


GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 12 (47), Autumn 2023 https://ges.iaun.iau.ir ISSN: 2008-7845  20.1001.1.20087845.1402.12.47.12.8
-----	--

Research Article

Investigation and Zoning of Soil Erosion Rate in Chehlgazi Sub-Watershed of Kurdistan Province

Nainiva, Seyed Pedram (Corresponding Author)

PhD student of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

E-Mail: pedram.nainava@gmail.com

Parichereh, Maedeh

PhD student of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

Mohammadrezaei, Maryam

PhD student of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Abstract

Soil erosion is considered as a natural and human hazard in both developing and developed countries. In other words, this problem can be caused by unprincipled development and factors affecting it, such as increasing population, deforestation, and lack of attention to soil capacity, as well as caused by factors such as overgrazing, unprincipled and traditional cultivation, destruction vegetation etc.; For this reason, it is referred to as an international problem in many societies. This research has been conducted in order to evaluating hazard, zoning of areas prone to water erosion and determining the amount of soil loss in the Chehlgezi sub-basin of Gheshlagh (Vahdat) Dam, Sanandaj with the SLEMSA model and Geographic Information System and Remote Sensing. The results of hazard assessment, zoning of areas susceptible to water erosion and determination of the amount of soil loss showed that 93.15% of the sub-basin has erosion volume of 0 to 10, 2.46% of the sub-basin has an erosion volume of 10 to 20, 3.17% has an erosion volume of 20 to 50, and 1.20% has an erosion volume of 50 to 537 tons/ha/year. According to the classification of erosion rate between 0 to 10 and 10 to 20 tons/ha/year, which is classified as low and medium class, about 95.61% of the sub-basin is in the low to medium class. Therefore, according to the mentioned cases, the use of other models and the comparison with their results with this model and observational data can be effective in making management decisions in the region.

Keywords: Erosion zoning, Soil loss, Vahdat Dam (Gheshlagh), SLEMSA model.

Citation: Nainiva, S.P.; Parichereh, M.; Mohammadrezaei, M. (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. Dor: 20.1001.1.20087845.1402.12.47.12.8

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



بررسی و پهنه‌بندی میزان فرسایش خاک در زیرحوضه چهل‌گزی استان کردستان

سید پدram نیوا*

دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

مأنده پریچهره

دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

مریم محمدرضایی

دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

چکیده

فرسایش خاک به‌عنوان یک خطر طبیعی و انسانی در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته مطرح است. به عبارت دیگر، این مشکل می‌تواند ناشی از توسعه غیراصولی و عوامل مؤثر بر آن مانند افزایش جمعیت، جنگل‌زدایی و عدم توجه به ظرفیت خاک و نیز عواملی مانند چرای بی‌رویه، کشت غیراصولی و سنتی، تخریب پوشش گیاهی و .. باشد. به همین دلیل در بسیاری از جوامع این یک مشکل بین‌المللی است. این تحقیق به منظور ارزیابی خطر، پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش آبی و تعیین میزان هدررفت خاک در زیرحوضه چهل‌گزی سد قشلاق (وحدت) سندج با استفاده از مدل SLEMSA، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور انجام شده است. نتایج ارزیابی خطر، پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش آبی و تعیین میزان تلفات خاک نشان داد که ۹۳/۱۵ درصد از زیرحوضه دارای حجم فرسایش ۰ تا ۱۰، ۲/۴۶ درصد از زیرحوضه دارای حجم فرسایش ۰ تا ۱۰ است. ۱۰ تا ۲۰، ۳،۱۷ درصد دارای حجم فرسایش ۲۰ تا ۵۰ و ۱،۲۰ درصد دارای حجم فرسایش ۵۰ تا ۵۳۷ تن در هکتار در سال است. با توجه به طبقه‌بندی نرخ فرسایش بین ۰ تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ تن در هکتار در سال که در کلاس‌های کم و متوسط طبقه‌بندی می‌شود، حدود ۹۵،۶۱ درصد از زیرحوضه در طبقه کم تا متوسط قرار دارد. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده استفاده از مدل‌های دیگر و مقایسه با نتایج آنها با این مدل و داده‌های مشاهده‌ای می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی منطقه مؤثر باشد.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی فرسایش، نرخ فرسایش، سد وحدت (قشلاق)، مدل کمی SLEMSA.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۶

نویسنده مسئول: سید پدram نیوا، دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.. pedram.nainava@gmail.com

مقدمه

از دست دادن خاک توسط عواملی مانند هوا یا آب، فرسایش خاک نامیده می‌شود (Maity & Mandal, 2019:14). فرسایش خاک یکی از مهمترین مخاطرات زیست‌محیطی در سراسر جهان است که باعث تخریب شدید زمین می‌شود و تهدیدی جدی برای سلامت و رفاه انسان به حساب می‌آید (Heydarnejad et al., 2020: 9 and Sitayelo et al., 2022: 16). در ایران، تخریب خاک و فرسایش آبی از عوامل اصلی تهدید کننده پایداری منابع و توسعه پایدار به‌شمار می‌روند، به طوری که حدود ۳۶ درصد از زمین‌های کشاورزی و ۶۰ درصد از کل خاک‌های ایران در معرض خطر فرسایش قرار دارند (Heydarnejad et al., 2020: 9). از آنجایی که نرخ متوسط فرسایش خاک در سراسر جهان بین ۱۲ تا ۱۵ تن در هکتار در سال برآورد شده است (Ashiagbor et al., 2013: 2). برآوردها نشان می‌دهد که متوسط فرسایش در ایران ۳۰ تا ۳۵ تن در هکتار در سال است که ۴/۳ برابر متوسط جهانی است (Heydarnejad et al., 2020: 9). موضوع فرسایش خاک مقوله‌ای است که هم در کشورهای در حال توسعه و هم در کشورهای توسعه یافته به عنوان یک مخاطره طبیعی و انسانی مطرح است. به عبارتی این معضل می‌تواند هم ناشی از توسعه یافتگی غیراصولی و عوامل موثر در آن، نظیر افزایش فزاینده جمعیت، جنگل‌زدایی و عدم توجه به ظرفیت خاک باشد و هم ناشی از عواملی نظیر چرای بی‌رویه دام، کشت غیراصولی و سنتی، تخریب پوشش گیاهی و غیره؛ به همین دلیل در بسیاری جوامع از آن به عنوان یک مشکل بین‌المللی یاد می‌شود (موسوی، ۱۳۹۶: ۱۱). به طوری که طبق برآوردهای صورت گرفته سالانه ۲۳ میلیارد تن بیش از خاک تشکیل یافته از طریق زمین‌های زراعی از دسترس خارج می‌شود که به معنای تخلیه خاک موجود در جهان با نسبت ۷ درصد در هر دهه است؛ بنابراین پیش‌بینی می‌شود که بیش از یک چهارم از خاک‌های جهان طی ۴۵ سال آینده حاصلخیزی خود را از دست بدهند (نصرتی و جلالی، ۱۳۹۶: ۱۲). از این رو، شناسایی مناطق بحرانی مستعد فرسایش در مقیاس حوضه برای ارائه اطلاعات پیش‌نیاز برای مدیریت مؤثر حوزه آبخیز، از جمله استراتژی‌های حفاظت از خاک، ضروری است (Singh & Panda, 2017: 15). استفاده از مدل‌های تجربی با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS برای برآورد حساسیت یا پتانسیل خطر فرسایش مفید می‌باشد، چرا که استفاده از تکنیک‌های RS و GIS همراه با فرآیندهای مدل‌سازی فرسایش خاک، شناخت، کنترل و مدیریت منابع طبیعی را تسریع می‌کند، GIS و RS تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را سریع‌تر و آسان‌تر می‌کنند و ترکیب اطلاعات گسترده در زمینه‌ها، منابع مختلف و ساده‌سازی مدیریت اطلاعات را ممکن می‌سازند (Mahmut et al., 2017: 12). مدل‌های^۱ PSIAC،^۲ MPSIAC،^۳ SLEMSA،^۴ WEPP،^۵ EPM از جمله مدل‌های مورد توجه در جهت برآورد و ارزیابی میزان فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز می‌باشند. این مدل‌های بسیار پرکاربرد، از دسته مدل‌های تجربی هستند که به وسیله محاسبه برخی ضرایب و روابط، میزان احتمالی فرسایش و بار جامد را به دست می‌دهند. مدل‌های تجربی فرسایش خاک، نسبتاً ساده هستند و به راحتی از لحاظ فیزیکی قابل تفسیر می‌باشند و همچنین به حداقل منابع نیازمندند و با ورودی‌هایی که در دسترس است به طور دقیق مناطق در معرض خطر فرسایش خاک زیاد را مشخص می‌کنند (Ganasri and Ramesh, 2016: 6). محققان زیادی با تکیه بر اهمیت فرسایش خاک، در مطالعات متعددی به برآورد و تخمین فرسایش خاک پرداخته‌اند (ارخی، ۱۴۰۱: ۱؛ پاسبان و همکاران، ۱۴۰۱: ۶؛ عابدینی و قلعه ۱۴۰۰: ۱۴؛ عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۵؛ عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۶؛ محسن و همکاران، ۱۳۹۹: ۵). یکی از مدل‌های تجربی برآورد فرسایش خاک، مدل SLEMSA است که به سادگی با استفاده از کمترین شاخص‌ها

1. Pacific Southwest Inter-Agency Committee
2. Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee
3. Soil Loss Estimation Model for Southern Africa
4. Water Erosion Prediction Project
5. Erosion Potential Method

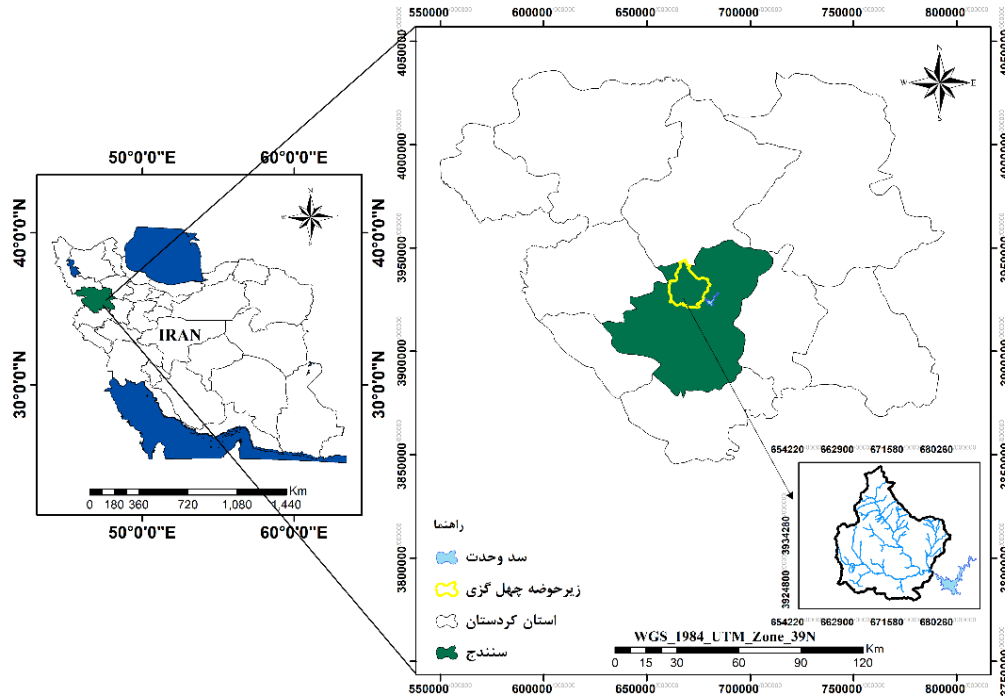
و با کمترین هزینه، نرخ فرسایش را در نقاط مختلف تخمین می‌زند (Heydarnejad et al., 2020: 9). این مدل می‌تواند برای یک منطقه بزرگ با حداقل داده‌های موجود بسیار مفید باشد. مدل SLEMSA برای اولین بار توسط Elwell (۱۹۷۸) برای ارزیابی نرخ فرسایش در زیمبابوه استفاده شد و نتایج قابل قبولی را نشان داد. این مدل به طور گسترده در آفریقا (Granger, 1984: 8)، به ویژه در آفریقای جنوبی (Elwell and Stocking, 1982: 5؛ Madhiri and Manyanza., 1989: 13؛ Smith et al., 2000: 18؛ Svorin, 2003: 20) استفاده شده است و نتایج قابل قبولی را نشان داده است. مدل SLEMSA همچنین با مدل‌های دیگری مانند USLE مقایسه شده است (Igwe et al., 1999: 10؛ Breetzke et al., 2013: 3) که نشان می‌دهد در حالی که مدل SLEMSA از شاخص‌های کمتری برای تخمین فرسایش استفاده می‌کند، اما این مدل تطابق بهتری با شرایط منطقه دارد. در ایران نیز مطالعات متعددی با استفاده از مدل SLEMSA انجام شده است که نشان می‌دهد نتایج محاسباتی این مدل با شرایط منطقه مطابقت دارد (انتظاری نجف آبادی و غلامی، ۱۳۹۱: ۳؛ پورمحمدی املشی، ۱۳۸۰: ۴؛ تقوی و هاشمی، ۱۳۹۲: ۵؛ سالاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۷).

با توجه به اهمیت مسئله فرسایش خاک و اینکه حوزه آبخیز چهل گزی در استان کردستان، یک زیرحوضه تامین آب سد قشلاق (وحدت) می‌باشد، و هم‌چنین مطالعات محدودی در این حوزه جهت بررسی عملکرد فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های مربوطه انجام شده است، لذا هدف از این مطالعه ارزیابی خطر، پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش آبی و تعیین میزان هدررفت خاک در زیرحوضه چهل گزی سد قشلاق (وحدت) سندج با استفاده از مدل SLEMSA، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به جهت افزایش مطالعات زیرحوضه و ارائه الگوهای برنامه‌ریزی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی در راستای کاهش نرخ فرسایش و هدر رفت خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه چهل گزی به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های سد قشلاق سندج در استان کردستان (پارسل A سد قشلاق)، در موقعیت جغرافیایی بین $35^{\circ} 25' 03''$ تا $35^{\circ} 37' 43''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 24' 24''$ تا $46^{\circ} 59' 32''$ طول شرقی واقع شده است (نی‌نیوا و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۳). با توجه به شرایط طبیعی و آب و هوایی، معرف مناطق کوهستانی در نظر گرفته می‌شود (مساحت ۲۷۲۳۳ هکتار و مجهز به یک ایستگاه هیدرومتری). ارتفاع متوسط زیرحوضه مذکور حدود ۲۲۰۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد است و همچنین متوسط بارندگی نیز در این زیرحوضه ۲۹۴/۲ میلی‌متر، مساحت مراتع ۲۳۴۶۵ و مجموع زراعت آبی و دیم ۳۷۶۸ هکتار می‌باشد. این زیرحوضه وجود ۱۵ روستا، همچنین وجود شیل با بیش‌ترین فرسایش و آهک‌های میکروفسیل‌دار با کم‌ترین فرسایش را در بین سنگ‌های پیوسته، به خود اختصاص داده است. علاوه بر این نهشته‌های منفصل بستر رودخانه‌ها بیش‌ترین حساسیت را دارند (صادقی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۰). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲- داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

این پژوهش با هدف، ارزیابی خطر، پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش آبی و تعیین میزان هدررفت خاک در زیرحوضه چهل‌گزی سد قشلاق (وحدت) سندج، با بهره‌گیری از مدل SLEMSA و سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنسج از دور انجام شده است، که با توجه به مدل مورد استفاده در این پژوهش، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز شامل: نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، شیب، طول دامنه، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و داده‌های بارش و موقعیت ایستگاه‌های باران سنجی می‌باشد که با بهره‌گیری از اطلاعات نقشه‌ای، ماهواره‌ای، کتابخانه‌ای و آرشیوی، جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۱- مدل SLEMSA

مدل SLEMSA اولین بار توسط El Well در سال ۱۹۷۸ برای نواحی جنوبی قاره آفریقا (زیمبابوه) طراحی و ارائه شد (انتظاری و غلام حیدری، ۱۳۹۳: ۲؛ حیدری و همکاران، ۱۴۰۰: ۶). این مدل در واقع برگرفته از مدل USLE و سازگار شده با شرایط جنوب آفریقا است (انتظاری و غلام حیدری، ۱۳۹۳: ۲). خروجی نهایی حاصل از این مدل در واقع نقشه طبقه‌بندی شده خطرات فرسایش آبی و میزان هدررفت خاک ناشی از فرسایش آبی به تن در هکتار در سال می‌باشد. ساختار اجرایی مدل شامل سه بخش اصلی: توپوگرافی (شیب و طول دامنه)، فرسایش‌پذیری خاک (فرساینده‌گی باران و نوع خاک) و پوشش گیاهی است (Heydarnejad et al., 2020: 9) که طی چهار مرحله تهیه می‌شود. چهار مرحله اصلی و نه گام مدل به شرح ذیل می‌باشد:

▪ مرحله اول

گام اول: تهیه نقشه شیب

گام دوم: تهیه نقشه طول دامنه

گام سوم: تهیه ضریب توپوگرافی (X) با استفاده از نقشه‌های گام اول و دوم

▪ مرحله دوم

گام چهارم: تهیه نقشه قابلیت فرسودگی خاک

گام پنجم: تهیه نقشه انرژی باران

گام ششم: تهیه نقشه فرسایش پذیری خاک (K) با استفاده از نقشه‌های گام چهارم و پنجم

▪ مرحله سوم

گام هفتم: تهیه نقشه انرژی آزاد

گام هشتم: تهیه نقشه ضریب زراعی (C)

▪ مرحله چهارم

گام نه: تهیه نقشه خطر فرسایش و میزان هدررفت خاک (Z)

فرمول اجرایی مدل SLEMSA به شرح رابطه (۱) می‌باشد (El Well, 1978: 4):

$$Z = K \times X \times C$$

رابطه (۱)

در رابطه فوق:

Z خطر فرسایش و میزان هدررفت خاک، K عامل فرسایش پذیری خاک، X عامل توپوگرافی و C عامل پوشش گیاهی است. براساس راهنمای مدل به جهت تهیه نقشه خطر فرسایش آبی و میزان هدر رفت خاک مراحل نحوه تهیه هر عامل به شرح ذیل می‌باشد:

۲-۱-۱- عامل توپوگرافی

منظور از عامل توپوگرافی همان پستی و بلندی و شکل زمین است که در میزان فرسایش تاثیر گذار است (انتظاری و غلام حیدری، ۱۳۹۳: ۲). برای بدست آورد عامل توپوگرافی ابتدا نقشه شیب منطقه (S) تهیه و سپس با استفاده از رابطه (۲) و جدول (۱)، طول دامنه (L) محاسبه می‌شود (Gitas et al., 2009: 7) و نهایت با استفاده از رابطه (۳) عامل توپوگرافی بدست می‌آید:

$$L = 1.4 \times \left(\frac{AS}{22.13} \right)^m$$

رابطه (۲)

در رابطه فوق: L طول دامنه، AS مساحت شیب و m ضریب بدست آمده از شیب است.

جدول (۱): مقادیر متناظر m برای شیب (Kinnell, 2001: 11)

شیب (درصد)	کمتر از ۱ درصد	۱ تا ۳ درصد	۳ تا ۵ درصد	بیشتر از ۵ درصد
مقدار m	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵

$$X = L^{0.5} \times \left(\frac{0.76 + 0.53 \times S + 0.076 \times S^2}{25.65} \right)$$

رابطه (۳)

در رابطه فوق: S شیب (درصد)، L طول دامنه (متر) و X عامل توپوگرافی است.

۲-۱-۲- عامل فرسایش پذیری خاک

عامل فرسایش پذیری خاک تاثیر خواص خاک و مشخصه‌های پروفیل آن را در هدررفت خاک نشان می‌دهد (حیدری و همکاران، ۱۴۰۰: ۶). برای محاسبه به دو عامل انرژی جنبشی باران (E) و قابلیت فرسودگی خاک (F) نیازمند است؛ انرژی جنبشی بر اثر برخورد قطرات باران به سطح خاک ایجاد می‌گردد که با استفاده از رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$E = 17.368 \times P$$

رابطه (۴)

در رابطه فوق: P بارش و E انرژی جنبشی باران است.

مقدار قابلیت فرسودگی خاک نیز با میزان خاک از دست رفته ناشی از فرسایش باران بیان می‌شود (انتظاری و غلام‌حیدری، ۱۳۹۳: ۲). برای محاسبه قابلیت فرسودگی خاک با توجه به جدول (۲) و جدول (۳) واحدهای سنگی مستخرج از نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد نظر ارزش گذاری می‌شود.

جدول (۲): ارزش گذاری نوع خاک (El Well, 1978: 11)

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

جدول (۳): ارزش گذاری نوع خاک (انتظاری و غلام‌حیدری، ۱۳۹۳: ۲)

شاخص	نوع خاک
۱	رسوبات کواترنری
۲	ماسه سنگ
۳	واریزه کوهی
۴	شیل
۵	کنگلومرات و ماسه آهکی
۶	دولومیت
۷	آهک

در نهایت عامل فرسایش پذیری پس از تعیین دو عامل انرژی جنبشی باران و فرسودگی خاک از رابطه (۵) بدست می‌آید.

$$K = \exp\{((0.4661 + 0.7663 \times F) \times \ln E + 2.884 - (8.1209 \times F))\} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه فوق: F فرسودگی خاک، E انرژی جنبشی باران و K عامل فرسایش پذیری خاک است.

۲-۱-۳- عامل پوشش گیاهی

برای ارزیابی و اندازه گیری فاکتور پوشش گیاهی که نشان دهنده میزان از دست دادن خاک در سطوح لخت و تأثیر پوشش گیاهی بر حفظ خاک است، ابتدا درصد گیرش انرژی باران (i) را با استفاده از جدول (۴) محاسبه می‌شود پس از محاسبه مقدار i و قرار دادن آن در رابطه‌های (۶) و (۷) ضریب پوشش گیاهی به دست آمد (El Well, and Stocking et al., 1988: 19). (1978:11)

جدول (۴): چگونگی محاسبه کمیت پوشش گیاهی (Stocking et al., 1988: 19)

وضعیت مرتع از نظر چرای دام	تعداد روزهای چرای 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
سنگین	بیشتر از ۳۰۰	۲۰	۳۰

رابطه (۶): $C1 = \exp(-0.06 \times i)$

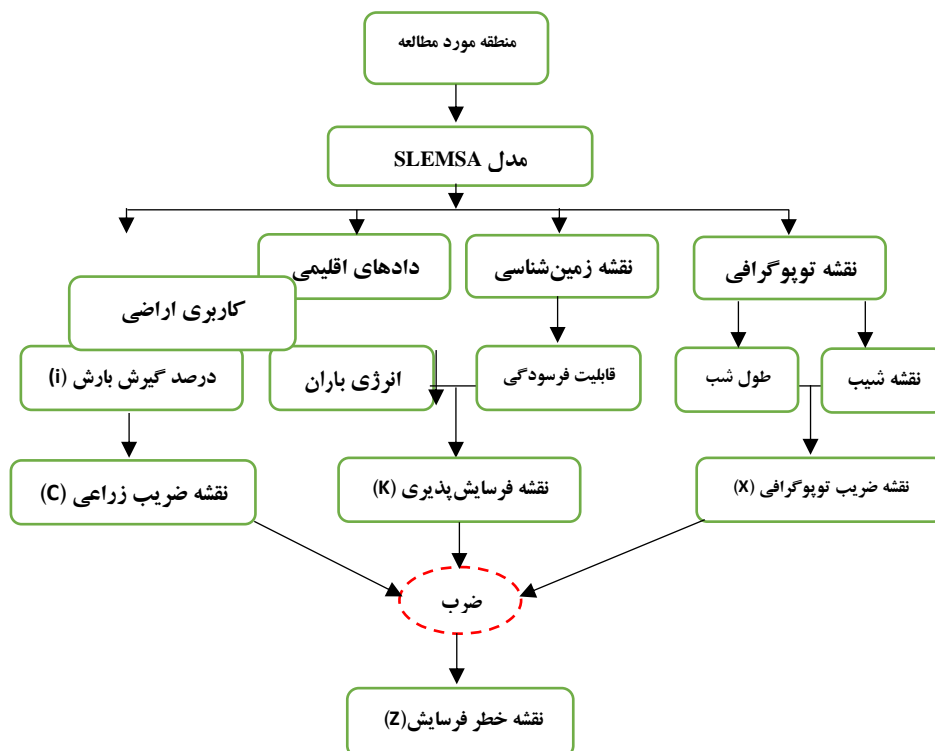
رابطه فوق برای که i کمتر از ۵۰ درصد باشد (El Well, 1978: 11). یا در اراضی زراعی و علفزارهای طبیعی وقتی که i بیشتر و مساوی صفر و کمتر و مساوی ۵۰ درصد و در مراتع متراکم وقتی که i بیشتر و مساوی ۵۰ و کمتر و مساوی ۱۰۰ درصد باشد (Stocking et al., 1988:19).

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

رابطه فوق برای زمانی که i مساوی و بیشتر از ۵۰ درصد باشد (El Well, 1978: 11). یا برای اراضی زراعی و علفزارهای طبیعی وقتی که i بیشتر و مساوی ۵۰ و کمتر و مساوی ۱۰۰ درصد باشد (Stocking et al., 1988: 19).

۳- روش کلی انجام پژوهش

طی این پژوهش در مرحله اول ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری، نقشه شیب حوضه تهیه (گام اول) و سپس با استفاده از دستورالعمل طول دامنه، طبقه‌بندی و مقدار m متناسب با هر طبقه از شیب محاسبه و با توجه به رابطه موجود، نقشه طول دامنه تهیه می‌گردد (گام دوم). در نهایت با رابطه عامل توپوگرافی، نقشه عامل توپوگرافی تهیه می‌گردد (گام سوم). در مرحله دوم با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، نقشه واحدهای سنگی منطقه استخراج و با توجه به دستورالعمل موجود ارزش‌گذاری می‌گردد و نقشه عامل فرسودگی خاک (گام چهارم) تهیه می‌گردد. سپس با استفاده از مقدار بارندگی، موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی، مدل رقومی ارتفاع و رابطه انرژی جنبشی باران، نقشه انرژی جنبشی باران (گام پنجم) تهیه می‌گردد که در نهایت با استفاده از رابطه فرسایش-پذیری خاک، نقشه عامل فرسایش‌پذیری (گام ششم) تهیه می‌شود. در مرحله سوم نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه تهیه و با توجه به دستورالعمل موجود مقدار i محاسبه می‌گردد (گام هفتم) که در نهایت با استفاده از رابطه‌های عامل پوشش گیاهی و نوع کاربری اراضی و مقدار i ، نقشه عامل پوشش گیاهی تهیه می‌گردد (گام هشتم). در مرحله چهارم پس به جهت تهیه نقشه خطر فرسایش و میزان هدررفت خاک منطقه، نقشه‌های کمی عامل توپوگرافی، عامل فرسایش‌پذیری خاک و عامل پوشش گیاهی در همدیگر ضرب می‌شوند (گام نهم). شکل (۲) مراحل انجام پژوهش را نمایش می‌دهد.

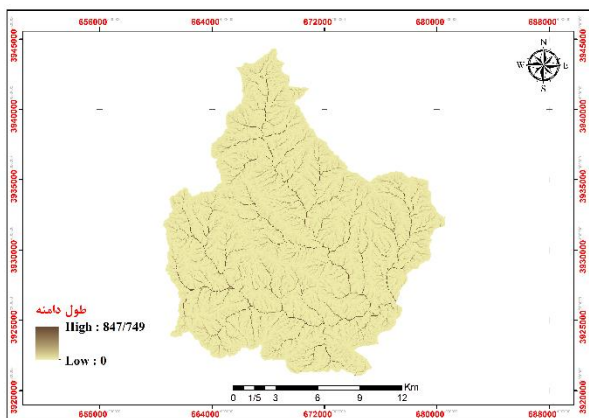


شکل (۲): روش کلی انجام پژوهش

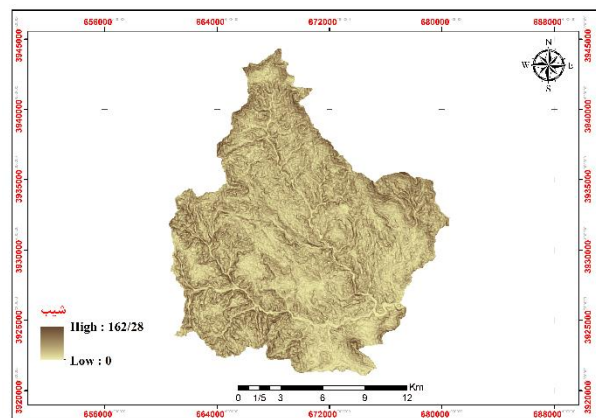
نتایج و بحث

۱- نقشه عامل توپوگرافی

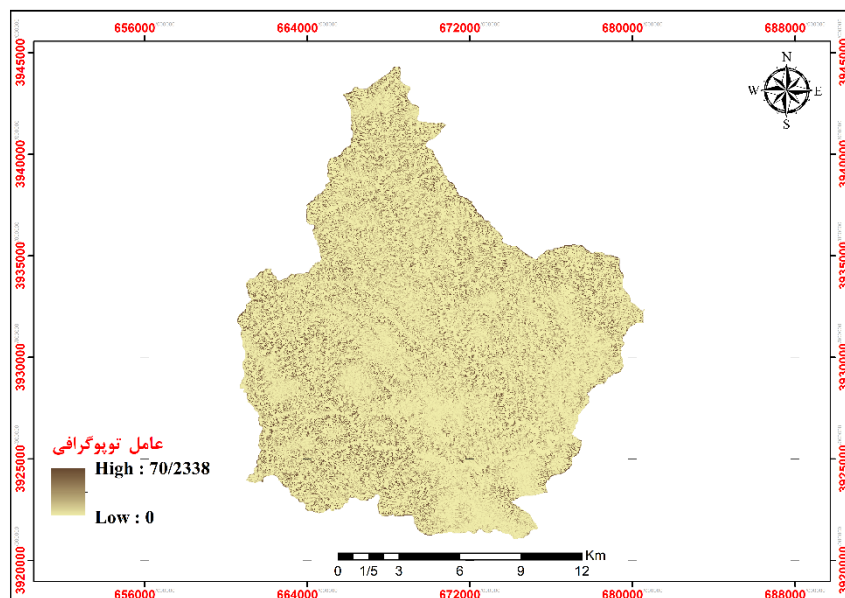
تهیه عامل توپوگرافی براساس شیب و طوب دامنه می‌باشد. نقشه شیب زیرحوضه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری تهیه شد که باتوجه به اطلاعات شیب زیرحوضه، حداقل و حداکثر شیب در زیرحوضه به ترتیب برابر ۰ و ۱۶۲ درصد (۵۸ درجه) می‌باشد. نقشه طول دامنه نیز باتوجه به رابطه (۲) و جدول (۱) تهیه شد و براساس اطلاعات طول دامنه، حداکثر طول دامنه در زیرحوضه به ترتیب برابر ۸۴۷ متر می‌باشد. که شکل (۳) و (۴) نقشه شیب و طول دامنه زیرحوضه چهل‌گری را نشان می‌دهد. در نهایت نقشه عامل توپوگرافی پس از تهیه نقشه شیب و طول دامنه باتوجه به رابطه (۳) تهیه گشت که شکل (۵) عامل توپوگرافی زیرحوضه چهل‌گری را نشان می‌دهد.



شکل (۴): نقشه طول دامنه زیرحوضه چهل‌گری



شکل (۳): نقشه شیب زیرحوضه چهل‌گری

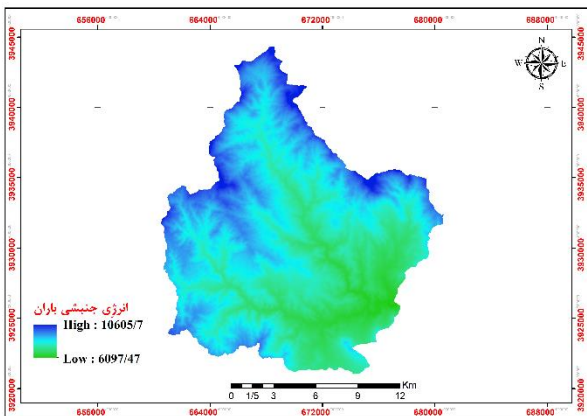


شکل (۵): نقشه عامل توپوگرافی (طول-شیب) زیرحوضه چهل‌گری

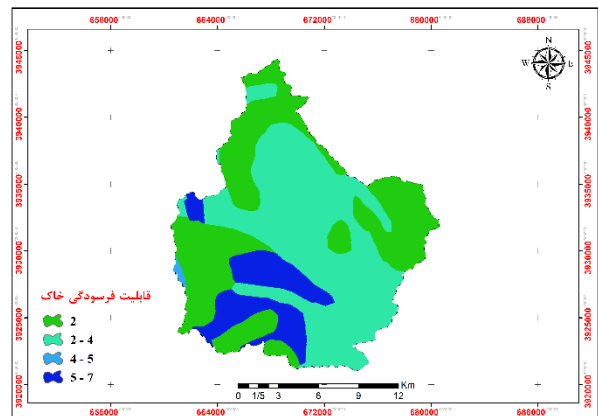
۲- نقشه عامل فرسایش پذیری خاک

تهیه عامل فرسایش پذیری خاک براساس قابلیت فرسودگی خاک و انرژی جنبشی باران می‌باشد. نقشه قابلیت فرسودگی خاک زیرحوضه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی و ارزش‌گذاری واحدهای سنگی تهیه شد که باتوجه به اطلاعات واحدهای سنگی

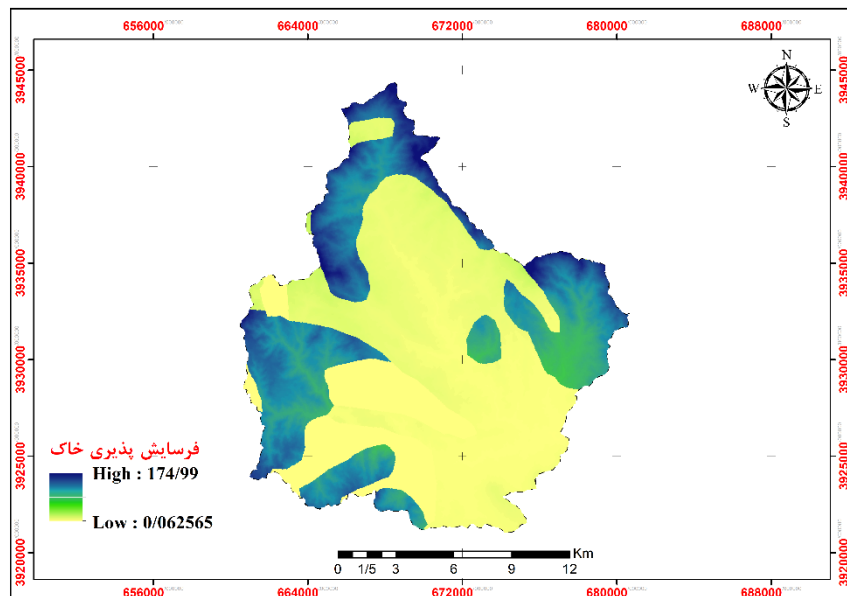
زیرحوضه، این زیرحوضه دارای شش واحد سنگی کلی (آندزیت، گلوبوترونکا، شیل خاکستری، ماسه سنگ، گل سنگ آهکی، کنگلومرا، فلیش توریدیت و سنگ آهک با بستر متوسط تا ضخیم) می‌باشد. جهت تهیه نقشه انرژی جنبشی باران، نیز با توجه به رابطه بارش و ارتفاع نقشه هم‌باران زیرحوضه چهل گزی تهیه شد و براساس رابطه (۴) نقشه انرژی جنبشی باران تهیه شد و براساس اطلاعات نقشه انرژی جنبشی باران، حداقل و حداکثر انرژی در زیرحوضه به ترتیب تقریباً برابر ۶۰۹۷ و ۱۰۶۰۵ ژول بر متر مربع می‌باشد. که شکل (۶) و (۷) نقشه قابلیت فرسودگی خاک و انرژی جنبشی باران زیرحوضه چهل گزی را نشان می‌دهد. در نهایت نقشه عامل فرسایش پذیری خاک پس از تهیه نقشه قابلیت فرسودگی خاک و انرژی جنبشی باران با توجه به رابطه (۵) تهیه گشت که شکل (۸) عامل فرسایش پذیری خاک زیرحوضه چهل گزی را نشان می‌دهد.



شکل (۷): نقشه انرژی جنبشی باران زیرحوضه چهل گزی



شکل (۶): نقشه قابلیت فرسودگی خاک زیرحوضه چهل گزی

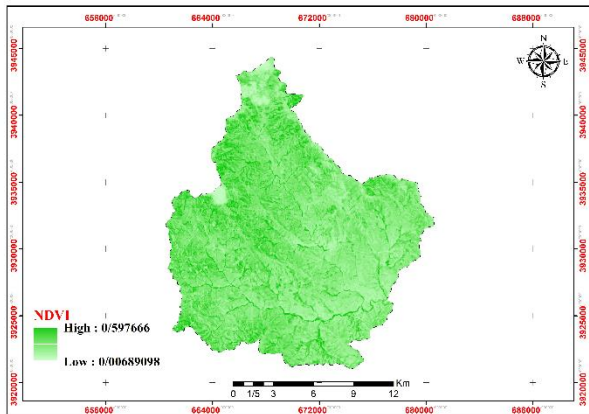


شکل (۸): نقشه قابلیت فرسایش پذیری خاک زیرحوضه چهل گزی

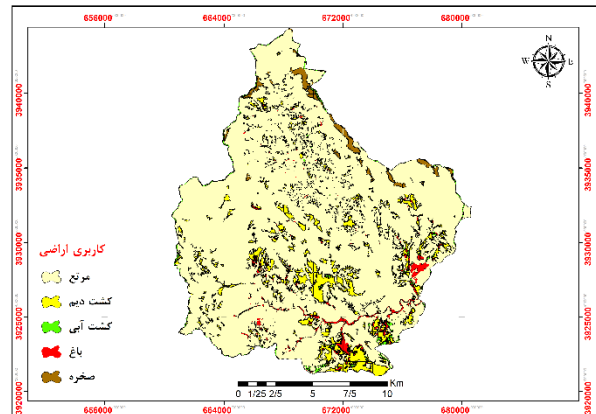
۳- نقشه عامل پوشش گیاهی

تهیه عامل پوشش گیاهی براساس کاربری اراضی و مقدار (i) می‌باشد. زیرحوضه چهل گزی دارای کاربری‌های اراضی: زراعت دیم، زراعت آبی، باغات توام با زراعت، مراتع، مسکونی و صنعتی می‌باشد (Ab Shafaq Structure Consulting Engineering Company, 2013:1). شکل (۹) کاربری اراضی زیرحوضه را نشان می‌دهد. نقشه مقدار پوشش گیاهی (i) براساس شاخص نرمال

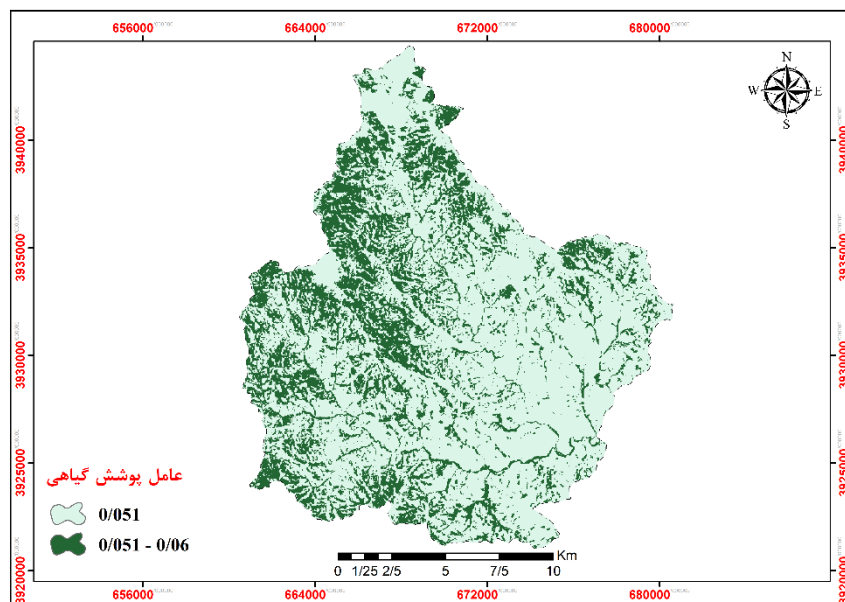
شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) و نوع کاربری اراضی معرفی شده مطابق جدول (۴) تعیین شد (شکل (۹) و (۱۰)). طی این کار ما براساس NDVI را طبقه‌بندی نمودیم و براساس طبقه‌های آن مقدار \bar{I} را تعریف نمودیم، که با توجه به اطلاعات نقشه حاصل شده حداقل و حداکثر مقدار \bar{I} در زیرحوضه، به ترتیب برابر ۲۰ و ۷۰ درصد می‌باشد. در نهایت نقشه عامل پوشش گیاهی پس از تهیه نقشه مقدار \bar{I} از رابطه‌های (۶) و (۷) تهیه گشت که شکل (۱۱) عامل پوشش گیاهی زیرحوضه چهل‌گزی را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰): نقشه وضعیت پوشش گیاهی زیرحوضه چهل‌گزی



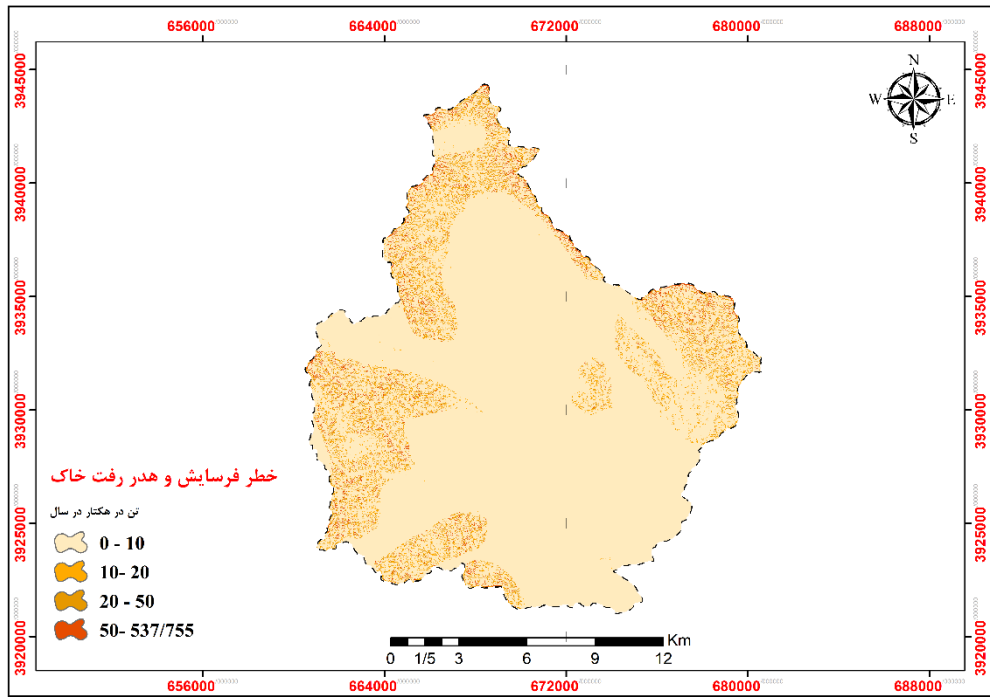
شکل (۹): نقشه کاربری اراضی زیرحوضه چهل‌گزی



شکل (۱۱): نقشه عامل پوشش گیاهی زیرحوضه چهل‌گزی

۴- نقشه خطر فرسایش و میزان هدررفت خاک

نقشه خطر فرسایش و میزان هدررفت خاک در زیرحوضه چهل‌گزی از ضرب نقشه‌های عامل توپوگرافی، عامل فرسایش‌پذیری خاک و عامل پوشش گیاهی تهیه شد. براساس اطلاعات نقشه خطر فرسایش و میزان هدررفت خاک، حداقل و حداکثر فرسایش در زیرحوضه به ترتیب برابر ۰ و ۵۳۷/۷۵ تن در هکتار در سال می‌باشد که در سه کلاس به شرح جدول (۸) ارائه شده است. شکل (۶) نقشه خطر فرسایش و هدررفت خاک در زیرحوضه چهل‌گزی را مطابق نشان می‌دهد.



شکل (۱۲): نقشه خطر فرسایش و هدررفت خاک در زیرحوضه چهل گزی

جدول (۵): مساحت طبقه‌بندی‌های خطر فرسایش و رسوب‌زایی زیرحوضه چهل گزی

میزان فرسایش	مساحت (کیلومتر مربع)	طبقه‌بندی
۰ تا ۱۰	۲۴۷/۹۲۲	کم
۱۰ تا ۲۰	۶/۵۷۰	متوسط
۲۰ تا ۵۰	۸/۴۴۰	زیاد
۵۰ تا ۵۳۷/۷۵	۳/۱۹۸	خیلی زیاد
جمع	۲۶۶/۱۳	

۵- مقایسه نتایج

بررسی نتایج ارزیابی خطر، پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش آبی و تعیین میزان هدررفت خاک در زیرحوضه چهل گزی سد قشلاق (وحدت) سنندج با استفاده از مدل SLEMSA، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور گویای این می‌باشد که ۹۳/۱۵ درصد از زیرحوضه دارای حجم فرسایش ۰ تا ۱۰، ۲/۴۶ درصد از زیرحوضه دارای حجم فرسایش ۱۰ تا ۲۰، ۳/۱۷ درصد دارای حجم فرسایش ۲۰ تا ۵۰ و ۱/۲۰ درصد دارای حجم فرسایش ۵۰ تا ۵۳۷ تن در هکتار در سال می‌باشد. که باتوجه به طبقه‌بندی نرخ فرسایش بازه ۰ تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ تن در هکتار در سال که جزو طبقه کم و متوسط معرفی می‌شود (امیدوار، ۱۳۹۳:۱)، حدود ۹۵/۶۱ درصد زیرحوضه در طبقه کم تا متوسط قرار دارد و باتوجه به نرخ متوسط فرسایش خاک در سراسر جهان بین ۱۲ تا ۱۵ تن در هکتار در سال هم‌خوانی دارد (Ashiagbor et al., 2013:2).

همچنین مقایسه نتایج حاصل از مدل باتوجه به مطالعات شیرزادی و غفاری (۲۰۱۸) گویای برآورد تقریباً مناسب نسبت به نتایج وی می‌باشد چرا که نتایج استفاده ایشان از مدل SWAT در حوضه سد قشلاق، دارای نتایج طبقه‌بندی کم تا متوسط می‌باشد. ایشان مقدار ۰ تا ۱۰۵ تن در هکتار در سال را گزارش نموده‌اند که مطابق مطالعه ایشان بیشتر مساحت حوضه در محدوده ۰ تا ۳۰ تن در

هکتار در سال می‌باشد. که باتوجه به وجود شیل و حساسیت بالای آن می‌تواند برآورد کم مدل را نشان دهد. همچنین مطابق گزارش غلام‌حیدری و انتظاری در سال ۲۰۱۵ کارایی مدل SLEMSA نسبت به CORINE کمتر اعلام نمود. لذا باتوجه به موارد ذکر شده، استفاده از مدل‌های دیگر و مقایسه‌ی نتایج آن‌ها با این مدل و داده‌های مشاهداتی می‌تواند در اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی منطقه موثر واقع شود.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به ارزیابی خطر، پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش آبی و تعیین میزان هدررفت خاک زیرحوضه چهل‌گری سد قشلاق (وحدت) سندج با بهره‌گیری از مدل SLEMSA و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته است. نتایج پژوهش بیانگر پتانسیل همسو این زیرحوضه با نرخ فرسایش جهانی و هدررفت خاک می‌باشد. لذا باتوجه به اهمیت فرسایش و همچنین موقعیت زیرحوضه در تامین آب سد قشلاق پیشنهاد می‌شود، باتوجه به تعداد محدود مطالعات در حوضه، بایستی به جهت حصول اطمینان بیشتر از کارایی مدل، مطالعات دیگری نیز در منطقه انجام گیرد و براساس نتایج آنان الگوهای ارزیابی و برنامه‌ریزی، اتخاذ تصمیمات مدیریتی، ترویج، آموزش و اجرای پروژه‌های سودمند در ارتباط با کاهش نرخ جابجایی و هدررفت خاک در سطح حوضه با جدیت مورد توجه قرار گیرد تا قدمی کوچک در راستای کاهش نرخ فرسایش و هدررفت خاک باشد. در نهایت، نقشه خطر فرسایش پیشنهادی با مدل مذکور، می‌تواند محققان و تصمیم‌گیران را در طراحی و اجرای مداخلات موثر مدیریت آب و خاک در منطقه مورد مطالعه کمک نماید.

منابع

۱. ارخی، صالح (۱۴۰۱). ارزیابی تاثیر تغییرات کاربری اراضی و بارش بر فرسایش و رسوب با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: حوضه پایین دست سد ایلام). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۱۱ (۱)، ۸۱-۶۲.
۲. امیدوار، کمال (۱۳۹۳). درآمدی بر حفاظت خاک و آبخیزداری. چاپ سوم. یزد: انتشارات دانشگاه یزد.
۳. انتظاری، مژگان؛ غلام‌حیدری، حمیده (۱۳۹۳). مقایسه دو مدل SLEMSA و CORINE در ارزیابی فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه تنگ سرخ شیراز). برنامه ریزی و آمایش فضا. ۱۸ (۳)، ۲۸-۱.
۴. انتظاری نجف‌آبادی، مژگان؛ غلامی، مجید (۱۳۹۱): برآورد فرسایش در حوزه رومشگان با استفاده از مدل‌های TOPSIS و SLEMSA. پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۲ (۷)، ۹۶-۸۵.
۵. آرمین، محسن؛ ولی‌نژاد، حدیث؛ قربان‌نیا خیبری، وجیهه (۱۳۹۹). برآورد فرسایش خاک در حوضه آبریز سد تنگ سرخ با استفاده از معادله جهانی فرسایش خاک تجدید نظر شده (RUSLE) و قابلیت‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی. هیدروژئومورفولوژی، ۷ (۲۳)، ۱۸۳-۱۵۹.
۶. پاسبان، امیرحسام؛ عابدینی، موسی؛ فروتن، مهدی (۱۴۰۱). ارزیابی و تحلیل میزان تاثیر کاربری اراضی بر فرسایش خاک با استفاده از مدل تجربی RUSLE (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بالیخلوچای، استان اردبیل). جغرافیا و روابط انسانی. ۵ (۳)، ۲۵۸-۲۳۸.
۷. پورمحمدی املشی، احترام (۱۳۸۰). محاسبه مقایسه ای فرسایش در حوضه آبریز سلمان رود به روش PSIA SLEMSA، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه اصفهان دانشکده علوم انسانی.
۸. تقوی، سمانه؛ هاشمی، معصومه (۱۳۹۲). بهمن. برآورد رسوب و فرسایش با استفاده از مدل SLEMSA با استفاده از GIS در حوضه هویر. اولین همایش ملی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. تهران.
۹. حیدری، مینا؛ زحمت‌کش ماری، حوریه؛ کرم، امیر (۱۴۰۰). پهنه‌بندی حوزه آبخیز زیارت از نظر میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل SLEMSA. پژوهش‌های دانش زمین. ۱۲ (۴۸)، ۶۷-۵۰.

۱۰. سالاری، نرجس؛ رنجبرمنش، نسرين؛ نظری پور، هاجر (۱۳۹۲، بهمن). بررسی میزان خطر فرسایشی در حوضه آبریز سیرج با استفاده از مدل SLEMSA. *اولین همایش ملی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار*. تهران.
۱۱. شرکت مهندسی مشاور سازه آب شفق (۱۳۹۳). *گزارش مطالعات ارزیابی اجرایی و اثر بخشی پروژه های آبخیزداری حوزه آبخیز پارسل A سد قشلاق سنندج (۶ فصل)*. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان.
۱۲. شیرزادی، سپیده؛ غفاری، گلاره (۱۳۹۷). شبیه سازی هدررفت عناصر غذایی خاک در حوضه سد قشلاق با استفاده از مدل SWAT. *مدیریت خاک و تولید پایدار*. ۸ (۳)، ۷۹-۹۶.
۱۳. صادقی، حمیدرضا؛ غلامی، لیلا؛ خالدی درویشان؛ عبدالواحد (۱۳۸۶). مقایسه روش های برآورد نسبت تحویل رسوب رگبار در حوزه آبخیز چهل گزی سد قشلاق استان کردستان. *علوم و صنایع کشاورزی (آب و خاک)*. ۲۲ (۱)، ۱۵۰-۱۴۱.
۱۴. عابدینی، موسی؛ قلعه، احسان (۱۴۰۰). آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک های شی گرا و پیکسل پایه (مطالعه موردی: حوضه مردق چای). *نشریه هیدروژئومورفولوژی*. ۸ (۲۷)، ۱۸۴-۱۶۳.
۱۵. عابدینی، موسی و دیگران (۱۴۰۱). ارتباط شاخص های پوشش گیاهی و ژئومورفیک با مقادیر فرسایش و رسوب در حوضه آبریز کوزه توپراقی. *هیدروژئومورفولوژی*. ۹ (۳۲)، ۱۰۵-۱۲۸.
۱۶. عابدینی، موسی و دیگران (۱۴۰۲). بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست سال بر میزان فرسایش و رسوب حوضه رضی چای. *جغرافیا و مطالعات محیطی*. ۱۲ (۴۵)، ۱۱۴-۱۳۳.
۱۷. موسوی، سید حجت (۱۳۹۶). برآورد میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز شاهرود - میامی با استفاده از مدل SLEMSA و تکنیک GIS. *آمایش جغرافیایی فضا*. ۷ (۲۴)، ۱۵-۳۴.
۱۸. نصرتی، کاظم؛ جلالی، سعیده (۱۳۹۶). بررسی میزان تولید رسوب معلق حوزه آبخیز زیارت گرگان در فصل های مختلف با استفاده از تکنیک منشایابی رسوب. *اکوهیدرولوژی*. ۴ (۳)، ۸۸۷-۸۹۵.
۱۹. نی نیا، سید پدram و دیگران (۱۳۹۹). سهم برآورد رواناب ناشی از ذوب برف در تامین نیاز آبی اراضی زراعی زیر حوضه چهل گزی، استان کردستان. *مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۱۲ (۴)، ۹۶۲-۹۷۶.
20. Ab Shafaq Structure Consulting Engineering Company (2013). *The Report of Studies on the Implementation and Effectiveness of Watershed Management Projects in the Parcel A watershed of Gheshlagh Dam, Sanandaj* (6 chapters). Sannandaj: General Department of Natural Resources and Watershed Management of Kurdistan Province, p. 1-469.
21. Ashiagbor, George, Eric K. Forkuo, Prosper Laari, and Raymond Aabeyir (2013) Modeling soil erosion using RUSLE and GIS tools, *International Journal of Remote Sensing & Geoscience*, V:2, No:4, p. 1-17.
22. Breetzke, G.D.; Koomen, E. & Critchley, W. R. S. (2013). GIS-assisted modelling of soil erosion in a South African catchment: Evaluating the USLE and SLEMSA approach. *Water Resources Planning, Development and Management*. 53-71. DOI:10.5772/52314.
23. Elwell, H.A. (1978). Modelling soil losses in southern Africa. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 23 (2), 117-127.
24. Elwell, H.A. & Stocking, M. A. (1982). Developing a simple yet practical method of soil-loss estimation. *Tropical Agriculture*. 59 (11), 43-48.
25. Ganasri, B.P. & Ramesh, G. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A (Case study: Nethravathi Basin). *Geoscience Frontiers*. 7 (6), 953-961. DOI:10.1016/j.gsf.2015.10.007.
26. Gitas, I.Z. et al (2009). Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSel Eproceedings*. 8 (1), 40-52.
27. Granger, J.E. (1984). *Some Thoughts on Soil Erosion in Transkei*. IMDS Discussion Papers, Institute for Management and Development Studies. University of Transkei.
28. Heydarnejad, S. et al (2020). Estimation of soil erosion using SLEMSA model and OWA approach in Lorestan Province (Iran). *Journal of Environmental Resources Research*. 8 (1), 11-24.
29. Igwe, C.A. & Mbagwu, J.S.C. (1999). Application of SLEMSA and USLE erosion models for potential erosion hazard mapping in south-eastern Nigeria. *International Agriculture*. 13 (1), 41-48.
30. Kinnell, P.I.A. (2001). Slope length factor for applying the USLE-M to erosion in grid cells. *Soil and*

Tillage Research. 58 (1-2), 11-17.

31. Mahmut, R. et al (2017). Soil erosion risk assessment using GIS and ICONA: A case study in Kahramanmaras, Turkey. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*. 34 (1), 64-75.

32. Madhiri, L.W. & Manyanza, P.C. (1989). *Erosion hazard mapping of the SADCC region: Lesotho. Report – SADCC*. [N.P]: Southern African Development Coordination Conference, Soil and Water Conservation and Land Utilization Sector.

33. Maity, D.K. & Sujit, M. (2019). Identification of groundwater potential zones of the Kumari river basin, India: An RS & GIS based semi-quantitative approach. *Environment, Development and Sustainability*. 21 (1), 1013-1034.

34. Singh, G. & Rabindra, K.P. (2017). Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: A case study in the Kapgari watershed, India. *International Soil and Water Conservation Research*. 5 (3), 202-211.

35. Sitayelo, L. et al (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. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*. 7 (2), 1-12.

36. Smith, H.J. et al (2000). Soil loss modelling in the Lesotho highlands water project (LHWP) catchments areas. *The South African Geographical Journal*. 82 (2), 64-69.

37. Stocking, M.; Qalabane, Ch. & Elwell, H. (1988) An improved methodology for erosion hazard mapping Part I: The technique. *Geografiska Annaler: Series A. Physical Geography*. 70 (3), 169-180.

38. Svorin, J. (2003). A test of three soil erosion models incorporated in to a geographical information system. *Hydrological Processes*. 17 (2), 967-977.

نحوه ارجاع به مقاله:

نی‌نوا، سید پدram؛ پریچهره، مانده؛ محمدرضایی، مریم (۱۴۰۲)، بررسی و پهنه‌بندی میزان فرسایش خاک در زیرحوضه چهل‌گزی استان کردستان، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۲ (۴۷)، ۲۱۶-۲۰۲،
Dor: 20.1001.1.20087845.1402.12.47.12.8

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

