اثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر فرسایش‌پذیری در خاک‌های آهکی

علیرضا واعظی،[۱*] حسینعلی بهرامی، سیدحمیدرضا صادقی و محمدحسین مهدیان

استادیار، گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان؛ vaezi.alireza@gmail.com
دانشیار، گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس؛ bahramiha@yahoo.com
دانشیار، گروه آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس؛ shrsadeghi@yahoo.com
استادیار پژوهش، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ mahdian_1338@yahoo.com

چکیده

فرسایش‌پذیری خاک بیانگر سهولت جداشدن ذرات خاک و انتقال آنهاست. این عامل ممکن است تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک قرار گیرد. به منظور بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بر فرسایش‌پذیری در خاک‌های آهکی، این پژوهش در شهرستان هشترود واقع در جنوب استان آذربایجان‌شرقی طی سال ۱۳۸۴ انجام گرفت. خاک منطقه عمدتاً با بافت لومی رسی و دارای حدود ۱۳ درصد آهک است. برای انجام پژوهش محدوده‌ای از زمین‌های کشاورزی دیم به مساحت ۹۰۰ کیلومتر مربع انتخاب و به ۳۶ شبکه منظم مربعی شکل جدا گردید. در هر شبکه ۳ تکرار کرت واحد با فاصله ۱/۲ متر ایجاد شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شامل شن، سیلت، رس، سنگریزه، ماده آلی، آهک، پتاسیم، پایداری خاکدانه و نفوذپذیری در خاک کرت‌ها اندازه‌گیری شد. مقدار فرسایش‌پذیری از نسبت مقدار فرسایش بر مقدار عامل فرسایندگی باران به دست آمد. بر اساس نتایج، میانگین مقدار فرسایش و فرسایش‌پذیری خاک به ترتیب ۱/۸۶۸۹۳۲ تن در هکتار در سال و ۰/۰۰۴۲۵۸ تن ساعت در مگاژول میلی‌متر بود. بین فرسایش‌پذیری خاک با شن، شن درشت، سیلت، ماده آلی، آهک، پایداری خاکدانه و نفوذپذیری خاک همبستگی معنی‌دار وجود داشت. سیلت برخلاف سایر ویژگی‌ها اثری مثبت بر فرسایش‌پذیری گذاشت. همبستگی بین فرسایش‌پذیری خاک با رس، سنگریزه و پتاسیم معنی‌دار نبود. نتایج اثر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بر فرسایش‌پذیری با روش تجزیه مولفه‌های اصلی نشان داد که در خاک‌های آهکی مورد بررسی، فرسایش‌پذیری خاک عمدتاً تحت تأثیر نفوذپذیری، رس و آهک قرار می‌گیرد. این ویژگی‌ها اثر کاهشی معنی‌دار ($P<0/001$ و $R^2=0/84$) بر فرسایش‌پذیری خاک داشتند.

واژه‌های کلیدی: فرسایش‌پذیری، خاک آهکی، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ایران

مقدمه

یکی از مهمترین مشکلات کشاورزی در جهان، فرسایش خاک به وسیله آب است. ارزیابی مناسب عوامل در ارائه راهکاری مناسب برای کاهش فرسایش خاک است. بر اساس رابطه جهانی فرسایش خاک[۲] (USLE)، فرسایش پذیری شش‌گانه موثر در فرسایش آبی است. این عمده موثر در فرسایش آبی به عنوان نخستین گام عامل بیانگر حساسیت ذاتی ذرات خاک یا خاکدانه‌ها به جداشدن یا انتقال به وسیله عوامل فرساینده مانند باران و رواناب است (McIntosh و Laffan، ۲۰۰۵).

۱- نویسنده مسئول، آدرس: زنجان، کیلومتر ۶ جاده تبریز ، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی

* دریافت: ۸۵/۷/۳۰ و پذیرش: ۸۶/۶/۴

2- Universal Soil Loss Equation

Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) نشان می‌دهد که بر اساس USLE در کرت واحد[1] یا استاندارد (کرتی با طول ۲۲/۱ متر و عرض ۱/۸۳ متر که در جهت شیب شخم خورده و بدون پوشش گیاهی و بقایای آن است)، مقدار عامل طول شیب (L)، درجه شیب (S)، پوشش گیاهی (C) و کارهای حفاظتی(P) برابر یک است. بنابراین مقدار فرسایش خاک (A) در کرت واحد از حاصلضرب عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) و عامل فرسایندگی باران (R) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A = R.K.L.S.C.P = R.K \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = R.K \qquad (1)$$

بر اساس رابطه (۱) مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) از راه تعیین مقدار خاک فرسایش یافته (A) از کرت واحد در واحد شاخص فرسایندگی باران[2] (R) به دست می‌آید. چنانچه A بر حسب t/ha year (تن در هکتار سال) و R بر حسب MJ mm/ha h year (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال) باشد واحد K بر حسب t h/MJ mm (تن ساعت در مگاژول میلی‌متر) خواهد بود.

بنابراین برای تعیین مقدار واقعی فرسایش‌پذیری خاک لازم است مقدار فرسایش خاک و عامل فرسایندگی باران تعیین شود. مقدار فرسایش خاک را می‌توان از اندازه‌گیری مقدار هدررفت خاک در رخدادهای باران طی سال به دست آورد. مقدار شاخص فرسایندگی باران با روش پیشنهادی Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) از حاصلضرب انرژی جنبشی باران (E) در بیشترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای آن (I_{30}) به دست می‌آید (EI_{30}). مقدار عامل فرسایندگی باران (R) از جمع EI_{30} ها در سال بر حسب مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال به دست می‌آید. مقدار E نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است (Wischmeier و Smith، ۱۹۷۸):

$$E = ۲۱۰/۳ + ۸۷ \log_{10} I \qquad (2)$$

که در آن E انرژی جنبشی در واحد سطح به ازای ارتفاع باران (ژول بر متر مربع در سانتی‌متر باران) و I شدت بارندگی (سانتی‌متر در ساعت) است.

پژوهش‌های زیادی نشان می‌دهد که فرسایش‌پذیری تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف فیزیکوشیمیایی خاک قرار می‌گیرد. بررسی‌های Castro و Logan (۱۹۹۱) نشان داد که در خاک‌های آهکی، وجود کاتیون کلسیم در همآوری[3] رس‌ها و پایداری آنها موثر است. بررسی‌هایی Schwab و همکاران (۱۹۹۳) در مورد نقش ساختمان خاک بر فرسایش‌پذیری خاک انجام گرفت نشان داد که ساختمان خاک تأثیری مهم در فرسایش‌پذیری خاک دارد. گزارش‌های رفاهی (۱۳۷۵) نشان داد که در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک، آهک نقشی اساسی در پایداری خاکدانه‌ها دارد و ممکن است بر فرسایش‌پذیری (K) اثر بگذارد.

بررسی‌های Miller و Gardiner (۱۹۹۸) در آمریکا نشان داد که وجود خاکدانه‌های سطحی بزرگ و داشتن نفوذپذیری بالا، فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد. گزارش‌های Castrignano و همکاران (۲۰۰۰) نشان داد که فرسایش‌پذیری خاک بر اثر ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک تغییر می‌یابد. گزارش‌های Charman و Murphy (۲۰۰۰) نشان داد که رس معمولا فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد. همچنین کاتیون کلسیم نقشی موثر در به هم آمدن کلوئیدهای خاک و کاهش فرسایش‌پذیری دارد. پژوهش‌های Duiker و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد که Ca^{2+} نقشی موثر در به هم آمدن کلوئیدهای خاک و افزایش مقاومت خاک به فرسایش دارند. بر اساس گزارش‌های Barthe`s و Roose (۲۰۰۲) نفوذپذیری و پایداری ساختمان دو ویژگی بسیار مهم خاک هستند که بر عامل فرسایش پذیری (K) اثر می‌گذارند. بررسی‌های Santos و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که خاک‌های دارای مقدار بیشتری ذرات شن، اثر ضربه قطرات باران را بهتر کاهش می‌دهند و به دلیل داشتن سرعت نفوذ آب بیشتر، رواناب و رسوب کمتری تولید می‌کنند. بررسی‌های قادری و قدوسی (۱۳۸۴) نشان داد که فرسایش‌پذیری خاک در واحدهای مختلف اراضی با افزایش نسبت رس به شن و سیلت افزایش می‌یابد.

در آزمایشی Zhang و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که همبستگی معنی‌دار منفی بین مقدار رس و عامل فرسایش‌پذیری در USLE وجود دارد. بررسی‌های قربانی واقعی و بهرامی (۱۳۸۴) نیز نشان داد که فرسایش‌پذیری خاک با درصد توزیع اندازه ذرات خاک نسبت به سایر مشخصه‌های فیزیکی بیشترین همبستگی را دارد. در پژوهشی Rodrígez و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان دادند که وجود کمپلکس‌های آلوفان- آهن- کربن آلی نقشی مهم در افزایش پایداری خاک در برابر فروریختن و ضربه قطرات آب و در نتیجه کاهش عامل فرسایش‌پذیری در USLE دارد. در پژوهشی Dong-Sheng و همکاران (۲۰۰۶) رابطه عامل فرسایش‌پذیری و نفوذپذیری اشباع خاک[4] خاک را با استفاده از شبیه‌ساز باران مورد بررسی قرار دادند. نتایج

1-Unit plot

2-Rainfall erosivity index

3 Flocculation

4- Soil saturated permeability

نشان داد که بین فرسایش‌پذیری با نفوذپذیری اشباع خاک همبستگی منفی وجود دارد.

بررسی منابع نشان می‌دهد که فرسایش‌پذیری می‌تواند تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک قرار گیرد. در خاک‌های آهکی نیز که کلسیم از کاتیون‌های غالب تبادلی خاک می‌باشد، به دلیل نقش اساسی در هماوری ذرات خاک ممکن است در فرسایش-پذیری خاک موثر باشد. بررسی‌دقیقی در مورد عوامل موثر بر فرسایش‌پذیری در خاک‌های آهکی ایران وجود ندارد. با توجه به گستردگی خاک‌های آهکی در کشور، بررسی فرسایش‌پذیری در خاک‌های آهکی به منظور شناخت عوامل موثر بر آن حائز اهمیت است. در این پژوهش کوشش بر آن است تا مقدار فرسایش‌پذیری (K) در خاک-های آهکی تعیین و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی موثر بر آن شناسایی گردد. همچنین بر اساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی موثر، رابطه‌ای برای پیش‌بینی مقدار فرسایش در خاک‌های آهکی ارائه شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شهرستان هشترود واقع در در جنوب استان آذربایجان شرقی طی سال ۱۳۸۴ انجام گردید. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این منطقه دارای میانگین بارندگی سالانه ۳۴۰ میلی‌متر است. خاک منطقه عمدتاً در شیب‌های بین ۵ تا ۱۵ درصد قرار گرفته است. خاک‌ها عمیق با بافت لوم رسی و نفوذپذیری متوسط و دارای حدود ۱ درصد ماده آلی، ۱۰ درصد آهک، اسیدیته (pH) بین ۷ تا ۸ و شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر هستند (حکیمی، ۱۳۶۵). برای طراحی آزمایش، محدوده‌ای از زمین‌های کشاورزی که بر اساس نقشه قابلیت اراضی دارای خاک‌هایی با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی گوناگون بود، به ابعاد ۳۰ کیلومتر در ۳۰ کیلومتر انتخاب و ۳۶ شبکه مربعی شکل به ابعاد ۵ کیلومتر در آن در نظر گرفته شد (شکل ۱).

برای بررسی عامل فرسایش‌پذیری در USLE، کرت‌های فرسایشی به صورت کرت واحد در نظر گرفته شد. برای این منظور در هر شبکه برای کاهش تأثیر جهت شیب بر رطوبت اولیه خاک و در نتیجه نفوذپذیری و فرسایش‌پذیری، تنها شیب‌های رو به جنوب مورد توجه قرار گرفت. در این شیب‌ها برای از بین بردن اثر بقایای گیاهی بر فرسایش‌پذیری، خاک‌های در حال آیش انتخاب شدند.

برای پیاده‌سازی کرت‌های واحد، خاک‌ها در آغاز بهار ۱۳۸۴ در جهت شیب شخم و دیسک زده شد و بقایای گیاهی سطح آنها جمع‌آوری شد. سپس تعداد ۳ کرت به عرض ۱/۸۳ متر و به طول ۲۲/۱ متر با فاصله ۱/۲ متر در هر شبکه ایجاد گردید. شکل۲ چگونگی طراحی کرت‌های واحد در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. برای جلوگیری از ورود و خروج رواناب، پیرامون کرت‌ها با پشته‌های خاکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بسته شد. به منظور اندازه‌گیری رسوب (فرسایش)، در انتهای هر کرت لوله‌ای ۵ اینچی از جنس پلیکا و مخزنی با حجم ۷۰ لیتر قرار داده شد. برای جلوگیری از ورود آب باران یا رواناب به مخزن‌ها سطح آنها با درب‌هایی پوشانده شد.

برای اندازگیری مقدار رسوب، پس از پایان هر بارندگی منجر به رسوب، ابتدا حجم کل مخلوط رواناب و رسوب مخزن‌ها به وسیله ظرفی با حجم معین اندازه‌گیری شد و برای تعیین غلظت رسوب، محتویات داخل مخزن‌ها با همزن دستی کاملا به صورت یکنواخت در آمد. سپس نمونه‌ای با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر از مخلوط داخل مخزن‌ها برداشت و در آزمایشگاه پس از جداسازی رسوب با کاغذ صافی، نمونه‌های رسوب در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و وزن خشک رسوب آنها مشخص گردید. با تعیین غلظت رسوب هر نمونه، مقدار کل رسوب هر کرت در هر رگبار تعیین شد. با جمع مقادیر رسوب در رخدادهای مختلف طی سال، مقدار سالانه فرسایش (هدررفت) خاک به دست آمد.

برای بررسی مقدار باران، از داده‌های باران ۴ ایستگاه بارندگی موجود در منطقه استفاده شد. ایستگاه‌های بارندگی واقع در شبکه‌های ۲، ۱۰ و ۲۶ از نوع باران‌سنجی و در شبکه ۱۷ از نوع باران‌نگاری بود. مقدار عامل فرسایندگی باران (R) با روش Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) بر اساس داده‌های ایستگاه باران‌نگاری تعیین شد. مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) نیز بر اساس رابطه (۱) از مقدار خاک فرسایش یافته در واحد عامل فرسایندگی باران به دست آمد.

برای تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی موثر بر فرسایش‌پذیری، برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی که بر اساس بررسی منابع ممکن بود در فرسایش‌پذیری موثر باشند، اندازه‌گیری شدند. این ویژگی‌ها شامل شن، شن درشت (۰/۱ تا ۲ میلی‌متر)، شن بسیار ریز (۰/۰۵ تا ۰/۱ میلی‌متر) سیلت، رس، سنگریزه، ماده آلی و آهک، پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری خاک بود. نفوذپذیری خاک در صحرا و سایر ویژگی‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. نفوذپذیری خاک به وسیله استوانه‌های مضاعف بر اساس سرعت نفوذ نهایی[1] یا پایه تعیین گردید. برای اندازه‌گیری

1- Final infiltration rate

ویژگی‌های آزمایشگاهی، نمونه‌های خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متر از ۳ نقطه در امتداد کرت‌ها به طور تصادفی برداشت و نمونه‌ای مرکب از آن تهیه شد. در نمونه‌های خاک، درصد ذرات معدنی خاک، آهک و ماده آلی با روش‌های رایج موسسه تحقیقات خاک و آب (علی‌احیائی، ۱۳۷۵)، سنگریزه (۲ تا ۸ میلی‌متر) به روش وزنی و پایداری خاکدانه بر اساس میانگین وزنی قطر[1] (MWD) با روش الک تر[2] اندازه‌گیری شد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ماتریس همبستگی بین متغیرها تعیین شد. همچنین رابطه معنی‌دار بین متغیرها با روش تجزیه مولفه‌های اصلی[3] یا PCA (Jollife، ۱۹۸۶) بررسی شد. در این روش از آنجا که روابط بین متغیرهای رگرسیونی در نظر گرفته می‌شود، نتایج آن رضایتبخش است (رضوی پاریزی، ۱۳۸۲). برای بررسی تفاوت فرسایش‌پذیری در کرت‌ها از آزمون توکی[4] و برای بررسی تفاوت بین مقدار باران در ایستگاه‌های بارندگی از آزمون غیرپارامتریک[5] در نمونه‌های مستقل[6] استفاده شد. تمامی امور آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS, 13 انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک نشان داد که خاک‌ها عمدتا دارای بافت لوم رسی، با ماده آلی کم، آهکی و با نفوذپذیری متوسط هستند. جدول ۱ نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی در خاک‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. بررسی مقدار بارندگی در ایستگاه‌های مختلف طی سال ۱۳۸۴ نشان داد که میانگین سالانه مقدار بارندگی در ایستگاه‌های مختلف برابر ۳۲۲ میلی‌متر است میانگین مقدار باران‌های فرسایش‌زا در ایستگاه‌های بارندگی واقع در شبکه‌های ۲، ۱۰، ۱۷ و ۲۶ به ترتیب ۷/۱۵، ۶/۷۶، ۶/۹۷ و ۷/۰۸ میلی‌متر بود. بررسی مقدار باران در ایستگاه‌های بارندگی نشان داد که که مقدار P-Value برابر ۰/۱۹۸ است و مقدار باران در ایستگاه‌های بارندگی تفاوتی معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارد. به عبارت دیگر بارندگی در منطقه دارای پراکنش یکنواختی بود.

در طی انجام پژوهش، ۲۳ رخداد باران منجر به رسوب شد. مقدار شاخص فرسایندگی باران (R) برابر ۴۴۸/۷۰۷۳ مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت بود. میانگین مقدار سالانه فرسایش اندازه‌گیری شده در کرت‌ها برابر ۱/۸۶۸ تن در هکتار بود. جدول۲ نتایج مقدار فرسایش و فرسایش‌پذیری خاک در سال ۱۳۸۴ را نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد که بین فرسایش‌پذیری در کرت‌های مختلف تفاوتی معنی‌دار ($p<۰/۰۰۱$) وجود دارد. با توجه به اینکه پراکنش مقدار بارندگی در منطقه تقریباً یکنواختی بود، تفاوت مقدار فرسایش‌پذیری بین کرت‌های مختلف موجود در منطقه به دلیل تفاوت در ویژگی‌های خاک بود. برای بررسی چگونگی تأثیر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بر فرسایش‌پذیری، ابتدا ماتریس همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فرسایش‌پذیری بررسی شد. جدول ۳ نتایج ماتریس همبستگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فرسایش‌پذیری خاک را نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌دار بین فرسایش‌پذیری خاک (K) با شن، شن درشت، سیلت، ماده آلی، آهک، پایداری خاکدانه و نفوپذیری خاک وجود دارد. شن، شن درشت، ماده آلی و آهک، پایداری خاکدانه و نفوذپذیری برخلاف سیلت، فرسایش‌پذیری را کاهش دادند. نتایج جدول ماتریس همبستگی همچنین نشان داد که بین اجزائ مختلف بافت خاک (شن و...) با یکدیگر همبستگی معنی‌دار وجود دارد. بین پایداری خاکدانه با شن، شن بسیار ریز، رس، ماده آلی و آهک نیز همبستگی معنی‌دار وجود داشت. رس، ماده آلی و آهک بر خلاف شن، شن بسیار ریز، پایداری خاکدانه را افزایش دادند. همچنین همبستگی معنی‌دار بین نفوذپذیری نیمرخ با شن، شن درشت، سیلت، ماده آلی و آهک وجود داشت. شن، شن درشت، ماده آلی و آهک برخلاف سیلت، نفوذپذیری را افزایش دادند.

با توجه به وجود همبستگی معنی‌دار بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، امکان بررسی تأثیر همزمان آن‌ها بر فرسایش‌پذیری خاک وجود نداشت. از این رو از بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، تعداد محدودی ویژگی که بیانگر تأثیر سایر ویژگی‌ها بودند انتخاب شدند. برای این کار از روش تجزیه مولفه‌های اصلی یا PCA استفاده شد. جدول ۴ نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که کلیه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مورد بررسی در ۴ جزئ[7] قابل بیان است. در هر جزئ ویژگی که بیشترین ضریب را داشت به عنوان عامل اصلی بیان کننده آن جزئ انتخاب

1 -Mean Weight Diameter
2- Wet seiving
3- Principal Components Analysis
4-Tukey test
5- Nonparametric test
6- Independent samples
7- Component

شد. بر این اساس نفوذپذیری، رس، آهک و سنگریزه به عنوان ویژگی‌های اصلی خاک بودند.

بررسی رابطه بین فرسایش‌پذیری (K) و ویژگی‌های اصلی خاک (نفوذپذیری، رس، آهک و سنگریزه) نشان داد که اثر این ویژگی‌ها بر فرسایش‌پذیری معنی‌دار ($p<۰/۰۰۱$) و ضریب تبیین آن ($R^۲$) ۸۵ درصد می‌باشد. جدول ۵ نتایج ضرایب رگرسیونی رابطه فرسایش‌پذیری (K) و ویژگی‌های اصلی خاک را نشان می‌دهد. نفوذپذیری نیمرخ، رس و آهک تأثیر کاهشی معنی‌دار بر فرسایش‌پذیری داشتند. اثر سنگریزه بر فرسایش‌پذیری معنی‌دار نبود.

به دلیل تأثیر غیرمعنی‌دار سنگریزه بر فرسایش-پذیری خاک، این ویژگی از جدول تجزیه رگرسیونی حذف شد. در این صورت اثر سایر ویژگی‌های اصلی (نفوذپذیری، رس و آهک) بر فرسایش‌پذیری خاک نیز معنی‌دار ($p<۰/۰۰۱$) و ضریب تبیین آن ۸۴ درصد بود. جدول ۶ نتایج نهایی ضرایب رگرسیونی رابطه فرسایش-پذیری (K) و ویژگی‌های اصلی خاک را نشان می‌دهد. اثر کاهشی نفوذپذیری نیمرخ بر فرسایش‌پذیری در سطح احتمال ۰/۰۰۱ و اثر کاهشی رس و آهک بر فرسایش-پذیری در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار شد.

بر اساس جدول بالا، رابطه فرسایش‌پذیری خاک (K) و ویژگی‌های اصلی خاک را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$K = ۰/۰۱۱۲۳ - ۰/۰۰۱۲۹\ Ks - ۵/۷ \times ۱۰^{-۵}\ Clay\ ۱۰^{-۵} - ۵/۲ \times TNV \quad (۳)$$

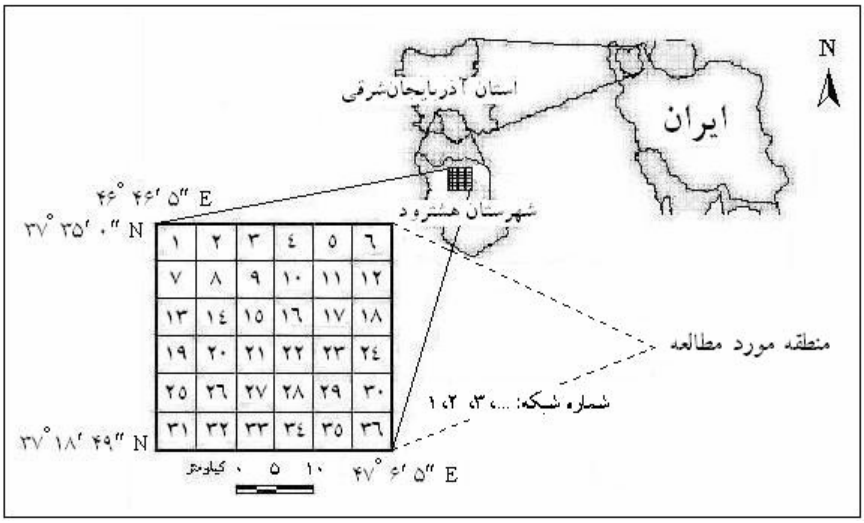
که در آن K عامل فرسایش‌پذیری خاک در USLE بر حسب تن ساعت در مگاژول میلی‌متر، Ks نفوذپذیری نیمرخ خاک بر حسب سانتی‌متر در ساعت، Clay درصد رس و TNV درصد مواد خنثی شونده یا آهک است.

به طور کلی در این پژوهش اثر ویژگی‌های مختلف فیزیکوشیمیایی بر فرسایش‌پذیری (K) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش، گزارش‌های Castrignano و همکاران (۲۰۰۰) در مورد اهمیت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر فرسایش‌پذیری خاک را تایید می‌کند. در این پژوهش، شن با وجود کاهش قابل-ملاحظه پایداری خاکدانه‌ها به دلیل افزایش چشمگیر نفوذپذیری، فرسایش‌پذیری خاک را به طور معنی‌داری کاهش داد. این نتیجه، با یافته‌های Santos و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. ذرات شن درشت اثر کاهشی ناچیز بر پایداری خاکدانه و اثر افزایشی قابل ملاحظه‌ای بر نفوذپذیری خاک داشت. ذرات شن بسیار ریز اثر کاهشی چشمگیر بر پایداری خاکدانه داشت اما تأثیر کاهشی آن بر نفوذپذیری معنی‌دار نشد. بنابراین تأثیر کاهشی معنی‌دار شن بر فرسایش‌پذیری خاک به دلیل نقش قابل توجه ذرات شن درشت در افزایش نفوذپذیری خاک بود. این تأثیر بیشتر از اثر کاهشی ذرات شن بسیار ریز در کاهش پایداری خاکدانه‌ها و افزایش فرسایش‌پذیری بود. ذرات رس با وجود کاهش (غیر معنی‌دار) نفوذپذیری، به دلیل افزایش چشمگیر پایداری خاکدانه‌ها، فرسایش‌پذیری خاک را کاهش داد. رابطه منفی موجود بین فرسایش‌پذیری و رس در این پژوهش با یافته‌های Zhang و همکاران (۲۰۰۴) در چین مشابه است. ذرات سیلت در کنار کاهش جزئی پایدرای خاکدانه‌ها به دلیل کاهش چشمگیر نفوذپذیری خاک، فرسایش‌پذیری خاک را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. نقش مثبت سیلت در فرسایش-پذیری خاک با نتایج به دست آمده از تحقیقات Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) مطابقت دارد. ماده آلی به طور چشمگیری پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری خاک را افزایش داد و در نتیجه اثری کاهشی چشمگیری بر فرسایش‌پذیری خاک داشت. تأثیر ماده آلی بر فرسایش-پذیری خاک با نتایج تحقیقات Charman و Murphy (۲۰۰۰) همخوانی دارد. آهک نیز مانند ماده آلی به طور قابل ملاحظه‌ای پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری خاک را افزایش و فرسایش‌پذیری خاک را کاهش داد. این نتیجه با نتایج به دست آمده از تحقیقات Charman و Murphy (۲۰۰۰) و Duiker و همکاران (۲۰۰۱) همخوانی دارد. سنگریزه به دلیل تأثیر ناچیز در کاهش پایداری خاکدانه و افزایش نفوذپذیری خاک، اثر کاهشی غیر معنی‌دار بر فرسایش‌پذیری گذاشت. کاتیون پتاسیم نیز به دلیل تأثیر ناچیز در افزایش پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری خاک، اثر کاهشی معنی‌دار در فرسایش‌پذیری خاک نداشت.

نتیجه گیری

از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که در خاک‌های آهکی مناطق، فرسایش‌پذیری خاک تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف فیزکوشیمیایی خاک (ذرات معدنی، ماده آلی، آهک، پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری خاک) قرار می‌گیرد. آهک در کنار ماده آلی نقشی سازنده در هماوری ذرات خاک، افزایش پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری خاک دارد. با افزایش پایداری خاکدانه‌ها و سرعت نفوذ آب به خاک، فرسایش‌پذیری خاک کاهش می‌یابد. بررسی اثر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی با روش تجزیه مولفه‌های اصلی نشان داد که در خاک‌های آهکی مورد بررسی، نفوذپذیری، رس و آهک به عنوان ویژگی‌های اصلی موثر بر فرسایش‌پذیری خاک هستند.

نتایج نشان داد که فرسایش‌پذیری خاک را با استفاده از معادله رگرسیونی ساده بر اساس نفوذپذیری، رس و آهک با اطمینان بالا (R^2=۰/۸۴) می‌توان برآورد کرد. بدیهی است برای ارائه رابطه‌ای دقیقتر جهت پیش‌بینی فرسایش‌پذیری در خاک‌های آهکی لازم است پژوهش‌هایی مشابه در سایر خاک‌های آهکی نواحی نیمه خشک ایران انجام گیرد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- نتایج ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک‌های مورد بررسی

شاخص آماری *	S (%)	CS (%)	VFS (%)	Si (%)	Cl (%)	Gr (%)	OM (%)	TNV (%)	Po (mg/kg)	MWD (mm)	Ks (cm/h)
کمترین	۲۴/۸۰	۱۳/۳۰	۸/۹۰	۲۰/۲۰	۲۰/۸۰	۵/۳۰	۰/۷۴	۱/۲۰	۲۶۵/۹۰	۰/۲۷	۱/۸
بیشترین	۴۸/۳۰	۲۷/۷۰	۲۴/۸۰	۴۶/۴۰	۴۲/۲۰	۱۷/۴۵	۲/۱۳	۱۸/۴۰	۶۳۷/۸۰	۱/۸۷	۶/۵
میانگین	۳۶/۴۰	۱۹/۷۰	۱۶/۶۰	۳۱/۵۰	۳۱/۵۰	۹/۹۱	۱/۰۹	۸/۶۵	۳۹۱/۵۲	۱/۰۶	۳/۳
انحراف معیار	۶/۶۹	۳/۴۹	۳/۷۷	۷/۴۸	۵/۶۸	۳/۱۰	۰/۲۶	۴/۳۳	۸۹/۰۲	۰/۴۴	۱/۳۰
فرض نرمال	۰/۶۲	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۷۵	۰/۹۳	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۹۲	۰/۴۸	۰/۹۵	۰/۷۷

* S، CS، VFS، Si، Cl، Gr، OM، TNV، Po، MWD و Ks به ترتیب شن، شن درشت، شن بسیار ریز، سیلت، رس، سنگریزه، ماده آلی، آهک، پتاسیم، میانگین وزنی قطر خاکدانه و نفوذپذیری نهایی است.

جدول۲- نتایج مقدار فرسایش و فرسایش‌پذیری خاک در سال ۱۳۸۴

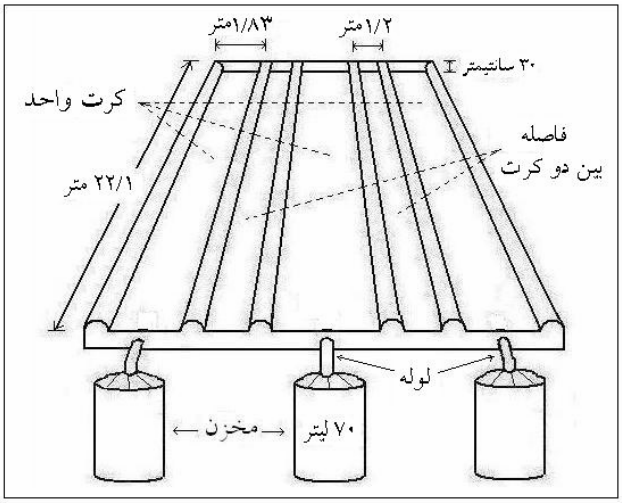
شاخص آماری	فرسایش خاک (تن در هکتار سال)	فرسایش‌پذیری خاک (تن ساعت در مگاژول میلی‌متر)
کمترین	۰/۳۶۴۴۰۰	۰/۰۰۰۸۳۰
بیشترین	۳/۲۸۹۴۰۰	۰/۰۰۷۴۹۴
میانگین	۱/۸۶۸۹۳۲	۰/۰۰۴۲۵۸
انحراف معیار	۰/۷۹۲	۰/۰۰۱۸۰۵
فرض نرمال	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲

جدول ۳- نتایج ماتریس همبستگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فرسایش‌پذیری خاک

	S	CS	VFS	Si	Cl	OM	TNV	Gr	Po	MWD	Ks	K
S	۱											
CS	۰/۸۸۴***	۱										
VFS	۰/۶۵۴***	۰/۲۲۴	۱									
Si	−۰/۶۷۰***	−۰/۷۴۲***	−۰/۱۹۷	۱								
Cl	−۰/۳۷۹*	−۰/۱۷۹	−۰/۵۰۰**	−۰/۴۰۰**	۱							
OM	۰/۰۶۱	۰/۲۶۸	−۰/۳۰۷*	−۰/۲۲۸	۰/۲۰۸	۱						
TNV	−۰/۲۶۹	−۰/۰۰۱	−۰/۵۵۸**	−۰/۱۷۴	۰/۰۲۸	۰/۰۴۶	۱					
Gr	۰/۰۱۸	۰/۰۲۸	−۰/۰۰۷	۰/۰۲۴	−۰/۰۵۸	۰/۱۶۵	−۰/۰۳۰	۱				
Po	−۰/۰۷۸	−۰/۰۷۲	−۰/۰۴۶	−۰/۱۷۷	۰/۳۰۹*	۰/۰۵۹	−۰/۰۹۲	۰/۰۹۳	۱			
MWD	−۰/۴۵۷**	−۰/۱۷۵	−۰/۶۷۰***	−۰/۱۲۳	۰/۷۰۵***	۰/۲۹۳*	۰/۴۸۱**	−۰/۰۹۱	۰/۲۱۷	۱		
Ks	۰/۵۶۹***	۰/۷۶۱***	−۰/۰۴۷	−۰/۵۵۳**	−۰/۰۶۹	۰/۵۴۱**	۰/۲۹۵*	۰/۰۹۱	۰/۰۸۰	۰/۱۳۴	۱	
K	−۰/۴۷۰**	−۰/۷۳۶***	۰/۲۱۲	۰/۶۱۳***	−۰/۱۳۳	−۰/۴۷۸**	−۰/۴۱۰**	−۰/۱۵۷	−۰/۱۲۵	−۰/۳۵۰*	−۰/۸۸۲***	۱

[۱]: S، CS، VFS، Si، Cl، OM، TNV، Gr، Po ، MWD و Ks و K به ترتیب شن، شن درشت، شن بسیار ریز، سیلت، رس، ماده آلی، آهک، سنگریزه، پتاسیم، میانگین وزنی قطر خاکدانه، نفوذپذیری نهایی و عامل فرسایش‌پذیری خاک است.

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، **: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، ***: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱



شکل ۲- چگونگی طراحی کرت‌های واحد در منطقه مورد بررسی

جدول ۴- نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

ویژگی	جزئ			
	۱	۲	۳	۴
شن	۰/۸۳۷	-۰/۳۶۵	-۰/۳۳۷	-۰/۰۴۷
سیلت	-۰/۸۴۸	-۰/۳۶۵	۰/۱۹۷	۰/۱۳۰
رس	۰/۰۰۵	۰/۹۲۵	۰/۱۰۳	-۰/۱۱۳
سنگریزه	-۰/۰۳۲	-۰/۰۳۴	-۰/۰۸۵	۰/۸۸۹
پایداری خاکدانه	-۰/۰۳۷	۰/۷۱۵	۰/۶۱۶	-۰/۰۶۹
نفوذپذیری	۰/۸۴۹	-۰/۰۵۴	۰/۳۷۹	۰/۲۱۰
ماده آلی	۰/۴۴۰	۰/۲۳۵	۰/۳۵۸	۰/۴۵۵
آهک	-۰/۰۵۱	-۰/۰۵۲	۰/۸۸۹	-۰/۰۳۷
پتاسیم	۰/۰۴۷	۰/۶۰۷	-۰/۲۵۱	۰/۲۵۶

جدول ۵- نتایج ضرایب رگرسیونی رابطه فرسایش‌پذیری (K) و ویژگی‌های اصلی خاک

مدل	ضرایب غیر استاندارد		ضرایب استاندارد	t	معنی‌داری
	B	انحراف معیار	Beta		
مقدار ثابت	۰/۰۱۱۹۷	۰/۰۰۰۹۹		۱۲/۰۷۳	۰/۰۰۰
نفوذپذیری نیمرخ	-۰/۰۰۱۲۷	۰/۰۰۰۱۱	-۰/۸۴۰	-۱۱/۳۳۵	۰/۰۰۰
رس	$-۵/۹\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۰۰۲	-۰/۱۹۲	-۲/۷۱۶	۰/۰۱۱
آهک	$-۵/۴\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۰۰۲	-۰/۱۶۰	-۲/۱۷۰	۰/۰۳۸
سنگریزه	$-۷/۳\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۰۰۵	-۰/۰۹۷	-۱/۳۷۵	۰/۱۷۹

جدول ۶- نتایج نهایی ضرایب رگرسیونی رابطه فرسایش‌پذیری (K) و ویژگی‌های اصلی خاک

مدل	ضرایب غیر استاندارد		ضرایب استاندارد	t	معنی‌داری
	B	انحراف معیار	Beta		
مقدار ثابت	۰/۰۱۱۲۳	۰/۰۰۰۸۵		۱۳/۲۶۷	۰/۰۰۰
نفوذپذیری نیمرخ	-۰/۰۰۱۲۹	۰/۰۰۰۱۱	-۰/۸۵۰	-۱۱/۳۷۴	۰/۰۰۰
رس	$-۵/۷\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۰۰۲	-۰/۱۸۷	-۲/۶۱۶	۰/۰۱۳
آهک	$-۵/۲\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۰۰۳	-۰/۱۵۴	-۲/۰۶۶	۰/۰۴۷

فهرست منابع:

۱. رفاهی، ح. ق. ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ایران، صفحه ۱۴۰ تا ۱۴۷.

۲. رضوی پاریزی، س. ا. ۱۳۸۲. مقدمهای بر تحلیل رگرسیون خطی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، صفحه ۴۷۵ تا ۴۷۶.

۳. علی‌احیائی، م. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه خاک، نشریه فنی شماره ۸۹۳ موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران، صفحه ۶ تا ۱۲۸.

۴. قادری، ن و ج. قدوسی. ۱۳۸۴. بررسی فرسایش پذیری خاک در واحدهای اراضی حوزه تلوار چای. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، صفحه ۳۶۷ تا ۳۷۲.

۵. حکیمی. ۱۳۶۵. مطالعات خاکشناسی اجمالی منطقه هشترود، نشریه شماره ۷۶۷، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران، ایران، صفحه ۲ تا ۱۵.

۶. قربانی واقعی، ح. و بهرامی، ح. ع. ۱۳۸۴. ارزیابی تغییرات عامل فرسایش‌پذیری خاک به روش وزنی در دو مدل USLE و RUSLE به کمک GIS در خاک‌های شمال شرق استان لرستان. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، صفحه ۶۵۸ تا ۶۶۰.

7. Barthe`s, B. and Roose, E. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. Catena 47(2):133– 149.
8. Castrignanoo, A., Giugliarini, L., Risaliti, R and Martinelli, N. 2000. Study of spatial relationships among some soil Physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. Geoderma 97: 39-60.
9. Castro, C. F. and Logan T.J. 1991. Limming effects on the stability and erodibility of som Brazilian oxisols. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1407-1413.
10. Dong-Sheng, Y., Xue-Zheng, S. and Weindorf, D. C. 2006. Relationships Between Permeability and Erodibility of Cultivated Acrisols and Cambisols in Subtropical China. Pedosphere 16(3): 304-311.
11. Charman, P. E. V. and Murphy, B. W. 2000. Soils (their properties and management). Second edition, Land and Water Conservation, New South Wales, Oxford, pp. 206-212.
12. Duiker, S. W., Flanagan, D. C. and Lal, R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. Catena 45: 103-121.
13. Jollife, I. 1986. Principal Component Analysis. Springer-Verlag, New York, pp. 186-189.
14. McIntosh, P. and Lafflan, M. 2005. Soil erodibility and erosion hazard: Extending these cornerstone soil conservation concepts to headwater streams in the forestry estate in Tasmania. Forest Ecology and Management 220:128-139.

15. Miller, R. W. and Gardiner, D. T. 1998. Soils in our environment. Eighth edition, Prentice-Hall Inc.. United State of America pp. 75-81.
16. Rodríguez, R. R., Arbelo, C. D., Guerra, J. A., Natario, M. J. S. and Armas, C. M. 2006. Organic carbon stocks and soil erodibility in Canary Islands Andosols. Catena 66:228-235.
17. Santos, F. L., Reis, J. L., Martins, O. C., Castanheria, N. L., and Serralherio, R. P. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. Biosystems Engineering, 86(3):355-364.
18. Schwab, G. O., Fanmeier,, D. D., Elliot, W. J. and Frevert, R. K. 1993. Soil and water conservation engineering. Fourth edition, John Wiley & Sons, Inc., New York. pp. 92-103.
19. Wischmeier, W. H. and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. US Department of Agriculture, Washington DC.
20. Zhang, K., Li, S., Peng, W. and Yu, B. 2004. Erodibility of agricultural soils and loess plateau of China. Soil & Tillage Research 76: 157-165.