نشریه علوم آب و خاک

بررسی تغییرات شاخص فرسایش‌پذیری خاک مدل USLE و عوامل مؤثر برآن
(مطالعه موردی: حوضه آبخیز دوراهان- شهرستان بروجن)

جعفر کریمی شیاسی[۱]، فرزانه فتوحی فیروزآباد[۲*]، علی فتح زاده[۳]، مهدی حیات زاده[۲]، مصطفی شیرمردی[۴]

چکیده

یکی از عوامل اصلی در ایجاد فرسایش آبی، ویژگی ذاتی خاک یا فرسایش‌پذیری می‌باشد. فرسایش‌پذیری تابعی از توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری خاک است. هدف پژوهش حاضر بررسی تغییرات عامل فرسایش‌پذیری خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی می‌باشد. 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 گردید. نتایج نشان داد فرسایش‌پذیری خاک در کل حوضه بین ۰/۰۶۶۱- ۰/۰۱۴۸ تن‌ساعت بر مگاژول میلی‌متر متغیر است. شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K) در رخساره‌های تپه ماهور 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 تپه ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی کم‌تر از ۲۵ درصد می‌باشد. به طور 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.

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

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد حفاظت آب و خاک دانشگاه اردکان، ایران. jafar.karimi1370@yahoo.com

۲- استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. mhayatzadeh@ardakan.ac.ir

۳- دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. fat@ardakan.ac.ir

۴- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. shirmardi@ardakan.ac.ir

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

۱- مقدمه

یکی از عوامل اصلی و مؤثر در ایجاد فرسایش آبی، فرسایش‌پذیری خاک است که وابستگی زیادی به ویژگی‌های ذاتی خاک دارد. با شناخت و ارزیابی این عامل، بهتر می‌توان از طریق راهکارهای اصولی از زیان‌های مختلف فرسایش جلوگیری کرد و یا آن را به حداقل ممکن رسانید. عامل فرسایش‌پذیری 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 آن‌ها می‌باشد. این عامل از عوامل مهم و دخیل در برخی مدل‌های فرسایش و رسوب از جمله USLE[1] ، RUSLE[2] و MUSLE[3] است که به صورت K نمایش داده می‌شود و تابعی از توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری است.

خسروی اقدام و همکاران (۱۳) با برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک مدل USLE و ارتباط آن با برخی از ویژگی‌های زمین‌منظر در حوضه آبخیز نازلوچای ارومیه به این نتیجه رسیدند که خاک منطقه در کلاس فرسایش‌پذیری خیلی کم و کم قرار دارد. کیانی هرچگانی و همکاران (۱۴) عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبخیز شازند را با سه روش ویشمایر و اسمیت ۱۹۷۸، رابطه رومکنز و همکاران ۱۹۸۶ و رابطه توری و همکاران ۱۹۷۷ به‌دست آوردند. و با تفسیر داده‌های آمار توصیفی نشان دادند که نتایج به‌دست آمده از رابطه ویشمایر و اسمیت به دلیل درنظر گرفتن متغیرهای مختلف از جمله بافت و ساختمان خاک اختلاف معناداری با دو رابطه دیگر دارد. اکبری و همکاران (۲) به ارزیابی اثرات سیل بر خطر فرسایش خاک بر اساس رویکرد RUSLE-GLOSEM در غرب ایران پرداختند، آن‌ها 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 فرسایش‌پذیری در منطقه از ۰/۱۷ تا ۰/۴۹ درصد متغیر می‌باشد، لذا نتایج مدل‌سازی GLOSEM نشان داد که تغییر اقلیم عامل اصلی تغییر در میزان فرسایش خاک است. جوادی و همکاران (۱۱) شاخص فرسایش‌پذیری خاک را در حوضه آبخیز نومه‌رود با استفاده از معادله ویشمایر- اسمیت به‌دست آورند. فتوحی (۷) به بررسی و ارائه معادلهٔ پیش‌بینی مقدار فرسایش‌پذیری خاک بر اساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مؤثر بر آن در مقطعی از دشت یزد ـــ اردکان پرداخت، پس از نمونه‌برداری، آزمایشات و آنالیزهای موردنیاز، به این نتیجه رسید که مقدار فرسایش‌پذیری برآوردی بر اساس رابطهٔ رگرسیونی ویشمایر ـــ اسمیت به طور میانگین در سه تیپ دشت‌سر لخت، اپانداژ و پوشیده به ترتیب، ۰/۰۳۸۵، ۰/۰۳ و ۰/۰۱۹ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر می‌باشد. اکرافور و همکاران (۱۹) عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) را برای سایت‌های منتخب در ایمو- نیجریه بین ۰/۰۲۳ تا ۰/۰۶۷ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر در منطقه به‌دست آوردند. الانیا و همکاران (۲۰) با بررسی شاخص فرسایش‌پذیری خاک در کاربری‌های جنگل، زراعی و زمین بایر در هند، به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین فرسایش‌پذیری مربوط به اراضی کشاورزی است. دلیل آن هم بیش‌تر بودن محتوای سیلت، شن و ماسه که فاقد خاصیت چسبندگی است می‌باشد. تانس (۲۳) با بررسی عامل فرسایش‌پذیری در اراضی کشاورزی ترکیه به این نتیجه رسید ۲۲ درصد از کل خاک‌های مورد بررسی با حساسیت بالا به فرسایش آبی، ۶۶ و ۱۲ درصد به ترتیب حساسیت متوسط و جزئی به فرسایش آبی نشان دادند. زمین‌های

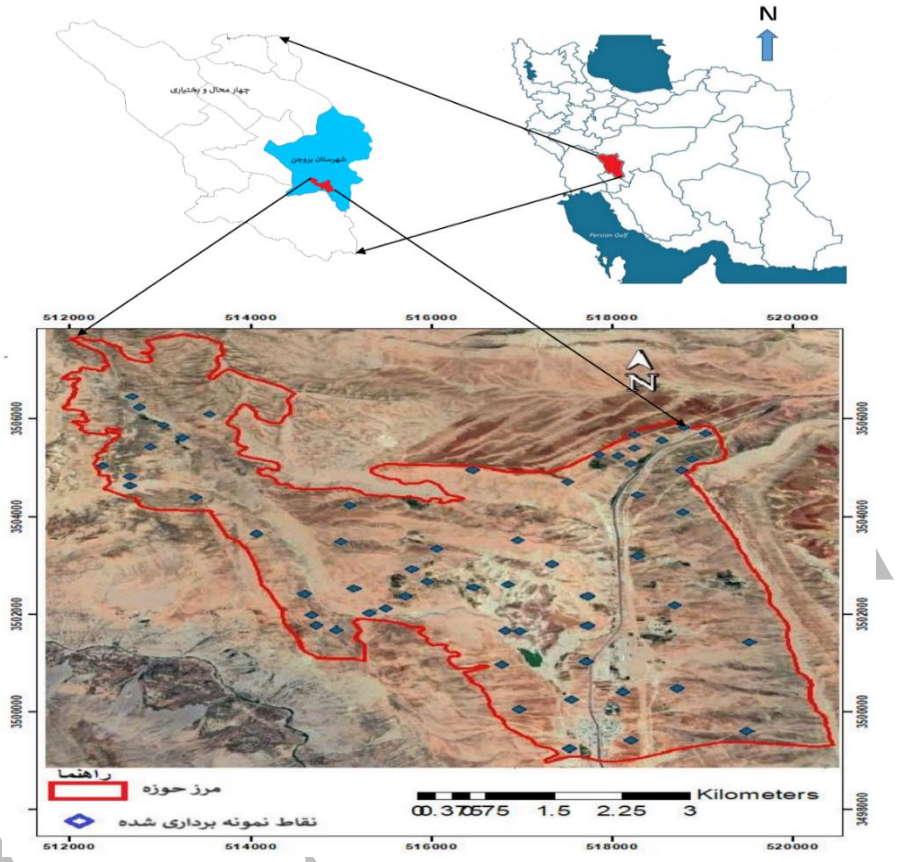
[1] Universal Soil Loss Equation
[2] Revised Universal Soil Loss Equation
[3] Modified Universal Soil Loss Equation

کشاورزی به شدت در معرض خطر از دست دادن حاصل‌خیزی توسط فرسایش هستند.
فرسایش خاک امروزه به یک معضل بزرگ تبدیل شده، فرسایش خاک امنیت غذایی جامعه بشری و محیط زیست را به خطر می‌اندازد و حاصل فرسایش، تولید رسوب در حوضه‌های پایین دست است. از طرفی حوضه آبخیز دوراهان از زیر حوضه‌های 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 معادله‌ی ویشمایر- اسمیت (مدل USLE) و همچنین تعیین سایر عوامل مؤثر در شاخص فرسایش‌پذیری خاک که در رابطه‌ی رگرسیونی ویشمایر- اسمیت مورد توجه قرار نگرفته است، می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات کلی منطقه

حوضه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی ″۴۵ ′۳۶ °۳۱ الی ″۴۳ ′۴۲ °۳۱ عرض شمالی و ″۰۷ ′۰۳ °۵۱ الی ″۰۰ ′۱۳ °۵۱ 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 زیر حوضه‌های 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 می‌باشد. 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 خرد شده و گسل خورده و به‌صورت نوار باریک و کم عرضی (۷۰-۱۰ کیلومتر) بین زون سنندج- سیرجان و زاگرس چین خورده قرار دارد (۱). این حوضه شامل چندین رخساره با پلی گون‌های متفاوت می‌باشد. بخش مرکزی حوضه تحت پوشش رخساره‌های وابسته به رودخانه (دشت مخروط افکنه و مسیل) می‌باشد. شکل (۱)، موقعیت مکانی حوضه آبخیز دوراهان واقع در شهرستان بروجن، استان چهارمحال و بختیاری و کشور ایران را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت مکانی حوضه آبخیز دوراهان در استان چهارمحال و بختیاری و کشور ایران

۲-۲- 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*۲۰سانتی‌متری، 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 جداول پیشنهادی ویشمایر و اسمیت تعیین گردید (۲۵). نفوذپذیری خاک، بر اساس سرعت نفوذ نهایی با روش استوانه‌های مضاعف در صحرا اندازه‌گیری شد.

۲-۳- عملیات آزمایشگاهی و محاسباتی

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، ابتدا نمونه‌ها با هوا خشک شدند و آزمایشات لازم بر روی آن‌ها انجام گرفت. 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 گردید (۱۱). روش والکی و بلک برای اندازه گیری مقدار کربن آلی در خاک‌ها مورد استفاده قرار گرفت (۲۴). ساختمان خاک نیز براساس اندازه و شکل خاک‌دانه‌ها به‌دست آمد و سپس گروه ساختمان خاک از جداول پیشنهادی ویشمایر و اسمیت تعیین گردید، که شامل چهار کلاس به ترتیب زیر است (۲۵):

۱- ساختمان دانه‌ای و اسفنجی بسیار ریز (< ۱ میلی‌متر).

۲- ساختمان دانه‌ای و اسفنجی ریز (۲-۱ میلی‌متر).

۳- ساختمان دانه‌ای و اسفنجی متوسط (۵- ۲ میلی‌متر) و دانه‌ای درشت (۱۰-۵ میلی‌متر).

۴- ساختمان متراکم (منشوری، ستونی و مکعبی).

در کنار تعیین ویژگی‌های مؤثر بر عامل فرسایش‌پذیری مدل USLE (درصد شن، درصد شن خیلی ریز، درصد سیلت، ماده آلی، کد ساختمان)، مقدار سنگ‌ریزه، آهک، شوری (EC)، اسیدیته (pH)، نسبت جذب سدیم (SAR) نیز اندازه‌گیری شد. مقدار آهک نمونه‌ها بر اساس مقدار مواد خنثی شونده (TNV) به روش حجمی از واکنش خنثی‌سازی با هیدروکلریک اسید (HCL) تعیین شد (۸). بعد از تهیه‌ی عصاره‌ی گل اشباع، مقدار pH با استفاده از دستگاه pH متر، شوری با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج، غلظت سدیم محلول با استفاده از روش فلیم فتومتری (۲۱) تعیین گردید. سپس عامل فرسایش‌پذیری خاک، از روش پیشنهادی ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) مطابق رابطه رگرسیونی زیر تعیین گردید.

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

که در آن؛ M = حاصل‌ضرب مجموع درصد سیلت و شن بسیار ریز ضربدر ۱۰۰ 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 می‌باشد که به منظور تبدیل واحد K از سیستم آمریکایی (US) به سیستم بین المللی (SI) از ضریب ۰/۱۳۱۷ استفاده گردید. واحد K در سیستم بین المللی تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر می‌باشد (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 نموگراف استفاده کرد. برای بررسی کلاس فرسایش‌پذیری خاک نیز می‌توان از جدول پیشنهادی ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) استفاده کرد. جدول (۱)، جدول پیشنهادی ویشمایر و اسمیت جهت طبقه‌بندی کلاس فرسایش خاک می‌باشد.

جدول (۱) طبقه‌بندی کلاس فرسایش‌پذیری خاک

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

با توجه به جدول پیشنهادی چنانچه مقدار فرسایش‌پذیری در سطح حوضه بین ۰/۰۵-۰ باشد، آن حوضه داری فرسایش‌پذیری بسیار

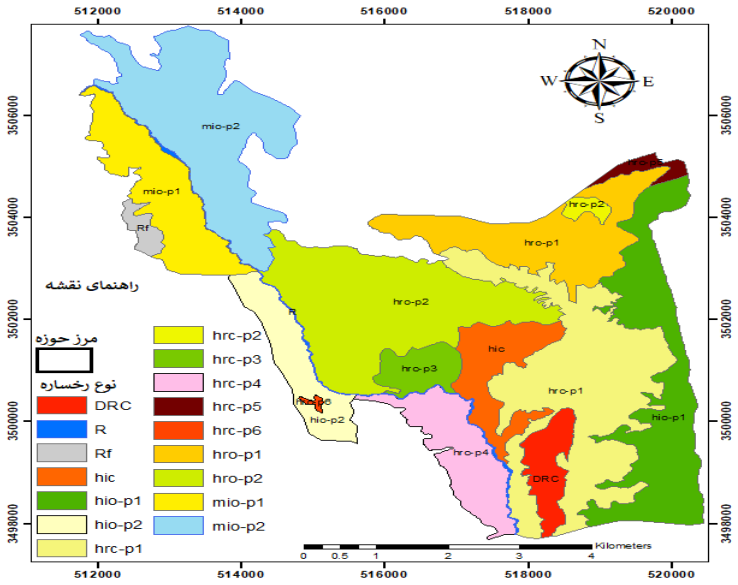
کم بوده، اگر بین ۰/۱–۰/۰۵ باشد فرسایش‌پذیری کم، اگر بین ۰/۲–۰/۱ باشد فرسایش‌پذیری متوسط و اگر هم بین ۰/۳–۰/۲ باشد حوضه دارای فرسایش‌پذیری بالا می‌باشد.

۴-۲- تجزیه و تحلیل‌های آماری

در این مرحله پس از انجام آزمایشات لازم بر روی نمونه‌ها، داده‌ها پس از محاسبه شاخص فرسایش‌پذیری خاک و دیگر عوامل فیزیکی و شیمیایی موثر بر فرسایش‌پذیری خاک، وارد نرم‌افزار SPSS برای تجزیه و تحلیل‌های آماری قرار گرفتند. پارامترهای آماری نظیر میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف معیار به‌دست آمد. برای اثبات فرض نرمال بودن داده‌ها از آزمون غیرپارامتری کولموگروف- اسمیرنوف استفاده شد (۲۶). سپس برای بررسی تفاوت معنی‌داری مقدار فرسایش‌پذیری خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی از آزمون دانکن استفاده گردید (۲۶). این روش فقط اختلاف‌هایی را که مقدار آن‌ها به نسبت زیاد است، معنی‌دار 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 فرسایش‌پذیری 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.

۳- نتایج و بحث

شاخص فرسایش‌پذیری از عوامل کلیدی دخیل در برخی مدل‌های فرسایش و رسوب از جمله USLE، RUSLE و MUSLE است که به‌صورت 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 عمدتاً دارای بافت سبک لومی تا لومی- سیلتی است. خاک‌های مورد بررسی 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 می‌باشد. 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 می‌باشد. 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.



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	تپه ماهور با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد	hio-p1	۴۷۷/۶۳	۱۲/۰۵
		hio-p2	۱۸۰/۹۹	۴/۵۷
hic	تپه ماهور با برونزد سنگی کم‌تر از ۲۵ درصد و دارای فرسایش شیاری	hic	۱۸۴/۴۴	۴/۶۵
hro	تپه ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد	hro-p1	۳۵۵/۹۸	۸/۹۸
		hro-p2	۶۳۸/۴۹	۱۶/۱۱
hrc	تپه ماهور با دامنه منظم و برنزد 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 و شیمیایی خاک در حوضه آبخیز دوراهان را نشان می‌دهد.

جدول (۳) میانگین ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی

شاخص آماری / پارامترها	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات	انحراف معیار	واریانس
٪رس	۹/۲۸	۵۱/۲۸	۲۲/۰۸	۰/۴۵	۱۰/۱۲	۱۰۲/۴۲
٪سیلت	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
٪موادآلی	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
فرسایش‌پذیری	۰/۰۱۴۸	۰/۰۶۶۱	۰/۰۳۸۵	۰/۲۷	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۰۱

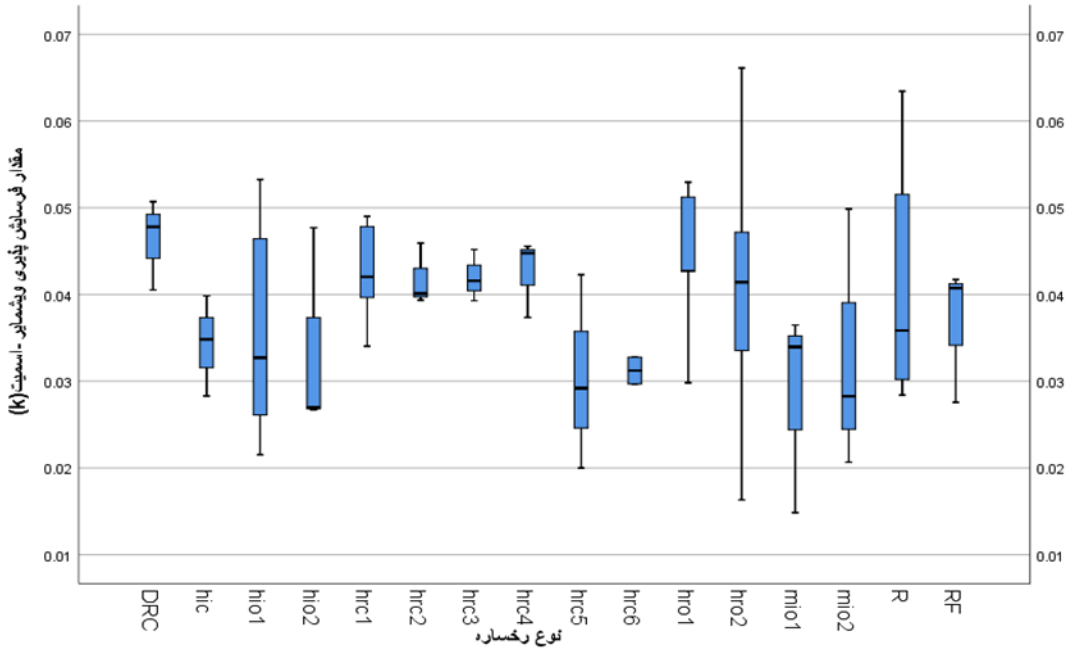
در میان این پارامترها، ضریب تغییرات، پارامتری برای نشان دادن تغییرات فرسایش‌پذیری خاک است. اگر مقدار این پارامتر بین ۰/۱۵-۰ باشد تغییرپذیری کم، بین ۰/۳۵-۰/۱۵ تغییرپذیری متوسط و اگر بیش از ۰/۳۵ باشد تغییرپذیری زیاد خواهد بود (۱۳). با توجه به جدول فوق که ضریب تغییرات شاخص فرسایش‌پذیری برابر با ۰/۲۷ شده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

جدول (۴) مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین فرسایش‌پذیری خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی

رخساره ژئومورفولوژی	نام و شماره پلی‌گون	حداقل فرسایش‌پذیری خاک	حداکثر فرسایش‌پذیری خاک	میانگین فرسایش-پذیری خاک
دشت‌های هموار (DRC)	DRC	۰/۰۴۰۵	۰/۰۵۰۶	۰/۰۴۶۳
تپه ماهور با برونزد سنگی کم‌تر از ۲۵ درصد (hic)	hic	۰/۰۲۸۲	۰/۰۳۹۸	۰/۰۳۴۳
تپه ماهور با دامنه نامنظم و برونزد سنگی	P1	۰/۰۲۱۵	۰/۰۵۳۳	۰/۰۳۶۰

رخساره ژئومورفولوژی	نام و شماره پلی‌گون	حداقل فرسایش‌پذیری خاک	حداکثر فرسایش‌پذیری خاک	میانگین فرسایش- پذیری خاک
بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (hio)	P2	۰/۰۲۶۷	۰/۰۴۷۷	۰/۰۳۲۷
تپه ماهور با دامنه منظم و برنزد سنگی کم‌تر از ۲۵ درصد (hrc)	P1	۰/۰۳۴۰	۰/۰۴۷۸	۰/۰۴۲۴
	P2	۰/۰۳۹۳	۰/۰۴۵۹	۰/۰۴۱۷
	P3	۰/۰۳۹۲	۰/۰۴۵۱	۰/۰۴۲۰
	P4	۰/۰۳۳۷	۰/۰۴۵۵	۰/۰۴۲۵
	P5	۰/۰۱۹۹	۰/۰۴۲۲	۰/۰۳۰۴
	P6	۰/۰۲۹۶	۰/۰۳۲۷	۰/۰۳۱۲
تپه ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (hro)	P1	۰/۰۲۹۸	۰/۰۵۲۹	۰/۰۴۳۸
	P2	۰/۰۱۶۳	۰/۰۶۶۱	۰/۰۴۰۷
کوهستان با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (mio)	P1	۰/۰۱۴۸	۰/۰۳۶۴	۰/۰۲۸۴
	P2	۰/۰۲۰۶	۰/۰۴۹۸	۰/۰۳۲۹
مسیل (R)	R	۰/۰۳۸۳	۰/۰۶۳۴	۰/۰۴۱۲
دامنه‌های دارای واریزه‌های سنگی (RF)	RF	۰/۰۲۷۵	۰/۰۴۱۷	۰/۰۳۶۶

مطابق با جدول (۴) نتایج نشان داد که حداکثر فرسایش‌پذیری خاک مربوط به رخساره تپه ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (hro-p1) به مقدار ۰/۰۶۶۱ و حداقل فرسایش‌پذیری در رخساره کوهستان با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (mio-p1)) به مقدار ۰/۰۲۸۴ تن‌ساعت بر مگاژول میلی‌متر می‌باشد. دامنه تغییرات میانگین فرسایش‌پذیری خاک در کل حوضه بین ۰/۰۴۶۳- ۰/۰۲۸۴ (تن‌ساعت بر مگاژول میلی‌متر) است، بیش‌تر مساحت حوضه آبخیز از نظر فرسایش‌پذیری خاک در کلاس K1 (فرسایش‌پذیری بسیار پایین) و درصد کمی هم از مساحت حوضه در کلاس K2 (فرسایش‌پذیری پایین) قرار دارد. شکل (۳) دامنه تغییرات فرسایش‌پذیری ویشمایر- اسمیت را در رخساره‌های ژئومورفولوژی حوضه آبخیز دوراهان نشان می‌دهد.



شکل (۳) نمودار جعبه‌ای شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K)

همان‌گونه که مشخص است شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K) در رخساره‌های تپه ماهور 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 تپه ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی کم‌تر از ۲۵ درصد در رخساره hrc-p6 است. برای 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.

جدول (۵) آزمون تجزیه واریانس برای شاخص فرسایش‌پذیری خاک در رخساره های ژئومورفولوژی

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

با توجه به جدول (۵)، نتیجه آزمون تجزیه واریانس نشان می‌دهد که چون مقدار سطح معنی‌داری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بوده پس بین رخساره‌ها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، لذا 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 داده و نتایج آن در جدول (۶) آورده شده است.

جدول (۶) نتایج آزمون دانکن برای شاخص فرسایش‌پذیری خاک در رخساره‌های ژئومورفولوژی

رخساره ژئومورفولوژی	N	Subset for alpha = 0.05 ۱
کوهستان با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (mio)	۶	۰/۰۳۰۷
تپه ماهور با برونزد سنگی کم‌تر از ۲۵ درصد (hic)	۳	۰/۰۳۴۰
تپه ماهور با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (hio)	۸	۰/۰۳۵۲
دامنه های دارای واریزه‌های سنگی (RF)	۳	۰/۰۳۶۷
تپه ماهور با دامنه منظم و برنزد سنگی کم‌تر از۲۵ درصد (hrc)	۲۰	۰/۰۳۹۴
مسیل (R)	۳	۰/۰۴۱۲
تپه ماهور با دامنه منظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد (hro)	۱۲	۰/۰۴۲۰
دشت‌های هموار (DRC)	۳	۰/۰۴۶۳
sig		۰/۰۶۱

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

جدول (۷) ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص فرسایش‌پذیری و برخی از پارامترهای فیزیکی- شیمیایی خاک

نوع شاخص	فرسایش‌پذیری خاک	درصد شن	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن خیلی ریز	درصد مواد آلی	درصد آهک	درصد وزنی سنگریزه	نفوذپذیری (cm/hr)	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	نسبت جذب سدیم
فرسایش‌پذیری خاک	۱	۰/۲۶*	-۰/۷۲**	۰/۳۷**	۰/۵۲**	-۰/۳۹**	۰/۲۸	۰/۰۶	-۰/۲۷*	۰/۰۸۳	-۰/۰۹	۰/۱۶

* : معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ** : معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

به طور کلی همان طور که در جدول (۷) مشخص شده است، 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.

نتایج همبستگی بین خصوصیات مؤثر در فرسایش‌پذیری خاک (K) نشان داد که بین رس، مواد آلی و نفوذپذیری با عامل فرسایش‌پذیری به ترتیب با مقادیر ($P<0/01$، $R^2=-0/72$)، ($P<0/01$، $R^2=-0/39$) و ($P<0/05$، $R^2=-0/27$) همبستگی منفی و معنی‌دار و بین میزان شن خیلی ریز، سیلت و شن با عامل فرسایش‌پذیری به ترتیب با مقادیر ($P<0/01$، $R^2=0/52$)، ($P<0/01$، $R^2=0/37$) و ($P<0/05$، $R^2=0/26$) همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد. نتایج همبستگی بسیار بالای مقادیر رس با 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 به صورت مستقیم و غیرمستقیم نقش قابل توجهی در کاهش فرسایش خاک در منطقه مطالعاتی دارد. فتوحی (۶) با مطالعات خود در حوضه دشت یزد- اردکان معادلهٔ 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 به طوری 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 رابطه‌ی منفی بین محتوای مواد آلی و شاخص فرسایش‌پذیری خاک وجود دارد. نقش ماده آلی را در پایداری خاک بیان می کند. الانیا و همکاران (۲۰) طی تحقیقی 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 می‌یابد. فولادی و همکاران (۵) نیز در تحقیقی 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 تحقیقات نامبرده با تحقیق 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.

پارامتر شن خیلی ریز با عامل K ($P<0/01$، $R^2=0/52$) رابطه‌ی مثبت و معنی‌داری دارد. با افزایش مقدار شن خیلی ریز در حوضه، فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد. الانیا و همکاران (۲۰) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که افزایش مقدار شن ریز باعث افزایش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود. فتوحی (۶) در تحقیقی 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 محتوی مقدار زیادی سیلت باشد، فرسایش‌پذیرترند. تأثیر مثبت ذرات سیلت بر فرسایش‌پذیری به دلیل جرم نسبتاً کم آن‌ها و نیز چسبندگی ناچیزشان می‌باشد

که موجب می‌شود ذرات سیلت به عنوان حساس‌ترین ذرات خاک به فرسایش باشند. فتوحی (۶) نیز در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که همبستگی مثبتی بین عامل سیلت و K وجود دارد. خرمایی و همکاران (۱۲) نیز در مطالعات خود بیان کردند که بین فرسایش‌پذیری خاک و سیلت همبستگی مثبت (۰/۷۷۲) وجود دارد. نتایج تحقیق 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 نمودند 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 دارد. خرمایی و همکاران (۱۲) نیز در تحقیقی همبستگی مثبت شن و فرسایش‌پذیری خاک را گزارش کردند ولی فولادی و همکاران (۵) در تحقیقی نشان دادند که این همبستگی منفی است. به‌طور کلی، هر چه ذرات خاک ریزتر باشد، به دلیل وجود نیروی چسبندگی بیشتر، جدا شدن ذرات سخت‌تر است.

در پژوهش حاضر، پارامتر نفوذپذیری با شاخص فرسایش‌پذیری خاک رابطه منفی معنی‌داری وجود دارد. تحقیقات فتوحی (۶) نشان داد که همبستگی منفی بین پارامتر نفوذپذیری و شاخص فرسایش‌پذیری خاک وجود دارد. الانیا و همکاران (۲۰) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که نفوذپذیری با شاخص فرسایش‌پذیری 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 فرسایش‌پذیری خاک دارد. فتوحی (۶) و فولادی (۵) در مطالعات خود نشان دادند که اسیدیته با شاخص فرسایش‌پذیری خاک رابطه‌ی منفی دارد. دونگ‌شنگ و همکاران (۴) رابطه مثبت شوری با شاخص فرسایش‌پذیری خاک را در مطالعات خود نشان دادند. همبستگی مثبت شوری با فرسایش‌پذیری خاک با نتایج تحقیقات میریان (۱۷) مطابقت دارد ولی با نتایج فولادی و همکاران (۵) هم‌خوانی ندارد.

۴-نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که میزان فرسایش‌پذیری خاک از سمت جنوب شرقی (رخساره‌ی دشت هموار) به سمت شمال غربی محدوده‌ی مورد بررسی (رخساره‌ی کوهستان با دامنه نامنظم و برونزد سنگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد) کاهش می‌یابد. با حرکت از سمت شرق به غرب حوضه، شاخص فرسایش‌پذیری کاهش پیدا می‌کند و دلیل اصلی آن وجود رخساره‌های برونزد سنگی است که به‌عنوان لایه پوششی از خاک محافظت می‌کند. با توجه به رخساره‌های فرسایش‌پذیر در سطح حوضه، خاک سمت شرق حوضه نسبت به سایر نقاط فرسایش‌پذیرتر می‌باشد. لذا عبور جاده مواصلاتی شهری از این نقطه، چرای بی‌رویه دام، قطع گونه‌های گیاهی و کشاورزی در جهت شیب بر میزان فرسایش خاک در این نقاط می‌افزاید.

منابع مورد استفاده

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. Neamatollahi, E. and H. Memarian. 2023. Assessing impacts of floods disaster on soil erosion risk based on the RUSLE-GloSEM approach in western Iran. *Nat Hazards* 117: 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., Xuezheng, S. and D.C. Weindorf. 2006. Relationships In Subtropical China. *Soil Science Society of China* 16(3): 304-311.

5. Fooladi, M. Ghadimi, F. Sheikh Zakariai, S. J. 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 (International Journal ofMining and Environmental Issues* 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's thesis, Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources and Desertology, Yazd University, Yazd.
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 : Cartner, M.R.(Ed.), Soil sampling and methods of analysis. Canadian society of soil scince. *Lewis, pubkishers, boca raton. Canada* 177-180.
9. Gyamfi, C. Ndambuki, J. M. 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., Ajalloeian, R. and M. R. Nikoudel. 2016. Evaluation of Erodibility of Sefidroud Delta Deposits Based on Engineering Geological Factors. *Geosciences* 25(100): 99-108.
11. Javadi, M., R. Zehtabian, G. Ahmadi, H. Ayoubi, S. 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. Kiani, F. and F. Khormali. 2017. Evaluation of Soil Erodibility Factor (k) for Loess Derived Landforms of Kechik Watershedin Golestan Province. *Water and Soil* 30(6): 2078-2086.
13. Khosraviaqdam, K. Momtaz, H. R. 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. Sadeghi, S. H. 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 Donahue, R. L. 1990. Soils An introduction to soils and plant growth, *Prentice- Hall Internasional*. P 454.
17. Mirian, A. 2013. Investigating the relationship between wind erosion and some physical and chemical properties of soil in Horal Azim-Khuzestan marshland. Dissertation submitted for master's degree. Zabul University, Zabul. 104.
18. Nourafar, A pahlavanravi, A. nohtani, M. 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. Akinbil, C. O. 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. Bora, P. K. Das, S. and Chanu, P .H. 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, WI.
22. Raei, B. Ahmadi, A. Neyshabouri, M. R. Ghorbani, M. A. 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: 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 DC* 537: 13-27.
26. Zare Chahouki, M.A. 2014. Data analysis in natural resources research using SPSS software. Tehran: Publications of Daneshgahi Jahad. [In Persian]