نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره چهارم، ۱۳۹۳
http://jwsc.gau.ac.ir

ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های USLE، MUSLE-E، MUSLE-S و AOF در برآورد مقدار فرسایش تک‌رخداد بارشی (مطالعه موردی: پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مشهد)

***سعید رحمتی[۱]، محمدرضا جوادی‌طبالوندانی[۱]، عبدالصالح رنگ‌آور[۲] و محمد فرامرز[۳]**

[۱]استادیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور، [۲]استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، [۳]دانشجوی دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/٤/۱٤

چکیده

برای فائق آمدن بر مشکل نبود آمار مناسب در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب، مدل‌های فرسایش خاک بسیاری توسعه‌یافته و به‌عنوان ابزاری مورد قبول در مطالعات فرسایش خاک به‌کار گرفته شده‌اند. معادله جهانی فرسایش خاک یکی از قدیمی‌ترین مدل‌های تجربی برآورد فرسایش می‌باشد، که به‌طور متناوب به‌کار رفته است. در این پژوهش، دقت معادله جهانی فرسایش خاک و برخی نسخ آن شامل MUSLE-E، MUSLE-S و AOF در مناطق نیمه‌خشک خراسان در مقیاس تک‌رخداد بارش ارزیابی شد. به این منظور در کرت‌های آزمایشی پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه- مشهد به‌عنوان معرف مناطق نیمه‌خشک خراسان نسبت به اندازه‌گیری رسوب ناشی از ۲۰ تک‌رخداد بارشی اقدام گردید. سپس نسبت به برآورد مقدار فرسایش هر تک‌رخداد بارشی با استفاده از نسخ منتخب معادله جهانی اقدام و این نتایج با مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده، مقایسه شده و در نهایت کارایی و دقت مدل‌های نام‌برده، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی در کرت‌های به طول ۲۰ متر نشانگر ارتباط آماری و همبستگی معنی‌دار (ضریب همبستگی ۰/۵۳۹) مقادیر برآوردی روش‌های MUSLE-E و MUSLE-S با رسوب مشاهداتی می‌باشد. همچنین با توجه به نبود اختلاف معنی‌دار بین نتایج این دو مدل و رسوب مشاهداتی (t MUSLE-S=۱/٦۳ و t MUSLE-E=۱/۵۳) از یک

* مسئول مکاتبه: saidrahmaty@yahoo.com

طرف و مقادیر کم‌تر آماره RRMSE از طرف دیگر، کارایی این دو مدل در برآورد مقدار فرسایش نسبت به سایر مدل‌ها بیش‌تر می‌باشد. مدل‌های AOF و USLE به‌دلیل نبود همبستگی مناسب قادر به برآورد مناسب رسوب مشاهداتی نمی‌باشند.

واژه‌های کلیدی: برآورد فرسایش و رسوب، مدل‌های تجربی، کرت‌های آزمایشی، مناطق نیمه‌خشک، خراسان رضوی

مقدمه

امروزه فرسایش خاک تشدیدی به‌عنوان خطری جدی برای رفاه انسان و حتی برای حیات او به‌شمار می‌رود. در مناطقی که فرسایش کنترل نمی‌شود، خاک‌ها به‌تدریج فرسایش یافته و حاصلخیزی خود را از دست می‌دهند (نیرینگ، ۱۹۹۸).

فرسایش نه تنها سبب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌گردد و از این راه خسارت‌های زیاد و جبران‌ناپذیری را به جا می‌گذارد، بلکه با رسوب مواد در آبراهه‌ها، مخازن سدها، بندرها و کاهش ظرفیت آبگیری آن‌ها نیز زیان‌های فراوانی را سبب می‌گردد. معادله‌های تجربی برآورد فرسایش با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از مناطق جغرافیایی خاص گسترش داده شده و کارکرد این معادله‌ها به مناطقی که اطلاعات پایه مشابه دارند محدود می‌شود. بنابراین برای استفاده از این معادله‌ها در سایر نقاط دنیا نیاز به بررسی دقت و کارایی مدل‌های نام‌برده وجود دارد (موریس و فان، ۱۹۹۸). معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) روشی است که توسط ویشمایر و اسمیت بر پایه آنالیزهای آماری اطلاعات از ٤۷ منطقه در ۲٤ ایالت در مرکز و شرق ایالات متحده توسعه یافته و به‌طور گسترده در سرتاسر جهان برای پیش‌بینی مقادیر طولانی‌مدت فرسایش شیاری و بین‌شیاری مورد استفاده قرار گرفته است (اسمعلی و عبداللهی، ۲۰۱۰).

کینل و ریس (۱۹۹۸) توانایی مدل USLE را در تخمین رسوب انتقالی طی تک‌رخدادهای بارشی در حوزه آبخیز (Rocky Creek) در استرالیا و در حوزه آبخیز امامه در ایران ناموفق ارزیابی کردند (صادقی و همکاران، ۲۰۰٤).

پونگسای و همکاران (۲۰۱۰)، از طریق اندازه‌گیری رسوب به‌دست آمده از ۱۷ رخداد بارشی در کرت‌های آزمایشی، اقدام به ارزیابی معادله جهانی فرسایش خاک نموده و این‌گونه بیان کردند که هر دو معادله اصلی USLE و معادله بازنگری شده آن توسط دونالد مک‌کول، بار رسوب را در تمامی

شیب‌ها بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌نمایند. اولیوارز و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از اندازه‌گیری رسوب در کرت‌های آزمایشی در ۳ تیمار مرتع طبیعی، خاک شخم‌خورده عنوان نمودند که مدل USLE توانایی نمایان ساختن روند تغییرات داده‌های رسوب را دارد ولی برآوردهای مدل معمولاً کم‌تر از واقعیت می‌باشند.

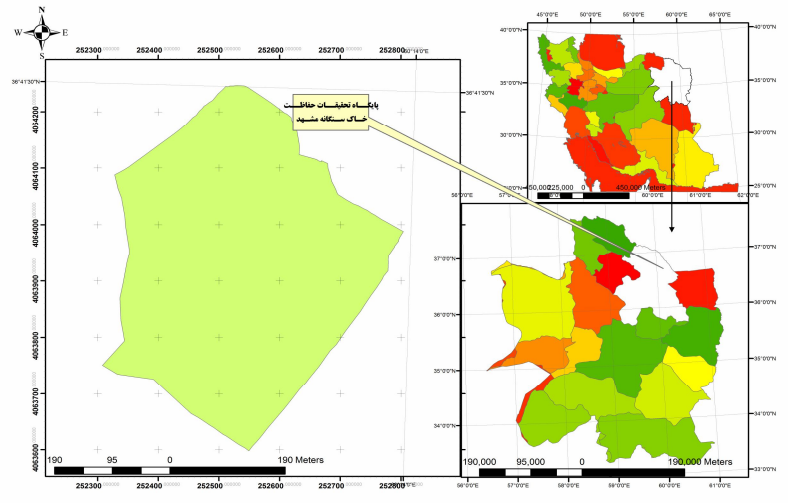
شاهویی (۱۹۹۲) نیز در حوزه آبخیز قشلاق از رابطه جهانی فرسایش خاک برای تخمین میزان رسوب در هر تک‌رخداد بارش استفاده و توانایی نداشتن آن را تأیید نمود. صادقی و همکاران (۲۰۰۸)، میزان کارایی مدل USLE و برخی نسخ آن در کرت استاندارد در مقیاس تک‌رخداد بارش را در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسبیجان- اراک ارزیابی نموده و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های نام‌برده به‌جز مدل MUSLE-E آن هم در کاربری مرتعی، در برآورد رسوب ناشی از تک‌رخدادهای بارشی در تیمارهای مورد مقایسه کارایی نداشته‌اند. اسمعلی و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهش خود از طریق مقایسه مقادیر برآوردی رسوب به‌دست آمده از سطح کل حوزه آبخیز پل الماسی در استان اردبیل به این نتیجه رسیدند که مدل‌های USLE و MUSLE در صورتی که در سطح پیکسل‌ها و سطوح محدود به‌کار گرفته شوند، برآورد قابل‌قبولی از فرسایش سطحی و شیاری را به‌دست می‌دهند، اما نتایج به‌دست آمده از به‌کارگیری آن در سطوح وسیع‌تر به هیچ‌وجه منجر به نتایج درست نمی‌گردد. کارگر (۲۰۱۲) ضمن بررسی کارایی مدل USLE و نسخ مختلف آن (MUSLE-E، MUSLE-S، AUSLE، AOF، MUSLT و USLEM) در رسوب تولیدی تک‌رخدادهای بارشی در کرت‌های استاندارد در حوزه آبخیز جاشلو بار استان سمنان عنوان نموده‌اند که نتایج ۳ مدل MUSLE-S، MUSLT و MUSLE-E برای تخمین رسوب ناشی از تک‌رخدادهای بارشی در مقایسه با سایر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار بوده و سایر مدل‌ها کارایی لازم را ندارند.

در شرایطی که اطلاعات و اندازه‌گیری‌های درازمدت برای منطقه موردنظر در دسترس نباشد، شاید توسعه و بسط داده‌های کوتاه‌مدت ثبت شده در دیگر حوزه‌های آبخیز با خصوصیات زهکشی مشابه برای حوضه مورد نظر امکان‌پذیر باشد. در این راستا مدل‌های تجربی فراوانی توسعه یافته‌اند که عمده آن‌ها بر مدل جهانی فرسایش خاک استوار بوده و تفاوت بسیاری از آن‌ها در محاسبه عوامل موجود در آن از جمله عامل فرسایندگی می‌باشد. همچنین برآورد رسوب تولیدی تک‌رخدادهای بارشی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل پراکنش نامنظم زمانی، مکانی و توان بالای آن‌ها در فرسایش خاک دارای اهمیت بوده و انتخاب مدل نامناسب، تخمین‌های غیرواقعی ارایه می‌دهد. به همین دلیل در این پژوهش سعی شد برخی از نسخ معادله جهانی فرسایش که هر یک به شیوه‌ای خاص مبادرت

به برآورد عامل فرسایندگی نموده‌اند در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مشهد به‌دلیل قابلیت دسترسی به داده‌های اندازه‌گیری شده مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با استفاده از مقادیر بارندگی، رواناب و رسوب اندازه‌گیری شده کرت‌های آزمایشی پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مشهد واقع در شمال‌شرقی ایران صورت پذیرفت. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. پس از هر نوبت بارندگی ارتفاع رواناب جمع‌آوری شده در مخزن هر کرت در ۵ نقطه (چهارگوش و مرکز) به‌وسیله خط‌کش استاندارد اندازه‌گیری و در فرم‌های 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 به‌هم زدن، از طریق شیر تخلیه کف مخازن، نمونه‌برداری شده و غلظت هر نمونه نیز بر حسب میلی‌گرم در لیتر تعیین گردید. در این پژوهش مقدار رسوب به‌دست آمده از هر تک‌رخداد بارش در هر یک از کرت‌ها از سال ۸۸-۱۳۸۵ اندازه‌گیری شد که با توجه به دقت ابزار اندازه‌گیری، مقدار بارش و رسوب ناشی از آن و مهارت افراد مرتبط، مقادیر رسوب به‌دست آمده از ۲۰ تک‌رخداد بارش (جدول ۱) برای ارزیابی دقت نسخ مختلف معادله جهانی فرسایش خاک در برآورد مقدار رسوب در مقیاس تک‌رخداد بارش انتخاب گردید.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان خراسان رضوی.

در مرحله بعد کرت‌هایی که مقادیر رسوب ثبت شده آن‌ها به دلایل خطاهای انسانی یا خطاهای مربوط به دستگاه‌های جمع‌آوری و اندازه‌گیری رواناب و رسوب غیرمنطقی می‌باشد را حذف و در بین کرت‌های باقی‌مانده کرت‌هایی که دارای خصوصیات مشابه می‌باشند در گروه‌های جداگانه تقسیم‌بندی شدند و با توجه به این‌که در کرت‌های آزمایشی کوچک مقدار فرسایش با مقدار رسوب اندازه‌گیری شده برابر فرض می‌گردد (صادقی و همکاران، ۲۰۰۸)، مقادیر برآورد شده فرسایش در هر یک از روش‌ها با مقادیر مشاهداتی کرت‌های متناظر مقایسه گردید.

جدول ۱- خصوصیات تک‌رخدادهای بارش منتخب پژوهش.

خصوصیات تک‌رخداد بارش				خصوصیات تک‌رخداد بارش			
ردیف	تاریخ	حداکثر شدت نیم‌ساعته (میلی‌متر در ساعت)	شدت متوسط (میلی‌متر در ساعت)	مقدار (میلی‌متر)	ردیف	تاریخ	حداکثر شدت نیم‌ساعته (میلی‌متر در ساعت)	شدت متوسط (میلی‌متر در ساعت)	مقدار (میلی‌متر)
۱	۸۵/۸/۲۵	۵/۲	۱/۰۳	۹/۲	۱۱	۸۶/۹/۲۹	۲/۸	۰/٤۵	۲/٤
۲	۸۵/۹/۲۸	٦/٤	۲/٤	۷	۱۲	۸۷/۲/۱۵	۳۰/۸۷	۳۰/۸۷	٦/٦
۳	۸۵/۱۰/۱۱	۵/٦	۰/۷۹	۱٦/۲	۱۳	۸۷/۱۱/۲٤	٤	۱/۱	٤/٤
٤	۸۵/۱۱/۳۰	۳/٦	۰/٤۲	۱۲/٦	۱٤	۸۷/۱۲/۱۲	۳/٦	۰/٦	۸/۸
۵	۸۵/۱۲/۸	۱/۲	۰/۳۷	۱	۱۵	۸۷/۱۲/۱۵	٤	۰/۷	۱۳/٦
٦	۸۵/۱۲/۲٦	٦/۸	۰/۵٦	۱۲/٤	۱٦	۸۸/۱/۵	۳/٦	۱/۵	۹/۸
۷	۸٦/۱/۳	٤/۱	۳/۷۷	٤/٤	۱۷	۸۸/۱/۱۱	۳/۲	۲	۹/۲
۸	۸٦/۱/۸	٤/۷	۱/۱۳	۵۱	۱۸	۸۸/۱/۱۷	۲/٤	۱/۳	٦/۸
۹	۸٦/۱/۱۰	٤	۰/۸۱	۱۷	۱۹	۸۸/۱/۳۱	۱۳/٦	٦/۹	۹
۱۰	۸٦/۹/۲٦	۲	۰/۵٤	۱٤/۲	۲۰	۸۸/۲/۲۲	۱۱/۲	٦/۲	٦/٤

معادله جهانی فرسایش خاک و نسخ مختلف آن: معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) روشی است که برای پیش‌بینی مقادیر سالانه فرسایش شیاری و بین شیاری در مزارع با عملیات‌های مختلف مدیریتی در سرتاسر جهان به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (ویشمایر و اسمیت، ۱۹٦۵؛ ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۵).

$$S\times C\times P.A=R\times K\times L \quad (۱)$$

که در آن، A: میزان خاک فرسایش‌یافته محاسبه شده (تن در هکتار در سال).

فاکتور فرسایندگی (R): این فاکتور در نسخه اصلی معادله جهانی فرسایش خاک از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R=\frac{(EI_{۳۰})}{۱۰۰} \quad (۲)$$

در سایر نسخ معادله جهانی فرسایش خاک برای برآورد ضریب فرسایندگی R به‌ترتیب از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود (صادقی و همکاران، ۲۰۰۸):

$$R_{MUSLE-E}=۱/۵۸٦(Q_e.q_p)^{۰/۵٦}(DA)^{۰/۱۲} \quad (۳)$$

$$R_{MUSLE-S}=۱۱/۸(Q_e.q_p)^{۰/۵٦} \quad (٤)$$

$$R_{AOF}=۰/٦٤٦E(Q_e.q_p)^{۰/۳۳} \quad (۵)$$

$$E=۲۱۰/۳+۸۹/۷\log I \quad (٦)$$

که در آن‌ها، E: انرژی جنبشی (تن در متر بر هکتار در سانتی‌متر)، Q_e: حجم رواناب (مترمکعب)، q_p: دبی اوج رواناب (مترمکعب بر ثانیه)، DA: مساحت منطقه (هکتار)، $I_{۳۰}$: حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای (سانتی‌متر بر ساعت) می‌باشند.

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K): مقادیر فاکتور K از ۰/۷ برای خاک‌های لومی و سیلتی با فرسایش بالا تا کم‌تر از ۰/۱ برای خاک‌های شنی و ماسه‌ای با میزان نفوذپذیری زیاد تغییر می‌یابد (طالب‌بیدختی و همکاران، ۲۰۰۳). در این پژوهش با توجه به نمونه‌برداری‌های صورت گرفته از خاک کرت‌های مختلف و استخراج اطلاعات به‌دست آمده شامل درصد سیلت و شن ریز، درصد شن، ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری خاک و با توجه به نموگراف ویشمایر و اسمیت، K=۰/۳۸ تعیین شد.

فاکتور توپوگرافی (LS): تأثیر طول و مقدار شیب معمولاً در یک فاکتور مورد محاسبه قرار می‌گیرد که آن فاکتور LS است که می‌تواند از طریق زیر محاسبه گردد:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{۲۲/۱}\right)^{m} (۰/۰٦٥ + ۰/۰٤٥S + ۰/۰۰٦S^{۲}) \quad (۷)$$

که در آن، λ: طول کرت (متر) و S: شیب (درصد) می‌باشند.

فاکتور مدیریت کشت (C): برای استفاده چرخشی محصول، روش‌های کشاورزی و عملکرد باقی‌مانده محصول، مراحل تولید و دیگر فاکتورهای متغیر کشاورزی محاسبه شده است. این برابر میزان هدررفت خاک از یک مزرعه با دادن محصولات و عملیات محافظتی برای کم کردن از مقدار شرایط استفاده از زمین تا ارزیابی فاکتور K می‌باشد. در این پژوهش با توجه به وضعیت پوشش گیاهی، درصد لاش‌برگ و سنگ‌ریزه در هر کرت و زمان بارش، مقدار فاکتور C بین ۰/۰۰۳۸ و ۰/۲ تعیین شد.

فاکتور شیوه کنترل فرسایش (P): این عامل 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 (اسمعلی و عبداللهی، ۲۰۱۰). با توجه به انجام ندادن هیچ‌گونه عملیات حفاظتی در کرت‌های آزمایشی مورد بررسی در این پژوهش، مقدار فاکتور P در تمامی کرت‌های آزمایشی برابر ۱ در نظر گرفته شد.

بعد از تعیین فاکتورهای نسخ مورد بررسی و محاسبه مقدار رسوب با هر یک از روش‌ها، نتایج به‌دست آمده از روش‌های مختلف با مقادیر رسوب مشاهداتی و با نتایج سایر مدل‌ها با استفاده ازآزمون t جفتی و ماتریس همبستگی در محیط نرم‌افزار SPSS مقایسه شدند. همچنین برای بررسی دقت و کارایی مدل‌های مورد بررسی از آماره RRMSE[1] و نسبت رسوب برآوردی به رسوب مشاهداتی در محیط نرم‌افزار EXCEL استفاده شد که رابطه‌های آن‌ها به‌صورت زیر می‌باشد (هاشمی و عرب‌خدری، ۲۰۰۷).

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{۱}{N}\sum (Q_i - P_i)^{۲}}}{\frac{۱}{N}\sum_{i=۱}^{N} Q_i}$$

1- Relative Root Mean Squared Error

RRMSE یا میانگین نسبی مجذور مربعات خطا که در آن، P_i: مقدار برآوردی، Q_i: مقدار مشاهده‌ای و N: تعداد داده می‌باشد. دامنه تغییرات RRMSE مقداری بین صفر و بی‌نهایت بوده و مقادیر نزدیک‌تر به صفر، نشان‌دهنده کارایی بیش‌تر مدل می‌باشد.

نتایج

با توجه به فاکتورهای مؤثر در برآورد میزان فرسایش ناشی از هر تک‌رخداد بارش (طول و شیب کرت، پوشش گیاهی، نوع عملیات حفاظتی، نوع کشت و نوع خاک)، برای مقایسه مقادیر برآورد شده، کرت‌ها براساس متغیّرهای مدنظر تقسیم‌بندی گردید. در این پژوهش کرت‌هایی که طول ۲۰ متر، عرض ۲ متر، شیب ٦٥-٦۰ درصد و کاربری مرتعی با پوشش کم‌تر از ۲۰ درصد داشتند در یک گروه قرار گرفته و ارزیابی‌ها در این گروه با انجام آزمون t جفتی به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن اختلاف بین مقادیر رسوب مشاهداتی و مقادیر برآوردی در کرت‌های نام‌برده، ماتریس همبستگی به‌منظور بررسی همبستگی بین مقادیر برآوردی هر یک از روش‌ها با مقادیر مشاهده‌ای و استفاده از آماره RRMSE (میانگین نسبی مجذور مربعات خطا) و نسبت مقادیر رسوب برآوردی به مقادیر مشاهداتی برای بررسی و مقایسه دقت روش‌ها صورت پذیرفت.

به‌منظور بررسی وجود یا نبود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر برآوردی هر یک از مدل‌ها و رسوب مشاهداتی از آزمون t جفتی استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که مقادیر برآوردی روش‌های AOF و USLE با مقادیر مشاهداتی اختلاف معنی‌دار دارند، اما نتایج روش‌های MUSLE-E و MUSLE-S در سطح معنی‌دار کم‌تر از ۱ درصد با مقادیر مشاهداتی اختلاف معنی‌دار نشان نمی‌دهند، در نتیجه مقادیر برآوردی این روش‌ها در محدوده قابل‌قبول قرار می‌گیرد.

جدول ۲- نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش t جفتی.

		تفاوت مقایسه‌ها							
		میانگین	انحراف از معیار استاندارد	میانگین خطای استاندارد	اختلاف در برآورد با سطح اطمینان ۹۵ درصد		t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
					پایین حد	حد بالا			
رسوب مشاهداتی	USLE	٤١/١٦	٥/٨٩	۰/۷۸	۳۹/٦	٤۲/۷۳	٥۲/۸	٥٦	۰
	MUSLE-E	۲/۸۲	۱۳/۹۱	۱/۸٤	-۰/۸۷	٦/٥۱	۱/٥۳	٥٦	۰/۱۳
	MUSLE-S	٤/۷٥	۲۲/۰٤	۲/۹۲	-۱/۱	۱۰/٦	۱/٦۳	٥٦	۰/۱۰۹
	AOF	٦۳٤٤/۲٦	٤۰٦۰/۷۹	٥۳۷/۸٦	٥۲٦٦/۷۹	۷٤۲۱/۷۳	۱۱/۸	٥٦	۰

به‌طوری‌که کم‌ترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر برآوردی مربوط به مدل MUSLE-E (۶/۵۱+۰/۸۷) با سطح معنی‌داری ۰/۱۳ و t=۱/۵۳ و MUSLE-S (۱۰/۶۰+۱/۱) با سطح معنی‌داری ۰/۱۱ و t=۱/۶۳ و بیش‌ترین مقدار اختلاف معنی‌دار مربوط به روش AOF (۱۳۸۲۷+۸۴۴۱۵) با سطح معنی‌داری صفر و t=۱۱/۸ می‌باشد (جدول ۲).

همچنین نتایج به‌دست آمده از بررسی ماتریس همبستگی بین مقادیر برآوردی روش‌های مختلف با مقادیر رسوب مشاهداتی نشانگر آن است که مقادیر برآوردی دو روش MUSLE-E و MUSLE-S با مقادیر مشاهداتی دارای بیش‌ترین همبستگی با سطح معنی‌داری ۹۹ درصد و ضریب همبستگی ۰/۵۳۹ می‌باشند (جدول ۳). در نتیجه این مدل‌ها قادرند روند تغییرات رسوب تولیدی در مقیاس تک‌رخداد بارش را به‌خوبی برآورد نمایند. از طرف دیگر دقت در ماتریس همبستگی نشان می‌دهد که بین مقادیر برآوردی روش‌های مختلف مورد بررسی، در بیش‌تر موارد همبستگی معنی‌دار وجود دارد که می‌تواند به‌علت ساختار مشابه نسخ در محاسبه میزان فرسایش باشد. مقادیر برآوردی مدل‌های MUSLE-E و MUSLE-S به‌دلیل تشابه ساختاری در محاسبه عامل فرسایندگی، دارای همبستگی واحد می‌باشند.

جدول ۳- ماتریس همبستگی رسوب مشاهداتی با مقادیر برآوردی روش‌های مورد بررسی.

	USLE	MUSLE-E	MUSLE-S	AOF	رسوب مشاهداتی
USLE	۱				
MUSLE-E	۰/۱۱٤	۱			
MUSLE-S	۰/۱۱٤	۱**	۱		
AOF	-۰/٤۲۰**	۰	۰	۱	
رسوب مشاهداتی	۰/۱۲۵	۰/۵۳۹**	۰/۵۳۹**	۰	۱

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده همبستگی با سطح معنی‌داری کم‌تر از ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

با بررسی ساختار مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش و خصوصیات (L، S، K، P و C) یکسان کرت‌های مورد بررسی روشن می‌گردد، تنها پارامتر متغیر و مؤثر، عامل فرسایندگی (R) می‌باشد. در نتیجه نسبت به بررسی همبستگی بین مقادیر رسوب مشاهداتی و عامل فرسایندگی (R) هر یک از مدل‌های مورد بررسی اقدام شد. نتایج ماتریس همبستگی بیانگر آن است که بین مقدار رسوب مشاهداتی و عامل فرسایندگی (R) روش‌های MUSLE-E و MUSLE-S همبستگی قوی و معنی‌دار

با سطح معنی‌داری ۹۹ درصد برقرار می‌باشد. به‌طوری‌که در جدول ٤ مشاهده می‌گردد، بیش‌ترین همبستگی رسوب مشاهداتی با عامل فرسایندگی روش‌های MUSLE-S و MUSLE-E با ضریب همبستگی ۰/٥٤۱ و کم‌ترین همبستگی نیز مربوط به روش‌های AOF با ضریب همبستگی ۰/۲۱- و روش USLE با ضریب همبستگی ۰/۲٦۳ می‌باشد. این نتایج با نتایج صادقی و همکاران (۲۰۰۸) در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسبیجان هم‌خوانی دارد. علت این همبستگی ضعیف نیز با توجه به نتایج مربوط به بخش بررسی همبستگی بین مقادیر رسوب مشاهداتی و پارامترهای بارش، را می‌توان به استفاده از پارامترهای مربوط به بارش (E: انرژی جنبشی تک‌رخداد بارش) در محاسبه عامل فرسایندگی در این دو روش نسبت داد.

جدول ٤- ماتریس همبستگی رسوب مشاهداتی با مقادیر عامل فرسایندگی نسخ مورد بررسی.

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

بررسی مقادیر مربوط به آماره RRMSE و نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی، نشان می‌دهد که روش‌های MUSLE-E و MUSLE-S به‌ترتیب کم‌ترین مقادیر آماره RRMSE و نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی را دارا بوده که نشان‌دهنده واقعی‌تر بودن برآوردها و قابلیت بیش‌تر کالیبراسیون این دو مدل می‌باشد. طبق جدول ٥ سایر مدل‌های مورد بررسی در برآورد میزان رسوب ناشی از تک‌رخدادهای بارشی منطقه مورد نظر دقت قابل‌قبولی ندارند.

جدول ٥- خلاصه مقادیر RRMSE و نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی در کرت‌های مورد بررسی.

روش برآوردی	نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی	RRMSE
USLE	٤۳٦/۲۸۲	۲۰/۳٥٤
MUSLE-E	۲/۲۰٤	۷/۱۸۰
MUSLE-S	۳/٤۱٦	۱۰/٤۷۰
AOF	۳۸٦۳/٤۰۸	۳۸٥٤/٦۹٦

نتایج و بحث

با توجه به هدف این پژوهش در بررسی دقت و کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و نسخ MUSLE-E، MUSLE-S و AOF در مناطق نیمه‌خشک خراسان، بررسی‌ها در کرت‌های ٤٠ مترمربعی با کاربری مرتعی و شیب ٦٥-٦٠ درصد در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه- مشهد به‌عنوان معرف مناطق نیمه‌خشک خراسان در ٢٠ تک‌رخداد بارشی در حد فاصل سال‌های ٨٨-١٣٨٥ انجام شد. باید ذکر نمود با توجه به هدف معادله جهانی فرسایش خاک که برآورد مقدار فرسایش سالانه شیاری و بین‌شیاری در شرایط کرت استاندارد می‌باشد، استفاده از این مدل و نسخ مختلف آن در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس تک‌رخداد بارش و در کاربری مرتعی و همچنین تفاوت در خصوصیات توپوگرافی کرت‌های مورد بررسی نسبت به کرت‌های استاندارد منجر به تغییرات وسیع مقادیر برآوردی و به پیروی از آن نبود تأیید کارایی برخی از مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش شده است. نتایج بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که از ٤ روش مورد بررسی، مقادیر برآوردی دو روش MUSLE-E و MUSLE-S دارای همبستگی معنی‌دار (در سطح ١ درصد) با رسوب مشاهداتی می‌باشند و قادرند روند تغییرات رسوب ناشی از تک‌رخدادهای بارشی را به خوبی نمایان سازند، این نتایج با نتایج صادقی و همکاران (٢٠٠٨) و غلامی (٢٠٠٧) هم‌خوانی دارد، علت این امر را می‌توان با ساختار عامل فرسایندگی مدل‌ها و استفاده هم‌زمان از فاکتورهای بارش و رواناب مرتبط دانست. همچنین نتایج آزمون t جفتی نشانگر آن است که بین مقادیر برآوردی دو روش MUSLE-E و MUSLE-S و رسوب مشاهداتی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، از طرف دیگر مقادیر آماره RRMSE و نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی در این دو مدل کم‌تر از سایر مدل‌های مورد بررسی می‌باشد، که نشان‌دهنده دقت بیش‌تر این مدل‌ها می‌باشد. این نتایج توسط صادقی و همکاران (٢٠٠٨) در ایستگاه منابع طبیعی خسبیجان اراک در مورد کارایی مدل MUSLE-E مورد تأیید قرار گرفته است. روش‌های AOF و USLE به‌دلیل همبستگی پایین مقادیر برآوردی و مشاهداتی بدون این توانایی می‌باشند. این تفاوت در عملکرد را می‌توان به فرآیند مدل‌سازی آن‌ها در خصوص مداخله عامل رواناب و بارندگی در تبیین عامل فرسایندگی و شرایط تهیه آن‌ها در کاربری‌ها و مقیاس‌های مشخص نسبت داد. توانایی نداشتن مدل USLE در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس تک‌رخداد بارش توسط ویلیامز و برنت (١٩٧٧)، شاهویی (١٩٩٢)، صادقی و همکاران (٢٠٠٨)،

غلامی (۲۰۰۷) و کارگر (۲۰۱۲) مورد تأیید قرار گرفته است. نتایج این پژوهش مبنی بر استفاده از روش MUSLE-E برای برآورد مقدار فرسایش ناشی از تک‌رخداد بارش و استفاده از روش‌های USLE و AOF برای برآورد مقدار سالانه فرسایش در بیش‌تر مطالعات انجام شده در جهان مورد تأیید قرار گرفته است (شاهویی و همکاران، ۱۹۹۲؛ صادقی و همکاران، ۲۰۰٤).

جدول ٦- مقادیر رسوب مشاهداتی و برآوردی با استفاده از نسخ مختلف در کرت‌های مورد بررسی.

ردیف	تاریخ تک‌رخداد بارش	رسوب مشاهداتی (گرم در مترمربع)	USLE	MUSLE-E	MUSLE-S	AOF
۱	۸۸/۲/۲۲	۱/۵۷۱	٤۷/۱٦۳۹	۰/۸۱۲	۱/۲۵۸	۰/۸۲۵۵
۲	۸۸/۱/۳۱	۵/۷۸۱	٤۸/۲۳	۱/۵۸۹	۲/٤٦۳	۳/۱۸۳۰
۳	۸۸/۱/۱۷	۰/۰۷۱	۳۷/۹۱	۰/۰۵۹	۰/۰۹۱	۱۳٤/۳۷
٤	۸۸/۱/۱۱	۰/۰٦۷	۳۹/٦٤	۰/۰٤۲	۰/۰٦۵	۱/٤۵٤۳
۵	۸۸/۱/۵	۰/۳۲۹	٤۰/۳٤	۰/۱۱٦	۰/۱۸۰	٤۲۳۸۳٦٦۲
٦	۸۷/۱۲/۱۵	۳/۲۳۷	٤۰/۹۸	۳۳/٤۹	۵۱/۹۱	۱/۰۸٤۰
۷	۸۷/۱۲/۱۲	۰/۰۷۳	٤۰/۳٤	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۲/٤۵٦۷
۸	۸۷/۱۱/۲٤	۰	٤۰/۹۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰٤	۸۳/۳۲۰
۹	۸۷/۱۲/۱۵	۰/۰۷۸	۵۳/۲۵	۱۸/۷۳	۲۹/۰۳	۳/٤۷۳۵
۱۰	۸٦/۹/۲۹	۰	۳۸/۸۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰٤	۸۳/۳۲۰
۱۱	۸٦/۹/۲٦	۰/۱۰۱	۳٦/۸۱	۰/۱٦۱	۰/۲۵۰	۲۵/٦۸٤
۱۲	۸٦/۱/۱۰	۰/۲۷٤	٤۰/۹۸	۳/۲۲۸	۵/۰۰٤	۱/۰۸۹٤
۱۳	۸٦/۱/۷	۰/٤٤۷	٤۱/۹٤	۰/۲۸۲	۰/٤۳۷	۰/٦۹۲۲
۱٤	۸٦/۱/۳	۰/۲۳۹	٤۱/۱۲	۲/۳۹۵	۳/۱۱۲	۱/۳۹٤۱
۱۵	۸۵/۱۲/۲٦	۰/۰۲۳	۰	۰/۷٤۵	۱/۱۵۵	۰/٤٤۷۸
۱٦	۸۵/۱۲/۸	۰/۳	۳۳/۸۵	۰	۰	٤۲/۱۵۵
۱۷	۸۵/۱۱/۳۰	۰/۰۳۳	٤۰/۳٤	۰/۵۱۹	۰/۷۰۵	۲/۳۱۵۳
۱۸	۸۵/۱۰/۱۱	۰/٦۰٦	۰/۲۷	۰/۸۷۲	۱/۳۵۳	۰/۸۷۰٤
۱۹	۸۵/۹/۲۸	۰/۱٦۲	٤۳/۸۰	۲/۷٤٦	٤/۲۵٦	۰/۸۷۶۳
۲۰	۸۵/۸/۲۵	۰/۲۳۷	٤۲/۵۵	۰/۹۵۷	۱٤/۸۳	۰/٦۰۸۹

منابع

1.Esmali, A., and Abdollahi, K.H. 2010. Watershed Management and Soil Conservation. Mohaghegh Ardabili. Press, 578p. (In Persian)
2.Esmali, A., and Abedini, M. 2009. Predicting amount of soil erosion using various experimental models to determine their efficiency and accuracy in Pol Almasi catchment. The fourth national conference on watershed management and development of land areas. Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. Pp: 239-252. (In Persian)
3.Gholami, L. 2007. Presentation of estimation of sediment production model for Gheshlagh watershed, Kordestan Province, M.Sc. Thesis of watershed management. Tarbiat Modares University. 97p. (In Persian)
4.Hashemi, S.A.A., and Arab Khedri, M. 2007. Assessment of Efficiency of EPM model of reservoir sedimentation survey of small dams. J. Agri. Sci. Natur. Resour. 42: 11. 345-355. (In Persian)
5.Kargar, M. 2013. Comparison of Efficiency USLE model and some of its versions in standard plot in Event Based. M.Sc. Thesis of watershed management. Islamic Azad University-Nour Branch. 117p. (In Persian)
6.Kinnell, P.I.A., and Risse, L.M. 1998. USLE-M: Empirical modeling rainfall erosion though runoff and sediment concentration. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: 1667-1672.
7.Morris, G.L., and Fan, J. 1998. Reservoir Sedimentation Handbook. McGraw-Hill Book Co, New York. 805p.
8.Nearing, M.A. 1998. Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses. J. Catena. 32: 15-22.
9.Olivares, B., Verbist, K., Lobo, D., Vargas, R., and Silva, O. 2011. Evaluation of the USLE Model to Estimate Water Erosion in an Alfisol. J. Soil Sci. Plant Nature. 11: 2. 73-86.
10.Pongsai, S., Schmidt, D.V., Rajendra, P., Shrestha, R., Clemente, S., and Eiumnoh, A. 2010. Calibration and validation of the Modified Universal Soil Loss Equation for estimating sediment yield on sloping plots: A case study in Khun Satan catchment of northern Thailand. J. Soil Sci. 90: 585-596.
11.Sadeghi, S.H.R., Pourghasemi, H.R., Mohammadi, M., and Agharazi, H. 2008. Assessment of Efficiency of USLE and USLE Different Versions in Storm-Wise Sediment Estimation (khosbijan natural resource Research Site-arak). J. Agri. Sci. Natur. Resour. 46: 12. 323-334. (In Persian)
12.Sadeghi, S.H.R., Singh, J.K., and Das, G. 2004. Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction. Iran. Intl. Agric. Eng. J. 13: 1&2. 1-14.
13.Shahoee, S.S. 1992. Relationship between Factors Associated with the Erosion Rate During a Storm. Selected Papers of the Third Congress of Soil Science Iran. Pp: 41-56. (In Persian)

14. Talebbidokhti, N., Shahoei, S., Behnia, A.K., Behbodi, F., Sadeghi, S.H.R., Malek, A., and Sharifi, F. 2003. Special cultural erosion and sediment. national committee erosion and sediment. Iranian National Commission for UNESCO. Press, 388p. (In Persian)
15. Williams, J.R., and Berndt, H.D. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans ASAE, 20: 6. 1100-1104.
16. Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. 1965. Predicting Rainfall-Erosion Losses , from Cropland East of the Rocky Mountains. U.S. Department of Agriculture, 282p.
17. Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses-Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture, 537p.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(4), 2014
http://jwsc.gau.ac.ir

Evaluating of efficiency and accuracy of USLE, AOF, MUSLE-S and MUSLE-E models on estimating of event-based erosion amount (Case study: Sanganeh Soil Conservation Research Institute of Mashhad)

***S. Rahmati[1], M.R. Javadi Tabalvandani[1], A.S. Rangavar[2] and M. Faramarz[3]**

[1]Assistant Prof., Dept. of Natural Resources, Islamic Azad University, Nour Branch,
[2]Assistant Prof. of Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi,
[3]Ph.D. Student, Dept. of Water Structures, Tarbiat Modares University
Received: 11/01/2012; Accepted: 07/05/2013

Abstract

Numerous soil erosion models are developed and are applied in soil erosion studies as an acceptable feature in order overcome problem of lack of the adequate data on soil erosion and sediment yield. The Universal Soil Loss Equation (USLE) is one of the primitive empirical models in estimation of erosion that is used continuously. In this study, the accuracy of USLE model and some of its versions including MUSLE-E, MUSLE-S and AOF are evaluated in event-based in North Khorasan semi-arid regions. For this goal, the sediment due to 20 rainfall event is measured in experimental plots in Sanganeh soil conservation research Institute of Mashhad as a definitive of semi-arid rangelands of Khorasan. Then the erosion amount due to each rainfall event is estimated using selected various versions of USLE. Results obtained from application of each model compared with measured sediment values of selected plots and finally the accuracy and efficiency of mentioned models are evaluated. The obtained results of evaluation from 20 meters plots show a statistical relation and significant correlation between estimated amounts of MUSLE-E and MUSLE-S models and observed sediment. According to non-significant difference between models results and observation amounts of sediment ($t_{MUSLE-E}$=1.53 and $t_{MUSLE-S}$=1.63) and also lower statistics of RRMSE, efficiency of these two models in estimating erosion amount is also greater than the others. The USLE and AOF models cannot appropriately estimate observed sediment because they are not in good agreement.

Keywords: Estimate erosion and sediment, Empirical models, Experimental plots, Semi-arid areas, Khorasan Razavi

* Corresponding Author; Email: saidrahmaty@yahoo.com