ارائه معادلۀ پیش‌بینی مقدار فرسایش‌پذیری خاک بر اساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مؤثر بر آن (مطالعه موردی: مقطعی از دشت یزد ـ اردکان)

فرزانه فتوحی فیروزآباد*: استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکدۀ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۲۱)
20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5

چکیده

یکی از عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش خاک، ویژگی ذاتی خاک یا همان فرسایش‌پذیری است. در این پژوهش، مقدار فرسایش‌پذیری خاک (K) در مقطعی از دشت یزد ـــــ اردکان تعیین و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مؤثر بر آن شناسایی شد. همچنین با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و رگرسیون چند متغیرۀ خطی، رابطه‌ای برای پیش‌بینی مقدار فرسایش‌پذیری خاک ارائه شد. نتایج تجزیۀ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که خاک‌ها عمدتاً بافت سبک شنی تا لوم شنی با ماده آلی کم و آهکی دارد. خاک‌های مورد بررسی از نظر شکل ساختمانی، دانه‌ای و اسفنجی خیلی ریز تا ریز و کد ساختمانی آنها بر اساس USLE، ۲ و ۱ بود. نفوذپذیری نیمرخ خاک، زیاد تا خیلی زیاد (۱۸/۴ سانتی‌متر در ساعت) بود و بر اساس USLE، غالباً در کلاس ۱ و ۲ و در برخی موارد در کلاس ۳ قرار داشت. مقدار فرسایش‌پذیری برآوردی بر اساس رابطۀ رگرسیونی ویشمایر ـ اسمیت به طور میانگین در سه دشت سر لخت، اپانداژ و پوشیده به ترتیب ۰/۰۳۸۵، ۰/۰۳ و ۰/۰۱۹ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر بود. نتایج حاصل از بررسی مؤلفه‌های اصلی نشان داد که می‌توان سه مؤلفه اول را با توجه به مقادیر ویژۀ حاصل از پارامترها و درصد واریانس، به عنوان مؤلفه اصلی انتخاب کرد. ضریب همبستگی مؤلفه‌های اول، دوم و سوم با شاخص فرسایش‌پذیری خاک به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۰۴- و ۰/۴۱ به دست آمد. بررسی رابطه بین فرسایش‌پذیری خاک (K) و مقادیر مؤلفه‌های اصلی به‌دست آمده از PC1، PC2 و PC3 با استفاده از مدل رگرسیونی چندمتغیرۀ خطی نشان داد که اثر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بر فرسایش‌پذیری خاک، معنی‌دار ($p < 0/001$) و ضریب تبیین آن (R^2) به میزان ۰/۸۸ درصد به دست آمد. برای ارائه رابطه‌ای دقیق‌تر برای پیش‌بینی فرسایش‌پذیری در خاک‌های مناطق نیمه خشک و خشک، باید پژوهش‌هایی مشابه در سایر خاک‌های نواحی نیمه خشک و خشک ایران انجام شود.

واژگان کلیدی: آنالیز مؤلفه‌های اصلی، رگرسیون چند متغیرۀ خطی، فرسایش‌پذیری خاک، معادلۀ تلفات جهانی خاک (USLE).

* **نویسنده مسئول:** f.fotouhi@ardakan.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

۱ـ مقدمه

ویژگی فرسایش‌پذیری خاک، یکی از عوامل مهم در مقدار فرسایش خاک است. این عامل، بیانگر کمی و کیفی حساسیت ذاتی ذرات یک خاک معین به جداشدن و انتقال توسط عوامل فرسایش است و در واقع، تأثیر بسیاری از خصوصیات و اثرات متقابل آنها را تبیین می‌کند. برای برآورد تلفات خاک، معادلهٔ جهانی تلفات خاک (USLE) اهمیت خاصی دارد. در واقع، این معادله یکی از روش‌هایی است که به طور گسترده از آن برای پیش‌بینی و تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش آبی استفاده می‌شود (Wischmeier and Smith, 1978). سادگی بسیاری از متغیرهای موجود در این رابطه سبب شده‌است تا USLE، به عنوان گسترده‌ترین روش برآورد هدررفت خاک مورد پذیرش باشد.

پژوهش‌های زیادی نشان می‌دهد که فرسایش‌پذیری تحت‌تأثیر ویژگی‌های مختلف فیزیکوشیمیایی خاک قرار دارد. گزارش‌های Castrignanoo و همکاران (2000) هم نشان داد که فرسایش‌پذیری خاک بر اثر ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک تغییر می‌یابد. پژوهش‌های Duiker و همکاران (2001) نیز نشان داد که Ca^{2+} در هماوری کلوئیدهای خاک و افزایش مقاومت آن‌به فرسایش نقش مؤثری دارد. Charman و Murphy (2000) نشان دادند که رس، فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد و کاتیون کلسیم در به هم آمدن کلوئیدهای خاک و کاهش فرسایش‌پذیری آن نقشی مؤثر دارد.

بر اساس گزارش‌های Gupta (2002)، نفوذپذیری و پایداری ساختمان خاک دو ویژگی بسیار مهم خاک است که بر عامل فرسایش‌پذیری (K) اثر می‌گذارد. آزمایش‌های انجام شده توسط Santos و همکاران (2003) نشان داد که خاک‌های شنی، اثر ضربهٔ قطرات باران را بهتر کاهش می‌دهد و به دلیل داشتن سرعت نفوذ آب بیشتر، رواناب کمتری تولید می‌کند. بررسی‌های انجام شده توسط Ghasemi و Mohammadi (2003) در حوضه آبخیز چغاخور در استان چهارمحال و بختیاری نشان داد که با افزایش درصد رس و ماده آلی، فرسایش‌پذیری خاک کمتر و با افزایش درصد سیلت، فرسایش‌پذیری بیشتر می‌شود. Zhang و همکاران (2004) نشان دادند که بین مقدار رس و عامل فرسایش‌پذیری خاک در USLE همبستگی معنی‌دار منفی وجود دارد. Ghaderi و Ghoddosi (2005) نیز به بررسی فرسایش‌پذیری خاک در حوضهٔ تلوارچای استان کردستان پرداختند و نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت رس به شن و سیلت، فرسایش‌پذیری خاک در واحدهای مختلف اراضی نیز افزایش می‌یابد. همچنین بررسی‌های Ghorbani vagheie و Bahrami (2005) نشان داد که فرسایش‌پذیری خاک با درصد توزیع اندازه ذرات خاک نسبت به سایر مشخصه‌های فیزیکی، بیشترین همبستگی را دارد.

در پژوهشی، Dong-Sheng و همکاران (2006) با استفاده از شبیه‌ساز باران، رابطهٔ عامل فرسایش‌پذیری و نفوذپذیری اشباع خاک را بررسی کردند. تحقیق آنها نشان داد که بین فرسایش‌پذیری و نفوذپذیری اشباع خاک همبستگی منفی وجود دارد. Vaezi و همکاران (2007) در بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری، بر اساس رابطهٔ جهانی فرسایش خاک در خاک‌های آهکی به این نتیجه رسیدند که آهک به عنوان یکی از ویژگی‌های مهم خاک، در افزایش پایداری خاکدانه و نفوذپذیری و در نتیجه کاهش فرسایش‌پذیری تأثیر قابل توجهی دارد. Martinez-Zavala و Gordan (2008) نیز به وسیلهٔ شبیه‌ساز باران، به بررسی اثر اجزای سنگ و سنگریزه در سطح خاک بر

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

فرسایش‌پذیری خاک پرداختند و نشان دادند که پوشش سنگ و سنگریزه، به افزایش نفوذپذیری خاک و در نتیجه کاهش فرسایش آن منجر می‌شود.

Vaezi و همکاران (2010) با مطالعهٔ بخشی از خاک‌های نواحی نیمه خشک شمال غربی ایران، به بررسی عامل فرسایش‌پذیری خاک در زمینهٔ برخی ویژگی‌ها نظیر شن درشت، رس، ماده آلی، آهک، پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری پرداختند و نتیجه گرفتند که شن درشت، رس، ماده آلی، آهک، پایداری خاکدانه و نفوذپذیری، با عامل فرسایش‌پذیری همبستگی منفی معنی‌دار دارند و شن بسیار ریز و سیلت، همبستگی مثبت معنی‌دار.

Ostovari و همکاران (2015)، تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری خاک و عوامل مؤثر بر آن را در بالادست سد سیوند بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که بین اجزای رس و شن ریز خاک با فرسایش‌پذیری خاک، هیچ گونه همبستگی وجود ندارد و بیشترین همبستگی (r =۰/۷۷) فرسایش‌پذیری با نفوذپذیری خاک است. ماده آلی با تأثیر مثبت بر خاکدانه‌سازی، مقدار نفوذپذیری خاک را افزایش و در نتیجه فرسایش‌پذیری را کاهش می‌دهد که همبستگی منفی معنی‌دار بین ماده آلی و فرسایش‌پذیری بیانگر این نکته است.

Mazloum Aliabadi و همکاران (2017) با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های آماری (بررسی مؤلفه اصلی)، رابطهٔ بین شاخص‌های کیفیت خاک را با تلفات خاک و شاخص فرسایش‌پذیری آن در منطقهٔ سنگانه خراسان رضوی بررسی کردند. نتایج همبستگی نشان داد که بین شاخص پایداری ساختمان خاک، مقدار رسوب و شاخص فرسایش‌پذیری، همبستگی منفی و معنی‌دار وجود دارد که این موضوع بیانگر اثر ساختمان خاک بر کاهش مقدار هدررفت آن است.

Ahmadi-Qolidaraq و همکاران (2019) نیز با استفاده از PCA، تأثیر ویژگی‌های خاک بر مقدار فرسایش در سطح زیر ردهٔ خاک را در دشت اردبیل بررسی کردند. نتایج نشان داد که از بین پارامترها، سه ویژگی سیلت، کربن آلی و هدایت الکتریکی به عنوان مؤلفه اصلی اول ۳۰/۳۸۴ درصد؛ رس، شن و پوشش گیاهی به عنوان مؤلفه اصلی دوم ۱۸/۰۹۱ درصد، شیب و ارتفاع به عنوان مؤلفه اصلی سوم ۱۵/۳۳۰ درصد و در مجموع ۶۳/۸۰۵ درصد از تغییرات فرسایش را توجیه می‌کند. کلاس شدت فرسایش زیر رده‌های منطقهٔ مطالعاتی، کم و متوسط تعیین شد.

Khosraviaqdam و همکاران (2019) ضمن برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک مدل USLE، ارتباط آن را با برخی از ویژگی‌های زمین منظر در بخشی از حوضه آبخیز نازلو چای ارومیه بررسی کردند. نتایج این تحقیق بیانگر این واقعیت است که خاک‌های منطقه با توجه به اینکه در کلاس‌های فرسایش‌پذیری خیلی کم (K1) و کم (K2) قرار می‌گیرند، از نظر شرایط فرسایش‌پذیری وضعیت مطلوبی دارند و در مجموع، خاک‌ها در ردیف خاک‌های با فرسایش‌پذیری کم قرار می‌گیرند. همچنین بر اساس یافته‌های این تحقیق، می‌توان گفت که فرسایش‌پذیری خاک تحت‌تأثیر گروه‌های هیدرولوژیکی آن است و به طور کلی با کاهش نفوذپذیری منطقه، فرسایش‌پذیری خاک نیز افزایش می‌یابد.

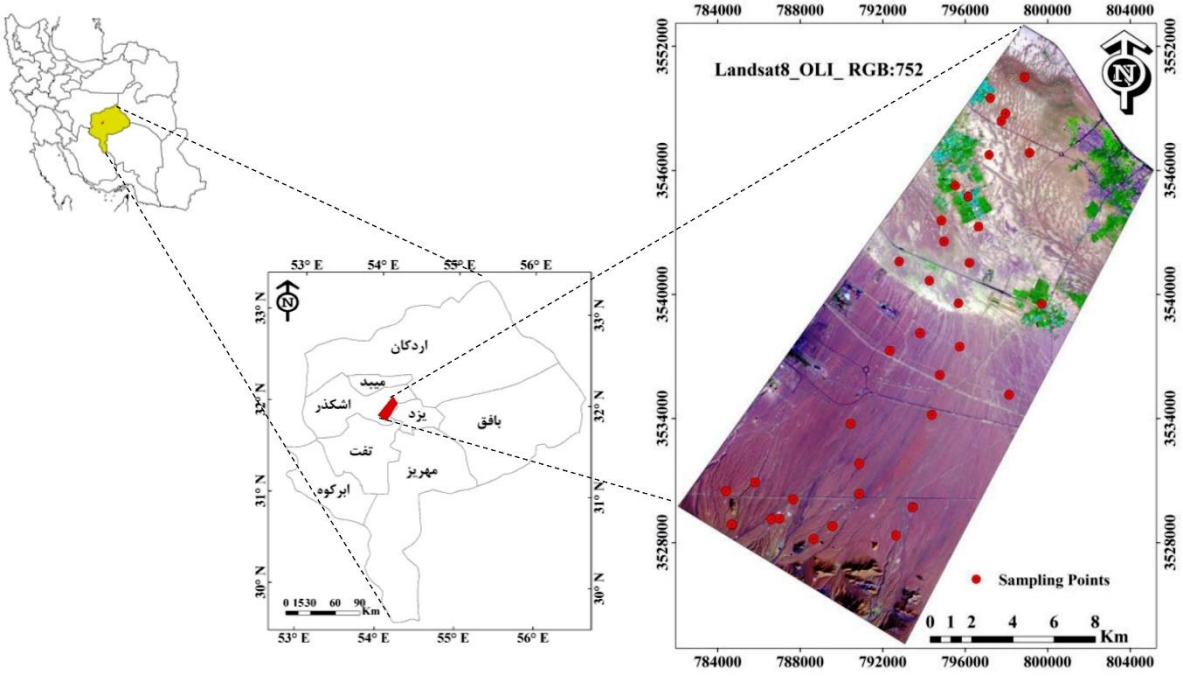
بررسی منابع نشان می‌دهد که فرسایش‌پذیری می‌تواند تحت‌تأثیر ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک قرار گیرد. این عامل از عوامل کلیدی دخیل در برخی مدل‌های فرسایش و رسوب از جمله USLE، RUSLE و MUSLE است که به صورت شاخص K نمایش داده می‌شود و تابعی از توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، ساختمان و

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

نفوذپذیری است. در این پژوهش، کوشش بر آن است تا مقدار فرسایش‌پذیری (K) در خاک‌های منطقهٔ مطالعاتی تعیین و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مؤثر بر آن شناسایی شود. همچنین با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و رگرسیون چند متغیرهٔ خطی، رابطه‌ای برای پیش‌بینی مقدار فرسایش‌پذیری خاک بر اساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مؤثر ارائه شود.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه واقع در بیست کیلومتری شهر یزد در عرض جغرافیایی ″۱۴/۶ ′۵۰ °۳۱ تا ″۱۷/۵ ′۴ °۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ″۲۳/۲ ′۵۹ °۵۳ تا ″۱/۳ ′۱۴ °۵۴ شرقی واقع شده و در واقع، ترانسکت طولی است بین کوه خضرآباد در بالادست و شهرهای اشکذر و زارچ در پایین دست که دشت‌های سر لخت، اپانداژ و پوشیده را در بر می‌گیرد. حداکثر ارتفاع این ترانسکت در بخش مجاور کوهستان، ۱۷۸۳ متر از سطح دریا و حداقل آن با ارتفاع ۱۱۴۱ متر از سطح دریا، در محل حاشیه رخسارهٔ تپه‌های ماسه‌ای در مجاورت جادهٔ یزد ـــ اردکان قرار دارد و مساحت این مقطع طولی، ۲۰۸ کیلومترمربع است. از دلایل انتخاب این منطقه، وجود تنوع رخساره‌ای، تیپیک بودن رخساره‌ها و نزدیکی به شهر یزد است. شکل ۱، موقعیت مقطع مورد مطالعه را در استان یزد و دشت یزد ـ اردکان نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

۳ـ مواد و روش

عملیات صحرایی

در این پژوهش در ابتدا به کمک نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM^+، تصاویر Google earth و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، مرز منطقهٔ مطالعاتی تعیین و نقشه‌های واحدهای سنگ‌شناسی، زمین‌شناسی و رخساره‌های ژئومورفولوژی بر اساس سیستم مختصات UTM از منطقهٔ مطالعاتی تهیه شد.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

سپس با استفاده از نقشه‌های مذکور، به روش نمونه‌برداری طبقه‌بندی ـــــ تصادفی، نمونه‌های خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری در درون رخساره‌ها برداشت شد. در همین عمق، مشخصات ساختمان سطحی خاک به عنوان متغیر دخیل در فرسایش‌پذیری بررسی شد. کدهای ساختمان خاک نیز بر اساس اندازه و شکل خاکدانه‌ها و نفوذ آب در خاک، از جداول پیشنهادی ویشمایر و اسمیت تعیین شد (Wischmeier and Smith, 1978). نفوذپذیری خاک، بر اساس سرعت نفوذ نهایی با روش استوانه‌های مضاعف در صحرا اندازه‌گیری شد.

عملیات آزمایشگاهی و محاسباتی

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، آزمایش‌های لازم بر روی آنها انجام شد. توزیع دانه‌بندی خاک به روش هیدرومتر، درصد شن خیلی ریز با استفاده از الک و درصد ماده آلی به روش والکی بلاک تعیین شد (Klut, 1986). آهک نیز بر اساس مقدار مواد خنثی‌شونده (TNV)[1]، به روش حجمی از واکنش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (Goh et al, 1993) تعیین شد.

سپس شاخص فرسایش‌پذیری از طریق رابطهٔ ۱ محاسبه شد (Wischmeier and Smith, 1978).

$$K = \frac{\{2.1\mathrm{M}^{1.14}(10^{-4})(12-\mathrm{a})+3.25(\mathrm{b}-2)+2.5(\mathrm{c}-3)\}}{100}$$ رابطهٔ ۱

که در آن، M حاصل‌ضرب مجموع درصد سیلت و شن بسیار ریز منهای درصد رس، a درصد مواد آلی، b کد ساختمان و c کد نفوذپذیری نیمرخ خاک است. در این معادله، عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) در سیستم آمریکایی بر حسب ۰/۰۱ تن ساعت بر فوت تن اینچ است. به منظور تبدیل واحد K از سیستم آمریکایی به سیستم بین‌المللی، از ضریب ۰/۱۳۱۷ استفاده شد. واحد K در سیستم بین‌المللی، تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر است (Miller and Donahue, 1990).

تجزیه و تحلیل‌های آماری

در این مرحله پس از محاسبهٔ شاخص فرسایش‌پذیری خاک، شاخص‌های آماری نظیر میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف معیار به دست آمد. برای اثبات فرض نرمال بودن داده‌ها از آزمون غیرپارامتری کولموگروف ـــ اسمیرنوف استفاده شد. همچنین برای تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (تجزیه و تحلیل شاخص) و مدل‌سازی شاخص فرسایش‌پذیری خاک توسط مدل رگرسیونی چند متغیره، از نرم‌افزار SPSS17.0 استفاده شد. سپس مؤلفه‌های مهم استخراج و بین این مؤلفه‌ها با مقدار فرسایش‌پذیری خاک، رگرسیون چند متغیرهٔ خطی به روش همزمان انجام شد. در رگرسیون همزمان، همهٔ متغیرهای غیر وابسته در یک زمان به معادله وارد شد و هر متغیر پیش‌بینی‌کننده مانند بقیهٔ متغیرهای غیر وابسته دیگر که وارد شده‌اند، ارزیابی شد (Zare chahouki, 2014). این روش، برای زمانی که یک مجموعهٔ کوچک از پیش‌بینی‌کننده‌ها وجود دارد و هنگامی که محقق نمی‌دلند کدام متغیرهای غیر وابسته بهترین معادلهٔ پیش‌بینی را به وجود می‌آورند، مناسب است (Zare chahouki, 2014). در این مطالعه، صحت معادله با استفاده از ضریب تبیین (R^2) ارزیابی شد.

[1] Total Neutralizing Value

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

در روش تجزیه و تحلیل، مؤلفه‌های اصلی P متغیر اصلی همبسته به p مؤلفه ناهمبسته یا متعامد تبدیل می‌شوند. با اعمال PCA، متغیرهای ورودی اصلی به متغیرهای جدید که فاقد همبستگی است، تبدیل می‌شوند. مؤلفه‌های ایجاد شده، ترکیبی خطی از متغیرهای اصلی است (Liu et al, 2003). اگر در P متغیر اصلی تنها مقداری همبستگی معنی‌دار وجود داشته باشد، اجرای روش PCA می‌تواند مفید باشد؛ به همین دلیل اولین گام برای اجرای این روش، تعیین و تشخیص مناسب بودن داده‌ها است. روش‌هایی وجود دارد که محقق از طریق آنها می‌تواند این مطلب را بیازماید؛ از جمله این روش‌ها می‌توان به محاسبهٔ شاخص KMO[1] اشاره کرد. مقدار این عامل، همواره بین صفر و یک در نوسان است؛ در صورتی که KMO کمتر از ۰/۵۰ باشد، داده‌ها برای روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی مناسب نخواهند بود و اگر مقدار آن بین ۰/۵۰ تا ۰/۶۹ باشد، داده‌ها متوسط و اگر مقدار این شاخص بزرگ‌تر از ۰/۷۰ باشد، همبستگی‌های موجود در بین داده‌ها برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی مناسب خواهد بود (Zare chahouki, 2014). هر مؤلفه، ترکیبی خطی از متغیرهای اولیه است و با رابطهٔ ۲ مشخص می‌شود:

$$PC_i = \alpha_{i1} X_1 + \alpha_{i2} X_2 + \ldots + \alpha_{ip} X_p \qquad \text{رابطهٔ ۲}$$

که در آن، PC_i: i امین مؤلفه مورد نظر، α_{ip}: i امین بردار ویژهٔ متناظر با P امین مؤلفه و X_p: P امین متغیر اصلی است.

با انتخاب چند مؤلفه اصلی اول، سایر مؤلفه‌ها از محاسبات بعدی حذف می‌شود. برای تشخیص آستانهٔ حذف، از نمودار واریزه‌ای (اسکری پلات) ـــ که در آن مقادیر ویژه در مقابل شمارهٔ مؤلفه‌ها رسم شد ـــ استفاده شد. در این روش، مرز بین مؤلفه‌های اصلی و غیر اصلی محلی بود که نمودار میل به خطی شدن به صورت افقی به نظر می‌رسد؛ یعنی محلی که مقادیر ویژه در مقابل تغییر شمارهٔ مؤلفه، تغییر چندانی نمی‌کند. به منظور دستیابی به ماتریسی ساده و از نظر تئوریکی معنادار و قابل تفسیر، از چرخش عامل‌ها استفاده شد. عامل‌ها به دور مبدأ چرخش داده می‌شوند تا موقعیت جدیدی کسب کنند. روش چرخش واریماکس، در پی مختصر کردن و ساده‌سازی ستون‌های ماتریس عاملی است. در نتیجه، روش واریماکس در بین محققان استفادهٔ وسیع‌تری دارد و یکی از انواع چرخش‌های عمودی به شمار می‌رود (Johnson and Wichern, 1982).

مدل رگرسیون خطی چند متغیره

مدل رگرسیون خطی چندگانه در فرم ماتریسی را می‌توان به صورت رابطهٔ ۳ نشان داد:

$$Y=X\beta+\varepsilon \qquad \text{رابطهٔ ۳}$$

که در آن، β ماتریس ضرایب رگرسیون، ε ماتریس خطای برازش، Y ماتریس پاسخ (متغیر وابسته) و X ماتریس متغیرهای مستقل است.

[1] Kaiser-Meyer-Olkin

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

در این خصوص روش مناسب، استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر متغیرهای مستقل ورودی به مدل است. ورود متغیرها به مدل رگرسیونی به صورت مرحله‌ای، از مهم‌ترین متغیر تا کم اهمیت‌ترین آنها صورت می‌گیرد. معیار مقدار اهمیت متغیر در مدل، مقدار سطح معنی‌دار یا آماره t متناظر با آن در جدول آزمون معنی‌داری متغیرها است. برای مدل‌سازی، مقادیر به دست آمده از PC_1، PC_2 و ... به عنوان متغیرهای مستقل (برآورد کننده) و مقادیر فرسایش‌پذیری خاک، به عنوان متغیر وابسته به مدل رگرسیون خطی چندگانه وارد شد. در این پژوهش برای تجزیه تحلیل مؤلفه‌های اصلی و مدل‌سازی شاخص فرسایش‌پذیری خاک توسط مدل رگرسیونی، از نرم‌افزار SPSS17.0 استفاده شد.

۴ـ نتایج

نتایج تجزیهٔ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که خاک‌ها عمدتاً بافت سبک شنی تا لوم شنی با ماده آلی کم و آهکی داشتند. خاک‌های مورد بررسی از نظر شکل ساختمانی، دانه‌ای و اسفنجی خیلی ریز تا ریز و کد ساختمانی آنها بر اساس USLE، ۲ و ۱ بود. نفوذپذیری نیمرخ خاک، زیاد تا خیلی زیاد (۱۸/۴ سانتی‌متر در ساعت) بود و بر اساس USLE، غالباً در کلاس ۱، ۲ و در برخی موارد در کلاس ۳ قرار داشت. مقدار فرسایش‌پذیری برآوردی بر اساس رابطهٔ رگرسیونی ویشمایر ـــ اسمیت، به طور میانگین در سه دشت سر لخت، اپانداژ و پوشیده به ترتیب ۰/۰۳۸۵، ۰/۰۳ و ۰/۰۱۹ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر بود. درصد مواد آلی، نفوذپذیری و شاخص فرسایش‌پذیری خاک از طریق تبدیل جذری، نرمال شد. بقیهٔ متغیرها در سطح ۵٪ نرمال بودند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ماتریس همبستگی بین متغیرها تعیین شد. همچنین رابطهٔ معنی‌دار بین متغیرها با روش تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی یا PCA (Jollife, 1986) بررسی شد. در این روش از آنجا که روابط بین متغیرهای رگرسیونی در نظر گرفته می‌شود، نتایج آن رضایت‌بخش است (Razavi parizi, 2003). در واقع، برای بررسی دقیق‌تر تأثیر نسبی پارامترهای مورد بررسی بر شاخص فرسایش‌پذیری خاک، از روش بررسی مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. نتایج حاصل از شاخص‌های آماری متغیرهای مورد بررسی نظیر میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف معیار در جدول ۱ نشان داده شده‌است.

جدول ۱: شاخص‌های آماری متغیرهای مورد بررسی

ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
شن	۴۵	۹۴	۷۱	۱۶/۱۱
رس	۲	۲۴	۸/۸۹	۶/۳۱
سیلت	۲	۳۹	۲۰/۱۱	۱۱/۷۰
شن خیلی ریز	۵/۶	۲۳/۴	۱۷/۲۷	۴/۴۱
مواد آلی	۰/۰۳	۱/۴۲	۰/۳۳۳	۰/۳۴
آهک	۲۲/۰۵	۴۳/۶۱	۳۲/۲۳	۴/۲۷
سنگریزه	۰	۷۴/۴۰	۲۲/۰۸	۲۳/۳۹
شاخص فرسایش‌پذیری خاک	۰/۰۰۱۴	۰/۰۵۹	۰/۰۲۸	۰/۰۱۶

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

پیش‌پردازش متغیرهای ورودی به مدل رگرسیونی با استفاده از PCA

برای بررسی امکان اجرای تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، از آزمون بارتلت استفاده شد. مقدار KMO=۰/۷۶ امکان اجرای PCA را تأیید کرد. برای اجرای این روش پس از استاندارد کردن متغیرهای ورودی، ماتریس متقارن همبستگی با مرتبهٔ ۸ (معادل با تعداد متغیرهای ورودی) تشکیل شد. نتایج حاصل از ضرایب همبستگی بین ویژگی فرسایش‌پذیری و برخی از پارامترهای فیزیکی ـــ شیمیایی خاک در محدودهٔ مطالعاتی نشان داد که تنها همبستگی منفی درصد شن و سنگریزه و فرسایش‌پذیری خاک معنی‌دار بود؛ در حالی که شن خیلی ریز، رس و سیلت بر فرسایش‌پذیری اثر مثبت معنی‌داری نداشت. در این پژوهش نتایج نشان داد که شن، فرسایش‌پذیری خاک را به طور معنی‌داری کاهش داد؛ در حالی که اثر مثبت شن خیلی ریز بر آن قابل ملاحظه نبود. اثر کاهشی ذرات شن بر فرسایش‌پذیری، در تحقیقات Santos و همکاران (2003) نیز به روشنی بیان می‌شود.

جدول ۲، بیانگر مقادیر ویژه است. مطابق این جدول، سه مؤلفه اول در مجموع ۸۱/۵۲ درصد از پراکندگی داده‌های اصلی را بیان می‌کند. بنابراین، در مطالعهٔ حاضر می‌توان سه مؤلفه اول را به عنوان مؤلفه اصلی انتخاب کرد. انتخاب سه مؤلفه مناسب است؛ زیرا در نمودار واریزه‌ای نیز تغییرات مقادیر ویژه با شمارهٔ مؤلفه‌ها برای مؤلفه‌های بزرگ‌تر از ۳، عملاً خطی افقی را تشکیل می‌دهد.

جدول ۲: مشخصات مقادیر ویژه حاصل از پارامترها و درصد واریانس

مقادیر ویژهٔ اولیه			
مؤلفه	کل	درصد از واریانس	درصد تجمعی
۱	۳/۸۶	۴۸/۲۵	۴۸/۲۵
۲	۱/۴۲	۱۷/۷۶	۶۶/۰۱
۳	۱/۲۴	۱۵/۵۱	۸۱/۵۲
۴	۰/۶۶	۸/۲۹	۸۹/۸۱
۵	۰/۳۹	۴/۹۲	۹۴/۷۳
۶	۰/۳۲	۴/۰۳۵	۹۸/۷۷
۷	۰/۰۹۹	۱/۲۳	۱۰۰
۸	$-۱/۲۱e^{-۱۶}$	$-۱/۵۱e^{-۱۵}$	۱۰۰

در جدول ۳، مقادیر بردارهای ویژهٔ مربوط به پارامترهای مورد بررسی ذکر شده‌است که ضرایب هر مؤلفه را برای محاسبهٔ آنها تعیین می‌کند.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

جدول ۳: بردارهای ویژه (ماتریس عاملی دوران نیافته)

	مؤلفه		
	۱	۲	۳
شن (Sand)	۰/۹۶	۰/۰۰۰۱	-۰/۲۵
رس (Clay)	-۰/۸۳	۰/۲۳	۰/۰۴
سیلت (Silt)	-۰/۸۷	-۰/۱۲	۰/۳۲
شن خیلی ریز (VFS)	-۰/۵۲	-۰/۴۹	-۰/۴۵
مواد آلی (OM)	۰/۰۰۷	۰/۹۳	۰/۰۷
آهک (TNV)	۰/۴۶	۰/۱۱	۰/۶۰
سنگریزه (Gravel)	۰/۳۸	-۰/۴۹	۰/۶۷
نفوذپذیری (PE)	۰/۹۲	-۰/۰۴۵	-۰/۲۳

برای تشکیل مؤلفه اول، بایستی مقادیر متغیر پارامترها را در بردارهای ویژهٔ مربوط به هر متغیر ضرب و حاصل را با هم جمع کرد؛ یعنی درصد شن را در ۰/۹۶، مقادیر متغیر درصد رس را در (۰/۸۳-) و به همین ترتیب، مقادیر بقیهٔ متغیرها را در ضرایب مربوط ضرب کرد. در نتیجه، مؤلفه‌هایی حاصل می‌شود که می‌توان از آنها به جای متغیرهای اولیه به عنوان ورودی به مدل رگرسیون استفاده کرد (روابط ۴، ۵ و ۶):

رابطهٔ ۴
$$PC_1 = (0.96 \times \text{Sand}) + (-0.83 \times Clay) + (-0.87 \times Silt) + (-0.52 \times VFS) + (0.007 \times OM) + (0.46 \times TNV) + (0.38 \times Gravel) + (0.92 \times PE)$$

رابطهٔ ۵
$$PC_2 = (0.0001 \times \text{Sand}) + (0.23 \times Clay) + (-0.12 \times Silt) + (-0.49 \times VFS) + (0.93 \times OM) + (0.11 \times TNV) + (-0.47 \times Gravel) + (-0.04 \times PE)$$

رابطهٔ ۶
$$PC_3 = (-0.25 \times \text{Sand}) + (0.04 \times Clay) + (0.32 \times Silt) + (-0.45 \times VFS) + (0.07 \times OM) + (0.60 \times TNV) + (0.67 \times Gravel) + (-0.23 \times PE)$$

چون در تشکیل هر مؤلفه از تمام متغیرهای اولیه استفاده شده‌است؛ بنابراین، از روش چرخش واریماکس برای تفسیر ساده‌تر استفاده شد و همبستگی سه مؤلفه اول نسبت به متغیرهای مورد استفاده و شاخص فرسایش‌پذیری خاک بررسی شد. این چرخش، سبب شد وابستگی عوامل بارگذاری با مؤلفه‌های اصلی آشکارتر شود و تشخیص اینکه تغییرات هر یک از مؤلفه‌های اصلی متأثر از کدام عوامل بارگذاری است، آسان‌تر باشد.

جدول ۴، بیانگر مشخصات مؤلفه‌های اصلی بعد از چرخش واریماکس در منطقهٔ مطالعاتی است. با توجه به این جدول، ضریب همبستگی مؤلفه‌های اول، دوم و سوم با شاخص فرسایش‌پذیری خاک به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۰۴- و ۰/۴۱ است. بنابراین، مؤلفه اول نسبت به مؤلفه دوم و سوم با شاخص فرسایش‌پذیری خاک همبستگی بیشتری دارد و در

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

نتیجه، متغیرهایی که در این مؤلفه از نظر مقدار عددی سهم بیشتر (بارگذاری بزرگ‌تری) دارند، همبستگی بیشتری را با شاخص فرسایش‌پذیری خاک خواهند داشت. مقادیر دوران داده شده بارگذاری، در مؤلفه اول نشان می‌دهد که درصد شن و سیلت، نفوذپذیری خاک و درصد رس، به ترتیب با شاخص فرسایش‌پذیری خاک همبستگی بیشتری دارند و همبستگی بقیهٔ عوامل (مواد آلی، سنگریزه، شن خیلی ریز و آهک) در این مؤلفه کم است؛ به گونه‌ای که همبستگی درصد شن و نفوذپذیری خاک در جهت منفی و همبستگی درصد سیلت و رس در جهت مثبت است. در مقابل، در مؤلفه دوم بیشترین بارگذاری مربوط به متغیرهای سنگریزه و آهک و در مؤلفه سوم، مربوط به مواد آلی و شن خیلی ریز است.

جدول ۴: مؤلفه‌های اصلی پس از چرخش واریماکس در منطقهٔ مطالعاتی

ویژگی	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳
شن	-۰/۹۸	۰/۱۶	-۰/۰۳
رس	۰/۷۴	-۰/۳۸	-۰/۲۰
سیلت	۰/۹۵	-۰/۰۲	۰/۱۵
شن خیلی ریز	۰/۳۱	-۰/۴۸	۰/۶۴
مواد آلی	۰/۰۴	-۰/۱۳	-۰/۹۰
آهک	-۰/۱۶	۰/۷۰	-۰/۲۶
سنگریزه	-۰/۰۸	۰/۸۶	۰/۲۹
نفوذپذیری	-۰/۹۲	۰/۱۸	۰/۲۰
شاخص فرسایش‌پذیری خاک	۰/۸۸	-۰/۰۴	۰/۴۱

ساخت مدل رگرسیونی

برای مدل‌سازی، مقادیر مؤلفه‌های به‌دست آمده PC_1، PC_2 و PC_3 به عنوان متغیرهای مستقل (برآورد کننده) و مقادیر شاخص فرسایش‌پذیری خاک به عنوان متغیر وابسته، به مدل رگرسیونی خطی چندگانه وارد شد. بررسی رابطه بین فرسایش‌پذیری خاک (K) و مقادیر مؤلفه‌های اصلی به‌دست آمده از PC1، PC2 و PC3 نشان داد که اثر ویژگی‌ها بر فرسایش‌پذیری خاک معنی‌دار ($p <$ ۰/۰۰۱) و ضریب تبیین آن (R^2)، ۰/۸۸ درصد است. جدول ۵، نتایج ضرایب رگرسیونی رابطهٔ فرسایش‌پذیری (K) و مقادیر مؤلفه‌های اصلی به‌دست آمده از PC1، PC2 و PC3 را نشان می‌دهد.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

جدول ۵: نتایج نهایی ضرایب رگرسیونی رابطهٔ فرسایش‌پذیری خاک (K) و مؤلفه‌های اصلی

مدل	ضرایب غیراستاندارد		ضرایب استاندارد	t	معنی داری
	انحراف معیار	B	Beta		
ثابت	۰/۰۰۱	۰/۰۲۸	-	۲۹/۹۹	۰/۰۰۰
PC_1	۰/۰۰۱	-۰/۰۱۴	-۰/۸۴	-۱۴/۲۰	۰/۰۰۰
PC_2	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۵	-۰/۸۸	۰/۳۸۵
PC_3	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۷	-۰/۴۲	-۷/۱۲	۰/۰۰۰

بر اساس جدول بالا، رابطهٔ فرسایش‌پذیری خاک و مقادیر مؤلفه‌های اصلی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

رابطهٔ ۷ $K= 0.028-0.014PC_1+0.0001PC_2-0.007PC_3$

که در آن، K عامل فرسایش‌پذیری خاک در مدل USLE بر حسب تن ساعت در مگاژول میلی‌متر است.

بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی، در این پژوهش اثر ویژگی‌های مختلف فیزیکوشیمیایی بر فرسایش‌پذیری خاک (K) بررسی شد. Van Rompaey و همکاران (2003) و Cerdan (2003) عوامل مختلفی از جمله ویژگی‌های خاک، پوشش سطح خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی را از عوامل مؤثر در فرسایش خاک‌ها می‌دانند. یکی از عوامل مؤثر در فرسایش، بافت خاک است. به دلیل ارتباط نزدیک مقدار سیلت با فرسایش‌پذیری، مقدار فرسایش خاک افزایش می‌یابد؛ زیرا سیلت فاقد چسبندگی است. نتایج نشان داد که درصد سیلت از عوامل تأثیرگذار در مقدار فرسایش در منطقهٔ مورد مطالعه است که با نتایج یافته‌های Zhang و همکاران (2004) و Casermeiro و همکاران (2004) همخوانی دارد. افزایش مقدار شن به کاهش فرسایش‌پذیری خاک منجر شد (Wang et al, 2012). در مطالعهٔ حاضر، درصد شن از عوامل مؤثر در مقدار فرسایش است که این نتیجه با یافته‌های Wang و همکاران (2012)، Vahabi و Nikkami (2008)، Santos و همکاران (2003) و Azmoodeh و همکاران (2010) مطابقت دارد. بررسی‌های آماری در محدودهٔ مطالعاتی، همبستگی مثبت فرسایش‌پذیری با سیلت و شن خیلی ریز را نشان داد که با نتایج Duiker و همکاران (2001) و Parysow و همکاران (2003) مطابقت دارد. همبستگی مثبت سیلت با فرسایش‌پذیری در تحقیقات Wischmeier و Smith (1978)، Meyer و Harmon (1994) و Rienks و همکاران (1999) نیز تأیید شده‌است. فرسایش‌پذیری خاک با آهک (کربنات کلسیم)، همبستگی منفی نشان داده‌است. در واقع، مقدار کربنات به عنوان یک شاخص پایدارکننده شناخته شده‌است و نقش یک عنصر مقاوم به فرسایش را ایفا می‌کند. یون کلسیم نیز به تجمع کلوئیدهای خاک شده منجر می‌شود و مقاومت به فرسایش را افزایش می‌دهد (Duiker et al, 2001)، ولی در شرایط حاضر همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، به دلیل درشت بافت بودن خاک منطقه، از بین بردن آهک در

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

تغییر بافت و فرسایش‌پذیری خاک تأثیر چشمگیر و قابل ملاحظه‌ای نداشته‌است. Merzouk و Blake (1991) نیز به بیان وجود رابطهٔ مثبت میان آهک و فرسایش‌پذیری خاک پرداختند. آنها معتقدند علت این امر، فقدان پلیداری خاکدانه‌های بزرگ در حضور آهک در اندازهٔ سیلت است که به سله‌بندی و پر شدن حفرات خاک منجر می‌شود. همبستگی منفی فرسایش‌پذیری با ماده آلی توسط Martz (1992)، Duiker و همکاران (2001) و Feyznia و همکاران (2005) نیز تأیید شده‌است. بدیهی است برای ارائه رابطه‌ای دقیق‌تر برای پیش‌بینی فرسایش‌پذیری در خاک‌های مناطق نیمه خشک و خشک، باید پژوهش‌هایی مشابه در سایر خاک‌های نواحی نیمه خشک و خشک ایران انجام شود.

منابع

1. Ahmadi-Qolidaraq, S.; Abbasi-Kalo, A.; & A. Esmali-0uri, 2019. Investigating the Effect of Soil Properties on Soil Erosion at Suborder Level Using PCA (A Case Study: Ardabil Plain), *JWSS*, 23(4), 199-210. (In Persian)
2. Azmoodeh, A.; Kavian, A.; Soleimani, K.; & G. H. Vahabzadeh, 2010. Comparing runoff and soil erosion in forest, dry farming and garden land uses soils using rainfall simulator, *Journal of Water and Soil*, 24(3), 490-500. (In Persian)
3. Barthes, B., & E. Roose., (2002). Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion, validation at several levels. *Catena*. 47(2), 133-149.
4. Battany, M. C., & M. E. Grismer., (2000). Rainfall Runoff and Erosion in Napa Velley vineyards: effects of slope, cover and surface roughness. *Hydrological Processes*. 14,1289-1304.
5. Casermeiro, M. A.; Molina, J. A.; Dela Cruz Caravaca, M. T.; Hernando Costa, J.; Hernando Massanet, M. I.; & P. S. Moreno, 2004. Influence of scrubs on runoff and sedimentloss in soils of Mediterranean climate. *Catena*. 59, 91-107.
6. Castrignanoo, A.; Giugliarini, L.; Risaliti, R.; & N. Martinelli, 2000. Study of spatial relationships among some soil Physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatstics, *Geoderma*, 97, 39-60.
7. Castro, C. F., & T. J. Logan., (1991). Limming effects on the stability and erodibility of som Brazilian oxisols. *Soil Science Society of America Journal*. 55, 1407-1413.
8. Cerdan, O., 2003. Long-term soil erosion plot data to evaluate the PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment)Approch. European Geophysical Society, *Geophysicsl Research Abstracts*, 1, 439.
9. Charman, P. E. V., & B. W. Murphy., (2000). Soils (their properties and management). Second edition, Land and Water Conservation, New South Wales, Oxford. Pp, 206-212.
10. De Figueiredo, T., & J. Poesen., (1998). Effects of surface rock fragment characteristics on interrill runoff and erosion of a silty loam soil. *Soil & Tillage Research*. 46, 81-95.
11. Dong-Sheng, Y.; Xue-Zheng, S.; & D. C. Weindrof, 2006. Relationships between permeability and erodibility of cultivated Acrisols and Cambisols in subtropical china, *Pedosphere*, 16(3), 304-311.
12. Duiker, S. W.; Flanagan, D. C.; & R. Lal, 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain, *Catena*, 45, 103-121.
13. Ekwue, E. I., 1990. Effect of Organic Mater on Splash Detachment and the Processes in Volved Earth Surf Process Landforms, 15, 175-181.
14. Ekwue, E. I., & A. Harrilal., (2010). Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*. 102, 236-243.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

15. Feyznia, S.; Khajeh, M.; & J. Ghayumian, 2005. Investigation of the effect of physical, chemical and climatic factors on sediment production Due to surface erosion of loess soils, *Journal of Pazhohesh va Sazandegi in Natural Resources*, 66, 14-24.
16. Ghaderi, N., & J. Ghoddosi., (2005). Study of soil erodibility in lands units from Telvarchai watershed. Proceedings of the Third National Conference of Erosion & Sediment. Tehran. Iran. Pp, 367-372. (In Persian)
17. Ghasemi, E., & J. Mohammadi., (2003). Study of spatial variation of soil erodibility, A case study in Cheghakhor watershed in Chaharmahal-e-Bakhtiyari province. Proceeding of the Eighth Soil Science Congress of Iran. Rasht. Iran. Pp, 864-865. (In Persian)
18. Ghorbani vagheie, H., & H. A. Bahrami., (2005). Spatial changes of USLE and RUSLE soil erodibility index using GIS case study: North East of Lorestan province. .Proceedings of the Third National Conference of Erosion & Sediment. Tehran. Iran. (In Persian)
19. Goh, T. B.; Arnaud, R. J. St.; & A. R. Mermut, 1993. Aggregate Stability to Water. In: Cartner, M.R.(Ed.), Soil sampling and methods.
20. Gupta, O. P., 2002. Water in relation to soils and plants, Agrobios, India. Pp, 31-34.
21. Johnson, R. A., & D. W. Wichern., (1982). Applies multivariate statistical analysis. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, Sa, 590 p.
22. Jollife, I., 1986. Principal component analysis. Springer-Verlag, New York, pp, 186-189.
23. Khosraviaqdam, K.; Momtaz, H. R.; & F. Asadzadeh, 2019. Estimation of Soil erodibility factor of USLE model and its relationship with landscape features in some parts of Nazzlo-Chay basin, Iran, 7(1), 31-43. (In Persian)
24. Klut, A., 1986. Methods of Soil Analysis, Part: I. Physical and Mineralogical Methods. 2nd Ed, *Soil Science Society American Journal*, 1188 pp.
25. Li, X. Y., 2003. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China, *Catena*, 52, 105-127.
26. Liu, C. W.; Lin, K. H.; & Y. M. Kuo, 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan, *Science of the Total Environment*, 313, 77-89.
27. Martinez-Zavala, L., & A. Gordan., (2008). Effect of rock fragment cover on interrill soil erosion from bare soils in Western Andalusia, Spain. *Journal of Soil Use and Management*. 24, 108-117.
28. Martz, L. W., 1992. The Variation of Soil Erodibility With Slope Position in a Cultivated Canadian Prairie Landscape, *Earth Surf. Proc. Landf*, 17, 543-556.
29. Mazloum Aliabadi, Y.; Mansouri, H.; & H. Emami, 2017. Investigating the relationship between soil quality indices and soil losses and soil erodibility index (Sanganeh region of Khorasan Razavi). 15th Iranian Soil Science Congress, Isfahan. (In Persian)
30. Merzouk, A., & G. R. Blake., (1991). Indices for the Estimation of Interill Erodibility of Moroccan Soils, *Journal of Catena*, 18, 537-550.
31. Meyer, L. D., & W. C. Harmon., (1994). Susceptibility of agricultureal Soil to Interrill Erosion. *Journal Soil Science Society of America*. 48, 1152- 1157.
32. Miller, R. W., & R. L. Donahue., (1990). Soils: An introduction to soils and plant growth, Prentice- Hall Internasional, 454p.
33. Miller, R. W., & D. T. Gardiner., (1998). Soils in our environment. Eighth edition, Prentic-Hall Inc. United State of America. pp, 75-81.
34. Ostovari, Y.; Ghorbani Dashtaki, SH.; Bahrami, H. A.; Naderi, M.; & M. Abasi, 2015. Spatial variations of soil erodibility and effective factors in upstream of Sivand Dam, *Quantitative Geomorphological Research*, 4(3), 127-142. (In Persian)
35. Parysow, P.; Wang, G.; Gertner, G.; & A. B. Anderson, 2003. Spatial uncertainly analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation, *Catena*, 736, 1-14.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

36. Razavi parizi, S. A., 2016. Introduction to linear regression analysis. Montgomery, D., Peck, E. 5nd edition. Shahid Bahonar University of Kerman Publications. 790 p. (in Persian)
37. Refahi, H. GH., 2017. Water Erosion and its control. Seventh Publication, University of Tehran Press, Iran, pp, 140-147. (In Persian)
38. Rienks, S. M.; Botha, G. A.; & J. C. Hughes, 1999. Some Physical and Chemical Properties of Sediments Exposed in a Gully (Donga) in Northern KwaZulu-Natal, South Africa and Their Relationship to the Erodibility of the Colluvial Layers, *Catena*, 39, 11-31.
39. Santos, F. L.; Reis, J. L.; Martins, O. C.; Castanheria, N. L.; & R. P. Serralherio, 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of Sprinkler irrigation soils, *Biosystems Engineering*, 86(3), 355-364.
40. Vaezi, A.; Bahrami, H. A.; Sadeghi, SHR.; & M. H. Mahdian, 2009. The new monograph to estimate erosion-risk factor (K) in the semi-arid region in the northwestren part of the territory of Iran, Journal of Soil and Water Sciences (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 13(49), 69-80. (In Persian)
41. Vaezi, A. R.; Bahrami, H. A.; Sadeghi, H. R.; & M. H. Mahdian, 2007. Study of factors affecting erodibility based on the universal soil loss equation in calcareous soils, 4nd Ed. *Agricultural Science and natural Resources*, 4(5), Dec2007- Jan2008. (In Persian)
42. Vahabi, J., & D. Nikkami., (2008). Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. *International Journal of Sediment Research*. 23, 375-385.
43. Van Rompaey, A. J. J.; Vieillefont, V.; Jones, R. J. A.; Montanarella, L.; Verstraeten, G.; & P. Bazzoffi, 2003. Validation of soil erosion estimates at European scale. EUR 20827 EN, 26 pp. Offic for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
44. Wang, Y. Q.; Zhang, X. C.; Zhang, J. L.; & J. Shum, 2012. Spatial variability of soil organic carbon in watershed on the loess plateau, *Pedosphere*, 19, 486-495.
45. Wischmeier, W. H., & D. D. Smith., (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook NO. 537. US Department of Agriculture, Washington DC., pp. 13-27.
46. Zare chahouki, M. H., 2014. Data analysis in natural resources research using SPSS software. Academic Center for Education, Culture and Research, Tehran. 310p (In Persian)
47. Zhang, K.; Li, S.; Peng, W.; & B. Yu, 2004. Erodibility of agricultural soils and loess plateau of china, *Soil & Tillage Research*, 76, 157-165.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

Presenting Prediction Equation of Soil Erodibility Amount Based on Physicochemical Properties Affecting It (Case Study: Cross-section of Yazd-Ardakan Plain)

Farzaneh fotouhi firoozabad[1]: *Assistant Professor of Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, P.O.Box 184, Ardakan, Iran.*

Article History (Received: 2021/09/21 Accepted: 2021/12/12)

Extended abstract

1- Introduction:

Erodibility, which is determined by the soil's intrinsic features, is one of the most important elements in soil erosion. This factor reflects how sensitive the particles of a particular soil are to separation and transmission by erosion causes, both quantitatively and qualitatively. For measuring soil loss, the Universal Soil Loss Equation (USLE) is very useful. The scholarly sources have revealed that erodibility is influenced by a variety of physical and chemical features of soil. In several soil erosion and sedimentation models, such as USLE, RUSLE, and MUSLE, one of the essential parameters is erodibility, which is represented as K. Particle size distribution, organic matter, structure, and permeability all have a role as well. The goal of this research was to quantify the amount of erodibility (K) in dry and semi-arid soils, as well as the physicochemical parameters that influence it. Another purpose of this research was to develop a connection that uses principal component analysis (PCA) and linear multivariate regression to estimate the quantity of soil erodibility based on effective physicochemical parameters.

2- Methodology:

The research location is 20 kilometers from Yazd city, along the Yazd-Ardakan road, on the edge of the dunes facies, which includes bare, mantled, and covered pediments. Using the stratified random sampling approach, soil samples were gathered to a depth of 10 cm within the facies in this study. The size and form of aggregates, as well as water penetration in the soil, were used to calculate soil structure codes using Wischmeier and Smith's tables. In the desert, soil permeability was assessed using double cylinders based on the ultimate infiltration rate. The hydrometer technique was used to determine the spread of soil granulation. Wet sieving and the Walkley and black methods were used to assess the proportion of extremely fine sand and organic matter, respectively. Lime was calculated by multiplying the volume of the hydrochloric acid neutralization reaction by the quantity of neutralizing agents. Statistical indicators such as mean, minimum, maximum, and standard deviation were derived at this step after computing the soil erodibility index. Principal component analysis was performed using SPSS17.0 software, and the linear multivariate regression model was utilized to predict soil erodibility index. After selecting significant components, linear multivariate regression between these components and soil erodibility was conducted concurrently. The coefficient of determination was used to assess the equation's accuracy in this investigation (R2).

3- Results:

The findings of the physical and chemical features of soil study revealed that the texture of the soil is mostly light sandy to loamy, with low organic content and calcareous. In terms of structural form, the analyzed soils were extremely fine granular and spongy, and their structural code was based on USLE (2 and 1). The permeability of the soil profile was high to extremely high (18.4 cm/h), and it was often in Class 1, 2, and in some instances Class 3 according to USLE. In the three naked, mantled, and covered

[1] Corresponding Author: f.fotouhi@ardakan.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]

pediments, the estimated erodibility indexes based on Wischmeier and Smith regression relationships were 0.0385, 0.03, and 0.0199 ton.hr/MJ.mm, respectively. According to the particular values acquired from the parameters and the percentage of variance, the top three components may be picked as the major component using principal component analysis. The first, second, and third components have correlation values of 0.88, -0.04, and 0.41, respectively, with the soil erodibility index. As a result, the first component has a stronger relationship with the soil erodibility index than the second and third ones. The percentage of sand and silt, soil permeability, and percentage of clay have a higher correlation with the soil erodibility index, respectively, and the correlation of other factors (organic matter, gravel, fine sand, and lime) is low in this component, according to the values for the given loading period. The amount of sand in the soil and its permeability are negatively correlated; whereas, the percentage of silt and clay in the soil is positively correlated. The maximum load is connected to the variables of gravel and lime in the second component, and it is related to organic matter and extremely fine sand in the third component. The effect of characteristics on soil erodibility is significant ($0.001>p$) and its coefficient of determination ($R2$) is 0.88 percent, according to an investigation of the relationship between soil erodibility and principal component values obtained from PC1, PC2, and PC3 using a linear multivariate regression model.

4- Discussion & Conclusions:

The quantity of erodibility in dry and semi-arid soils, as well as the physicochemical parameters that impact it, were investigated in this research. Using principal component analysis and linear multivariate regression, a link was found to estimate the quantity of soil erodibility based on the effective physicochemical parameters. Because of the high amount of sand in the region's soils, these soils are readily separated due to poor adhesion, but because they contain bigger particles, they resist runoff and hence create less sediment. This barrier to transfer reduces as the quantity of clay and silt in the soil increases, and consequently more sediment is transported. Furthermore, a considerable quantity of sand improves soil permeability and reduces runoff. However, when the amount of silt and clay in the soil increases as a result of surface sealing, permeability reduces and greater runoff occurs. Soil erodibility is additionally influenced by organic content, lime, gravel, and permeability. Lime has a negligible influence on soil erodibility since it contains calcium cation, which increases particle homogeneity and hence increases soil resilience to rain drops. Organic matter has a negative relationship with soil erodibility as well. The breakdown of aggregates is slowed by increasing the quantity of organic matter in the soil. As a result, as organic matter levels rise, the rate of aggregate decomposition in a particular soil falls by one-third. Similar research studies in other semi-arid and arid soils in Iran are required to provide a more reliable connection for forecasting erodibility of soils in semi-arid and arid locations.

Keywords: **Principal component analysis, Linear multivariate regression, Soil erodibility, The Universal Soil Loss Equation (USLE).**

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.10.5]