

ارزیابی دقت و کارایی رابطه جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخ آن در برآورد رسوب رگبارهای منفرد (مطالعه موردی: ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسبیجان، اراک)

سید حمیدرضا صادقی^{۱*}، حمیدرضا پورقاسمی^۱، مجید محمدی^۱ و حشمت الله آقارضی^۲

(تاریخ دریافت: ۸۶/۲/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۷/۲۲)

چکیده

عدم وجود و یا کمبود آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور، استفاده از روش‌های تجربی مناسب برای برآورد شدت و مقادیر فرسایش خاک و تولید رسوب را گریزناپذیر می‌نماید. در این تحقیق، میزان کارایی مدل USLE و نسخ مختلف آن شامل MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLT، AOF، در کرت استاندارد در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع در مقیاس رگبار ارزیابی شده است. برای این منظور کلیه متغیرهای مورد نیاز و ورودی مدل‌های مذکور در سه کرت مستقر در هر تیمار در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسبیجان در شهرستان اراک محاسبه و به منظور اجرای مدل‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده از به کارگیری هر یک از مدل‌ها با مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده ۱۲ رگبار مقایسه و نهایتاً کارایی و دقت مدل‌های مذکور در هر یک از تیمارهای مورد بررسی ارزیابی شد. نتایج ارزیابی ضمن تأیید ارتباط آماری خوب بین برآوردهای بسیاری از مدل‌ها با یکدیگر نمایانگر عدم توانایی و کارایی مدل‌های مذکور در برآورد رسوب ناشی از رگبارها در تیمارهای مورد مقایسه بوده‌اند. حال آن‌که ارتباط معنی‌دار تخمین‌های حاصل از مدل MUSLE-E ($r=0/99$) و غیرمعنی‌دار MUSLE-S و MUSLE-E ($r<0/50$) با مقادیر مشاهده‌ای به ترتیب در کاربری‌های مرتع، و دیم و شخم رها شده مورد تأیید قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های فرسایش، تولید رسوب، رسوب رگبار، کرت‌های فرسایش، کشت دیم، اراضی شخم‌زده، مرتع، استان مرکزی

مقدمه

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 (۳). تحقیقات و بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه علت و برآورد فرسایش خاک در

دستیابی به آمار دقیق در مورد میزان فرسایش خاک و رسوب در حوزه‌های آبخیز به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش تولید رسوب ضروری است. چنانچه در یک حوزه آبخیز اطلاعات مربوط به دبی آب و رسوب به اندازه کافی وجود داشته باشد محاسبه حجم کل رسوب سالانه با استفاده از روش‌های آماری موجود،

۱. دانشیار و دانش آموختگان کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، اراک

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sadeghi@modares.ac.ir

حوزه‌های آبخیز از اوایل قرن بیستم شروع شد و نهایتاً منجر به تهیه رابطه جهانی فرسایش خاک (Universal Soil Loss Equation, USLE) گردید که به‌طور گسترده در سرتاسر جهان برای تخمین سالانه فرسایش خاک ناشی از فرسایش‌های سطحی و شیاری استفاده می‌شود (۱۲، ۲۰ و ۲۵). نسخ متعددی برای رابطه جهانی فرسایش خاک ارائه شده و استفاده از آنها در نقاط مختلف جهان مورد ارزیابی قرار گرفته است (۲۲ و ۲۳). ویلیامز و برنت در امریکا نشان دادند که رابطه جهانی فرسایش خاک تنها قادر است ۴۷٪ از تغییرات در میزان تولید رسوب در رگبارها را ارزیابی نماید (۲۴). هم‌چنین توانایی USLE در تخمین مقدار رسوب انتقالی طی رگبارها توسط کینل و ریس در حوزه آبخیز راکی کریک (Rocky Creek) در استرالیا و صادقی و همکاران در حوزه آبخیز امامه در ایران ناموفق ارزیابی شد (۱۵ و ۲۳). در همین راستا شاهویی نیز در حوزه آبخیز قشلاق از رابطه جهانی فرسایش خاک برای تخمین میزان رسوب در هر رگبار استفاده و عدم توانایی آن را تأیید نمود (۵). صادقی و همکاران، خواجه‌ای و همکاران و رضایی‌فر و همکاران نیز به بررسی قابلیت مدل MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) در برآورد رسوب حاصل از رگبارهای منفرد به‌ترتیب در حوزه آبخیز امامه در تهران، رودخانه شهرچای در آذربایجان غربی و حوزه آبخیز افچه در لثیان پرداخته و عدم توانایی شکل اولیه مدل مذکور در تخمین رسوب رگبارهای مورد مطالعه را تأیید نمودند (۲، ۴ و ۲۲). هم‌چنین مقایسه عامل فرسایش‌دهی رابطه جهانی فرسایش خاک به‌انضمام برخی دیگر از نسخ آن در حوزه آبخیز امامه و بخشی از اراضی مرتعی منطقه خسیججان در استان مرکزی توسط صادقی و صادقی و همکاران از طریق ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌ها با رسوب اندازه‌گیری شده ۱۲ رگبار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی بر اختلاف معنی‌دار آماری بین مقادیر فرسایش‌دهی مدل‌های مورد استفاده در هر دو منطقه مورد

مطالعه و هم‌چنین برآوردهای مدل‌های مورد استفاده با مقادیر مشاهده‌ای رسوب رگبارها دلالت داشته است (۶ و ۸). امروزه روش‌های مختلفی برای تخمین فرسایش خاک و یا تولید رسوب ارائه شده است لکن عمده آنها بر مدل جهانی فرسایش خاک استوار بوده و تفاوت بسیاری از آنها در نحوه محاسبه و یا روش برآورد عوامل موجود در آن و خصوصاً عامل فرسایش‌دهی باران و رواناب می‌باشد (۸). تغییرپذیری زیاد زمانی و مکانی عامل فرسایش‌دهی (۷ و ۲۱) و هم‌چنین نقش آن به‌عنوان یکی از ورودی‌های مهم به سامانه‌های آبخیز برای انجام فرآیند فرسایش خاک (۱۶) از دلایل اصلی ضرورت توجه به این عامل در برآورد صحیح فرسایش خاک می‌باشد. به همین دلیل، در تحقیق حاضر تنها از روش‌هایی استفاده شده است که هر یک به شیوه‌ای خاص مبادرت به برآورد عامل فرسایش‌دهی نموده و سپس در ترکیب با سایر متغیرها از مدل USLE برای تخمین فرسایش خاک استفاده می‌نماید. روابط متعددی برای تخمین متغیرهای رابطه جهانی فرسایش خاک تهیه و معرفی گردیده‌اند که نیاز به داده‌های ورودی متفاوت داشته و به‌همین دلیل دامنه استفاده و هم‌چنین دقت آنها بسیار متغیر می‌باشد (۱۷ و ۲۳). از طرفی تاکنون ارزیابی‌های محدودی (۱، ۶، ۸، ۱۳، ۱۴، ۱۹ و ۲۳) در خصوص توانمندی آنها در تأمین تخمین‌های مناسب از فرسایش خاک و یا تولید رسوب در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی صورت پذیرفته و به‌همین دلیل در بعضی از موارد (۳) استفاده از مدل‌های مذکور بدون توجه به شرایط خاص کاربرد آنها پیشنهاد شده است. هم‌چنین تخمین میزان تولید رسوب طی یک رگبار به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به‌دلیل تعداد کم و در عین حال شدت زیاد رگبارها و طبعاً توان بالای آنها در هدررفت خاک بسیار حائز اهمیت بوده و بعضاً استفاده از مدل نامناسب، تخمین بسیار بالا و یا بسیار پایین را به‌دنبال داشته است (۱۴ و ۲۳).

از این‌رو در تحقیق حاضر سعی شده تا قابلیت USLE و

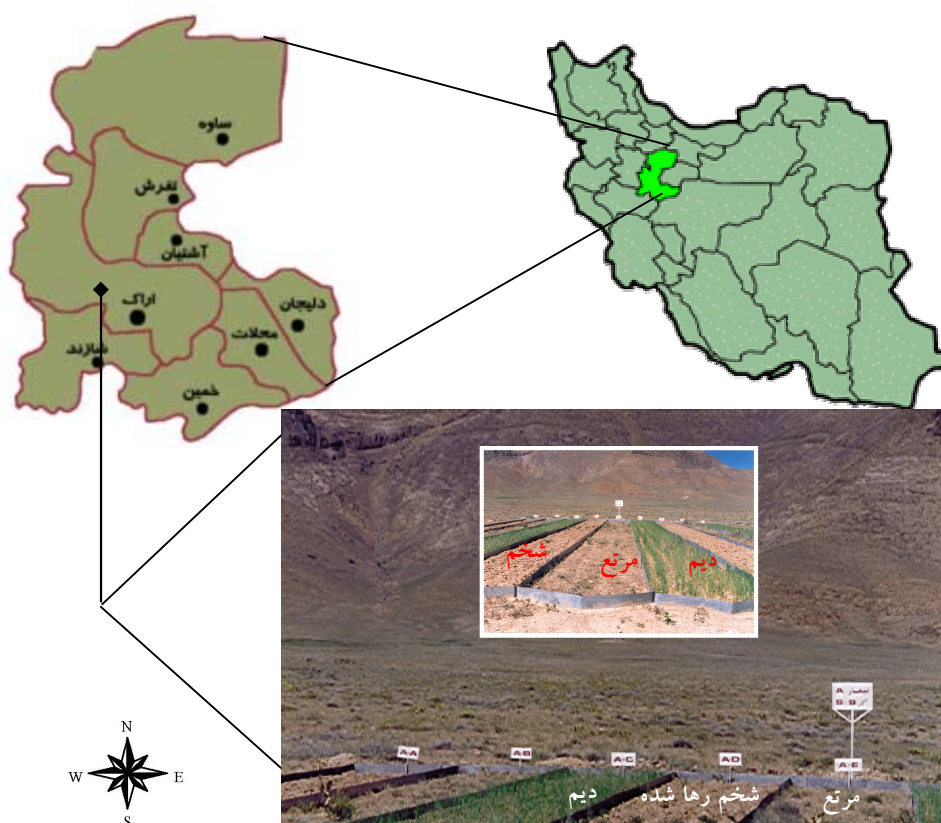
گالوانیزه محصور شد. ارتفاع ورقه‌ها ۳۰ سانتی‌متر بوده و ۱۵ سانتی‌متر آن در داخل زمین قرار داده شد. کرت‌ها در اراضی دیم در جهت شیب شخم زده شده و بذری در آنها بدون انجام هرگونه کودپاشی و اقدام خاک‌ورزی صورت گرفت. تیپ گیاهی غالب منطقه مرتعی مورد بررسی و طبقاً محل استقرار کرت‌های مربوطه *Astragalus- hultemia* بوده که در حدود ۵۰٪ از سطح منطقه را پوشانده است. تاج پوشش متوسط این تیپ حدود ۴۶٪ بوده و ترکیب گیاهان موجود به ترتیب گون، ورک، فریون، *Platyloba* و جارو با دامنه فراوانی ۱۴ تا ۳۱٪ بوده (۱۰) و هیچ‌گونه اقدامی در آن انجام نشد. کرت‌های تحت تیمار شخم رها شده نیز در بخش مرتعی و با ایجاد شخم در جهت شیب ایجاد شد و هیچ‌گونه بذری روی آن انجام نشد. در انتهای هر کرت لوله خروجی رواناب تعبیه که به ظروف مدرج جمع‌آوری‌کننده رواناب و رسوب هدایت شد. هر تیمار در سه تکرار و در قالب سه کرت آزمایشی ایجاد شده و مقادیر میانگین رواناب و رسوب مستخرج از آنها برای تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. شمای کلی کرت‌های مورد بررسی در شکل ۱ ارائه گردیده است. در مرحله بعد نمونه‌های جمع‌آوری شده از داخل ظروف جمع‌آوری‌کننده طی رگبارها در داخل آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک روز خشک (۱۹) و سپس وزن رسوب با ترازوی دقیق تعیین گردید. آماربرداری بارندگی کل رگبارها طی پاییز ۱۳۷۴ مصادف با اتمام مراحل ساخت کرت‌های آزمایشی تا شهریور ۱۳۷۸ و پایان دوره طرح به کمک ایستگاه کليما تولوژی اراک صورت گرفت (۱). برای بررسی کارایی روش‌های مورد استفاده، دوازده رگبار با آمار هم‌زمان بارش، رواناب و رسوب (۱) و همچنین توانایی تولید رواناب و طبقاً پتانسیل انتقال رسوب با مشخصات ضروری مندرج در جدول ۱ جمع‌آوری و برای استفاده در رابطه کلی (۱) و محاسبه عامل فرساینده باران و یا رواناب و همچنین توپوگرافی

هم‌چنین اغلب نسخ آن شامل (Modified MUSLE-S (Universal Soil Loss Equation for sediment yield AOF, (Onstad and Foster Model) MUSLT, Theoretical MUSLE-E, (Modified Universal Soil Loss Equation Modified Universal Soil Loss Equation for soil) (USLE Modification) USLE-M, (erosion AUSLE و (Adopted USLE) به‌عنوان زیربنای بسیاری از مدل‌های پیچیده و توسعه‌یافته در کاربری‌های دیم، شخم رها شده و مرتع در منطقه خسبیجان به دلیل موجودیت اطلاعات و قابلیت دسترسی به داده‌های اندازه‌گیری شده مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرد. این مدل‌ها عمدتاً از لحاظ روش و نحوه برآورد عوامل فرساینده، توپوگرافی و یا مقیاس زمانی مورد استفاده متفاوت بوده (۶، ۱۴، ۱۷، ۲۰، ۲۴ و ۲۵) و طبقاً مقایسه توان‌مندی آنها در ارزیابی مقادیر مشاهده‌ای رسوب ناشی از رگبارها زمینه‌ساز استفاده از مدل‌های صحیح و کارآمد و هم‌چنین تهیه و توسعه مدل‌های جدید خواهد بود.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در ایستگاه تحقیقات خسبیجان در ۶۰ کیلومتری شهرستان اراک با مختصات جغرافیایی تقریبی ۲۲° ۴۹' تا ۲۴° ۴۹' طول شرقی و ۳۴° ۰۸' تا ۳۴° ۱۰' عرض شمالی اجرا شده است. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۱۸۵۰ متر، متوسط بارندگی، درجه حرارت و پتانسیل تبخیر و تعرق سالانه به ترتیب ۳۲۱ میلی‌متر، ۱۳/۲ °C و ۱۵۸۸ میلی‌متر و هم‌چنین آب و هوای منطقه طبق روش آمبرژه خشک و سرد می‌باشد (۱). موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

به‌منظور اندازه‌گیری فرسایش، زمینی با شیب ۹٪ در دامنه شمالی به‌واسطه ضرورت تشابه شرایط و هم‌چنین عکس‌العمل سریع منطقه در هر سه تیمار مرتع، شخم رها شده و دیم به دلیل حفظ رطوبت بیش‌تر انتخاب گردید. سپس کرت‌های استاندارد با ابعاد ۲۲/۱ در ۱/۸ متر (۱۱) احداث و اطراف آنها با ورق‌های



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و شمای کلی کرت‌های آزمایشی

جدول ۱. مشخصات رگبارهای مورد مطالعه در ارزیابی کارایی نسخ مختلف رابطه جهانی فرسایش خاک در کرت‌های آزمایشی مستقر در حوزه آبخیز تحقیقات منابع طبیعی خسیبجان، اراک

تاریخ وقوع رگبار (روز)	مقدار بارش (میلی‌متر)	مدت بارش (ساعت)	حداکثر شدت (میلی‌متر بر ساعت)	حجم رواناب (لیتر)			دبی اوج (لیتر بر ثانیه)			رسوب مشاهده‌ای (کیلوگرم)		
				نوع کاربری			نوع کاربری			نوع کاربری		
				دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم
۷۴/۱۲/۲۸	۱۱/۳	۲/۵	۴/۵۲	۱۰/۸۶۱۵	۸/۱۶۴۴	۱۰/۸۰۰۵	۰/۱۲۴	۰/۰۹۵	۰/۱۱۶	۳۴/۰	۱/۴	۴/۳
۷۵/۱/۱۷	۱۴/۵	۱۰/۰	۳/۳	۷/۵۶۴۴	۷/۵۴۳۰	۸/۲۳۳۴	۰/۰۴۲	۰/۰۸۵	۰/۰۴۹	۱/۰	۶/۰	۱/۲
۷۵/۱/۲۸	۱۰/۸	۱۰/۰	۱/۶	۱۳/۵۵۷۷	۲۲/۸۱۰۴	۴۷/۲۰۸۵	۰/۰۹۳	۰/۲۷	۵/۴۲۳	۶/۰	۴/۷	۱۵/۰
۷۵/۲/۶	۱۱/۷	۳/۰	۶/۲	۱۸/۰۴۵۱	۹/۰۸۹	۳۸/۵۱۴۲	۰/۲۱۳	۰/۰۷۱	۰/۸۱۴	۸/۰	۴/۱	۱۱/۰
۷۵/۲/۳۱	۵/۰	۶/۰	۱/۱	۱۸/۳۸۷۴	۱۱/۴۳۲۷	۲۱/۰۲۶۵	۰/۲۱۸	۰/۱۲۶	۱/۷۱۲	۳۳۹/۰	۱۸۳/۰	۳۲۴/۰
۷۵/۹/۴	۵/۰	۱/۰	۶/۰	۵/۴۴۹	۳/۲۶۳۲	۵/۳۹۵۹	۰/۰۶۶	۰/۳۸۴	۰/۰۶۷	۲/۲	۱/۴	۱/۰
۷۵/۱۰/۳	۱۵/۰	۱۸/۰	۱/۹	۷/۴۰۱۶	۹/۸۹۲۳	۸/۵۹۴۵	۰/۰۸۷	۰/۱۱۸	۱/۰۱۹	۷/۰	۰/۹	۳/۷
۷۶/۱/۱۶	۱۶/۰	۸/۰	۲/۸	۱۵/۶۲۶	۱۳/۷۷۰۹	۱۸/۱۴۶۱	۰/۱۸۱	۰/۱۶۸	۰/۲۱۲	۲/۰	۲/۰	۱/۷
۷۶/۲/۸	۸/۲	۳/۰	۳/۲	۴/۸۶۴۴	۵/۴۰۴۹	۷/۹۹۴۹	۰/۰۵۶	۰/۰۶۷	۰/۰۹۷	۴/۰	۲/۰	۸/۰
۷۶/۲/۱۵	۱۰/۸	۷/۲۰	۲/۳	۴/۳۴۲۸	۶/۶۸۶۲	۱۲/۵۴۹۶	۰/۰۵۳	۰/۰۷۸	۰/۱۴۷	۱/۰	۱/۴	۲/۲
۷۶/۲/۲۷	۱۱/۴	۱۰/۱	۲/۳	۳/۳۸۸۸	۳/۲۰۱۲	۱۵/۹۸۴۰	۰/۰۳۸	۰/۰۴۱	۰/۱۸۵	۲/۰	۲/۰	۷/۲
۷۷/۱/۱۶	۳۷/۷	۳۲/۵	۵۴	۱۵/۶۲۵۹	۱۷/۰۴۲۴	۱۷/۴۲۳۸	۰/۱۸۹	۰/۱۹۹	۰/۲۰۳	۱/۵	۲/۰	۲/۰

(روابط ۲ تا ۸) مورد استفاده قرار گرفتند.

- [۱] $A=R.K.LS.C.P$
- [۲] $RUSLE=(EI30)/100$
- [۳] $RMUSLE-S=11.8(Q.qp)0.56$
- [۴] $RAOF=0.646E+0.45(Q.qp)0.33$
- [۵] $RMUSLT=2.5(Q.qp)0.5$
- [۶] $RMUSLE-E=1.586(Q.qp)0.56(DA)0.12$
- [۷] $RUSLE-M=QREI30$
- [۸] $LSAUSLE=(As/22.13)0.4(Sin\alpha/0.0896)1.3$

در روابط فوق A میزان فرسایش خاک متوسط سالانه در USLE (تن در هکتار)، میزان فرسایش هر رگبار در AOF، MUSLE-E و AUSLE (تن) و یا میزان رسوب ناشی از هر رگبار در MUSLE-S، MUSLT و USLE-M (تن)، R، K، LS، C و P به ترتیب عوامل فرساینده (تن متر بر هکتار در سانتی متر بر ساعت)، فرسایش پذیری (تن بر هکتار به ازای هر واحد فرساینده)، توپوگرافی، مدیریت زراعی و مدیریت اراضی، E انرژی جنبشی باران (تن متر بر هکتار)، I30 حداکثر شدت سی دقیقه ای (سانتی متر بر ساعت)، Q حجم رواناب (مترمکعب)، qp دبی اوج رگبار (مترمکعب بر ثانیه)، DA مساحت حوزه (هکتار)، QR ضریب رواناب، As مساحت کرت (متر مربع) و α تندی شیب (درجه) است (۱۲، ۱۳، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۴).

اطلاعات مربوط به خصوصیات بارش (مقدار بارش، مدت بارش و حداکثر شدت نیم ساعته) با استفاده از تجزیه و تحلیل کاغذهای باران نگار استخراج شدند. خصوصیات هیدرولوژیکی رواناب (حجم، دبی و ضریب رواناب) با استفاده از مقادیر رواناب جمع آوری شده، هیدروگراف مثلثی بدون بعد (۹) و تقسیم حجم رواناب حاصله بر حجم بارش تعیین گردید. سایر مشخصات مرتبط با رواناب و رسوب مشاهده ای نیز در ستون های مربوطه جدول ۱ ارائه شده است. در ادامه سایر متغیرهای مورد نیاز ارائه شده مدل های مورد استفاده و مندرج در روابط ۱ تا ۸ در کرت های مستقر در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع مورد مطالعه، محاسبه و در روابط مربوطه استفاده شد. مقادیر فرسایش برآوردی روش های مختلف با توجه به مساحت کوچک کرت ها برابر با رسوب (۲۳) بوده و

برای مقایسه با مقادیر رسوب مشاهده ای ناشی از هر رگبار استفاده شد. از طرفی نظر به ثبات سایر عوامل فرسایش پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، مدیریت زراعی (C) و مدیریت اراضی (P) به دلیل انجام کلیه مراحل تحقیق در کرت های مشابه و یکسانی آنها در رابطه [۱] و همچنین ارتباط مستقیم عامل توپوگرافی مدل USLE با مدل AUSLE با نسبت ثابت عددی (رابطه ۸)، مقایسه لازم در رابطه با عامل فرساینده (R) مدل های مذکور مندرج در روابط ۲ تا ۷ نیز صورت پذیرفت. مقدار فرسایش پذیری خاک (K) با توجه به نوع بافت خاک و مطالعات خاک شناسی انجام شده برابر با ۰/۳۹ تن بر هکتار به ازاء واحد فرساینده 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 مدل های مورد استفاده، ثابت (۱۴) فرض شد. مقدار LS در کرت های استاندارد و برای کلیه روش های مورد استفاده به جزء AUSLE برابر با واحد بوده حال آن که مقدار مزبور برای AUSLE (رابطه ۸) برابر با ۱/۲۷۴ محاسبه شد. مقدار C در تیمار دیم با توجه به وضعیت پوشش و زمان وقوع رگبار بین ۰/۲ تا ۱، در تیمار شخم رها شده برابر با واحد و در مرتع نیز با توجه به وضعیت پوشش مرتع و زمان وقوع رگبار بین ۰/۱۹ تا ۰/۷۳ منظور گردید. مقدار P نیز با توجه به عدم اعمال اقدامات حفاظتی خاص در کرت های مورد بررسی برابر واحد (۲۰ و ۲۳) در نظر گرفته شد. سپس مقایسه تخمین های حاصل از روش های مختلف با یکدیگر و مقادیر مشاهده ای ناشی از رگبارها در تیمارهای مختلف با استفاده از ماتریس هم بستگی، آزمون t و تجزیه و تحلیل واریانس و همچنین مقایسه میانگین ها، دسته بندی مقادیر و اختلاف آنها با توجه به توزیع نرمال داده ها با آزمون دانکن انجام شد. کلیه تجزیه و تحلیل های آماری با استفاده از نرم افزارهای SPSS 11.5 و Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از محاسبه مقادیر فرساینده با استفاده از روابط ۲ تا ۷ و سپس مقادیر فرسایش و یا رسوب برآوردی پس از

استفاده از روابط ۲ و هم‌چنین ۸ برای مدل AUSLE و نهایتاً رابطه اصلی کلیه مدل‌ها (رابطه ۱) به‌ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. اختلاف برآورد عامل فرساینده‌گی توسط مدل‌های AUSLE، MUSLE-S، AOF، MUSLE-E، MUSLE-M و AUSLE با یک‌دیگر از طریق آزمون t با مقادیر حداقل و حداکثر سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰۰۲ ($t=7/281$) و ۰/۰۰۳۳ ($t=2/209$) به‌ترتیب مربوط به جفت مدل‌های MUSLE-E ($0/0004 \pm 0/00025$) و AOF ($108/375 \pm 51/558$) و USLE (AUSLE) ($0/6908 \pm 0/7494$) و USLE-M (13967 ± 13128) در کاربری دیم، ۰/۰۰۰۰۲ ($t=7/3$) و ۰/۰۲۳۹ ($t=2/618$) به‌ترتیب مربوط به جفت مدل‌های MUSLE-E ($0/001 \pm 0/00061$) و AOF ($108/443 \pm 51/454$) و MUSLE-E ($0/0028 \pm 0/0015$) و MUSLT ($0/001 \pm 0/0021$) در کاربری مرتع و هم‌چنین ۰/۰۰۰۰۲ ($t=7/299$) و سطح غیرمعنی‌داری ۰/۰۵۱۹۵ ($t=2/179$) به‌ترتیب مربوط به جفت مدل‌های MUSLE-E ($0/0015 \pm 0/00063$) و AOF ($0/7492 \pm 0/6910$) و USLE (AUSLE) ($108/4396 \pm 51/461$) و USLE-M ($2/2835 \pm 2/6487$) در تیمار شخم مورد تأیید قرار گرفت. هم‌چنین با توجه به تفاوت معنی‌دار مقادیر فرساینده‌گی محاسبه شده توسط هر یک از روش‌ها، آزمون دانکن برای طبقه‌بندی دقیق آنها استفاده و نتایج به‌دست آمده از طریق درج حروف مختلف و حاصل از آزمون مزبور در جدول ۲ نشان داده شده است. دقت در جدول ۲ نشان می‌دهد که مقادیر عامل فرساینده‌گی به‌دست آمده از روش‌های مختلف به‌جز روش‌های AUSLE و USLE، به‌دلیل تشابه روش محاسبه R با یکدیگر، اختلاف معنی‌دار داشته حال آن‌که عملکرد هر یک از مدل‌ها در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع مورد بررسی با توجه به شباهت حروف درج شده در جدول مذکور مشابه می‌باشد. نتایج هم‌چنین نشان می‌دهد که مدل AOF و MUSLE-E به‌ترتیب بالاترین و کمترین مقدار فرساینده‌گی در بین نسخ مختلف رابطه جهانی فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف را از خود نشان

داده‌اند که با نتایج گزارش شده توسط صادقی (۶) در رابطه با برآورد زیاد مدل AOF در حوزه آبخیز امام‌یه مطابقت دارد.

نتایج به‌کارگیری مدل‌های مورد مطالعه در برآورد رسوب ناشی از رگبارها با لحاظ کلیه متغیرهای محاسبه شده برای هر یک از آنها و برای تیمارهای مختلف نیز استخراج و در جدول ۳ ارائه شده است. دقت در جدول ۳ نشان می‌دهد که اختلاف بین مقادیر تخمینی مدل‌های مختلف برآورد فرسایش یا تولید رسوب با مقادیر مشاهده‌ای در تمامی تیمارها با یک‌دیگر معنی‌دار بوده است. حال آن‌که تدقیق در نتایج آزمون t تنها دلالت بر اختلاف معنی‌دار تخمین‌های AOF در کاربری شخم ($4/552 \pm 2/166$)، مرتع ($0/183 \pm 0/138$) و دیم ($0/400 \pm 0/095$) با مقادیر مشاهده‌ای به‌ترتیب ۰/۰۱۷۵ ± ۰/۰۵۲ و ۰/۰۳۴ ± ۰/۰۹۷ و سطوح معنی‌داری به‌ترتیب ۰/۰۰۰۰۲ ($t=7/0947$)، ۰/۰۰۵۰ ($t=3/4994$) و ۰/۰۰۰۸۰ ($t=4/5718$) در تیمارهای مورد بررسی داشته است. از طرفی کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و مدل‌های USLE (AUSLE) ($0/0290 \pm 0/0315$)، USLE-M ($0/0021 \pm 0/0024$) و USLE-M ($0/03356 \pm 0/0316$) به‌ترتیب در کاربری‌های شخم رها شده، مرتع و دیم با سطوح غیرمعنی‌داری ۰/۷۹۷ ($t=0/2640$)، ۰/۳۵۶ ($t=9625$) و ۰/۹۹۸۷ ($t=0/0017$) به‌دست آمد. نتایج مذکور با یافته‌های صادقی و همکاران، صادقی و همکاران (۲۰۰۴) (۲۳)، خواجه‌ای و همکاران (۲)، رضایی‌فر و همکاران (۴) و صادقی (۶) مطابقت دارد. نتایج بررسی ارتباط هم‌بستگی عامل فرساینده‌گی (R) و مقدار رسوب برآوردی ناشی از رگبارها به‌دلیل ثبات سایر متغیرهای مورد استفاده در مدل‌ها (K، L، S، C و P) در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده همچنان نشان می‌دهد که مدل‌های مورد استفاده، هم‌بستگی بالایی با یکدیگر داشته حال آن‌که ضریب هم‌بستگی آنها با مقادیر مشاهده‌ای رسوب به‌جز مدل MUSLE-E ($r=0/994$) در تیمار مرتع بسیار کم می‌باشد. اگر

جدول ۲. مقایسه مقادیر فرسایش محاسبه‌ای از روش‌های مختلف در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع

ردیف	مشخصات رگبار	MUSLE-S						MUSLE-E						AUSLE						MUSLE-T						USLE-M						AOF						USLE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم

*: حروف انگلیسی مشابه (f تا f) نشان‌گر تساوی آماری مقادیر در تیمارهای مختلف و ترتیب حروف نمایان‌گر بزرگی مقادیر به‌دست آمده می‌باشد.

جدول ۳. مقایسه مقادیر تخمینی نسخ مختلف رابطه جهانی فرسایش خاک با رسوب مشاهداتی ناشی از رگبارها (کیلوگرم) در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع

در حوزه آبخیز خسیبجان

ردیف	مختصات	MUSLE-S			MUSLE-E			AUSLE			MUSLT			USLE-M			AOF			USLE			رسوب مشاهداتی					
		دیم	مرتج	d	دیم	مرتج	f	دیم	مرتج	c	دیم	مرتج	e	دیم	مرتج	b	دیم	مرتج	a	دیم	مرتج	c	دیم	مرتج	شخم	دیم	مرتج	شخم
۱	۷۶/۱۲/۸	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲
۲	۷۵/۱/۱۷	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳
۳	۷۵/۱/۲۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱
۴	۷۵/۱/۶	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱۲۹	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱
۵	۷۵/۱/۳۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱۶۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱
۶	۷۵/۱/۴	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱
۷	۷۵/۱/۳	۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳
۸	۷۶/۱/۱۶	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳
۹	۷۶/۱/۸	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳
۱۰	۷۶/۱/۱۵	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳
۱۱	۷۶/۱/۲۷	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۴۰	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳
۱۲	۷۷/۱/۱۶	۰/۰۰۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳

جدول ۴. ماتریس همبستگی بین مقادیر فرسایشی محاسبه‌ای در مدل‌های مختلف و مقدار رسوب مشاهداتی در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع

رسوب مشاهداتی	USLE			AOF			USLE-M			MUSLT			AUSLE			MUSLE-E			MUSLE-S			رتبه
	شخم	مرتج	دیم	شخم	مرتج	دیم	شخم	مرتج	دیم	شخم	مرتج	دیم	شخم	مرتج	دیم	شخم	مرتج	دیم	شخم	مرتج	دیم	
۰/۳۲۹	۰/۴۹۳	-۰/۴۶۳	۰/۲۵۰	۰/۲۰۰	۰/۳۶۵	-۰/۱۸۱	-۰/۳۱۶	-۰/۲۸۶	۰/۱۹۵	۰/۳۲۸	۰/۶۱۰*	۰/۸۹۹**	۰/۹۹۹**	۰/۹۹۹**	۰/۱۰۰۰**	-۰/۲۵۰	۰/۲۰۰	۰/۳۶۵	۰/۹۹۸**	-	۱	MUSLE-S
۰/۳۲۹	۰/۹۹۴**	۰/۴۹۴	-۰/۲۵۰	-۰/۲۸۶	۰/۳۶۵	-۰/۱۸۱	-۰/۳۱۶	-۰/۲۸۶	۰/۱۹۵	-۰/۳۲۳	۰/۶۱۷*	۰/۹۹۹**	۰/۹۹۹**	۰/۹۹۹**	۰/۱۰۰۰**	-۰/۲۵۰	-۰/۲۸۶	۰/۳۶۵	۰/۹۹۸**	-	-	MUSLE-E
-۰/۲۴۴	-۰/۳۱۳	-۰/۳۰۸	۱/۰۰۰***	۱/۰۰۰***	-۰/۱۵۹	-۰/۱۸۳	-۰/۳۱۴	-۰/۱۵۹	۰/۴۲۲	۰/۸۹۰***	۰/۶۴۵*	-۰/۲۴۵	۰/۲۰۸	۰/۳۶۷	۱	-	-	-	-	-	-	AUSLE
۰/۲۶۹	۰/۰۵۵	۰/۴۸۶	-۰/۲۴۵	۰/۲۰۸	۰/۳۶۷	-۰/۱۸۳	-۰/۳۱۴	-۰/۱۵۹	۰/۲۱۴	۰/۳۴۱	۰/۶۱۰*	۱	۱	۱	-	-	-	-	-	-	-	MUSLT
۰/۱۱۹	-۰/۳۶۳	-۰/۱۷۶	۰/۴۲۲	۰/۸۹۰***	۰/۶۴۵*	۰/۲۴۵	۰/۱۲۶	۰/۱۵۹	۱	۱	۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	USLE-M
-۰/۳۸۶	-۰/۴۴۱	-۰/۴۲۹	-۰/۱۵۹	-۰/۱۵۹	-۰/۱۵۹	۱	۱	۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	AOF
-۰/۲۴۴	-۰/۳۱۳	-۰/۳۰۸	۱	۱	۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	USLE
۱	۱	۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	رسوب مشاهداتی

* و **: به ترتیب سطح معنی‌داری ۱ و ۵٪

جدول ۵.							
USLE	AOF	USLE-M	MUSLT	AUSLE	MUSLE-E	MUSLE-S	مدل کاربری
۵/۶۶۹۹±/۰/۱۵۵۸۲	۷۷۳/۶۷۹۴±۱/۹۱۰۴۵	۹۹/۸۳۹۴±۰/۳۱۵۹۷	۰/۰۱۷۴±/۰۰۰۰۰۳۵۳	۶/۷۱۰۹±۰/۰۱۹۸۴۲	۰/۰۰۲۲۸±/۰۰۰۰۰۰۵۵۶	۰/۰۵۳۱±/۰۰۰۰۰۰۷۸	دیم‌زار
۰/۰۷۹۹۴±/۰۰۰۱۵۴	۱۰/۶۷۹۴±۰/۱۳۷۶۷۸	۰/۱۳۰۸۳±۰/۰۰۲۱۴۱	۰/۰۰۰۲۸۷±/۰۰۰۰۰۰۳۵	۰/۱۰۱۸۴±۰/۰۰۱۹۶۱	۰۰۰۰۰۶۹±/۰۰۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۶۱۹±/۰۰۰۰۰۰۷۷	مربع
۰/۰۷۸۶±/۰۰۲۹۰۱۲	۱۱۳/۷۲۷۵±۲/۱۶۵۴۲	۲/۳۹۶۲±۰/۱۱۲۴۵	۰/۰۰۰۸۸۹±/۰۰۰۰۰۴۵۸	۱/۰۰۱۴±۰/۰۳۶۹۴۵	۰/۰۰۱۵۹±/۰۰۰۰۰۰۹۳	۰/۰۲۲۹±/۰۰۰۱۳۳	شخم

چه ضریب هم‌بستگی نسبی بالاتر بین مقادیر مشاهده‌ای رسوب و فرسایندها در مدل‌های MUSLE-E، MUSLE-S و MUSLT در تيمار ديم مؤيد پتانسيل واسنجی و منطقی‌تر بودن فرآیند مفهوم‌سازی برتر مدل‌های مذکور می‌باشد. هم‌چنین متوسط نسبت رسوب تخمینی به رسوب مشاهده‌ای در تیمارهای مورد مطالعه و مدل‌های مختلف محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است. دقت در جدول ۵ نشان می‌دهد که میانگین نسبت تخمین‌ها در مرتع بیشتر از دیم و شخم رها شده بوده و هم‌چنین بیشترین اختلاف علی‌رغم ضریب هم‌بستگی بسیار بالا در مدل MUSLE-E مشاهده می‌شود. علت اختلاف عملکرد مدل‌های مذکور در کاربری‌های مورد مطالعه را می‌توان به فرآیند مدل‌سازی آنها در خصوص مداخله عامل رواناب و بارندگی در تبیین مقدار عامل فرسایندها و هم‌چنین شرایط تهیه مدل‌های مذکور در قالب مطالعات حوزه‌ای و یا کاربری‌های مشخص نسبت داد. در شرایط بدون واسنجی مدل‌های USLE، USLE-M و AUSLE را می‌توان به‌ترتیب برای کاربری‌های مرتع، دیم و شخم رها شده و با پذیرش نسبت تخمین 0.2141 ± 0.005 ، 0.15582 ± 0.003 و 0.36945 ± 0.01 و با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های آنها استفاده نمود. حال آن‌که در ارتباط رگرسیونی برآوردهای مربوط به مدل‌های مختلف در کاربری‌های مختلف و رگبارهای مورد مقایسه تنها استفاده از مدل MUSLE-E برای مرتع پیشنهاد می‌شود. دلیل این امر را می‌توان به شباهت کلی روند محاسباتی و تاکید مدل‌های مختلف بر تخمین میزان فرسایندها بران نسبت داد. اگرچه مقدار هم‌بستگی بین مدل AUSLE و مقادیر مشاهده‌ای علی‌رغم تغییر در روش محاسبه عامل توپوگرافی همچنان پایین و در حدود ۳۱٪ می‌باشد که با نتیجه به‌دست آمده توسط ویلیامز و برنت (۲۴) و هم‌چنین شاهویی (۱۳۷۱) (۵) مبنی بر توانایی بسیار کم رابطه جهانی فرسایش خاک (USLE) در برآورد رسوب رگبارها ($r=0.47$) هم‌خوانی دارد اما با نتایج به‌دست آمده توسط صادقی (۲۳)، ویلیامز و برنت (۲۴)، موهان‌سیاه و همکاران (۱۷) و کینل (۲۰۰۵) (۱۴)

به‌ترتیب در رابطه با توانایی مدل AOF، MUSLE-S، AUSLE و USLE-M در برآورد رسوب ناشی از رگبارها در نقاط مختلف جهان مطابقت ندارد. این موضوع شاید به‌دلیل استفاده از مدل‌های ذکر شده طی تحقیق حاضر در کرت‌ها و شرایط استاندارد و عدم استفاده از آنها در شرایط به-کارگیری برخی از مدل‌ها در شرایط متفاوت با تهیه و توسعه آنها باشد. گفتنی است که مقدار ضریب هم‌بستگی مدل AOF با مقادیر مشاهده‌ای در حدود ۲۴٪ بوده که در رتبه دوم تطابق نسبت به روش MUSLE-E قرار گرفته و دلالت بر امکان واسنجی مدل مذکور برای منطقه مرتعی مورد نظر را دارد که با پیشنهاد صادقی (۱۳۸۴) (۶) در رابطه با واسنجی مدل مذکور برای دستیابی به تخمین‌های مناسب در برآورد رسوب رگبارها در حوزه آبخیز امامه هم‌اهنگی دارد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به‌منظور بررسی دقت و کارایی نسخ مختلف رابطه جهانی فرسایش خاک در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع در مقیاس رگبار و کرت‌های آزمایشی انجام شد. از نتایج به‌دست آمده در خصوص مقایسه، کاربرد و توانایی روش‌های مختلف تخمین فرسایش خاک و تولید رسوب در مدل‌های مورد استفاده شامل USLE، MUSLE-S، AOF، MUSLT، MUSLE-E، USLE-M و AUSLE می‌توان جمع‌بندی نمود که روش‌های یاد شده به‌رغم هم‌بستگی بالا با یکدیگر غالباً دارای اختلاف معنی‌دار با مقادیر مشاهده‌ای رسوب در هر یک از تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع بوده و در این میان تنها مدل MUSLE-E هم‌بستگی بالایی با رسوب مشاهده‌ای از خود نشان داده و طبعاً قادر به برآورد خوب از مقادیر رسوب تولیدی طی رگبارها در کاربری مرتعی مورد مطالعه خواهد بود. وجود اختلاف معنی‌دار بین نتایج به‌دست آمده از روش‌های گوناگون دلالت بر ضرورت انجام واسنجی‌های منطقه‌ای لازم در استفاده از کلیه روش‌های موجود و یا تهیه مدل‌های منطقه‌ای

تخمین فرسایش خاک و یا تولید رسوب و خصوصاً در شرایط کاربردی دارد. هم‌چنین انجام تحقیقات گسترده‌تر با تعداد بیشتر رگبارها و در مقیاس‌های مکانی مختلف و جمع‌آوری کلیه داده‌های مورد نیاز با استفاده از وسایل دقیق اندازه‌گیری پیشنهاد و تأکید می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. آقازسی، ح. ۱۳۸۴. اندازه‌گیری فرسایش خاک و برآورد آن با USLE در دیم‌زارها. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۶-۹ شهریور ماه، صفحات ۴۷۳-۴۷۵.
۲. خواجeh‌ای، ا.، ا. بروشکه، ر. سکوتی‌اسکویی و م. عرب‌خدري، ۱۳۸۰. بررسی قابلیت کاربرد مدل تجربی MUSLE برای برآورد رسوب حاصل از رگبارهای منفرد و رسوب سالانه در حوزه آبخیز شهرچای. همایش ملی مدیریت اراضی، فرسایش خاک و توسعه پایدار، اراک، ۲-۴ بهمن، صفحات ۴۳۶-۴۴۶.
۳. رفاهی، ح. ق. ۱۳۷۹. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.
۴. رضایی‌فر، م.، ع. ر. تلوری و م. عرب‌خدري، ۱۳۸۰. بررسی کارایی MUSLE در برآورد رسوب رویدادهای منفرد در زیر حوضچه افچه در حوزه لتیان. همایش ملی مدیریت اراضی فرسایش خاک و توسعه پایدار. اراک، ۲-۴ بهمن، صفحات ۵۳۴-۵۴۲.
۵. شاهویی، س. ص. ۱۳۷۱. رابطه میزان فرسایش با عوامل موثر در طول یک رگبارش. گزیده مقالات سومین کنگره علوم خاک ایران، ۱۵-۱۷ شهریور، صفحات ۴۱-۵۶.
۶. صادقی، س. ح. ر. ۱۳۸۴. مقایسه برخی از روش‌های برآورد فرسایش باریان. مجله علوم و صنایع کشاورزی ۱۹(۱): ۴۵-۵۲.
۷. صادقی، س. ح. ر. و م. بهزادفر. ۱۳۸۳. تغییرات مکانی فرسایش باریان در استان مازندران. پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر ۲(۱): ۳۶-۴۹.
۸. صادقی، س. ح. ر.، ح. ر. پورقاسمی و م. محمدی. ۱۳۸۶. مقایسه میزان دقت برخی از روش‌های برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در اراضی مرتعی. مجله مرتع ۱(۱): ۶۰-۷۱.
۹. علیزاده، ا. ۱۳۸۰. هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا.
۱۰. گندمکار، ع. ا. ۱۳۷۵. گزارش طرح تحقیقاتی ایستگاه خسیجان، استان مرکزی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، صفحات ۳۱-۳۶.

11. Bennett, H. H. 2001. Soil Conservation. Agrobios Pub., New Delhi.
12. Kinnell, P. I. A. 2001. The USLE-M and modeling erosion within catchment. In: D.E. Slott, R.H. Mohtar and G. C. Steinaradt (Eds.), selected paper from 10th International Soil Conservation Organization Meeting, 24-29 May. 1999. Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
13. Kinnell, P. I. A. 2004. Agriculture non point source pollution model using the USLE-M. AGNPS-UM User,s Guide, University of Canberra, Australia.
14. Kinnell, P. I. A. 2005. Why the universal soil loss equation and the revised version of it do not predict event erosion well?, Hydrol. Process. 19: 851-854.
15. Kinnell, P. I. A. and L.M. Risse. 1998. USLE-M: Empirical modeling rainfall erosion though runoff and sediment concentration, Soil Sci. Soc. Am. J. 62: 1667-1672.
16. Laflen, J. M. and W. C. Moldenhauer. 2003. The USLE Story. World Association of Soil and Water Conservation (WASWC).
17. Moehansyah, H., B. L. Maheshwari and J. Armstrong. 2004. Field evaluation of selected soil erosion models for catchment management in Indonesia. Biosys. Eng. 88(4): 491-506.
18. Onstad, C. A. and G. R. Foster. 1975. Erosion modeling on a watershed. Trans. ASAE. 18(2): 288-292.
19. Putjaroon, W. and K. Pongboon. 1987. Amount of runoff and soil losses from various land use sampling plots,

- Thailand, *In*: Proceedings of Forest Hydrology and Watershed Management August 1987, IAHS-AISH Pub., UK.
20. Renard, K. G., G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool and D. C. Yoder. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). United States Department of Agriculture.
21. Sadeghi, S. H. R. and M. Behzadfar. 2004. Temporal variation of rainfall erosivity factor in Mazandaran Province. Iran, *In*: The Fourth International Iran and Russia Conference on Agriculture and Natural Resources, Shahre Kord, Iran, 8-10 Sep, PP. 1280-1285.
22. Sadeghi, S. H. R., J. K. Singh and G. Das. 2003. Storm-wise sediment yield prediction using applicable models in Iran. *J. Agric. Sci. and Natur. Resour. of Khazar* 1(3): 83-94
23. Sadeghi, S. H. R., J. K. Singh and G. Das. 2004. Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction, Iran. *Intl. Agric. Eng. J.* 13(1&2): 1-14.
24. Williams, J. R. and H. D. Berndt. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *Trans. ASAE.* 20(6): 1100-1104.
25. Wischmeier, W. H. D. D. and Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning. Agricultural Handbook No. 537, USDA, Washington, USA.