نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۲، ص. ۵۱۴-۵۰۶

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.3, Jul.-Agu. 2013, p. 506-514

مقایسه دقّت و کارایی مدل‌های USLE، AUSLE، MUSLE-S، USLEM در برآورد مقدار فرسایش و رسوب در مقیاس رگبار (مطالعه موردی: پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه- مشهد)

سعید رحمتی[۱] - محمدرضا جوادی[۲*] - عبدالصالح رنگاور[۳]

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۸/۳
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۴/۱۵

چکیده

مدل‌های تجربی برآورد فرسایش برای یک منطقه خاص تهیّه شده اند و واسنجی آنها برای استفاده در شرایطی غیر از محل تهیّه آنها ضروری است. بررسی دقّت مدل‌های تجربی برای تخمین بار رسوبی رگبارها می‌تواند منجر به برآوردهای بهتر از بار رسوبی و در نتیجه طرّاحی بهتر عملیات حفاظت خاک و آب گردد. در این تحقیق، میزان کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی نسخ آن شامل AUSLE، MUSLE-S، USLEM در مناطق نیمه خشک خراسان و در مقیاس رگبار ارزیابی شد. ابتدا نسبت به برآورد مقدار فرسایش ناشی از هر رگبار با استفاده از نسخ مختلف معادله جهانی اقدام و با توجه به اندازه کوچک پلات‌ها مقدار فرسایش برآوردی برابر مقدار رسوب در نظر گرفته شد. نتایج بدست آمده از به کار گیری هر یک از مدل‌ها با مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده رگبارها در پلات‌های ۲۰ متری با کاربری مرتعی، مقایسه و نهایتاً کارایی و دقّت مدل‌های مذکور مورد ارزیابی واقع شد. نتایج تحقیق حاکی از آن است که در بین روش‌های مورد بررسی، هر چند نتایج دو روش MUSLE-S و USLEM معمولا بیش از مقدار واقعی است، ولی با داشتن همبستگی معنی‌دار با مقادیر رسوب مشاهداتی، توانایی نمایان ساختن روند تغییرات رسوب را دارا هستند اما با توجه به مقادیر بزرگ آماره RRMSE و مقادیر منفی (ME) در روش ناش- ساتکلیف، مدل‌های مورد بررسی فاقد کارایی لازم می‌باشند. همچنین روش‌های USLE و AUSLE نیز به دلیل ساختار مشابه نتایج یکسانی ارائه داده و همبستگی معنی‌داری با رسوب مشاهداتی ندارند.

واژه های کلیدی: برآورد فرسایش و رسوب، مدل‌های تجربی، دقّت و کارایی، پلات استاندارد

مقدمه

انسان برای ادامه حیات خود به مواد غذایی نیاز دارد که در اثر وجود آب و خاک بدست می‌آید. نابودی و تخریب خاک بر اثر بارش و عمل آب‌های روان یکی از جدّی ترین مشکلات زیست‌محیطی عصر حاضر است.

اثرات فرسایش خاک و ته نشست رسوبات هم درون منطقه ای و هم برون منطقه ای می‌باشد. اثرات درون منطقه ای، به خصوص در اراضی کشاورزی منجر به اتلاف خاک مزرعه، تجزیه ساختمان خاک و کاهش مواد آلی و مغذّی می‌شود که خود باعث کاهش عمق خاک قابل کشت و کاهش حاصلخیزی خاک می‌گردد و در ادامه ممکن است منجر به متروکه شدن اراضی گردد (۱۶). مشکلات برون منطقه‌ای نتیجه رسوب‌گذاری در پایین‌دست می‌باشد که ظرفیت حمل رودخانه و ظرفیت نگهداری مخازن را کاهش می‌دهد و خطر سیلاب و جریان گلی را افزایش داده و باعث کوتاه شدن عمر مفید مخازن می گردد (۱۱ و ۱۲).

در فقدان اطلاعات و اندازه‌گیری‌های دراز مدّت برای سایت و منطقه مورد انتخاب، شاید توسعه و بسط داده های کوتاه مدّت ثبت شده توسط دیگر ایستگاه‌ها در یک حوزه آبخیز و یا از حوزه های آبخیز مجاور و نزدیک با خصوصیات زهکشی مشابه با استفاده از روابط تجربی ممکن باشد. استفاده از مدل USLE و نسخ مختلف آن در مناطقی غیر از ایالات متحدّه ممکن است منجر به اشتباهات بزرگی گردد مگر اینکه مقادیر توسعه داده شده برای ایالات متحدّه برای شرایط سایر مناطق تطبیق داده شده و با مطالعات میدانی تایید گردد (۱۴). تا کنون مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با ارزیابی نسخ معادله جهانی فرسایش خاک صورت گرفته است که برخی به شرح زیر می‌باشند:

خواجه ای و همکاران (۲) در مطالعه ای به بررسی قابلیّت مدل

۱ و ۲ – دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور
(*- نویسنده مسئول: Email: M_javadi@iaunour.ac.ir)
۳ – عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

MUSLE[1] در برآورد رسوب حاصل از رگبارهای منفرد و رسوب سالانه در حوزه آبخیز شهر چای در آذربایجان غربی پرداختند. نتایج نشان داد که در صورت اصلاح ضرایب، مدل برآوردی در حوزه های آبخیز مشابه با حوضه شهر چای قابل استفاده می‌باشد، ولی استفاده از مدل MUSLE برای برآورد رسوب سالیانه را توصیه نکردند.

صادقی و همکاران (۵)، میزان کارایی مدل USLE و برخی نسخ آن (MUSLE-E[2]، MUSLE-S[3]، AUSLE[4]، AOF[5]، MUSLT[6]، USLEM[7]) را در کرت استاندارد در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع در مقیاس رگبار در ایستگاه منابع طبیعی خسبیجان اراک را ارزیابی نموده و به این نتیجه رسیدند که بین برآورد رسوب بسیاری از نسخ با یکدیگر ارتباط آماری مناسبی وجود دارد، اما مدل‌های مذکور بجز مدل MUSLE-E آن هم در کاربری مرتعی، در برآورد رسوب ناشی از رگبارها در تیمارهای مورد مقایسه کارایی نداشته اند.

اسمعلی و همکاران (۱) در تحقیق خود از طریق مقایسه مقادیر برآوردی رسوب حاصله 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 بکارگرفته شوند، برآورد قابل قبولی از فرسایش سطحی و شیاری را بدست می‌دهند، اما نتایج حاصل از بکارگیری آن در سطوح وسیع‌تر و یا در حد واحدهای کاری به هیچ وجه منجر به نتایج درست نمی‌گردد.

کارگر (۸) در تحقیقی به بررسی کارایی مدل USLE و نسخ مختلف آن (MUSLE-E، MUSLE-S، AUSLE، AOF، MUSLT، USLEM) در رسوب تولیدی کرت‌های استاندارد در مقیاس رگبار در حوزه آبخیز جاشلو بار استان سمنان پرداخته است. نتایج این تحقیق بیانگر آن است که نتایج حاصل از ۳ مدل MUSLE-S، MUSLT و MUSLE-E برای تخمین رسوب ناشی از رگبارها در مقایسه با سایر روش‌ها از دقّت بالاتری برخوردار بوده و سایر مدل‌ها کارایی لازم را ندارند.

پونگسای و همکاران (۱۷) با استقرار پلات‌های آزمایشی در ۵ نوع شیب مختلف (۹،۱۶،۲۵،۳۰،۳۵ درصد) و اندازه‌گیری و ثبت رسوب حاصل از ۱۷ نمونه رگبار در فاصله زمانی جولای تا اکتبر سال ۲۰۰۳ اقدام به ارزیابی و واسنجی معادله جهانی فرسایش نموده و اینگونه بیان کردند که هر دو معادله اصلی USLE و معادله بازنگری شده آن توسط دونالد مک کول، بار رسوب را در تمامی شیب‌ها بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌نمایند.

میگوئل و همکاران (۱۳)، برای پیش‌بینی فرسایش خاک در یک حوزه آبخیز کوچک (۱۸۹۵ هکتاری) واقع شده در جنوب برزیل که عوارض زمینی آن بسیار پیچیده بوده، از معادله جهانی فرسایش خاک استفاده کرده و بیان نمودند که فاکتور LS فاکتور اصلی کنترل پتانسیل فرسایش خاک بوده و به دنبال آن فاکتورهای CP و K قرار دارند و در نهایت این چنین نتیجه‌گیری نمودند که پیش‌بینی تلفات خاک با مدل USLE در حوزه های آبخیز کوچک دارای یک سری محدودیت‌های قابل پذیرش می‌باشد.

اولیوارز و همکاران (۱۵)، مدل USLEرا در برآورد فرسایش آبی در خاک‌های آلفی سول با استفاده از اندازه‌گیری در پلات‌های آزمایشی در ۳ تیمار مرتع طبیعی، خاک شخم خورده و دیم مورد ارزیابی قرار داده و این گونه نتیجه‌گیری کرده اند که مدل USLE توانایی نمایان ساختن گرایش داده ها را دارد ولی برآوردها معمولا کمتر از مقادیر واقعی می‌باشند.

مواد و روش ها

این تحقیق با استفاده از مقادیر بارندگی، رواناب و رسوب اندازه‌گیری شده پلات‌های آزمایشی پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مشهد واقع در شمال شرقی ایران و در ۱۰۰ کیلومتری شمال شرقی مشهد صورت پذیرفت (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. سازندهای سرچشمه و سنگانه مهم‌ترین واحدهای سنگی عرصه مورد مطالعه را تشکیل داده و تیپ پوشش گیاهی غالب عرصه درمنه – پوا می‌باشد.

در این تحقیق مقدار رسوب حاصل از هر رگبار در هر یک از پلات‌ها از سال ۸۵ تا سال ۸۸ اندازه‌گیری شده که با توجه به دقّت ابزار اندازه‌گیری، مقدار بارش و رسوب ناشی از آن و مهارت افراد مرتبط با اندازه‌گیری، مقادیر رسوب حاصل از ۲۰ رگبار (مطابق جدول ۱) برای ارزیابی دقّت نسخ مختلف معادله جهانی فرسایش خاک در برآورد مقدار رسوب در مقیاس رگبار انتخاب گردید.

ساختار معادله جهانی فرسایش خاک و نسخ مختلف آن و نحوه تعیین پارامترها

معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) روشی است که به طور گسترده در سرتاسر جهان برای پیش‌بینی مقادیر فرسایش شیاری و بین شیاری در مزارع یا واحدهای در حد مزارع با عملیات‌های مختلف مدیریتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۵).

$$A=R.K.LS.C.P$$

1- Modification Universal Soil Loss Equation
2-Modified Universal Soil Loss Equation for soil erosion
3- Universal Soil Loss Equation for sediment yield
4- Adopted USLE
5- Onstad and Foster Model
6- Modified Universal Soil Loss Equation Theoretical
7- Usle Modification

که در آن :

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

R : فاکتور بارش است که در روش‌های USLE و AUSLE به صورت زیر محاسبه می شود (۵).

$$R_{USLE,AUSLE} = (EI_{30})/100$$

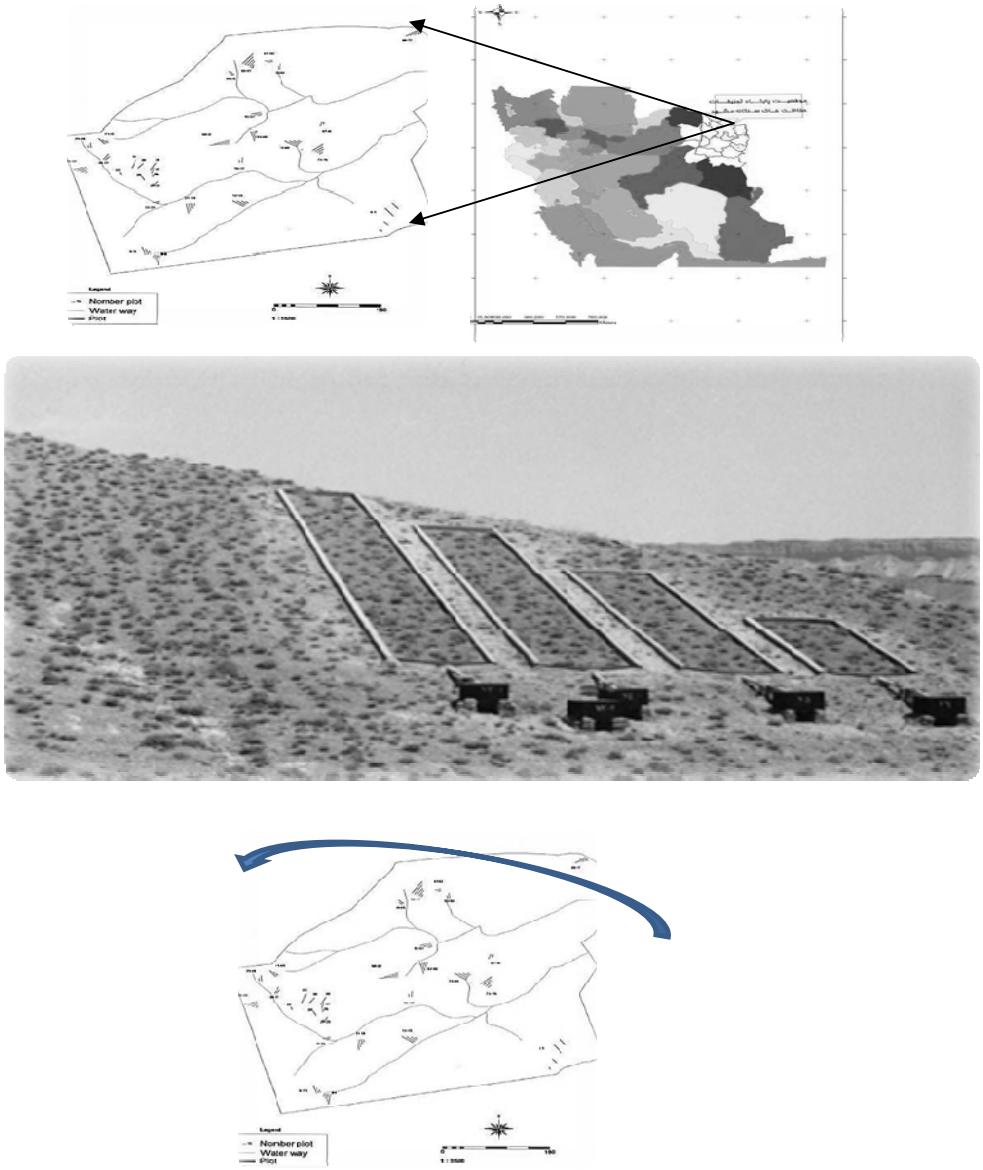
در سایر نسخ معادله جهانی فرسایش خاک برای برآورد ضریب فرسایندگی R به ترتیب از معادلات زیر استفاده می شود (۵) :

$$R_{MUSLE-S} = 1.586(Q.q_p) + 0.56(D_A) + 0.12$$

$$R_{USLE-M} = Q_R.EI_{30}$$

$$EI_{30} = 210.2 + 89\log I_{30}$$ و

$$q_p = {}^{1}/_{360}\,C.I.A$$



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده انجام تحقیق در ایران و استان خراسان رضوی و تصویری از پلات‌ها

جدول ۱- مشخصات رگبارهای منتخب

خصوصیات رگبار								خصوصیات رگبار							
ردیف	تاریخ	حداکثر شدت (میلی‌متر در ساعت)	شدت متوسط (میلی‌متر در ساعت)	مقدار (میلی‌متر)	مدت بارش(ساعت)	ردیف	تاریخ	حداکثر شدت (میلی‌متر در ساعت)	شدت متوسط (میلی‌متر در ساعت)	مقدار (میلی‌متر)	مدت بارش(ساعت)
۱	۸۵/۸/۲۵	۵/۲	۱/۰۳	۹/۲	۸/۹۳	۱۱	۸۶/۹/۲۹	۲/۸	۰/۴۵	۲/۴	۵/۳۳
۲	۸۵/۹/۲۸	۶/۴	۲/۴	۷	۲/۹۱	۱۲	۸۷/۲/۱۵	۳۰/۸۷	۳۰/۸۷	۶/۶	۰/۲۱
۳	۸۵/۱۰/۱۱	۵/۶	۰/۷۹	۱۶/۲	۲۰/۶۳	۱۳	۸۷/۱۱/۲۴	۴	۱/۱	۴/۴	۳/۹
۴	۸۵/۱۱/۳۰	۳/۶	۰/۴۲	۱۲/۶	۲۸/۰۳	۱۴	۸۷/۱۲/۱۲	۳/۶	۰/۶	۸/۸	۱۳/۸
۵	۸۵/۱۲/۸	۱/۲	۰/۳۷	۱	۲/۶۶	۱۵	۸۷/۱۲/۱۵	۴	۰/۷	۱۳/۶	۱۹/۲
۶	۸۵/۱۲/۲۶	۶/۸	۰/۵۶	۱۲/۴	۲۳/۸۳	۱۶	۸۸/۱/۵	۳/۶	۱/۵	۹/۸	۶/۵
۷	۸۶/۱/۳	۴/۱	۳/۷۷	۴/۴	۱/۱۶۷	۱۷	۸۸/۱/۱۱	۳/۲	۲	۹/۲	۴/۵
۸	۸۶/۱/۸	۴/۷	۱/۱۳	۵۱	۴/۵۱	۱۸	۸۸/۱/۱۷	۲/۴	۱/۳	۶/۸	۵/۳
۹	۸۶/۱/۱۰	۴	۰/۸۱	۱۷	۲۱	۱۹	۸۸/۱/۳۱	۱۳/۶	۶/۹	۹	۱/۳۰
۱۰	۸۶/۹/۲۶	۲	۰/۵۴	۱۴/۲	۲۶/۲۹	۲۰	۸۸/۲/۲۲	۱۱/۲	۶/۲	۶/۴	۱/۰۳

که در آن: Q: حجم رواناب (متر مکعب) E: انرژی جنبشی رگبار (سانتی‌متر بر ساعت) DA : مساحت حوزه زهکشی (هکتار) I30: حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای (سانتی‌متر بر ساعت) qp : دبی پیک (متر مکعب بر ثانیه)، Cو QR: ضریب رواناب (ارتفاع رواناب تقسیم بر ارتفاع بارندگی)، می‌باشند.

فاکتور فرسایش پذیری خاک (K): مقدار خاکی که به طور ذاتی در معرض فرسایش می‌باشد را اندازه‌گیری می‌کند. این برابر 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 (۶).

فاکتور توپوگرافی (LS): تأثیر طول و مقدار شیب معمولاً در یک فاکتور مورد محاسبه قرار می‌گیرد که آن فاکتور LS است که در تمامی نسخ مورد استفاده بجز AUSLE می‌تواند از طریق زیر محاسبه گردد (۵):

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.1}\right)^{m} (0.065 + 0.0458 + 0.0065^{2})$$

و در روش AUSLE: $LS_{AUSLE} = \left(\frac{As}{22.13}\right)0.4\left(\frac{\sin\alpha}{0.896}\right)1.3$

که در آنها: λ: طول شیب (متر)، S: شیب پلات (درصد)، As: طول شیب واقعی بر حسب متر و α: زاویه شیب، می‌باشند.

فاکتور مدیریت کشت (C) : برای استفاده چرخشی محصول، روش‌های کشاورزی و عملکرد باقی مانده محصول، مراحل تولید و دیگر فاکتورهای متغیّر کشاورزی محاسبه می‌شود. این برابر میزان هدر رفت 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 تحقیق با توجه به وضعیت پوشش گیاهی، درصد لاش برگ و سنگریزه در هر پلات و زمان بارش، مقدار فاکتور C بین ۰/۱۵ و ۰/۲ تعیین شد (۴).

فاکتور شیوه کنترل فرسایش (P): این فاکتور تأثیر عملیات حفاظتی، مانند کنتور فارو، کشت ردیفی و تراس بندی در میزان فرسایش را محاسبه می‌نماید. مقدار عامل P در صورتی که هیچ گونه عملیات حفاظتی صورت نگیرد p=۱، اگر عملیات حفاظتی سکوبندی انجام شود p=۰/۵، اگر کشت در روی خطوط تراز باشد p=۰/۸ و در کشت نواری p=۰/۴ می‌باشد (۱). با توجه به عدم انجام هر گونه عملیات حفاظتی در پلات‌های آزمایشی این تحقیق، مقدار فاکتور P در تمامی پلات‌های آزمایشی برابر یک در نظر گرفته شد.

در مرحله بعد پلات‌هایی که واکنش ضعیفی به رگبار از خود نشان داده را حذف و در بین پلات‌های باقی مانده پلات‌هایی با نزدیک‌ترین خصوصیات با پلات‌های استاندارد انتخاب شدند. با توجه به اینکه در پلات‌های آزمایشی کوچک مقدار فرسایش با مقدار رسوب اندازه‌گیری شده برابر فرض می‌گردد (۵)، مقادیر برآورد شده فرسایش ویژه هر یک از روش‌ها در ۲۰ مورد رگبار در ۶ پلات با طول ۲۰ متر، عرض ۲ متر، شیب ۶۰ تا ۶۵ درصد و کاربری مرتعی با مقادیر رسوب ویژه اندازه‌گیری شده پلات‌های متناظر با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS ver ۲۰ و EXCEL و انجام آزمون‌های تجزیه و تحلیل واریانس، t جفتی، ماتریس همبستگی، آماره RRMSE[1] ، روش ناش- ساتکلیف و نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی مقایسه گردید.

1- Relative Root Mean Squared Error

جدول ۲- مقادیر میانگین رسوب برآوردی روش‌های مختلف مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه

ردیف	تاریخ رگبار	رسوب مشاهداتی (گرم در متر مربع)	رسوب برآوردی (گرم در متر مربع)			
			USLE	MUSLE-S	USLE-M	AUSLE
۱	۸۸/۲/۲۲	۱/۵۷۱۴۳	۴۷/۱۶۳۹	۱/۲۵۸۹۵	۸۰/۰۶۸۹۶	۱۶/۹۰۷۱
۲	۸۸/۱/۳۱	۵/۷۸۱۷۳	۴۸/۳۲۹۸	۲/۴۶۳۴۵	۱/۵۲۷۷۹۴	۱۷/۳۲۵۱
۳	۸۸/۱/۸۸	۰/۰۷۱۴	۳۷/۹۱۳۵	۰/۰۹۱۷۸	۰/۷۷۸۱۸۶	۱۳/۵۹۱۱
۴	۸۸/۱/۱۱	۰/۰۶۷۷۶	۳۹/۶۴۱۱	۰/۰۶۵۴۶	۰/۱۹۸۷۶۸۱	۱۴/۲۱۰۴
۵	۸۸/۱/۵	۰/۳۲۹۹	۴۰/۳۴۸۳	۰/۱۸۰۵۱	۰/۶۳۴۴۴۳	۱۴/۴۶۳۹
۶	۸۷/۱۲/۱۵	۳/۲۳۷۳۳	۴۰/۹۸۱۰	۵۱/۹۱۲۵	۴۶۵۸۹۱/۷۸	۱۴/۶۹۰۷
۷	۸۷/۱۲/۱۲	۰/۰۷۳۱	۴۰/۳۴۸۳	۰/۰۰۲۰۱	۱۹/۷۴۸۰	۱۴/۴۶۳۹
۸	۸۷/۱۱/۲۴	۰	۴۰/۹۸۱۰	۰/۰۰۴۸۵	۱/۳۰۲۷۶۸۱	۱۴/۶۹۰۷
۹	۸۷/۲/۱۵	۰/۰۷۸۴	۵۳/۲۵۲۱	۲۹/۰۳۹۳	۴۳۸۸۰/۹۶۶	۱۹/۰۸۹۶
۱۰	۸۶/۹/۲۹	۰	۳۸/۸۳۹۲	۰/۰۰۴۸۵	۱/۳۰۲۷۶	۱۳/۹۲۲۹
۱۱	۸۶/۹/۲۶	۰/۱۰۱۶۶	۳۶/۸۱۸۷	۰/۲۵۰۸۳	۷/۱۹۷۵۰۸	۱۳/۱۹۸۶
۱۲	۸۶/۱/۱۰	۰/۲۷۴	۴۰/۹۸۱۰	۵/۰۰۴۱۷	۴۴۹۱۰/۱۶۶	۱۴/۶۹۰۷
۱۳	۸۶/۱/۸	۰/۰۴۷۳۳	۴۱/۹۴۹۴	۰/۴۳۷۷۲	۱/۲۳۸۹۵۷	۱۵/۰۳۷۹
۱۴	۸۶/۱/۳	۰/۲۳۹۳۳	۴۱/۱۲۹۳	۳/۷۱۲۳۷	۳۵/۷۲۹۴	۱۴/۷۴۳۹
۱۵	۸۵/۱۲/۲۶	۰/۰۲۳۳۳	۰	۱/۱۵۵۷۵	۰/۸۳۹۲۹	۱۵/۸۳۳۰
۱۶	۸۵/۱۲/۸	۰/۳	۳۳/۷۵۱۲	۰	۰	۰
۱۷	۸۵/۱۱/۳۰	۰/۰۳۳	۴۰/۳۴۸۳	۰/۸۰۵۳۱	۲/۲۰۰۳۸۹	۱۴/۴۶۳۹
۱۸	۸۵/۱۰/۱۱	۰/۶۰۶	۰.۲۷	۱/۳۵۳۰۶	۲/۸۰۸۰۸۳	۱۵/۴۱۵۰
۱۹	۸۵/۹/۲۸	۰/۱۶۲	۴۳/۸۰۳۴	۴/۲۵۶۵۰	۶۶/۸۰۳۶۶	۱۵/۷۰۲۵
۲۰	۸۵/۸/۲۵	۰/۲۳۷۶	۴۲/۵۵۶	۱/۴۸۳۶۳۶	۲۷۹/۸۹۴۷	۱۵/۲۵۵۵

برای بررسی دقّت و کارایی مدل‌های مورد استفاده از آماره RRMSE، نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی و روش ناش-ساتکلیف استفاده شد که معادلات آنها به صورت زیر می‌باشد (۱۰).

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - Q_{mean})^2}$$

که در آن: ME کارایی مدل، n تعداد مشاهدات، Q_{mean} میانگین مقادیر مشاهده ای، Q_i مقدار مشاهده ای، P_i مقدار برآوردی است. دامنه تغییرات ME از منفی بینهایت تا ۱ می‌باشد و مقادیر نزدیکتر به ۱ نشان دهنده کارایی بالاتر مدل و مقادیر منفی ME نشان دهنده عدم کفایت مدل هستند.

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N}\sum(Q_i - P_i)^2}}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Q_i}$$

RRMSE یا میانگین نسبی مجذور مربعات خطا که در آن Pi: مقدار برآوردی، Q_i : مقدار مشاهده ای 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

به منظور بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین رسوب برآوردی روش‌های مورد بررسی و مقادیر رسوب مشاهداتی، از آزمون t جفتی استفاده گردید. نتایج این آزمون از مقایسه دو به دو مقادیر برآوردی و مشاهداتی گویای این واقعیّت است که مقادیر برآوردی نسخ MUSLE-S با سطح غیر معنی‌داری ۰/۱۰۹ و (t=۱/۶۷۲) و USLEM با سطح غیر معنی‌داری ۰/۱۵۶ و (t=۱/۴۳۹) تفاوت معنی-داری را با رسوب مشاهداتی در سطح یک درصد نشان نمی‌دهند و برآوردهای آنها در محدوده قابل‌قبول قرار می‌گیرد، حال آنکه نتایج روش‌های AUSLE با سطح معنی‌داری ۰/۰۰ و (t=۷۰/۳۶) و USLE با سطح معنی‌داری ۰/۰۰ و (t=۷۶/۵۲) با رسوب مشاهداتی اختلاف معنی‌داری دارند و این نسخ قادر به برآورد مناسب رسوب ناشی از رگبار نمی‌باشند (جدول ۳).

به منظور بررسی همبستگی بین مقادیر برآوردی هر یک از روش‌ها با روش‌های دیگر همچنین با مقادیر مشاهداتی ماتریس همبستگی تشکیل و نتایج نشان‌دهنده آن است که نتایج روش USLEM با ضریب همبستگی ۰/۶۱۲ و MUSLE-S با ضریب

همبستگی ۰/۵۳۹ بیشترین همبستگی را با رسوب مشاهده ای دارند و روش‌های AUSLE و USLE به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۰۳۷ و ۰/۱۲۵، همبستگی معنی‌داری با مقادیر رسوب مشاهداتی در پلات‌های مورد بررسی ندارند (جدول ۴).

بررسی مقادیر مربوط به آماره RRMSE و ME (کارایی)، نشان می‌دهد با توجه به منفی بودن اعداد مربوط به کارایی (ME) در روش ناش–ساتکلیف و بزرگ بودن اعداد مربوط به آماره RRMSE (میانگین نسبی مجذور مربعات خطا) هیچ یک از روش‌های مورد بررسی در این تحقیق کارایی لازم را در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار در منطقه مورد بررسی نداشته اند. همچنین نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی نسخ مختلف مورد بررسی در این تحقیق نیز موید عدم کارایی مناسب این مدل‌ها در برآورد مقدار رسوب ناشی از رگبار می‌باشد. هر چند روش MUSLE-S کمترین مقدار آماره RRMSE، ME و نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی را دارا بوده که نشان‌دهنده واقعی تر بودن برآوردها و قابلیت بیشتر واسنجی این مدل می‌باشد (جدول ۵).

با توجه به متغیّرهای موثر در معادله جهانی فرسایش خاک و نسخ مختلف آن و بررسی آنها در پلات‌های مختلف این تحقیق مشخص می‌گردد که تنها متغیّری که در این پلات‌ها متفاوت است، عامل فرسایندگی (R) می‌باشد که علّت تغییر مقادیر برآوردی نسخ مختلف می‌باشد. ماتریس همبستگی بین رسوب مشاهداتی و عامل فرسایندگی نسخ مورد بررسی نشانگر وجود همبستگی معنی‌دار بین رسوب مشاهداتی و عامل فرسایندگی روش USLEM (ضریب همبستگی ۰/۶۰۸) و روش MUSLE-S (ضریب همبستگی ۰/۵۴۱) می‌باشد. همچنین روش‌های USLE وAUSLE به دلیل تشابه ساختار محاسبه عامل فرسایندگی، همبستگی یکسان اما ضعیفی (ضریب همبستگی ۰/۲۶۳) با رسوب مشاهداتی نشان می‌دهند.

با بررسی ساختار معادلات محاسبه عامل فرسایندگی به عنوان عامل متأثر متغیّر در پلات‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که برخی از نسخ مورد بررسی (USLE و AUSLE) در محاسبه عامل فرسایندگی تنها از خصوصیات بارش یعنی انرژی جنبشی رگبار و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای و مدل‌های MUSLE-S و USLEM از ترکیب خصوصیات بارش و رواناب یعنی حجم رواناب و دبی پیک استفاده نموده اند.

جدول ۳- نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش t استیودنت

		میانگین	انحراف از معیار استاندارد	میانگین خطای استاندارد	تفاوت مقایسه ها: حدود اطمینان اختلاف (۹۵٪) پایین حد	حد بالا	t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
رسوب مشاهداتی	USLE	۴۱/۱۶	۵/۸۹	۰/۷۸	۳۹/۶	۴۲/۷۳	۵۲/۸	۵۶	۰
	MUSLE-S	۴/۷۵	۲۲/۰۴	۲/۹۲	−۱/۱	۱۰/۶	۱/۶۳	۵۶	۰/۱۰۹
	USLE-M	۳۵۲۹۳/۹	۱۸۵۱۲۹/۰۹	۲۴۵۲۰/۹۵	−۱۳۸۲۷/۴۶	۸۴۴۱۵/۳	۱/۴۴	۵۶	۰/۱۵۶
	AUSLE	۱۴/۳۱	۲/۹۴	۰/۳۹	۱۳/۵۳	۱۵/۰۹	۳۶/۷	۵۶	۰

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

	USLE	MUSLES	USLEM	AUSLE	رسوب مشاهداتی
USLE	۱				
MUSLES	۱۱۴/۰	۱			
USLEM	۱۰۰/۰	**۹۲۰/۰	۱		
AUSLE	**۹۲۴/۰	۰۲۹/۰	۰۵۳/۰-	۱	
رسوب مشاهداتی	۵۲۱/۰	**۵۳۹/۰	**۶۱۲/۰	۰۳۷/۰	۱

جدول ۵-مقادیر ME،RRMSE و نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی مربوط به نسخ مختلف مورد بررسی

روش برآوردی	USLE	MUSLE-S	USLEM	AUSLE
RRMSE	۲۰/۳۵	۸/۴۶	۸۷۲۱۸/۸۵	۸/۹۰
نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی	۴۳۶/۲۸۲	۳/۴۱۶	۲۲۱۰۳/۹۴	۹/۵۳
ME	−۲۱/۶۰	−۰/۹۷	-۴×۱۰^{۸}	−۲/۴

جدول ٦- ماتریس همبستگی رسوب مشاهداتی با خصوصیات بارش و رواناب

	دبی	ضریب رواناب	دبی حداکثر لحظه ای	مقدار بارندگی	شدت متوسط	EI30	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			
EI30	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

بررسی دقیق‌تر ماتریس همبستگی رسوب مشاهداتی و خصوصیات بارش و رواناب بیانگر وجود همبستگی معنی‌دار رسوب مشاهداتی با خصوصیات رواناب (حجم و ضریب رواناب) به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۵۹۶ و ۰/۶۹۱ می‌باشد (جدول ۶).

این همبستگی معنی‌دار باعث می‌گردد نسخ MUSLE-S و USLEM با مقدار رسوب مشاهداتی همبستگی معنی‌داری داشته و بتوانند با دقّت مناسبی روند تغییرات رسوب مشاهداتی را در مقیاس رگبار در پلات‌های مورد بررسی برآورد نمایند. نتایج ماتریس همچنین نشان می‌دهد بین رسوب مشاهداتی و خصوصیات بارش در پلات‌های مورد بررسی در این تحقیق همبستگی معنی‌داری وجود ندارد که همین امر باعث می‌گردد نسخ USLE و AUSLE با ساختار مشابه در محاسبه عامل فرسایندگی در بررسی روند تغییرات رسوب مشاهداتی ناشی از رگبار کارایی لازم را نداشته باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به هدف تحقیق حاضر که شامل بررسی دقّت و کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخ آن (MUSLE-S، AUSLE، USLEM) در برآورد مقدار فرسایش در مناطق نیمه خشک خراسان در مقیاس رگبار می‌باشد و با توجه به نتایج حاصله از ماتریس همبستگی رسوب مشاهداتی و مقادیر برآوردی می‌توان گفت که مدل‌های MUSLE-S و USLEM با همبستگی مناسب بین مقادیر برآوردی و رسوب مشاهداتی، از یک طرف می‌توانند روند تغییرات رسوب ناشی از رگبار را به طور مطلوب برآورد نمایند. این نتایج در خصوص همبستگی زیاد مقادیر روش USLE-M با مقادیر رسوب مشاهداتی با نتایج صادقی و همکاران (۵)، غلامی (۷) و کارگر (۸) مطابقت دارد. هر چند مقادیر برآوردی این روش‌ها معمولاً بیش از مقدار واقعی بوده که لازمه بررسی و تطبیق با شرایط محلی می‌باشد که این نتایج توسط صادقی و همکاران (۵) در حوزه آبخیز امامه تهران تایید شده اما با نتایج تحقیق الیوارز و همکاران (۱۵) که برآوردها را کمتر از مقدار واقعی می‌داند، هم‌خوانی ندارد. از طرف دیگر به علّت عدم وجود اختلاف معنی‌دار مقادیر برآوردی با رسوب مشاهداتی، برآوردهای این مدل‌ها در محدوده قابل‌قبول قرار می‌گیرد، دلیل نتیجه حاصله در مورد روش USLEM علی‌رغم آنکه مقادیر برآوردی این روش بسیار بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشند را می‌توان به نحوه آرایش متناسب داده ها در اطراف مقدار میانگین نسبت داد، حال آنکه مقادیر بزرگ آماره RRMSE و نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی همچنین مقادیر ME منفی بدست آمده در روش ناش-ساتکلیف، نشان‌دهنده عدم کارایی مناسب مدل‌های مورد بررسی در این تحقیق می‌باشد که علّت آن می‌تواند مربوط به شرایط متفاوت پلات‌های آزمایشی مورد بررسی، تفاوت شرایط اقلیمی و جغرافیایی حاکم بر منطقه مورد بررسی نسبت به مناطق تهیّه و تدوین مدل‌ها باشد. نتایج این تحقیق همچنین مشخص می‌سازد مدل‌هایی که در محاسبه عامل فرسایندگی فقط از خصوصیات رگبار استفاده می‌نمایند (USLE و AUSLE) همبستگی مناسبی با مقادیر رسوب مشاهداتی نداشته و در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار کارایی لازم را ندارند. عدم توانایی مدل USLE در برآورد مقدار فرسایش در مقیاس رگبار توسط ویلیامز و برنت (۲۰) و شاهویی (۴) و عدم توانایی مدل‌های AUSLE و USLEM توسط صادقی و همکاران (۵)، غلامی (۷) و کارگر (۸) مورد تایید قرار گرفته است.

منابع

۱- اسمعلی ا. و عابدینی م. ۱۳۸۸. برآورد مقدار فرسایش خاک با استفاده از مدلهای مختلف تجربی به منظور تعیین کارائی و دقّت آنها در حوزه

آبخیز پل الماسی اردبیل. چهارمین کنفرانس ملی مدیریت حوزه های آبخیز و توسعه آب و خاک، کرمان: ۲۳۹-۲۵۲.
۲- خواجه ای ا.، بروشکه ا.، سکوتی اسکویی ر. و 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: ۴۳۶- ۴۴۶ .
۳- رفاهی ح.ق. ۱۳۷۹. فرسایش آبی و کنترل آن(چاپ سوم). انتشارات دانشگاه تهران: ۱۶۵- ۱۶۹ .
۴- شاهویی س.ص. ۱۳۷۱. رابطه میزان فرسایش با عوامل موثر در طول یک رگبارش. گزیده مقالات سومین کنگره علوم خاک ایران: ۴۱ – ۵۶ .
۵- صادقی س.ح.ر.، پورقاسمی م.، محمدپور ح. و آقارضی ح. ۱۳۸۷ . ارزیابی دقّت 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 ۴۶ (الف): ۳۲۳-۳۳۴ .
۶- طالب بیدختی ن.، شاهویی س.، بهنیا ع.ا.، بهبودی ف.، صادقی س.ح.ر.، ملک ع. و شریفی ف. ۱۳۸۲. فرهنگ تخصصی فرسایش و رسوب،کمیته فرسایش و رسوب.
۷- غلامی ل. ۱۳۸۶. تهیّه مدل برآورد تولید رسوب رگبارها در بخشی از حوزه آبخیز قشلاق استان کردستان. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری. دانشگاه تربیت مدرس.
۸- کارگر م. ۱۳۹۱. ارزیابی کارایی مدل USLEو نسخ مختلف آن در قالب کرت های استاندارد در تیمار مرتع برای رگبارهای منفرد. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری. دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور.
۹- وروانی ج.، فیض نیا س.، احمدی ح. و جعفری م. ۱۳۸۶. ارزیابی کارایی مدل های تجربی برآورد رسوب حوزه های آبخیز در زمان سیلاب های منفرد و ارائه ضرایب اصلاحی. نشریه دانشکده منابع طبیعی، دوره۶۰، شماره ۴ : ۱۲۲۵- ۱۲۳۹ .
۱۰- هاشمی س.ع.ا. و عربخدری م. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل EPM از طریق رسوب سنجی مخازن سدهای کوچک. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال(۱۱)، شماره ۴۲ (ب): ۳۴۵-۳۵۵.
11- Boardman J., Ligneau L., De Roo A.P.J., and Vandaele K. 1994. Flooding of property by run off from agricultural land in northwestern Europe. Geomorph, 10: 183-196.
12- Clark R.D. 1980. Erosion condition classification system. Bureau of Land Management, Denver Service Center, Denver CO. Tech Note 346.
13- Miguel P.A., Samuel-Rosa R., Simao Diniz Dalmolin F., ArajoPedron J., and MouraBueno A. 2011. The USLE model for estimating soil erosion in complex topography areas. Annals XV Brazilian Symposium on Remote Sensing, (SBSR), Brasil, : 9227-9230.
14- Morris G.L., and Fan J. 1998. Reservoir Sedimentation Handbook, McGraw-Hill Book Co. New York.
15- Olivares B.K., Vargas D.L., and Silva O. 2011. Evaluation Of The USLE Model to Estimate Water Erosion in an Alfisol. J. Soil Sci. Plant Nutr, 11 (2): 73 - 86 .
16- Pimental D., Harvey C., Resosudarmo P., Sinclair K., Kurz D., McNair M., Crist S., Shpritz L., Saffouri R., and Blair R. 1995. Environmental costs of soil erosion and conservation benefits. Science, 267 : 1117-1123.
17- Pongsai S., Schmidt D.V., Rajendra P., Shrestha R., Clemente S., and Eiumnoh A . 2010. Calibration and validation of the Modified UniversalSoil Loss Equation for estimating sediment yield on sloping plots: A case study in Khun Satan catchment of northern Thailand. Can. J. Soil Sci. 90: 585_596.
18- Renard K.G., and Freidmund J.R. 1994. Using monthly precipitation data toestimate the R-factor in the RUSLE. J. Hydrology, 157: 287-306.
19- 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.
20- Williams J.R., and Berndt H.D. 1977. Sediment yiled prediction based on watershed hydrology. TransASAE,20(6): 1100-1104.

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.3, Jul.-Agu. 2013, p. 506-514

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۲، ص. ۵۱۴-۵۰۶

Comparison of Efficiency and Accuracy of USLE, AUSLE, MUSLE-S and USLEM Models for Estimating Amount of Erosion and Sedimentation On Based of Storm-Wise Event

(Case study: Sanganeh Soil Conservation Research Institute of Mashhad)

S. Rahmati[1]- M.R. Javadi[2*]- A. Rangavar[3]

Received:24-10-2012
Accepted:06-07-2013

Abstract

Empirical models specially event-based versions for estimating erosion are site specific, so calibration is essential for designing soil conservation practices measures. In this study, the efficiency of Universal soil Loss Equation and other event-based versions include USLEM, MUSLE-S and AUSLE evaluated in semi-arid region of khorasan Razavi. Because of small plot size (20 m^2 area with annual shrubs cover), The amount of estimated soil loss equaled with measured sediment. Result showed that in addition to overestimation of USLEM and MUSLE-S, models showed temporal variation of sediment significantly. With respect to high and negative values of RMSE and ME of Nash-Shatklyf, models have no significant efficiency. Also, because of the same model structure of AUSLE and USLE models, thay have not significantly efficiency.

Keywords: Erosion and Sediment Yield Estimation, Empirical Models, Accuracy and Efficiency, Standard Plot

1,2 - Forme MSc Student and Assistant Professor, Department of Watershed Management, Islamic Azad University, Nour Branch
(*-Correspoundin Author Email: M_javadi@iaunour.ac.ir)
3- Faculty Member, Center of Natural Resources and Agricaltural, Khorasan Province