



بررسی کارایی رابطه جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخ آن در برآورد رسوب رگبارهای منفرد در مراتع نیمه خشک (مطالعه موردی: سایت تحقیقاتی مرگسر استان سمنان)

مجید کارگر^۱، محمدرضا جوادی^۲، سید علی اصغر هاشمی^۳ و مریم محمد ابراهیمی^۱

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور
۲- استادیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور، (نویسنده مسؤل: javadi.desert@gmail.com)
۳- عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان سمنان
تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۳۱

چکیده

کمبود آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور، کاربرد روش‌های تجربی مناسب برای برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب را الزامی می‌نماید. این تحقیق، با هدف ارزیابی میزان کارایی رابطه جهانی فرسایش خاک USLE و برخی از نسخ آن شامل MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLE و AUSLE در شرایط اقلیمی نیمه خشک انجام شده است. محل تحقیق کرت‌های استاندارد در مراتع مرگسر ایستگاه تحقیقات مدیریت دام و مرتع جاشلوبار در شهرستان مهدی شهر استان سمنان می‌باشد. برای این منظور کلیه متغیرهای مورد نیاز و ورودی مدل‌های مذکور در کرت‌های مورد نظر محاسبه شده است. تخمین حاصل از اجرای مدل‌ها با رسوب اندازه‌گیری شده در طی ۱۵ رگبار مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش t- استیودنت نشان داد که بین مدل‌های MUSLE، MUSLE-E، MUSLE-S و رسوب اندازه‌گیری شده، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود ندارد. همچنین نتایج ارزیابی کارایی مدل‌ها با روش ناش- ساتکلیف و آماره میانگین نسبی مجذور مربعات خطا (RRMSE) نشان داد که مدل‌های MUSLE، MUSLE-E و MUSLE-S از کارایی بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تولید رسوب، USLE، کرت‌های استاندارد، استان سمنان

مقدمه

فرسایش خاک در یک منطقه معرفی نمود بلکه فرسایش در یک منطقه را بایستی معلول تاثیر متقابل مجموعه عوامل و عناصر موثر در ایجاد فرسایش دانست (۶). دستیابی به آمار دقیق در مورد میزان فرسایش خاک و رسوب در حوزه‌های آبخیز کشور به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش تولید رسوب ضروری است. از این رو دانش فنی در مورد حمل و نقل رسوب از جمله ابزارهای مورد نیاز در مدیریت حوزه‌های آبخیز محسوب می‌شود به منظور کنترل فرسایش خاک تنها فعالیت‌های مقطعی جوابگو نبوده و لازم است که استراتژی و عزم ملی آحاد مردم را در اجرای برنامه‌های آبخیزداری و حفاظت خاک مدنظر قرار داد.

چنانچه در یک حوزه آبخیز اطلاعات مربوط به دبی و رسوب به اندازه کافی وجود داشته باشد محاسبه حجم کل رسوب سالانه با استفاده از روش‌های آماری موجود، بررسی وضعیت تخریب موجود و همچنین پیش‌بینی وضعیت فرسایش خاک و تولید رسوب در آینده امکان‌پذیر می‌باشد. ولی عدم وجود و یا کمبود آمار و اطلاعات در

از جمله عوامل موثر در اقتصاد در هر کشور، وجود منابع طبیعی در آن می‌باشد. در این بین، خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای منابع طبیعی نقش بسیار قابل ملاحظه‌ای در زندگی انسان دارد (۶).

با تشدید بهره‌برداری‌های انسان از طبیعت، فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن اثرات منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است. اثرات ناشی از این دخالت‌ها نه تنها در مکان وقوع، بلکه در خارج محل رویداد نیز بصورت انباشت رسوبات روی اراضی کشاورزی مرغوب، مراتع و کانال‌های آبیاری بیش از هر زمان دیگری مشهود و نمایان است (۱۲).

امروزه فرسایش خاک و تولید رسوب مشکل عمده‌ای است که روز به روز روند افزایشی پیدا می‌کند و منجر به از دست رفتن خاک سطحی در دامنه‌ها، تجمع رسوب در مخازن سده، رسوب‌گذاری در کانال‌ها و خسارات قابل ملاحظه به اقتصاد کشور می‌شود (۶).

در بررسی عوامل موثر در فرسایش خاک اساساً نمی‌توان عامل مشخص و معینی را به عنوان عامل اصلی

و نشان دادند که این رابطه تنها قادر است ۴۷ درصد از تغییرات میزان تولید رسوب در رگبارها را ارزیابی نماید.

کینل و ریس (۵)، به بررسی توانایی مدل USLE در تخمین مقدار رسوب انتقالی در حوزه آبخیز Rocky Creek استرالیا پرداخته و نشان دادند که این مدل برای هدف مورد بررسی کارایی ضعیفی دارد و مدل USLE-M با کارایی بیشتر نسبت به مدل USLE در تخمین رسوب انتقالی طی رگبارها را معرفی نمودند.

صادقی و میزویاما (۱۶) معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده را برای برآورد بار رسوب حوزه آبخیز خان میرزا در غرب ایران به کار بردند. مقایسه مقادیر برآوردی با مقایر اندازه‌گیری شده نشان داد که این مدل قابلیت مناسبی در برآورد تلفات خاک در حوزه مورد نظر دارد و بین میانگین برآوردها با مقادیر اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

پونگسای و همکاران (۱۰) با استقرار پلات‌های آزمایشی در ۵ نوع شیب مختلف (۳۵-۳۰-۲۵-۱۶ و ۹ درصد) و اندازه‌گیری و ثبت رسوب حاصل از نمونه رگبار در فاصله زمانی جولای تا اکتبر سال ۲۰۰۳ اقدام به ارزیابی و واسنجی معادله جهانی فرسایش نموده و بیان نمودند 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.

لو و همکاران (۷) از نسبت تحویل رسوب برای تصحیح اثر کاهش باررسوبی در خروجی استفاده نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که بار رسوبی حوزه‌های آبخیز اغلب کمتر از فرسایش خاک اندازه‌گیری شده در پلات‌های دامنه‌ای می‌باشد و این به آن علت است که مدل‌های فرسایش خاک از قبیل USLE شدت فرسایش خاک ناخالص در پلات‌ها را بیشتر از شدت‌های اندازه‌گیری شده در خروجی حوزه‌های آبخیز تخمین می‌زنند.

بررسی سوابق تحقیق موجود در رابطه با کاربرد رابطه جهانی فرسایش خاک USLE و برخی از نسخ آن بر توانایی متفاوت آنها در ارزیابی رسوب و فرسایش ناشی از رگبارها اذعان داشته‌اند که ضرورت انجام مطالعات گسترده‌تر در این زمینه را تاکید می‌کند.

از این رو در تحقیق حاضر سعی شده تا قابلیت مدل USLE و همچنین برخی نسخ آن شامل MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLT و AUSLE در کاربری مرتع در منطقه سفید دشت در شهرستان سمنان به دلیل موجودیت اطلاعات و قابلیت دسترسی به داده‌های اندازه‌گیری شده مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرد.

زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور، بکارگیری روش‌های تجربی مناسب برای برآورد شدت فرسایش خاک و تولید رسوب را الزامی می‌نماید (۱۴).

در ارتباط با برآورد مقادیر فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز و تعیین روش مناسب برآورد آنها از اوایل قرن بیستم مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته و نهایتاً منجر به تهیه رابطه جهانی فرسایش خاک USLE گردید که به طور گسترده در سرتاسر جهان برای تخمین سالانه فرسایش خاک ناشی از فرسایش‌های سطحی و شیاری استفاده می‌شود (۲۱).

از آنجایی که مدل USLE و نسخ مختلف آن برای شرایط خاک‌های ایالت متحده توسعه یافته‌اند، استفاده از آنها در مناطق غیر از ایالت متحده امکان‌پذیر نمی‌باشد مگر اینکه مقادیر توسعه داده شده برای ایالت متحده برای شرایط سایر مناطق تطبیق داده شده و با مطالعات میدانی تایید گردد (۶).

غلامی (۲)، در حوزه آبخیز سد قشلاق در استان کردستان به بررسی قابلیت مدل‌های MUSLE-E، MUSLT، MUSLE-S، AUSLE، USLE و TAM پرداخته و نتیجه گرفت که تنها مدل‌های MUSLE-S و TAM بیشترین کارایی را در تخمین رسوب رگبار در منطقه مورد مطالعه دارا می‌باشند.

در این خصوص صادقی و همکاران (۱۵)، میزان کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخ آن را در پلات‌های استاندارد در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع در مقیاس رگبار در ایستگاه منابع طبیعی خسیجان اراک ارزیابی نموده و به این نتیجه رسیدند که بین برآورد رسوب بسیاری از نسخ با یکدیگر ارتباط آماری مناسبی وجود دارد، اما مدل‌های مذکور به جز مدل MUSLE-E آن هم در کاربری مرتعی، در برآورد رسوب ناشی از رگبارها در تیمارهای مورد مقایسه کارایی نداشته‌اند.

رحمتی (۱۱)، به بررسی کارایی معادله جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخ آن در رسوب تولیدی رخدادهای بارشی در کرت‌های با خصوصیات یکسان در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مشهد پرداخته و نتیجه گرفت که مقادیر برآوردی چهار روش MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLT و MUSLE-M همبستگی معنی‌داری با رسوب مشاهداتی داشته و می‌توانند روند تغییرات رسوب ناشی از رگبار را به خوبی برآورد نمایند.

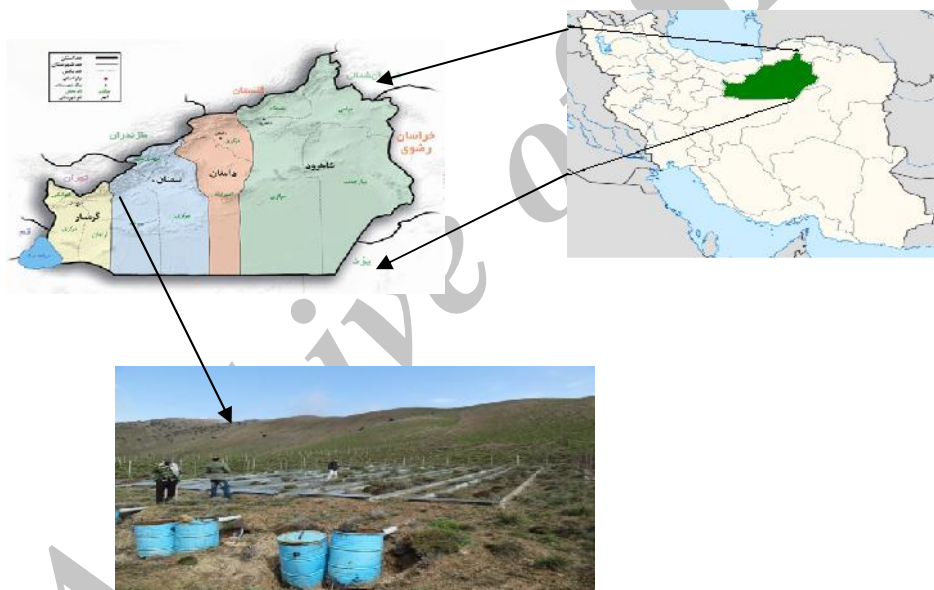
ویلیامز و برنت (۱۹)، رابطه جهانی فرسایش خاک را برای تخمین میزان رسوب رگبار در آمریکا استفاده نموده

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سایت تحقیقات مرگسر با مختصات جغرافیایی بین ۵۳ درجه و ۷ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و در شمال غربی شهرستان سمنان و شه میرزاد واقع شده است. فاصله آن تا شهرستان سمنان ۵۰ کیلومتر است. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۲۷۰۰ متر، متوسط بارندگی، درجه حرارت و پتانسیل تبخیر و تعرق سالانه به ترتیب ۳۰۰ میلی متر، ۴/۳ درجه سانتیگراد و ۴۴۱ میلی متر همچنین آب و هوای منطقه نیمه خشک فرا سرد می‌باشد. از نظر تکتونیکی منطقه

مورد مطالعه در زون البرز جنوبی قرار داشته و متاثر از حوادث این زون می‌باشد که تغییرات کلی در خود داشته است. از نظر پوشش گیاهی بایستی بیان نمود که نوع پوشش گیاهی موجود در پلات‌های مستقر پوشش گیاهی غالب در منطقه از نوع کاربری مرتعی و تیپ کلی آن بالشتکی- گراس می‌باشد.

خاک‌های منطقه موجود در محل استقرار پلات‌ها از نوع خاک‌های معرف در منطقه (رگوسول و لیتوسول) می‌باشد. موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و شمای کلی پلات‌ها.

نمونه‌های رواناب و رسوب جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل شده و نمونه‌ها در داخل آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت یک روز، خشک (۷) شدند و وزن رسوب برای هر نمونه (با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت وزنی تا حد هزارم گرم) تعیین گردید.

در این سایت طی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ تعداد ۱۵ رگبار ثبت شده است. نتایج اندازه‌گیری رسوب و رواناب در واحد سطح هر پلات تعیین گردیدند و به این ترتیب میزان رسوبدهی هر پلات برای هر رگبار تعیین شدند.

در این تحقیق از پلات‌های موجود در ایستگاه تحقیقات مدیریت دام و مرتع جاشلوبار استفاده شد. در داخل این سایت، ۶ پلات استاندارد ۴۰ متر مربعی (با ابعاد ۲۲/۱ در ۱/۸۲) احداث شده است. دسته‌های ۶ تایی پلات‌ها در شیب ۴۵ درصد و در جهت شرقی قرار گرفته اند. در انتهای هر پلات، لوله خروجی رواناب تعبیه شده است که به تانک‌های جمع‌آوری‌کننده رواناب و رسوب هدایت می‌شوند. شمای کلی پلات‌های مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه گردیده است. پس از وقوع هر رگبار،

جدول ۱- مشخصات رگبارهای انتخابی مدل‌های مورد مطالعه و رسوب تولیدی ناشی از آنها

تاریخ وقوع رگبار (روز)	مقدار بارش (میلی‌متر)	مدت بارش (ساعت)	شدت نیم ساعته (سانتی‌متر بر ساعت)	حجم رواناب (مترمکعب)	رسوب مشاهده‌ای (گرم در مترمربع)
۱۳۸۹/۰۱/۲۰	۲/۴	۰/۸۳۳	۴/۲	۰/۰۰۲۱	۰/۴۵۵
۱۳۸۹/۰۱/۲۹	۴/۱	۱/۶۵	۳/۷	۰/۰۰۱۲	۰/۴۶
۱۳۸۹/۰۲/۰۴	۴/۶	۵/۶۶	۱/۴	۰/۰۰۰۳۱	۰/۴۷۸
۱۳۸۹/۰۲/۱۲	۱۰/۱	۶/۴	۳/۴	۰/۰۰۰۱	۱۱/۲۶
۱۳۸۹/۰۷/۰۶	۶/۷	۵	۳/۸	۰/۰۰۰۱	۴/۲۶
۱۳۸۹/۰۸/۰۶	۷	۶/۵۲	۳	۰/۰۰۰۲	۰/۷۳۴
۱۳۸۹/۰۸/۱۳	۲/۸	۰/۷۳	۵/۶	۰/۰۰۰۱۶	۰/۱۳۸
۱۳۹۰/۰۲/۱۲	۰/۰۳	۰/۰۸۳	۰/۴۶	۰/۰۰۰۲۷	۱/۵
۱۳۹۰/۰۳/۲۱	۴/۵	۰/۶۶	۱۶	۰/۰۰۰۴۱	۲۵۳/۴۶
۱۳۹۰/۰۴/۰۳	۴/۶	۱/۳۸	۹/۲	۰/۰۰۰۵۳	۳/۹۹
۱۳۹۰/۰۵/۰۱	۰/۷	۰/۰۸۳	۱/۲	۰/۰۰۰۳۳	۳/۱۸
۱۳۹۰/۰۵/۱۹	۲/۶	۰/۴۳۲	۵/۲	۰/۰۰۰۰۶	۲۰/۴۹
۱۳۹۰/۰۶/۰۲	۰/۹	۰/۲	۱/۷	۰/۰۰۰۱	۱۰/۹۱۲
۱۳۹۰/۰۶/۰۷	۱/۶	۱/۲۸۳	۲	۰/۰۰۰۱۴	۶/۳۹
۱۳۹۰/۰۷/۰۶	۳/۸	۰/۵۱	۷/۲	۰/۰۰۰۴۴	۲/۲۴

تغییر احتمالی آن در کنترل تخمین مدل‌های مورد استفاده، ثابت (۲) فرض شد.

مقدار LS در پلات‌های استاندارد و برای کلیه روش‌های مورد استفاده به جزء AUSLE برابر با ۲/۲ بوده حال آنکه مقدار مزبور برای AUSLE برابر ۲/۶۱ محاسبه شد.

مقدار C نظر به عدم تغییر پوشش گیاهی طی دوره مورد مطالعه و همچنین تحقیقات انجام شده برابر با ۰/۰۵۸ منظور گردید. عامل P نیز با توجه به عدم انجام هرگونه اقدامات حفاظتی در منطقه مورد مطالعه، ثابت و برابر با واحد (۱۸) برآورد گردید. سپس مقایسه نتایج به دست آمده از روش‌های تخمین با یکدیگر و مقادیر مشاهده‌ای ناشی از رگبارها با استفاده از ماتریس همبستگی و آزمون t- استیودنت انجام شد.

برای انجام محاسبات و تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS¹³ و صفحه گسترده Excel استفاده به عمل آمد. به منظور ارزیابی کارایی مدل در تحقیق حاضر از روش ناش و ساتکلیف و آماره میانگین نسبی مجذور مربعات خطا استفاده شد که معادلات آن به صورت زیر می‌باشد (۳).

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_0^i - Q_i^i)}{\sum_{i=1}^n (Q_0^i - Q_0^i)}$$

که در آن: E کارایی مدل، n تعداد مشاهدات، Q_0^i میانگین مقادیر مشاهده‌ای، Q_i^i مقدار مشاهده‌ای، مقدار برآوردی است. دامنه تغییرات E از منفی بی نهایت تا ۱ می‌باشد و مقادیر نزدیک‌تر به ۱ نشان‌دهنده کارایی

معالات و روابط هر یک از مدل‌های مورد استفاده برای تخمین رسوبدهی پلات‌ها به شرح زیر می‌باشند:

رابطه (۱) $A = R.K.L.S.C.P$

رابطه (۲) $RMUSLE-E = 1.586 (Q_p q_p)^{0.56} (DA)^{0.12}$

رابطه (۳) $RMUSLE-S = 11.8 (Q_p q_p)^{0.56}$

رابطه (۴) $R MUSLT = 2.5(Q_p q_p)^{0.5}$

رابطه (۵) $LSAUSLE = (AS/22.13)^{0.4} * (Sina/0.0896)^{1.3}$

در روابط فوق A میزان فرسایش خاک متوسط سالانه در USLE (تن در هکتار)، R، K، L، S، C و P به ترتیب عوامل فرساینده‌گی (تن متر بر هکتار در سانتی‌متر بر ساعت)، فرسایش‌پذیری (تن بر هکتار به ازای هر واحد فرساینده‌گی)، توپوگرافی، مدیریت زراعی و مدیریت اراضی، حجم رواناب (مترمکعب)، q_p دبی اوج رگبار (مترمکعب بر ثانیه)، DA مساحت حوزه (هکتار)، AS مساحت پلات (متر مربع) و a تندی شیب (درجه) است. اطلاعات مربوط به خصوصیات بارش (مقدار بارش، مدت بارش و حداکثر شدت نیم ساعته) با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌های باران نگار استخراج شدند.

خصوصیات هیدرولوژیکی رواناب (حجم، دبی و ضریب رواناب) با استفاده از مقادیر رواناب جمع‌آوری شده، هیدروگراف مثلثی بدون بعد (۱) و تقسیم حجم رواناب حاصله بر حجم بارش تعیین گردید. مقدار فرسایش‌پذیری خاک (K) با توجه به نوع بافت خاک و مطالعات خاک شناسی انجام شده برابر ۰/۳۳ تن بر هکتار به ازاء واحد فرساینده‌گی در سیستم متریک لحاظ و مقدار آن با توجه به کوتاه بودن دوره مورد مطالعه و همچنین نقش یکسان

مورد توجه قرار گرفته است. به طوریکه هر بار اقدام به اخذ نمونه‌های خاک از هر یک از پلات‌ها شده و سپس نمونه خاک اخذ شده از شش پلات را با هم ترکیب نموده و در نهایت یک نمونه ترکیبی خاک بدست آمد.

اخذ نمونه‌های خاک از هر پلات در هر بار با توجه به طول شیب و از قسمت یک سوم ابتدایی- یک سوم میانی و یک سوم انتهایی پلات‌ها بدست آمد تا اثر شیب روی خصوصیات خاک نیز مورد توجه قرار گیرد.

پس از تعیین عوامل مورد نظر اقدام به محاسبه برآورد رسوبدهی پلات‌ها از طریق مدل‌های USLE و MUSLE-E، MUSLE-S و AUSLE شد که مقادیر آنها همراه با مقادیر رسوب مشاهده‌ای در جدول ۵ ارائه شده است. جدول ۶ نیز نتایج مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون t- استیودنت را نشان می‌دهد. ماتریس همبستگی بین مقادیر رسوب روش‌های مذکور و مقادیر رسوب مشاهده‌ای در جدول ۷ ارائه شده است.

در جدول ۸ نتایج ارزیابی و کارایی مدل با استفاده از روش ناش- سائکلیف و آماره میانگین نسبی مجذور مربعات خطا (RRMSE) نشان داده شده است.

بالتر مدل و مقادیری که به سمت منفی بی‌نهایت میل می‌کند نشان‌دهنده 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، Qi: مقدار مشاهده‌ای و N: تعداد داده می‌باشد. دامنه تغییرات RRMSE از صفر تا بی‌نهایت است و مقادیر نزدیک‌تر به صفر نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل می‌باشند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از محاسبات میانگین عامل بارندگی، فرسایش خاک و مطالعات پوشش گیاهی مربوط به پلات‌های مستقر در منطقه در جدول‌های ۲، ۳ و ۴ آورده شده است. در این ارتباط بایستی بیان با توجه به آنکه شش پلات در منطقه مستقرند لذا نمونه‌های ترکیبی از خاک و پوشش گیاهی و شاخص فرسایش‌پذیری خاک

جدول ۲- مقادیر انرژی جنبشی و عامل بارندگی در منطقه مورد مطالعه

عامل بارندگی (R)	انرژی جنبشی (تن متر بر هکتار بر سانتی‌متر)	تاریخ وقوع رگبار (روز)
۰/۶۸	۱۶۲/۱۹	۱۳۸۹/۰۱/۲۰
۰/۵۸	۱۵۶/۴۱	۱۳۸۹/۰۱/۲۹
۰/۱۶	۱۱۳/۳	۱۳۸۹/۰۲/۰۴
۰/۴۷	۱۳۸/۹۳	۱۳۸۹/۰۲/۱۲
۰/۵	۱۳۲/۶	۱۳۸۹/۰۷/۰۶
۰/۳۷	۱۲۴	۱۳۸۹/۰۸/۰۶
۰/۹۷	۱۷۳/۲۶	۱۳۸۹/۰۸/۱۳
۰/۰۷۸	۱۷۰/۸	۱۳۹۰/۰۲/۱۲
۴/۵۵	۲۸۴/۵	۱۳۹۰/۰۳/۲۱
۱/۵۴	۱۶۷/۸	۱۳۹۰/۰۴/۰۳
۰/۲۴	۲۰۳/۷	۱۳۹۰/۰۵/۰۱
۰/۹۹	۱۹۰/۵	۱۳۹۰/۰۵/۱۹
۰/۳	۱۷۹/۴	۱۳۹۰/۰۶/۰۲
۰/۵	۱۹۶/۵	۱۳۹۰/۰۶/۰۷
۱/۴۳	۱۹۸/۹۲	۱۳۹۰/۰۷/۰۶

جدول ۳- نتایج حاصل از بررسی خصوصیات خاک و فاکتور فرسایش‌پذیری آن در پلات‌های مستقر در منطقه

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک	کلاس نفوذپذیری	کلاس ساختمان خاک	بافت خاک	درصد مواد آلی	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	درصد نمونه ترکیبی خاک از محل پلات‌ها
۰/۲۸	۲	۲	سیلتی لومی	۴/۷۷	۴	۵۶	۶/۹۱	یک سوم ابتدایی
۰/۳۴	۲	۲	شنی لومی	۲/۸۹	۴	۴۹	۱۰/۲۴	یک سوم میانی
۰/۳۳	۲	۲	سیلتی لومی	۲/۰۲	۴	۵۶	۴/۶۲	یک سوم انتهایی

جدول ۴- نتایج حاصل از بررسی اطلاعات پوشش گیاهی در پلات‌های مورد بررسی

شماره پلات	درصد سنگریزه	درصد خاک لخت	درصد لاشیرگ	درصد پوشش گیاهی	ضریب C
۱	۳۷/۸	۱۶/۵	۴/۱	۴۱/۶	۰/۰۸
۲	۴۱/۴	۱۱/۱	۷	۴۰/۵	۰/۰۸
۳	۳۲/۳	۱۷/۸	۳/۵	۵۱	۰/۰۵
۴	۳۳/۲	۱۵/۸	۳/۷	۴۷/۳	۰/۰۶
۵	۲۰/۱	۱۲/۷	۲/۸	۶۴/۳	۰/۰۳
۶	۳۰	۴/۴	۲/۱	۵۱/۶	۰/۰۵

جدول ۵- مقادیر رسوب تخمینی مدل‌های USLE، MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLT و AUSLE

مقادیر رسوب برآوردی حاصل از نسخ مختلف مورد بررسی (گرم در مترمربع)					رسوب مشاهده‌ای (گرم در مترمربع)	تاریخ وقوع رگبار (روز)
AUSLE	MUSLT	MUSLE-E	MUSLE-S	USLE		
۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۱۷۵	۰/۴۵۵	۱۳۸۹/۰۱/۲۰
۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۰۱۳	۰/۴۶	۱۳۸۹/۰۱/۲۹
۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۴	۰/۴۷۸	۱۳۸۹/۰۲/۰۴
۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۲	۱۱/۲۶	۱۳۸۹/۰۲/۱۲
۰/۰۲۵	۰/۰۰۰۰۷۳	۰/۰۰۰۰۸۲	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۵۴	۴/۲۶	۱۳۸۹/۰۷/۰۶
۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۵۵	۰/۰۰۶	۱/۲۳۴	۱۳۸۹/۰۸/۰۶
۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۲۴	۰/۰۱۶	۰/۱۳۸	۱۳۸۹/۰۸/۱۳
۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۵۲	۰/۰۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۳۱	۰/۰۰۱۶	۱/۵	۱۳۹۰/۰۲/۱۲
۰/۲۲۸	۰/۰۰۰۰۵۲	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۱۹۲	۲۵۳/۴۶	۱۳۹۰/۰۳/۲۱
۰/۰۷۷	۰/۰۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۹۳	۰/۰۶۵	۳/۹۹	۱۳۹۰/۰۴/۰۳
۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۰۰۴۷	۰/۰۰۰۰۵۲	۰/۰۰۶	۳/۱۸	۱۳۹۰/۰۵/۰۱
۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۰۷۱	۰/۰۰۰۰۰۷۷	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۱۳	۲۰/۴۹	۱۳۹۰/۰۵/۱۹
۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۱۲	۱۰/۹۱۲	۱۳۹۰/۰۶/۰۲
۰/۰۱۹۶	۰/۰۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۹۹	۰/۰۱۶	۶/۳۹	۱۳۹۰/۰۶/۰۷
۰/۰۱۸۵	۰/۰۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۰۹۸	۰/۰۵۵	۲/۲۴	۱۳۹۰/۰۷/۰۶

جدول ۶- خلاصه آزمون مقایسه میانگین‌ها با آزمون t- استیودنت

روش‌های مورد مقایسه	میانگین روش	انحراف معیار	اشتباه از معیار	سطح اطمینان ۹۵ درصد حد پایین	سطح اطمینان ۹۵ درصد حد بالا	آماره t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
USLE	۰/۰۹۸۰۷	۰/۱۹۴۴	۰/۰۱۳۸۱	۰/۱۲۵۳	۰/۰۷۰۸	۷/۰۹۸	۱۹۷	۰/۰۰۰***
MUSLE-S	۰/۰۲۹۳۳	۰/۱۷۱۱۷	۰/۰۱۲۱۶	۰/۰۰۵۳۴۶	۰/۰۵۳۳۲	۲/۴۱۲	۱۹۷	۰/۱۷
MUSLEE	۰/۰۲۹۶۰	۰/۱۷۱۵	۰/۰۱۲۱۹	۰/۰۰۵۵۷	۰/۰۵۳۶۴	۲/۴۲۸	۱۹۷	۰/۱۶
MUSLT	۰/۰۲۹۴۷	۰/۱۷۱۳	۰/۰۱۲۱۷	۰/۰۰۵۴۵۶	۰/۰۵۳۴۹	۲/۴۲۰	۱۹۷	۰/۱۶
AUSLE	۰/۰۵۴۶۴	۰/۱۷۱۹۱	۰/۰۱۲۲۱	۰/۰۷۸۷۳	۰/۰۳۰۵	-۴/۴۷۳	۱۹۷	۰/۰۰۰***

*: سطح معنی‌داری ۵٪ ** : سطح معنی‌داری ۱٪

جدول ۷- ماتریس همبستگی مقادیر رسوب تخمینی مدل‌های مورد مطالعه

AUSLE	MUSLT	MUSLE-E	MUSLE-S	USLE	مشاهده‌ای	روش مشاهده‌ای
					۱/۰۰	روش مشاهده‌ای
				۱/۰۰	۰/۲۲۶**	USLE
			۱/۰۰	۰/۱۶۴*	۰/۵۴۷**	MUSLE-S
		۱/۰۰	۰/۵۶۷**	۰/۱۷۷*	۰/۳۳۹**	MUSLE-E
	۱/۰۰	۰/۶۲۳**	۰/۸۳۴**	۰/۲۳۳**	۰/۶۰۴**	MUSLT
۱/۰۰	۰/۲۵۷**	۰/۱۹۲**	۰/۱۹۲**	۰/۸۳۷**	۰/۲۲۶**	AUSLE

جدول ۸- اولویت کارایی و رتبه‌بندی مدل‌های مورد استفاده با استفاده از روش ناش- ساتکلیف (ME) و آماره میانگین نسبی مجذور مربعات خطا (RRMSE)

مدل	MUSLT	MUSLE-E	MUSLE-S	USLE	AUSLE
E	-۰/۱	-۰/۳	-۲/۱	-۱۰۶۷۰۹	-۸۲۲۵۹
RRMSE	۱/۵۵	۱/۶۰	۱/۷۹	۳۰۰	۲۱۲/۹
اولویت کارایی مدل	اول	دوم	سوم	عدم کارایی	عدم کارایی

نتایج ارزیابی کارایی مدل‌ها با استفاده از روش ناش-ساتکلیف و آماره میانگین نسبی مجذور مربعات خطا (RRMSE) نشان داد که مقدار کارایی (E) برای مدل‌های MUSLT، MUSLE-E و MUSLE-S به ترتیب برابر ۰/۱، ۰/۳- و ۲/۱- بدست آمده است. این مقادیر بدلیل اینکه به عدد ۱ نزدیک‌تر هستند از نظر کارایی در محدوده قابل قبول واقع شده‌اند ولیکن به ترتیب فوق رتبه‌بندی و از کارایی بالاتری برخوردار هستند و بقیه مدل‌ها عدم کارایی آنها در تحقیق حاضر مورد تأیید فرار می‌گیرد.

مقدار کارایی RRMSE برای مدل‌های MUSLT، MUSLE-E و MUSLE-S به ترتیب برابر ۱/۵۵، ۱/۶۰ و ۱/۷۹ بدست آمده است این مقادیر بدلیل اینکه به عدد صفر نزدیک‌تر هستند دارای کارایی مناسب تشخیص داده شدند.

هدف از انجام این تحقیق ارزیابی کارایی مدل USLE و برخی از نسخ آن همچون MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLT و AUSLE در برآورد رسوبدهی رگبارهای منفرد بوده است. با توجه به نتایج حاصله از ماتریس همبستگی بین مقادیر رسوب برآوردی مدل‌های USLE، MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLT و AUSLE و رسوب مشاهده‌ای می‌توان دریافت که مدل‌های MUSLT و MUSLE-S بالاترین همبستگی را با رسوب مشاهده‌ای داشته‌اند که با نتایج به دست آمده توسط صادقی و همکاران (۱۵) در ایستگاه منابع طبیعی خسیبجان اراک، صادقی و همکاران (۱۷) و صادقی (۱۸) در حوزه آبخیز امامه مطابقت دارد.

در این تحقیق میزان ضریب همبستگی بین مدل USLE و رسوب مشاهده‌ای نشان‌دهنده میزان رابطه پایین بین آنهاست که با نتایج به دست آمده توسط ویلیامز و برنت (۱۹) مبنی بر توانایی بسیار کم رابطه جهانی فرسایش خاک در برآورد رسوب رگبارها هم‌خوانی دارد.

همچنین با مقایسه مقادیر برآوردی مدل‌های USLE، MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLT و AUSLE و رسوب مشاهده‌ای با آزمون t - استیودنت می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف بین مقادیر رسوب به دست آمده از مدل‌های MUSLE-S، MUSLT و MUSLE-E با رسوب مشاهده‌ای معنی‌دار نمی‌باشد که با نتایج صادقی و همکاران (۱۵) در ایستگاه منابع طبیعی خسیبجان اراک، غلامی (۲) در حوزه آبخیز سد قشلاق در استان کردستان و رحمتی (۱۱) در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مشهد مطابقت دارد. در حالی که در مورد مدل USLE و AUSLE اختلاف با مقادیر مشاهده‌ای معنی‌دار می‌باشد که با نتایج به دست آمده توسط کینل و ریس (۵) و کینل

بررسی‌ها در ارتباط با عامل بارندگی نشان‌دهنده آن است که دامنه تغییرات این شاخص در طول دوره مطالعاتی گداری نوسانات قابل ملاحظه‌ای می‌باشد که این امر به دلیل وقوع رگبارهایی با خصوصیات مختلف در طی مدت مطالعه می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی شاخص فرسایش‌پذیری خاک در پلات‌های مورد بررسی نشان‌دهنده نزدیکی مقدار این شاخص در بخش‌های ابتدایی- میانی و انتهایی پلات‌ها دارد که این امر به دلیل وجود خاک‌های تقریباً یکنواخت در بخش‌های مختلف پلات‌های مستقر می‌باشد.

در ارتباط با انتخاب رگبارها بایستی به این نکته اشاره نمود که رگبارهایی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند که تولید رسوب نموده بودند از اینرو از دخالت دادن رگبارهایی که رسوب تولیدی نداشتند جلوگیری به عمل آمد. از نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش t -استیودنت نشان داد که مقادیر برآوردی مدل MUSLE-S با سطح معنی‌داری ۰/۱۷ و ($t=۲/۴۱۲$) و MUSLT با سطح معنی‌داری ۰/۱۶ و ($t=۲/۴۲۰$) و MUSLE-E با سطح معنی‌داری ۰/۱۶ و ($t=۲/۴۲۸$) تفاوت معنی‌داری را با رسوب مشاهده‌ای در سطح یک درصد نشان نمی‌دهند و برآوردهای آنها در محدوده قابل قبول قرار می‌گیرد. حال آنکه نتایج روش‌های USLE با سطح معنی‌داری ۰/۰۰ و ($t=۷/۰۹۸$) و AUSLE با سطح معنی‌داری ۰/۰۰ و ($t=-۴/۴۷۳$) با رسوب مشاهده‌ای اختلاف معنی‌داری دارند و این دو مدل قادر به برآورد مناسب رسوب ناشی از رگبار نمی‌باشند.

بر اساس نتایج به دست آمده در جدول ۷ می‌توان دریافت که ضرایب همبستگی بین مدل USLE و برخی از نسخ آن شامل MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLT و AUSLE و رسوب مشاهده‌ای نشان می‌دهد که مدل‌های MUSLT و MUSLE-S به ترتیب با ضرایب محاسبه شده برابر با $r=۰/۶۰۴$ و $r=۰/۵۴۷$ بالاترین همبستگی را با رسوب مشاهده‌ای داشته‌اند. در این تحلیل، ضریب همبستگی بین مدل‌های MUSLE-E و رسوب مشاهده‌ای برابر با $r=۰/۳۳۹$ برآورد شده است که این مقدار، میزان رابطه بین دو پارامتر را در حد متوسط، نشان می‌دهد.

میزان ضریب همبستگی بین مدل‌های USLE، AUSLE و رسوب مشاهده‌ای برابر با ۰/۲۲۶ محاسبه شده است که نشان‌دهنده میزان روابط پایین بین آنهاست بر این اساس، می‌توان گفت که نتایج حاصل از مدل‌های MUSLT و MUSLE-S برای تخمین رسوب ناشی از رگبارها در تحقیق حاضر در مقایسه با سایر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار هستند.

در پایان می‌توان گفت توسعه تحقیقات مشابه با تعداد بیشتر رگبار در منطقه مورد مطالعه و یا سایر حوزه‌های آبخیز کشور و حتی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی به منظور امکان جمع‌بندی‌های نهایی و جامع از توصیه‌های حاصل از تحقیق فعلی است.

(۴) در حوزه آبخیز راکی کریک استرالیا مبنی بر کارایی پایین مدل USLE در تخمین رسوب انتقالی طی رگبارها و با نتایج صادقی (۱۸) در حوزه آبخیز امامه مطابقت دارد و با نتایج رحمتی (۱۱) در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مشهد مبنی بر اینکه مدل‌های USLE و AUSLE همبستگی معنی‌داری با رسوب مشاهداتی دارد مطابقت ندارد.

منابع

1. Alizade, A. 2004. Practical Hydrology Fundamentals. University of Emam Reza Publications, Thirteen Editions, 570 pp (In Persian).
2. Gholami, L. 2007. Presentation of estimation of sediment production model for Gheshlagh watershed, Kordestan Province M.Sc. Thesis of watershed management Tarbiat Modares University, 135 pp (In Persian).
3. Hashemi, S.A. and M. Arabkhedri. 2008. Evaluation of EPM model by sediment measurement in reservoirs of small dams. Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Sciences, 11: 345-355 (In Persian).
4. Kinnell, P.I.A. 2004. Agriculture non point source pollution model using the USLE-M. AGNPS-UM User, S Guide, University of Canberra, Australia, 210 pp.
5. Kinnell, P. I.A. and L.M. Risse. 1998. USLE-M: Empirical modeling rainfall erosion through runoff and sediment concentration. Soil Science Society of American Journal, 62: 1667-1672.
6. Javadi, M.R., F. Mirdar, Sh. Gholami and N. Mashhadi. 2012. Estimation and Comparison of Water Erosion Sedimentation Potential by MPSIAC and EPM Models Using GIS. Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources, 7:1-15 (In Persian).
7. Lu, H., C.H. Moran and I. Prosser. 2006. Modelling Sediment Delivery Ratio over the Murray Darling Basin. Environmental Modelling and Software Journal, 21:1297-1308.
8. Olivares, B., K. Verbist, D. Lobo, R.Vargas and O. Silva. 2011. Evaluation of the USLE model to estimate water erosion in an Alfisol. Journal of soil science and plant nutrition, 11: 72-85.
9. Onstad, C.A. and G.R. Foster. 1975. Erosion modeling on a watershed. Trans. Catena, 18: 288-292.
10. Pongsai, S., D.V. Schmidt, P. Rajendra, R. Shetha, S. Clemente and A. Eiumnoh. 2010. Calibration and Validation of the Modified Universal Soil Loss Equation for Estimating Sediment Yield on Sloping Plots: A Case Study in Khun Satan Cachment of northern Thailand. Canadian Journal of Soil Sciences, 90: 585-596.
11. Rahmati, S. 2013. Evaluating of Efficiency and Accuracy of USLE and Some of its Versions in Estimating of Event Base Sediment in the Semi-Arid Rangelands. M.Sc. Thesis of watershed management, Islamic Azad University-Nour Branch, 128 pp (In Persian).
12. Rahmati, S., M.R. Javadi and A. Rangavar. 2016. Evaluation of Erosivity factor in USLE Version in Semi-arid Regions of Khorasan. Journal of Environmental Erosion Research, 4:17-29.
13. Refahi, H.Gh. 2000. Soil Erosion by Water and Conservation, Tehran University Press, 485 pp (In Persian).
14. Sadeghi, S.H.R., J.K. Singh and G. Das. 2004. Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction. Iran. International Agricultural Engineering Journal, 13: 1-14 (In Persian).
15. Sadeghi, S.H.R., H.R. Pour ghasemi, M. Mohamadi and H. Agha razi. 2008. Assessment of efficiency of USLE and USLE different versions in storm-wise sediment estimation (Khosbijan Natural Resource Research Site-arak). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 46: 323-334 (In Persian).
16. Sadeghi, S.H.R. and T. Mizuyama. 2007. Applicability of the modified universal soil loss equation for prediction of sediment yield in Khanmirza watershed, Iran. Hydrological Sciences Journal, 52: 1068-1075.
17. Sadeghi, S.H.R., J.K. Singh and G. Das. 2003. Storm-wise sediment yield prediction using applicable models in Iran. Journal of Agriculture Science and Natural Retours of Khazar, 1: 83-94 (In Persian).
18. Sadeghi, S.H.R., J.K. Singh and G. Das. 2004. Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction. Iran. Agriculture Engineering Journal, 13: 1-14 (In Persian).
19. Williams, J.R. 2010. Sediment-yield prediction with Universal Equation Using Run off Energy Factor. Present and Prospective Technology for Prediction Sediment Yield and Sources, ARS-S-40, US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 25: 244-252.
20. Williams, J.R. and H.D. Berndt. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Catena, 20: 1100-1104.
21. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses-aguide to conservation planning US Department of Agriculture, Agricultural Handbook 537 USDA Washington DC. 238 pp.

Efficiency of USLE and some it's Variations for Storm-Wise Sediment Yield in Semi-arid Ranges (Case Study: Margsar Anistitiue of Semnan)

Majid Kargar¹, Mohammad Reza Javadi², Seyed Ali Asghar Hashemi³ and Maryam Mohammad Ebrahimi¹

1 - M.Sc. Student, Natural Resources Departemant, Islamic Azad University of Noor Branch

2- Assistant Professor, Natural Resources Departemant, Islamic Azad University of Noor Branch

(Corresponding author: m_Javadi@iaunour.ac.ir)

3- Scientific Board Member, Natural Resources and Animal Affairs Research Center of Semnan

Received: November 9, 2013

Accepted: April 20, 2015

Abstract

Severe lack of data on soil erosion and sedimentation in many national watersheds requires the application of appropriate empirical methods for their estimation. This study is aimed to evaluate the efficiencies of Universal Soil Loss Equation (USLE) and some of its variations including MUSLT, MUSLE-E, MUSLE-S and AUSLE in semi-arid climates. This study was undertaken on standard plots in the ranges of Margsar, range and livestock management research station, Jashlobar, Mahdishahr, Semnan province. For this, all of required variables and input data for the respective models have been calculated for the respective plots. Finally, the estimations from both models and measured sediments have been compared during 15 showers. The results of t student's t-test showed that there is no significant difference between MUSLE-E, MUSLT and MUSLE-S models and the measured sediment. Also, the results from efficiencies of the models by Nash-Sutcliffe method as well as relative root mean square error (RRMSE) showed that MUSLE-E, MUSLT and MUSLE-S models have higher efficiencies than other variations.

Keywords: USLE, Sedimentation, Semnan province, Standard plots