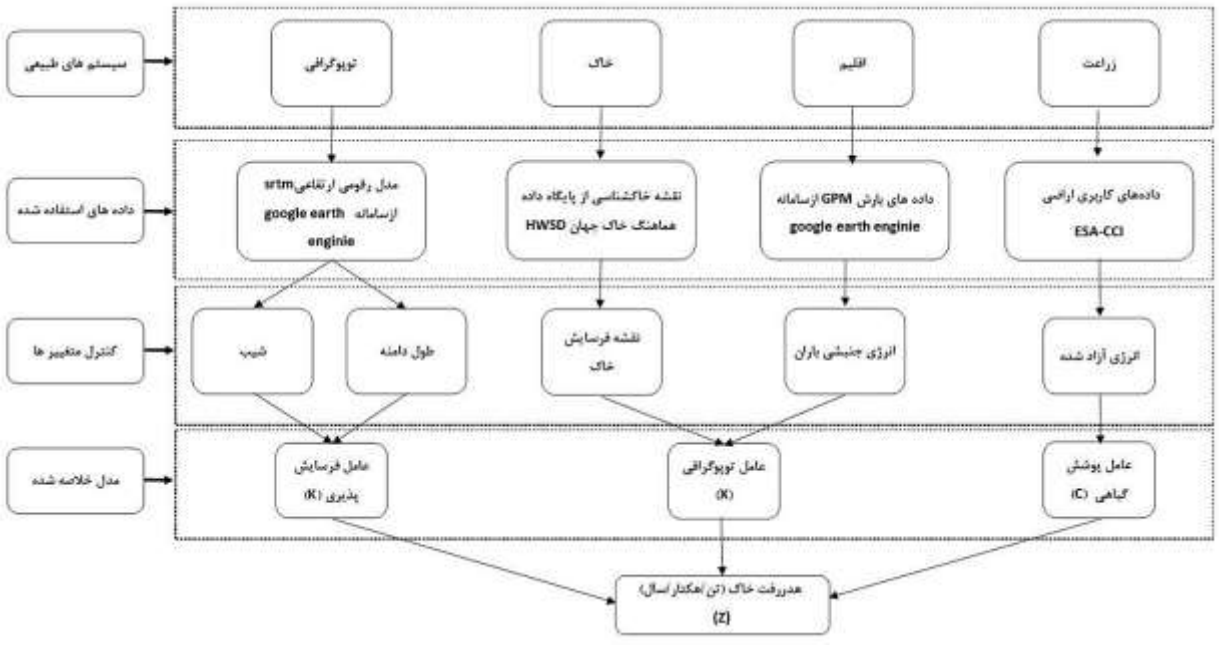
۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ معرفی مدل SLEMSA

مدل‌های فرسایش خاک، یکی از مهمترین ابزارهای سودمند برای ارزیابی و پیش‌بینی مقدار شدت فرسایش خاک و اثرات آن می‌باشند. این مدل‌ها، جز مدل‌های آماری جعبه خاکستری بوده و بر پایهٔ مشاهدات پی‌ریزی می‌شوند. یکی از این مدل‌های کاربردی، مدل SLEMSA است (Nabipay- Lashkarian et al, 2021). در حقیقت این مدل، مدل تعدیل یافته USLE با شرایط اگرواکولوژیکی جنوب آفریقا می‌باشد. مدل SLEMSA بر ارتباط داده‌های ساده و پایه با روابط محیطی همچون عامل توپوگرافی (طول دامنه و شیب)، عامل قابلیت فرسایش‌پذیری (فرسایش‌پذیری خاک و انرژی جنبشی باران)، عامل پوشش گیاهی (نقش حفاظتی) تاکید می‌کند. از آنجا که این مدل به دلیل استفاده از روش‌های محاسباتی غیرخطی و بهره‌گیری از اعداد کسرپذیر، قابلیت‌های دقیقی در برآورد میزان فرسایش خاک دارد، می‌توان از آن برای اصلاح نقاط ضعف سایر روش‌های ارزیابی فرسایش خاک استفاده نمود. در نهایت می‌توان بیان نمود که الول و استوکینگ مدلی را توانسته‌اند ارائه کنند که می‌تواند میزان فرسایش‌پذیری خاک را بر اساس تابعی از عامل توپوگرافی، عامل قابلیت فرسایش خاک و عامل پوشش گیاهی نشان دهد (Kanito and Feyissa, 2021):

$$Z = KXC \qquad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه Z میزان خاک فرسایش یافته بر حسب تن در هکتار در سال، X عامل توپوگرافی، K عامل فرسایش‌پذیری خاک، C عامل پوشش گیاهی است. شکل (۲)



شکل ۲: پارامترها و شکل مفهومی مدل SLEMSA

۳ـ۲ـ عامل توپوگرافی

فرسایش خاک در دراز مدت می‌تواند باعث کاهش عمق خاک، ظرفیت رطوبتی، هدر رفت مواد آلی و عناصر غذایی خاک و در نتیجه کاهش قدرت اکولوژیکی و بیولوژیکی محیط شود. لذا این موضوع تلاش کارشناسان و

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

سازمان‌های مرتبط با این امر را برای ارزیابی درست و مدیریت کارآمد فرآیند فرسایش خاک و اثرات ناشی از آن، ضروری ساخته است. بر اساس روند اجرایی مدل SLEMSA، این مدل تابعی از عوامل توپوگرافی، قابلیت فرسایش‌پذیری خاک و پوشش گیاهی است که به منظور محاسبهٔ عامل توپوگرافی، وضعیت دو مؤلفهٔ درصد شیب (S) و طول دامنه (L) مورد بررسی قرار می‌گیرد (Heydarnejad et al, 2021; Nainiva et al, 2023). در همین راستا برای تهیهٔ نقشه شیب، ابتدا مدل رقومی ارتفاع (DEM) حوضهٔ مورد نظر به کمک داده‌های SRTM Digital Elevation Data Version 4 سامانهٔ گوگل ارث انجین با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر تهیه شد، سپس لایهٔ شیب به کمک نرم افزار ArcGis و توسط نوار ابزار Spatial Analyst Tools بدست آمد.

طول دامنه مؤلفه دیگری است، که در بررسی عامل توپوگرافی این مدل نقش دارد. نحوهٔ محاسبهٔ طول دامنه نیز در رابطه ۲ نشان داده شده است(Mousavi, 2017):

$$L = 1.4\ (\frac{A}{22.13})^m$$ **رابطه ۲**

که در آن A مساحت حوزه بر حسب مترمربع و m از طریق مقدار شیب بدست آمده توسط لایهٔ رقومی بدست آمده از سامانه گوگل ارث انجین و جدول (۱) بدست آمد.

جدول ۱: مقدار m براساس مقدار شیب بر حسب درصد

شیب بر حسب درصد	S < ٪۱	٪۱ > S > ٪۳	٪۳ > S > ٪۵	S > ٪۵
مقدار m	۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۵

پس از تهیهٔ نقشه شیب و طول دامنه، با استفاده از رابطهٔ غیر خطی (۳)، نقشهٔ عامل توپوگرافی تهیه می‌گردد. این عامل بیانگر اثر عوامل ناهمواری و مورفولوژی زمین همچون شیب و طول دامنه در میزان فرسایش خاک است.

$$X = \frac{L^{0.5}(0.76+0.53S+0.076S^2)}{25.65}$$ **رابطه ۳**

که در رابطهٔ فوق: S شیب به درصد، L طول دامنه به متر و X عامل توپوگرافی است.

۳ـ۳ـ عامل قابلیت فرسایش‌پذیری خاک

قابلیت فرسایش‌پذیری، یکی از عوامل مؤثر در مدل SLEMSA است که ناشی از ترکیب دو مؤلفه انرژی جنبشی باران و فرسایش پذیری خاک می‌باشد. (Bhargav and Singh, 2022). به منظور محاسبهٔ میزان اثرگذاری بارش، از میانگین بارش ۱۰ ساله از سال ۲۰۱۳-۲۰۲۲ داده‌های بارش GPM: Global Precipitation Measurement (GPM) v6 سامانهٔ گوگل ارث انجین با تفکیک زمانی نیم ساعته و قدرت مکانی ۰/۱ درجه × ۰/۱ درجه تهیه شد. در ادامه با استفاده از رابطهٔ (۴) نقشهٔ پراکنش انرژی جنبشی باران محاسبه شد شکل(۴).

$$E = 17.37 * P$$ **رابطه ۴**

که در این رابطه P بارش و E انرژی جنبشی باران است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

مولفه فرسایش پذیری خاک (F) معمولاً برای مناطق بدون پوشش گیاهی ارزیابی می‌گردد و مقدار آن برای هر واحد مکانی با مقدار خاک از دست رفته در اثر فرسایش باران بیان می‌شود. در همین راستا ابتدا نقشهٔ سازندهای زمین‌شناسی منطقه از پایگاه داده هماهنگ خاک جهان (HWSD)، برای سال ۲۰۲۲ تهیه شد و سپس بر طبق نوع و ردهٔ خاک موجود در محدودهٔ مورد مطالعه، نقشهٔ فرسایش‌پذیری خاک (شکل ۵) تدوین می‌گردد. بدین منظور از جدول (۲) و (۳) برای ارزش‌دهی نوع خاک و سازندهای زمین‌شناسی حوزهٔ مورد نظر استفاده می‌گردد (Breetzke et al, 2013; Gandoamkar et al, 2008; Igwe, 1994).

جدول ۲: ارزش‌دهی نوع خاک (Elwell and Stocking, 1982)

بافت خاک	نوع خاک	رتبه
سبک	ماسه، لومی شنی	۴
متوسط	لومی ماسه رسی، ماسه رسی	۵
سنگین	خاک رس، رس سنگین	۶

جدول ۳: ارزش‌دهی سازندهای زمین شناسی (Jafari and Ghayoumian, 2005; Nainiva et al, 2023)

مقاومت	نوع خاک	رتبه
بسیار مقاوم	رسوبات کواترنری	۱
مقاوم	ماسه سنگ	۲
متوسط تا مقاوم	واریزه سنگی	۳
متوسط	شیل	۴
متوسط تا ضعیف	کنگولومرا و ماسه آهکی	۵
ضعیف	دولومیت	۶
بسیار ضعیف	آهک	۷

در نهایت پس از محاسبهٔ مقادیر دو مؤلفهٔ (E) و (F)، نقشهٔ عامل قابلیت فرسایش برای منطقهٔ مورد مطالعه با استفاده از رابطه (۵) تهیه گردید (Heydari et al, 2022; Entezari et al, 2013).

$$K = exp\{(0.4661 + 0.7663\,F) * (LnE + 2.884 - 8.1209F)\}$$ **رابطه ۵**

که در رابطه F فرسایش‌پذیری خاک، E انرژی جنبشی باران و K عامل فرسایش‌پذیری خاک است.

۳-۴- عامل پوشش گیاهی

عامل دیگری که بر مدل SLEMSA می‌تواند اثرگذار باشد، پوشش گیاهی است، هرچه میزان این عامل افزایش یابد، میزان فرسایش نیز افزایش یابد یا برعکس، هرچه میزان C کمتر گردد، مقدار فرسایش نیز کمتر می‌شود. بدین منظور برای محاسبه این عامل که به صورت ضریبی کمتر از یک بیان می‌گردد، لازم است که ابتدا مؤلفهٔ انرژی آزاد

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

شده (i) با استفاده از جدول (۴) بدست آید، در نهایت با قرار دادن مقدار i در روابط (۶) و (۷)، مقدار عامل پوشش گیاهی محاسبه شود (Kiani et al, 2018, Entezari and Gholam Heydari, 2014, Stocking et al, 1988).

جدول ۴: نحوه محاسبهٔ عامل پوشش گیاهی (Stocking et al, 1988)

وضعیت مرتع از نظر چرای دام	تعداد روزهای چرام دام در هکتار	مقادیر i به درصد	
		بارندگی تا ۶۰۰ میلی‌متر	بارندگی تا ۸۰۰ میلی‌متر
ضعیف	۰ تا ۱۰۰	۷۰	۹۰
متوسط	۱۰۰ تا ۳۰۰	۴۰	۶۰
قوی	بیشتر از ۳۰۰	۲۰	۳۰

$$C1 = e^{(-0.06\times i)}$$ **رابطه ۶**

رابطه (۶) زمانی که $0 \geq i \geq 50$ برای اراضی زراعی و علفزارهای طبیعی و $50 \geq i \geq 100$ برای مراتع متراکم

$$C2 = \frac{(2.3-0.01\times i)}{30}$$ **رابطه ۷**

رابطه (۷) زمانی که $50 \geq i \geq 100$ برای اراضی زراعی و علفزارهای طبیعی

۴- یافته‌ها

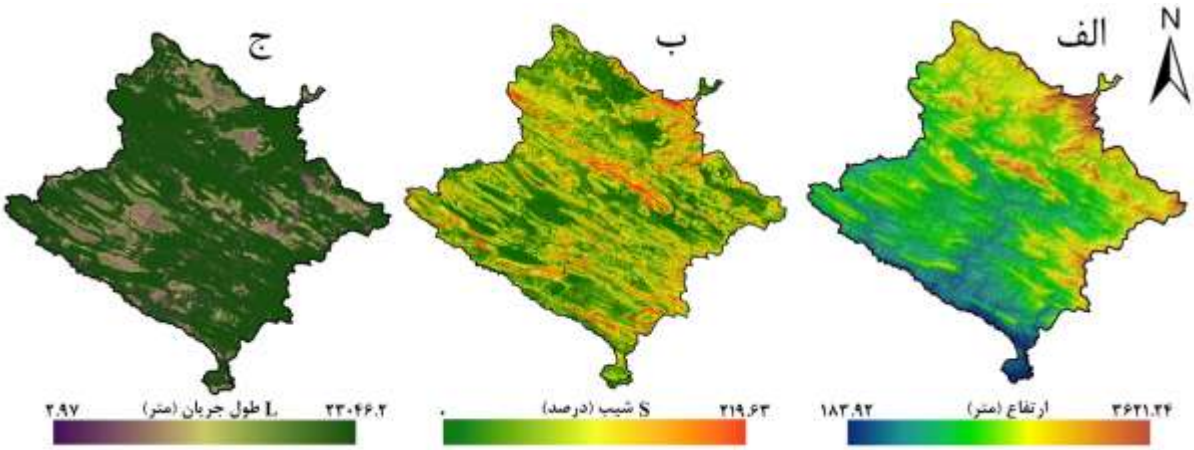
۴-۱- نقشه عامل توپوگرافی

تهیهٔ نقشه این عامل به کمک نقشه‌های شیب و طول دامنه صورت گرفته است. نقشه شیب حوزه آبخیز کرخه به کمک مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر (شکل ۳، الف) تهیه شد، که اطلاعات بدست آمده از نقشه ارتفاعی و شیب حوزه نشان داد که بخش عمده منطقه کوهستانی و مرتفع است. در همین راستا بیشترین ارتفاعات منطقهٔ مورد مطالعه با حدود حداکثر ارتفاعی ۳۶۲۱ متر در محدودهٔ شمال شرقی و کمترین ارتفاعات با حدود ۱۸۴ متر در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه قرار دارند. همچنین حداکثر شیب منطقهٔ مورد مطالعه نیز در حدود ۲۱۹ درصد (۷۵ درجه) می‌باشد.

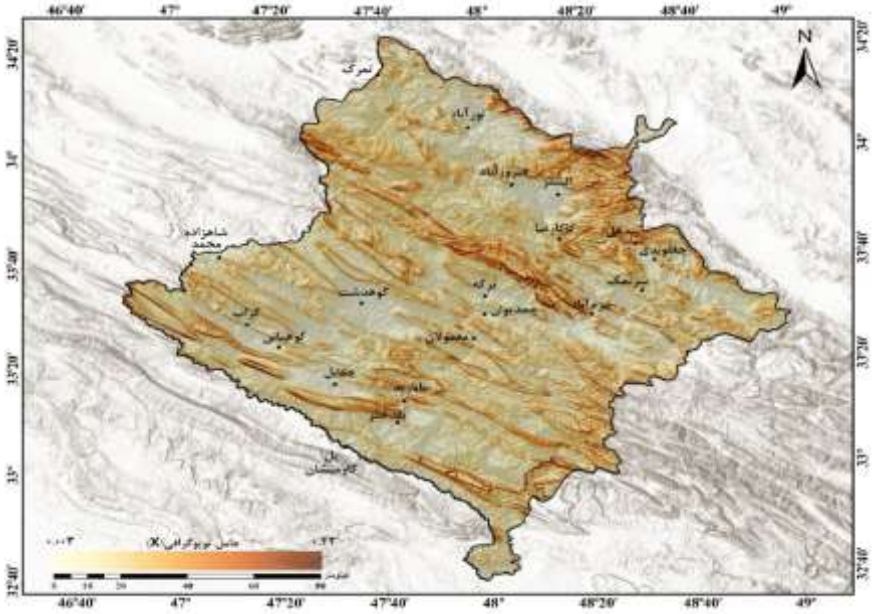
یافته‌های حاصل از محاسبهٔ طول دامنه که به کمک رابطهٔ (۲) و جدول (۱) بدست آمده، نشان داد که بیشترین مقادیر طول دامنه متناظر با پراکنش حداکثر ارتفاع، منطبق بر نوار کوهستانی مرتفع می‌باشد که می‌تواند در نتیجهٔ وجود شیب زیاد در این مناطق باشد. نقشه شیب و طول دامنه زیرحوزه آبخیز کرخه در (شکل۳ ب و ج) نشان داده شده است. در نهایت نقشه عامل توپوگرافی پس از تهیه نقشه شیب و طول دامنه و با توجه به رابطه (۳) تهیه شد. شکل (۴) عامل توپوگرافی زیرحوزه کرخه را نشان داد، که که بیشترین مقادیر این عامل را می‌توان در مناطق کوهستانی و مرتفع منطقه مورد مطالعه مشاهده نمود.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]



شکل ۳: الف- نقشه ارتفاعی حوزه آبخیز کرخه، ب- نقشه شیب، ج- نقشه طول دامنه



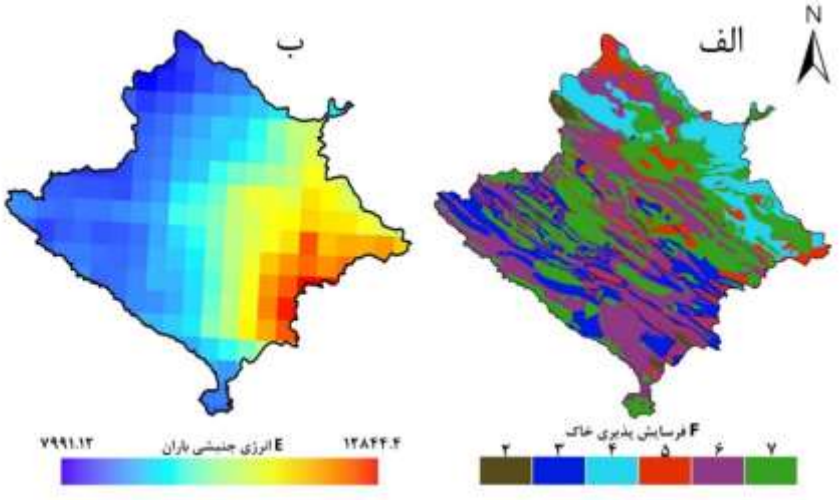
شکل ۴: نقشه عامل توپوگرافی (X)

۴-۲- نقشه پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری خاک

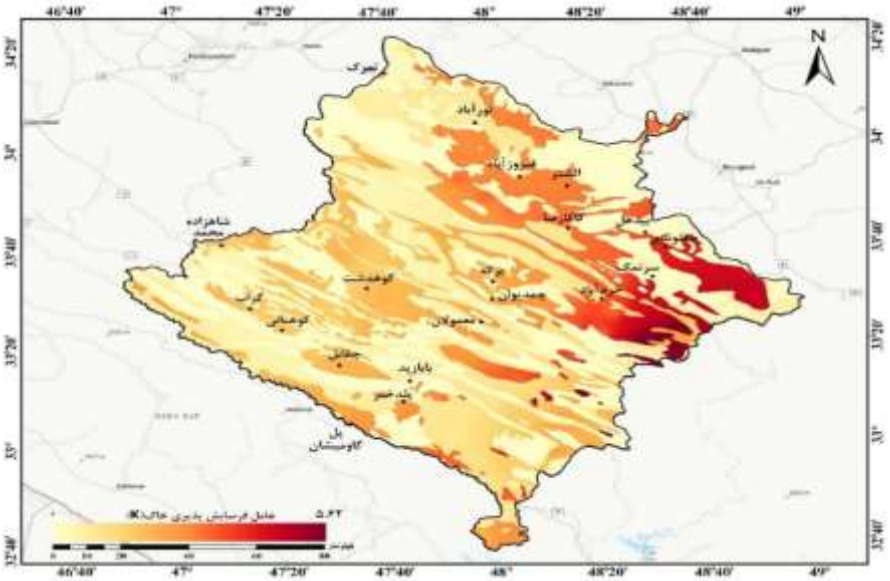
تهیهٔ نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک براساس قابلیت فرسایش‌پذیری خاک و انرژی جنبشی باران می‌باشد. نقشه قابلیت فرسایش‌پذیری خاک منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه خاک‌شناسی بدست آمده از پایگاه جهانی (HWSD) و ارزشگذاری نوع خاک و واحدهای سنگی تهیه شد (شکل ۵، الف). در ادامه نیز به کمک نقشه میانگین بارش بدست آمده از سامانهٔ گوگل ارث انجین و رابطه (۴)، نقشه انرژی جنبشی باران بدست آمد (شکل ۵، ب). در همین راستا بیشینهٔ میانگین بارندگی در منطقهٔ مورد مطالعه حدود ۷۴۰ میلیمتر که در محدودهٔ نیمهٔ شرقی از شمال شرقی تا جنوب شرقی محدودهٔ مورد مطالعه پراکنش دارد و به تبع آن نیز بیشنهٔ انرژی جنبشی باران در این مناطق مشاهده می‌شود. نهایتاً نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک پس از تهیه نقشه قابلیت فرسایش‌پذیری خاک و انرژی جنبشی باران و با توجه به رابطه (۵) تهیه شد که شکل (۶) عامل فرسایش‌پذیری خاک حوزه آبخیز کرخه را نشان

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

می‌دهد. نتایج حاصل از نقشهٔ عامل فرسایش‌پذیری خاک این منطقه نشان داد که عمدتاً در مناطقی که سازندها سست و ناپایدار بوده و تحت تأثیر بارندگی بیشتری قرار دارند، فرسایش بیشتر است.



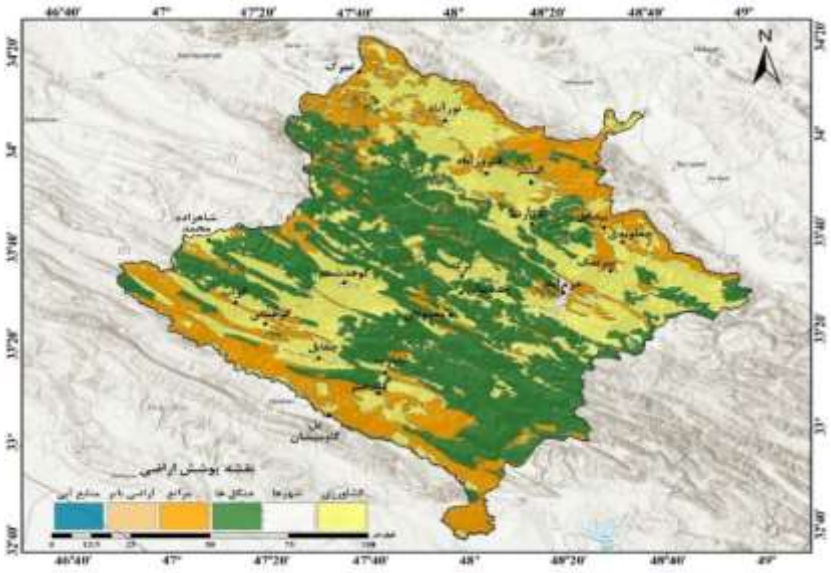
شکل ۵: الف- نقشه فرسایش‌پذیری خاک (F)، ب- نقشه انرژی جنبشی باران (E)



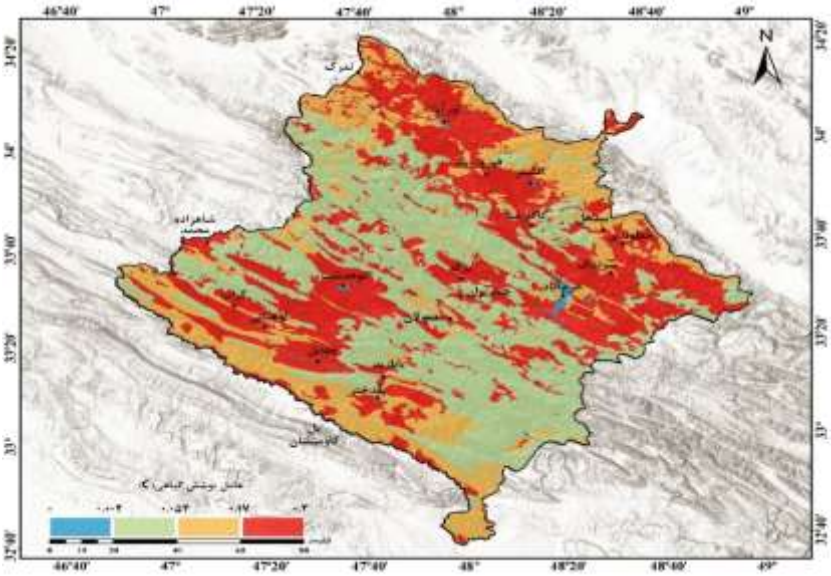
شکل ۶: نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)

پارامتر پوشش گیاهی نیز به کمک مقدار انرژی آزاد شده (i) و نقشه پوشش اراضی تهیه شد. به همین جهت برای محاسبهٔ این عامل ابتدا در این مطالعه، با استفاده از داده‌های کاربری اراضی جهانی ESA-CCI با قدرت تفکیک مکانی ۳۰۰ متری، نقشه پوشش اراضی بدست آمد (شکل ۷). سپس به کمک نقشهٔ کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی موجود در حوزه و طبق جدول (۴) و رابطه‌های (۶) و (۷)، مقادیر پارامتر C بدست آمد، بدین صورت که به مناطق زراعی ارزش ۰/۳، مرتعی ارزش ۰/۱۷، جنگلی ارزش ۰/۰۵۴ و مناطق مسکونی و بایر ارزش ۰/۰۰۴ داده شد و در نهایت نقشه عامل (C) تهیه شد. از آنجا که میزان C با فرسایش رابطه مستقیم دارد، بر طبق نقشه بدست آمده عامل پوشش گیاهی (شکل ۸)، مشاهده می‌شود که بیشترین میزان خاک از دست رفته در مناطقی است که عامل پوشش گیاهی دارای مقدار بیشتری است (Entezari and Gholam Heydari, 2014).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]



شکل ۷: نقشه پوشش اراضی



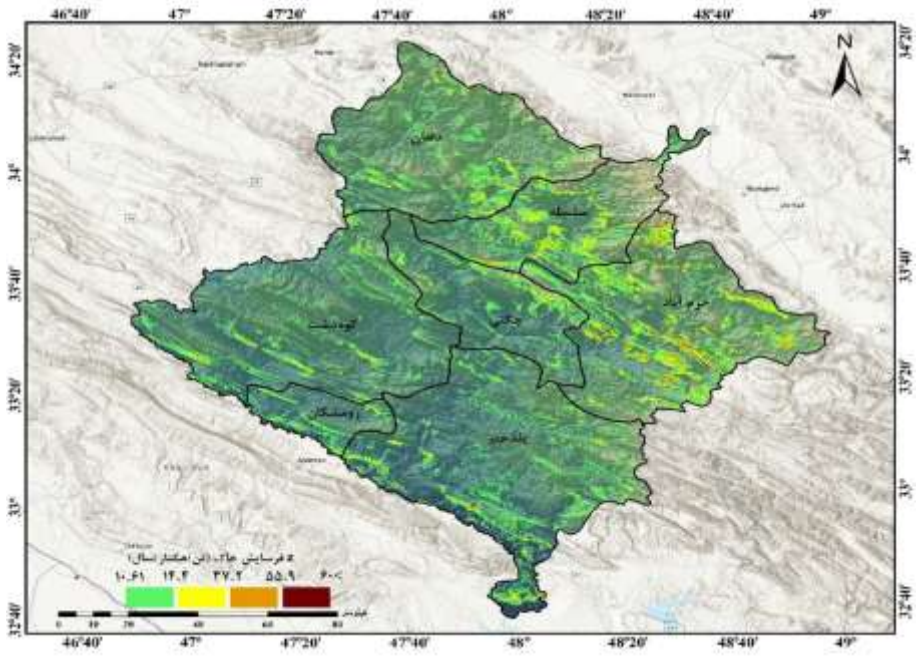
شکل ۸: نقشه عامل پوشش گیاهی (C)

۴-۳- نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش‌پذیری خاک

در نهایت برآیند حاصل از عامل توپوگرافی، قابلیت فرسایش‌پذیری و پوشش گیاهی، مقدار خاک فرسایش یافته (Z) را به تُن در هکتار در سال نشان می‌دهد. نقشهٔ پهنه‌بندی‌خطر فرسایش‌خاک به کمک مدل SLEMSA در حوزهٔ آبخیز کرخه در شکل ۹ نشان داده شده است. همچنین نتایج حاصل از مساحت‌سنجی طبقات فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه در جدول (۵) ارائه شده است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]



شکل ۹: نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش‌پذیری خاک

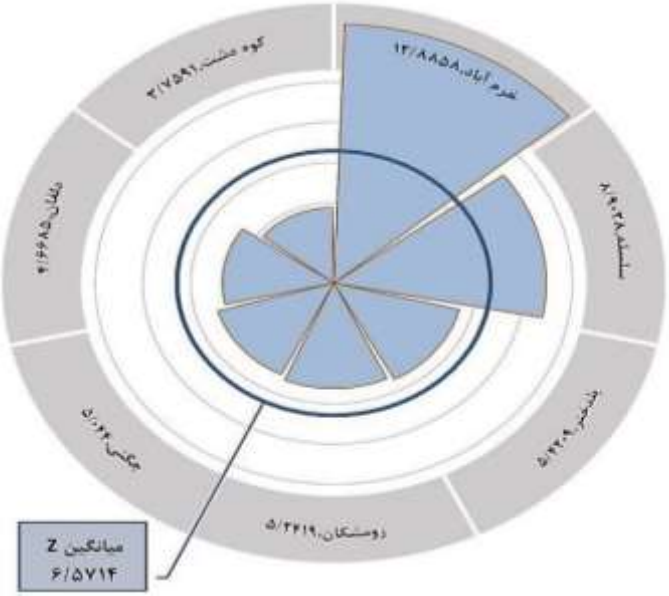
جدول ۵: مساحت و درصد طبقات مختلف شدت فرسایش خاک

خطر فرسایش	میزان فرسایش (تن/ هکتار/ سال)	مساحت به هکتار	درصد
خیلی کم	۰ - ۱۰/۶۱	۹۷۳۸۴۱/۵۲	۵۹/۳۰
کم	۱۰/۶۱ – ۱۴/۷۳	۴۷۶۱۵۷/۸۹	۲۹
متوسط	۱۴/۷۳ – ۳۷/۸۸	۱۳۶۵۹۸/۳۱	۸/۳۱
زیاد	۳۷/۸۸ – ۵۵/۷۸	۴۸۱۶۴/۶۶	۲/۹۴
خیلی زیاد	۵۵/۷۸ – ۶۵/۷۶	۷۴۰۹/۸۹	۰/۴۵

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد مناطق حاشیه‌ای شمال شرقی منطقه (شکل ۹) که در دامنهٔ ارتفاعی ۱۸۸۰ تا ۳۶۲۲ متری قرار دارند. بطوریکه به دلیل دارا بودن ارتفاع و شیب زیاد، امکان استقرار پوشش گیاهی مناسب را نداشته، که این خود سبب افزایش سرعت رواناب سطحی در این مناطق می‌گردد و از سوی دیگر به دلیل قرارگیری این مناطق بر روی سازندهای حساس، شدت فرسایش خاک تشدید می‌شود. همچنین نتایج جدول ۵ نشان داد که ۱۱/۷ درصد از مساحت منطقه در کلاس با درجه خطر فرسایش‌پذیری زیاد قرار داشته که میزان فرسایش این مناطق در حدود ۱۴/۷۳ تا ۶۵/۷۶ تن در هکتار در سال را دارند که نیازبه برنامه‌ریزی، مدیریت و انجام اقدامات کنترل فرسایش و حفاظت خاک را دارند. همانطور که در نقشه عامل پوشش گیاهی مشخص است، شهرستان‌های سلسله و خرم‌آباد در شمال شرقی و شرق منطقه مورد مطالعه دارای پوشش گیاهی تقریبا ضعیف‌تری نسبت به سایر شهرستان‌های حوزهٔ آبخیز کرخه است (Akbari et al, 2023). که این عامل همراه با سایر فاکتورها باعث افزایش فرسایش در این مناطق نسبت به سایر مناطق حوضه کرخه می‌شود.در ادامه می‌توان گفت که شهرستان‌های خرم‌آباد

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

با حدود ۱۲/۹، سلسله با حدود ۸/۹ و پلدختر با حدود ۵/۴ تن در هکتار در سال بیشترین مقادیر فرسایش را در میان شهرستان‌های این حوزهٔ آبخیز داشته‌اند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: نمودار میانگین مقادیر فرسایش‌پذیری خاک در شهرستان‌های حوزه آبخیز کرخه در استان لرستان

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

در حال حاضر مسئله فرسایش خاک، یکی از شاخص‌های اصلی در زمینهٔ مدیریت حوزه‌های آبخیز محسوب می‌گردد که در صورت نادیده گرفتن، می‌تواند اثرات به شدت مخربی را در پی داشته باشد. در همین راستا آگاهی از میزان فرسایش و پهنه‌بندی مناطق فرسایش یافته، نقش بسزایی در امر حفاظت خاک و مدیریت حوزه‌های آبخیز دارد. به همین دلیل عدم شناخت کافی از مدل‌های برآورد میزان فرسایش‌پذیری خاک یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که مسئولان در ایران، به ویژه در استان لرستان با آن رو به رو هستند و مدل SLEMSA را می‌توان یکی از این مدل‌ها دانست. به همین جهت هدف از این تحقیق، برآورد میزان فرسایش خاک در حوزهٔ آبخیز کرخه استان لرستان با استفاده از مدل SLEMSA بوده است. نتایج این پژوهش نشان داد که حدود ۹۶/۶۱ درصد دارای نرخ فرسایش‌پذیری کم تا متوسط است که با نرخ فرسایش‌پذیری خاک در ایران که حدود ۲۴ تن بر هکتار بر سال است همخوانی دارد (Mohammadi et al., 2018). در این بین کمترین مقادیر فرسایش در نواحی میانی و خروجی حوزهٔ آبخیز است که دارای حداقل ارتفاع بوده و از نظر پوشش گیاهی و میزان حساسیت سازندها به فرسایش، نسبت به سایر مناطق در وضعیت مطلوبتری قرار دارند و همچنین میزان بارش در این مناطق چیزی در حدود ۴۶۰ تا ۶۰۰ میلی متر در سال بوده که این عوامل سبب می‌شود تا تولید رواناب در این مناطق کمتر گشته و میزان فرسایش‌پذیری نیز به تبعه آن کمتر شود که با توجه به پژوهش Heydarnejad و همکاران (۲۰۲۰) که به کمک مدل SLEMSA در استان لرستان صورت گرفته است، می‌توان به نتایج بدست آمده در این پژوهش اطمینان نمود. در مقابل بیشترین میزان فرسایش در زیر حوزه‌های آبخیز دوآب و کاکارضا که به دلیل پوشش گیاهی نامطلوب، وجود بارش‌هایی در محدودهٔ بیش از ۶۰۰ میلی‌متر در سال و سازندهای با مقاومت کم، دیده می‌شود این تحقیق با یافته‌های Rabaninejad

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

و همکاران (2017) که به برآورد پتانسیل مناطق مستعد فرسایش خاک با استفاده از مدل Dempster–Shafer در زیر حوضه کاکارضا استان لرستان پرداخته است، مطابقت دارد.

مقایسه نتایج بدست آمده از این مدل با یافته‌های Akbari و همکاران (2023)، بیانگر اعتبار مدل SLEMSA است زیرا که نتایج مطالعات آنان بر روی مدل RUSLE-GloSEM در استان لرستان گویای اینست که بیشتر نواحی حوزه آبخیز کرخه دارای نرخ فرسایشی در حدود ۴/۵ تا ۱۰ تن در هکتار در سال می‌باشد. همچنین نتایج آنان نشان داد که این مدل به دلیل تلفیق داده‌های اساسی و ساده و به کارگیری روابط مهم محیطی موثر در فرسایش خاک، پتانسیل مطلوبی برای تخمین میزان فرسایش‌پذیری خاک در حوضه کرخه استان لرستان دارد. در ادامه نیز Arabkhedri (2005) با بررسی ۱۵ ایستگاه رسوب‌سنجی در حوزهٔ آبخیز کرخه میانگین فرسایش را در این حوزه با نرخ تحویل رسوب ۳۰ درصدی، بالغ بر ۶ تن در هکتار در سال گزارش نموده است. که برآورد پژوهش حاضر با این مطالعه همخوانی دارد. همچنین Bayat و همکاران (2021) شدت فرسایش خاک را در منطقه مورد مطالعه با مدل تجربی EPM در حدود ۷/۲۷ تن در هکتار در سال برآورد نمودند که نتایج حاضر همراستا با مطالعه یاد شده است.بنابراین، عدم توجه به پتانسیل فرسایش خاک و مدیریت نادرست آن در حوزهٔ آبخیز می‌تواند به معضلی جبران ناپذیر تبدیل شود و برای این منظور پیشنهاد می‌گردد روش استفاده از زمین مطابق با اصول حفاظت و مدیریت خاک تدوین شود، بدین منظور باید در مناطقی که ارتفاع و شیب زیاد، سازندها حساس و عمق خاک کمتر است، پوشش گیاهی به صورت احداث جنگل تقویت گردد، اما اراضی که ارتفاع و شیب کمتری دارند و عمق خاک هم نیز کم است، باید به احداث مراتع اختصاص یابند و در مقابل مناطقی با شیب کمتر، عمق خاک زیاد که دسترسی کافی به منابع آبی دارند می‌توانند مورد استفاده کشاورزی قرار گیرند.

منابع

1. Ajon, A. T.; Obi, M. E.; & P. Agber, 2018. Prediction of Soil Loss using SLEMSA and USLE Erosion Models for an Agricultural Field in Makurdi, Benue State, Nigeria. *International Journal of Innovative Agriculture & Biology Research*, 6 (3), 21-30.
2. Akbari, M.; Ownegh, M.; Asgari, H.; Sadoddin, A.; & H. Khosravi, 2016. Desertification Risk Assessment and Management Program. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(4), 365-380.
3. Akbari, M.; Neamatollahi, E.; Memarian, H.; & M. Alizadeh Noughani, 2023. Assessing impacts of floods disaster on soil erosion risk based on the RUSLE-GloSEM approach in western Iran. *Natural Hazards*, 117, 1689-1710.
4. Akbari, M.; Neamatollahi, E.; Alizadeh Noughani, M.; & H. Memarian, 2022. Spatial distribution of soil erosion risk and its economic impacts using an integrated CORINE-GIS approach. *Environmental Earth Sciences*, 81(10), 1-17.
5. Arabkhedri, M. 2005. A Study on the Suspended Sediment Yield in River Basins of Iran. Iran-Water Resources Research, 1(2), 51-60. (In Persian).
6. Asghari, Seras S.; Belvasi, M.; Zinali, B.; Belvasi, I.; & A. Davoudi, 2014. Investigation of soil erosion risk in Doab basin of Lorestan by network analysis and RS and GIS techniques. *Environmental Erosion Research Journal*, 4 (2):72-89. (In Persian).
7. Bagheri, S.; Ansari, M.; & A. Norouzi, 2022. Prioritization of Erosion Prone Sub-Watersheds using MCDM Methods in Roudzard Watershed, Khuzestan Province. *Journal of Water and Soil Science*, 26 (3):35-54. (In Persian).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

8. Bayat, R.; Gerami, Z.; Arabkhedri, M.; Peyrowan, H. R.; & R. Kazemi, 2021. Investigating the Status of Some Indicators of Assessment of Watersheds and Prioritizing Sub-Catchments in Terms of Erosion Reduction (Case Study of Karkheh Watershed*). Journal of Watershed Management Research. 12*(23), 108-118. (In Persian).
9. Behrahi, K; Sayyad, G. A.; Landi, A.; & H. Payrowan, 2018. Investigating the Effects of Land Use, Land Slope and Soil Properties on Sediment Yield in the Sub-Catchment of Karkheh Watershed Basin in Lorestan Using an Artificial Rainfall Simulator. *Environmental Erosion Research Journal*, 8 (2):1-22. (In Persian).
10. Bhargav, K. S.; & J. K. Singh, 2022. A Modified SLEMSA Model to Estimate Soil Loss from Naurar Subcatchment of Ramganga River Basin.
11. Breetzke, G. D.; Koomen, E.; & W. R. S. Critchley, 2013. GIS-assisted modelling of soil erosion in a South African catchment: Evaluating the USLE and SLEMSA approach. Water resources planning, *Development and Management*, 53.
12. Dawit, K.; & F. Samuel, 2021. Comparison and Applicability of Selected Soil Erosion Estimation Models. *Hydrology*, 9(4), 79-87.
13. Elwell, H. A.; & M. A. Stocking, 1982. Developing a simple yet practical method of soil-loss estimation. Tropical agriculture.
14. Entezari Najafabadi M.; & M. Gholami, 2012. Evaluation of soil erosion by TOPSIS and SLEMSA method (Case study: Romeshgan, Iran). *Environmental Erosion Research Journal*, 2(3), 85-96. (In Persian).
15. Entezari, M.; Sharifi, R.; Eizadi, Z.; & S. Shahzeydi, 2013. Potential Erosion Assessment of Dastkan Region Using SLEMSA Model. *Geography and Environmental Planning*, 23(4), 109-120. (In Persian).
16. Entezari, M.; & H. Gholam Heydari, 2014. Comparing the two models SLEMSA and Corine in the assessment of soil erosion. *The Journal of Spatial Planning*, 18 (3):1-28. (In Persian).
17. Esmali Ouri, A.; & F. Kateb, 2020. Study of Soil Erosion Potential Using Landscape Measurements (Case Study: Sharif Beiglou Watershed, Ardabil Province). *Hydrogeomorphology*, 7(24), 145-164. (In Persian).
18. Gandoamkar, A.; Sheikhi, N.; & S. Ahmadi, 2008. Soil erosion in Musa Abad catchment area of Tirana using SLEMSA model. Human Settlements Planning Studies (Geographic Perspectives). *Journal of Studies of Human Settlements Planning*, 3(6), 95-108. (In Persian).
19. Ghorbaninejad, S.; Zeinivand, H.; Haghizadeh, A.; & N. Tahmasebi, 2018. Performance evaluation of Dempster-Shafer model for erosion potential mapping in Kakareza watershed, Lorestan province. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9(3), 100-114. (In Persian).
20. Hasanzadeh, N., Gholami, L.; Khaledi, Darvishan A.; & H. Yonesi, 2021. Effect of Various Rates of Montmorillonite Nanoclay on Changing Runoff and Soil Loss. *Journal of Water and Soil Science*, 25 (1) :219-230. (In Persian).
21. Heydari, M.; Zahmatkesh Maromi, H.; & A. Karam, 2022. Soil erosion hazard Zonation using SLEMSA model in the Ziarat catchment. *Researches in Earth Sciences*, 12(4), 50-67. (In Persian).
22. Heydarnejad, S.; Ranjbar Fordoei, A.; Mousavi, S.; & R. Mirzaei, 2020. Estimation of soil erosion using SLEMSA model and OWA approach in Lorestan Province (Iran*). Environmental Resources Research*, 8(1), 11-24.
23. C. A. Igwe, 1994. The applicability of SLEMSA and USLE erosion models on soils of southeastern Nigeria. Unpub. Ph. D. Thesis, University of Nigeria, Nsukka, Nigeria.
24. Karami, F.; Mokhtari, D.; &F. Ahmadi, 2023. The role of landforms and lithology in the rate of soil erosion in Zonuzchay Catchment. *Hydrogeomorphology*. (In Persian).
25. karimi, S.; Rajabi, M.; & M. H. Rezaei Moghaddam, 2019. Qualitative Assessment and Risk Zoning of Soil Erosion with a Risk Index Approach in Alvand Karstic Basin, Kermanshah Province. *Geography and Environmental Sustainability*, 9(3), 1-18. (In Persian).
26. Kazeminia, A.; & B. Iran Nejadparizi, 2023. Locating soil erosion using the hierarchical analysis method in the geographic information system (GIS) environment. The 5th National Conference on Sustainable Development in Agricultural, *Natural Resources and Environment of Iran papers*, Natural Resources and Environment of Iran, Tehran. (In Persian).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

27. Khaleghi, S.; nosrati, K.; & R. Abbaspour, 2020. Estimation of Soil Erosion and Sediment Transport by SWAT model (Case Study: Upstream of Badavar Basin, Lorestan). *Quantitative Geomorphological Research*, 9(3), 186-202. (In Persian).
28. Kiani, T.; Safakish, F.; & M. Lotfi, 2018. Potential Erosion Assessment of Mahidasht Basin using SLEMSA Model. *Geography and Environmental Planning*, 29(2), 55-68. (In Persian).
29. E. Kori, 2023. Analysis of soil erodability and rainfall erosivity on the Soutpansberg Range, Limpopo Province, South Africa (Doctoral dissertation).
30. Ma, X.; Zhao, C.; & J. Zhu,2021. Aggravated risk of soil erosion with global warming–A global meta-analysis. Catena, 200, 105129.
31. Madadi, A.; & E. Piroozi, 2016. Estimation of Soil erosion and sediement yield in Lay Chay basin. *The Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 16 (42):177-195. (In Persian).
32. Mallam, I.; Haruna, M. L.; Abdulhamed, A. I.; Usman, M. A.; & M. I. Azare, 2016. Soil Erosion Hazard Assessment Using SLEMSA Model in Out Sketch Parts of Kano Metropolis. *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences (DUJOPAS)*, 2(2).
33. Memarian, H.; & M. Akbari, 2021. Prediction of combined effect of climate and land use changes on soil erosion in Iran using GloSEM data. *Iranian journal of Ecohydrology*, *8*(2), 513-534. (In Persian).
34. Mezbani, M.; Rezaei Moghadam, M.; & A. Hejazi, 2021. Assessment of soil erosion risk in land uses using Revised Universal Soil Loss Equation (Case Study: Sikan Basin). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(1), 41-63. (In Persian).
35. M. S. Moesi, 2021. Integrating GIS and remote sensing in estimation of soil loss using the SLEMSA and RUSLE models: A case study of Taung Watershed, Ramotswa Agricultural District (Doctoral dissertation, Botswana University of Agriculture and Natural Resources).
36. Moesi, M. S.; Kayombo, B.; Tsheko, R.; & E. Setlhabi, 2023. Assessment of soil erosion by SLEMSA model using remote sensing and GIS: A case study of Taung Watershed of Ramotswa Agricultural District in Botswana. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 15(1), 008-018.
37. Mohammadi, S.; Karimzadeh, H.; & M. Alizadeh, 2018. Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model, *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 5(2), 551-569. (In Persian).
38. S. H. Mousavi, 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).
39. Nabipay- Lashkarian, S.; Arabkhedri, M.; & S. Shadfar, 2021. An Assessment of the Empirical Erosion Potential Model in 63 Selected Watersheds in Iran. *Watershed Management Research Journal*, 34(4), 34-52. (In Persian).
40. Nainiva, S.P.; Parichereh, M.; & M. Mohammadrezaei, 2023, Investigation and Zoning of Soil Erosion Rate in Chehlgazi Sub-Watershed of Kurdistan Province, *Journal of Geography and Environmental Studies*, 12 (47), 202-216. (In Persian).
41. Panagos, P.; & A. Katsoyiannis, 2019. Soil erosion modelling: The new challenges as the result of policy developments in Europe. *Environmental Research*, 172, 470-474.
42. Panagos, P.; Ballabio, C.; Poesen, J.; Lugato, E.; Scarpa, S.; Montanarella, L.; & P. Borrelli, 2020. A soil erosion indicator for supporting agricultural, environmental and climate policies in the European Union. *Remote Sensing*, 12(9), 1365.
43. M. Parvin, 2022. Identification of Prone Areas of Soil Erosion Using Modified Morphometric Prioritization and Sediment Production Rate (Case Study of Kamyaran Basin). *The Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 22 (64):478-461. (In Persian).
44. Pazhuhesh, M.; Kaviani, A.; Givi, J.; Davoudian, A. R.; & A. Honarbakhsh, 2017. Estimating of the amount of soil loss using universal soil loss equation In the Jonghan watershed. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(3), 299-306. (In Persian).
45. Rezaei arefi, M.; Zangane Asadi, M. A.; behniyafar, A.; & M. Javanbakht, 2020. Calculating the rate of erosion of karst using Empirical and laboratory techniques in Kalat watershed, northeast of Iran. *Quantitative Geomorphological Research*, *8*(3), 64-79. (In Persian).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]

46. Roostaei, S.; shirzadi, H.; & S. A. Hejazi, 2023. Estimation of erosion rate and estimation of sedimentation by comparing experimental models (Study area of Zimkan river basin, Dalaho city, Kermanshah province). *Quantitative Geomorphological Research*. (In Persian).
47. Rostami, N., & Rabbani, M. 2023. Zoning of soil erodibility and determination of affecting factors (Case study: Golan watershed, Ilam). Integrated Watershed Management, 3(3), 1-15. (In Persian).
48. Sahour, H.; Gholami, V.; Vazifedan, M.; & S. Saeedi, 2021. Machine learning applications for water-induced soil erosion modeling and mapping. *Soil and Tillage Research*.
49. Salari, N.; Ranjbarmanesh, N.; & H. Nazaripour, 2012. Investigating the amount of erosion risk in the watershed, Search using SLEMSA model. *The first conference, National Electronic Agriculture and Sustainable Natural Resources*, Tehran, (In Persian).
50. Shahiri Tabarestani, E.; & H. Afzalimehr, 2024. Estimation of annual erosion and sedimentation in Babolroud catchment using EPM and Fournier methods. *The Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 23 (71), 303-318. (In Persian).
51. Shariat Jafari, M.; & J. Ghayoumian, 2005. classification of inherent susceptibility of rock and soil units to erosion (central Iran - Daranjir and Saghand deserts, *4th Iranian Conference of Engineering Geology and the Environment*, Tehran. (In Persian).
52. Shirazi, M.; Khademalrasoul, A.; & S. M. Safieddin Ardebili, 2020. Evaluation of Different Supervised Learning Smart Methods and Response Surface Method to Optimize Factors Affecting Erosion (Case Study: Emamzadeh Watershed of Baghmalek). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(7), 1653-1666. (In Persian).
53. L. Sitayelo, 2022. A Geospatial assessment of soil erosion risk and soil fertility changes due to ISPAAD programme: A case study of Dinogeng Agricultural Extension Area, Kgatleng District (Doctoral dissertation, Botswana University of Agriculture & Natural Resources).
54. Sitayelo, L.; Kayombo, B.; Patrick, C.; & E. Kgosiesele, 2022. Integrating GIS and remote sensing in mapping soil erosion risk using SLEMSA model: A case study of Dinogeng Agricultural Extension Area of Kgatleng District, Botswana.
55. Soheili, E.; & Y. Niazi, 2022. Soil erosion changes based on RS&GIS techniques (Case study: Ilam Dam watershed), The 17th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran, focusing on watershed management and sustainable food security, Jiroft. (In Persian).
56. Stocking, M.; Chakela, Q.; & H. Elwell, 1988. An improved methodology for erosion hazard mapping Part I: The technique. Geografiska Annaler: Series A, *Physical Geography*, 70(3), 169-180.
57. Taghavi, S.; & M. Hashemi, 2013. Estimation of sedimentation and erosion with SLEMSA model using GIS method in Hoyer watershed, the first national conference on sustainable agriculture and natural resources, The first national conference on agriculture and sustainable natural resources, Tehran. (In Persian)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.10]