ارزیابی دقت و کارآیی 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 کارآیی مدل USLE و نسخ مختلف آن شامل MUSLE-S، AOF، MUSLT، MUSLE-E، USLE-M و AUSLE 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 مستقّر در هر تیمار در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسبیجان در شهرستان اراک محاسبه و به‌منظور اجرای مدل‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از به‌کارگیری هر یک از مدل‌ها با مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده ۱۲ رگبار مقایسه و نهایتاً کارآیی و دقّت 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 کارآیی مدل‌های مذکور در برآورد رسوب ناشی از رگبارها در تیمارهای مورد مقایسه بوده‌اند. حال آن‌که ارتباط معنی‌دار تخمین‌های حاصل از مدل MUSLE-E (r=۰/۹۹) و غیرمعنی‌دار MUSLE-S و MUSLE-E (r<۰/۵۰) با مقادیر مشاهده‌ای به‌ترتیب در کاربری‌های مرتع، و دیم و شخم رهاشده مورد تأیید قرار گرفت.

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

مقدمه

دست‌یابی به آمار دقیق در مورد میزان فرسایش خاک و رسوب در حوزه‌های آبخیز به‌منظور 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 به‌اندازه 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 (۳). تحقیقات و بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه علت و برآورد فرسایش خاک در

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9]

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 تائید 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 لتیان پرداخته و عدم توانایی شکل اولیّه مدل مذکور در تخمین رسوب رگبارهای مورد مطالعه را تائید نمودند (۲، ۴ و ۲۲). هم‌چنین مقایسه عامل فرسایندگی رابطه جهانی فرسایش خاک به‌انضمام برخی دیگر از نسخ آن در حوزه آبخیز امامه و بخشی از اراضی مرتعی منطقه خسبیجان 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 فرسایندگی مدل‌های مورد استفاده در هر دو منطقه مورد مطالعه و هم‌چنین برآوردهای مدل‌های مورد استفاده با مقادیر مشاهده‌ای رسوب رگبارها دلالت داشته است (۶ و۸). 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 فرسایندگی باران و رواناب می‌باشد (۸). تغییرپذیری زیاد زمانی و مکانی عامل فرسایندگی (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 فرسایندگی 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 دقّت 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9]

هم‌چنین اغلب نسخ آن شامل MUSLE-S (Modified Universal Soil Loss Equation for sediment yield)، AOF (Onstad and Foster Model)، MUSLT (Theoretical Modified Universal Soil Loss Equation)، MUSLE-E (Modified Universal Soil Loss Equation for soil erosion)، USLE-M (USLE Modification) و AUSLE (Adopted USLE) به‌عنوان زیربنای بسیاری از مدل‌های پیچیده و توسعه‌یافته در کاربری‌های دیم، شخم رها شده و مرتع در منطقه خسبیجان به‌دلیل 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 فرسایندگی، توپوگرافی و یا مقیاس زمانی مورد استفاده متفاوت بوده (۶، ۱۴، ۱۷، ۲۰، ۲۴ و ۲۵) و طبعاً 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.

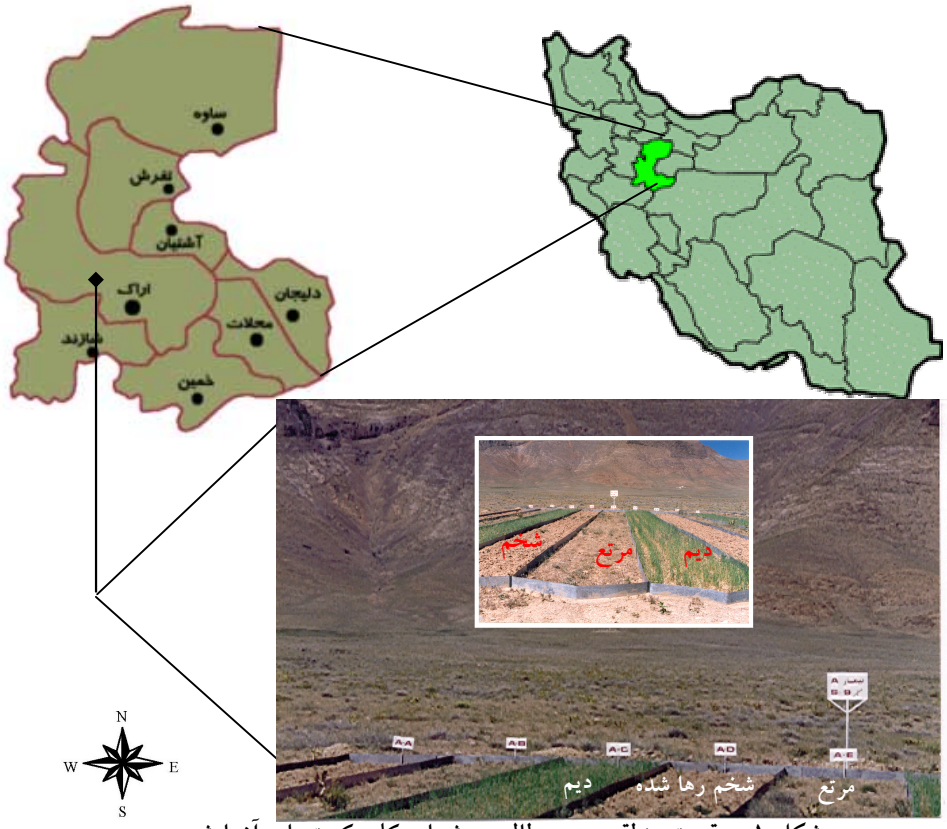
مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در ایستگاه تحقیقات خسبیجان در ۶۰ کیلومتری شهرستان اراک با مختصات جغرافیایی تقریبی ´۲۲ °۴۹ تا ´۲۴ °۴۹ طول شرقی و ´۰۸ °۳۴ تا ´۱۰ °۳۴ عرض شمالی اجرا شده است. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۱۸۵۰ متر، متوسط بارندگی، درجه حرارت و پتانسیل تبخیر و تعرّق سالانه به ترتیب ۳۲۱ میلی‌متر، °C ۱۳/۲ 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 به‌دلیل حفظ رطوبت بیش‌تر انتخاب گردید. سپس کرت‌های استاندارد با ابعاد ۲۲/۱ در ۱/۸ متر (۱۱) احداث و اطراف آنها با ورق‌های 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 بذر پاشی در آنها بدون انجام هرگونه کودپاشی و اقدام خاک‌ورزی صورت گرفت. تیپ گیاهی غالب منطقه مرتعی مورد بررسی و طبعاً 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 به‌ترتیب گون، ورک، فرفیون، ***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 بذرپاشی روی آن انجام نشد. در انتهای هر کرت لوله خروجی روانآب تعبیه که به ظروف مدرّج جمع‌آوری‌کننده روانآب و رسوب هدایت شد. هر تیمار در سه تکرار و در قالب سه کرت آزمایشی ایجاد شده و مقادیر میانگین روانآب 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 به‌مدت 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 به‌کمک ایستگاه کلیماتولوژی اراک صورت گرفت (۱). برای بررسی کارآیی روش‌های مورد استفاده، دوازده رگبار با آمار هم‌زمان بارش، روانآب و رسوب (۱) و هم‌چنین توانایی تولید رواتآب و طبعاً پتانسیل انتقال رسوب با مشخصات ضروری مندرج در جدول ۱ جمع‌آوری و برای استفاده در رابطه کلی (۱) و محاسبه عامل فرسایندگی باران و یا روانآب و هم‌چنین توپوگرافی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9]



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

جدول۱. مشخصات رگبارهای مورد مطالعه در ارزیابی کارآیی نسخ مختلف رابطه جهانی فرسایش خاک در کرت‌های آزمایشی مستقّر در حوزه آبخیز تحقیقات منابع طبیعی خسبیجان، اراک

تاریخ وقوع رگبار (روز)	مقدار بارش (میلی‌متر)	مدت بارش (ساعت)	حداکثر شدت نیم ساعته (میلی‌متر برساعت)	حجم رواناب (لیتر) نوع کاربری			دبی اوج (لیتر بر ثانیه) نوع کاربری			رسوب مشاهده‌ای (کیلوگرم) 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	۹/۹۰۸۹	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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9]

(روابط ۲ تا ۸) مورد استفاده قرار گرفتند.

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

در روابط فوق A میزان فرسایش خاک متوسط سالانه در USLE (تن در هکتار)، میزان فرسایش هر رگبار درAOF، MUSLE-E وAUSLE (تن) و یا میزان رسوب ناشی از هر رگبار درMUSLE-S، MUSLT و USLE-M (تن)، R، K، LS، C و P به‌ترتیب عوامل فرسایندگی (تن‌متر بر هکتار در سانتی‌متر بر ساعت)، فرسایش‌پذیری (تن بر هکتار به ازای هر واحد فرسایندگی)، توپوگرافی، مدیریت زراعی و مدیریت اراضی، E انرژی جنبشی باران (تن‌متر بر هکتار)، I30 حداکثر شدت سی‌دقیقه‌ای (سانتی‌متر بر ساعت)، Q حجم روانآب (مترمکعب)، qp دبی اوج رگبار (مترمکعب بر ثانیه)، DA مساحت حوزه (هکتار)، QR ضریب روانآب، 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 باران‌نگار استخراج شدند. خصوصیات هیدرولوژیکی روانآب (حجم، دبی و ضریب روانآب) با استفاده از مقادیر روانآب جمع آوری شده، هیدروگراف مثلثی بدون بعد (۹) و تقسیم حجم روانآب حاصله بر حجم بارش تعیین گردید. سایر مشخصات مرتبط با روانآب و رسوب مشاهده‌ای نیز در ستون‌های مربوطه جدول ۱ ارائه شده است. در ادامه سایر متغیرهای مورد نیاز ارائه شده مدل‌های مورد استفاده و مندرج در روابط ۱ تا ۸ در کرت‌های مستقّر در تیمارهای دیم، شخم رهاشده و مرتع مورد مطالعه، محاسبه و در روابط مربوطه استفاده شد. مقادیر فرسایش برآوردی روش‌های مختلف با توجه به مساحت کوچک کرت‌ها برابر با رسوب (۲۳) بوده و برای مقایسه با مقادیر رسوب مشاهده‌ای ناشی از هر رگبار استفاده شد. از طرفی نظر به ثبات سایر عوامل فرسایش‌پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، مدیریت زراعی (C) و مدیریت اراضی (P) به‌دلیل انجام کلیه مراحل تحقیق در کرت‌های 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 فرسایندگی (R) مدل‌های مذکور مندرج در روابط ۲ تا ۷ نیز صورت پذیرفت. مقدار فرسایش‌پذیری خاک (K) با توجه به نوع بافت خاک و مطالعات خاک‌شناسی انجام شده برابر با ۰/۰۳۹ 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 (۱۴) فرض شد. مقدار LS در کرت‌های استاندارد و برای کلیه روش‌های مورد استفاده به جزء AUSLE برابر با واحد بوده حال آن‌که 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 ۰/۰۱۹ تا ۰/۰۷۳ منظور گردید. مقدار P نیز با توجه به عدم اعمال اقدامات حفاظتی خاص در کرت‌های مورد بررسی برابر واحد (۲۰ و ۲۳) در نظر گرفته شد. سپس مقایسه تخمین‌های حاصل از روش‌های مختلف با یکدیگر و مقادیر مشاهده‌ای ناشی از رگبارها در تیمارهای مختلف با استفاده از ماتریس هم‌بستگی، آزمون t و تجزیه و تحلیل واریانس و هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها، دسته‌بندی مقادیر و اختلاف آنها با توجه به توزیع نرمال داده‌ها با آزمون دانکن انجام شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزارهای SPSS 11.5 و Excel انجام شد.

نتایج و بحث

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9]

استفاده از روابط ۲ و هم‌چنین ۸ برای مدل AUSLE و نهایتاً رابطه اصلی کلیّه مدل‌ها (رابطه ۱) به‌ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. اختلاف برآورد عامل فرسایندگی توسط مدل‌های USLE، MUSLE-S، AOF، MUSLT، MUSLE-E، USLE-M و AUSLE با یک‌دیگر از طریق آزمون t با مقادیر حداقل و حداکثر سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰۰۲ (t=۷/۲۸۱) و ۰/۰۰۳۳ (t=۲/۲۰۹) به‌ترتیب مربوط به جفت مدل‌های MUSLE-E (۰/۰۰۰۲۵±۰/۰۰۰۴) و AOF (۱۰۸/۳۷۵±۵۱/۵۵۸) و USLE (AUSLE) (۰/۶۹۰۸ ± ۰/۷۴۹۴) و USLE-M (۱/۳۹۶۷±۱/۳۱۲۸) در کاربری دیم، ۰/۰۰۰۰۲ (t=۷/۳) و ۰/۰۲۳۹ (t= ۲/۶۱۸) به‌ترتیب مربوط به جفت مدل‌های MUSLE-E (۰/۰۰۰۶۱±۰/۰۰۱) و AOF (۱۰۸/۴۴۳±۵۱/۴۵۴) وMUSLE-E (۰/۰۰۰۲۱±۰/۰۰۱) وMUSLT (۰/۰۰۱۵±۰/۰۰۲۸) در کاربری مرتع و هم‌چنین ۰/۰۰۰۰۲ (t=۷/۲۹۹) و سطح غیرمعنی‌داری ۰/۰۵۱۹۵ (t= ۲/۱۷۹) به‌ترتیب مربوط به جفت مدل‌های MUSLE-E (۰/۰۰۰۶۳±۰/۰۰۱۵) و AOF (۱۰۸/۴۳۹۶±۵۱/۴۶۱) و USLE(AUSLE) (۰/۶۹۱۰±۰/۷۴۹۲) و USLE-M (۲/۶۴۸۷±۲/۲۸۳۵) در تیمار شخم مورد تأیید قرار گرفت. هم‌چنین با توجه به تفاوت معنی‌دار مقادیر فرسایندگی 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 فرسایندگی 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 به ترتیب بالاترین و کمترین مقدار فرسایندگی 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 امامه 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. دقّت 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 (۴/۵۵۲±۲/۱۶۶)، مرتع (۰/۱۸۳±۰/۱۳۸) و دیم (۲/۶۰۰±۱/۹۱۰) با مقادیر مشاهده‌ای به ترتیب ۰/۰۴۰±۰/۰۹۵، ۰/۰۱۷±۰/۰۵۲ و ۰/۰۳۴±۰/۰۹۷ و سطوح معنی‌داری به‌ترتیب ۰/۰۰۰۰۲ (t=۷/۰۹۴۷) ، ۰/۰۰۵۰ (t=۳/۴۹۹۴) و ۰/۰۰۰۸۰ (t=۴/۵۷۱۸) در تیمارهای مورد بررسی داشته است. از طرفی کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و مدل‌های USLE (AUSLE) (۰/۰۲۹۰ ± ۰/۰۳۱۵) ، USLE-M (۰/۰۰۲۱ ± ۰/۰۰۲۴) و USLE-M (۰/۰۳۱۶ ± ۰/۰۳۳۵۶) به‌ترتیب در کاربری‌های شخم رها شده، مرتع و دیم با سطوح غیرمعنی‌داری ۰/۷۹۷ (t=۰/۲۶۴۰)، ۰/۳۵۶ (t=۹۶۲۵) و ۰/۹۹۸۷ (t=۰/۰۰۱۷) 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 فرسایندگی (R) و مقدار رسوب برآوردی ناشی از رگبارها به دلیل ثبات سایر متغیرهای مورد استفاده در مدل‌ها (K، L، S، C وP) در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده همچنان نشان می‌دهد که مدل‌های مورد استفاده، هم‌بستگی بالایی با یکدیگر داشته حال آن که ضریب هم‌بستگی آنها با مقادیر مشاهده‌ای رسوب به‌جز مدل MUSLE-E (r=۰/۹۹۴) در تیمار مرتع بسیار کم می‌باشد. اگر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول۲. مقایسه مقادیر فرسایندگی محاسبه‌ای از روش‌های مختلف در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع

ردیف	مشخصات رگبار	MUSLE-S			MUSLE-E			AUSLE			MUSLT			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
		d	d	d	f	f	f	c	c	c	e	e	e	b	b	b	a	a	a	c	c	c
۱	۷۴/۱۲/۲۸	۰/۰۰۶۰۸۲	۰/۰۰۴۴۶۴	۰/۰۰۵۸۴۸	۰/۰۰۰۴۲۲	۰/۰۰۰۳۱۰	۰/۰۰۰۴۰۶	۰/۹۰	۰/۹	۰/۹۰	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۸	۲/۰۶	۱/۷۶	۲/۰۹	۱۲۸/۶۳۰۳	۱۲۸/۶۲۹۴	۱۲۸/۶۳۰۱	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰
۲	۷۵/۱/۱۷	۰/۰۰۲۶۹۱	۰/۰۰۴۰۱۲	۰/۰۰۳۱۲۵	۰/۰۰۰۱۸۷	۰/۰۰۰۲۷۸	۰/۰۰۰۲۱۷	۰/۸۰	۰/۸	۰/۸۰	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۱۶	۰/۹۸	۰/۹۶	۱/۰۸	۱۵۶/۶۰۶۵	۱۵۶/۶۰۷۴	۱۵۶/۶۰۶۸	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰
۳	۷۵/۱/۲۸	۰/۰۰۵۸۴۸	۰/۰۱۴۲۴۵	۰/۱۱۴۹۴۷	۰/۰۰۰۴۰۶	۰/۰۰۰۹۸۹	۰/۰۰۷۹۷۶	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۶۲	۰/۰۴۰۰	۰/۶۶	۱/۰۶	۲/۳۷	۸۸/۸۳۰۱	۸۸/۸۳۳۶	۸۸/۸۵۴۴	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲
۴	۷۵/۲/۶	۰/۰۱۰۹۴۵	۰/۰۰۴۲۳۷	۰/۰۳۵۴۶۹	۰/۰۰۰۷۵۹	۰/۰۰۰۲۹۴	۰/۰۰۲۴۶۱	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۲۱	۰/۰۱۴۰	۴/۸۶	۲/۲۰	۱۰/۳۶	۱۳۳/۳۷۴	۱۳۳/۳۷۰۹	۱۳۳/۳۸۱۴	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸
۵	۷۵/۲/۳۱	۰/۰۱۱۱۹۵	۰/۰۰۶۳۱۸	۰/۰۳۸۳۱۹	۰/۰۰۰۷۷۷	۰/۰۰۷۶۴۲	۰/۰۰۲۶۵۹	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶	۰/۰۰۵۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۱۵۰	۰/۵۵	۰/۳۳	۰/۶۳۶	۳۷/۰۰۳۹	۳۷/۰۰۱۷	۳۷/۰۱۱۸	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶
۶	۷۵/۹/۴	۰/۰۰۲۹۰۷	۰/۰۰۵۸۴۸	۰/۰۰۲۹۰۷	۰/۰۰۰۲۰۲	۰/۰۰۰۴۰۶	۰/۰۰۰۲۰۲	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۵	۱/۴۷	۰/۷۳	۱/۴۳	۵۹/۲۱۵۷	۵۹/۲۱۷۴	۵۹/۲۱۵۷	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵
۷	۷۵/۱۰/۳	۰/۰۰۴۰۱۲	۰/۰۰۵۶۱۵	۰/۰۱۷۳۶۷	۰/۰۰۰۲۱۹	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۱۲۰۵	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۷۴	۰/۵۰	۲/۰۹	۰/۵۸۶	۱۴۶/۲۰۰۳	۱۴۶/۲۰۱۲	۱۴۶/۲۰۵۹	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳
۸	۷۶/۱/۱۶	۰/۰۰۹۲۰۹	۰/۰۰۸۲۳۳	۰/۰۱۰۹۴۵	۰/۰۰۰۶۳۹	۰/۰۰۰۵۷۱	۰/۰۰۰۷۵۹	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۴۹	۱/۶۰	۱/۴۵	۱/۸۵	۱۵۴/۵۸۱۵	۱۵۴/۵۸۱۱	۱۵۴/۵۸۲۲	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷
۹	۷۶/۲/۸	۰/۰۰۲۴۷۶	۰/۰۰۲۹۰۷	۰/۰۰۴۴۶۴	۰/۰۰۰۱۷۲	۰/۰۰۰۲۰۲	۰/۰۰۰۳۱	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۲۲	۰/۵۱	۰/۵۷	۰/۸۷	۷۴/۶۹۳۶	۷۴/۶۹۳۹	۷۴/۶۹۴۹	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷
۱۰	۷۶/۲/۱۵	۰/۰۰۲۲۴۶	۰/۰۰۳۵۶۵	۰/۰۰۷۲۶۹	۰/۰۰۰۱۵۷	۰/۰۰۰۲۴۷	۰/۰۰۰۵۰۴	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۳۴	۰/۶۶	۱/۰۳	۱/۹۴	۱۹۳/۸۰۲۹	۱۹۳/۸۰۳۸	۱۹۳/۸۰۵۸	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹
۱۱	۷۶/۲/۲۷	۰/۰۰۱۶۴	۰/۰۰۱۶۴	۰/۰۰۹۴۵۵	۰/۰۰۰۱۱۴	۰/۰۰۰۱۱۴	۰/۰۰۰۶۵۶	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۴۳	۰/۲۵	۰/۲۲	۱/۱۶	۹۵/۴۹۴۱	۹۵/۴۹۴۱	۹۵/۴۹۸۵	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴
۱۲	۷۷/۱/۱۶	۰/۰۰۹۴۵۵	۰/۰۱۰۱۹۷	۰/۰۱۰۴۴۶	۰/۰۰۰۶۵۶	۰/۰۰۰۷۰۸	۰/۰۰۰۷۲۵	۲/۶۸	۲/۶۸	۲/۶۸	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۴۷	۲/۶۶	۲/۸۳	۳/۰۳	۳۲/۰۶۷۷	۳۲/۰۶۸۰	۳۲/۰۶۸۱	۲/۶۸	۲/۶۸	۲/۶۸

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

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول۳. مقایسه مقادیر تخمینی نسخ مختلف رابطه جهانی فرسایش خاک با رسوب مشاهده‌ای ناشی از رگبارها (کیلوگرم) در تیمارهای دیم، شخم رها شده و مرتع در حوزه آبخیز خسبیجان

ردیف	مشخصات رگبار	MUSLE-S			MUSLE-E			AUSLE			MUSLT			USLE-M			AOF			USLE			رسوب مشاهده‌ای		
		دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم
		d	d	d	f	f	f	c	c	c	e	e	e	b	b	b	a	a	a	c	c	c			
۱	۷۴/۱۲/۲۸	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۵۰۴۳	۰/۰۰۳۳	۰/۰۴۸۱۴	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۹۰۶۴	۰/۰۰۵۰۱	۰/۰۸۷۸	۵/۶۵۹۱۷۳	۰/۳۶۶۲۱	۵/۴۰۲۵	۰/۰۳۹۶	۰/۰۰۲۶	۰/۰۳۷۸	۰/۰۳۶	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۴۳
۲	۷۵/۱/۱۷	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۱۷۹۳	۰/۰۰۲۱۵	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۱۷۲۵	۰/۰۰۲۰۲	۰/۰۴۵۴	۲/۷۵۶۳	۰/۳۲۹۸۲	۶/۵۷۷۵	۰/۰۱۴۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۳۳۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۲
۳	۷۵/۱/۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۴۹۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۱۸	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۱۶۸	۰/۰۱۱۶۲	۰/۰۰۱۴۹	۰/۱	۱/۵۶۳۴۱	۰/۱۲۵	۳/۷۳۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۰۳۱	۰/۰۰۹۲۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴۷	۰/۰۱۵۰
۴	۷۵/۲/۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۱۴۹	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۲۸۶۹	۰/۰۰۱۲۱	۰/۰۶۸۵	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵۹	۰/۰۸۵۵۴	۰/۰۰۱۶۳	۰/۴۳۵۱۲	۲/۳۴۷۴	۰/۰۹۹	۵/۶۰۲۰۲	۰/۰۲۲۵۳	۰/۰۰۰۹۵	۰/۰۵۳۷۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴۱	۰/۱۱۰
۵	۷۵/۲/۳۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۱۶۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۷۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۶۳	۰/۰۰۴۸۴	۰/۰۲۷۴۲	۰/۰۲۷	۰/۳۲۵۶۳	۰/۰۲۷۴۲	۱/۵۵۴۵	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۲۶۵	۰/۳۳۹	۰/۱۸۳	۰/۳۲۴
۶	۷۵/۹/۴	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۳۰۸۲	۰/۰۰۲	۰/۰۲۹۴۲	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۶۴۷	۰/۰۲۱۶۸	۰/۰۶۰۱	۲/۶۰۵۵	۰/۱۶۸۶	۲/۴۸۷۱	۰/۰۲۴۲	۰/۰۰۱۵۷	۰/۰۲۳۱	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱
۷	۷۵/۱۰/۳	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۷۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۲۴۱	۰/۰۰۱۵۶	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۵۹۵	۰/۰۲۵	۶/۴۳۳	۰/۴۱۶۳	۶/۱۴۱	۰/۰۱۸۹۲	۰/۰۰۱۲۳	۰/۰۱۸۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۳۷
۸	۷۶/۱/۱۶	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴۶	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۱۵۰۲	۰/۰۰۱۸	۰/۰۳۵۸۴	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۲۸۲	۰/۰۰۰۳۱	۰/۰۷۸	۲/۷۲۱	۰/۳۲۵۶	۶/۴۹۳	۰/۰۱۱۸	۰/۰۰۱۴۱	۰/۰۲۸۱۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۷
۹	۷۶/۲/۸	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۹۳۳	۰/۰۰۰۳۵	۰/۰۱۹۸	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۱۰۱	۰/۰۰۰۴۲	۰/۰۳۷	۱/۴۷۹	۰/۰۵۵۴	۳/۱۳۷۲	۰/۰۰۱۷۳۳	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۱۵۵۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
۱۰	۷۶/۲/۱۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۱۷۴	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۳۷	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۱۳۱	۰/۰۰۰۷۶	۰/۰۸۱۵	۳/۸۴	۰/۱۴۴	۸/۱۴	۰/۰۱۳۷	۰/۰۰۰۵۱	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۲۲
۱۱	۷۶/۲/۲۷	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴۰	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۳۸۱	۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۱۸۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۴۹	۰/۸۴۰۴	۰/۰۷۰۸	۴/۰۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۱۴۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷۲
۱۲	۷۷/۱/۱۶	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴۴	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۶۷۶	۰/۰۰۷۲	۰/۱۴۳۳۴	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۵۲۷	۰/۰۰۵۹۶	۰/۱۲۷۳	۰/۶۳۵	۰/۰۶۷۶	۱/۳۴۶۹	۰/۰۵۳۱	۰/۰۰۵۶۴	۰/۱۱۲۶	۰/۰۰۱۵	/۰۰۲	۰/۰۰۲

جدول۴. ماتریس هم‌بستگی بین مقادیر فرسایندگی محاسبه‌ای در مدل‌های مختلف و مقدار رسوب مشاهده‌ای در تیمارهای دیم, شخم رها شده و مرتع

ردیف	MUSLE-S			MUSLE-E			AUSLE			MUSLT			USLE-M			AOF			USLE			رسوب مشاهده‌ای		
	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم	دیم	مرتع	شخم
MUSLE-S	۱	۱	-	۰/۹۹۸**	۰/۱۴۹	۱/۰۰۰**	۰/۳۶۵	۰/۲۰۰	-۰/۲۵۰	۱/۰۰۰**	۰/۹۹۹**	۰/۹۹۹**	۰/۶۱۰*	۰/۳۲۸	۰/۱۹۵	-۰/۲۸۶	-۰/۳۱۶	-۰/۱۸۱	۰/۳۶۵	۰/۲۰۰	-۰/۲۵۰	۰/۴۹۳	۰/۰۴۶	۰/۲۳۹
MUSLE-E	-	-	-	۱	۱	۱	۰/۳۷۰	-۰/۲۸۶	-۰/۲۵۰	۰/۹۹۷**	۰/۱۵۸	۰/۹۹۹**	۰/۶۱۷*	-۰/۳۲۳	۰/۱۹۵	-۰/۲۹۹	-۰/۴۶۸	-۰/۱۸۱	۰/۳۷۰	-۰/۲۸۶	-۰/۲۵۰	۰/۴۹۴	۰/۹۹۴**	۰/۲۳۹
AUSLE	-	-	-	-	-	-	۱	۱	۱	۰/۳۶۷	۰/۲۰۸	-۰/۲۴۵	۰/۶۴۵*	۰/۷۹۰**	۰/۴۲۲	-۰/۱۵۹	-۰/۱۵۹	-۰/۱۵۹	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	۱/۰۰۰**	-۰/۳۰۸	-۰/۳۱۳	-۰/۲۴۴
MUSLT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱	۱	۱	۰/۶۱۰*	۰/۳۴۱	۰/۲۱۴	-۰/۲۸۴	-۰/۳۱۴	-۰/۱۸۳	۰/۳۶۷	۰/۲۰۸	-۰/۲۴۵	۰/۴۸۶	۰/۰۵۵	۰/۲۶۹
USLE-M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱	۱	۱	۰/۰۱۶	۰/۱۱۵	۰/۱۲۶	۰/۶۴۵*	۰/۷۹۰**	۰/۴۲۲	-۰/۱۷۶	-۰/۳۶۳	۰/۱۱۹
AOF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱	۱	۱	-۰/۱۵۹	-۰/۱۵۹	-۰/۱۵۹	-۰/۴۲۹	-۰/۴۴۱	-۰/۳۸۶
USLE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱	۱	۱	-۰/۳۰۸	-۰/۳۱۳	-۰/۲۴۴
رسوب مشاهده‌ای	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱	۱	۱

** و *: به ترتیب سطح معنی‌داری ۱ و ۵%

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

جدول ۵.

مدل / کاربری	MUSLE-S	MUSLE-E	AUSLE	MUSLT	USLE-M	AOF	USLE
دیم‌زار	۰/۰۵۳۱±۰/۰۰۰۰۷۸	۰/۰۰۲۲۸±۰/۰۰۰۰۰۵۶	۶/۷۱۰۹±۰/۰۱۹۸۴۲	۰/۰۱۷۴±۰/۰۰۰۰۳۵۳	۹۹/۸۳۹۴±۰/۳۱۵۹۷	۷۷۳/۶۷۹۴±۱/۹۱۰۴۵	۵/۲۶۹۹±۰/۰۱۵۵۸۲
مرتع	۰/۰۰۰۶۱۹±۰/۰۰۰۰۷۷	۰۰۰۰۶۹±۰/۰۰۰۰۰۱۵	۰/۱۰۱۸۴±۰/۰۰۱۹۶۱	۰/۰۰۰۲۸۷±۰/۰۰۰۰۰۳۵	۰/۱۳۰۸۳±۰/۰۰۲۱۴۱	۱۰/۶۷۹۴±۰/۱۳۷۶۷۸	۰/۰۷۹۹۴±۰/۰۰۱۵۴
شخم	۰/۰۲۲۹±۰/۰۰۱۳۳	۰/۰۰۱۵۹±۰/۰۰۰۰۹۳	۱/۰۰۱۴±۰/۰۳۶۹۴۵	۰/۰۰۸۸۹±۰/۰۰۰۴۵۸	۲/۳۹۶۲±۰/۱۱۱۲۴۵	۱۱۳/۷۲۷۵±۲/۱۶۵۴۲	۰/۰۷۸۶±۰/۰۲۹۰۱۲

چه ضریب هم‌بستگی نسبی بالاتر بین مقادیر مشاهده‌ای رسوب و فرسایندگی در مدل‌های MUSLE-S، MUSLE-E و MUSLT در تیمار دیم مؤید پتانسیل 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. دقّت 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 روانآب و بارندگی در تبیین مقدار عامل فرسایندگی و هم‌چنین شرایط تهیه مدل‌های مذکور در قالب مطالعات حوزه‌ای و یا کاربری‌های مشخص نسبت داد. در شرایط بدون واسنجی مدل‌های USLE-M، USLE و AUSLE را می‌توان به‌ترتیب برای کاربری‌های مرتع، دیم و شخم رها شده و با پذیرش نسبت تخمین ۰/۰۰۲۱۴۱ ± ۷/۵-، ۰/۰۱۵۵۸۲ ± ۵/۳ و ۰/۰۳۶۹۴۵ ± ۱ 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 فرسایندگی باران 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=۰/۴۷) 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 به‌کارگیری 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 ۴۴% 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 دقّت و کارآیی 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9]

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. آقارضی، ح. ۱۳۸۴. اندازه گیری 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. خواجه‌ای، ا.، ا. بروشکه، ر. سکوتی‌اسکویی و م. عرب خدری، 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، ۲-۴۲ 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. عرب‌خدری. 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 فرسایندگی باران. مجله علوم و صنایع کشاورزی ۱۹(۱): ۴۵-۵۲.

۷. صادقی، س.ح.ر. و م. بهزادفر. ۱۳۸۳. تغییرات مکانی فرسایندگی باران 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 دقّت 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 خسبیجان، 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. Steinardt (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,

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9]

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 or Agriculture and Natural Reasource, 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 yiled 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.55.9]