دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

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 مسوول: 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، MUSLT و AUSLE در شرایط اقلیمی نیمه خشک انجام شده است. محل تحقیق کرت‌های استاندارد در مراتع مرگسر ایستگاه تحقیقات مدیریت دام و مرتع جاشلوبار درشهرستان 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 MUSLT، MUSLE-E و 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 MUSLT، MUSLE-E و MUSLE-S از کارایی بالاتری نسبت به سایر مدل ها برخوردار می‌باشند.

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

مقدمه

از جمله عوامل موثر در اقتصاد در هر کشور، وجود منابع طبیعی در آن می‌باشد. در این بین، خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزائ منابع طبیعی نقش بسیار قابل ملاحظه ای 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 عمده ای 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 می شود (۶).

در بررسی عوامل موثر در فرسایش خاک اساسا نمی توان عامل مشخص و معینی را به عنوان عامل اصلی فرسایش خاک در یک منطقه معرفی نمود بلکه فرسایش در یک منطه 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

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 می شود (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 خسبیجان 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 USLE-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 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 می نمایند.

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 پلات های دامنه‌ای می‌باشد و این به آن علت است که مدل های فرسایش خاک از قبیل USLE شدت فرسایش خاک ناخالص در پلات‌ها را بیشتر از شدت‌های اندازه‌گیری شده در خروجی حوزه‌های آبخیز تخمین می‌زنند.

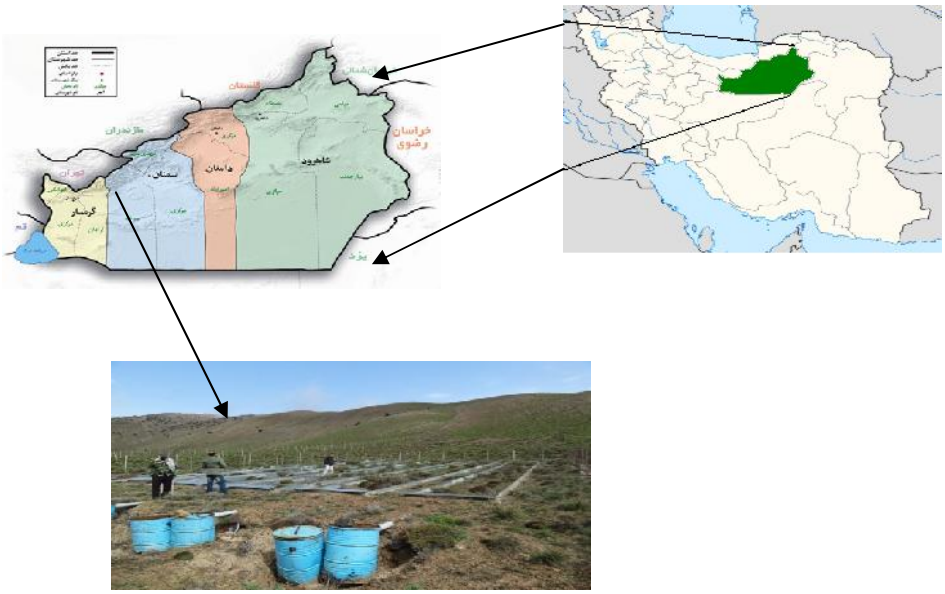
بررسی سوابق تحقیق موجود در رابطه با کاربرد را بطه جهانی فرسایش خاک USLE و برخی از نسخ آن بر توانایی متفاوت آنها در ارزیابی رسوب و فرسایش ناشی از رگبارها اذعان داشته‌اند که ضرورت انجام مطالعات گسترده‌تر در این زمینه را تاکید می‌کند.

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.

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 شهمیرزاد 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 میلی‌متر 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.

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، 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.

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 برساعت)	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	۰/۰۰۰۱۲	۰/۴۶
۱۳۸۹/۰۲/۰۴	۴.۶	۵/۶۶	۱/۴	۰/۰۰۰۲۱	۰/۴۷۸
۱۳۸۹/۰۲/۱۲	۱۰/۱	۶/۴	۳/۴	۰/۰۰۱	۱۱/۲۶
۱۳۸۹/۰۷/۰۶	۶/۷	۵	۳/۸	۰/۰۰۱	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	۴۵	۰/۶۶	۱۶	۰/۰۰۴۱	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	۰/۰۰۰۶	۲۰/۴۹
۱۳۹۰/۰۶/۰۲	۰/۹	۰/۲	۱/۷	۰/۰۰۱	۱۰/۹۱۲
۱۳۹۰/۰۶/۰۷	۱/۶	۱/۲۸۳	۲	۰/۰۰۱۴	۶/۳۹
۱۳۹۰/۰۷/۰۶	۳/۸	۰/۵۱	۷/۲	۰/۰۰۰۴۴	۲/۲۴

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

رابطه (۱) $A = R.K.L.S.C.P$

رابطه (۲) $RMUSLE\text{-}E = 1.586\ (Q.\ q_p)^{0.56}\ (DA)^{0.12}$

رابطه (۳) $RMUSLE\text{-}S = 11.8\ (Q.\ q_p)^{0.56}$

رابطه (۴) $R\ MUSLT=2.5(Q.\ q_p)^{0.5}$

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 فرسایندگی (تن متر بر هکتار در سانتی‌متر بر ساعت)، فرسایش‌پذیری (تن بر هکتار به ازای هر واحد فرسایندگی)، توپوگرافی، مدیریت زراعی و مدیریت اراضی، Q 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 داده های 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 فرسایندگی در سیستم متریک لحاظ و مقدار آن با توجه به کوتاه بودن دوره مورد مطالعه و همچنین نقش یکسان 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 یا 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 $SPSS_{13}$ 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).

$$\mathbf{E} = \frac{\sum_{t=1}^{n}\left(Q_0^t - Q_s^t\right)}{\sum_{t=1}^{n}\left(Q_0^t - Q_0^-\right)}$$

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

بالاتر مدل و مقادیری که به سمت منفی بی‌نهایت میل می‌کند نشان‌دهنده عدم کفایت مدل هستند.

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

RRMSE یا میانگین نسبی مجذور مربعات خطا که در آن Pi: مقدار برآوردی، Q_i: 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 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-S، MUSLE-E، MUSLT 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- ساتکلیف و آماره میانگین نسبی مجذور مربعات خطا (RRMSE) نشان داده شده است.

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 بسیار ریز	درصد شن	نمونه ترکیبی خاک از محل پلات‌ها
۰/۲۸	۲	۲	سیلتی لومی	۴/۷۷	۴	۵۶	۶/۹۱	۳۹	یک سوم ابتدایی
۰/۳۴	۲	۲	شنی لومی	۲/۸۹	۴	۴۹	۱۰/۲۴	۴۷	یک سوم میانی
۰/۳۳	۲	۲	سیلتی لومی	۲/۰۲	۴	۵۶	۴/۶۲	۴۰	یک سوم انتهایی

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

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

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

تاریخ وقوع رگبار (روز)	رسوب مشاهده‌ای (گرم در مترمربع)	مقادیر رسوب برآوردی حاصل از نسخ مختلف مورد بررسی (گرم در مترمربع)				
		USLE	MUSLE-S	MUSLE-E	MUSLT	AUSLE
۱۳۸۹/۰۱/۲۰	۰/۴۵۵	۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۲
۱۳۸۹/۰۱/۲۹	۰/۴۶	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۱۴	۰/۰۱۳
۱۳۸۹/۰۲/۰۴	۰/۴۷۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۲۵	۰/۰۰۴
۱۳۸۹/۰۲/۱۲	۱۱/۲۶	۰/۰۲	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۲۳
۱۳۸۹/۰۷/۰۶	۴/۲۶	۰/۰۵۴	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۰۸۲	۰/۰۰۰۰۷۳	۰/۰۲۵
۱۳۸۹/۰۸/۰۶	۰/۷۳۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۲۴	۰/۰۰۷۵
۱۳۸۹/۰۸/۱۳	۰/۱۳۸	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۱۹	۰/۰۱۹
۱۳۹۰/۰۲/۱۲	۱/۵	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۳۱	۰/۰۰۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۵۲	۰/۰۰۱۹
۱۳۹۰/۰۳/۲۱	۲۵۳/۴۶	۰/۱۹۲	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۵۲	۰/۲۲۸
۱۳۹۰/۰۴/۰۳	۳/۹۹	۰/۰۶۵	۰/۰۰۰۰۹۳	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۶۴	۰/۰۷۷
۱۳۹۰/۰۵/۰۱	۳/۱۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۰۵۲	۰/۰۰۰۰۰۴۷	۰/۰۰۰۰۳۸	۰/۰۰۷
۱۳۹۰/۰۵/۱۹	۲۰/۴۹	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۰۷۷	۰/۰۰۰۰۷۱	۰/۰۱۳
۱۳۹۰/۰۶/۰۲	۱۰/۹۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۱۵
۱۳۹۰/۰۶/۰۷	۶/۳۹	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰۹۹	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۱۹۶
۱۳۹۰/۰۷/۰۶	۲/۲۴	۰/۰۵۵	۰/۰۰۰۰۹۸	۰/۰۰۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۰۵۷	۰/۰۱۸۵

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

روش‌های مورد مقایسه		میانگین روش	انحراف معیار	اشتباه از معیار	سطح اطمینان ۹۵ درصد		آماره t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
					حد پایین	حد بالا			
اندازه‌گیری شده (مشاهداتی)	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

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

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

بررسی‌ها در ارتباط با عامل بارندگی نشان‌دهنده آن است که دامنه تغییرات این شاخص در طول دوره مطالعاتی گدارای 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 تقریبا 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 مشاهداتی در سطح یک درصد نشان نمی‌دهند و برآوردهای آنها در محدوده قابل‌قبول 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 مشاهداتی 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 مدل های MUSLT و MUSLE-S به ترتیب با ضرایب محاسبه شده برابر با r=۰/۶۰۴ وr=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.

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 تائید 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 خسبیجان 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 خسبیجان 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

(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.

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.

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 though 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. Shestha, 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 Kargar[1], Mohammad Reza Javadi[2], Seyed Ali Asghar Hashemi[3] and Maryam Mohammad Ebrahimi[1]

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