



## Spatial variability of soil erodibility associated with lithology and topography

Mehdi Jafarian<sup>1</sup> | Ali Golkarian<sup>2</sup> | Hojat Emami<sup>3</sup>

1. Department of range and watershed management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, e-mail: [mehdi.jafarian@mail.um.ac.ir](mailto:mehdi.jafarian@mail.um.ac.ir),
2. Corresponding Author, Department of range and watershed management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, e-mail: [Golkarian@um.ac.ir](mailto:Golkarian@um.ac.ir),
3. Department of soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, e-mail: [Hemami@um.ac.ir](mailto:Hemami@um.ac.ir).

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** Oct. 20, 2022

**Revised:** Jan. 7, 2023

**Accepted:** Feb. 25, 2023

**Published online:** March. 21,  
2023

**Keywords:**

*CSEI Index*

*Erodibility*

*EPIC Model*

*Lithology*

*Soil indicators*

*Soil Erosion.*

### ABSTRACT

Today, water erosion is considered one of the most important forms of nature destruction, and the problems caused by it are inseparable problems of the country's watersheds. Among the numerous environmental factors affecting soil erodibility, lithology, topography and climate factors are the most important factors affecting soil erodibility. The purpose of this research is to investigate soil properties including number of drops impact (NDI), mean weight diameter of soil aggregates (MWD), soil penetration resistance (PR), soil cohesion (COH), saturated conductivity (Ks) and soil erodibility index (K). Therefore, six rock types (granite, limestone, ophiolite, shale, marl and sandstone) were selected in Razavi Khorasan province and sampling was done in three slope classes 0-10, 10-25 and more than 25% in 2021. In order to compare soil erodibility in similar rocks in different climates, limestone was selected in Tabas city (dry climate). The results showed that the average soil erodibility index and other indices have a significant difference ( $P < 0.001$ ). The results of measuring soil erodibility index in different slopes showed no significant erodibility index in three slope classes ( $\text{sig} = 0.893$ ,  $p < 0.05$ ). The comparison of the average soil erodibility in different climates in rocks similar to Paleogene limestone with a value of 0.83 in Tabas limestone and 0.96 ( $\text{ton ha h} / \text{ha MJ mm}$ ) sarakhs limestone showed that the average soil erodibility in different climate has a significant difference ( $\text{sig} = 0.023$ ,  $p < 0.05$ ). The results of measuring CSEI index showed that the highest amount of reduction in erodibility reflected by this index is in granite with a value of 64% and the lowest value in shale with a value of 25%.

Cite this article: Jafarian, M., Golkarian, A., & Emami, H., (2023). Spatial Variability of Soil Erodibility Associated with Lithology and Topography, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (1), 245-264. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350168.669379>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350168.669379>



## تغییرات مکانی فرسایش پذیری خاک در ارتباط با سنگ‌شناسی و توپوگرافی

مه‌دی جعفریان<sup>۱</sup>، علی کلگاریان<sup>۲</sup>، حجت امامی<sup>۳</sup><sup>۱</sup> گروه مرتع و آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، رایانامه: [mehdi.jafarian@mail.um.ac.ir](mailto:mehdi.jafarian@mail.um.ac.ir)<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، گروه مرتع و آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، رایانامه: [Golkarian@um.ac.ir](mailto:Golkarian@um.ac.ir)<sup>۳</sup> گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، رایانامه: [Hemami@um.ac.ir](mailto:Hemami@um.ac.ir)

## چکیده

## اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱/۱

## واژه‌های کلیدی:

خصوصیات خاک،

سنگ‌شناسی،

شاخص CSEI،

فرسایش خاک،

فرسایش پذیری،

مدل EPIC.

امروزه فرسایش آبی یکی از شکل‌های مهم تخریب طبیعت به شمار می‌رود و معضلات ناشی از آن از مشکلات جدایی‌ناپذیر حوزه‌های آبخیز کشور است. در بین عوامل متعدد محیطی موثر بر فرسایش پذیری خاک سنگ‌شناسی، توپوگرافی و اقلیم از مهمترین عوامل موثر در فرسایش پذیری خاک می‌باشند. هدف از این پژوهش بررسی خصوصیات خاک شامل تعداد موثر قطره (NDI)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، مقاومت فروری خاک (PR)، چسبندگی خاک (COH)، هدایت اشباع (Ks) و شاخص فرسایش پذیری خاک (K) می‌باشد. بنابراین شش جنس سنگ (گرانیت، آهک، افیولیت، شیل، مارن و ماسه سنگ) در استان خراسان رضوی انتخاب شد و نمونه‌برداری در سه کلاس شیب ۱۰-، ۲۵-، ۱۰-۲۵ و بیشتر از ۲۵ درصد در سال ۱۴۰۰ انجام شد. به منظور مقایسه فرسایش پذیری خاک در جنس سنگ‌های مشابه در اقلیم مختلف، جنس سنگ آهک در شهرستان طبس (اقلیم خشک) انتخاب شد. نتایج نشان داد میانگین شاخص فرسایش پذیری خاک و سایر شاخص‌ها در جنس سنگ‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ( $P < 0.001$ ). نتایج اندازه‌گیری شاخص فرسایش پذیری خاک در شیب‌های مختلف نشان‌دهنده عدم معنی‌داری شاخص فرسایش پذیری در سه کلاس شیب بود ( $p < 0.05$ ,  $sig = 893/0$ ). فرسایش پذیری خاک در آب و هوای مختلف در جنس سنگ مشابه آهک با مقدار ۰/۸۳ در جنس سنگ آهک طبس و ۰/۹۶ تن هکتار ساعت بر هکتار مگاژول میلی متر در جنس سنگ آهک سرخس، نشان داد، فرسایش پذیری خاک در آب و هوای مختلف دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد ( $p < 0.023$ ,  $sig = 0/05$ ). نتایج اندازه‌گیری شاخص CSEI نشان داد بیشترین مقدار کاهش فرسایش پذیری منعکس شده توسط این شاخص در جنس سنگ گرانیت با میزان ۶۴ درصد و کمترین مقدار آن در جنس سنگ شیل با مقدار ۲۵ درصد می‌باشد.

استناد: رجائی، جعفریان، مه‌دی، کلگاریان، علی و امامی، حجت (۱۴۰۲). تغییرات مکانی فرسایش پذیری خاک در ارتباط با سنگ‌شناسی و توپوگرافی، مجله تحقیقات آب

و خاک ایران، ۵۴ (۱)، ۲۴۴-۲۴۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350168.669379>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350168.669379>

## مقدمه

فرسایش خاک<sup>۱</sup> به فرایندی گفته می‌شود که طی آن خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به وسیله یک عامل انتقال‌دهنده به مکان دیگر منتقل می‌شود که اگر عامل جداکننده و انتقال مواد بستر آب باشد به آن فرسایش آبی<sup>۲</sup> و اگر این عامل باد باشد به این نوع فرسایش، بادی<sup>۳</sup> گفته می‌شود. فرسایش خاک هرچند یک پدیده طبیعی حتمی می‌باشد، ولی تشدید آن بر اثر عوامل مصنوعی مانند اعمال نادرست انسان در بهره‌برداری از طبیعت، می‌تواند موجب خسارات جدی و ایجاد نابسامانی‌هایی در زندگی بشر شود (اسمعیلی و عبداللهی: ۱۳۹۰). طبق تحقیقات صورت گرفته سرعت فرسایش خاک در ایران ۲۰ تا ۳۰ برابر سرعت تشکیل آن می‌باشد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد حدود ۱۰ درصد مساحت کشور دارای فرسایش بسیار زیاد (بیش از ۵۰ تن در هکتار در سال)، ۲۳ درصد مساحت کشور دارای فرسایش زیاد (۲۰ تا ۵۰ تن در هکتار در سال)، ۲۵ درصد مساحت کشور دارای فرسایش متوسط (۱۰ تا ۲۰ تن در هکتار در سال) و کمتر از ۴۰ درصد مساحت کشور دارای فرسایش کم (کمتر از ۱۰ تن در هکتار در سال) می‌باشد (امیدوار و همکاران، ۱۳۸۶). مرور اجمالی پیشینه مطالعات انجام شده و تحقیق درباره فرسایش نشان‌دهنده این موضوع است که هدف اصلی اکثر مطالعات انجام شده، برای ارائه راهکارها و اجرای اقدامات پیشگیری و مبارزه با فرسایش خاک و کاهش خطرات ناشی از آن می‌باشد و طبیعتاً بهترین مبارزه با فرسایش شناخت عوامل مؤثر بر ایجاد آن در محل برداشت می‌باشد. فرسایش‌پذیری خاک<sup>۴</sup> یک ویژگی اصلی از خصوصیات خاک است که حساسیت خاک نسبت به فرسایش را نشان می‌دهد و به عوامل مختلفی بستگی دارد؛ بنابراین تحقیق درباره فرسایش‌پذیری خاک یک عامل اصلی و تأثیرگذار در درک فرآیند فرسایش خاک می‌باشد. در ابتدا تصور بر این بود که فرسایش‌پذیری خاک برای یک خاک مشخص عمدتاً ثابت باقی می‌ماند؛ اما تحقیقات بیشتر در مکان‌های مختلف و شرایط توپوگرافی گوناگون نشان داد که فرسایش‌پذیری خاک یک مفهوم نسبی است که به شدت به تغییرات مکانی، خواص پویای خاک از نظر زمانی و فعالیت‌های انسان وابسته می‌باشد. به صورتی که خاک تحت تأثیر اشکال مختلف و شدت فرسایش، فرسایش‌پذیری مختلفی از خود نشان می‌دهد؛ بنابراین باید شرایط مکانی و نیروهای فزاینده برای بررسی شاخص فرسایش‌پذیری خاک مورد توجه قرار گیرد (Liu et al, 2011). فرسایش‌پذیری خاک یک مفهوم گسترده است و تحت تأثیر عوامل زیادی قرار دارد. خصوصیات خاک که در فرسایش‌پذیری خاک مؤثر است شامل خواص ذاتی (بافت خاک<sup>۵</sup>، شوری<sup>۶</sup>، کرنات کلسیم<sup>۷</sup>، ظرفیت تبادل کاتیونی<sup>۸</sup>، ماده آلی<sup>۹</sup>، درصد سیلت، رس و شن، مقدار رطوبت و ...) است که به مرور زمان تغییر می‌کند و همچنین شامل خواص پویا (میکرو توپوگرافی، وزن مخصوص ظاهری<sup>۱۰</sup>، توزیع اندازه خاکدانه‌ها<sup>۱۱</sup> و ...) می‌باشد که سریع‌تر به عوامل اقلیمی و مدیریت واکنش نشان می‌دهد و فرسایش‌پذیری خاک را در زمان کوتاه کنترل می‌کند. بافت خاک اساسی‌ترین خصوصیت خاک است که منعکس‌کننده شماری از خصوصیات خاک نظیر نفوذپذیری، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداشت آب، مواد آلی و ... می‌باشد و آن شامل درصد شن، سیلت و رس در خاک می‌باشد که تغییر در هر کدام از آن‌ها باعث تغییر در فرسایش‌پذیری خاک می‌شود (فتح‌اللهی و همکاران، ۱۳۸۹). به طوری که ذرات شن به دلیل وزن زیاد مقاومت نسبی خوبی در برابر فرسایش و جابجا شدن توسط آب دارند و همچنین ذرات رس به دلیل چسبندگی خوبی که دارند در برابر فرسایش نسبتاً مقاوم هستند، درحالی که بیشترین فرسایش مربوط به ذرات سیلت می‌باشد. بدین صورت که خاک‌های دارای ۴۰ درصد سیلت کمترین مقاومت را در برابر فرسایش دارند (Richter and Negendank, 1977). یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در فرسایش‌پذیری خاک‌ها درصد ماده آلی موجود در خاک می‌باشد. ماده آلی با اتصال فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ذرات اولیه خاکدانه به یکدیگر نقش کلیدی در مقاومت خاکدانه‌ها و افزایش نفوذپذیری ایفا می‌کند (Tisdall and Odas, 1982). کاهش ماده آلی باعث کاهش نفوذ آب و هوا به خاک، ناپایداری خاکدانه‌ها، ایجاد اندوده سطحی و افزایش رواناب و فرسایش می‌شود (Bryan, 2000). خصوصیات خاکدانه‌ها برای درک بهتر فرایند فرسایش خصوصاً در خاک‌های دارای خاکدانه خوب حائز اهمیت می‌باشد. ویژگی‌های خاکدانه

1. Soil Erosion
2. Water Erosion
3. Wind Erosion
4. Soil Erodibility
5. Soil Texture
6. Salinity
7. Calcium Carbonate
8. Cation Exchange Capacity
9. Organic Matter
10. Apparent Density
11. Distribution Aggregates

از قبیل مقاومت و پایداری، میانگین قطر<sup>۱</sup>، چسبندگی<sup>۲</sup> و قابلیت جذب سطحی آن در فرایند فرسایش دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد (Blanco and Lal, 2008). رطوبت پیشین خاک از چند جهت حائز اهمیت است: اولاً انرژی جنبشی موردنیاز برای شکستن خاکدانه‌ها در هنگام مرطوب بودن خاک کم می‌شود، ثانیاً چسبندگی خاکدانه‌ها در اثر افزایش رطوبت کاهش می‌یابد. همچنین افزایش رطوبت خاک باعث کاهش شیب هیدرولیکی خاک می‌شود و نیروی آب برای نفوذ به خاک کاهش می‌یابد. نفوذپذیری خاک یکی از مهم‌ترین بخش‌های چرخه آب است که علاوه بر تضمین ذخیره آب، مانع از عمل فرسایش خاک می‌شود. نفوذپذیری خاک به عواملی مانند بافت خاک، رطوبت خاک، درجه اشباع، ساختمان خاک، ماده آلی و... بستگی دارد. تا زمانی که شدت نفوذ از شدت بارش بیشتر باشد تمام آب به داخل خاک نفوذ خواهد کرد اما مسئله وقتی مشکل‌آفرین می‌شود که شدت بارش از شدت نفوذ بیشتر می‌شود و باعث ایجاد رواناب می‌شود (رئیسیان و چرخابی، ۱۳۸۳). یکی از عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک موقعیت شیب زمین می‌باشد که می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر فرسایش‌پذیری خاک تأثیرگذار باشد. همچنین درجه شیب با اثر بر روی میزان آبدوی، شدت نفوذ، زهکشی و نگهداری رطوبت بسیاری از خصوصیات خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی دیگر از عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک ماده مادری و جنس سنگ می‌باشد. اصطلاحاتی از قبیل خاک‌های گرانیتی و خاک‌های لسی نشان‌دهنده اهمیت ماده مادری در تشکیل خاک دارد. خاک‌های حاصل از سنگ‌های مختلف دارای تفاوت قابل ملاحظه‌ای از نظر ماده‌آلی، نفوذپذیری، بافت خاک، پایداری خاکدانه‌ها و ... می‌باشد که این عوامل به نوبه‌ی خود باعث تفاوت در میزان پوشش گیاهی و در نتیجه تفاوت در فرسایش‌پذیری می‌شود. خاک‌های حاصل از جنس سنگ آهک دلیل دارا بودن درصد کربنات کلسیم بالا دارای پوشش گیاهی و ماده آلی کمتر می‌باشد. مطالعات محققان مختلف نشان‌دهنده جوان و درشت بافت بودن خاک‌های حاصل از تشکیلات آهکی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد (نوروزی فرد و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین خاک‌های حاصل از جنس سنگ مارن بدلیل وجود رس زیاد و نفوذپذیری کم شرایط و ناپایدار قابلیت دارا بودن پوشش گیاهی را ندارند و فرسایش‌پذیری بالایی دارند. ترکیب کانی‌شناسی ماسه سنگ تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات خاک‌های حاصل از آن دارد به عنوان مثال خاک‌های رسی می‌توانند از ماسه سنگ‌های آرکوزی که فلدسپار آنها بیش از ۲۵ درصد باشد، تشکیل شود (Buol et al, 2003). خاک‌های حاصل از جنس سنگ شیل به شدت به عامل سیمانی شدن این سنگ‌ها بستگی دارد و این خاک‌ها به دلیل سهولت در هوازگی و پوشش گیاهی نسبتاً خوب دارای عمق زیادی هستند و به طور کلی مقاومت شیل‌ها در برابر فرسایش‌پذیری به میزان هوادیدگی این سنگ‌ها بستگی دارد (Schaeztl and Anderson, 2005). گرانیت از جمله سنگ‌های آذرین درونی می‌باشد که به دلیل سختی کانی‌های تشکیل دهنده و تخلخل پایین سنگی مقاوم در برابر فرسایش است و خاک‌های حاصل از این جنس سنگ نیز دارای مقاومت بالایی در برابر فرسایش می‌باشد. همچنین بدلیل وجود پوشش گیاهی موجود بر روی این خاک‌ها انتظار می‌رود فرسایش‌پذیری این خاک‌ها نیز پایین باشد.

با توجه به مطالب گفته‌شده مشخص می‌شود عوامل متعددی بر فرسایش‌پذیری خاک تأثیرگذار است و بررسی هم‌زمان تمام این عوامل کاری دشوار است. همچنین استفاده از مدل‌های تجربی برآورد فرسایش خاک کاری زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد و هرکدام از مدل‌ها برای مناطقی کاربرد دارد که در آن منطقه کالیبره شده است؛ بنابراین استفاده از شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک و معادلات برآوردی این شاخص امری اجتناب‌ناپذیر است. از آنجاکه یکی از کامل‌ترین پایگاه داده‌های مکانی موجود در کشور داده‌های مربوط به سنگ‌شناسی است و یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک نیز تشکیلات مادری می‌باشد، بررسی حساسیت خاک‌های حاصل از تشکیلات زمین‌شناسی متفاوت می‌تواند کمک مناسبی به تخمین دقیق‌تر حساسیت به فرسایش و میزان آن در کشور کند؛ بنابراین هدف اصلی از این مطالعه بررسی تغییرات فرسایش‌پذیری خاک به روش EPIC و خصوصیات فیزیکی مؤثر بر آن در جنس سنگ‌های مختلف در اراضی اطراف مشهد در سه کلاس شیب و مقایسه حداقل یکی از این جنس سنگ‌ها در دو اقلیم متفاوت می‌باشد.

## پیشینه پژوهش

نظامی و قدرتی (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی تأثیر کاربری اراضی و شیب در ضریب فرسایش‌پذیری خاک در اراضی مرتعی پرداختند. فرسایش‌پذیری خاک به‌وسیله نمودار ویشمایر و اسمیت در خاک‌های منطقه دشت طالقان در شیب‌های مختلف کاربری مراتع تعیین شد و اثرات کاربری اراضی و شیب و اثر متقابل این دو عامل بر فرسایش‌پذیری خاک موردبررسی قرار گرفت. اراضی شامل مرتع در سه کلاس ۸-۳٪، ۸-۱۸٪ و ۱۸ تا ۴۰٪ انتخاب و نمونه‌های خاک با سه تکرار جمع‌آوری شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد فرسایش‌پذیری در کاربری

مرتج با افزایش درصد شیب افزایش می‌یابد که این افزایش از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش درصد شیب زمین‌های واقع در شیب ۸ تا ۱۸ درصد بالاترین مقدار فرسایش پذیری را داشتند که این نتیجه نشان‌دهنده وضعیت بحرانی در این کلاس شیب است. زمین‌های واقع در شیب ۱۸ تا ۴۰ درصد کمترین مقدار فرسایش پذیری را داشتند که نشان‌دهنده رخداد فرسایش در زمان‌های گذشته است.

صالحی محمدرضا (۱۳۹۳) در تحقیقی با عنوان مقایسه فرسایش‌پذیری خاک‌های حاصل از دو ماده مادری سنگ‌آهک و مارن در کاربری‌های مرتج و دیم در منطقه چشمه‌علی استان چهارمحال و بختیاری اقدام به جمع‌آوری ۸۰ نمونه خاک کردند. بافت خاک، درصد سنگریزه، جرم مخصوص ظاهری، مقاومت برشی مستقیم، پایداری خاکدانه‌ها در حالت تر، فاکتور فرسایش‌پذیری، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد مقاومت برشی در سنگ‌آهک بسیار بیشتر از مارن است و در هر دو ماده مادری، کاربری مرتج مقاومت برشی بالاتری از کاربری دیم داشت. مقدار جرم مخصوص ظاهری، ماده آلی خاک و پایداری خاکدانه برای ماده مادری سنگ‌آهک به‌طور معنی‌داری بیشتر از مارن بود درحالی‌که فاکتور فرسایش‌پذیری و کربنات کلسیم معادل در خاک‌های مارن بیشتر بود. در دو ماده مادری در اثر تغییر کاربری مرتج به دیم؛ میزان ضریب فرسایش‌پذیری در کاربری دیم به‌طور معنی‌داری بیشتر مشاهده گردید درحالی‌که درصد سنگریزه، جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه و ماده آلی در کاربری مرتج به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاربری دیم بود. امیدوار و همکاران (۱۳۹۴) به‌منظور بررسی قابلیت استفاده از نقشه خاک برای برآورد تغییرات مکانی فاکتور فرسایش‌پذیری خاک با مطالعه‌ای در حوضه داراب کلا در استان مازندران به این نتیجه رسیدند که از بین پارامترهای برآورد کننده فاکتور فرسایش‌پذیری خاک درصد سیلت، ساختمان خاک و نفوذپذیری اختلاف معناداری در برخی از تیپ‌های خاک داشته و در مورد سایر پارامترها و فاکتور K اختلاف معناداری وجود نداشت؛ بنابراین در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که نقشه‌های معمولی تیپ‌های خاک در منطقه مورد مطالعه، قابلیت استفاده برای محاسبه فاکتور فرسایش‌پذیری خاک را ندارند.

فرج دخت و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی تأثیر دو عامل محیطی شیب و ارتفاع زمین بر شاخص فرسایش‌پذیری خاک در معادله جهانی فرسایش خاک را در منطقه ملا احمد اردبیل مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که تغییرات ارتفاع منطقه تأثیر معنی‌داری بر عامل فرسایش‌پذیری ندارد و تنها در طبقه ارتفاعی بیشتر از ۱۷۵۰ متر این تأثیر معنی‌دار بود. این در حالی است که افزایش شیب منطقه مرتباً موجب افزایش فرسایش‌پذیری خاک گردید و اراضی با شیب ۰-۲ و ۲-۵ درصد کمترین میزان فرسایش‌پذیری را دارا بودند.

Wang et al. (2018) در پژوهشی در فلات لس به کمی‌سازی جامع اثرات پنج کاربری معمول اراضی (زمین زراعی، باغ، علفزار، بوته‌زار و جنگل) بر فرسایش‌پذیری خاک بر اساس پارامترهای چسبندگی خاک (Coh)، هدایت اشباع (Ks)، تعداد ضربه قطره (NDI)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، مقاومت فروری خاک (PR) و عامل فرسایش‌پذیری خاک از جنبه‌های مختلف و همچنین شاخص جامع فرسایش‌پذیری خاک (CSEI) تولیدشده با روش جمع‌بندی وزنی پرداختند. نتایج نشان داد که Coh از مرتج، Ks از جنگل و MWD و NDI از بوته‌زار حداکثر، درحالی‌که PR از جنگل و K از بوته‌زار در بین پنج کاربری آزمایش‌شده حداقل بود. فرسایش‌پذیری خاک (منعکس‌شده توسط CSEI) بوته‌زارها حداقل بود، درحالی‌که زمین‌های زراعی حداکثر CSEI را داشتند. در مقایسه با زمین‌های زراعی، فرسایش‌پذیری خاک به ترتیب برای باغ، مرتج، بوته‌زار و جنگل به ترتیب ۱۵/۵ و ۵۳/۰ و ۷۷/۲ و ۵۹/۶ درصد کاهش یافت. تغییر در فرسایش‌پذیری خاک تحت کاربری‌های مختلف زمین با ویژگی‌های خاک سطحی مرتبط بود.

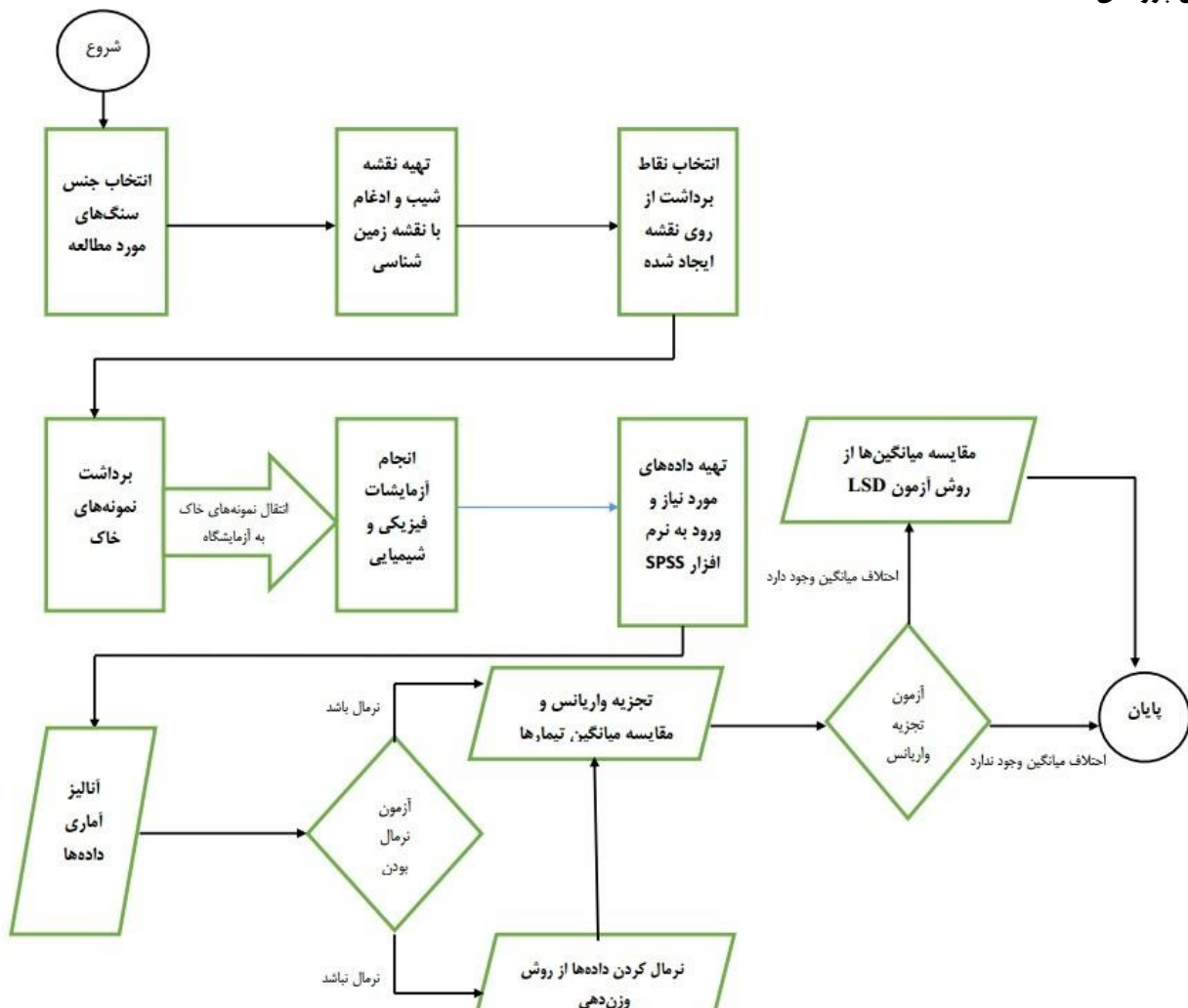
Yao et al. (2022) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر پایداری خاکدانه‌ها، فرسایش‌پذیری خاک و میزان مواد مغذی در برابر بارش‌های شدید در فلات چین پرداختند. آن‌ها در این مطالعه ۱۵ خاک با میزان رس در محدوده ۱۲/۹-۳۸/۲ درصد انتخاب کردند و ویژگی‌های فرسایش خاک و نسبت‌های کربن آلی (EROC) و نیتروژن (ERN) را طی ۳ شبیه‌سازی بارش متوالی در شیب ۱۵ درجه و شدت ۱۲۰ میلی‌متر در ساعت اندازه‌گیری کردند. توزیع خاکدانه‌های پایدار در برابر آب برای خاک قبل و بعد از بارندگی و خشک شدن اندازه‌گیری شد. نتایج آن‌ها بیانگر این موضوع بود که میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌های پایدار در برابر آب قبل (۰/۱۸۲ ± ۱/۴۷۶) و پس از بارندگی و خشک شدن (۰/۱۳۵ ± ۱/۴۰۶ میلی‌متر) بدون تغییر باقی ماند، اما برای خاک‌هایی با محتوای کربن آلی بالاتر، کاهش یافت. فرسایش‌پذیری خاک در ۳ بارندگی متوالی به ترتیب ۰/۰۰۳ ± ۰/۰۱۸، ۰/۰۰۱ ± ۰/۰۱۱ و ۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۸ بود که به ترتیب با ۴۲٪ و ۲۷٪ کاهش پس از هر رویداد مواجه شد که این کاهش برای خاک‌های کم تراکم یا خاک‌های درشت‌تر بیشتر بود. EROC و ERN نزدیک به ۱ بودند و با محتوای خاک رس یا MWD همبستگی نداشتند؛ به‌طوری‌که ERN ابتدا کاهش یافت و سپس ثابت ماند و EROC

در طول بارندگی‌های متوالی بدون تغییر باقی ماند. این نتایج نشان داد که بافت یا وضعیت تجمع خاک بر فرسایش‌پذیری خاک و تغییرات زمانی آن در طوفان‌های متوالی تأثیر می‌گذارد.

Wang et al. (2022) در مطالعه‌ای در مراتع آلپ به بررسی توزیع اندازه ذرات خاک (PSD) و تأثیر آن بر سطوح مواد مغذی و فرسایش‌پذیری خاک در سه نوع مرتع با خاک متفاوت پرداختند. خصوصیات چند فرکتالی توزیع اندازه ذرات با استفاده از تئوری مقیاس فرکتال محاسبه شد. مطالعات آن‌ها در سه نوع مرتع چمن‌زار آلپ (AM) استپ آلپ (AS) و استپ بیابانی آلپ (ADS) انجام شد و اقدامات مدیریت چرا و حصارکشی در سایت‌های حاوی هر نوع خاک انجام شد. توزیع اندازه ذرات خاک، فرسایش‌پذیری خاک و سایر خصوصیات خاک در لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. مشاهدات آن‌ها نشان داد اقدامات مدیریتی چرا و حصارکشی به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر میزان فرسایش‌پذیری خاک مؤثر است در حالی که نوع مرتع به‌طور قابل توجهی بر مواد مغذی خاک و توزیع اندازه ذرات خاک تأثیرگذار است. مراتع AM سطح کربن آلی و نیتروژن بالاتری نسبت به AS و ADS داشتند.

همانطور که ملاحظه کردید در پژوهش‌های انجام‌شده اقدام به‌اندازه‌گیری فرسایش‌پذیری خاک در سطح کلان شده است و طبقه‌بندی‌های صورت گرفته با پارامترهای محدود از قبیل توزیع اندازه ذرات، تنش برشی بحرانی، نفوذپذیری خاک و بافت خاک صورت گرفته است. اگرچه در برخی از پژوهش‌های گذشته اثر شیب بر فرسایش‌پذیری مورد بررسی قرار گرفته است، اما تاکنون هیچ پژوهشی به بررسی جامع اثر کلاس‌های شیب در اراضی با مواد مادری متفاوت نپرداخته است. یکی از مهم‌ترین کاستی‌های پژوهش‌های قبلی نادیده گرفتن اثر جنس سنگ مادری در میزان فرسایش‌پذیری خاک می‌باشد و همچنین توجه کم به تغییرات مکانی این پارامتر به‌خصوص در اقلیم‌های گوناگون می‌باشد.

### روش پژوهش



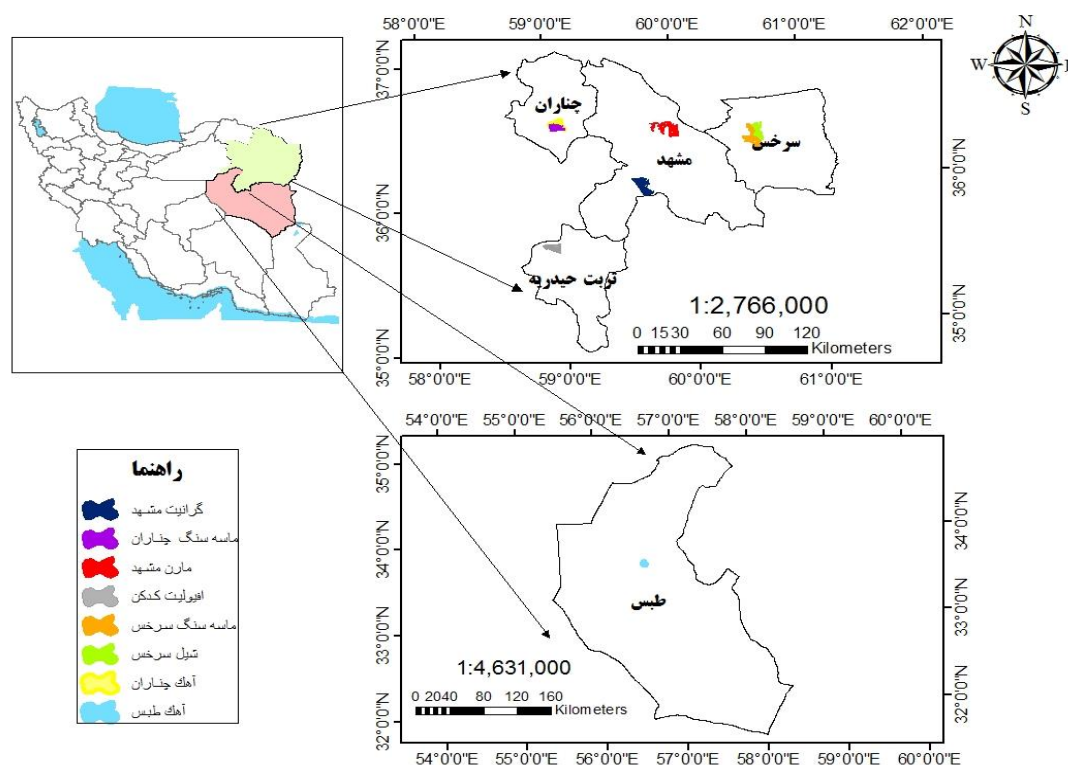
شکل ۱. فلوچارت روش کار مطالعه

### موقعیت منطقه

منطقه مورد مطالعه در دو استان خراسان رضوی و جنوبی در شهرستان‌های مشهد، چناران، سرخس، تربت حیدریه و طبس واقع شده است. محدوده موقعیت جغرافیایی منطقه در استان خراسان رضوی از ۵۸ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و در شهرستان طبس منطقه مورد نظر از ۳۳ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۶ دقیقه طول شمالی و از ۵۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شرقی می‌باشد. لازم به ذکر است آب‌وهوای شهرستان مشهد گرم و نیمه‌خشک و میانگین درجه حرارت آن ۱۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۰۵۰ متر و حداکثر دمای ثبت شده در یک دوره طولانی مدت ۴۳/۸ و حداقل آن ۲۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین نزولات جوی در ارتفاعات و دشت مشهد اختلاف زیادی دارد، به طوری که میانگین بارندگی در ارتفاعات هزار مسجد ۸۰۰ میلی‌متر و در دشت مشهد ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین آب‌وهوای شهرستان طبس گرم و خشک و میانگین درجه حرارت آن ۲۱ درجه سانتی‌گراد است. متوسط ارتفاع از سطح دریا ۷۱۱ متر و حداقل و حداکثر دمای آن به ترتیب ۹ و ۵۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی آن ۱۲۰ میلی‌متر در سال می‌باشد.

### بررسی جنس سنگ‌های منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در هفت جنس سنگ گرانیت، آهک پالئوژن، آهک ژوراسیک، مارن، شیل، ماسه‌سنگ و افیولیت از جنس سنگ‌های نسبتاً خالص استان خراسان رضوی انتخاب شد و یک جنس سنگ آهک پالئوژن نیز جهت مقایسه تفاوت میزان فرسایش پذیری در اقلیم‌های مختلف در شهرستان طبس مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲ موقعیت جغرافیایی جنس سنگ‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲. موقعیت جنس سنگ‌های مورد مطالعه

### برداشت نمونه‌های خاک

در این مطالعه اقدام به برداشت نمونه‌های خاک از سه شیب ۰-۱۰، ۱۰-۲۵ و بیشتر از ۲۵ درصد از لایه سطحی خاک (۲۰-۳۰ سانتی‌متر) شد. برای هر شیب سه تکرار برداشت شده و در مجموع ۷۲ نمونه خاک از کل مناطق مورد مطالعه برداشت شد. تمام نمونه‌ها در اسفند ماه ۱۴۰۰ برداشت شدند. برای یکسان بودن شرایط رطوبتی کل نمونه‌ها از دامنه‌های رو به جنوب برداشت شد. نمونه‌ها بعد از جمع‌آوری برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. انجام آزمایشات در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده منابع طبیعی و محیط



زیست دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

### اندازه‌گیری خصوصیات خاک

خصوصیات اندازه‌گیری شده در این مطالعه شامل بافت خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها<sup>۱</sup> (MWD)، تعداد مؤثر قطره<sup>۲</sup> (NDI)، چسبندگی خاک<sup>۳</sup> (COH)، مقاومت فروروی خاک<sup>۴</sup> (PR)، سله سطحی<sup>۵</sup> (SCF)، هدایت اشباع<sup>۶</sup> (Ks)، کربنات کلسیم معادل<sup>۷</sup> (CaCo3)، ماده آلی<sup>۸</sup> (OM) می‌باشد که در ادامه نحوه اندازه‌گیری هر کدام از آن‌ها شرح داده می‌شود.

در این پژوهش از روش هیدرومتر برای اندازه‌گیری بافت خاک استفاده شد (Bouyoucos, 1962). برای اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از روش تر بر اساس روش Kemper and Rosenau (1987) استفاده شد. برای به دست آوردن پایداری خاکدانه‌ها ابتدا ۵۰۰ گرم خاک را وزن کرده و سپس به آرامی به وسیله فیتیله مرطوب شد. سری الک‌های ۴، ۲، ۱، ۰/۵۰۰، ۰/۲۵۰، ۰/۱۲۵، ۰/۰۶۳ میلی‌متری روی هم گذاشته شد و سینی مربوطه نیز در زیر الک‌ها قرار گرفت. سری الک‌ها درون دستگاه شیکر قرار گرفت و خاک مرطوب شده به آرامی بدون استفاده از دست روی الک ۴ میلی‌متر ریخته شد. بعد از خاموش شدن دستگاه، شیر تخلیه دستگاه باز شده تا آب موجود در مخزن آن کاملاً خالی شود. بعد از خالی شدن آب، الک‌ها را از دستگاه خارج کرده و اجازه داده شد آب موجود روی هر الک به آرامی خالی شود که این کار به دلیل ریز بودن سوراخ‌های الک ۱۲۵ و ۶۳ میکرون زمان زیادی نیاز خواهد داشت. بعد از آن الک‌ها در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. خاک موجود روی هر الک به وسیله ترازو وزن شد و میانگین قطر خاکدانه‌ها نیز از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$MWD = \sum_{i=1}^n (X_i W_i) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن  $X_i$  میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک (میانگین قطر منافذ دو الک متوالی) و  $W_i$  نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاکدانه‌های به کار برده شده در اول آزمایش پس از کسر ذرات شن و سنگریزه که از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$W_i = \frac{W_i - W_{i(s)}}{W_t - \sum_{i=1}^n W_{i(s)}} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن  $W_i$  وزن باقی‌مانده ذرات در دامنه  $i$ ؛  $W_{i(s)}$  وزن ذرات شن و سنگریزه در دامنه  $i$  و  $W_t$  وزن آن خشک خاک می‌باشد. برای به دست آوردن پارامتر تعداد مؤثر قطره نمونه‌های خشک‌شده خاک را بر روی الک ۴/۸ ریخته و تعداد ۶۰ خاکدانه بین الک ۴ و ۴/۸ میلی‌متر به مدت ۲۴ ساعت با آب مقطر مرطوب می‌شود. نمونه‌های مرطوب شده روی الک ۲ میلی‌متر قرار داده شده و قطرات آب از ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متری با قطر حدود ۵ میلی‌متر و تعداد ۵۰ قطره در دقیقه روی خاکدانه‌ها ریخته شد. این عمل تا مختل شدن کامل خاکدانه‌ها و عبور از الک ادامه داده شد و برای هر نمونه این عمل با سه تکرار انجام شد. در نهایت میانگین ارزش ۶۰ خاکدانه به‌عنوان NDI در نظر گرفته شد (Lui and Xu, 2003).

برای به دست آوردن چسبندگی خاک در این مطالعه از دستگاه پره‌ای جیبی<sup>۹</sup> استفاده شد (Lui and Ritsema, 2003). روش کار بدین صورت است که ابتدا توسط یک آب‌پاش باغبانی مکان‌های دست‌نخورده با ابعاد ۰/۵×۰/۵ متر تا ظاهر شدن جریان آب روی آن‌ها، کاملاً مرطوب شد. سپس تیغه‌های دستگاه در خاک فشرده شدند و دستگیره آن به آرامی می‌چرخد تا زمانی که ماتریس خاک از بین برود. سوزن نشانگر حداکثر خواندن را حفظ می‌کند. مقادیر با استفاده از پایه پره‌ای استاندارد مستقیماً از ۰ تا ۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در تقسیم‌بندی‌های ۰/۰۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع روی صفحه‌نمایش داده می‌شوند (۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تقریباً برابر با ۱ Kpa است). قرائت‌ها را می‌توان تا ۰/۰۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع درون‌یابی کرد و در هنگام استفاده از پره‌های بزرگ و کوچک باید عدد

1. mean weight diameter of soil aggregates
2. number of drop impact
3. soil cohesion
4. soil penetration resistance
5. Surface crust factor
6. saturated conductivity
- 7 calcium carbonate
- 8 Organic matter
9. pocket vane tester



قرائت شده در ضریب اصلاحی ضرب شود. آزمایش را در هر مکان با ۲۰ تکرار انجام شد و با توجه به اینکه در هر شیب سه تکرار برداشت شد، میانگین آن‌ها مقدار چسبندگی را نشان داد. در این پژوهش برای اندازه‌گیری مقاومت فروروی خاک از یک دستگاه نفوذسنج جیبی<sup>۱</sup> استفاده شد (Lui and Ritsema, 2003). برای اندازه‌گیری این پارامتر در همان مکان‌های آماده‌شده برای اندازه‌گیری پارامتر چسبندگی خاک، پیستون نفوذی دستگاه با قطر ۰/۲۵ اینچ (۶/۴ میلی‌متر) را به آرامی به داخل سطح خاک فشار داده و زمانی که شیار قرمز رنگ روی پیستون نفوذی به سطح خاک رسید، عددی که نشانگر روی استوانه مدرج نشان می‌دهد یادداشت شد. واحد اعداد بر روی استوانه دستگاه برحسب تن در فوت مربع یا کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد و برای تبدیل آن به واحد مرجع کیلو پاسکال این عدد در ۹۸ ضرب شد تا واحد آن با واحد چسبندگی یکسان شود. در این مطالعه برای به دست آوردن سله سطحی از میزان درصد رس و درصد ماده آلی نمونه‌های خاک استفاده شد که از طریق رابطه ۳ به دست آمد (Fryrear et al, 2000).

$$SCF = \frac{1}{1 + 0.0066 \times clay + 0.21 \times som} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این معادله SCF سله سطحی به میلی‌متر، clay درصد رس و SOM درصد ماده آلی خاک می‌باشد.

در این تحقیق برای اندازه‌گیری پارامتر Ks از روش تک استوانه (Haverkamp et al. (1996) که در منطقه برداشت صورت می‌گیرد استفاده شد که روش کار بدین صورت است که لوله‌ای به قطر ۱۱ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر به میزان ۵ سانتی‌متر در داخل خاک فروروده شد، سطح خاک قبل از قرار دادن لوله از بقایای ریشه و برگ گیاهان پاک‌سازی شد و حدالمقدور سطح انتخاب شده صاف بود. ۲۵۰ میلی‌لیتر آب را به آرامی درون لوله ریخته و به گونه‌ای این کار را انجام داده که باعث به هم خوردن سطح خاک نشود و ساختمان خاک را از بین نبرد. از زمان اضافه کردن آب به لوله کرنومتر زده شد و زمان نفوذ کامل آب اندازه‌گیری شد. پس از نفوذ کامل آب دوباره ۲۵۰ میلی‌متر آب مانند نوبت اول به لوله اضافه شد و دوباره زمان نفوذ کامل آب را اندازه‌گیری شده و این کار را تا زمانی که زمان دو تکرار متوالی نفوذ آب باهم یکسان شد یا اختلاف آن ناچیز شد ادامه داده و این زمان برای انجام محاسبه مدنظر قرار گرفت. برای اطمینان از صحت نتایج آزمایش با سه تکرار برای هر مکان انجام شد. با توجه به اینکه ارتفاع آب درون لوله بعد از اضافه کردن ۲۵۰ میلی‌متر آب، ۶ سانتی‌متر (۶۰ میلی‌متر) بود با استفاده از رابطه زیر مقدار پارامتر هدایت اشباع به دست آمد.

$$Ks = \frac{h_w}{t} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن Ks هدایت اشباع،  $h_w$  ارتفاع آب درون لوله که در همه مکان‌ها مقدار ثابت ۶ سانتی‌متر بوده و t مدت زمان نفوذ آب به داخل خاک برحسب دقیقه خواهد بود. در این پژوهش از روش تیتراسیون برگشتی توسط اسیدسولفوریک غلیظ برای به دست آوردن ماده آلی (Black and Walkley, 1993) و کربنات کلسیم معادل نیز بوسیله خنثی کردن کربنات‌های خاک با اسیدکلریدریک و تیتراسیون برگشتی اسید اضافی با سدیم هیدروکسید یا سود (Leoppert et al, 1994) استفاده شد.

#### اندازه‌گیری پارامتر فرسایش‌پذیری خاک (K)

فرسایش‌پذیری خاک بیانگر حساسیت ذاتی آن به فرسایش است. از آنجا که اندازه‌گیری عامل فرسایش‌پذیری به‌طور مستقیم زمان‌بر و پرهزینه است از مدل‌های برآوردی برای تخمین آن استفاده می‌شود. در این تحقیق با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری شده و صحت و اعتماد بالای مدل EPIC از معادله آن برای به دست آوردن فرسایش‌پذیری خاک استفاده شد که معادله EPIC به‌صورت زیر است (Williams et al. (1984):

$$K_{epic} = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 Sa \left( 1 - \frac{Si}{100} \right)] \right\} \left( \frac{Si}{Cl+Si} \right)^{0.3} \left( 1.0 - \frac{0.25 C}{C + \exp(3.72 - 2.95 C)} \right) \times \left( 1.0 - \frac{0.7 SN1}{SN1 + \exp(-5.51 + 29.9 SN1)} \right) \quad \text{رابطه ۵}$$

که در اینجا Sa درصد شن، Si درصد سیلت، cl درصد رس،  $SN^1 = 1 - sa/100$  و C درصد کربن آلی خاک می‌باشد.

#### محاسبه شاخص جامع فرسایش‌پذیری (CSEI)

برای بررسی بیشتر اثر پارامترهای فیزیکی خاک بر فرسایش‌پذیری خاک از شاخص جامع فرسایش‌پذیری (CSEI) خاک استفاده شد که فرمول محاسبه آن به‌صورت رابطه ۶ می‌باشد (wang et al, 2019):

رابطه ۶

$$CSEI = \sum_{i=1}^n K_i C_i$$

در اینجا  $K_i$  وزن پارامتر موردنظر خاک،  $i$  تعداد پارامترهای موردنظر در مطالعه (در اینجا هفت)،  $C_i$  نمره شاخص موردنظر که رتبه عدد شاخص را در بین محدوده پارامتر موردنظر نشان می‌دهد و  $K_i.C_i$  بیانگر سهم این پارامتر در فرسایش پذیری خاک است. از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای تعیین وزن شاخص موردنظر استفاده شد که این عدد نشان دهنده اهمیت این شاخص در فرسایش پذیری خاک می‌باشد. روش به دست آوردن وزن شاخص موردنظر بدین صورت است که ابتدا ارتباط شاخص‌های موردنظر برای هر کدام از شاخص‌ها به وسیله آزمون رگرسیون خطی ساده به دست می‌آید و سپس هر کدام از این ارتباطات بر مجموع ارتباط هفت شاخص موردنظر تقسیم می‌شود و عدد به دست آمده میزان  $K_i$  را برای شاخص موردنظر نشان می‌دهد. نمره هر شاخص نیز به رابطه همبستگی آن شاخص با عامل فرسایش پذیری خاک و بزرگی شاخص موردنظر بستگی دارد، چنانچه شاخص موردنظر با عامل فرسایش پذیری ( $K$ ) همبستگی مثبت داشته باشد از رابطه ۷ و اگر شاخص موردنظر با عامل  $K$  همبستگی منفی داشته باشد از رابطه ۸ استفاده خواهد شد.

$$u(x) = \begin{cases} 1 & x \geq b \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ 0 & x \leq a \end{cases} \quad \text{رابطه ۷}$$

$$u(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & x \leq b \\ \frac{x-a}{b-a} & a > x > b \\ 0 & x > a \end{cases} \quad \text{رابطه ۸}$$

در اینجا  $u(x)$  تابع عضویت نمره شاخص موردبررسی،  $a$  و  $b$  در رابطه مستقیم به ترتیب حد پایین و بالای شاخص و در رابطه معکوس حد بالا و پایین شاخص موردنظر می‌باشد. در تمام جنس سنگ‌های موردبررسی پس از محاسبه نمره شاخص برای هر نمونه خاک، مجموع حاصل ضرب نمره شاخص موردنظر در وزن شاخص محاسبه شده و عدد شاخص جامع فرسایش پذیری خاک برای هر جنس سنگ از میانگین نتایج به دست آمده برای آن شاخص محاسبه می‌شود. آنالیز آماری تیمارها شامل آزمون نرمال بودن داده‌ها، مقایسه میانگین تیمارها و همبستگی آن‌ها به وسیله نرم افزار IMB SPSS Statistics 22 انجام شد.

## یافته‌های پژوهشی

### ویژگی‌های پارامترهای موردبررسی

در جدول ۱ ویژگی‌های متغیرهای موردبررسی شامل بیشترین و کمترین مقدار متغیر، میانگین، انحراف معیار، واریانس، چولگی و کشیدگی برای ۷۲ نمونه مورد بررسی آمده است.

جدول ۱. ویژگی متغیرهای مورد بررسی

متغیر	بیشترین	کمترین	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
رس (%)	۵۰/۰۰	۱۱/۰۰	۲۲/۵۹	۸/۶۵	۷۴/۸۳	۱/۶۴	۲/۵۳
سیلت (%)	۵۶/۰۰	۲/۰۰	۳۱/۰۴	۱۲/۶۷	۱۶۰/۶۶	-۰/۰۱	-۰/۶۹
شن (%)	۷۷/۰۰	۱۵/۰۰	۴۶/۳۶	۱۵/۰۸	۲۲۷/۶۹	-۰/۱۰	-۰/۷۹
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)	۱/۲۱	-۰/۳۱	-۰/۶۸	-۰/۲۲	-۰/۰۵	-۰/۴۳	-۰/۵۹
تعداد موثر قطره	۵۷/۶۶	۲۲/۰۰	۳۹/۱۹	۷/۸۶	۶۱/۸۱	-۰/۰۹	-۰/۶۱
سله سطحی (mm)	۱۷/۷۱	۲/۷۷	۵/۵۴	۳/۳۷	۱۱/۳۹	۲/۴۲	۵/۵۹
مقاومت فروروی خاک (Kpa)	۲۲۹/۰۷	۲۷/۹۳	۱۰۹/۸۹	۵۰/۵۹	۲۵۵۹/۵۸	-۰/۵۲	-۰/۲۲
چسبندگی خاک (Kpa)	۲۰/۳۴	۱/۲۳	۶/۷۸	۳/۹۶	۱۵/۷۱	۱/۱۳	۱/۸۳
هدایت اشباع (cm/min)	-۰/۳۶	-۰/۰۸	-۰/۲۰	-۰/۷۴	-۰/۰۵	-۰/۱۲	-۱/۰۱
ماده آلی (%)	۲/۶۸	-۰/۶۷	۱/۷۵	-۰/۴۵	-۰/۲۰	-۰/۱۷	-۰/۴۷
کربنات کلسیم (%)	۶۳/۷۵	۱۲/۵۰	۲۷/۹۵	۱۲/۸۴	۱۶۵/۰۲	۱/۱۸	-۰/۶۱
فرسایش پذیری (ton ha h/ ha MJ mm)	۱/۲۸	-۰/۴۳	-۰/۹۲	-۰/۱۷	-۰/۰۲	-۰/۳۱	-۰/۱۰

## آزمون نرمال بودن پارامترهای موردبررسی

از آنجا که متغیرهای درصد رس، کربنات کلسیم، سله سطحی و چسبندگی خاک از توزیع نرمال پیروی نمی‌کردند، به وسیله روش وزن‌دهی (با شرط ثابت بودن میانگین و انحراف معیار) اقدام به نرمال‌سازی داده‌ها شد.

## تجزیه واریانس متغیرهای مورد مطالعه

جدول ۲ نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس را برای متغیرهای مورد بررسی نشان می‌دهد.

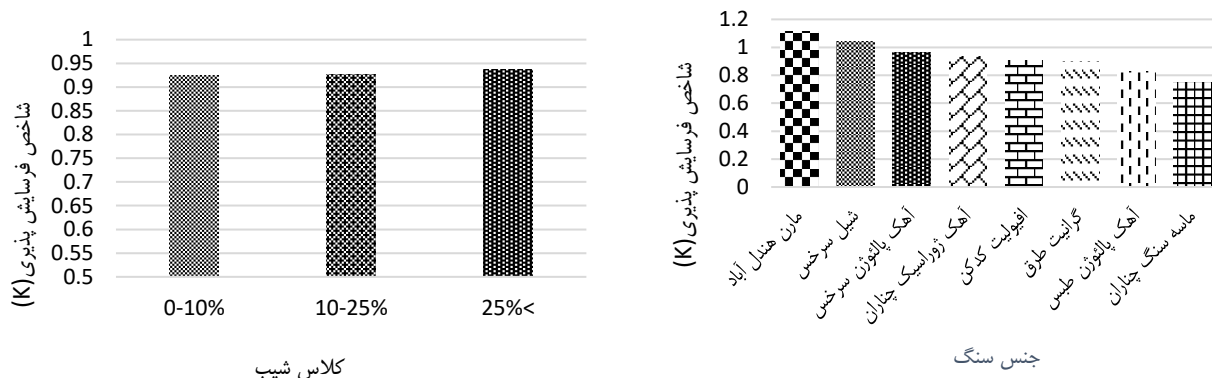
**جدول ۲. آزمون تجزیه واریانس برای متغیرهای مورد بررسی**

پارامتر	ورودی	درجه آزادی	میانگین مربعات	معنی‌داری
شن (%)	جنس سنگ	۷	۱۱۷۷/۱۹۸	۰/۰۰۰
	شیب	۲	۴۸/۳۸۹	۰/۳۹۹
رس (%)	جنس سنگ	۷	۳۵۲/۰۴۴	۰/۰۰۰
	شیب	۲	۵۳/۷۸۹	۰/۱۶۹
سیلت (%)	جنس سنگ	۷	۵۶۱/۴۹۰	۰/۰۰۰
	شیب	۲	۵۲/۱۶۷	۰/۴۳۷
ماده آلی (%)	جنس سنگ	۷	۰/۹۷۶	۰/۰۰۰
	شیب	۲	۰/۹۲۵	۰/۰۰۰
کربنات کلسیم (%)	جنس سنگ	۷	۱۳۴۴/۷۸۱	۰/۰۰۰
	شیب	۲	۸۹/۷۳۲	۰/۰۲۲
چسبندگی خاک (Kpa)	جنس سنگ	۷	۱۱۰/۴۵۸	۰/۰۰۰
	شیب	۲	۱۱۷/۰۴۰	۰/۰۰۰
مقاومت فروری خاک (Kpa)	جنس سنگ	۷	۱۶۱۰۵/۲۳۵	۰/۰۰۰
	شیب	۲	۷۱۹۴/۰۵۰	۰/۰۰۰
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)	جنس سنگ	۷	۰/۳۳۰	۰/۰۰۰
	شیب	۲	۰/۳۱۸	۰/۰۰۰
تعداد موثر قطره	جنس سنگ	۷	۳۲۶/۶۲۷	۰/۰۰۰
	شیب	۲	۳۷۹/۵۳۲	۰/۰۰۰
سله سطحی (mm)	جنس سنگ	۷	۴۴/۱۳۵	۰/۰۰۰
	شیب	۲	۱۳/۵۶۸	۰/۰۷۳
هدایت اشباع (cm/min)	جنس سنگ	۷	۰/۰۳۱	۰/۰۰۰
	شیب	۲	۰/۰۰۷	۰/۰۳۳

نتایج حاصل از جدول ۲ نشان می‌دهد تمام متغیرهای موردبررسی در جنس سنگ‌های مختلف در سطح یک درصد ( $p < 0.001$ ) دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد. متغیرهای درصد شن، درصد رس، درصد سیلت، سله سطحی و فرسایش‌پذیری خاک در شیب‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری نیستند. سایر متغیرها در سطح ۵ درصد در شیب‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند.

## نتایج حاصل از اندازه‌گیری عامل فرسایش‌پذیری خاک

در این پژوهش اندازه‌گیری شاخص فرسایش‌پذیری خاک (عامل K) با استفاده از معادله EPIC صورت گرفت که در محاسبه آن پارامترهای درصد سیلت، رس و شن و ماده آلی نقش مستقیمی دارد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری عامل K در جنس سنگ و شیب‌های مختلف در شکل ۳ آمده است. فرسایش‌پذیری خاک در جنس سنگ‌های مختلف با دارا بودن دامنه‌ای به میزان ۰/۸۲ تن هکتار ساعت در هکتار مگاژول میلی‌متر دارای تغییرات قابل توجهی می‌باشد، به طوری که بیشترین میزان عامل K در جنس سنگ مارن با مقدار ۱/۱۵ تن هکتار ساعت در هکتار مگاژول میلی‌متر و کمترین مقدار آن در جنس سنگ ماسه‌سنگ چناران با مقدار ۰/۷۴ تن هکتار ساعت در هکتار مگاژول میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۳. نتایج حاصل از اندازه گیری عامل فرسایش پذیری خاک در جنس سنگ و شیب‌های مختلف

همچنین همان‌طور که از شکل ۳ مشخص است بیشترین مقدار فرسایش‌پذیری خاک در کلاس شیب زیاد با مقدار ۰/۹۳۸ و کمترین مقدار آن در کلاس شیب پایین با میزان ۰/۹۲۴ تن هکتار ساعت در هکتار مگاژول میلی‌متر می‌باشد. برای بررسی تأثیر میزان تیمارهای جنس سنگ و شیب و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار عامل K از آزمون آنالیز واریانس با طرح کاملاً تصادفی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. آزمون تجزیه واریانس برای شاخص فرسایش‌پذیری خاک

معنی‌داری	آماره F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات نوع سوم	ورودی
۰/۰۰۰	۱۰/۷۶۴	۰/۱۲۱	۷	۰/۸۶۴	جنس سنگ
۰/۸۹۳	۰/۱۱۴	۰/۰۰۱	۲	۰/۰۰۳	شیب
۰/۰۰۰	۵۵۳۸/۱۹۲	۶۲/۱۷۸	۱	۶۲/۱۷۸	تکرار
۰/۰۰۰	۴/۳۵۱	۰/۰۴۹	۱۴	۰/۵۸۴	اثر متقابل جنس سنگ و شیب
		۰/۰۱۱	۴۸	۰/۵۳۹	خطا
			۷۱	۲/۰۷۱	مجموع اصلاح‌شده

همان‌طور که از جدول ۳ مشخص می‌شود عامل جنس سنگ در فاکتور فرسایش‌پذیری خاک کاملاً تأثیرگذار بوده و در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد، درحالی‌که کلاس شیب‌های مورد مطالعه که در سه کلاس شیب ۱۰-۰ در صد، ۲۵-۱۰ درصد و بیشتر از ۲۵ درصد طبقه‌بندی شده بود در فاکتور فرسایش‌پذیری با درجه آزادی ۰/۸۹۳ تأثیرگذار نبوده است.

#### همبستگی بین عامل فرسایش‌پذیری خاک با متغیرهای مورد بررسی

نتایج حاصل از همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی با عامل فرسایش‌پذیری خاک به روش پیرسون در جدول آمده است.

جدول ۴. همبستگی بین عامل فرسایش‌پذیری خاک با متغیرهای مورد بررسی

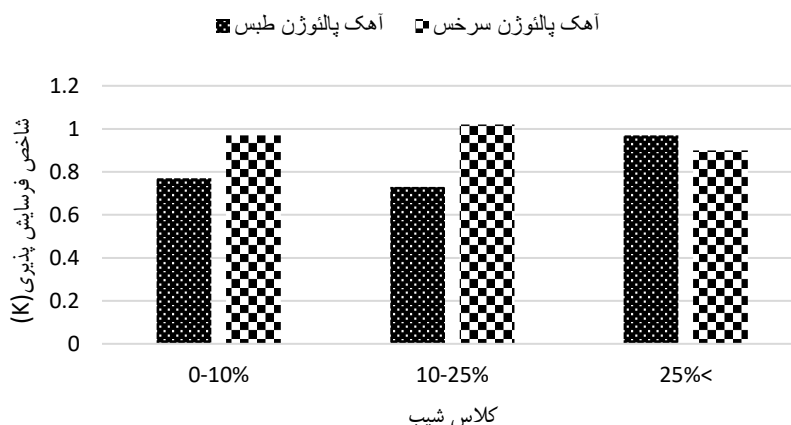
متغیر	سیلت (%)	رس (%)	شن (%)	ماده آلی (%)	کربنات کلسیم (%)	تعداد موثر قطره	سله سطحی (mm)	چسبندگی خاک (Kpa)	مقاومت فروروی خاک (Kpa)	هدایت اشباع (cm/min)	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)
همبستگی r	۰/۹۲۹	۰/۱۶۷	-۰/۸۸۴	-۰/۴۷۷	۰/۰۴۵	-۰/۲۷۰	۰/۰۴۵	-۰/۱۲۹	-۰/۲۶۳	۰/۰۹۵	-۰/۳۷۶
معنی‌داری p	۰/۰۰۰	۰/۱۶۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۷۱۰	۰/۰۲۲	۰/۷۰۷	۰/۲۸۲	۰/۰۲۶	۰/۴۲۶	۰/۰۰۱

با توجه به جدول ۴ مشخص می‌شود عامل فرسایش‌پذیری خاک با درصد سیلت ارتباط معنی‌دار ( $p \leq ۰/۰۰۱$ ) و مستقیمی دارد، بدین معنی که با افزایش درصد سیلت میزان فرسایش‌پذیری خاک نیز افزایش می‌یابد. درصد شن با عامل فرسایش‌پذیری رابطه معکوس و معناداری دارد ( $r = -۰/۸۸۴$ ,  $p < ۰/۰۰۱$ ). پارامترهای تعداد موثر قطره و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها که جزو شاخص‌های پایداری

خاکدانه‌ها محسوب می‌شوند، با عامل فرسایش پذیری رابطه معکوس و معناداری دارد. درصد ماده آلی رابطه معکوس و معناداری ( $p < 0.001$ ) با مقدار فرسایش پذیری خاک دارد.

#### مقایسه شاخص فرسایش پذیری خاک در دو اقلیم مختلف

همان‌طور که قبلاً گفته شد برای مقایسه عامل فرسایش پذیری خاک در دو آب‌وهوای مختلف، جنس سنگ‌آهک پالئوژن طیس انتخاب شد. نتایج حاصل از بررسی عامل فرسایش پذیری خاک در دو جنس سنگ‌آهک پالئوژن طیس و آهک پالئوژن سرخس در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. فرسایش پذیری خاک در دو جنس سنگ‌آهک پالئوژن در دو اقلیم خشک و نیمه خشک به تفکیک شیب

میانگین فرسایش پذیری خاک در جنس سنگ‌آهک پالئوژن سرخس با مقدار  $0.96$  تن هکتار ساعت بر هکتار مگاژول میلی‌متر بیشتر از میانگین فرسایش پذیری خاک در جنس سنگ‌آهک پالئوژن طیس با مقدار  $0.83$  تن هکتار ساعت بر هکتار مگاژول میلی‌متر می‌باشد. همچنین با توجه به شکل مشخص می‌شود که در جنس سنگ‌آهک پالئوژن طیس که در آب‌وهوای خشک قرار دارد، بیشترین میزان فرسایش پذیری در شیب زیاد می‌باشد در حالی که در جنس سنگ‌آهک پالئوژن سرخس شیب زیاد دارای کمترین میزان فرسایش پذیری از بین سه کلاس شیب می‌باشد. برای مقایسه فرسایش پذیری خاک در دو اقلیم مختلف از آزمون تی مستقل استفاده شد که نتایج آن در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵. آزمون تی مستقل برای بررسی میانگین فرسایش پذیری در دو اقلیم مختلف

آزمون لوین برای برابری واریانس‌ها		آزمون t برای برابری میانگین‌ها			تفاوت خطای	
آماره F	معناداری	آماره t	درجه آزادی	تفاوت میانگین‌ها	انحراف معیار	
0.143	0.710	-2/512	16	-0.13688	0.5449	فرض برابری واریانس‌ها
		-2/512	15/372	-0.13688	0.5449	فرض نابرابری واریانس‌ها

همان‌طور که از جدول ۵ مشخص می‌شود با فرض برابری واریانس‌ها، میانگین فرسایش پذیری در جنس سنگ‌آهک پالئوژن سرخس با مقدار  $0.96 \pm 0.10$  بیشتر از میانگین فرسایش پذیری خاک در جنس سنگ‌آهک پالئوژن طیس با مقدار  $0.82 \pm 0.12$  در سطح معنی‌داری ۵ درصد ( $\text{sig} = 0.023$ ) می‌باشد ( $t(16) = -2/512, p < 0.05$ ).

#### محاسبه شاخص فرسایش پذیری جامع خاک (CSEI)

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر فرسایش پذیری خاک، یک شاخص فرسایش پذیری جامع با روش جمع‌بندی وزنی برای هر جنس سنگ محاسبه شد. این شاخص اثر پارامترهای PR، COH، MWD، NDI، Ks، SCF و K که نشان‌دهنده خصوصیات ذاتی خاک می‌باشند را بر عامل فرسایش پذیری نشان می‌دهد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص جامع فرسایش پذیری خاک برای هر جنس سنگ در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶. شاخص جامع فرسایش پذیری خاک در جنس سنگ‌های مختلف

شاخص	گرانیت	آهک پالئوژن طبس	مارن	آهک چناران	ماسه سنگ چناران	شیل سرخس	آهک پالئوژن سرخس	افیولیت
CSEI	۰/۶۴۱	۰/۴۶۶	۰/۲۹۷	۰/۴۸۷	۰/۵۸۶	۰/۲۵۳	۰/۵۱۸	۰/۴۷۳

میزان کاهش فرسایش پذیری خاک منعکس شده توسط شاخص CSEI در جنس سنگ‌های گرانیت، ماسه سنگ چناران، آهک پالئوژن سرخس، آهک چناران، افیولیت، آهک پالئوژن طبس، مارن و شیل به ترتیب ۶۴/۱، ۵۸/۶، ۵۱/۸، ۴۸/۷، ۴۷/۳، ۴۶/۶، ۲۹/۷ و ۲۵/۳ درصد بوده است.

## بحث

فرسایش پذیری خاک خصوصیتی پویاست که با زمان و مکان تغییر می‌کند و عوامل متعددی در آن نقش دارد. بیشترین و کمترین درصد رس موجود در نمونه‌های خاک به ترتیب در جنس سنگ شیل با میانگین ۳۶ درصد و گرانیت با میانگین ۱۷ درصد مشاهده شد. افزایش درصد رس در خاک می‌تواند به دو صورت بر میزان فرسایش پذیری خاک تأثیرگذار باشد. تحقیقات بسیاری از محققان نشان داده است افزایش میزان درصد رس در خاک به علت افزایش پایداری خاکدانه‌ها باعث کاهش میزان فرسایش پذیری خاک می‌شود که دلیل آن می‌تواند ایجاد خاصیت چسبندگی خاک به خاطر حضور رس در خاک باشد (طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۰)؛ اما در مقابل، در بعضی از پژوهش‌ها رابطه مستقیم بین فرسایش پذیری خاک و درصد رس ثابت شده است که می‌توان این رابطه را به نوع کانی‌های رسی موجود در خاک نسبت داد. درصد شن در جنس سنگ ماسه سنگ با میانگین ۶۳ درصد دارای بیشترین مقدار و در جنس سنگ شیل با میزان ۳۰ درصد دارای کمترین مقدار می‌باشد. ماسه سنگ سنگی مقاوم به هوازدهی است به همین دلیل میزان شن در آن بیشتر از سایر جنس سنگ‌ها است و در مقابل، شیل در مقابل هوازدهی، مقاومت کمی از خود نشان می‌دهد و دارای درصد شن پایینی می‌باشد. مؤثرترین ذرات خاک که به خوبی می‌تواند نشان‌دهنده میزان فرسایش پذیری خاک باشد، سیلت می‌باشد. درصد سیلت به ترتیب در جنس سنگ‌های ماسه سنگ، آهک پالئوژن طبس، افیولیت، آهک ژوراسیک چناران، گرانیت، شیل، آهک پالئوژن سرخس و مارن روند افزایشی دارد. بیشترین درصد سیلت در جنس سنگ مارن با میزان ۴۴ درصد و کمترین مقدار آن در جنس سنگ ماسه سنگ با مقدار ۱۸ درصد مشاهده شد. به‌طور کلی ثابت شده است که با افزایش میزان سیلت در خاک میزان فرسایش پذیری نیز افزایش خواهد یافت. Zhang and peng (2004) در پژوهشی درصد سیلت و رس را به‌عنوان عوامل مؤثر در شاخص فرسایش پذیری معرفی کردند و بیان کردند با افزایش درصد سیلت، میزان فرسایش پذیری خاک افزایش می‌یابد و با افزایش درصد رس، از میزان فرسایش پذیری کاسته خواهد شد. Veihe (2002) با بررسی تغییرات مکانی فرسایش پذیری خاک در ارتباط با تیپ‌های خاک مختلف، تغییرات مکانی فرسایش پذیری خاک را تأیید کردند و پارامتر پایداری خاکدانه‌ها و درصد شن را از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش پذیری خاک معرفی کردند. با افزایش درصد شیب تا حدودی میزان درصد رس کاهش و درصد شن افزایش می‌یابد، هرچند این تفاوت در شیب‌های مختلف معنی‌دار نیست اما دلیل آن را می‌توان تأثیر رواناب و شستشوی بیشتر خاک در شیب‌های بالا و همچنین تأثیر هوازدهی در ارتفاعات بیشتر بیان کرد. جنس سنگ گرانیت و شیل دارای بیشترین و کمترین مقدار درصد ماده آلی بودند که این نتایج از تغییرات پوشش گیاهی موجود بر روی خاک‌های تشکیل یافته از این جنس سنگ‌ها منشأ می‌گیرد، شاید یکی از دلایل کمبود میزان ماده آلی در جنس سنگ‌های مارن، شیل و افیولیت میزان کم پوشش گیاهی و لاشبرگ بر روی این جنس سنگ‌ها در منطقه مورد مطالعه باشد که به تبع آن سبب کاهش میزان ماده آلی خاک در طولانی مدت می‌شود. درصد ماده آلی در شیب‌های مختلف دارای اختلاف معناداری در سطح یک درصد می‌باشد و از شیب بالا به پایین درصد ماده آلی افزایش می‌یابد که می‌توان نتیجه گرفت که در قسمت‌های بالای شیب به دلیل فرسایش بیشتر و شرایط ناپایدارتر، مقدار ماده آلی کمتری نسبت به موقعیت‌های پایین شیب دارد. همان‌طور که گفته شد با افزایش درصد شیب، درصد کربنات کلسیم نیز افزایش می‌یابد که شاید دلیل این امر پوشش گیاهی ضعیف، رواناب و فرسایش بیشتر موجود در قسمت‌های بالایی شیب باشد که باعث ظاهر شدن کربنات کلسیم در سطح خاک می‌شود. همچنین به دلیل حجم بیشتر رواناب در قسمت‌های پایین دامنه و سرعت کمتر آن در شیب‌های پایین‌تر امکان شست‌وشوی کربنات کلسیم از افق سطحی خاک بیشتر فراهم می‌شود. نتایج تحقیقات پژند و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد بیشترین درصد کربنات کلسیم در شیب بالاتر از ۵۰ درصد و کمترین مقدار آن در شیب کمتر از ۵ درصد مشاهده شد که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. بیشترین

مقدار پارامتر چسبندگی خاک و مقاومت فروروی خاک در جنس سنگ گرانیت مشاهده شد که دلیل آن می‌تواند بالا بودن درصد ماده آلی در این جنس سنگ باشد. با توجه به مطالب گفته‌شده و تفاوت پارامترهای مؤثر در فرسایش‌پذیری در جنس سنگ‌های مورد مطالعه، تفاوت فرسایش‌پذیری خاک نیز در جنس سنگ‌های مختلف قابل‌انتظار می‌باشد. این نتیجه‌گیری با نتایج تحقیقات احمدی و همکاران (۱۳۹۸) که بیان کردند فرسایش‌پذیری خاک رابطه مستقیمی با کاربری اراضی و تشکیلات مادری دارد هم‌خوانی دارد، اما با نتایج تحقیقات امیدوار و همکاران (۱۳۹۴) که نشان داد فرسایش‌پذیری خاک هرچند دارای اختلاف در تیپ خاک‌های مختلف است اما این اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد، هم‌خوانی ندارد. این نتیجه‌گیری با نتایج تحقیقات پزند و امامی (۱۳۹۸) که اظهار کردند فرسایش‌پذیری خاک در کلاس شیب‌های مختلف دارای تفاوت معناداری می‌باشد، هم‌خوانی ندارد. همچنین تحقیقات کیانی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که فرسایش‌پذیری خاک در طبقات ارتفاع و شیب دارای تفاوت معنی‌داری از نظر عامل فرسایش‌پذیری خاک است که با نتایج به‌دست‌آمده از نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی ندارد. نتیجه تحقیقات این پژوهش با نتایج تحقیقات Chen et al. (2022) که بیان کردند فرسایش‌پذیری خاک در شیب‌های مختلف هیچ تغییری مشخصی نشان نداد، هم‌خوانی دارد. شاید بتوان اختلاف مشاهده‌شده در این نتیجه‌گیری را به تفاوت در طبقه‌بندی شیب برای برداشت نمونه‌ها و جهت دامنه‌های برداشت نمونه نسبت داد.

در مورد ارتباط مستقیم و معنادار درصد سیلت با عامل فرسایش‌پذیری باید بیان کرد به دلیل استفاده از معادله EPIC برای به دست آوردن مقدار فرسایش‌پذیری خاک طبیعی است که درصد سیلت با فرسایش‌پذیری رابطه معنی‌داری داشته باشد. به‌طور کلی ذرات سیلت به دلیل داشتن وزن کم و چسبندگی پایین حساس‌ترین ذرات در برابر فرسایش محسوب می‌شوند. مطالعات زیادی رابطه بین درصد سیلت و عامل فرسایش‌پذیری خاک را تأیید کرده است. Zhang and peng (2004) در مطالعات خود در اراضی لسی در شمال شرق چین به این نتیجه رسیدند، فرسایش‌پذیری خاک با افزایش درصد سیلت افزایش و با افزایش درصد رس، کاهش می‌یابد. Wischmeier and Smith (1978) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش درصد سیلت در خاک فرسایش‌پذیری به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج حاصل از تحقیقات Brito et al. (2020) نیز که بیان کردند فرسایش‌پذیری خاک رابطه معنی‌داری با نوع بافت خاک دارد و خاک‌های با بافت سیلتی فرسایش‌پذیری بیشتری از سایر بافت خاک‌ها دارد، با نتایج تحقیقات ما هم‌خوانی دارد.

همان‌طور که گفته شد پارامترهای تعداد مؤثر قطره و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها که جزو شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها محسوب می‌شوند، با عامل فرسایش‌پذیری رابطه معکوس و معنی‌داری دارند. هرچه پایداری خاکدانه‌ها افزایش یابد توانایی ذرات خاک در برابر شکسته شدن در برابر قطرات باران افزایش می‌یابد و فرسایش‌پذیری نیز کاهش می‌یابد. این نتیجه‌گیری با نتایج حاصل از تحقیقات Shi and Yu (2001) مبنی بر اینکه پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با فرسایش‌پذیری خاک رابطه مثبت و معنی‌داری دارد مطابقت دارد. در مقابل نتایج تحقیقات صباح و همکاران (۱۳۸۷) در دشت قزوین عدم همبستگی بین پایداری خاکدانه‌ها و شاخص فرسایش‌پذیری خاک به‌دست‌آمده از رابطه Wischmeier and Smith (1978) را نشان داد که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی ندارد.

تحقیقات زیادی رابطه منفی بین فرسایش‌پذیری خاک و درصد ماده آلی را تأیید می‌کند. ماده آلی با خاصیت ثبات‌دهندگی و اتصال خاکدانه‌ها در خاک باعث کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود. نتایج تحقیقات واعظی و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد در مناطقی که ماده آلی از درصد بیشتری برخوردار است فرسایش‌پذیری خاک به‌طور قابل‌توجهی کمتر می‌باشد. نتایج این پژوهش درباره ماده آلی با نتایج تحقیقات La Manna et al. (2021) مطابقت دارد.

همان‌طور که گفته شد فرسایش‌پذیری در اقلیم نیمه‌خشک در جنس سنگ‌آهک پالئوژن سرخس به‌مراتب بیشتر از اقلیم خشک در جنس سنگ‌آهک پالئوژن طبرستان می‌باشد که دلیل آن می‌تواند تفاوت در ماده آلی و درصد سیلت بین این دو جنس سنگ باشد به‌طوری‌که متوسط درصد ماده آلی در جنس سنگ‌آهک طبرستان با مقدار ۱/۹۴ درصد ۷ درصد بیشتر از میانگین ماده آلی در جنس سنگ‌آهک سرخس می‌باشد. در مقابل درصد سیلت موجود در جنس سنگ‌آهک سرخس به‌مراتب دارای میانگین بالاتری به میزان ۳۴ درصد از جنس سنگ‌آهک طبرستان می‌باشد. تحقیقات کمی به بررسی عامل فرسایش‌پذیری خاک در اقلیم‌های مختلف در مواد مادری یکسان صورت گرفته است. هرچند برخی محققین به بررسی مقایسه فرسایش‌پذیری خاک در اقلیم‌های مختلف پرداخته‌اند اما این مقایسه در تشکیلات با مواد مادری یکسان انجام‌نشده است. نتایج تحقیقات ایران‌خواه و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که خاک‌های مناطق نیمه‌خشک استان زنجان و قزوین نسبت به خاک‌های مناطق سرد و کوهستانی اردبیل و گیلان ناپایدارتر و دارای فرسایش‌پذیری بیشتری هستند.

نتایج اندازه‌گیری شاخص CSEI نشان می‌دهد در هر جنس سنگی که اندازه خصوصیات فیزیکی مؤثر بر کاهش فرسایش‌پذیری

خاک بیشتر باشد این شاخص مقدار بیشتری را دارا خواهد بود. همان طور که مشاهده شد بیشترین میزان کاهش فرسایش پذیری خاک با تأثیر خصوصیات ذاتی خاک در جنس سنگ گرانبه بوده و کمترین میزان کاهش نیز در جنس سنگ شیل اتفاق افتاده است. Chen et al. (2022) با اندازه گیری شاخص جامع فرسایش پذیری خاک به این نتیجه رسیدند که این شاخص مدل مناسبی برای نشان دادن عوامل مؤثر بر فرسایش پذیری می باشد و نتایج آن ها مقدار این شاخص را در مزارع کشاورزی، باغ های میوه، مراتع طبیعی، درمنه زار، بوته زار و جنگل به ترتیب به میزان ۱۵/۴، ۲۰، ۱۷/۸، ۱۷/۹، ۱۷/۴ و ۲۰ درصد کاهش برای شاخص فرسایش پذیری نشان داد.

## نتیجه گیری

به طور کلی در این تحقیق به سه موضوع عمده پرداخته شد؛ بررسی فرسایش پذیری خاک در تشکیلات با مواد مادری متفاوت، بررسی فرسایش پذیری خاک تحت تأثیر شیب های مختلف، بررسی میزان فرسایش پذیری خاک در مواد مادری یکسان در دو اقلیم متفاوت. آزمون تجزیه واریانس برای متغیرهای مورد بررسی در جنس سنگ های مختلف انجام شد و نتایج آن نشان داد که عامل سنگ شناسی برای تمام متغیرها در سطح یک درصد ( $p < 0.001$ ) دارای تفاوت معنی داری می باشد. عامل فرسایش پذیری خاک نیز در سطح یک درصد در جنس سنگ های مختلف دارای اختلاف معنی داری است. نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس در شیب های متفاوت نشان داد پارامترهای چسبندگی خاک، مقاومت فروروی خاک، ماده آلی، کربنات کلسیم، میانگین وزنی قطر خاکدانه ها و تعداد مؤثر قطره در سطح یک درصد در شیب های مختلف دارای تفاوت معنی داری بودند. همچنین پارامترهای درصد رس، سله سطحی و هدایت اشباع در سطح ۵ درصد در شیب های مختلف دارای تفاوت معنی داری بودند. در مقابل درصد سیلت، درصد شن و عامل فرسایش پذیری خاک در شیب های مختلف دارای تفاوت معنی داری نبوده و در بین تمام پارامترهای مورد بررسی عامل فرسایش پذیری دارای کمترین اختلاف میانگین در شیب های مختلف بود. میزان فرسایش پذیری خاک در جنس سنگ آهک پالئوژن سرخس با میانگین ۰/۹۶ تن هکتار ساعت بر هکتار مگاژول میلی متر ۱۳ درصد بیشتر از میانگین فرسایش پذیری خاک در جنس سنگ آهک پالئوژن طبس با مقدار ۰/۸۳ تن هکتار ساعت بر هکتار مگاژول میلی متر بود و این مقدار در دو اقلیم خشک و نیمه خشک در سطح ۵ درصد معنادار بود. از آنجایی که اندازه گیری میزان فرسایش پذیری خاک با توجه به تأثیر عوامل مختلف در آن مستلزم صرف زمان و هزینه قابل توجه می باشد، یافتن پارامترهای سهل الوصول خصوصاً در هنگامی که سطوح گسترده در دستور کار مطالعه است می تواند به میزان قابل ملاحظه ای در وقت و هزینه صرفه جویی نماید. در تحقیق حاضر با توجه به رابطه بسیار خوب بین میزان فرسایش پذیری خاک و جنس سنگ می توان با تکمیل تحقیقات در مورد تشکیلات زمین شناسی عمده در کشور، از جنس سنگ که دارای پایگاه داده خوبی در کشور است به عنوان یک پارامتر سهل الوصول جهت تعیین میزان یا حدود فرسایش پذیری خاک استفاده نمود.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## منابع

- احمدی، فروزان؛ نصرتی، کاظم و حسین زاده، محمد مهدی (۱۳۹۸). منشایابی سهم واحدهای فرسایش پذیری خاک در تولید رسوب و ارتباط آن با ذخیره کربن آلی خاک در حوضه ی آبخیز کوه دشت در استان لرستان. *مجله هیدروژئومورفولوژی* ۲۰(۵). ۱۶۴-۱۴۱.
- اسمعیلی، اباذر و عبدالهی، خدیار (۱۳۹۰). *آبخیزداری و حفاظت خاک*. چاپ دوم. ویراست دوم. اردبیل: انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی.
- امیدوار، ابراهیم؛ کاویان، عطاله؛ سلیمانی، کریم و مشاری، سمیه (۱۳۹۴). بررسی قابلیت استفاده از نقشه واحدهای خاک به منظور برآورد مکانی فاکتور فرسایش پذیری خاک. *مجله علمی پژوهشی مهندسی آکوسیستم بیابان*. ۴(۹). ۱۰۷-۹۵.
- ایران خواه، هاجر؛ اسدی، حسین؛ شعبان پور پور شهرستانی، محمود و قربان زاده، نسرين (۱۳۹۵). ارتباط بین پایداری خاکدانه ها و برخی از ویژگی های خاک و اقلیم. *اولین همایش بین المللی و دومین همایش ملی کشاورزی، محیط زیست و امنیت غذایی*.
- پژند، محمد جواد و امامی، حجت (۱۳۹۸). تغییرات فرسایش پذیری خاک تحت تأثیر درجه شیب در طول دامنه. *شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران*. دانشگاه زنجان.
- پژند، محمد جواد؛ امامی، حجت و آستارایی، علیرضا. (۲۰۱۶). رابطه بین توپوگرافی و برخی از ویژگی های خاک. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۲۹(۶). ۱۷۱۰-۱۶۹۹.



- ریسیان، روانبخش و چرخابی، امیرحسین (۱۳۸۳). بررسی اثر شیب و کاربری اراضی بر میزان فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز گرکک. *اولین کنفرانس آبخیزداری*. ۳۰۵-۳۰۹.
- صالحی، محمدرضا (۱۳۹۳). مقایسه فرسایش پذیری خاک‌های حاصل از دو ماده مادری سنگ آهک و مارن در کاربری‌های مرتع و دیم در منطقه چشمه علی - لهدراز استان چهارمحال و بختیاری. *دومین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط‌زیست و منابع طبیعی پایدار، طهماسبی، فرناز و جعفرزاده، علی اصغر (۱۳۹۰)*. تأثیر کانی‌های رس بر فرسایش پذیری خاک در منطقه کلیبر و دست تبریز. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*. دانشکده کشاورزی. گروه علوم خاک. دانشگاه تبریز.
- فتح الهی، طاهر؛ سلیمانی، کریم؛ کلارستانی، عطاله؛ حبیب نژاد، محمود؛ نورمحمد، فرهاد؛ جراره، کاوه و دوستی، یونس (۱۳۸۹). بررسی نقش بافت خاک در رسوب‌زایی آبکندهای منطقه چشمه سرده الشتر. *ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیز*. چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۲۶۹-۲۷۴.
- فرج دخت، منیره؛ اصغری، شکراله و آرخازلو، حسین شهاب (۱۳۹۶). تأثیر ارتفاع و شیب بر فرسایش‌پذیری مدل جهانی فرسایش خاک (USLE). *پنجمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین‌المللی کشاورزی ارگانیک و مرسوم*.
- کیانی هرچگانی، محبوبه؛ صادقی، سید حمیدرضا و فلاح‌تکار، سامره (۱۳۹۶). تحلیل مقایسه‌ای عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبخیز شازند. *مجله اکوهیدرولوژی*. ۱۶. ۱۶۳-۱۵۳.
- نظامی، محمد طاهر و قدرتی، عایرضا (۱۳۹۲). تأثیر کاربری اراضی و شیب بر ضریب فرسایش‌پذیری خاک در اراضی مرتعی. *ششمین همایش ملی آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک*.
- واعظی، علیرضا؛ بهرامی، حسینعلی؛ صادقی، سید حمیدرضا و مهدیان، محمد حسین (۱۳۸۷). اثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر فرسایش‌پذیری خاک‌های آهکی. *مجله علوم خاک و آب*. ۱۲۲(۱).

## REFERENCES

- Ahmadi, F., Nosrati, K., & Hoseinzadeh, M. M., (2019). Origin of the contribution of soil erodibility units in sediment production and its relationship with soil organic carbon stock in Kohdasht watershed in Lorestan province: *Hydrogeomorphology*, 5(20), 141-164. <https://www.sid.ir/paper/383021/fa>. (in Persian)
- Blanco, H., & Lal, R., (2008). Principles of Soil Conservation and Management. *Springer Science*, pp: 1-46 . DOI 10.1007/978-1-4020-8709-7.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54(5), 464-465. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>.
- Buol, S. W., Southard R. J., Graham, R. C. McDaniel, P. A. (2003). Soil Genesis and Classification. Fifth Edition. Iowa State Press. <https://doi.org/10.2136/vzj2003.7670>
- Brito, W.B.M., Campos, M.C.C., de Brito Filho, E.G., de Lima, A.F.L., Cunha, J.M., da Silva, L.I., dos Santos, L.A.C., & Mantovanelli, B.C., (2020). Dynamics and spatial aspects of erodibility in Indian Black Earth in the Amazon, Brazil. *Catena*, 185, p.104281. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104281>.
- Bryan, R. B. 2000. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, 32:385-415. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00105-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00105-1).
- Chen, S., Zhang, G., Zhu, P., Wang, C. & Wan, Y., 2022. Impact of slope position on soil erodibility indicators in rolling hill regions of northeast China. *Catena*, 217, p.106475. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106475>.
- Esmaili, A & Abdollahi, KH. (2011). *Watershed management and soil protection*. second edition. Ardabil: Mohaghegh Ardabili University Publications. (in Persian).
- Farajdokht, M. Asghari, SH & Shahab, H. (2017). Effect of height and slope on erodibility index (K) of universal soil loss equation. *The fifth national conference and the first international conference on organic and conventional agriculture*. <https://civilica.com/doc/932968> (in Persian).
- Fatollahi, T. Solemani, K., Kelarestani, A., Habibnezhad, M., Noormohamad, F., Jarareh, K & Doosti, Y., (2011). Investigating the role of soil texture in the sedimentation of reservoirs in the Sardeh al-Shatar spring area. *The 6th National Conference on Watershed Science and Engineering and the 4th National Conference on Erosion and Sedimentation*. 269-274. <https://civilica.com/doc/89102/>. (in Persian).
- Fryrear D.W., Bilbro J.D., Saleh A., Schomberg H.M., Stout J.E. and Zobeck T.M., 2000. RWEQ: improved wind erosion technology. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55: 183-189. <https://www.researchgate.net/publication/259196891>.



- Haverkamp, R., Ross, P.J., Smettem, K.R.J. & J.Y. Parlange. (1994). Three-dimensional analysis of infiltration from disc infiltrometer. 2. *Physically based infiltration equation*. *Water Resource Research*, 30:2931–2935. <https://doi.org/10.1029/94WR01788>.
- Irankhah, H., Asadi, H. Shabanpoor Shahrestani, M & GHorbanzadeh, N. (2016). The relationship between aggregate stability and some characteristics of soil and climate. *The first international conference and the second national conference on agriculture, environment and food security*. <https://civilica.com/doc/638154>. (in Persian).
- Kemper W.D., & Rosenau R.C., (1986). Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (ed) *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph No. 9. 2nd Edition. *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI*. 5:425–442. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17>.
- Kiani Hirchgani, M., Sadeghi, H. R., & Felahatkar, S. (2019). Comparative analysis of soil erodibility factor in Shazand watershed. *Journal of Ecohydrology*. 6(1). 153-163. <https://www.sid.ir/paper/254161/fa>. (in Persian).
- La Manna, L., Tarabini, M., Gomez, F. & Rostagno, C.M., (2021). Changes in soil organic matter associated with afforestation affect erosion processes: The case of erodible volcanic soils from Patagonia. *Geoderma*, 403, p.115265. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115265>.
- Leoppert, R. H., Hallmark, C. T., and M. M. Koshy. (1984). Routine procedure for rapid determination of soil carbonates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1030-1033. <https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800050016x>.
- Liu, G., Xu, M. & Ritsema, C., (2003). A study of soil surface characteristics in a small watershed in the hilly, gullied area on the Chinese Loess Plateau. *Catena*, 54(1-2), pp.31-44. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(03\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00055-9).
- Liu, H., Lei, T. W., Zhao, J., Yuan, C. P., Fan, Y. T. & Qu, L.Q. (2011). Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on soil infiltrability under rainfall conditions using the runoff on out method. *Journal of Hydrology*, 396: 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.028>.
- Nezami, M., & GHodrati, A. (2013). The effect of land use and the slope of the soil erodibility coefficient in pasture lands. *The 6th National Conference on Watershed Management and Water and Soil Resources Management*. <https://civilica.com/doc/264160>. (in Persian).
- NoruziFard, F., Salehi, M.H., Khademi, H., DavoudianDehkordi, A.R. (2010). Genesis, classification and mineralogy of soils formed on various parent materials in the north of Chaharmahal-Va-Bakhtiari province. *Journal Water and Soil. Ferdowsi University of Mashhad*, 24(4): 647-658. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180249980007>.
- Omidvar, E., Kaviani, A., Solaimani, K., & Moshari, S. (2015). Investigation of Applicability of Soil Map Units to Estimate the Spatial Variability of Soil Erodibility. *Scientific Research Journal of Desert Ecosystem Engineering*. 4(9). 95-107. <https://www.sid.ir/paper/254521/fa>. (in Persian).
- Tahmasbi, F., jafarzadeh, A. A.(2012). The effect of clay minerals on soil erodibility in Kalibar and Dast Tabriz region. MSc Thesis, College of Agriculture. Department of Soil Science. *University of Tabriz*. (in Persian).
- Pazhand, M., & Emami, H., (2019). Investigate the alteration of soil erodibility, organic carbon, calcium carbonate and clay percentage along a hillslope. *The 16th Iran Soil Science Congress*. University of Zanjan. <https://www.sid.ir/paper/363164/fa>. (in Persian).
- Pazhand, M., & Emami, H., Astaræe, A.,(2016). Relationship between Topography and Some Soil Properties. *Journal of Water and Soil*. Vol. 29, No. 6, Jan.-Feb. 2016, p. 1699-1710. [10.22067/jsw.v29i6.44736](https://doi.org/10.22067/jsw.v29i6.44736). (in Persian).
- Reisian, R., & CHarkhabi, A., (2006). Investigating the effect of slope and land use on the rate of erosion and sedimentation in the Gorkak watershed. *The first watershed conference*. 305-309. <https://www.sid.ir/paper/461877/fa>. (in Persian).
- Richter, G., & Nengendank, J. F. W., (1977). Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle river. *Earth Surface Processes*, 2: 261–7. <https://doi.org/10.1002/esp.3290020217>.
- Salehi, M. (2014). Comparison of erodibility of soils obtained from two parent materials, limestone and marl, in pasture and rainfed areas in Cheshme Ali-le-Draz area, Chaharmahal and Bakhtiari province. *The second national conference on engineering and management of agriculture, environment and sustainable natural resources*. <https://civilica.com/doc/357732>. (in Persian).
- Schaetzl, R. Anderson. S. 2005. Soils, Genesis and Geomorphology. *Cambridge University Press*.

- Shi, X. Z., & Yu, D. S. (2001). Measurement of erodibility for soils in subtropical china by simulated and natural rainfall. *Sustaining the Global Farm*, pp: 803-806.
- Tisdall, J. M., & Oades, J. M., (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33: 141– 163. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>.
- Vaezi, A. R., Bahrami, H. A., Sadeghi, H. R., & Mahdian, M. H. (2008). Study of factors affecting erodibility based on the universal soil loss equation in calcareous soils. *Journal of Soil and Water Sciences*. 14(5). <https://www.sid.ir/paper/15969/fa>. (in Persian).
- Veihe, A. (2002). The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. *Geoderma*, 106: 101-120. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00120-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00120-3).
- Wang, H., Zhang, G.H., Li, N.N., Zhang, B.J. & Yang, H.Y., (2018). Soil erodibility influenced by natural restoration time of abandoned farmland on the Loess Plateau of China. *Geoderma*, 325, pp.18-27. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.037>.
- Wang, H., Zhang, G.H., Li, N.N., Zhang, B.J. and Yang, H.Y., (2019). Variation in soil erodibility under five typical land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Catena*, 174, pp.24-35. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.003>
- Wang, H., Zhang, G.H. & Wang, J., (2022). Plant community near-surface characteristics as drivers of soil erodibility variation along a slope gradient in a typical semiarid region of China. *Catena*, 212, p.106108. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106108>.
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook. No.537, *US Department of Agriculture, Washington DC*.
- Williams, J. R., Jones, C. A. and Dyke, P. T. (1984). A modeling approach to determining the relationship between erosion and productivity. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 27, 129-144. doi: 10.13031/2013.32748 @1984.
- Yao, Y., Liu, J., Wang, Z., Wei, X., Zhu, H., Fu, W. & Shao, M., (2020). Responses of soil aggregate stability, erodibility and nutrient enrichment to simulated extreme heavy rainfall. *Science of the Total Environment*, 709, p.136150. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136150>.
- Zhang, K., Li, S., Peng, W. & Yu, B. (2004). Erodibility of agricultural soils and loess plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 76: 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.09.007>.



## Spatial Variability of Soil Erodibility Associated with Lithology and Topography

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction:

Soil erosion is a process in which soil is separated from its main bed and transported to another place by a transport factor. Soil erodibility is a main feature of soil properties that shows the sensitivity of soil to erosion and depends on various factors. One of the factors affecting soil erodibility is the slope of the land, which can directly or indirectly affect soil erodibility. The main purpose of this study is to investigate the changes in soil erodibility using the EPIC method and the physical properties affecting it in different types of rocks in two provinces of Razavi Khorasan and South Khorasan in three slope classes and to compare at least one of these types of rocks in two different climates.

#### Material and Methods:

The studied area is located in two provinces of Razavi and South Khorasan in the cities of Mashhad, Chenaran, Sarakhs, Torbat-Hydriye and Tabas. The geographical location of the region in Razavi Khorasan province is from 58 degrees and 52 minutes to 60 degrees and 40 minutes' north longitude and 35 degrees and 38 minutes to 36 degrees and 25 minutes' east latitude, and in Tabas city, the studied area is from 33 degrees and 43 minutes to 33 degrees and 46 degrees' north longitude and 56 degrees 33 minutes to 56 degrees 37 minutes' east latitude. In this research, seven types of granite, Paleogene limestone, Jurassic limestone, marl, shale, sandstone and ophiolite were selected from the relatively pure rocks of Razavi Khorasan province, and one Paleogene limestone was also investigated to compare the difference in erodibility in different climates in Tabas city. Soil samples were taken from the surface layer (0-5 cm) and from three slope classes: less than 10%, 10-25% and more than 25%, as well as all soil samples from the southern slopes. Three soil samples were taken from each slope and a total 72 samples were taken and analyzed in the laboratory for physical and chemical properties. The sampling of this research was done in the summer of 2021 and the proposed tests were done in March 2022 in the soil science laboratory of the Faculty of Natural Resources of Ferdowsi University. In this study, the soil particle size distribution (texture) was measured by hydrometer method, organic carbon and calcium carbonate were determined by wet oxidation and titration with HCl 6 M, mean weight diameter of soil aggregates and Surface crust factor were calculated by related equations. Soil Cohesion and Penetration Resistance were measured by pocket vane test and pocket penetrometer, respectively. Comparison of means was done through Duncan test in SPSS software.

#### Results and Discussion:

A factorial test was conducted with a completely random design for the investigated variables in different rock types and its results showed that the lithology factor for all variables has a significant difference at the level of 1% ( $p < 0.001$ ). The soil erodibility factor also has a significant difference at the level of 1% in different rocks. The soil erodibility factor in different slopes has no significant difference. The soil erodibility in Ferns Paleogene limestone with an average of  $0.96 \text{ (t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}\text{)}$  is 13% higher than the average soil erodibility in Tabas Paleogene limestone with a value of  $0.83 \text{ (t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}\text{)}$  and these values in two Arid and semi-arid Climate are significant at the level of 5%.

#### Conclusion:

Since soil erodibility is affected by various factors, it requires spending considerable time and money. Finding easily accessible parameters can save a considerable amount of time and money, especially when extensive samples are on the agenda. In this research, as there is a very good relationship between the soil erodibility and rock type, by completing the research on the major geological formations in the country, the rock type, which has a good database in the country, can be used as an easily accessible parameter to determine the soil erodibility level or limits.

**Keywords:** CSEI Index, Erodibility, EPIC Model, Lithology, Soil indicators, Soil Erosion.