



دانشگاه گورگان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هفدهم، شماره سوم، ۱۳۸۹
www.gau.ac.ir/journals

برآورد عامل فرسایش‌پذیری (K) با استفاده از مدل RUSLE در بخشی از خاک‌های ناحیه نیمه‌خشک در شمال غربی ایران

*علیرضا واعظی^۱، حسینعلی بهرامی^۲، سیدحمیدرضا صادقی^۳ و محمدحسین مهدیان^۴

^۱استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه زنجان، ^۲دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ^۳دانشیار گروه
آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس نور، ^۴استادیار پژوهشی سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی تهران

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۱۴

چکیده

هدررفت خاک به‌طور گسترده با استفاده از رابطه جهانی فرسایش خاک تصحیح شده (RUSLE) در سراسر جهان پیش‌بینی می‌شود. فرسایش‌پذیری خاک (K) به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در هدررفت خاک می‌باشد که برآورد آن برای پیش‌بینی فرسایش آبی ضروری است. در این پژوهش هدررفت خاک در کرت‌های استاندارد تحت ۴۱ رخدادهای طبیعی باران در ۳۶ زمین تحت آبی با شیب ۹ درصد در شهرستان هشترود، که ناحیه‌ای نیمه‌خشک در شمال غرب ایران می‌باشد از سال ۱۳۸۶-۱۳۸۴ اندازه‌گیری گردید. مقدار K براساس هدررفت خاک در واحد عامل فرسایش‌پذیری باران- روان آب (R) اندازه‌گیری و بر مبنای میانگین هندسی قطر ذرات خاک برآورد شد. مقدار K برآوردی (برابر ۰/۰۳۸۷۰۳ تن ساعت در مگاژول میلی‌متر) به‌طور میانگین ۵۰/۹۸ برابر بزرگ‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده (۰/۰۰۴۸۳ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر) در ۳۶ زمین بود. تجزیه رگرسیونی نشان داد که مقدار K اندازه‌گیری شده، به‌طور معنی‌داری با پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری خاک ($R^2=0/90$) و ($P<0/001$) ارتباط دارد. بررسی رابطه بین K اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های مستقل خاک با قابلیت اندازه‌گیری آسان (ذرات معدنی، سنگ‌ریزه، ماده آلی، آهک و پتاسیم) نشان داد که بین مقدار K و انحراف معیار هندسی قطر ذرات، ماده آلی و آهک رابطه‌ای معنی‌دار ($R^2=0/82$ و $P<0/001$) وجود

* مسئول مکاتبه: vaezi.alireza@gmail.com

دارد. این پژوهش آشکار کرد که پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری دو ویژگی مهم وابسته خاک از نظر فرسایش‌پذیری هستند که تحت‌تأثیر ذرات معدنی، ماده آلی و آهک قرار می‌گیرند. ویژگی‌هایی از خاک که موجب افزایش پایداری خاک‌دانه یا نفوذپذیری شده موجب کاهش فرسایش‌پذیری می‌گردند. همچنین آهک از جمله ویژگی‌هایی است که در کاهش فرسایش‌پذیری در خاک‌های نواحی نیمه‌خشک نقشی مهم دارد.

واژه‌های کلیدی: مدل RUSLE، عامل فرسایش‌پذیری خاک، ناحیه نیمه‌خشک، هشترود

مقدمه

فرسایش خاک به‌وسیله آب به‌عنوان یک مشکل جدی جهانی مطرح است به‌طوری‌که حدود ۱۷ درصد کاهش تولید محصول در جهان به‌دلیل فرسایش خاک بوده است (اولدمن و همکاران، ۱۹۹۰). حدود ۱۰۹۴ میلیون هکتار زمین در سراسر جهان تحت‌تأثیر فرسایش آبی هستند (لل، ۲۰۰۳). مقدار فرسایش آبی نیز در اغلب حوزه‌های آبخیز ایران بین ۱۶-۸ تن در هکتار در سال می‌باشد (مه‌دی‌ان، ۲۰۰۴). نزدیک به ۴۰ درصد مساحت کشور در ناحیه نیمه‌خشک قرار دارد (خاکسارفرد، ۱۹۹۵). در این نواحی میزان فرسایش خاک به‌دلیل توزیع نامناسب بارندگی طی سال و ضعف پوشش گیاهی بیش‌تر است. مهار فرسایش خاک در این نواحی به‌ویژه در زمین‌های کشاورزی دارای اهمیت است. یکی از الزام‌های مدیریت حوزه‌های آبخیز، درک فرآیندهای فرسایش، تعیین میزان و مدل‌سازی آن می‌باشد (صادقی و همکاران، ۲۰۰۸). مدل‌سازی فرسایش خاک به‌دلیل آن‌که هدررفت خاک تحت‌تأثیر عوامل مختلف و اثرات متقابل بین آن‌ها قرار دارد، موضوعی پیچیده است (ونگ و همکاران، ۲۰۰۱). تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش و پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک، نخستین گام در ارزیابی راه‌کارهای حفاظت خاک می‌باشد.

رابطه جهانی فرسایش خاک (USLE)^۱ به‌عنوان مدلی تجربی است که به‌طور گسترده برای بررسی عوامل مؤثر در فرسایش آبی و برآورد هدررفت خاک در اثر فرسایش سطحی و شیاری از زمین‌های زراعی استفاده می‌شود (شوآب و همکاران، ۱۹۸۱). رابطه جهانی فرسایش خاک اصلاح شده^۲ (RUSLE) نیز به‌عنوان مدل توسعه‌یافته USLE برای پیش‌بینی فرسایش خاک سالانه از یک سطح

1- Universal Soil Loss Equation (USLE)

2- Revised Universal Soil Loss Equation

معین استفاده می‌شود (رنارد و فریدموند، ۱۹۹۴). در این مدل، هدررفت خاک (A) نتیجه‌ای از عوامل فرسایش‌پذیری باران-روان آب (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، طول شیب (L)، درجه شیب (S)، پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) می‌باشد. بر این اساس، هدررفت خاک در اثر آب از رابطه زیر پیش‌بینی می‌شود (رنارد و همکاران، ۱۹۹۷):

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

که در آن، A: بر حسب تن در هکتار در سال، R: بر حسب مگازول میلی‌متر در هکتار ساعت سال، K: بر حسب تن ساعت بر مگازول میلی‌متر، و L، S، C و P بدون واحد هستند.

با استفاده از مدل RUSLE، فرسایش سطحی و شیاری^۱ به‌دست آمده از باران و روان‌آب، در سطوح تحت روان‌آب سطحی پیش‌بینی می‌شود. سطوح تحت روان‌آب، محدوده‌ای هستند که جریان‌های سطحی از ابتدای آن سرچشمه می‌گیرند و در انتهای آن تمرکز یافته یا به محدوده رسوب‌گذاری وارد می‌شوند. هدررفت خاک، متوسط سرعت فرسایش در این محدوده می‌باشد (جونز و همکاران، ۲۰۰۸). فرسایش‌پذیری خاک^۲ به‌عنوان یکی از عوامل شش‌گانه مؤثر در فرسایش در مدل RUSLE می‌باشد که سهولت جدا شدن ذرات خاک در اثر ضربه قطرات باران و نیروی برشی روان‌آب را نشان می‌دهد (ویهه، ۲۰۰۲)، این عامل (K) از مقدار هدررفت خاک (A) در کرت واحد^۳ (استاندارد) در واحد عامل فرسایش‌پذیری (R) به‌دست می‌آید (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۴). مقدار R در این مدل براساس انرژی جنبشی و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای باران تعیین می‌شود. بررسی‌ها در خاک‌های نواحی نیمه‌مرطوب آمریکا نشان داد که مقدار K در مدل USLE براساس شن درشت، سیلت و شن بسیار ریز، ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری قابل برآورد است (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). بررسی‌های بعدی که موجب ارایه مدل RUSLE شد نشان داد که مقدار K تحت تأثیر میانگین هندسی قطر ذرات خاک (D_g)^۴ قرار دارد (رنارد و همکاران، ۱۹۹۷).

تعیین مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) از نظر پیش‌بینی مقدار فرسایش آبی برای برنامه‌ریزی‌های حفاظت خاک ضروری است. رابطه جهانی فرسایش خاک (USLE) در خاک‌های

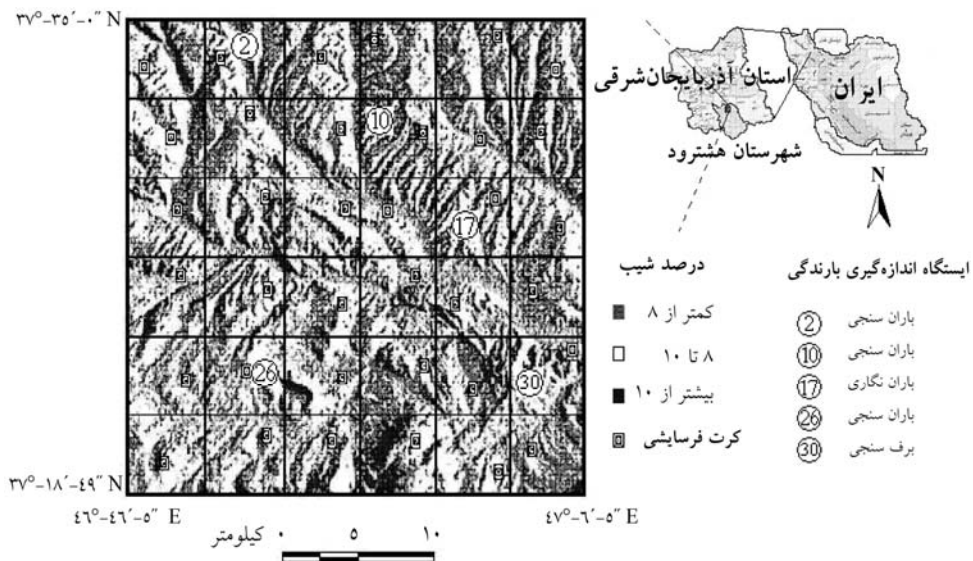
-
- 1- Surface and Rill Erosion
 - 2- Soil Erodibility
 - 3- Unit Plot
 - 4- Mean Geometric Soil Particles Diameter

نواحی نیمه‌مرطوب ارایه شده و مدل RUSLE نیز بر پایه آن توسعه یافته است. در این نواحی، شدت و مدت بارندگی‌ها اغلب بیش‌تر از شدت و مدت بارندگی‌ها در نواحی نیمه‌خشک از جمله بیش‌تر نقاط کشور می‌باشد. همچنین ویژگی‌های خاک‌های نواحی نیمه‌مرطوب از نظر فیزیکی و شیمیایی متفاوت از خاک‌های نواحی نیمه‌خشک می‌باشد. خاک‌های نواحی نیمه‌مرطوب اغلب دارای مقدار ناچیزی کربنات‌ها بوده و غیرآهکی هستند و به دلیل وجود ماده آلی زیاد دارای پایداری خاک‌دانه بیش‌تر و نفوذپذیری بالاتری می‌باشند. پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که ماده آلی (رودریگز و همکاران، ۲۰۰۶) و آهک (چارمن و مورفی، ۲۰۰۰؛ دایکر و همکاران، ۲۰۰۱) در کنار ذرات معدنی (میلر و گاردینر، ۱۹۹۸؛ سانتوس و همکاران، ۲۰۰۳) از جمله ویژگی‌های خاک هستند که فرسایش‌پذیری خاک (K) را تحت تأثیر قرار می‌دهند. پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری خاک از ویژگی‌های مهم مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک می‌باشند (هویوس، ۲۰۰۵)، که تحت تأثیر ماده آلی و آهک و نیز بافت خاک قرار می‌گیرند. با توجه به تفاوت مقدار ماده آلی و آهک در خاک‌های نواحی نیمه‌خشک در مقایسه با خاک‌های نواحی نیمه‌مرطوب می‌توان انتظار داشت که پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری خاک و در نتیجه فرسایش‌پذیری در خاک‌های این دو ناحیه متفاوت از یکدیگر باشند. از این‌رو استفاده از مدل RUSLE برای برآورد K در خاک‌های نواحی نیمه‌خشک که دارای ویژگی‌های خاک و باران متفاوتی می‌باشند، ممکن است دارای خطا باشد (رفاهی، ۱۹۹۶). بنابراین این پژوهش به منظور ارزیابی مدل RUSLE در برآورد مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) و یافتن ویژگی‌های خاک مؤثر بر آن در بخشی از خاک‌های ناحیه نیمه‌خشک کشور انجام گرفت. در این راستا، مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)، در خاک‌های منطقه نیمه‌خشک براساس مدل RUSLE برآورد شد و در کرت‌های فرسایشی تحت باران طبیعی بر این اساس اندازه‌گیری گردید.

مواد و روش‌ها

طراحی آزمایش: منطقه مورد بررسی در شمال شهرستان هشتروند واقع در جنوب استان آذربایجان شرقی بود. برای بررسی فرسایش‌پذیری، محدوده‌ای از مناطق کشاورزی شهرستان که در نقشه قابلیت اراضی دارای ویژگی‌های خاکی گوناگونی بود به ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر واقع در ۳۷ درجه و ۱۸ دقیقه و ۴۹ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۳۵ دقیقه و ۰ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۴۶ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۶ دقیقه و ۵ ثانیه طول شرقی انتخاب گردید. در سطح این منطقه، ۳۶ شبکه مربعی به ابعاد ۵×۵ کیلومتر در نظر

گرفته شد. با استفاده از نرم افزار 3, Ilwis و تهیه نقشه‌های درجه و جهت شیب، زمین‌های دارای شیب ۹ درصد و رو به جنوب در هر شبکه مشخص گردید. با توجه به تأثیر رطوبت اولیه خاک بر نفوذپذیری و در نتیجه فرسایش‌پذیری، تنها دامنه‌های رو به جنوب در نظر گرفته شدند. زمین‌های مستقر در این دامنه‌ها اغلب طول بیش‌تر و شیب یکنواخت‌تری داشتند. با بازدید از منطقه، با استفاده از سیستم مکان‌یاب جهانی، زمین‌های دارای شیب واقعی و یکنواخت ۹ درصد در هر شبکه مشخص شدند. از بین این زمین‌ها در هر شبکه، تنها یک قطعه زمین در حال آیش مورد توجه قرار گرفت تا از تأثیر بقایای گیاهی بر فرسایش خاک جلوگیری شود. فرسایش‌پذیری براساس مدل RUSLE، در کرت‌های فرسایشی ایجاد شده در این زمین‌ها بررسی شد. شکل ۱ موقعیت کرت‌های فرسایشی بر روی نقشه شیب منطقه مطالعاتی در شهرستان هشتروند را نشان می‌دهد.



پیاده‌سازی کرت‌های فرسایشی: برای پیاده‌سازی کرت‌های فرسایشی، از معیار کرت واحد (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸) استفاده شد. برای این کار، زمین‌ها در آغاز بهار ۱۳۸۴ در جهت شیب شخم و دیسک زده و بقایای گیاهی سطح آن‌ها جمع‌آوری شد. سپس تعداد سه کرت به عرض ۱/۸۳ متر و به طول

۲۲/۱ متر با فاصله ۱/۲ متر در هر زمین ایجاد گردید. برای جلوگیری از ورود و خروج روان‌آب، پیرامون کرت‌ها با پشته‌های خاکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بسته شدند. به‌منظور اندازه‌گیری رسوب، در انتهای هر کرت لوله پلیکای ۵ اینچی و مخزنی درپوش‌دار با حجم ۷۰ لیتر (رجمن و همکاران، ۱۹۹۸) قرار داده شد.

اندازه‌گیری صحرائی هدررفت خاک: برای اندازه‌گیری هدررفت خاک (رسوب)، پس از پایان هر باران منجر به رسوب، مقدار روان‌آب و رسوب هر کرت براساس حجم مخلوط داخل مخزن و غلظت رسوب آن کرت تعیین شد. برای تعیین غلظت رسوب، نمونه یکنواخت ۵۰۰ میلی‌لیتری از مخلوط داخل مخزن تهیه و پس از جداسازی رسوب با کاغذ صافی، در آون (دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت) خشک و سپس وزن گردید. غلظت رسوب از نسبت مقدار رسوب بر حجم نمونه تعیین شد. با جمع مقادیر رسوب در رخدادهای مختلف سال، مقدار رسوب سالانه هر کرت به‌دست آمد و میانگین آن برای سه کرت واحد واقع در هر شبکه تعیین گردید.

تعیین عامل فرساینده‌گی (R) در مدل RUSLE: برای تعیین عامل فرساینده‌گی (R) در مدل RUSLE، داده‌های باران ایستگاه باران‌نگاری برای محاسبه انرژی جنبشی رگبارها (E) و تعیین بیش‌ترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای آن‌ها (I_{30}) مورد استفاده قرار گرفتند. مقدار R در مدل USLE براساس شاخص فرساینده‌گی (EI_{30}) مطابق روش رنارد و فریدموند (۱۹۹۴) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^j (EI_{30})_i}{N} \quad (2)$$

که در آن، $(EI_{30})_i$: شاخص فرساینده‌گی رگبار i (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت) و j : تعداد رگبارها طی دوره N سال می‌باشند. E : انرژی جنبشی رگبار (مگاژول در هکتار) و I_{30} : بزرگ‌ترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای آن (میلی‌متر بر ساعت) است. کل انرژی جنبشی رگبارها (E) نیز از رابطه زیر تعیین شد:

$$E = KE.d \quad (3)$$

که در آن، KE : انرژی رگبار در واحد عمق باران (مگاژول در هکتار میلی‌متر) و d : عمق رگبار (میلی‌متر) است. مقدار KE از رابطه زیر به‌دست آمد:

$$KE = \sum_{i=1}^j e_r \Delta V_r \quad (4)$$

که در آن، e_r : انرژی رگبار در واحد عمق و مدت باران (مگاژول در هکتار میلی متر ساعت) و ΔV_r : تداوم رگبار (ساعت) می باشد. مقدار e_r براساس I_r شدت رگبار (میلی متر در ساعت) از رابطه زیر به دست آمد (برآون و فوستر، ۱۹۸۷):

$$e_r = 0.29 [1 - 0.72 \exp(-0.05 I_r)] \quad (5)$$

برای آگاهی از یکنواختی باران در سطح منطقه، توزیع مکانی باران براساس داده های ایستگاه های باران سنجی واقع در شبکه های ۲، ۱۰ و ۲۶ و داده های ایستگاه باران نگاری مستقر در شبکه ۱۷ بررسی شد (شکل ۱). با استفاده از آزمون پارامتریک دانکن تفاوت آماری مقدار باران های منجر به رسوب در ایستگاه های مختلف تعیین گردید.

تعیین عامل فرسایش پذیری خاک (K) در مدل RUSLE: مقدار عامل فرسایش پذیری خاک براساس میانگین هندسی قطر ذرات خاک (D_g) از رابطه زیر برآورد شد (رومکنز و همکاران، ۱۹۸۶؛ رنارد و همکاران، ۱۹۹۷):

$$K = 0.034 + 0.0405 \exp\{-0.05[(\log D_g + 1/659) / 0.7101]^2\} \quad (6)$$

به منظور اندازه گیری عامل فرسایش پذیری خاک (K) برای مدل RUSLE، از نسبت مقدار هدررفت خاک A (تن در هکتار در سال) از کرت استاندارد در واحد عامل فرسایش پذیری R (مگاژول میلی متر در هکتار ساعت در سال) مطابق رابطه زیر استفاده شد (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸):

$$K = \frac{A}{R} \text{ و } L=S=C=P=1 \quad (7)$$

برای اندازه گیری مقدار K برای هر زمین، مقدار A مطابق بند ۲-۳ و مقدار R مطابق بند ۲-۴ تعیین شدند.

تعیین ویژگی های فیزیکی - شیمیایی خاک ها: برای برآورد K براساس میانگین هندسی قطر ذرات و نیز برای تعیین رابطه بین ویژگی های خاک و K اندازه گیری شده در کرت ها، برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های ۳۶ زمین مورد بررسی تعیین شدند. برای این منظور علاوه بر درصد ذرات معدنی، برخی ویژگی های دیگر (ماده آلی، آهک، سنگ ریزه، پتاسیم، پایداری خاک دانه و

نفوذپذیری) که احتمال تأثیر بر مقدار K اندازه‌گیری شده را داشتند، نیز در خاک‌ها تعیین گردیدند. برای تعیین ویژگی‌های آزمایشگاهی، نمونه‌برداری از خاک انجام گرفت. از هر کرت سه نمونه خاک به‌طور تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر برداشت و پس از مخلوط کردن، یک نمونه مرکب به آزمایشگاه منتقل شد.

در آزمایشگاه درصد ذرات معدنی خاک (شن، سیلت و رس) به روش پیت (نقشه‌برداری خاک انگلستان و ولز^۱، ۱۹۸۲) تعیین شد. بر این اساس، میانگین هندسی قطر ذرات (D_g) و انحراف معیار هندسی^۲ (σ_g) از رابطه‌های زیر تعیین شدند:

$$D_g = \exp a = \exp(0.01 \sum f_i \ln M_i) \quad (8)$$

$$\sigma_g = \exp[(0.01 \sum f_i \ln^2 M_i) - a^2]^{1/2} \quad (9)$$

که در آن‌ها، f_i : فراوانی ذره خاک (درصد) و M_i : میانگین قطر ذره (میلی‌متر) است. در نمونه‌های خاک، ماده آلی به روش والکلی بلاک (نلسون و سامر، ۱۹۸۲)، آهک به روش حجمی از واکنش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک (گوه و همکاران، ۱۹۹۳) و پایداری خاک‌دانه براساس میانگین وزنی قطر خاک‌دانه^۳ با روش الک تر (آنگرز و مهوس، ۱۹۹۳) در آزمایشگاه تعیین شدند. نفوذپذیری خاک نیز براساس سرعت نفوذ نهایی با روش استوانه‌های مضاعف در هر قطعه زمین در صحرا (بوور، ۱۹۸۶) اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

عامل فرساینده‌گی (R) در مدل RUSLE: میانگین سالانه مقدار بارندگی در ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران در دوره دو ساله پژوهش برابر ۳۲۲ میلی‌متر بود. از بین رخدادهای باران طی دوره دو ساله، ۹۶ رخداد دارای تداوم بیش‌تر از ۳۰ دقیقه بودند که از این بین ۴۱ رخداد منجر به رسوب شدند. جدول ۱ مشخصات باران‌های منجر به رسوب در منطقه مورد بررسی طی دوره پژوهش (۱۳۸۶-۱۳۸۴) را نشان می‌دهد. در ۴۱ رخداد بارندگی، ارتفاع بارندگی از ۱/۹۰-۱۸/۷۰ میلی‌متر، مدت بارندگی از ۶/۹۸-۰/۵۰

1- Soil Survey of England and Wales (SSEW)

2- Geometric Standard Deviation

3- Mean Weight Diameter (MWD)

علیرضا واعظی و همکاران

ساعت، شدت بارندگی از ۱۳/۷۸-۲/۱۱ میلی‌متر در ساعت و بیش‌ترین شدت ۳۰ دقیقه بارندگی از ۲۵/۰-۳/۰ میلی‌متر در ساعت تغییر کرد. میانگین ارتفاع، مدت، شدت و بیش‌ترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای در ۴۱ رخداد به ترتیب ۶/۸۶ میلی‌متر، ۱/۶۰ ساعت، ۴/۸۴ میلی‌متر در ساعت و ۸/۵ میلی‌متر در ساعت بود.

جدول ۱- مشخصات باران‌های منجر به رسوب در منطقه مورد بررسی طی دوره پژوهش (۱۳۸۶-۱۳۸۴).

ویژگی‌های باران				تاریخ در ۱۳۸۴ (روز/ماه)	ویژگی‌های باران				تاریخ در ۱۳۸۴ (روز/ماه)
بیش‌ترین شدت	شدت	مدت	ارتفاع		بیش‌ترین شدت	شدت	مدت	ارتفاع	
(میلی‌متر در ساعت)	(میلی‌متر در ساعت)	(ساعت)	(میلی‌متر)	۳۰ دقیقه در ۱۳۸۵ (روز/ماه)	(میلی‌متر در ساعت)	(ساعت)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر در ساعت)	
۸/۲	۶/۳۱	۰/۸۴	۵/۳	۱/۹	۳/۰	۲/۲۱	۱/۱۵	۲/۵۵	۱/۱۳
۵/۲	۲/۵۴	۱/۶۷	۴/۲	۱/۱۶	۳/۲	۲/۶۸	۱/۳۶	۳/۶۵	۱/۱۴
۴/۲	۲/۱۱	۳/۱۷	۶/۷	۱/۱۸	۱۵/۲	۴/۰۳	۳/۴۰	۱۳/۷	۱/۲۵
۱۴/۵	۷/۸۹	۱/۶۱	۱۲/۷	۱/۲۸	۳/۰	۲/۷۰	۱/۰۰	۲/۷	۱/۲۶
۵/۰	۲/۸	۱/۵۰	۴/۲	۲/۴	۴/۸	۳/۷۰	۱/۳۰	۴/۸	۱/۲۷
۴/۰	۲/۶۴	۱/۲۵	۳/۳	۲/۵	۵/۴	۳/۳۶	۱/۱۰	۳/۷	۱/۲۸
۶/۰	۳/۶	۱/۸۳	۵/۶	۲/۶	۷/۶	۲/۵۶	۶/۹۸	۱۷/۸	۲/۶
۷/۴	۳/۴	۲/۳۸	۸/۱	۲/۱۳	۵/۴	۴/۰۰	۰/۷۰	۲/۸	۲/۷
۴/۲	۲/۹۴	۱/۳۶	۴/۰	۲/۱۴	۸/۴	۵/۵۸	۱/۵۰	۸/۳	۲/۱۲
۴/۰	۲/۵۴	۱/۳۴	۳/۴	۲/۱۵	۳/۸	۲/۸۲	۰/۷۱	۲/۰	۲/۱۳
۷/۶	۲/۵۸	۱/۸۶	۴/۸	۲/۱۶	۴/۸	۳/۴۲	۰/۷۳	۲/۵	۲/۱۴
۶/۶	۳/۷۸	۱/۸۰	۶/۸	۲/۲۰	۵/۰	۳/۶۵	۱/۱۵	۴/۲	۲/۱۵
۸/۲	۸/۲	۰/۵۰	۴/۱	۴۲/۸	۲۱/۸	۱۰/۰۸	۱/۱۸	۱۱/۹	۲/۲۴
۱۳/۰	۵/۳۵	۳/۵۰	۱۸/۷	۶/۲۶	۲۲/۸	۱۳/۷۸	۰/۹۰	۱۲/۴	۲/۲۵
۹/۸	۹/۸	۰/۵۰	۴/۶	۷/۲۳	۲۵/۰	۵/۰۶	۱/۶۰	۸/۱	۲/۲۶
۴/۰	۴/۰	۰/۵۰	۲/۰	۷/۲۸	۱۳/۰	۵/۹۵	۲/۱۰	۱۲/۵	۲/۲۹
۱۲/۴	۶/۶۵	۲/۱۵	۱۴/۳	۸/۳	۱۲/۲	۸/۰۰	۱/۳۰	۱۰/۴	۲/۳۰
۹/۶	۴/۵۶	۱/۷۷	۸/۱	۸/۵	۷/۰	۷/۰۰	۰/۵۰	۳/۵	۳/۱۰
					۳/۶	۲/۴۷	۰/۷۷	۱/۹	۳/۱۲
					۲۲/۴	۱۱/۰۸	۰/۳۸	۱۵/۳	۷/۶
					۶/۸	۶/۱۵	۰/۶۵	۴/۰	۱۱/۱۵
					۴/۶	۴/۱۳	۰/۵۸	۲/۴	۱۱/۲۰
					۴/۴	۲/۳۲	۴/۰۰	۹/۳	۱۲/۱۸

میانگین مقدار (ارتفاع) بارندگی در ۴۱ رخدادهای باران منجر به رسوب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران واقع در شبکه‌های ۲، ۱۰، ۱۷ و ۲۶ به ترتیب ۷/۱۵، ۶/۷۶، ۶/۹۷ و ۷/۰۸ میلی‌متر بود. مقایسه آماری مقدار باران‌های منجر به رسوب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران نشان داد که نسبت دو میانگین مربعات^۱ (F-value) برابر ۰/۰۲۹ و سطح معنی‌داری (p-value) برابر ۰/۹۹۴ است. در حقیقت مقدار بارندگی در باران‌های منجر به رسوب در ایستگاه‌های مختلف تفاوتی معنی‌دار در سطح ۵ درصد نداشت و در نتیجه پراکنش باران در سطح منطقه یکنواخت بود. با توجه به یکسان بودن مقدار بارندگی در باران‌های منجر به رسوب و نبود تغییرات آشکار ارتفاع زمین‌ها در سطح منطقه می‌توان نتیجه گرفت که شدت بارندگی در ایستگاه‌های مختلف تقریباً یکسان بوده است. بنابراین شاخص فرساینده‌گی در باران‌های منجر به رسوب در سطح منطقه یکنواخت بوده است.

مقدار شاخص فرساینده‌گی باران (EI_{۳۰}) در ۴۱ رخدادهای بارندگی، از ۱/۸۴-۴۴۸/۵۶ مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت متغیر بوده و میانگین آن در ۴۱ رخدادهای ۶۸/۶۲ مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت متغیر بود. مقدار عامل فرساینده‌گی باران- روان‌آب (R) براساس مدل RUSLE به‌طور میانگین طی دوره دو ساله پژوهش برابر ۱۹۰۴/۴۵۵ مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال بود. مقدار سالانه هدررفت خاک در ۳۶ زمین مورد بررسی از ۲/۴۳۱۳-۰/۶۷۳۶ تن در هکتار تغییر کرد و میانگین آن در منطقه برابر ۱/۵۱۶۷ تن در هکتار در سال بوده است. تعیین مقدار هدررفت خاک در هر زمین و مقدار عامل فرساینده‌گی در منطقه از این جهت ضروری بود که براساس آن، مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک برای هر زمین مورد بررسی تعیین شود.

عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) در مدل RUSLE: مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) برآورد شده براساس مدل RUSLE از ۰/۰۴۸۴۲۹-۰/۰۳۱۴۸۰ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر تغییر کرد و میانگین آن در ۳۶ زمین برابر ۰/۰۳۸۷۰۳ تن ساعت در مگاژول میلی‌متر بود. مقدار اندازه‌گیری شده K براساس مدل RUSLE نیز بین ۰/۰۰۰۳۸۸-۰/۰۰۱۳۵۸ تن ساعت در مگاژول میلی‌متر بود و میانگین آن برابر ۰/۰۰۰۴۸۳ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر شد. جدول ۲ مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک اندازه‌گیری شده و برآورد شده براساس مدل RUSLE در ۳۶ زمین مورد بررسی را نشان می‌دهد.

براساس نتایج، مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک برآورد شده براساس مدل RUSLE، به‌طور میانگین ۵۰/۹۸ برابر بزرگ‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده آن بود. این تفاوت براساس آزمون t در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار بوده است (شکل ۲). مطابق شکل ۲ توزیع نقاط متناظر بین عامل فرسایش‌پذیری خاک

۱- نسبت میانگین مربعات رگرسیون به میانگین مربعات اشتباه

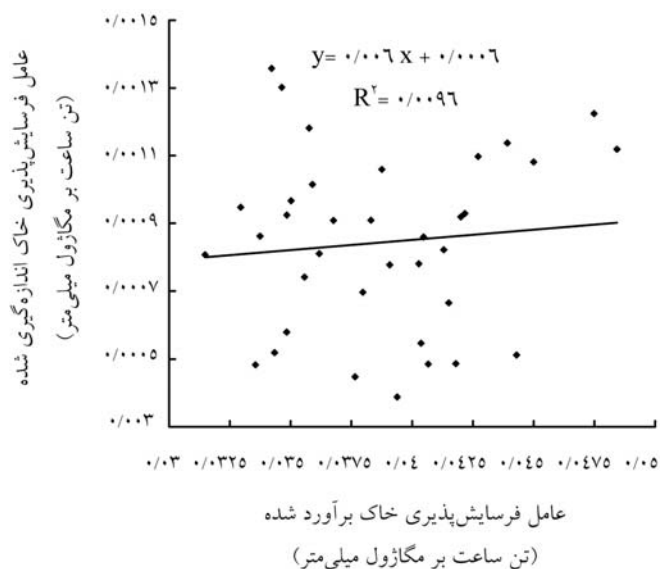
علیرضا واعظی و همکاران

اندازه‌گیری شده و برآوردی پراکنده بوده و نشان می‌دهد که رابطه خاصی بین آن دو وجود ندارد. رابطه خطی بین این دو دارای ضریب تبیین^۱ بسیار ضعیف ($R^2=0/0096$) بود. با وجود آن‌که پژوهش‌های بسیاری برای ارزیابی مدل USLE در برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک انجام گرفته (رجمن و همکاران، ۱۹۹۸؛ حسین و همکاران، ۲۰۰۷) ولی تاکنون بررسی‌های دقیقی در مورد برآورد این عامل با استفاده از مدل RUSLE انجام نشده و بیش‌تر پژوهش‌ها در مورد مدل RUSLE در ارتباط با ارزیابی شاخص فرسایش‌نگی آن (لوریرو و کوتینهو، ۲۰۰۱؛ شمشاد و همکاران، ۲۰۰۸) بوده است.

جدول ۲- مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) برآوردی و اندازه‌گیری شده براساس RUSLE در ۳۶ زمین مورد بررسی.

زمین	عامل فرسایش‌پذیری خاک در RUSLE		زمین	عامل فرسایش‌پذیری خاک در RUSLE	
	(تن ساعت بر مگازول میلی‌متر)			(تن ساعت بر مگازول میلی‌متر)	
	برآورد شده	اندازه‌گیری شده		برآورد شده	اندازه‌گیری شده
۱	34214×10^{-6}	1358×10^{-6}	۱۹	4500×10^{-6}	1081×10^{-6}
۲	42715×10^{-6}	1097×10^{-6}	۲۰	36765×10^{-6}	908×10^{-6}
۳	34634×10^{-6}	1302×10^{-6}	۲۱	4180×10^{-6}	487×10^{-6}
۴	33739×10^{-6}	862×10^{-6}	۲۲	35570×10^{-6}	741×10^{-6}
۵	35761×10^{-6}	1181×10^{-6}	۲۳	32945×10^{-6}	947×10^{-6}
۶	33553×10^{-6}	483×10^{-6}	۲۴	36177×10^{-6}	810×10^{-6}
۷	31480×10^{-6}	807×10^{-6}	۲۵	48429×10^{-6}	1119×10^{-6}
۸	34837×10^{-6}	580×10^{-6}	۲۶	44301×10^{-6}	512×10^{-6}
۹	38303×10^{-6}	909×10^{-6}	۲۷	40663×10^{-6}	486×10^{-6}
۱۰	38753×10^{-6}	1059×10^{-6}	۲۸	43916×10^{-6}	1137×10^{-6}
۱۱	42004×10^{-6}	919×10^{-6}	۲۹	40469×10^{-6}	859×10^{-6}
۱۲	40366×10^{-6}	547×10^{-6}	۳۰	34843×10^{-6}	924×10^{-6}
۱۳	47486×10^{-6}	1224×10^{-6}	۳۱	39077×10^{-6}	777×10^{-6}
۱۴	42170×10^{-6}	929×10^{-6}	۳۲	39384×10^{-6}	388×10^{-6}
۱۵	35893×10^{-6}	1015×10^{-6}	۳۳	41508×10^{-6}	666×10^{-6}
۱۶	34340×10^{-6}	520×10^{-6}	۳۴	37969×10^{-6}	696×10^{-6}
۱۷	37653×10^{-6}	448×10^{-6}	۳۵	41299×10^{-6}	822×10^{-6}
۱۸	35016×10^{-6}	967×10^{-6}	۳۶	40275×10^{-6}	780×10^{-6}

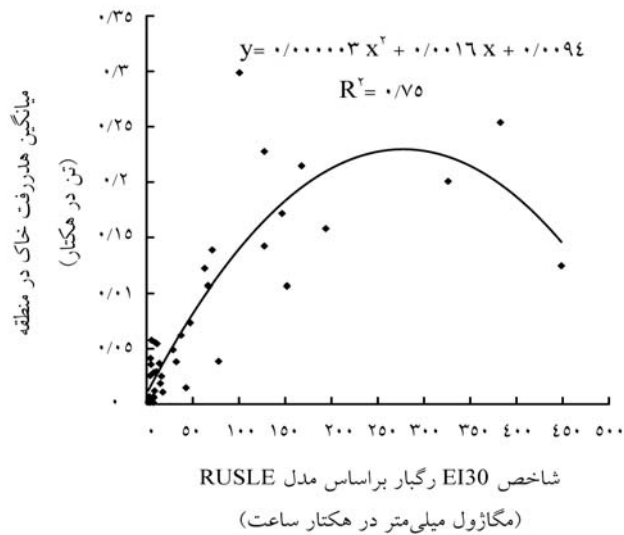
1- Determination Coefficient



شکل ۲- مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک اندازه‌گیری شده در برابر مقدار برآوردی در مدل **RUSLE**.

یکی از علت‌های تفاوت معنی‌دار بین مقدار K برآوردی و اندازه‌گیری شده، تفاوت در ویژگی‌های باران منطقه مورد بررسی با منطقه ارایه مدل **RUSLE** می‌باشد. همان‌طور که نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد شدت باران در منطقه مورد بررسی (به‌طور میانگین $4/84$ میلی‌متر در ساعت) بسیار پایین‌تر از شدت باران‌های معمول در نواحی نیمه‌مرطوب محل ارایه مدل (معمولاً بزرگ‌تر از 40 میلی‌متر در ساعت) می‌باشد. براساس نتایج با افزایش مقدار فرساینده‌گی باران (شاخص EI_30)، هدررفت خاک به‌طور معنی‌دار فرساینده‌گی باران در کل رگبارها پایین بود به این دلیل مقدار فرسایش‌پذیری خاک اندازه‌گیری شده که از نسبت هدررفت خاک بر شاخص فرساینده‌گی به‌دست آمد، بسیار کم‌تر از مقدار برآوردی بود.

علت دیگر تفاوت بین مقدار K برآوردی و اندازه‌گیری شده، تفاوت در ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی با خاک‌های نواحی نیمه‌مرطوب منطقه ارایه مدل **RUSLE** می‌باشد. جدول ۳ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد، خاک‌ها به‌طور عمده با بافت لوم رسی، دارای مقدار متوسطی آهک ($12/7$ درصد) مقدار کمی ماده آلی ($1/09$ درصد) و نفوذپذیری متوسط بودند.



شکل ۳- تأثیر شاخص فرساینده‌گی باران مدل RUSLE بر میانگین هدررفت خاک در منطقه در ۴۱ رگبار طی دوره پژوهش.

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه مورد بررسی.

ویژگی	کم‌ترین	بیش‌ترین	میانگین	انحراف معیار
سنگ‌ریزه (درصد)	۵/۳	۱۴/۸	۹/۸۹	۲/۳۷
شن درشت (درصد)	۹/۹	۲۹/۴	۱۸/۹۱	۴/۱۹
شن بسیار ریز (درصد)	۱۲/۶	۲۵/۸	۱۷/۱۸	۳/۲۱
سیلت (درصد)	۲۰/۲	۴۴/۸	۳۱/۵۹	۶/۱۲
رس (درصد)	۲۰/۸	۴۲/۲	۳۱/۹۷	۵/۷۵
میانگین هندسی قطر ذره	۰/۰۱۵	۰/۰۷۲	۰/۰۳۷	۰/۰۱۱
انحراف معیار هندسی قطر ذره	۱۱/۸۰	۲۲/۳۰	۱۷/۳۷	۲/۸۴
پایداری خاک‌دانه (میلی‌متر)	۰/۳	۱/۹	۱/۱۳	۰/۴۴
نفوذپذیری (سانتی‌متر در ساعت)	۱/۴	۵/۸	۳/۵۶	۱/۱۶
ماده آلی (درصد)	۰/۷	۲/۱	۱/۰۹	۰/۲۵
آهک (درصد)	۴/۱	۲۳/۷	۱۲/۶۶	۵/۲۵
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۳۷/۴	۳۹۰/۵	۳۱۴/۶۸	۲۵/۴۱

در خاک‌های نواحی نیمه‌مرطوب، مقدار ماده آلی بیش‌تر اما مقدار آهک کم‌تر است. در خاک‌های نواحی نیمه‌خشک، علاوه‌بر ماده آلی یکی از عواملی که در هم‌آوری ذرات خاک و افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها مؤثر می‌باشد، آهک است. با این وجود، پایداری خاک‌دانه‌ها در خاک‌های نواحی نیمه‌مرطوب به‌دلیل حضور ماده آلی زیاد در خاک بیش‌تر از خاک‌های نواحی نیمه‌خشک است. با توجه به تأثیر آهک در افزایش پایداری خاک‌دانه و در نتیجه نفوذپذیری می‌توان نتیجه گرفت که آهک می‌تواند در فرسایش‌پذیری خاک‌های نواحی نیمه‌خشک نقش مهمی ایفا کند.

رابطه بین عامل فرسایش‌پذیری (K) و ویژگی‌های خاک: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در دو گروه ویژگی‌های وابسته (پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری) و ویژگی‌های مستقل (بافت، ماده آلی، آهک، پتاسیم و سنگ‌ریزه) قرار می‌گیرند. ویژگی‌های وابسته خاک تحت‌تأثیر ویژگی‌های مستقل خاک قرار می‌گیرند. به این دلیل بررسی یک‌جای رابطه بین فرسایش‌پذیری و کل ویژگی‌ها ممکن نیست. از این‌رو برای تعیین ویژگی‌های خاک مؤثر بر عامل فرسایش‌پذیری خاک اندازه‌گیری شده، رابطه بین عامل فرسایش‌پذیری خاک اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک به دو صورت بررسی شد:

۱- **رابطه بین K اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های وابسته خاک:** پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری خاک از ویژگی‌های فیزیکی خاک هستند که به‌عنوان ویژگی‌های وابسته خاک تحت‌تأثیر ویژگی‌های مستقل خاک مثل بافت، ماده آلی، آهک، پتاسیم و سنگ‌ریزه می‌توانند قرار گیرند. تجزیه رگرسیونی رابطه بین عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های وابسته خاک نشان داد که مقدار K اندازه‌گیری شده رابطه معنی‌دار با پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری دارد ($R^2=0/90$ و $P<0/001$). جدول ۴ تجزیه رگرسیونی رابطه بین عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های وابسته خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۴- تجزیه رگرسیونی رابطه بین عامل فرسایش‌پذیری (K) اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های وابسته خاک.

سطح معنی‌داری	t	ضرایب استاندارد		مدل
		Beta	انحراف معیار B	
۰/۰۰۰	۳۲/۸۵۲		5×10^{-5}	ثابت
۰/۰۰۰	-۱۰/۵۲۷	-۰/۵۷۰	3×10^{-5}	پایداری خاک‌دانه (میلی‌متر)
۰/۰۰۰	-۱۲/۷۴۰	-۰/۳۸۹	1×10^{-5}	نفوذپذیری (سانتی‌متر در ساعت)

براساس نتایج، پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری خاک به‌عنوان دو ویژگی مهم خاک بودند که ۹۰ درصد تغییرات فرسایش‌پذیری خاک را در زمین‌های مورد بررسی را تبیین می‌کنند. این نتیجه با یافته‌های هویوس (۲۰۰۵) در مورد اهمیت دو ویژگی پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری در فرسایش‌پذیری خاک مطابقت دارد. براساس تعریف فرسایش‌پذیری، ضربه قطرات باران و نیروی برشی روان‌آب دو عامل اصلی جدا شدن ذرات خاک از هم و در نتیجه افزایش فرسایش‌پذیری خاک هستند. پایداری خاک‌دانه مشخصه‌ای می‌باشد که میزان جدا شدن ذرات خاک از هم و به‌دنبال آن هدررفت خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. از سوی دیگر نفوذپذیری خاک هم مشخصه‌ای است که در تولید روان‌آب نقشی مهم دارد. افزایش نفوذپذیری خاک، از تولید روان‌آب می‌کاهد. با کاهش تولید روان‌آب، هدررفت خاک نیز کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری خاک راه‌کاری مهم برای کاهش حساسیت خاک‌ها به فرسایش می‌تواند باشد.

۲- رابطه بین K اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های مستقل خاک: پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری خاک از جمله ویژگی‌هایی می‌باشند که اندازه‌گیری آن‌ها امری سخت و زمان‌بر است. بنابراین یافتن ویژگی‌هایی از خاک که دارای قابلیت اندازه‌گیری آسان باشند برای برآورد فرسایش‌پذیری (K) می‌تواند مهم باشد. در این راستا، رابطه بین اجزای بافت، سنگ‌ریزه، ماده آلی، آهک و پتاسیم با K اندازه‌گیری شده بررسی شد. با توجه به وجود رابطه معنی‌دار بین اجزای بافت (شن، سیلت و رس) به‌جای این سه ذره از مشخصه میانگین هندسی قطر ذرات (D_g) و انحراف معیار هندسی قطر ذرات (σ_g) استفاده گردید. تجزیه رگرسیونی نشان داد که مقدار K اندازه‌گیری شده تحت‌تأثیر معنی‌دار انحراف معیار هندسی قطر ذرات، ماده آلی و آهک قرار می‌گیرد ($R^2=0/82$ و $P<0/001$). اثر سنگ‌ریزه و پتاسیم مقدار K اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود. جدول ۵ رابطه بین عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های مستقل خاک را نشان می‌دهد. ماده آلی و آهک مانند انحراف معیار هندسی اثری منفی بر K اندازه‌گیری شده داشتند. تأثیر ماده آلی در کاهش فرسایش‌پذیری خاک با نتایج پژوهش‌های رودریگز و همکاران (۲۰۰۶) هم‌خوانی دارد. نقش ماده آلی در کاهش فرسایش‌پذیری به‌دلیل بهبود چشم‌گیر پایداری خاک‌دانه‌ها و نفوذپذیری خاک می‌تواند باشد. این نتیجه، یافته‌های رودریگز و همکاران (۲۰۰۶) را تأیید می‌کند. تأثیر آهک در کاهش فرسایش‌پذیری خاک نیز به‌دلیل اهمیت کلسیم در هم‌آوری ذرات خاک و افزایش پایداری خاک‌دانه و در نتیجه افزایش اندازه منافذ و نفوذپذیری خاک می‌تواند باشد. این نتیجه، گزارش‌های دایکر و همکاران (۲۰۰۱) و چارمن و مورفی (۲۰۰۰) را در مورد تأثیر آهک بر فرسایش‌پذیری خاک تأیید می‌کند.

جدول ۵- رابطه بین عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های مستقل خاک.

سطح معنی‌داری	t	ضرایب غیراستاندارد		مدل
		Beta	انحراف معیار	
۰/۰۰۰	۱۶/۸۲۷		146×10^{-6}	ثابت
۰/۰۰۰	-۶/۳۸۹	-۰/۴۹۵	7×10^{-6}	انحراف معیار هندسی قطر ذرات (σ_g)
۰/۰۰۰	-۵/۴۷۴	-۰/۴۲۳	79×10^{-6}	ماده آلی (OM)
۰/۰۰۰	-۷/۶۹۳	-۰/۵۸۵	4×10^{-6}	آهک (TNV)

برای کمی نمودن چگونگی تأثیر مشخصه انحراف معیار هندسی بر عامل فرسایش‌پذیری خاک، همبستگی بین K اندازه‌گیری شده و شن درشت، شن بسیار ریز، سیلت و رس بررسی شد. نتایج نشان داد که K اندازه‌گیری شده همبستگی منفی با شن درشت ($R^2=0/46$ و $P<0/01$) و همبستگی مثبت با شن بسیار ریز ($R^2=0/45$ و $P<0/01$) و سیلت ($R^2=0/44$ و $P<0/01$) دارد. همبستگی منفی بین K اندازه‌گیری شده و رس معنی‌دار ($R^2=0/32$) نبود. در این پژوهش، اثر کاهشی شن درشت بر فرسایش‌پذیری با یافته‌های ساتتوس و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. همبستگی مثبت بین فرسایش‌پذیری و شن بسیار ریز و سیلت، یافته‌های میلر و گاردینر (۱۹۹۸) را تأیید می‌کند. در این پژوهش با وجود آن‌که بر خلاف نتایج پژوهش‌های ژانگ و همکاران (۲۰۰۴)، بین فرسایش‌پذیری و رس همبستگی معنی‌دار وجود نداشت، با این وجود چگونگی تأثیر رس بر فرسایش‌پذیری (تأثیر منفی)، یافته‌های این پژوهش‌گر را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری صحرائی عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) در کرت‌های استاندارد و برآورد آن براساس میانگین هندسی قطر ذرات (D_g) در مدل RUSLE در ۳۶ زمین مختلف واقع در شمال‌غرب ایران نشان داد که مقدار K برآوردی به‌طور میانگین ۵۰/۹۸ برابر بزرگ‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده آن می‌باشد. در حقیقت برآورد K براساس D_g در خاک‌های ناحیه نیمه‌خشک مورد بررسی موجب می‌شود مقدار K به‌طور غیرمنطقی ارزیابی شود. به‌عبارت دیگر مقدار K اندازه‌گیری شده به ویژگی‌های دیگر خاک غیر از میانگین هندسی قطر ذرات (D_g) وابسته است. تجزیه رگرسیونی نشان داد که مقدار K اندازه‌گیری شده تحت تأثیر معنی‌دار پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری ($R^2=0/90$) و

($P < 0/001$) به عنوان ویژگی های وابسته خاک قرار می گیرد. با توجه به وجود هزینه و زمان زیاد در اندازه گیری این دو ویژگی، رابطه بین K اندازه گیری شده و ویژگی های مستقل خاک (اجزای بافت، سنگ ریزه، ماده آلی، آهک و پتاسیم) بررسی شد. نتایج نشان داد که بین مقدار K و انحراف معیار هندسی قطر ذرات (σ_g)، ماده آلی و آهک رابطه ای معنی دار ($R^2 = 0/82$ و $P < 0/001$) وجود دارد. تعیین چگونگی تأثیر مشخصه انحراف معیار هندسی بر K اندازه گیری شده نشان داد که K همبستگی منفی با شن درشت و همبستگی مثبت با شن بسیار ریز و سیلت دارد. به طور کلی این پژوهش نشان داد که پایداری خاک دانه و نفوذپذیری دو ویژگی فیزیکی بسیار مهم خاک از نظر فرسایش پذیری می باشند که تحت تأثیر بافت، ماده آلی و آهک قرار می گیرند. ویژگی های خاک که موجب افزایش پایداری خاک دانه یا نفوذپذیری خاک و یا هر دو شوند، نقشی مهم در کاهش فرسایش پذیری خواهند داشت. آهک از جمله این ویژگی ها است که مانند ماده آلی در کاهش فرسایش پذیری در خاک های نواحی نیمه خشک نقش دارد.

منابع

1. Angers, D.A. and Mehuys, G.R. 1993. Aggregate stability to water, P 651-657. In: Cartner, M.R. (ed.), Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, Canada.
2. Bouwer, H. 1986. Intake rate: Cylinder infiltrometer, P 341-345. In: Klutem A., Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods, Second edition, Agronomy, Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
3. Brown, L.C. and Foster, G.R. 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. Trans. ASAE, 30: 579-591.
4. 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.
5. 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.
6. Goh, T.B., Arnaud, R.J.St. and Mermut, A.R. 1993. Carbonates, P 177-185. In: Cartner, M.R. (ed.), Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, Canada.
7. Hussein, M.H., Kariem, T.H. and Othman, A.K. 2007. Predicting soil erodibility in northern Iraq natural runoff data. Soil & Tillage Research, 94: 220-228.
8. Hoyos, N. 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. Catena, 63: 85-108.

9. Jones, D.S., Kowalski, D.G. and Robert, B.S. 2008. Calculating Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Estimates on Department of Defense Lands: A Review of RUSLE Factors and U.S. Army Land Condition-Trend Analysis (LCTA) Data Gaps. Center for Ecological Management of Military Lands Department of Forest Science, Colorado State University Fort Collins, CO 80523.
10. Khaksarfard, M. 1995. Water wastes and decreasing methods. *Water and Waste Water J.* 9: 25-29. (In Persian)
11. Lal, R. 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environ. Int.* 29: 437-450.
12. Loureiro, N.S. and Coutinho, M.A. 2001. A new procedure to estimate the USLE EI_{30} index, based on monthly rainfall data and applied to the Alarve region, Portugal. *J. Hydro.* 250: 1-4. 12-18.
13. Mahdian, M.H. 2004. Study of Lands degradation in Iran. Proceedings of the Third National Conference of Erosion & Sediment. Tehran, Iran, Pp: 226-231. (In Persian)
14. Miller, R.W. and Gardiner, D.T. 1998. Soils in our environment. 8th edition, Prentice-Hall Inc. United State of America, Pp: 75-81.
15. Nelson, D.W. and Sommer, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis*. 2nd ed. ASA Monogr. Amer. Soc. Agron. Madison, 9: 2. 539-579.
16. Oldeman, L., Hakkeling, R. and Sombroek, W. 1990. World map of the status of soil degradation, an explanatory note. International Soil Reference and Information Center, Wageningen, The Netherlands and the United Nations Environmental Program, Nairobi, Kenya. Pp: 23-42.
17. Rafahi, H.G. 1996. Soil erosion by water and conservation. Tehran University Press, Pp: 140-147. (In Persian)
18. Rejman, J., Turski, R. and Paaluszek, J. 1998. Spatial and temporal variation in erodibility of loess soil. *Soil and Tillage Research*, 46: 61-68.
19. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water-a guide to conservation planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS) Handbook. United States Government Printing Office, Washington, DC, 703: 23-29.
20. Renard, K.G. and Freidmund, J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE, *J. Hydro.* 157: 287-306.
21. 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.
22. Römken, M.J.M., Prasad, S.N. and Poesen, J.W.A. 1986. Soil erodibility and properties, P 492-504. Trans. 13th Congress of the International Society of Soil Sciences, Hamburg, Germany.

23. Sadeghi, S.H.R., Kianei-e-Harchegani, M., Saeedi, P. and Allafibadi, M. 2008. Assessing capability of RUSLE in estimation of storm's sediment. Proceedings of the Forth Sciences and Watershed Management Engineering Conference of Iran. Karaj, Iran, Pp: 122-123. (In Persian)
24. 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.
25. Schwab, G.O., Frevert, R.K., Edminster, T.W. and Barnes, K.K. 1981. Soil and water conservation engineering. Third edition, John Willey and Sons, New York, Pp: 100-103.
26. Shamshad, A., Azhari, M.N., Isa, M.H., Wan Hussin, W.M.A. and Parida, B.P. 2008. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI_{30} index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. *Catena*, 72: 3. 423-432.
27. Soil Survey of England and Wales, SSEW. 1982. Soil Survey Laboratory Methods. Technical Monographs. Harpenden. UK, 6: 131-134.
28. Veihe, A. 2002. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. *Geoderma*, 106: 101-120.
29. Wang, G.G., Gartner, X., Liu, H. and Anderson, A. 2001. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. *Catena*, 46: 1-14.
30. Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook. US Department of Agriculture. Washington DC, 537: 13-27.
31. 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.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 17(3), 2010
www.gau.ac.ir/journals

Estimation of erodibility factor (K) using the RUSLE model in some soils of the semi-arid regions in northwest of Iran

***A.R. Vaezi¹, H.A. Bahrami², S.H.R. Sadeghi³ and M.H. Mahdian⁴**

¹Assistant Prof., Dept. of Soil Sciences, Zanjan University, ²Associate Prof., Dept. of Soil Sciences, Tarbiat Modarres University, Tehran, ³Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Tarbiat Modarres University, Noor, ⁴Research Assistant Prof., Education and Extension Organization, Ministry of Agriculture, Tehran

Received: 2009/03/09; Accepted: 2010/10/06

Abstract

Soil loss is commonly predicted using the revised universal soil loss equation (RUSLE) worldwide. Soil erodibility (K) is one of factors affecting soil loss essential to predict water erosion. In this study, soil loss was measured under 41 natural rainfall events at standard plots located in 36 different fallow lands with 9% slope in Hashtroud, a semi-arid region in the northwestern of Iran from March 2005 to March 2007. Soil erodibility factor (K) values were measured based on the soil loss per unit of rainfall-runoff erosivity factor (R) and also estimated on the basis of geometric mean diameter of soil particles (D_g) for 36 lands. Estimated K value ($0.038703 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) was on average 50.98 times higher than the measured value ($0.000483 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) in 36 lands. Regression analysis indicated that the measured K is significantly ($P < 0.001$, $R^2 = 90$) related to the aggregate stability and soil permeability. Relationship between the measured K value and easily-measurable soil properties (mineral particles, gravel, organic matter, lime and potassium) was analyzed. Results showed that the measured K value is significantly ($P < 0.001$, $R^2 = 0.82$) influenced by D_g , organic matter and lime. This study revealed that the aggregate stability and soil permeability are the two important dependent soil properties affecting soil erodibility (K), affected by mineral particles, organic matter and lime. Soil properties that increase the aggregate stability and permeability can decline the soil erodibility. Lime is one of the soil properties that has an important role in declining the soil erodibility in soils of the semi-arid regions.

Keywords: RUSLE model, Soil erodibility factor, Semi-arid region, Hashtroud

* Corresponding Author; Email: vaezi.alireza@gmail.com