

تعیین خطای برآورد عامل فرسایش پذیری USLE در خاک‌های آهکی شمال غربی ایران

علیرضا واعظی* - حسینی بهرامی - حمید رضا صادقی - محمد حسین مهدیان^۱

تاریخ دریافت: ۸۵/۹/۱

تاریخ پذیرش: ۸۷/۲/۲۳

چکیده

فرسایش پذیری خاک در معادله جهانی فرسایش خاک (USLE)، از رابطه‌ای رگرسیونی که بر اساس آزمایش‌های صحرایی فرسایش در خاک‌های تقریباً غیرآهکی به دست آمده است، برآورد می‌شود. از این رو تعیین خطای برآورد آن در خاک‌های آهکی ایران ضروری است. این پژوهش در منطقه‌ای کشاورزی به ابعاد ۳۰ کیلومتر در شهرستان هشتروند واقع در شمال غرب ایران طی سال ۱۳۸۴ انجام گرفت. خاک‌های مورد مطالعه دارای حدود ۱/۱ درصد ماده آلی و ۱۳ درصد آهک هستند. در سطح منطقه مورد بررسی، ۳۶ شبکه مربعی به ابعاد ۵ کیلومتر در نظر گرفته شد. در هر شبکه سه کرت استاندارد با فاصله ۱/۲ متر در یک دیمزار واقع روی شیب جنوبی ۹ درصد احداث شدند. مقدار واقعی فرسایش پذیری، از نسبت مقدار رسوب سالانه بر عامل فرسایش پذیری باران سالانه تحت رخدادهای باران طبیعی و مقدار برآوردی آن، از رابطه رگرسیونی USLE به دست آمد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در نمونه‌های برداشت شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میانگین مقدار فرسایش پذیری واقعی در منطقه برابر ۰/۰۰۴۲۵۸ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر می‌باشد که ۱۰/۷۵ برابر کمتر از مقدار برآوردی است. همبستگی ضعیفی ($R^2=0/16$) بین فرسایش پذیری واقعی و برآوردی برقرار بود. مقدار خطای برآورد فرسایش پذیری از ۳/۱۷۳ تا ۳۹/۲۹۸ تغییر کرد و میانگین آن در منطقه ۹/۹۸۴ بود. فرسایش پذیری خاک همبستگی معنی‌داری با شن درشت، سیلت، ماده آلی و آهک داشت. تجزیه رگرسیونی نیز نشان داد که فرسایش پذیری خاک آهکی تحت تأثیر معنی‌دار ($p < 0/001$)، شن درشت، ماده آلی و آهک قرار دارد. شن درشت، ماده آلی و آهک تأثیر کاهشی معنی‌دار بر فرسایش پذیری خاک آهکی به ترتیب در سطح احتمال ۰/۰۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ داشتند.

واژه‌های کلیدی: عامل فرسایش پذیری، خاک آهکی، خطای برآورد

مقدمه

یکی از عوامل شش گانه موثر در فرسایش، فرسایش پذیری خاک است که نشان دهنده مقاومت ذرات خاک به جدا شدن در اثر برخورد قطرات باران و انتقال می‌باشد (۱۰). بر اساس USLE عامل فرسایش پذیری از رابطه زیر به دست می‌آید (Smith و Wischmeier، ۱۹۷۸):

$$K = \frac{A}{RLSCP} \quad \text{رابطه (۱)}$$

یکی از روش‌های ارزیابی عوامل موثر بر فرسایش آبی، رابطه جهانی فرسایش خاک (USLE) است. در این رابطه،

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری خاکشناسی، استادیاران گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس و استادیار پژوهش مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

E-mail: vaezi.alireza@gmail.com

*- نویسنده مسئول

می‌دهد (۹). پژوهش‌ها نشان داد که کاتیون کلسیم (Ca^{2+}) نقشی مؤثر در هم‌آوری کلوئیدهای خاک و کاهش فرسایش‌پذیری دارند (۸، ۱۱). بررسی‌ها نشان داد که خاک‌های دارای شن زیاد، اثر ضربه قطرات باران را بهتر کاهش می‌دهند و به دلیل داشتن نفوذپذیری بالا، روآتاب کمتری تولید می‌کنند (۱۳). پژوهش‌ها نشان داد که همبستگی معنی‌دار منفی بین مقدار رس و فرسایش‌پذیری وجود دارد (۷ و ۱۶). پژوهش‌ها در ایران نشان داد که با افزایش درصد رس و ماده آلی، فرسایش‌پذیری خاک کمتر و با افزایش درصد سیلت بیشتر می‌شود (۶). بررسی‌ها نشان داد که مقدار فرسایش برآورد شده با USLE در شیب‌های ۹ درصد ۸/۵۶ برابر بیشتر از مقدار واقعی آن می‌باشد و این تفاوت معنی‌دار است (۱). گزارش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از USLE در ایران با ویژگی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی متفاوت، بدون واسنجی قابل اعتماد نخواهد بود (۳).

رابطه رگرسیونی فرسایش‌پذیری USLE از بررسی فرسایش در خاک‌های تقریباً غیرآهکی ارایه شده است در حالی که در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک، آهک نقشی اساسی در پایداری خاکدانه‌ها دارد (۴). بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از این رابطه در خاک‌های مناطق نیمه-خشک، عامل فرسایش‌پذیری (K) را بیشتر از مقدار واقعی آن نشان خواهد داد (۴). در این راستا این پژوهش به منظور تعیین خطای برآورد فرسایش‌پذیری در USLE و شناخت عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری در بخشی از خاک‌های آهکی منطقه نیمه خشک ایران انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شهرستان هشتروند واقع در جنوب استان

که در آن K عامل فرسایش‌پذیری خاک ($Mg h MJ^{-1} mm^{-1}$)، A هدررفت خاک ($Mg ha^{-1} year^{-1}$)، R عامل فرسایش‌پذیری باران ($MJ mm ha^{-1} h^{-1} year^{-1}$)، L عامل طول شیب (بدون واحد)، S عامل درجه شیب (بدون واحد)، C عامل پوشش گیاهی (بدون واحد) و P عامل کارهای حفاظتی (بدون واحد) است.

بر اساس USLE مقدار عامل فرسایش‌پذیری (K) در کرت واحد از مقدار خاک فرسایش یافته در واحد عامل فرسایش‌پذیری باران (R) به دست می‌آید (۱۵):

$$K = \frac{A}{R}, L = S = C = P = 1 \quad ()$$

بررسی‌های صحرائی در خاک‌های غیرآهکی نواحی نیمه مرطوب نشان داد که فرسایش‌پذیری خاک مطابق رابطه رگرسیونی زیر تحت تأثیر پنج ویژگی خاک شامل درصد شن، مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز، درصد ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری نیمرخ خاک (۱۵):

رابطه (۳)

$$K = 2.8 \times 10^{-7} M^{1.14} (12 - a) + 4.3 \times 10^{-3} (b - 2) + 3.3 \times 10^{-3} (c - 3)$$

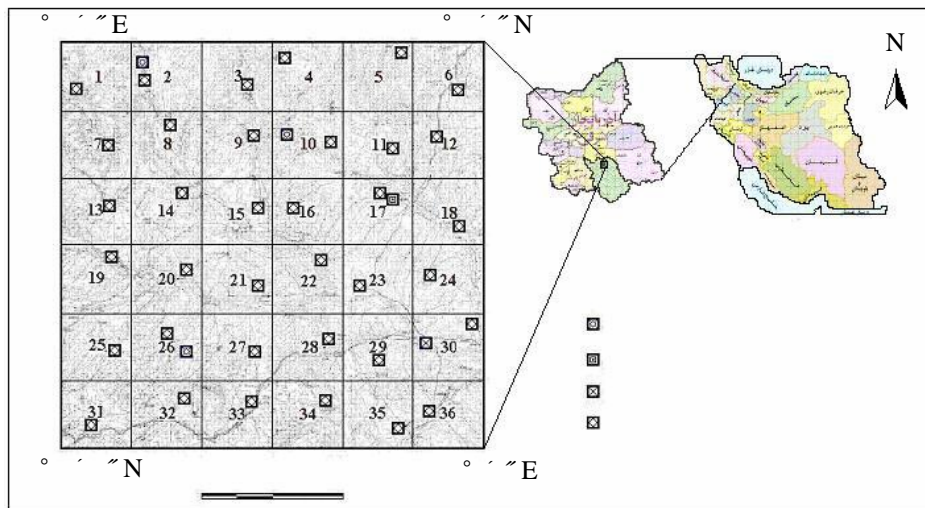
که در آن K عامل فرسایش‌پذیری ($Mg h MJ^{-1} mm^{-1}$)، M حاصل ضرب (درصد سیلت + درصد شن بسیار ریز) و (درصد رس - ۱۰۰)، a درصد ماده آلی، b کد ساختمان و c درجه نفوذپذیری خاک است.

پژوهش‌های زیادی در مورد اثر ویژگی‌های خاک بر فرسایش‌پذیری انجام گرفته است. در پژوهشی نشان داده شد که فرسایش‌پذیری خاک (K) در بافت‌های مختلف با افزایش مقدار ماده آلی کاهش می‌یابد (۱۴). بررسی‌ها در آمریکا نشان داد که وجود خاکدانه‌های سطحی بزرگ و داشتن نفوذپذیری بالا، فرسایش‌پذیری خاک را کاهش

1 - Unit plot
2 - Rainfall erosivity Factor
3 - Soil permeability

شد. برای انجام پژوهش، محدوده‌ای مربعی شکل از زمین‌های کشاورزی، در $37^{\circ} 18' 49''$ تا $37^{\circ} 35' 0''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 46' 5''$ تا $47^{\circ} 6' 5''$ طول شرقی، به ابعاد ۳۰ کیلومتر انتخاب و به ۳۶ شبکه مربعی شکل به ابعاد ۵ کیلومتر تقسیم شد. (شکل ۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

آذربایجان شرقی طی سال ۱۳۸۴ انجام گردید. این منطقه به دلیل آن که دارای خاک‌های غالباً آهکی (حدود ۱۰ درصد کل کربنات‌های خنثی شونده) و با آب و هوای نیمه خشک (با میانگین بارندگی سالانه ۳۴۰ میلی‌متر) می‌باشد و خاک‌ها زیر کشت دیم قرار داشتند (۲) به عنوان بخشی از خاک‌های آهکی تحت کشاورزی ناحیه نیمه خشک کشور انتخاب



(شکل ۱) - موقعیت منطقه مورد مطالعه

شیب جنوبی ۹ درصد انتخاب شد. برای احداث کرت‌ها، خاک‌ها در فروردین ماه ۱۳۸۴ در جهت شیب شخم و دیسک زده شد و بقایای گیاهی سطح آن‌ها جمع‌آوری شد. در هر دیمزار انتخاب شده در هر شبکه تعداد سه کرت به عرض $1/83$ متر و به طول $22/1$ متر در امتداد شیب با فاصله $1/2$ متر ایجاد گردید. برای جلوگیری از ورود و خروج روآناب و رسوب، پیرامون کرت‌ها با پشته‌های خاکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بسته شد. به منظور جمع‌آوری روآناب و رسوب، در آخر هر کرت لوله‌ای ۵ اینچی از جنس پلیکا (PVC) و بشکه‌ای درب‌دار با حجم ۷۰ لیتر قرار داده شد. حجم مخزن بر اساس شدت پایین باران‌های منطقه و ظرفیت ذخیره بالای خاک و بر

برای بررسی فرسایش‌پذیری بر اساس USLE، کرت‌های فرسایشی به صورت کرت واحد در نظر گرفته شد. کرت‌های واحد در هر شبکه، در دیمزارهای در حال آیش واقع در شیب‌های جنوبی ۹ درصد انتخاب شدند. با توجه به تأثیر جهت شیب بر مقدار فرسایش خاک، از شیب‌های رو به جنوب به دلیل تأثیر کمتر رطوبت اولیه خاک بر روآناب استفاده شد. برای سهولت در یافتن دیمزار در حال آیش با شیب جنوبی ۹ درصد، ابعاد شبکه بزرگ (۵ کیلومتر) در نظر گرفته شد. برای تسریع در انتخاب دیمزارها، قبلاً با استفاده از نرم‌افزار Ilwis با ویرایش ۳، خاک‌های دارای شیب جنوبی ۹ درصد تعیین شدند و با بازدید صحرائی از هر شبکه، یک دیمزار در حال آیش با

ساختمان خاک (b) و درجه نفوذپذیری نیمرخ (c) از جداول پیشنهادی (۱۵) به دست آمد.

برای بررسی باران، از داده‌های باران چهار ایستگاه بارندگی منطقه استفاده شد. ایستگاه‌های بارندگی واقع در شبکه‌های ۲، ۱۰ و ۲۶ باران‌سنجی و در شبکه ۱۷ باران‌نگاری بود. ارتفاع ایستگاه‌ها از سطح دریا به ترتیب ۱۶۴۷، ۱۶۲۳، ۱۵۸۹ و ۱۶۳۴ متر بود. شاخص فرسایندهی باران ($R=EI_{30}$)، از داده‌های حاصل از ایستگاه باران‌نگاری واقع در شبکه ۱۷ به دست آمد. برای به دست آوردن R، ابتدا انرژی جنبشی از رابطه (۱۵) به دست آمد:

$$E = 11/87 + 8/73 \log_{10} I \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن E انرژی جنبشی در واحد سطح به ازای ارتفاع باران بر حسب $J m^{-2} mm^{-1}$ (ژول بر متر مربع در میلی‌متر باران) و I شدت بارندگی بر حسب $mm h^{-1}$ (میلی‌متر در ساعت) است. با ضرب انرژی جنبشی بر حسب $MJ ha^{-1}$ (مگاژول در هکتار) در بیشترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای ($mm h^{-1}$)، شاخص فرسایندهی (EI_{30}) هر باران تعیین شد. با جمع EI_{30} ها در سال مقدار سالانه عامل فرسایندهی (R) بر حسب $MJ mm ha^{-1} h^{-1} year^{-1}$ به دست آمد.

عامل فرسایش پذیری خاک ($Mg ha MJ^{-1} mm^{-1}$) در USLE از رابطه (۳) برآورد گردید و مقدار واقعی آن از تقسیم رسوب سالانه به عامل فرسایندهی باران سالانه (رابطه ۳) به دست آمد. علت استفاده از رابطه (۲) و (۳) برای تعیین فرسایش‌پذیری و نیز علت استفاده از رابطه (۴) برای تعیین انرژی جنبشی باران این بود که هدف تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک و عامل فرسایندهی باران بر اساس USLE بود. بنابراین لازم بود تمامی شرایط لازم برای تعیین این عوامل مطابق با شرایط USLE تعیین شوند تا مقایسه بین

اساس نمونه به کار گرفته شده در برخی تحقیقات (۱۳) در نظر گرفته شد. مجموعاً تعداد ۱۰۸ کرت واحد در سطح منطقه مورد مطالعه احداث گردید.

برای اندازه‌گیری مقدار رسوب در هر رخداد باران منجر به رواناب، ابتدا حجم کل مخلوط آب و خاک جمع شده در بشکه‌ها به وسیله ظرفی با حجم معین اندازه‌گیری شد و برای تعیین غلظت رسوب، مخلوط داخل محفظه‌ها با همزن دستی کاملاً به صورت یکنواخت در آمد و نمونه‌ای با حجم ۰/۵ لیتر از آن برداشت و در آزمایشگاه با کاغذ صافی، رسوب آن جدا شد. رسوبات در آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و مقدار رسوب نمونه و غلظت آن مشخص شد. از روی غلظت رسوب هر نمونه، مقدار کل رسوب هر کرت در هر رخداد باران منجر به رواناب تعیین شد. با جمع مقادیر رسوب در رخدادهای مختلف باران طی سال، مقدار سالانه هدررفت خاک به دست آمد.

برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر از سه نقطه در امتداد کرت‌ها به طور تصادفی برداشت و از آن نمونه‌ای مرکب به آزمایشگاه منتقل گردید. در نمونه‌های خاک، در کنار تعیین ویژگی‌های موثر بر فرسایش‌پذیری در USLE (شن درشت، شن خیلی ریز، سیلت، ماده آلی، کد ساختمان و کلاس نفوذپذیری)، مقدار سنگریزه، آهک و پتاسیم نیز اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در آزمایشگاه با روش‌های رایج (۵) اندازه‌گیری شد. ساختمان خاک بر اساس شکل و اندازه خاکدانه‌ها و نفوذپذیری نیمرخ خاک بر اساس سرعت نفوذ نهایی با روش استوانه‌های مضاعف در سه نقطه هر کرت تعیین شد. گروه

معنی دار در سطح ۵ درصد ندارد و در نتیجه پراکنش بارندگی در منطقه یکنواخت می‌باشد. مقدار عامل فرسایش پذیری باران (R) برابر $438/9378 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$ بود. نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که خاک‌ها عمدتاً دارای بافت لوم رسی، با ماده آلی کم و آهنی هستند. (جدول ۱) میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ۳۶ دیمزار در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. خاک‌های مورد بررسی از نظر شکل ساختمانی دانه‌ای با قطر ۲ تا ۷ میلی‌متر بوده و کد ساختمانی آن‌ها بر اساس USLE (b) ۳ بود. نفوذپذیری نیم‌رخ خاک متوسط ($3/56$ سانتی‌متر در ساعت) و بر اساس USLE غالباً در کلاس ۳ و در برخی موارد در کلاس ۲ قرار داشتند.

مقدار سالانه فرسایش خاک اندازه‌گیری شده از $0/364$ تا $3/289$ تن در هکتار تغییر کرد و به طور میانگین برابر $1/87$ تن در هکتار بود. مقدار فرسایش برآوردی که از حاصل ضرب فرسایش پذیری برآوردی و عامل فرسایش پذیری باران به دست آمد بین $11/136$ و $21/610$ تن در هکتار در سال و میانگین آن $15/796$ تن در هکتار در سال بود. مقدار عامل فرسایش پذیری برآوردی در تمام کرت‌ها بیشتر از مقدار عامل فرسایش پذیری واقعی (اندازه‌گیری شده) بود. (شکل ۲) مقدار عامل فرسایش پذیری برآوردی و واقعی در ۳۶ دیمزار مورد بررسی را نشان می‌دهد. مقدار فرسایش پذیری برآوردی به طور میانگین $10/746$ برابر فرسایش پذیری واقعی بود. نتایج نشان داد که واریانس فرسایش پذیری برآوردی و واقعی یکسان می‌باشد. بررسی تفاوت بین فرسایش پذیری برآوردی و واقعی با آزمون T جفتی نشان داد که این تفاوت در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است.

مقادیر برآوردی فرسایش پذیری از USLE با مقادیر اندازه‌گیری شده بر اساس آن امکان پذیر گردد.

برای تعیین خطای برآورد فرسایش پذیری در USLE، از رابطه زیر استفاده شد:

$$E = \frac{Z^*(x_i) - Z(x_i)}{Z(x_i)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن E مقدار خطای برآورد فرسایش پذیری، $Z^*(x_i)$ مقدار عامل فرسایش پذیری برآورد شده و $Z(x_i)$ مقدار عامل فرسایش پذیری اندازه‌گیری شده می‌باشد. از آنجا که مقدار $Z^*(x_i)$ و $Z(x_i)$ به ترتیب میانگین مقدار عامل فرسایش پذیری برآوردی و اندازه‌گیری شده در سه کرت واحد در هر شبکه می‌باشد، E نیز بیانگر میانگین خطای برآورد در هر شبکه است. مقدار خطای برآورد (E) برای ۳۶ دیمزار در منطقه مورد بررسی از رابطه بالا حساب شد. میانگین درصد خطای برآورد در منطقه نیز از رابطه زیر به دست آمد:

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{Z^*(x_i) - Z(x_i)}{Z(x_i)} \right)}{N} \times 100 \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن MPE مقدار میانگین درصد خطای برآورد و N تعداد نقاط برآورد (۳۶ نقطه) می‌باشد.

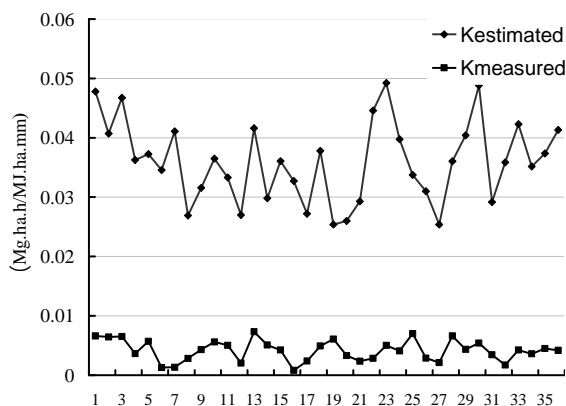
برای تحلیل آماری داده‌ها و بررسی رابطه بین متغیرها از نرم‌افزار SPSS ویرایش ۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

در طی انجام پژوهش از کل ۵۵ مورد رخداده باران، ۲۳ رخداد منجر به رسوب شد. بررسی مقدار باران‌های منجر به رواناب در ایستگاه‌های مختلف با روش آزمون دانکن نشان داد که مقدار باران در ایستگاه‌های بارندگی، تفاوتی

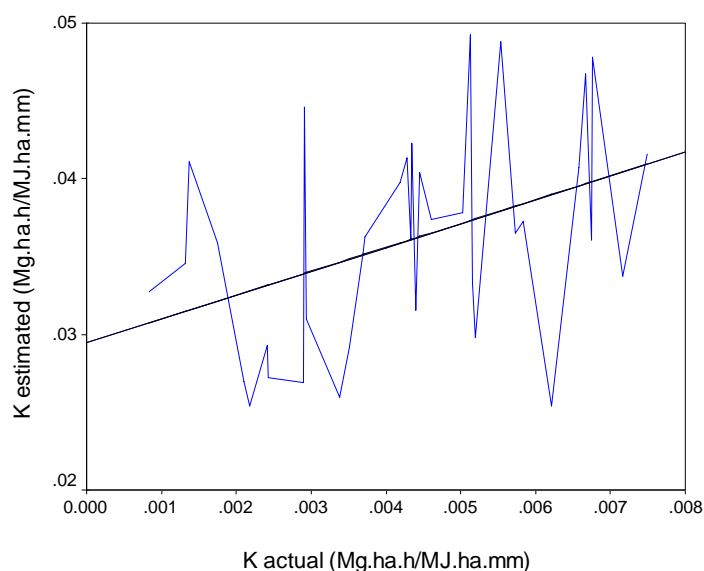
(جدول ۱) - میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ۳۶ دیمزار در منطقه مورد مطالعه

شاخص آماری	شن درشت (%)	شن بسیار ریز (%)	سیلت (%)	رس (%)	سنگریزه (%)	ماده آلی (%)	آهک (%)	نفوذپذیری (cm/h)
میانگین	۱۸/۹۱۱	۱۷/۸۱۴	۳۱/۵۸۶	۳۱/۹۷۷	۹/۸۹۳	۱/۰۹	۱۲/۶۶	۳/۵۶
انحراف معیار	۵/۱۹۵	۳/۲۰۹	۷/۱۲۲	۵/۷۵۰	۲/۳۶۷	۰/۲۵۴	۵/۲۵۲	۱/۱۶۷
چولگی	۰/۱۱۶	۰/۱۰۴	۰/۰۶۶	-۰/۰۴۳	-۰/۱۹۰	۰/۱۲۷	-۰/۰۲۰	-۰/۱۰۶
کشیدگی	-۰/۱۰۳	۰/۱۲۱	-۰/۰۲۶	-۰/۰۹۶	-۰/۱۶۲	۰/۱۱۹	-۰/۰۶۶	-۰/۱۱۲
ضریب نرمال	۰/۹۴۳	۰/۹۸۶	۰/۶۱۵	۰/۹۲۳	۰/۹۱۴	۰/۶۶۲	۰/۷۰۳	۰/۹۷۴



(شکل ۲) - مقدار عامل فرسایش‌پذیری برآوردی و واقعی در ۳۶ دیمزار مورد بررسی در سال ۱۳۸۴

نتایج تجزیه رگرسیونی نشان داد که همبستگی بین فرسایش‌پذیری برآوردی و واقعی در منطقه پایین می‌باشد. (شکل ۳) رابطه فرسایش‌پذیری برآوردی و واقعی در سال ۱۳۸۴ را نشان می‌دهد.



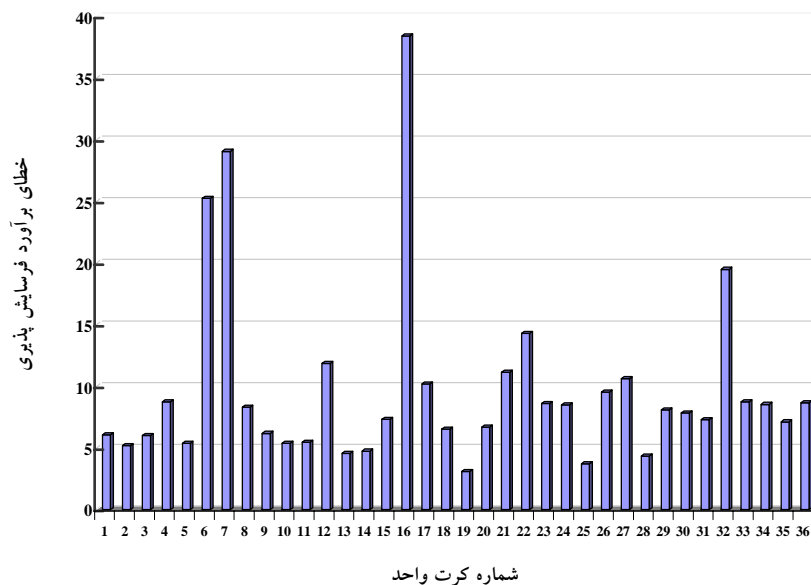
(شکل ۳) - رابطه فرسایش‌پذیری برآوردی و واقعی در منطقه مورد بررسی در سال ۱۳۸۴

میانگین خطای برآورد در هر دیمزار (E) در شبکه ۱۹ کمترین (۳/۱۷۳) و در شبکه ۱۶ بیشترین (۳۹/۲۹۸) می باشد. (شکل ۴) میانگین خطای برآورد فرسایش پذیری در USLE در سه کرت واقع در هر شبکه طی سال ۱۳۸۴ را نشان می دهد.

رابطه بین فرسایش پذیری برآوردی و واقعی به صورت زیر می باشد:

$$K_{\text{estimated}} = 0.029 + 1.533 K_{\text{actual}}, R^2 = 0.16 \quad (V)$$

رابطه (V) که در آن K_{actual} و $K_{\text{estimated}}$ به ترتیب فرسایش پذیری برآوردی و واقعی ($\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$) می باشد. بررسی خطای برآورد فرسایش پذیری نشان داد که



(شکل ۴) - میانگین خطای برآورد فرسایش پذیری در USLE در سه کرت واقع در هر شبکه طی سال ۱۳۸۴

مورد توجه قرار نگرفته اند. برای تعیین این ویژگی ها، اثر ویژگی های مختلف خاک (شن، سیلت، رس، ماده آلی، آهک، سنگریزه و مقدار پتاسیم) بر فرسایش پذیری اندازه گیری شده بررسی شد. برای این منظور ابتدا ماتریس همبستگی بررسی شد. با توجه به تأثیر منفی ناچیز سنگریزه و پتاسیم بر فرسایش پذیری، این دو ویژگی در جدول ماتریس همبستگی بیان نشد. (جدول ۲) ماتریس همبستگی فرسایش پذیری و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک را نشان می دهد.

میانگین خطای برآورد در منطقه برابر ۹/۹۸۴ و میانگین درصد خطای برآورد نیز برابر ۹۸۴/۶ بود. بالا بودن میانگین خطای برآورد و نیز پایین بودن همبستگی بین فرسایش پذیری برآوردی و واقعی نشان می دهد که ویژگی های موثر بر فرسایش پذیری در رابطه رگرسیونی USLE، بیانگر مقدار واقعی فرسایش پذیری در خاک های آهکی مورد بررسی نمی باشند. در حقیقت بالا بودن خطای برآورد (مثلا در مورد شبکه ۱۶) به این دلیل می تواند باشد که فرسایش پذیری خاک مورد نظر تحت تأثیر برخی ویژگی های دیگر خاک قرار دارند که در رابطه رگرسیونی

(جدول ۲) - ماتریس همبستگی فرسایش پذیری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

فرسایش-پذیری	آهک	ماده آلی	رس	سیلت	شن بسیار ریز	شن درشت
۱						۱
					۰/۲۲۴	۱
				۰/۱۹۷	-۰/۷۴۲ ***	۱
			۰/۴۰۰ *	-۰/۵۰۰ **	-۰/۱۷۹	۱
		۰/۲۰۸	۱	-۰/۲۲۸	۰/۳۰۷ *	۰/۲۶۸
	۰/۰۴۶	۰/۰۲۸	۰/۱۷۴	۰/۱۷۴	-۰/۵۵۸ **	-۰/۰۰۱
۱	-۰/۴۷۸ **	-۰/۱۳۳	۰/۶۱۳ **	۰/۲۱۲	-۰/۷۳۶ ***	-۰/۷۳۶ ***

نتایج نشان داد که از بین ویژگی‌های مختلف خاک تنها همبستگی شن درشت، سیلت، ماده آلی و آهک با فرسایش پذیری معنی دار است. اثر مثبت شن بسیار ریز و اثر منفی رس بر فرسایش پذیری معنی دار نشد. از آن جا که بین شن درشت و سیلت همبستگی معنی دار وجود داشت از بین آن‌ها شن درشت به دلیل داشتن همبستگی بالا با فرسایش پذیری خاک مورد توجه قرار گرفت. نتایج تجزیه رگرسیونی رابطه فرسایش پذیری واقعی و ویژگی‌های موثر بر آن (شن درشت، ماده آلی و کل کربنات‌های خنثی شده

بر حسب آهک) به روش گام‌به‌گام نشان داد که فرسایش‌پذیری خاک تحت تأثیر معنی دار ($R^2=0/80$ ، $p<0/001$) شن درشت، ماده آلی و آهک قرار دارد. (جدول ۳) ضرایب رگرسیونی اثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر فرسایش پذیری واقعی را نشان می‌دهد. شن درشت، ماده آلی، و آهک، اثری کاهشی معنی دار به ترتیب در سطح احتمال ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، و ۰/۰۰۱ بر فرسایش پذیری داشتند.

(جدول ۳) - ضرایب رگرسیونی اثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر فرسایش‌پذیری واقعی

معنی داری	t	ضرایب استاندارد	ضرایب غیر استاندارد	اجزای مدل *
		Beta	B	Std. Error
۰/۰۰۰	۱۵/۱۶۴		۰/۰۱۲۲	۰/۰۰۰۸
۰/۰۰۰	-۷/۷۷۲	-۰/۶۶۱	-۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰
۰/۰۰۲	-۳/۳۱۴	-۰/۲۸۲	-۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۰۶
۰/۰۰۰	-۴/۸۴۹	-۰/۳۹۸	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰

*: Constant: مقدار ثابت، CS: شن درشت (درصد)، OM: مقدار ماده آلی (درصد) و TNV: کل کربنات‌های خنثی شده (درصد) می‌باشد.

در این پژوهش شن درشت فرسایش پذیری خاک را به طور معنی داری کاهش داد در حالی که اثر مثبت شن بسیار ریز بر آن قابل ملاحظه نبود. اثری کاهشی ذرات شن بر فرسایش‌پذیری در تحقیقات Santos و همکاران (۱۳) نیز به روشنی بیان شده است. این تأثیر را می‌توان به اثر مثبت

ذرات شن درشت در افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش روان‌آب نسبت داد. ذرات سیلت اثر افزایشی قابل ملاحظه بر فرسایش‌پذیری داشتند. این نتیجه با نتایج بسیاری از تحقیقات از جمله Wischmeier و Smith (۱۵) و قاسمی و محمدی (۶) مطابقت دارد. تأثیر مثبت ذرات سیلت بر

را تایید می‌کند. همچنین نتایج این پژوهش، با گزارش‌های جوادی و همکاران (۳) در مورد عدم اطمینان به نتایج مقادیر برآورد شده فرسایش پذیری با استفاده از USLE در ایران به دلیل ویژگی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی متفاوت از محل ارائه این رابطه مطابقت دارد. بر اساس نتایج این پژوهش، آهک در کنار شن درشت و ماده آلی نقشی چشمگیر بر فرسایش پذیری اندازه‌گیری شده داشت. این تأثیر برخلاف تأثیر شن درشت و ماده آلی، در USLE بیان نشده است. این عامل یکی از علل مهم تفاوت مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر برآوردی فرسایش پذیری می‌باشد.

نتیجه

این پژوهش بر اساس اندازه‌گیری‌های صحرایی فرسایش آبی تحت باران طبیعی به منظور تعیین مقدار واقعی فرسایش پذیری و بررسی خطای برآورد فرسایش پذیری رابطه جهانی فرسایش خاک (USLE) در بخشی از خاک‌های آهکی ناحیه نیمه‌خشک ایران انجام گرفت. منطقه مورد بررسی به ابعاد ۳۰ کیلومتر در ۳۰ کیلومتر بود که به ۳۶ شبکه مربعی به ابعاد ۵ کیلومتر تقسیم شد. در هر شبکه یک دیمزار در حال آیش با شیب جنوبی ۹ درصد انتخاب شد و سه کرت استاندارد در آن احداث شد. مقدار رواناب و رسوب تحت ۲۳ باران طبیعی منجر به رواناب طی سال ۱۳۸۴ اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کرت‌ها در نمونه‌های گرفته شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار واقعی فرسایش پذیری، از نسبت مقدار رسوب سالانه بر عامل فرسایش‌دهی باران سالانه و مقدار برآوردی آن، از رابطه رگرسیونی به دست آمد. نتایج نشان داد که میانگین فرسایش پذیری برآوردی در کرت‌ها ۱۰/۷۵ برابر بیشتر از مقدار واقعی بود. همبستگی بین

فرسایش پذیری به دلیل جرم نسبتاً کم آن‌ها و نیز چسبندگی ناچیزشان می‌باشد که موجب می‌شود ذرات سیلت به عنوان حساس‌ترین ذرات خاک به فرسایش باشند (۴). در این پژوهش اثر کاهشی رس بر فرسایش پذیری معنی‌دار نشد. با این وجود تأثیر منفی آن بر فرسایش پذیری مطابق با تحقیقات Charman و Murphy (۱۶) و Zhang و همکاران (۱۶) است. این تأثیر را می‌توان به نقش رس‌ها در همآوری ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها بیان کرد. ماده آلی اثری کاهشی چشمگیری بر فرسایش پذیری خاک داشت. این نتیجه با نتایج به دست آمده از تحقیقات Schwab و همکاران (۱۴)، قاسمی و محمدی (۶) مطابقت دارد. تأثیر ماده آلی در کاهش فرسایش پذیری خاک به دلیل نقش مثبت آن در تشکیل خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها و نیز افزایش نفوذپذیری خاک است (۱۴). آهک نیز مانند ماده آلی فرسایش پذیری خاک را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. این نتیجه، نتایج به دست آمده از تحقیقات Charman و Murphy (۷) و Duiker و همکاران (۸) را تأیید می‌کند. تأثیر آهک در کاهش فرسایش پذیری خاک به دلیل حضور کاتیون کلسیم و افزایش همآوری ذرات و در نتیجه افزایش مقاومت خاک به ضربه قطرات باران می‌باشد. همچنین این پژوهش نشان داد که مقادیر برآورد شده فرسایش پذیری در USLE، ۱۰/۴۷۶ برابر مقدار واقعی (اندازه‌گیری شده) در کرت‌های واحد می‌باشد به طوری که میانگین درصد خطای برآورد در منطقه مورد بررسی برابر ۹/۹۸۴ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نتایج برآورد فرسایش پذیری در USLE در خاک‌های آهکی دارای خطای بالایی بوده و قابل اطمینان نیست. این نتیجه، گزارش‌های رفاهی (۴) مبنی بر این که فرسایش پذیری خاک (K) برآورد شده بر اساس USLE در خاک‌های مناطق نیمه خشک ممکن است بیشتر از مقدار حقیقی باشد،

مؤثر می‌باشد. نتایج نشان داد که فرسایش پذیری واقعی همبستگی معنی‌دار با شن درشت، سیلت، ماده آلی و آهک دارد. تجزیه رگرسیونی نیز نشان داد که فرسایش پذیری خاک آهکی تحت تأثیر معنی‌دار ($R^2=0/80$, $p< 0/001$) شن درشت، ماده آلی و آهک قرار دارد. آهک در کنار شن درشت و ماده آلی اثری چشمگیر در کاهش فرسایش پذیری خاک آهکی دارد.

فرسایش پذیری واقعی و برآوردی پایین ($R^2=0/16$) بود. مقدار خطای برآورد فرسایش پذیری از ۳/۱۷۳ تا ۳۹/۲۹۸ تغییر کرد و میانگین درصد خطای برآورد در منطقه برابر ۹/۹۸۴ بود. این نتایج نشان داد که دقت USLE در برآورد فرسایش پذیری خاک‌های آهکی مورد بررسی بسیار پایین است. در حقیقت عواملی دیگر در کنار عوامل موجود در رابطه رگرسیونی USLE در فرسایش پذیری خاک آهکی

منابع

- ۱- آقارضی، ح. ۱۳۸۴. اندازه گیری فرسایش خاک و برآورد آن با USLE در دیمزارها. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری. صفحه ۴۷۵-۴۷۳.
- ۲- حکیمی. ۱۳۶۵. مطالعات خاکشناسی اجمالی منطقه هشتروند، نشریه شماره ۷۶۷، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران، ایران، ۷۹ صفحه.
- ۳- جوادی، پ.، روحی پور، ح. و محبوبی ع. الف. ۱۳۸۴. واسنجی عامل فرسایش پذیری یک مدل فرآیندی در فرسایش آبی با استفاده از شبیه ساز باران. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران، جلد دوم، ص ۵۹۸-۵۹۳.
- ۴- رفاهی، ح. ق. ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۱ صفحه.
- ۵- علی‌احیائی، م. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه خاک، نشریه فنی شماره ۸۹۳، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ۱۵۳ صفحه.
- ۶- قاسمی، الف. و ج. محمدی. ۱۳۸۲. بررسی تغییرات مکانی فرسایش پذیری خاک مطالعه موردی حوزه آبخیز چغاخور در استان چهارمحال و بختیاری. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، جلد دوم، دانشگاه گیلان، ص ۸۶۴-۸۶۵.
- 7- Charman, P. E. V. and B. W. Murphy. 2000. Soils (their properties and management). Second edition, Land and Water Conservation, New South Wales, Oxford. pp. 206-212.
- 8- Duiker, S. W., D. C. Flanagan and R. Lal. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45: 103-121.
- 9- Miller, R. W. and D. T. Gardiner. 1998. Soils in our environment. Eighth edition, Prentice-Hall Inc., United State of America, pp. 75-81.
- 10-Morgan, R. P. C., 1995. Soil erosion and conservation. Second edition, Longman, pp. 29-30.
- 11-Orts, J. W., Sojka, R. E. and G. M.Glenn. 2000. Biopolymer additives to reduce erosion- induced soil losses during irrigation. *Industrial Crops and Products*, 11: 19-26.
- 12-Rejman, J., R. Turski, and J. Paluszek. 1998. Spatial and temporal variability in erodibility of loess soil. *Soil & Tillage Research* 46: 61-68.
- 13-Santos, F. L., J. L. Reis, O. C. Martins, N. L. Castanheria and R. P. Serralherio. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. *Biosystems Engineering*, 86(3), 355-364.
- 14-Schwab, G. O., R. K. Frevert, T. W. Edminster and K. K. Barnes. 1981. Soil and water conservation engineering. Third edition, John Wiley and Sons, New York, pp 100-103.
- 15-Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook No. 537*. US Department of Agriculture, Washington DC.
- 16-Zhang, K., S. Li, W. Peng and B. Yu. 2004. Erodibility of agricultural soils and loess plateau of China. *Soil & Tillage Research*, 76: 157-165.

Determining the estimating error of USLE erodibility factor in calcareous soils of Northwestern Iran

A.R.Vaezi* - H.A.Bahrami- H.R.Sadeghi – M.H.Mahdian¹

Abstract

In the Universal Soil Loss Equation (USLE), soil erodibility factor K can be estimated by using a regression equation that has been presented based on field erosion plots in relatively non-calcareous soils. Therefore, it seems necessary to determine the estimating error of the regression equation in calcareous soils of Iran. This study was conducted in an agricultural area with a dimension of 30 km in Hashtrud province, northwest of Iran during March 2005-2006. The studied soils had about 1.1% organic matter and 13% lime (TNV). In order to investigate the soil erodibility, 36 regular grids of 5×5 km were considered on the study area. On each grid, three standard plots with 1.2 m intervals were established in dryland farming area having a 9% south hill slope. The actual soil erodibility value of the plots was determined as the annual soil loss per annual rain erosivity factor under natural rainfall events. The K value was estimated using the USLE regression equation. Soil physical and chemical properties were measured in samples taken from 0 to 30 cm depth. The results indicated that mean actual value of the soil erodibility factor in the study area was $0.004258 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ which is 10.75 times smaller than the estimated K-factor. There was a poor correlation ($R^2 = 0.16$) between the actual and estimated soil erodibility factor. The estimating error values of the soil erodibility varied from 3.173 to 39.298 with a mean error of 9.984. There was a significant correlation between the calcareous soil erodibility and the amount of coarse sand, silt, organic matter and lime (TNV) of the soil. Regression analysis showed that the calcareous soil erodibility significantly ($R^2 = 0.80$, $p < 0.001$) was affected by coarse sand, organic matter and lime. Coarse sand, organic matter and lime decreased the calcareous soil erodibility at the statistical levels of 0.001, 0.01 and 0.001, respectively.

Key words: Soil erodibility factor, Calcareous soils, USLE, Hashtrud province.

*- Corresponding author Email: vaezi.alireza@gmail.com

1 - Contribution from College of Agriculture, Tarbiat Modares University & Soil – Conservation and watershed Management Research Center