

Investigation of Changes in Soil Erodibility Using the USLE Model and Determination of Effective Factors (Case Study: Dorahan Watershed-Borujen City)

Jafar Karimi Shiasi¹, Farzaneh Fotouhi Firoozabad^{1*} , Ali Fathzadeh¹, Mehdi Hayatzadeh¹ and Mostafa Shirmardi²

(Received: July 18-2024 ; Revised: October 20-2025 ; Accepted: January 7-2025)

1. Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
2. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

*: Corresponding author Email: f.fotouhi@ardakan.ac.ir

Abstract

One of the main factors contributing to water erosion is the inherent characteristic of soil erodibility. Erodibility depends on particle size distribution, organic matter, structure, and soil permeability. This research aimed to investigate changes in the soil erodibility factor across geomorphological facies. The soil erodibility index was estimated by sampling 58 points within the geomorphological facies of the Dorahan watershed, using the Wischmeyer and Smith method. In the laboratory, soil granularity distribution, organic matter, soil structure, the amount of gravel, lime, salinity, acidity, and sodium absorption ratio were measured. Results indicated that soil erodibility across the entire area ranges from 0.0148 to 0.0661 (t.hr/Mj.mm). The soil erodibility index (K) for the hro-p1 and hro-p2 facies is higher than for others and exhibits the widest range of variations compared to the other facies. The lowest range of changes within geomorphological facies is associated with the hrc facies. The erodibility index decreases from the east to the west of the basin due to the presence of exposed rock faces, which protect the soil as a cover layer.

Keywords: Dorahan watershed, Geomorphological facies, Erodibility index, Water erosion

How to cite this article: Karimi Shiasi, J., Fotouhi Firoozabad, F., Fathzadeh, A., Hayatzadeh, M. and Shirmardi, M. 2025. Investigation of Changes in Soil Erodibility Using the USLE Model and Determination of Effective Factors (Case Study: Dorahan Watershed-Borujen City). *J. Water and Soil Sci.* 29(1):97-110. DOI: [10.47176/jwss.29.1.63531](https://doi.org/10.47176/jwss.29.1.63531)

Copyright © 2025 Karimi Shiasi et al. Published by Isfahan University of Technology.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

بررسی تغییرات شاخص فرسایش پذیری خاک مدل USLE و عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دوراهان - شهرستان بروجن)

جعفر کریمی شیاپی^۱، فرزانه فتوحی فیروزآباد^{۱*}، علی فتح‌زاده^۱، مهدی حیات‌زاده^۱ و مصطفی شیرمردی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۲۸؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۷/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸)

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: f.fotouhi@ardakan.ac.ir

چکیده

یکی از عوامل اصلی ایجاد فرسایش آبی، ویژگی ذاتی خاک یا فرسایش‌پذیری است. فرسایش‌پذیری تابعی از توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری خاک است. هدف پژوهش حاضر بررسی تغییرات عامل فرسایش‌پذیری خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی است. شاخص فرسایش‌پذیری خاک با نمونه‌برداری از ۵۸ نقطه در رخساره‌های ژئومورفولوژی حوضه آبخیز دوراهان - بروجن با روش ویشمایر و اسمیت برآورد شد. در آزمایشگاه توزیع دانه‌بندی خاک، درصد مواد آلی، ساختمان خاک، مقدار سنگ‌ریزه، آهک، شوری، اسیدیته و نسبت جذب سدیم تعیین شد. نتایج نشان داد فرسایش‌پذیری خاک در کل حوضه بین ۰/۰۶۶۱ - ۰/۱۴۸ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر متغیر است. شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K) در رخساره‌های تپه‌ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد از لحاظ مقدار بیشتر از بقیه است و از لحاظ دامنه تغییرات نیز از بقیه رخساره‌ها بیشترین دامنه تغییرات را دارد. از طرفی کمترین دامنه تغییرات در رخساره‌های ژئومورفولوژی، مربوط به رخساره تپه‌ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی کمتر از ۲۵ درصد است. به‌طور کلی با حرکت از سمت شرق به غرب حوضه، شاخص فرسایش‌پذیری کاهش پیدا می‌کند و یکی از دلایل آن، وجود رخساره‌های برونزد سنگی بوده که به‌عنوان لایه پوششی از خاک محافظت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبخیز دوراهان، رخساره ژئومورفولوژی، شاخص فرسایش‌پذیری، فرسایش آبی

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. © ۱۴۰۴.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط به استناد صحیح به مقاله و با رعایت

شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است: (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



مقدمه

یکی از عوامل اصلی و مؤثر در ایجاد فرسایش آبی، فرسایش پذیری خاک است که وابستگی زیادی به ویژگی های ذاتی خاک دارد. با شناخت و ارزیابی این عامل، بهتر می توان از طریق راهکارهای اصولی از زیان های مختلف فرسایش جلوگیری کرد و یا آن را به کمترین مقدار ممکن رسانید. عامل فرسایش پذیری خاک بیانگر حساسیت ذاتی ذرات خاک به جدا شدن از بستر خود و انتقال توسط عوامل فرسایش بوده و در واقع بیان کننده تأثیر بسیاری از خصوصیات و اثرات متقابل آن هاست. این عامل از عوامل مهم و دخیل در برخی مدل های فرسایش رسوب از جمله Universal Soil Loss Equation (USLEV)، Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) و Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) است که به صورت K نمایش داده می شود و تابعی از توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری است.

خسروی اقدام و همکاران (۱۳) با برآورد عامل فرسایش پذیری خاک مدل USLE و ارتباط آن با برخی از ویژگی های زمین منظر در حوضه آبخیز نالوچای ارومیه به این نتیجه رسیدند که خاک منطقه در کلاس فرسایش پذیری خیلی کم و کم قرار دارد. کیانی هرچگانی و همکاران (۱۴) عامل فرسایش پذیری خاک در حوضه آبخیز شازند را با سه روش ویشمایر و اسمیت ۱۹۷۸، رابطه رومکنز و همکاران ۱۹۸۶ و رابطه توری و همکاران ۱۹۷۷ به دست آوردند و با تفسیر داده های آمار توصیفی نشان دادند که نتایج به دست آمده از رابطه ویشمایر و اسمیت به دلیل در نظر گرفتن متغیرهای مختلف از جمله بافت و ساختمان خاک اختلاف معناداری با دو رابطه دیگر دارد. اکبری و همکاران (۲) به ارزیابی اثرهای سیل بر خطر فرسایش خاک بر اساس رویکرد RUSLE-GLOSEM در غرب ایران پرداختند، آن ها با استفاده از مدل RUSLE در استان لرستان فرسایش خاک منطقه را قبل و بعد از یک سیل بزرگ محاسبه کردند و به این نتیجه رسیدند که مقدار فرسایش در منطقه از ۴/۱۲ قبل از

سیل، به ۱۰/۹۳ تن در هکتار بعد از سیل افزایش یافته و اعلام کردند که فرسایش پذیری در منطقه از ۰/۱۷ تا ۰/۴۹ درصد متغیر است؛ بنابراین نتایج مدل سازی GLOSEM نشان داد که تغییر اقلیم عامل اصلی تغییر در میزان فرسایش خاک است. جوادی و همکاران (۱۱) شاخص فرسایش پذیری خاک را در حوضه آبخیز نومه رود با استفاده از معادله ویشمایر - اسمیت به دست آوردند. فتوحی (۷) به بررسی و ارائه معادله پیش بینی مقدار فرسایش پذیری خاک بر اساس ویژگی های فیزیکوشیمیایی مؤثر بر آن در مقطعی از دشت یزد - اردکان پرداخت. پس از نمونه برداری، آزمایش ها و آنالیزهای مورد نیاز، به این نتیجه رسید که مقدار فرسایش پذیری برآوردی بر اساس رابطه رگسیون ویشمایر - اسمیت به طور میانگین در سه تیپ دشت سر لخت، اپانداژ و پوشیده به ترتیب ۰/۰۳۸۵، ۰/۰۳ و ۰/۰۱۹ تن ساعت بر مگاژول میلی متر است. اکرافور و همکاران (۱۹) عامل فرسایش پذیری خاک (K) را برای سایت های منتخب در ایمو - نیجریه بین ۰/۰۲۳ تا ۰/۰۶۷ تن ساعت بر مگاژول میلی متر در منطقه به دست آوردند. الانیا و همکاران (۲۰) با بررسی شاخص فرسایش پذیری خاک در کاربری های جنگل، زراعی و زمین بایر در هند به این نتیجه رسیدند که بیشترین فرسایش پذیری مربوط به اراضی کشاورزی است. دلیل آن هم بیشتر بودن محتوای سیلت، شن و ماسه که فاقد خاصیت چسبندگی است است. تانس (۲۳) با بررسی عامل فرسایش پذیری در اراضی کشاورزی ترکیه به این نتیجه رسید ۲۲ درصد از کل خاک های بررسی شده با حساسیت زیاد به فرسایش آبی، ۶۶ و ۱۲ درصد به ترتیب حساسیت متوسط و جزئی به فرسایش آبی نشان دادند. زمین های کشاورزی به شدت در معرض خطر از دست دادن حاصل خیزی توسط فرسایش هستند.

فرسایش خاک امروزه به یک معضل بزرگ تبدیل شده و فرسایش خاک امنیت غذایی جامعه بشری و محیط زیست را به خطر می اندازد و حاصل فرسایش، تولید رسوب در حوضه های پایین دست است. از طرفی حوضه آبخیز دوراهان از

شهرستان بروجن، استان چهارمحال و بختیاری و کشور ایران را نشان می‌دهد.

جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها

در پژوهش حاضر، ابتدا به کمک نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مرز منطقه مطالعاتی مشخص و نقشه‌های واحدهای سنگ‌شناسی و رخساره‌های ژئومورفولوژی بر اساس سیستم مختصات UTM از منطقه مطالعاتی تهیه شد. پس از تهیه نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه، در مجموع ۵۸ نمونه از خاک سطحی به روش طبقه‌بندی - تصادفی و بر اساس مساحت رخساره‌ها، به این صورت که حداقل ۳ نمونه در کوچک‌ترین پلیگون یک رخساره و حداکثر ۸ نمونه از بزرگ‌ترین پلیگون یک رخساره با استفاده از پلات ۲۰*۲۰ سانتی‌متری، تا عمق ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. حین نمونه‌برداری در صحرا با استفاده از سیستم مکان‌یاب جهانی موقعیت جغرافیایی محل نمونه‌برداری مشخص شد. کدهای ساختمان خاک نیز بر اساس اندازه و شکل خاک‌دانه‌ها و نفوذ آب در خاک از جدول‌های پیشنهادی ویشمایر و اسمیت تعیین شد (۲۵). نفوذپذیری خاک، بر اساس سرعت نفوذ نهایی با روش استوانه‌های مضاعف در صحرا اندازه‌گیری شد.

عملیات آزمایشگاهی و محاسباتی

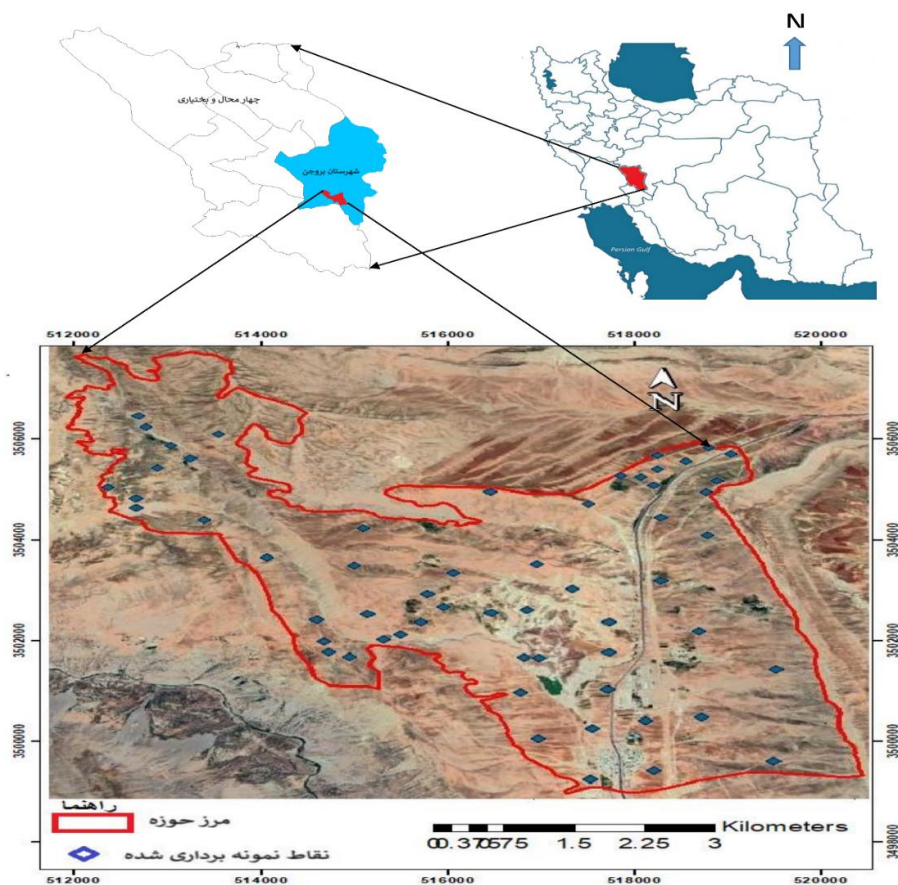
پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، ابتدا نمونه‌ها با هوا خشک شدند و آزمایش‌های لازم روی آن‌ها انجام شد. درصد نسبی ذرات معدنی خاک (شن، رس و سیلت) به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد (۳). روش هیدرومتری که معمول‌ترین روش در تعیین بافت خاک است، بر مبنای قانون استوکس استوار است. درصد شن خیلی ریز نیز در آزمایشگاه به روش الک تر تعیین شد (۱۱). روش والکی و بلک برای اندازه‌گیری مقدار کربن آلی در خاک‌ها استفاده شد (۲۴). ساختمان خاک نیز بر اساس اندازه و شکل

زیرحوضه‌های کارون بزرگ است و با توجه به احداث چندین سد برق - آبی در مسیر کارون، برای جلوگیری از کاهش ظرفیت مفید مخازن سدها ضرورت دارد که مناطق فرسایش‌پذیر در حوضه، شناسایی و با اقدامات مدیریتی صحیح، کنترل شود؛ بنابراین هدف اصلی از پژوهش حاضر بررسی تغییرات عامل فرسایش‌پذیری خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی حوضه آبخیز دوراهان با استفاده از معادله ویشمایر - اسمیت (مدل USLE) و همچنین تعیین سایر عوامل مؤثر در شاخص فرسایش‌پذیری خاک که در رابطه رگرسیونی ویشمایر - اسمیت مورد توجه قرار نگرفته است، است.

مواد و روش‌ها

مشخصات کلی منطقه

حوضه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 31' 45''$ الی $43^{\circ} 42' 43''$ عرض شمالی و $51^{\circ} 07' 07''$ الی $51^{\circ} 13' 00''$ طول شرقی در استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان بروجن قرار گرفته است که با مجموع مساحت ۳۹۶۴ هکتار بخشی از حوضه پایاب آب ونک، از زیرحوضه‌های کارون بزرگ محسوب می‌شود. حوضه دارای شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد است. این حوضه در زون زاگرس قرار گرفته است. متوسط ارتفاع حوضه ۲۶۶۰ متر از سطح دریا است. متوسط بارش در حوضه ۶۸۲/۶ میلی‌متر در سال است. طبق گزارش اداره کل منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، مقدار فرسایش در این حوضه پس از اجرای چندین طرح آبخیزداری ۱۶/۰۶ تن در هکتار در سال اعلام شده است. این حوضه در زون رورانده یا زاگرس مرتفع قرار دارد. زاگرس مرتفع، زونی به شکل خردشده و گسل‌خورده و به‌صورت نوار باریک و کم‌عرضی (۷۰-۱۰ کیلومتر) بین زون سنندج - سیرجان و زاگرس چین‌خورده قرار دارد (۱). این حوضه شامل چندین رخساره با پلیگون‌های متفاوت است. بخش مرکزی حوضه تحت پوشش رخساره‌های وابسته به رودخانه (دشت مخروط‌افکنه و مسیل) است. شکل ۱، موقعیت مکانی حوضه آبخیز دوراهان واقع در



شکل ۱. موقعیت مکانی حوزه آبخیز دوراهان در استان چهارمحال و بختیاری و کشور ایران

(HCL) تعیین شد (۸). بعد از تهیه عصاره گل اشباع، مقدار pH با استفاده از دستگاه pH متر، شوری با استفاده از دستگاه هدایت سنج و غلظت سدیم محلول با استفاده از روش فلیم فتومتری (۲۱) تعیین شد. سپس عامل فرسایش پذیری خاک از روش پیشنهادی ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) مطابق معادله رگرسیونی زیر تعیین شد.

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

(۱)

که در آن؛ M: حاصل ضرب مجموع درصد سیلت و شن بسیار ریز ضربدر ۱۰۰ منهای درصد رس، a: درصد مواد آلی، b: کد ساختمان و c: کد نفوذپذیری نیم رخ خاک است. در این معادله عامل فرسایش پذیری خاک (K) در سیستم آمریکایی بر حسب ۰/۰۱ تن ساعت بر فوت تن اینچ است که به منظور تبدیل

خاک دانه ها به دست آمد و سپس گروه ساختمان خاک از جدول های پیشنهادی ویشمایر و اسمیت تعیین شد که شامل چهار کلاس به ترتیب زیر است (۲۵):

- ۱- ساختمان دانه ای و اسفنجی بسیار ریز (> ۱ میلی متر).
- ۲- ساختمان دانه ای و اسفنجی ریز (۱-۲ میلی متر).
- ۳- ساختمان دانه ای و اسفنجی متوسط (۵-۲ میلی متر) و دانه ای درشت (۱۰-۵ میلی متر).
- ۴- ساختمان متراکم (منشوری، ستونی و مکعبی).

در کنار تعیین ویژگی های مؤثر بر عامل فرسایش پذیری مدل USLE (درصد شن، درصد شن خیلی ریز، درصد سیلت، ماده آلی، کد ساختمان)، مقدار سنگ ریزه، آهک، شوری (EC)، اسیدیته (pH)، نسبت جذب سدیم (SAR) نیز اندازه گیری شد. مقدار آهک نمونه ها بر اساس مقدار مواد خثی شونده (TNV) به روش حجمی از واکنش خثی سازی با هیدروکلریک اسید

نتایج و بحث

شاخص فرسایش پذیری از عوامل کلیدی دخیل در برخی مدل‌های فرسایش و رسوب از جمله USLE، RUSLE و MUSLE است که به صورت K نمایش داده می‌شود و تابعی از توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری است. نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که خاک حوضه آبخیز بیشتر دارای بافت سبک لومی تا لومی - سیلتی است. خاک‌های بررسی شده از نظر شکل ساختمانی دانه‌ای و اسفنجی خیلی ریز تا ریز بوده و کد ساختمانی آن‌ها بر اساس USLE بیشتر در گروه ۱ و تعداد کمی هم در گروه ۲ و ۳ است. نفوذپذیری نیم‌رخ خاک عمدتاً متوسط بوده و در کلاس ۳ و به ندرت برخی موارد در کلاس‌های ۴ یا ۵ قرار دارند. میانگین نسبت جذب سدیم ۰/۶۵ و متوسط شوری خاک منطقه ۰/۶۹۷ دسی‌زیمنس بر متر است. از نظر اسیدیته نیز خاک‌ها قلیایی هستند. متوسط درصد ماده آلی و آهک به ترتیب ۲/۰۹ و ۳۱/۵۱ است. شکل ۲ نقشه ژئومورفولوژی تهیه شده از حوضه آبخیز دوراهان را نشان می‌دهد. مشخصات رخساره‌های ژئومورفولوژی به همراه مساحت آن‌ها در جدول ۲ آمده است. جدول ۳ میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در حوضه آبخیز دوراهان را نشان می‌دهد.

در میان این پارامترها، ضریب تغییرات پارامتری برای نشان دادن تغییرات فرسایش پذیری خاک است. اگر مقدار این پارامتر بین ۰-۰/۱۵ باشد تغییرپذیری کم، بین ۰/۱۵-۰/۳۵ تغییرپذیری متوسط و اگر بیش از ۰/۳۵ باشد تغییرپذیری زیاد خواهد بود (۱۳). با توجه به جدول بالا که ضریب تغییرات شاخص فرسایش پذیری برابر با ۰/۲۷ شده است؛ بنابراین تغییرپذیری حوضه آبخیز از نظر شاخص فرسایش پذیری در گروه متوسط قرار دارد. جدول ۴ مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین شاخص فرسایش پذیری خاک را در رخساره‌های مختلف ژئومورفولوژی در حوضه مطالعاتی نشان می‌دهد.

واحد K از سیستم آمریکایی (US) به سیستم بین المللی (SI) از ضریب ۰/۱۳۱۷ استفاده شد. واحد K در سیستم بین المللی تن ساعت بر مگاژول میلی متر است (۱۶). حدود استفاده از این فرمول تا ۷۰ درصد سیلت است و برای مقادیر بیشتر سیلت صادق نیست و در مورد مقادیر بیشتر سیلت باید از خود نمودگراف استفاده کرد. برای بررسی کلاس فرسایش پذیری خاک نیز می‌توان از جدول پیشنهادی ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) استفاده کرد. جدول ۱، جدول پیشنهادی ویشمایر و اسمیت به منظور طبقه بندی کلاس فرسایش خاک است.

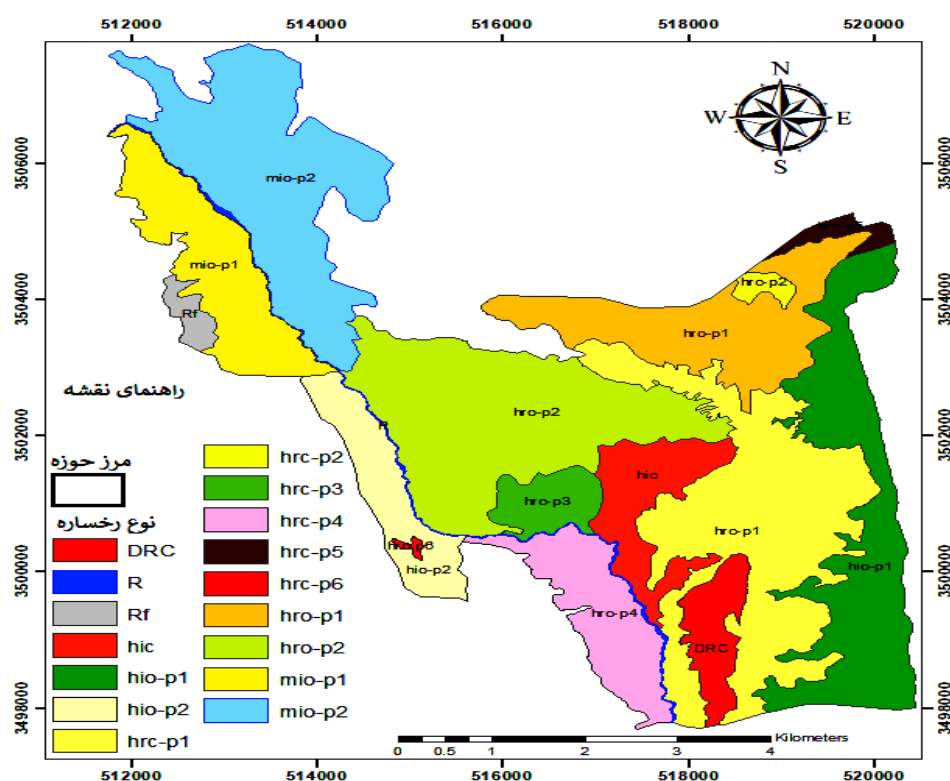
با توجه به جدول پیشنهادی چنانچه مقدار فرسایش پذیری در سطح حوضه بین ۰-۰/۰۵ باشد، آن حوضه دارای فرسایش پذیری بسیار کم بوده، اگر بین ۰/۰۵-۰/۱ باشد فرسایش پذیری کم، اگر بین ۰/۱-۰/۲ باشد فرسایش پذیری متوسط و اگر هم بین ۰/۲-۰/۳ باشد حوضه دارای فرسایش پذیری زیاد است.

تجزیه و تحلیل های آماری

در این مرحله پس از انجام آزمایش‌های لازم روی نمونه‌ها، داده‌ها پس از محاسبه شاخص فرسایش پذیری خاک و دیگر عوامل فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر فرسایش پذیری خاک، وارد نرم افزار SPSS برای تجزیه و تحلیل های آماری شدند. پارامترهای آماری مانند میانگین، کمینه، بیشینه و انحراف معیار به دست آمد. برای اثبات فرض نرمال بودن داده‌ها از آزمون غیرپارامتری کولموگروف - اسمیرنوف استفاده شد (۲۶). سپس برای بررسی تفاوت معنی داری مقدار فرسایش پذیری خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی از آزمون دانکن استفاده شد (۲۶). این روش فقط اختلاف‌هایی را که مقدار آن‌ها به نسبت زیاد است، معنی دار نشان می‌دهد. در واقع با استفاده از این روش می‌توان تمامی تیمارها را دو به دو با هم مقایسه کرد. برای بررسی میزان ارتباط بین متغیر فرسایش پذیری خاک و سایر خصوصیات فیزیکی - شیمیایی آن از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد (۲۶). ضریب همبستگی پیرسون از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی بین دو متغیر با مقیاس‌های فاصله‌ای و نسبی است که دارای توزیع نرمال نیز باشند.

جدول ۱. طبقه‌بندی کلاس فرسایش پذیری خاک

نام	کلاس فرسایش پذیری	مقدار فرسایش پذیری (t.hr/Mj.mm)
K1	بسیار کم	۰-۰/۰۵
K2	کم	۰/۰۵-۰/۱
K3	متوسط	۰/۱-۰/۲
K4	زیاد	۰/۲-۰/۳



شکل ۲. نقشه رخساره‌های ژئومورفولوژی منطقه مطالعاتی

جدول ۲. مشخصات رخساره‌های ژئومورفولوژی حوضه آبخیز دوراهان

کد رخساره	شرح رخساره	نام و شماره پلیگون	مساحت (ha)	درصد از کل
mio	کوهستان با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد	mio-p1	۲۹۵/۲	۷/۴۵
		mio-p2	۵۸۷/۰۳	۱۴/۸۱
Rf	دامنه‌های دارای واریزه‌های سنگی	Rf	۳۳/۹۱	۰/۸۶
hio	تپه‌ماهور با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد	hio-p1	۴۷۷/۶۳	۱۲/۰۵
		hio-p2	۱۸۰/۹۹	۴/۵۷

جدول ۲. مشخصات رخساره‌های ژئومورفولوژی حوضه آبخیز دوراهان (ادامه)

کد رخساره	شرح رخساره	نام و شماره پلیگون	مساحت (ha)	از کل درصد
hic	تپه‌ماهور با برونزد سنگی کمتر از ۲۵ درصد و دارای فرسایش شیاری	hic	۱۸۴/۴۴	۴/۶۵
hro	تپه‌ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد	hro-p1 hro-p2	۳۵۵/۹۸ ۶۳۸/۴۹	۸/۹۸ ۱۶/۱۱
hrc	تپه‌ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی کمتر از ۲۵ درصد و دارای پوشش تخریبی گسترده	hrc-p1	۷۰۸/۷۲	۱۷/۸۸
		hrc-p2	۲۲/۲۴	۰/۵۶
		hrc-p3	۹۲/۲۷	۲/۳۳
		hrc-p4	۲۱۴/۸۶	۵/۴۲
		hrc-p5	۳۲/۷	۰/۸۲
		hrc-p6	۴/۷۸	۰/۱۲
DRC	دشت‌های هموار با ضخامت قابل توجهی از آبرفت	DRC	۱۰۷/۹۷	۲/۷۲
R	مسیل	R	۲۶/۸	۰/۶۷

جدول ۳. میانگین ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی

شاخص آماری	کمینه	بیشینه	میانگین	ضریب تغییرات	انحراف معیار	واریانس	پارامترها
٪زرس	۹/۲۸	۵۱/۲۸	۲۲/۰۸	۰/۴۵	۱۰/۱۲	۱۰۲/۴۲	
٪نسپلت	۱۴/۷۲	۶۸/۷۲	۴۳/۸۹	۰/۲۱	۹/۳۲	۸۷	
٪شن	۸	۷۴/۷۲	۳۴/۰۱	۰/۴۲	۱۴/۵۵	۲۱۱/۷۹	
٪شن بسیار ریز	۳	۳۲	۱۵/۶۸	۰/۴۱	۶/۴۹	۴۲/۲۳	
٪گراول	۱/۲۱	۷۲/۸۴	۲۳/۰۲	۰/۷۱	۱۶/۵۴	۲۷۳/۷۲	
٪آهک	۶/۲۵	۶۰	۳۱/۵۱	۰/۵۳	۱۶/۹۹	۲۸۸/۸۶	
٪مواد آلی	۰/۳۳	۴/۷۰	۲/۰۹	۰/۴۷	۱	۱	
نسبت جذب سدیم	۰/۱۱	۳/۱۳	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۴۰	۰/۱۶۵	
شوری	۰/۲۹۳	۶/۹۲	۰/۶۹	۱/۳۱	۰/۹۱	۰/۸۳۱	
اسیدیته	۶/۱۴	۸/۹۸	۷/۶۹	۰/۰۶۷	۰/۵۲	۰/۲۸۰	
فرسایش پذیری	۰/۰۱۴۸	۰/۰۶۶۱	۰/۰۳۸۵	۰/۲۷	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۰۱	

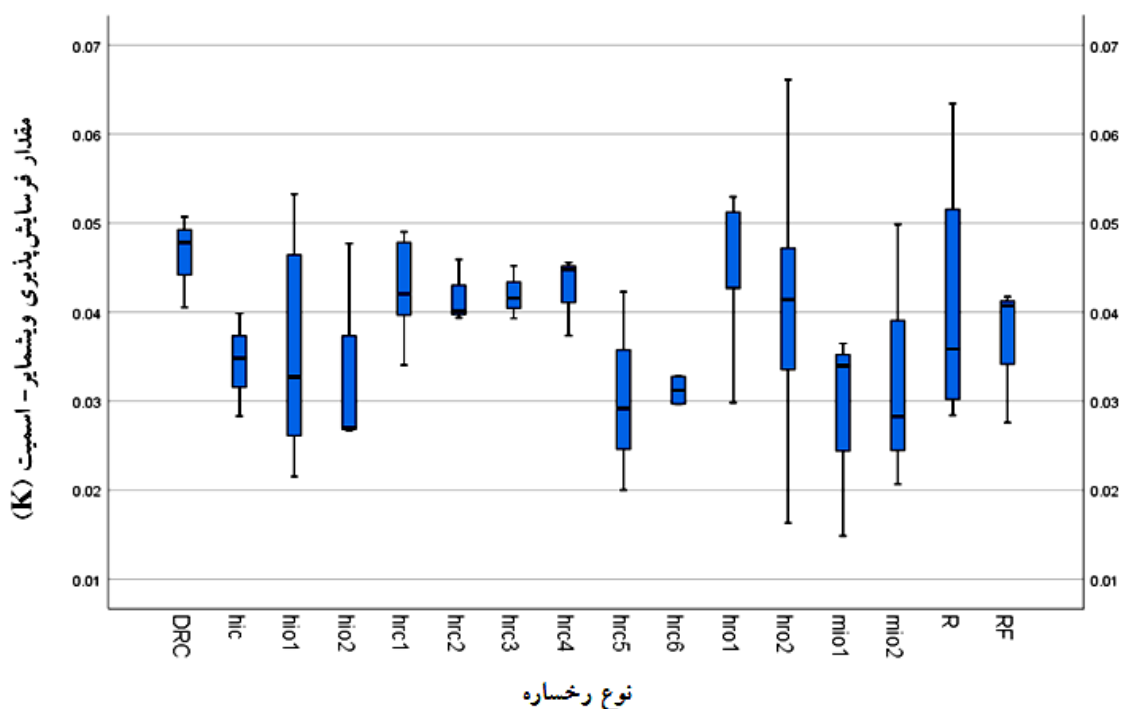
جدول ۴. مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین فرسایش پذیری خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی

میانگین فرسایش پذیری بیشینه فرسایش پذیری کمینه فرسایش پذیری	نام و شماره پلیگون	رخساره ژئومورفولوژی
خاک	خاک	خاک
۰/۰۴۶۳	۰/۰۵۰۶	۰/۰۴۰۵
دشت‌های هموار (DRC)	DRC	
۰/۰۳۴۳	۰/۰۳۹۸	۰/۰۲۸۲
تپه‌ماهور با برونزد سنگی کمتر از ۲۵ درصد (hic)	hic	
۰/۰۳۶۰	۰/۰۵۳۳	۰/۰۲۱۵
تپه‌ماهور با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (hio)	P1	
۰/۰۳۲۷	۰/۰۴۷۷	۰/۰۲۶۷
	P2	
۰/۰۴۲۴	۰/۰۴۷۸	۰/۰۳۴۰
	P1	
۰/۰۴۱۷	۰/۰۴۵۹	۰/۰۳۹۳
	P2	
۰/۰۴۲۰	۰/۰۴۵۱	۰/۰۳۹۲
تپه‌ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی کمتر از ۲۵ درصد (hrc)	P3	
۰/۰۴۲۵	۰/۰۴۵۵	۰/۰۳۳۷
	P4	
۰/۰۳۰۴	۰/۰۴۲۲	۰/۰۱۹۹
	P5	
۰/۰۳۱۲	۰/۰۳۲۷	۰/۰۲۹۶
	P6	
۰/۰۴۳۸	۰/۰۵۲۹	۰/۰۲۹۸
تپه‌ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (hro)	P1	
۰/۰۴۰۷	۰/۰۶۶۱	۰/۰۱۶۳
	P2	
۰/۰۲۸۴	۰/۰۳۶۴	۰/۰۱۴۸
کوهستان با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (mio)	P1	
۰/۰۳۲۹	۰/۰۴۹۸	۰/۰۲۰۶
	P2	
۰/۰۴۱۲	۰/۰۶۳۴	۰/۰۳۸۳
مسیل (R)	R	
۰/۰۳۶۶	۰/۰۴۱۷	۰/۰۲۷۵
دامنه‌های دارای واریزه‌های سنگی (RF)	RF	

(فرسایش پذیری کم) قرار دارد. شکل ۳ دامنه تغییرات فرسایش پذیری ویشمایر - اسمیت را در رخساره‌های ژئومورفولوژی حوضه آبخیز دوراهان نشان می‌دهد.

بر اساس شکل ۳، شاخص فرسایش پذیری خاک (K) در رخساره‌های تپه‌ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد در رخساره hro-p2 از لحاظ مقدار بیشتر از بقیه است و از لحاظ دامنه تغییرات نیز از بقیه رخساره‌ها بیشترین دامنه تغییرات را دارد. از طرفی کمترین دامنه تغییرات در رخساره‌های ژئومورفولوژی، مربوط به رخساره تپه‌ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی کمتر از ۲۵ درصد در رخساره hrc-p6 است. برای

مطابق با جدول ۴ نتایج نشان داد که بیشینه فرسایش پذیری خاک مربوط به رخساره تپه‌ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (hro-p1) به مقدار ۰/۰۶۶۱ و کمینه فرسایش پذیری در رخساره کوهستان با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (mio-p1) به مقدار ۰/۰۲۸۴ تن ساعت بر مگاژول میلی متر است. دامنه تغییرات میانگین فرسایش پذیری خاک در کل حوضه بین ۰/۰۴۶۳ - ۰/۰۲۸۴ (تن ساعت بر مگاژول میلی متر) است. بیشتر مساحت حوضه آبخیز از نظر فرسایش پذیری خاک در کلاس K1 (فرسایش پذیری بسیار کم) و درصد کمی هم از مساحت حوضه در کلاس K2



شکل ۳. نمودار جعبه‌ای شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K)

معنی‌داری برای همه رخساره‌ها بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بوده و طبق جدول ۷ تمامی رخساره‌ها در یک گروه دسته‌بندی شدند، می‌توان نتیجه گرفت که بین رخساره‌ها تفاوت معنی‌داری وجود ندارد که این خود نشان دهنده تأیید نتایج آزمون تجزیه واریانس نیز است. برای بررسی همبستگی بین شاخص فرسایش‌پذیری و برخی از پارامترهای فیزیکی - شیمیایی خاک از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج حاصل از ضریب همبستگی پیرسون بین فرسایش‌پذیری و برخی از پارامترهای فیزیکی - شیمیایی خاک در محدوده مطالعاتی در جدول ۷ نشان داده شده است.

بر اساس جدول ۷، به‌طور کلی شاخص فرسایش‌پذیری خاک با پارامترهای شن خیلی ریز، سیلت، شن، سنگریزه، آهک، شوری و نسبت جذب سدیم همبستگی مثبت دارد و از طرفی این شاخص با مقدار رس، نفوذپذیری، ماده آلی و اسیدیته همبستگی منفی دارد.

بررسی تفاوت معنی‌داری بین رخساره‌های ژئومورفولوژی حوضه مطالعاتی از لحاظ شاخص فرسایش‌پذیری خاک از آزمون تجزیه واریانس و دانکن استفاده شد. جدول ۵ نتایج آزمون تجزیه واریانس در سطح ۹۵٪ اطمینان را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۵، نتیجه آزمون تجزیه واریانس نشان می‌دهد که به دلیل اینکه مقدار سطح معنی‌داری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بوده، پس بین رخساره‌ها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دلیل کافی برای رد فرض صفر در این پژوهش وجود ندارد و به دلیل اینکه اختلاف معنی‌داری در رخساره‌ها وجود ندارد، تحلیل آزمایش در اینجا به پایان می‌رسد؛ ولی اگر فرض H_0 رد می‌شد، نتیجه گرفته می‌شد که حداقل بین دو رخساره تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به همین دلیل در اینجا برای اطمینان از نتیجه، آزمون دانکن را انجام شده است و نتایج آن در جدول ۶ آورده شده است.

پس از انجام آزمون دانکن و مقایسه میانگین مقدار فرسایش‌پذیری در همه رخساره‌ها، چون مقدار سطح

جدول ۵. آزمون تجزیه واریانس برای شاخص فرسایش پذیری خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی

Sig	F	Mean Square	df	Sum of Squares	شاخص فرسایش پذیری خاک
۰/۳۵۸	۱/۱۳۳	۰/۰۰۰	۷	۰/۰۰۱	Between Groups
		۰/۰۰۰	۵۰	/۰۰۶	Within Groups
			۵۷	۰/۰۰۷	Total

جدول ۶. نتایج آزمون دانکن برای شاخص فرسایش پذیری خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی

Subset for alpha = 0.05 ۱	N	رخساره ژئومورفولوژی
۰/۰۳۰۷	۶	کوهستان با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (mio)
۰/۰۳۴۰	۳	تپه‌ماهور با برونزد سنگی کمتر از ۲۵ درصد (hic)
۰/۰۳۵۲	۸	تپه‌ماهور با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (hio)
۰/۰۳۶۷	۳	دامنه‌های دارای واریزه‌های سنگی (RF)
۰/۰۳۹۴	۲۰	تپه‌ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی کمتر از ۲۵ درصد (hrc)
۰/۰۴۱۲	۳	مسیل (R)
۰/۰۴۲۰	۱۲	تپه‌ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (hro)
۰/۰۴۶۳	۳	دشت‌های هموار (DRC)
۰/۰۶۱		sig

جدول ۷. ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص فرسایش پذیری و برخی از پارامترهای فیزیکی - شیمیایی خاک

نسبت جذب سدیم	اسپاتنه	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	نفوذپذیری (cm/hr)	درصد وزنی سنگ‌زده	درصد آهک	درصد مواد آلی	درصد شن خيلي ریز	درصد سیلت	درصد رس	درصد شن خيلي ریز	فرسایش پذیری خاک
۰/۱۶	-۰/۰۹	۰/۰۸۳	-۰/۲۷*	۰/۰۶	۰/۲۸	-۰/۳۹**	۰/۵۲**	۰/۳۷**	-۰/۷۲**	۰/۲۶*	فرسایش پذیری خاک

* : معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵، **: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱

منفی و معنی دار و بین میزان شن خیلی ریز، سیلت و شن با عامل فرسایش پذیری به ترتیب با مقادیر $(R^2 = ۰/۵۲, P < ۰/۰۱)$ ، $(R^2 = ۰/۳۷, P < ۰/۰۱)$ و $(R^2 = ۰/۲۶, P < ۰/۰۵)$ همبستگی مثبت و معنی دار وجود دارد. نتایج همبستگی بسیار زیاد مقادیر رس با

نتایج همبستگی بین خصوصیات مؤثر در فرسایش پذیری خاک (K) نشان داد که بین رس، مواد آلی و نفوذپذیری با عامل فرسایش پذیری به ترتیب با مقادیر $(R^2 = -۰/۷۲, P < ۰/۰۱)$ ، $(R^2 = -۰/۳۹, P < ۰/۰۵)$ و $(R^2 = -۰/۲۷, P < ۰/۰۵)$ همبستگی

می‌یابد. فولادی و همکاران (۵) نیز به این نتیجه رسیدند که بین مقدار رس با شاخص فرسایش‌پذیری همبستگی منفی وجود دارد. الانیا و همکاران (۲۰) نیز اعلام کردند همبستگی بین مقدار رس با شاخص فرسایش‌پذیری منفی است. از این لحاظ نتایج پژوهش‌های نامبرده با پژوهش حاضر مطابقت دارد. اما با نتایج گیامفی و همکاران (۹) که با مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که همبستگی مثبتی بین مقدار رس و شاخص فرسایش‌پذیری خاک وجود دارد، مطابقت ندارد.

پارامتر شن خیلی ریز با عامل K ($P < 0/01$, $R^2 = 0/52$) رابطه مثبت و معنی‌داری دارد. با افزایش مقدار شن خیلی ریز در حوضه، فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد. الانیا و همکاران (۲۰) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که افزایش مقدار شن ریز باعث افزایش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود. فتوحی (۶) در پژوهشی نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین دو عامل شن خیلی ریز و شاخص فرسایش‌پذیری خاک وجود دارد.

پارامتر سیلت نیز با عامل K ($P < 0/01$, $R^2 = 0/37$) همبستگی مثبتی وجود دارد، بنابراین خاک‌هایی که دارای مقدار زیادی سیلت باشد، فرسایش‌پذیرترند. تأثیر مثبت ذرات سیلت بر فرسایش‌پذیری به دلیل جرم به نسبت کم آن‌ها و نیز چسبندگی ناچیزشان است که موجب می‌شود ذرات سیلت به‌عنوان حساس‌ترین ذرات خاک به فرسایش باشند. فتوحی (۶) نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسید که همبستگی مثبتی بین عامل سیلت و K وجود دارد. خرمایی و همکاران (۱۲) نیز بیان کردند که بین فرسایش‌پذیری خاک و سیلت همبستگی مثبت ($0/772$) وجود دارد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین شاخص فرسایش‌پذیری خاک با آهک (کربنات کلسیم) همبستگی مثبتی وجود دارد. مرزوک و بلیک (۱۵) رابطه مثبت آهک و فرسایش‌پذیری خاک را گزارش کردند و علت آن را عدم پایداری خاک‌دانه‌های بزرگ در حضور آهک در اندازه سیلت می‌دانند که باعث سله‌بندی و پر شدن حفرات خاک می‌شود. ذرات شن اثر ضعیفی بر افزایش فرسایش‌پذیری خاک

عامل K نشان می‌دهد که رس با افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها نقش مهمی در کاهش فرسایش‌پذیری خاک دارد و همچنین مواد آلی با افزایش پایداری خاک‌دانه و افزایش نفوذپذیری آب به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم نقش قابل توجهی در کاهش فرسایش خاک در منطقه مطالعاتی دارد. فتوحی (۶) با مطالعه خود در حوضه دشت یزد- اردکان معادله پیش‌بینی مقدار فرسایش‌پذیری خاک بر اساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مؤثر بر آن را ارائه دادند. نتایج نشان داد که مقدار ماده آلی با شاخص فرسایش‌پذیری خاک رابطه منفی دارد و افزایش مقدار ماده آلی در خاک مانع از فروپاشی خاک‌دانه‌ها شده؛ به‌طوری که در یک خاک معین با افزایش قابل توجه مواد آلی نرخ فروپاشی خاک‌دانه‌ها به یک سوم کاهش می‌یابد و تأثیر ماده آلی در کاهش فرسایش‌پذیری خاک به دلیل نقش مثبت آن در تشکیل خاک‌دانه‌ها و پایداری آن‌ها و نیز افزایش نفوذپذیری خاک است. نورافر و همکاران (۱۸) نیز در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که بین سرعت آستانه فرسایش خاک و میزان مواد آلی، ارتباط معنی‌دار در سطح ۵٪ وجود دارد. گیامفی و همکاران (۹) در پژوهش خود نشان دادند که رابطه منفی بین محتوای مواد آلی و شاخص فرسایش‌پذیری خاک وجود دارد. نقش ماده آلی را در پایداری خاک بیان می‌کند. الانیا و همکاران (۲۰) طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند که ماده آلی با شاخص فرسایش‌پذیری خاک همبستگی منفی و معنی‌دار دارد.

بین میزان رس و عامل فرسایش‌پذیری خاک ($P < 0/01$, $R^2 = 0/72$) نیز همبستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد که با افزایش مقدار رس در هر رخساره، مقدار فرسایش کاهش پیدا می‌کند. افزایش میزان رس باعث کاهش نفوذپذیری و در نتیجه کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود. خرمایی و همکاران (۱۲) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که بین مقدار رس و عامل فرسایش‌پذیری خاک در USLE همبستگی منفی وجود دارد و نرخ عامل فرسایش‌پذیری در خاک‌های لسی با کاهش مقدار رس افزایش می‌یابد. راعی و همکاران (۲۲)، در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که با افزایش رس مقدار فرسایش‌پذیری کاهش

همبستگی مثبت شوری با فرسایش پذیری خاک با نتایج پژوهش میریان (۱۷) مطابقت دارد؛ ولی با نتایج فولادی و همکاران (۵) همخوانی ندارد.

نتیجه گیری

پژوهش حاضر نشان داد که میزان فرسایش پذیری خاک از سمت جنوب شرقی (رخساره دشت هموار) به سمت شمال غربی محدوده مورد بررسی (رخساره کوهستان با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد) کاهش می یابد. با حرکت از سمت شرق به غرب حوضه، شاخص فرسایش پذیری کاهش پیدا می کند و دلیل اصلی آن وجود رخساره های برونزد سنگی است که به عنوان لایه پوششی از خاک محافظت می کند. با توجه به رخساره های فرسایش پذیر در سطح حوضه، خاک سمت شرق حوضه نسبت به سایر نقاط فرسایش پذیرتر است؛ بنابراین عبور جاده مواصلاتی شهری از این نقطه، چرای بی رویه دام، قطع گونه های گیاهی و کشاورزی در جهت شیب بر میزان فرسایش خاک در این نقاط می افزاید.

دارد. خرمایی و همکاران (۱۲) نیز در پژوهشی همبستگی مثبت شن و فرسایش پذیری خاک را گزارش کردند؛ ولی فولادی و همکاران (۵) نشان دادند که این همبستگی منفی است. به طور کلی، هر چه ذرات خاک ریزتر باشد، به دلیل وجود نیروی چسبندگی بیشتر، جدا شدن ذرات سخت تر است.

در پژوهش حاضر، پارامتر نفوذپذیری با شاخص فرسایش پذیری خاک رابطه منفی معنی داری وجود دارد. پژوهش فتوحی (۶) نشان داد که همبستگی منفی بین پارامتر نفوذپذیری و شاخص فرسایش پذیری خاک وجود دارد. الانیا و همکاران (۲۰) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که نفوذپذیری با شاخص فرسایش پذیری خاک همبستگی منفی وجود دارد.

از بین پارامترهای شیمیایی خاک، تنها اسیدیته همبستگی منفی با شاخص K و شوری و نسبت جذب سدیم همبستگی مثبت با فرسایش پذیری خاک دارد. فتوحی (۶) و فولادی (۵) نشان دادند که اسیدیته با شاخص فرسایش پذیری خاک رابطه منفی دارد. دنگ شنگ و همکاران (۴) رابطه مثبت شوری با شاخص فرسایش پذیری خاک را در مطالعه خود نشان دادند.

منابع مورد استفاده

References

1. Aali, A., A. Shakeri Borujeni, N. Soltani, S. and H. Honar bakhsh. 2013. Survey of general geology of Dorahan area and determination of geomorphological units, types and facies. 6th National Conference on Watershed Management and Water and Soil Resources Management, Kerman.
2. Akbari, M. E. Neamatollahi and H. Memarian. 2023. Assessing impacts of floods disaster on soil erosion risk based on the RUSLE-GloSEM approach in western Iran. *Natural Hazards* 117(2): 1689–1710.
3. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Journal of Agronomy* 54 (5): 464–465.
4. Dongsheng, Y., S. Xuezheng and D.C. Weindorf. 2006. Relationships In Subtropical China. *Soil Science Society of China* 16(3): 304-311.
5. Fooladi, M., F. Ghadimi, S. J. Sheikh Zakariaei and H. Rahimpour bonab. 2021. Influence of Physical and Chemical Material Properties on Mining Soil Erosion Processes Around Mineral Salts Company in Mighan playa, Arak, Iran. *Journal of Mining and Environmental* 12(3): 725-741
6. Fotouhi firoozabad, F. 2009. Zoning of the erodibility index of the global soil loss equation in the geomorphological facies of the Yazd-Ardakan plain (longitudinal section of Khizrabad-Allehabad). Master thesis, Yazd University, Yazd, I.R. Iran.
7. Fotouhi firoozabad, F. 2022. Presenting Prediction Equation of Soil Erodibility Amount Based on Physicochemical Properties Affecting It (Case Study: Cross-section of Yazd-Ardakan Plain). *Journal Environmental Erosion Research* 12(1): 129-144
8. Goh, T., B. Arnaud, R. J. St. and A. R. Mermut. 1993. Aggregate Stability to Water. In: M. R. Cartner and E.G. Gregorich (Eds.), *Soil sampling and methods of analysis*, CRC Press, Boca Raton.

9. Gyamfi, C., J. M. Ndambuki and R. W. Salim. 2016. Spatial variability modeling of soil erodibility index in relation to some soil properties at field scale. *Environment and Natural Resources Research* 6(2): 16-27.
10. Hashemi, M., R. Ajalloeian and M. R. Nikoudeh. 2016. Evaluation of Erodibility of Sefidroud Delta Deposits Based on Engineering Geological Factors. *Geosciences* 25(100): 99-108.
11. Javadi, M., R. Zehabian, G. Ahmadi, H. Ayoubi, Sh. Ayoubi and M. Jafari. 2022. Investigation of spatial variability of soil erosion factor using some geostatistical methods (case study: Nomehrood watershed). *Researches in Earth Sciences* 13(2): 42-57.
12. Khormai, H., F. Kiani and F. Khormali. 2017. Evaluation of Soil Erodibility Factor (k) for Loess Derived Landforms of Kechik Watershed in Golestan Province. *Water and Soil* 30(6): 2078-2086.
13. Khosraviqdam, K., H. R. Momtaz and 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. *Applied Soil Research* 7(1): 31-43.
14. Kiani Harchegani, M., S. H. Sadeghi and S. Falahatkar. 2019. Comparative Analysis of soil Erodibility Factor in Shazand Watershed. *Iranian Journal of Ecohydrology* 6(1): 153-163.
15. Merzouk, A. and G. R. Blake. 1991. Indices for the Estimation of Interill Erodibility of Moroccan Soils. *Journal of Catena* 18(6): 537-550.
16. Miller, R.W. and R. L. Donahue. 1990. Soils An introduction to soils and plant growth. Prentice-Hall International Inc, New Jersey.
17. Mirian, A. 2013. Investigating the relationship between wind erosion and some physical and chemical properties of soil in Horal Azim-Khuzestan marshland. Master thesis, Zabul University, Zabul, I.R. Iran.
18. Nourafar, A., A. pahlavanravi, M. nohtani and V. rahdari. 2022. Investigation of Wind Erosion Threshold in Different Land Cover and the Effect of Soil Properties on It (Case Study: Niatak Region of Sistan). *Journal of Water and Soil Science* 26(1): 41-54.
19. Okorafor, O. O., C. O. Akinbil and Adeyemo, A. J. 2018. Determination of soils erodibility factor (K) for selected sites in imo state, Nigeria. *Resources and Environment* 8(1): 6-13.
20. Olaniya, M. P. K. Bora S. Das and P. H. Chanu. 2020. Soil erodibility indices under different land uses in Ri-Bhoi district of Meghalaya (India). *Scientific Reports* 10(1): 14986.
21. Page, A., L. Miller, R. H. and D. R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis, part2, chemical and microbiological properties, American Society of Agronomy, Inc, Soil Science Society of Aamerica, Madison.
22. Raci, B. A. Ahmadi, M. R. Neyshabouri, M. A. Ghorbani and F. Asadzadeh. 2020. Determination of Soil Wind Erodibility in Eastern Urmia Lake and its Relationship with Soil Physicochemical Properties. *Applied Soil Research* 8(2): 82-92.
23. Tunç, E. 2020. The erodibility factor in agricultural lands of Gaziantep, Turkey. *The International Journal of Energy and Engineering Sciences* 5(1): 12-20.
24. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37(1): 29-38.
25. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses : a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook* . US Department of Agriculture, Washington.
26. Zare Chahouki, M.A. 2014. Data analysis in natural resources research using SPSS software. Publications of Daneshgahi Jahad, Tehran (in Farsi).