پژوهش‌های فرسایش محیطی
journal homepage: http://magazine.hormozgan.ac.ir

بررسی و تعیین مناسب‌ترین شاخص فرسایندگی نسخ مختلف معادله جهانی فرسایش در مناطق نیمه خشک خراسان

سعید رحمتی[1*]، محمدرضا جوادی[1]، عبدالصالح رنگاور[2]

[1] گروه منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور

[2] گروه حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۳۹٤/۰٤/۱۵
اصلاح: ۱۳۹٤/۱۱/۹
پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۳۱

واژگان کلیدی:
پلات‌های آزمایشی، خصوصیات بارش، فرسایش و رسوب، همبستگی

چکیده

یکی از روش‌هایی که در شرایط نبود آمار و اطلاعات طولانی‌مدت، به طور گسترده برای برآورد فرسایش آبی استفاده می‌شود، معادله جهانی فرسایش خاک است. نیروی مؤثر در ایجاد اشکال مختلف فرسایش، قدرت فرسایندگی باران و رواناب بوده و در قالب شاخص‌هایی به نام شاخص فرسایندگی(R) بیان می‌شوند. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی شاخص فرسایندگی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخ آن در مقیاس رگبار انجام شد. به منظور محاسبه شاخص فرسایندگی مقادیر رواناب و رسوب حاصل از ۲۰ مورد رگبار بوقوع پیوسته در سه سال متوالی در پلات‌های آزمایشی با طول ۲۰ متر، عرض ۲ متر و کاربری مرتعی در پایگاه حفاظت خاک سنگانه مشهد به عنوان معرف مناطق نیمه خشک خراسان برای انجام تجزیه و تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بیانگر آن است که مقادیر برآوردی چهار روش MUSLT، MUSLE-E، MUSLE-S و USLEM همبستگی معنی داری با رسوب مشاهداتی داشته و فرآیند مدل‌سازی در این روش‌ها منطقی‌تر می‌باشد. مدل USLEM با ضریب همبستگی ۰/٦۰۸ برای پیش‌بینی میزان فرسایش در مقیاس رگبار مناسب‌ترین شاخص می‌باشد و مقادیر رسوب برآوردی معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) ، AOF و AUSLE با مقادیر رسوب مشاهداتی دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. همچنین استفاده از دو مشخصه ضریب رواناب ($r = ۰/٦۹۱$ و $p < ۰/۰۰۱$) و دبی ($r = ۰/۵۹٦$ و $p < ۰/۰۰۱$) در تعیین راحت و آسان میزان هدر رفت خاک در منطقه مورد نظر قابل‌قبول می‌باشد.

۱- مقدمه

شناخت عوامل مؤثر در فرآیند فرسایش و تولید رسوب برای تقلیل اثرات زیان‌بار فرسایش و تولید رسوب حاصل از آن ضرورت کامل دارد. تخمین مقدار فرسایش در اراضی کشاورزی و مراتع، می‌تواند ابزاری برای شناخت مناطق حساس و تهیه و تدوین برنامه‌های عملی حفاظت خاک و آب باشد (۱۰). تخمین دقیق رسوب تولیدی در هر رگبار مستلزم داشتن تعداد کافی

* نویسنده مسئول رایانامه: saidrahmaty@yahoo.com

نمونه در طول هر واقعه و یا منحنی کامل رسوب است، در حالیکه در بسیاری از اوقات تنها چند نمونه رسوب طی هر رگبار برداشت و مقدار رسوب برآورد گردیده است، برای غلبه بر این مشکل و برای برآورد رسوب تولیدی رگبار روابط متعددی ارائه شده است (٦). از آنجا که تعداد مطالعات مربوط به تخمین رسوب رگبارها محدود می‌باشد و از سوی دیگر مدل‌های موجود نیز برای یک منطقه خاص تهیه شده‌اند، طبعا واسنجی آنها برای استفاده در شرایطی غیر از محل تهیه آنها ضروری است. بررسی دقّت مدل‌های تجربی موجود برای تخمین بار رسوبی رگبارها و تأثیر عوامل مختلف برروی کارایی مدل‌ها می‌تواند منجر به برآوردهایی بهتر از بار رسوبی و در نتیجه طراحی بهتر عملیات حفاظت خاک و آب گردد (١٤). از طرف دیگر چنانچه فرسایش در یک منطقه مشخص و با شرایط یکسان توپوگرافی، پوشش گیاهی ،خاک و کاربری اراضی در رگبارهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد ،تنها عامل متغیر در برآورد مقدار هدررفت خاک، شاخص فرسایندگی بارش خواهد بود. این شاخص بیانگر توانایی بالقوه رگبار در فرسایش خاک در امتداد شیب‌ها می‌باشد که می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در برآورد آسان میزان هدررفت خاک مورد استفاده قرار بگیرد(٨).

ویلیامز[1](۲۲) طی تحقیقات خود در بخشی از امریکا، عامل رواناب را به عنوان بهترین شاخص ارزیابی رسوب ناشی از رگبارها معرفی کرد و مبادرت به تهیه مدل MUSLE با استفاده از متغیرهای حجم، دبی اوج و رواناب با ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۲ نمود. کینل و ریس[2] (١٦) در تحقیق خود شاخص فرسایندگی دو مدل USLE و USLEM را در پیش‌بینی فرسایش خاک مؤثر دانسته، ولی ابراز داشتند که کارایی شاخص فرسایندگی مدل USLE نسبت به USLEM هنگامی که میزان نفوذ آب باران به خاک افزایش می‌یابد، کمتر بوده است. صادقی (٧) با استفاده از مفهوم رگرسیون به تخمین مقادیر رسوب لحظه‌ای و سپس رسوب ناشی از رگبارها در ایستگاه کمرخانی در حوزه آبخیز امامه و زرین‌دخت در استان‌های تهران و چهارمحال و بختیاری پرداخت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که رابطه توانی بین رواناب و رسوب معلق، بیش‌ترین میزان سازگاری را با مجموعه نقاط داده‌ها ارائه کرده و استناد به آن در تهیه رسوب نگارها و سپس تخمین رسوب ناشی از رگبار ها توصیه شده است. صادقی (٩) در حوزه آبخیز امامه در پژوهشی با موضوع ارزیابی مقادیر عوامل فرسایندگی برخی از نسخ معادله جهانی فرسایش خاک (AOF،USLE،USLEM،USLE-Eو Hudson) ضمن بیان وجود اختلاف معنی‌دار بین روش‌های مورد بررسی در برآورد مقادیر عامل فرسایندگی، بر عدم وجود ارتباط معنی‌دار بین عامل فرسایندگی هر یک از روش‌ها و مقادیر رسوب مشاهداتی تاکید نمود. غلامی(١١) در حوزه آبخیز قشلاق استان کردستان نسبت به بررسی همبستگی عامل شدت بارندگی در پایه های زمانی مختلف با تولید رسوب پرداخت و این گونه بیان نمود که حداکثر همبستگی به ترتیب بین شدت‌های ٦٠ و ٢٠ دقیقه‌ای بوده و با توجه به روابط رگرسیونی نهایتاً استفاده از شدت های ٢٠ دقیقه‌ای را برای حوزه آبخیز مورد مطالعه پیشنهاد داد. واعظی و همکاران (١٢) ضمن ارزیابی شاخص فرسایندگی نسخ مختلف معادله جهانی فرسایش خاک در خاک‌های نیمه خشک جنوب استان آذربایجان شرقی، شاخص فرسایندگی مدل USLEM را به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای برآورد رواناب و شاخص فرسایندگی مدل USLE را مناسب‌ترین شاخص برای پیش‌بینی هدررفت خاک معرفی نموده‌اند. یافتن شاخص فرسایندگی مناسب، می‌تواند در پیش‌بینی مطمئن هدررفت خاک در رخدادهای باران مؤثر می‌باشد. شاخص‌های فرسایندگی نسخ مختلف معادله جهانی فرسایش خاک به‌طور گسترده‌ای برای برآورد هدررفت خاک استفاده می‌شوند(١٢). از آنجا که تا کنون مطالعات گسترده برای ارزیابی شاخص‌های فرسایندگی نسخ مختلف و تعیین شاخص مناسب برای پیش‌بینی فرسایش خاک در مناطق نیمه خشک انجام نشده است، بدین منظور پژوهش حاضر با استفاده

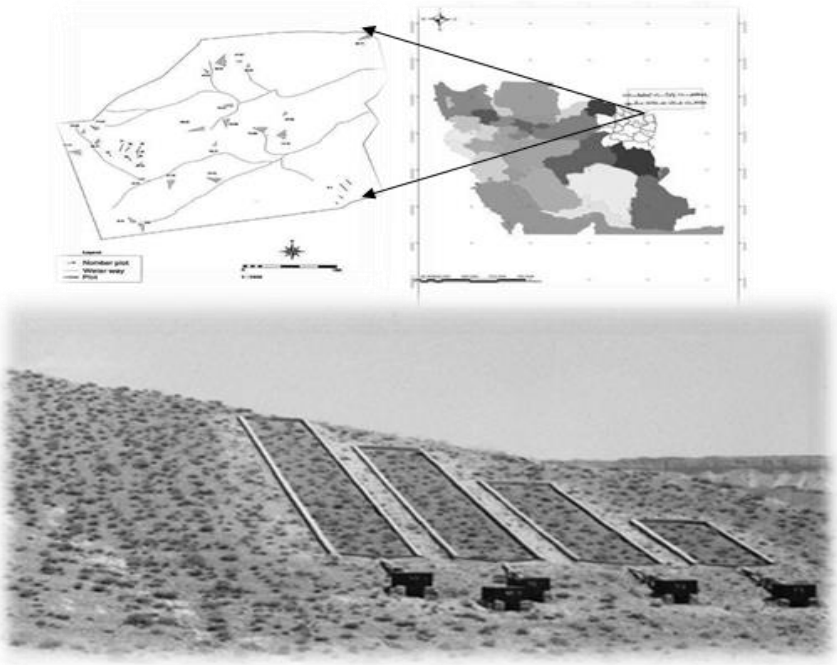
1. Williams, J.R
2. Kinnell, P. I. A., & Risse, L. M.

از مقادیر بارش و رسوب اندازه‌گیری شده پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مشهد و با هدف شناسایی شاخصی مناسب برای برآورد فرسایش خاک در مناطق نیمه خشک شمال شرق کشور انجام گرفت.
انجام شد.

۲- مواد و روش

۲- ۱- منطقه مورد مطالعه

عرصه مورد مطالعه در بخشی از مراتع شرقی حوزه کپه داغ در استان خراسان رضوی در ۱۰۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان مشهد با موقعیت جغرافیایی ٥٤ درجه و ۱۳ دقیقه و ۵۳ ثانیه طول شرقی و ٣٦ درجه و ٤١ دقیقه و ۱۷ ثانیه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا حدود ۷۰۰ متر، متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۷ میلی‌متر و اقلیم منطقه به روش دومارتن، نیمه خشک می‌باشد. ساختمان افق سطحی خاک عمدتاً دانه‌ای ریز و خیلی ریز، ضعیف تا متوسط می‌باشد که گاها ساختمان ورقه‌ای نیز مشاهده می‌گردد. پایداری خاک در حالت خشک سست و در حالت مرطوب شکننده و در وضعیت خیس چسبنده و شکل‌پذیر می‌باشد. بافت خاک سطحی لوم شنی و تیپ پوشش گیاهی غالب عرصه درمنه – پوا می‌باشد (۵).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲- ۲- روش

برای ارزیابی شاخص فرسایندگی مدل USLE و برخی از نسخ آن شامل[3] AUSLE، [4]MUSLE- AOF,[5]MUSLE-E, MUSLT[7]،S٦[6] مقدار فرسایش خاک در هر پلات با استفاده از حجم و غلظت رواناب و رسوب تولیدی هر پلات که بعد از هر بار وقوع بارندگی ثبت شده بودند، برآورد گردید. عرض پلات‌های احداثی ۲ متر، طول آنها ۲۱ متر و شیب طولی آنها بین ۱۰ تا ۱۵ درصد (نزدیک به پلات استاندارد) در نظر گرفته‌شده است. در انتهای هر پلات تأسیسات جمع‌آوری رواناب و رسوب حاصل از سطح پلات، نصب گردیده است. این تأسیسات شامل مخزن و قیف جمع‌آوری و هدایت رواناب حاوی رسوب به مخزن می‌باشد. حجم مخازن ۲۲۰ لیتر در نظر گرفته‌شده است. اندازه‌گیری و نمونه‌برداری از رواناب و رسوب پلات‌های احداث شده در داخل عرصه، از سال ۱۳۸۵ و با استفاده از نیروی آموزش دیده آغاز شد، به نحوی‌که پس از هر نوبت بارندگی ارتفاع رواناب جمع آوری شده در مخزن هر کرت در 5 نقطه (چهارگوش و مرکز) به وسیله خط کش استاندارد اندازه گیری و در فرم های از پیش تهیه شده یادداشت و سپس حجم رواناب برای هر کرت تعیین شده است .برای تعیین غلظت، از رواناب محتوی رسوب هر مخزن پس از به هم زدن، از طریق شیر تخلیه کف مخازن، نمونه برداری شده و غلظت هر نمونه نیز بر حسب میلی گرم در لیتر تعیین گردید. (۵). در این پژوهش از میان کلیه داده‌های ثبت شده با توجه به دقّت ابزار اندازه گیری، مقدار بارش و رسوب ناشی از آن و مهارت افراد مرتبط با اندازه گیری ، تعداد ۲۰ مورد بارش مناسب که منجر به تولید رواناب و رسوب شده بودند انتخاب گردید. در مرحله بعد در هر یک از پلات‌های مورد بررسی نسبت به تعیین پارامترهای معادله جهانی فرسایش خاک اقدام شد.

جدول ۱: خصوصیات رگبارهای منتخب تحقیق در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه-مشهد

خصوصیات رگبار				خصوصیات رگبار			
ردیف	تاریخ	نیم‌ساعته (میلی‌متر / حداکثر شدت	شدت متوسط (میلی‌متر در ساعت)	ردیف	مقدار (میلی‌متر)	تاریخ	نیم‌ساعته (میلی‌متر / حداکثر شدت	شدت متوسط (میلی‌متر در ساعت)	مقدار (میلی‌متر)
۱	۸۵/۸/۲۵	۵/۲	۱/۰۳	۱۱	۹/۲	۸٦/۹/۲۹	۲/۸	۰/٤۵	۲/٤
۲	۸۵/۹/۲۸	٦/٤	۲/٤	۱۲	۷	۸۷/۲/۱۵	۳۰/۸۷	۳۰/۸۷	٦/٦
۳	۸۵/۱۰/۱۱	۵/٦	۰/۷۹	۱۳	۱٦/۲	۸۷/۱۱/۲٤	٤	۱/۱	٤/٤
٤	۸۵/۱۱/۳۰	۳/٦	۰/٤۲	۱٤	۱۲/٦	۸۷/۱۲/۱۲	۳/٦	۰/٦	۸/۸
۵	۸۵/۱۲/۸	۱/۲	۰/۳۷	۱۵	۱	۸۷/۱۲/۱۵	٤	۰/۷	۱۳/٦
٦	۸۵/۱۲/۲٦	٦/۸	۰/۵٦	۱٦	۱۲/٤	۸۸/۱/۵	۳/٦	۱/۵	۹/۸
۷	۸٦/۱/۳	٤/۱	۳/۷۷	۱۷	٤/٤	۸۸/۱/۱۱	۳/۲	۲	۹/۲
۸	۸٦/۱/۸	٤/۷	۱/۱۳	۱۸	۵۱	۸۸/۱/۱۷	۲/٤	۱/۳	٦/۸
۹	۸٦/۱/۱۰	٤	۰/۸۱	۱۹	۱۷	۸۸/۱/۳۱	۱۳/٦	٦/۹	۹
۱۰	۸٦/۹/۲٦	۲	۰/۵٤	۲۰	۱٤/۲	۸۸/۲/۲۲	۱۱/۲	٦/۲	٦/٤

معادله جهانی فرسایش خاک و تعیین پارامترهای آن:

[3] Adopted USLE
4 Onstad and Foster Model
5 Modified Universal Soil Loss Equation for soil erosion
6 Universal Soil Loss Equation for sediment yield
7 Modified Universal Soil Loss Equation Theoretical

معادله جهانی فرسایش خاک روشی است که بطور گسترده در سرتاسر جهان برای پیش‌بینی مقادیر بلند مدت فرسایش شیاری و بین‌شیاری در مزارع یا واحدهای در حد مزارع با عملیات مختلف مدیریتی مورد استفاده قرار گرفته است (۱۹). ویشمایر و اسمیت در سال ۱۹٦۵، معادله جهانی فرسایش خاک را بر مبنای داده‌های مربوط به تعداد زیادی پلات آزمایشی در شرایط شرق و مرکز ایالات متحده تنظیم کرده‌اند، ولی معادله جهانی فرسایش خاک توسعه یافته و در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است (۱۷).

$$A = R.K.L.S.C.P$$ رابطه(۱)

که در این رابطه:

A: میزان خاک فرسایش یافته (تن در هکتار در سال)

K: شاخص فرسایش پذیری خاک:

مقدار خاکی که بطور ذاتی در معرض فرسایش می‌باشد را اندازه‌گیری می‌کند. این برابر با میزان فرسایش در هر واحد از شاخص فرسایش برای هر خاک مخصوص در اراضی زراعی و شخم خورده می‌باشد که تا شیب‌های ۹٪ و طول شیب ۲۲/۱ متر ادامه پیدا می‌کند (۱۰). در این تحقیق با توجه به نمونه برداری‌های صورت گرفته از خاک پلات‌های مورد بررسی و استخراج اطلاعات بدست آمده شامل درصد سیلت و شن خیلی ریز، درصد شن، ماده آلی، کلاس ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک، مقادیر K با توجه به نموگراف Wishmeir & Smith(1978) تعیین گردید.

LS: (شاخص توپوگرافی): در تمامی نسخ مورد بررسی معادله جهانی فرسایش خاک به‌جزء روش AUSLE از طریق رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.1}\right)^{m} \left(0.065 + 0.045S + 0.006S^{2}\right)$$ رابطه (۲)

و در روش AUSLE

$$LS_{AUSLE} = \left(\frac{As}{22.13}\right)0.4\left(\frac{\sin\alpha}{0.896}\right)1.3$$ رابطه (۳)

C: شاخص مدیریت کشت:

عبارت است از فرسایش حاصل در زمینی با پوشش گیاهی مشخص نسبت به مقدار فرسایش در شرایط پوشش و مدیریت کرت استاندارد (۲). در این تحقیق با توجه به وضعیت پوشش گیاهی، درصد لاشبرگ و سنگ‌ریزه در هر پلات و زمان بارش، مقدار شاخص C برابر با ۰/۲ تعیین شد.

P: شاخص شیوه کنترل فرسایش:

این شاخص تأثیر عملیات حفاظتی مانند کنتور فارو، کشت ردیفی و تراس‌بندی را در میزان فرسایش نشان می‌دهد. در صورتی‌که هیچ‌گونه عملیات حفاظتی صورت نگیرد p=۱، اگر عملیات حفاظتی سکوبندی انجام شود p=۰/۵، اگر کشت در روی خطوط تراز صورت گیرد p=۰/۸ و درصورت کشت نواری، p=۰/٤ در نظر گرفته می‌شود (۲). با توجه به عدم انجام هر گونه عملیات حفاظتی در پلات‌های آزمایشی این تحقیق این مقدار در تمامی پلات‌های آزمایشی برابر یک در نظر گرفته شد.

R: شاخص فرسایندگی باران:

چنانچه فرسایش در یک منطقه مشخص و با شرایط یکسان توپوگرافی، پوشش گیاهی، خاک و کاربری اراضی در رگبارهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد، تنها شاخص متغیّر در برآورد مقدار هدررفت خاک، شاخص فرسایندگی بارش خواهد بود. این شاخص بیانگر توانایی بالقوه رگبار در فرسایش خاک در امتداد شیب‌ها می‌باشد و از روابط زیر محاسبه می‌گردد (۱۲).

$$R_{USLE} = \frac{EI_{30}}{100}$$ رابطه (٤)

رابطه (۵) $R_{MUSLE-S} = 11.8(Q.q_p)0.56$

رابطه (٦) $R_{AOF} = 0.646E + 0.45(Q.q_p)0.33$

رابطه (۷) $R_{MUSLT} = 2.5(Q.q_p)0.5$

رابطه (۸) $R_{MUSLE-E} = 1.586(Q.q_p)0.56(D_A)0.12$

رابطه (۹) $R_{USLE-M} = Q_R.EI_{30}$

که در این روابط:

Q_R: ضریب رواناب، E: انرژی جنبشی رگبار (سانتی‌متر بر ساعت)، I_{30}: حداکثر شدت نیم ساعته بارش (سانتی‌متر بر ساعت) ، q_P: دبی اوج رواناب (متر مکعب بر ثانیه)، Q: حجم رواناب (متر مکعب)، q_O: دبی اوج رواناب (متر مکعب بر ثانیه)، DA: مساحت منطقه زهکشی (هکتار) می‌باشند.

با توجه به ابعاد کوچک پلات‌های آزمایشی تحقیق، مقدار رسوب اندازه‌گیری شده با مقدار فرسایش در هر پلات یکسان فرض می‌گردد (۸) و از آنجا که تنها شاخص متغیر در برآورد مقدار هدررفت خاک، در شرایطی که فرسایش در یک خاک مشخص در رگبارهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد، شاخص فرسایندگی باران می‌باشد، نسبت به بررسی همبستگی مقادیر رسوب مشاهداتی با شاخص فرسایندگی مدل‌های مختلف و خصوصیات مختلف بارش و رواناب با روش همبستگی پیرسون و آزمون تجزیه و تحلیل واریانس در محیط نرم افزارهای SPSS و EXCEL صورت پذیرفت.

۳- یافته‌ها (نتایج)

دقّت در ساختار معادله جهانی فرسایش خاک و نسخ مختلف آن و بررسی عوامل تأثیر گذار بر مقادیر برآوردی این روش‌ها، نشان می‌دهد که در شرایط تحقیق (پلات‌ها دارای خصوصیات یکسان می‌باشند)، تنها شاخص متغیر شاخص فرسایندگی (R) است. از طرف دیگر بررسی معادلات محاسبه شاخص فرسایندگی (R) نشان می‌دهد که روش‌های مورد بررسی در این تحقیق به دو دسته کلی تقسیم می شوند: یک دسته روش‌هایی که در محاسبه شاخص فرسایندگی از خصوصیات رواناب شامل حجم رواناب، دبی پیک و ضریب رواناب استفاده می‌نمایند و دسته دیگر روش‌هایی هستند که در این محاسبات یا فقط از فاکتورهای بارش استفاده نموده‌اند یا ترکیبی از فاکتورهای بارش و رواناب در معادلات به کار برده‌اند.

برای بررسی دقّت معادله جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخ آن، مقدار رسوب اندازه گیری شده ناشی از ۲۰ مورد رگبار در فاصله سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ در ۳ پلات با خصوصیات یکسان در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه–مشهد با مقادیر برآوردی نسخ مختلف با انجام آزمون‌های تجزیه و تحلیل واریانس و ماتریس همبستگی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

همچنانکه جدول ۲ نشان می‌دهد مقادیر رسوب برآوردی سه روش AOF (با سطح معنی‌داری۰/۰۰ و۱۱/۷۹=t)، AUSLE (با سطح معنی‌داری ۰/۰۰ و۳٦/۷۰=t) و USLE (با سطح معنی داری ۰/۰۰ و ۵۲/۷٦=t) اختلاف معنی‌داری با مقادیر رسوب مشاهداتی دارند، اما مقادیر برآوردی روش‌های MUSLT (با سطح غیر معنی‌داری ۰/۹۵۹ و ۰/۰۵۱=t)، MUSLE-E (با سطح غیر معنی‌داری ۰/۱۳۲ و ۱/۵۲۹=t)، MUSLE-S (با سطح غیرمعنی‌داری ۰/۱۰۹ و ۱/٦۲۷=t) و USLEM با سطح غیر معنی‌داری ۰/۱٦ و ۱/٤٤=t) با مقادیر رسوب مشاهداتی اختلاف معنی‌داری از خود نشان نمی‌دهند. به‌عبارت دیگر بین میانگین مقادیر برآوردی این روش‌ها و مقادیر رسوب مشاهداتی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و این روش‌ها قادر به برآوردهای قابل قبول از رسوب مشاهداتی در منطقه مورد بررسی می باشند، این نتایج با نتایج صادقی(۷)، رضایی‌فر و همکاران (٤) و خواجه‌ای و همکاران (۳) مطابقت دارد.

جدول ۲: خلاصه نتایج آزمون آنالیز واریانس بین رسوب مشاهداتی با مقادیر برآوردی نسخ مختلف (یافته‌های تحقیق)

		تفاوت مقایسه ها				t	درجه آزادی	سطح معنی داری
		میانگین	انحراف از معیار استاندارد	میانگین خطای استاندارد	اختلاف در برآورد با سطح اطمینان ۹۵٪ حد پائین	اختلاف در برآورد با سطح اطمینان ۹۵٪ حد بالا			
رسوب مشاهداتی	USLE	٤١/١٦	٥/٨٩	٠/٧٨	٣٩/٦	٤٢/٧٣	٥٢/٨	٥٦	٠/٠٠٠**
	MUSLT	−٠/٠٢	٢/٤٥	٠/٣٢	−٠/٦٧	٠/٦٣	−٠/١	٥٦	٠/٩٦ns
	MUSLEE	٢/٨٢	١٣/٩١	١/٨٤	−٠/٨٧	٦/٥١	١/٥٣	٥٦	٠/١٣ns
	MUSLES	٤/٧٥	٢٢/٠٤	٢/٩٢	−١/١	١٠/٦	١/٦٣	٥٦	٠/١١ns
	USLEM	٣٥٢٩٣/٩	١٨٥١٢٩/٠٩	٢٤٥٢٠/٩٥	−١٣٨٢٧/٤٦	٨٤٤١٥/٣	١/٤٤	٥٦	٠/١٦ns
	AOF	٦٣٤٤/٢٦	٤٠٦٠/٧٩	٥٣٧/٨٦	٥٢٦٦/٧٩	٧٤٢١/٧٣	١١/٨	٥٦	٠/٠٠٠**
	AUSLE	١٤/٣١	٢/٩٤	٠/٣٩	١٣/٥٣	١٥/٠٩	٣٦/٧	٥٦	٠/٠٠٠**

ns : عدم معنی‌داری *: معنی‌داری با سطح اعتماد ۵درصد **: معنی‌داری با سطح اعتماد یک درصد

در جدول ۳ نتایج ماتریس همبستگی بین مقادیر رسوب مشاهداتی و مقادیر برآوردی نسخ مختلف گویای آن است که در بین روش‌های مورد بررسی در این تحقیق، مقادیر برآوردی روش‌های MUSLE-S،MUSLE-E و MUSLT بدلیل تشابه ساختاری همبستگی یکسانی را با ضریب همبستگی ۰/۵۳۹ نشان می دهند. همچنین AUSLE کم‌ترین همبستگی با ضریب ۰/۰۳۷ را داشته و سپس روش‌های USLE با ضریب ۰/۱۲۵ و روش AOF با ضریب همبستگی ۰/۱۷۸- دارای کم‌ترین همبستگی با رسوب مشاهداتی می باشند.

جدول ۳: ماتریس همبستگی رسوب مشاهداتی با مقادیر برآوردی نسخ مورد بررسی (یافته‌های تحقیق)

	USLE	MUSLT	MUSLEE	MUSLES	USLEM	AOF	AUSLE	رسوب مشاهداتی
USLE	١							
MUSLT	٠/١١٤	١						
MUSLEE	٠/١١٤	١**	١					
MUSLES	٠/١١٤	١**	١**	١				
USLEM	٠/١٠٠	٠/٩٢٠**	٠/٩٢٠**	٠/٩٢٠**	١			
AOF	−٠/٤٢٠**	-٠/٠٧١	-٠/٠٧١	-٠/٠٧١	٠	١		
AUSLE	٠/٩٢٤**	٠/٠٢٩	٠/٠٢٩	٠/٠٢٩.	-٠/٠٥٣	-٠/٣٧٢**	١	
رسوب مشاهداتی	٠/٥٢١	٠/٥٣٩**	٠/٥٣٩**	٠/٥٣٩**	٠/٦١٢.**	٠/١٧٨	٠/٠٣٧	١

ns : عدم معنی‌داری *: معنی‌داری با سطح اعتماد ۵درصد **: معنی‌داری با سطح اعتماد یک درصد

در مرحله بعد نسبت به بررسی همبستگی رسوب مشاهداتی با شاخص فرسایندگی هر یک از مدل‌ها اقدام و تأثیر خصوصیات بارش و رواناب بر میزان همبستگی رسوب مشاهداتی با مقادیر رسوب برآوردی هر یک از نسخ اقدام شد. بمنظور بررسی تأثیر شاخص فرسایندگی مدل‌های مختلف برروی مقادیر رسوب برآوردی، همبستگی بین رسوب مشاهداتی و شاخص فرسایندگی مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفت . نتایج بررسی نشان می‌دهد، رسوب مشاهداتی به ترتیب با شاخص فرسایندگی مدل‌های USLEM با ضریب همبستگی ۰/٦۰۸ و MUSLE-E، MUSLE-S و MUSLT با ضریب مشترک (۰/٥٤۱) دارای بیش‌ترین همبستگی معنی‌دار با سطح اطمینان ۹۹٪ می‌باشد. با توجه به آنکه شاخص فرسایندگی مدل AUSLE کاملا مشابه مدل USLE است، در هر دو مدل، همبستگی ضعیفی بین شاخص فرسایندگی و رسوب مشاهداتی برقرار می‌باشد، در ماتریس همبستگی حذف شده است. مقادیر روش AOF با رسوب مشاهداتی فاقد همبستگی معنی‌دار (ضریب همبستگی ۰/۰۲۱) می‌باشند.

دقّت در ساختار معادله معادله جهانی فرسایش خاک و نسخ مختلف آن از یک سو و بررسی عوامل تأثیر گذار در شاخص فرسایندگی هر یک از مدل‌ها از سوی دیگر نقش خصوصیات بارش و رواناب را در تعیین میزان رسوب برآوردی مدل‌ها روشن می‌سازد. برای برآورد آسان فرسایش خاک رگبارهای مختلف، رابطه بین فرسایش خاک با خصوصیات بارش و رواناب نیز مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ٤: ماتریس همبستگی رسوب مشاهداتی با شاخص فرسایندگی نسخ مورد بررسی (یافته‌های تحقیق)

	رسوب مشاهداتی	R_{USLE}	R_{MUSLT}	R_{MUSLEE}	R_{MUSLES}	R_{USLEM}	R_{AOF}
رسوب مشاهداتی	۱	۰/۲٦۳*	۰/٥٤۱**	۰/٥٤۱**	۰/٥٤۱**	۰/٦۰۸**	-۰/۲۱
R_{USLE}		۱	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰	۰/۸٥٥**
R_{MUSLT}			۱	۱**	۱**	۰/۹۱٤**	-۰/۱۱
R_{MUSLEE}				۱	۱**	۰/۹۱٤**	-۰/۱۱
R_{MUSLES}					۱	۰/۹۱٤**	-۰/۱۱
R_{USLEM}						۱	-۰/۰٤
R_{AOF}							۱

ns : عدم معنی‌داری *: معنی‌داری با سطح اعتماد ۵درصد **: معنی‌داری با سطح اعتماد یک درصد

دقّت در ماتریس همبستگی رسوب مشاهداتی و خصوصیات بارش و رواناب، گویای آن است که بیش‌ترین همبستگی معنی‌دار رسوب مشاهداتی به ترتیب با دو مشخصه ضریب رواناب و حجم رواناب با ضرایب ۰/٥۹٦ ,۰/٦۹۱ می باشد و سایر خصوصیات بارش و رواناب همبستگی معنی‌داری با رسوب مشاهداتی از خود نشان نمی‌دهند.

طبق جدول ۳ بین رسوب برآوردی مدل‌های USLE-M، MUSLE-E،MUSLE-S و MUSLT با رسوب مشاهداتی همبستگی معنی‌دار وجود دارد. توجه به ساختار معادله شاخص فرسایندگی مدل‌های مذکور نشان می‌دهد در تمامی این مدل‌ها از برخی از خصوصیات رواناب (حجم رواناب و دبی پیک رواناب) برای تعیین شاخص فرسایندگی استفاده نموده اند. از طرف دیگر و با دقّت در ساختار معادله شاخص فرسایندگی مدل‌های USLE و AUSLE مشخص می‌گردد که این مدل‌ها در محاسبه شاخص

فرسایندگی تنها از خصوصیات بارش (شامل انرژی جنبشی و حداکثر شدت نیم ساعته) استفاده نموده‌اند. طبق جدول ۵ بین رسوب مشاهداتی و خصوصیات بارش همبستگی معنی‌داری وجود ندارد در نتیجه مدل‌هایی که از این پارامترها در ساختار معادله شاخص فرسایندگی خود استفاده کرده‌اند توانایی برآورد مناسب مقدار رسوب را نخواهند داشت. (١٤ و٢٢). همچنین در مدل AOF در تعیین شاخص فرسایندگی ترکیبی از خصوصیات بارش و رواناب (انرژی جنبشی، حجم رواناب و دبی پیک رواناب) استفاده شده است.

جدول ۵: ماتریس همبستگی رسوب مشاهداتی با برخی از خصوصیات بارش و رواناب(یافته‌های تحقیق)

	دبی	ضریب رواناب	دبی حداکثر لحظه ای	مقدار بارندگی	شدت متوسط	EI_{30}	حداکثر شدت نیم ساعته	رسوب مشاهداتی
دبی	۱							
ضریب رواناب	۰/۷۳۲**	۱						
دبی حداکثر لحظه ای	۰/۳۰۱*	۰/۶۰۲**	۱					
مقدار بارندگی	۰/۱۴۱	۰/۱۰۶	-۰/۰۴۷	۱				
شدت متوسط	-۰/۰۳۹	۰/۱۶۵	۰/۶۰۷**	-۰/۱۴	۱			
EI_{30}	۰/۰۷۲	۰/۱۲	۰/۴۲۲**	-۰/۰۹۹	۰/۷۴۱**	۱		
حداکثر شدت نیم ساعته	-۰/۰۳۳	۰/۱۵۲	۰/۵۶۸**	-۰/۰۸	۰/۹۶۲**	۰/۷۷۹**	۱	
رسوب مشاهداتی	۰/۵۹۶**	۰/۶۹۱**	۰/۱۳۹	۰/۰۱۱	۰/۰۴۵	۰/۱۱۶	۰/۱۴	۱

ns : عدم معنی‌داری *: معنی‌داری با سطح اعتماد ۵درصد **: معنی‌داری با سطح اعتماد یک درصد

٤- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به هدف تحقیق حاضر مبنی ارزیابی شاخص فرسایندگی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخ آن اقدام به بررسی رابطه همبستگی رسوب مشاهداتی با شاخص فرسایندگی مدل‌های مختلف از یک طرف و خصوصیات بارش (مقدار، انرژی جنبشی، حداکثر شدت نیم ساعته و شدت متوسط) و رواناب (حجم، دبی پیک و ضریب رواناب) از طرف دیگر و بررسی رابطه همبستگی و اختلاف معنی‌داری مقادیر برآوردی نسخ مختلف مورد بررسی با تفکیک نحوه محاسبه شاخص فرسایندگی از طرف دیگر شد. نتایج تحقیق بیانگر آن است که شاخص فرسایندگی مدل USLEM با ضریب همبستگی ۰/۶۰۸ و سطح معنی‌داری یک درصد بیش‌ترین همبستگی را با رسوب مشاهداتی دارد. در این زمینه واعظی و همکاران (۱۲) و کینل و ریس (١٦) شاخص فرسایندگی مدل‌های USLE و USLEM را به ترتیب به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های برآورد مقدار رسوب معرفی نموده‌اند. از طرف دیگر و برای پیش بینی آسان هدر رفت خاک در منطقه مورد نظر می‌توان از دو مشخصه

رواناب یعنی حجم و ضریب رواناب که دارای همبستگی معنی‌دار با رسوب مشاهداتی می‌باشند، استفاده نمود. نتایج ارائه شده در این تحقیق با نتایج غلامی (۱۱) در حوزه آبخیز قشلاق مبنی بر عدم وجود همبستگی مناسب بین رسوب مشاهداتی با عامل EI_{30} و همچنین نتیجه تحقیق ویلیامز (۲۲) مبنی بر معرفی رواناب به عنوان مناسب‌ترین شاخص ارزیابی رسوب ناشی از رگبارها و همخوانی دارد. همچنین آرنائز و همکاران[8] (۱۵) در تحقیق خود بر این نکته تأکید کردند که بین مقدار هدررفت خاک و رواناب رابطه خطی وجود دارد. اما واعظی و همکاران (۱۲) و همتی و همکاران (۱۳) در کرمانشاه انرژی جنبشی باران را به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای برآورد آسان مقدار هدر رفت خاک، معرفی نموده‌اند. همچنین مقادیر رسوب برآوردی نسخ (MUSLT،MUSLE-E و MUSLE-S) که در محاسبه شاخص فرسایندگی فقط از خصوصیات رواناب استفاده نموده اند، علاوه بر داشتن همبستگی معنی‌دار با رسوب مشاهداتی با این مقادیر اختلاف معنی‌داری نداشته و قادرند فرسایش و رسوب ناشی از رگبار را در شرایط این تحقیق بخوبی برآورد نمایند. از طرف دیگر مدل‌هایی که در محاسبه شاخص فرسایندگی از خصوصیات بارش یا ترکیبی از خصوصیات بارش و رواناب استفاده نموده اند، همبستگی معنی‌داری با مقادیر رسوب مشاهداتی نشان نداده و در برآورد مقدار رسوب در مقیاس رگبار ناکارآمد می‌باشند. نتایج این تحقیق با نتایج اغلب مطالعات انجام شده در ایران و جهان مبنی بر استفاده از مدل‌های MUSLE و MUSLT برای برآورد مقدار رسوب در مقیاس رگبار و استفاده از مدل‌های USLE،AUSLE و AOF برای برآورد مقدار سالانه فرسایش مطابقت دارد (۹و۲۰).

فهرست منابع

۱. اسمعلی، ا.، عابدینی، م. ۱۳۸۸. برآورد مقدار فرسایش خاک با استفاده از مدلهای مختلف تجربی به منظور تعیین کارائی و دقت آنها در حوزه آبخیز پل الماسی اردبیل. چهارمین کنفرانس ملی مدیریت حوزه های آبخیز و توسعه آب و خاک، کرمان: ۲۵۲-۲۳۹.

۲. اسمعلی، ا.، عبدالهی، خ. ۱۳۸۹. آبخیزداری و حفاظت خاک، انتشارات محقق اردبیلی.

۳. خواجه ای، ا.، بروشکه، ا.، سکوتی اسکویی، ر.، عربخدری، م . ۱۳۸۰ . بررسی قابلیت کاربرد مدل تجربی رسوب حاصل از رگبارهای منفرد و رسوب سالانه درحوزه آبخیز شهر چای. همایش ملی مدیریت اراضی،فرسایش خاک توسعه پایدار، اراک: ٤٣٦- ٤٤٦ .

٤. رضایی فر، م.، تلوری، ع.ر.، عرب خدری، م. ۱۳۸۰. بررسی کارایی مدل USLE در برآورد رسوب رویدادهای منفرد در زیر حوضچه افچه در حوزه لتیان، همایش ملی مدیریت اراضی فرسایش خاک و توسعه پایدار، اراک،۲ – ٤ بهمن، صفحات ۵٤۲-۵۳٤.

۵. رنگ آور، ع.، غفوریان، ر.، انگشتری، ح؛ و علی گزانچیان.۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح تحقیق و بررسی در زمینه عوامل فرسایش خاک مراتع استان خراسان، وزارت جهاد کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۲۲٦ ص.

٦. شاهویی، س.ص. ۱۳۷۱. رابطه میزان فرسایش با عوامل موثر در طول یک رگبارش. گزیده مقالات سومین کنگره علوم خاک ایران: ٤۱ – ۵٦ .

8. Arnaez, J. et all

۷. صادقی، س. ح. ر. ۱۳۸٤. مقایسه برخی از روش‌های برآورد فرسایندگی باران، مجله علوم و صنایع کشاورزی، (۱)۱۹,٤٥-۵۲.

۸. صادقی، س.ح.ر، پورقاسمی، م.، محمدپور، ح.، آقارضی، ح. ۱۳۸۷ . ارزیابی دقت و کارایی رابطه جهانی فرسایش و برخی از نسخ آن در برآورد رسوب رگبارهای منفرد(مطالعه موردی:ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسبیجان،اراک)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال (۱۲) شماره ٤٦ (الف): ۳۲۳-۳۳٤ .

۹. صادقی، س.ح.ر، توفیقی، ب. ۱۳۸۲. کاربرد مدل زمان-مساحت در تهیه منحنی سنجش رسوب (مطالعه خان میرزا در حوزه آبخیز کارون)، پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر،۱(۱):٥٤-٦٦.

۱۰. طالب‌بیدختی، ن.، شاهویی، س.، بهنیا، ع. ا.، بهبودی، ف.، صادقی، س. ح. ر.، ملک، ع.، شریفی، ف. ۱۳۸۲. فرهنگ تخصصی فرسایش و رسوب،کمیته فرسایش و رسوب.

۱۱. غلامی، ل. ۱۳۸٦. تهیّه مدل برآورد تولید رسوب رگبارها در بخشی از حوزه آبخیز قشلاق استان کردستان. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری. دانشگاه تربیت مدرس.

۱۲. واعظی، ع.ر.، بهرامی، ح.ع.، صادقی، س.ح.ر.، مهدیان، م.ح. ارزیابی شاخص های فرسایندگی مدلهای USLE،MUSLE، RUSLE و USLE-M در خاک‌های ناحیه‌ای نیمه‌خشک در جنوب استان آذربایجان شرقی، مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوم، شماره ٤، پاییز ۱۳۸۷، صفحات ۲۵ الی ۳۷.

۱۳. همتی، م.، احمدی، ح.، نیک‌نامی، د.، زهتابیان، غ.ر. ۱۳۸٦. تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های فرسایندگی در اقلیم نیمه خشک سرد در ایران(مطالعه موردی: پایگاه حفاظت خاک کبودعلیا- کرمانشاه). چهارمین همایش علوم مهندسی و مدیریت آبخیز، تهران، ایران، ۱۵۷-۱۵۸.

14. Amore, E., Modica, C., Nearing, M. A., & Santoro, V. C. (2004). Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. Journal of Hydrology, 293(1), 100-114.

15. Arnaez, J., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, P., & Ortigosa, L. (2007). Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. Soil and Tillage Research, 93(2), 324-334.

16. Kinnell, P. I. A., & Risse, L. M. (1998). USLE-M: empirical modeling rainfall erosion through runoff and sediment concentration. Soil Science Society of America Journal, 62(6), 1667-1672.

17. Morris, G. L., & Fan, J. (1998). Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. McGraw Hill Professional.

18. Nearing, M. A. (1998). Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses. Catena, 32(1), 15-22.

19. Olivares, B., Verbist, K., Lobo, D., Vargas, R., & Silva, O. (2011). Evaluation of the USLE model to estimate water erosion in an Alfisol. Journal of soil science and plant nutrition, 11(2), 72-85.

20. Sadeghi, S. H. R., Singh, J. K., & Das, G. (2004). Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction: a case study. International Agricultural Engineering Journal, 13(1), 1-14.

21. Williams, J. R., & Berndt, H. D. (1977). Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Transactions of the ASAE [American Society of Agricultural Engineers].

22. Williams, J.R. (2010). Sediment-yield Prediction with Universal Equation Using Runoff Energy Factor. Present and Prospective Technology for Prediction Sediment Yield and Sources, ARS-S-40, US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 244-252.

23. Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning.

24. Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1965). Predicting Rainfall-Erosion Losses, from Cropland East of the Rocky Mountains. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 282, 48 p.

Hormozgan University

Environmental Erosion Research

journal homepage: http://magazine.hormozgan.ac.ir

Evaluation of Erosivity factor in USLE Versions in semi-arid regions of Khorasan

Rahmaty, S. [1*], Javadi, M.[1], Rangavar, A. S.[2]

[1] Natural Resources Department, Islamic Azad University, Nour Branch*
[2] Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi

Article History:
Received:
July 06, 2015
Revised:
February 18, 2016
Accepted:
April 19, 2016

Keywords:
Experimental Plot, Erosivity Index, Correlation, Characteristics of rainfall

Abstract

Universal soil loss Equation is One of the ways is widely used to estimate erosion, in which the absence of long term data. Effective force in the development of various forms of erosion is the power erosivity of runoff and rainfall and are expressed in erosivity index. This study aimed to evaluate the erosivity Index of soil loss equation and its versions that storm-scale. Run-off and sediment from 20 Storm in experimental plots occurred in three consecutive years (length 20 m, width 2 m and pasture) Sanganeh soil conservation site in semi-arid regions of Khorasan Mashhad as reagents for analysis of was used erosivity index values were calculated using. The results show that the estimated obtained from MUSLT, MUSLE-E, MUSLE-S and USLEM methods have significant correlation with the observed sediment and the modeling procedure in these methods is logical than others The results indicate that erosion index of USLEM model with correlation 0.608 for the prediction of storm-scale erosion is most suitable index. The two characteristics of runoff coefficient (r =0.691 and p <001/0) and (r =0.596 and p <001/0) is acceptable for soil loss easy estimation in the comfortable area. Other considered methods) USLE ، AOF & AUSLE) estimate non-reasonable sediment values.

*** Corresponding Author Email: saidrahmaty@yahoo.com**