واسنجی نسخ مختلف رابطه جهانی فرسایش خاک در حوزه آبخیز چهل گزی کردستان

ع. ا. خالدی درویشان[۱]، س. ح. ر. صادقی[۲]، ل. غلامی[۳] و ع. ا. تلوری[۴]

چکیده

عدم وجود و یا کمبود بسیار زیاد آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور، کاربرد روش‌های تجربی مناسب را برای برآورد شدت فرسایش خاک و رسوب‌زایی الزامی می‌نماید. در این تحقیق، واسنجی نسخ مختلف رابطه جهانی هدررفت خاک شامل EUSLE، USLE-M، AOF، MUSLE، MUSLT و TAM در حوزه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق استان کردستان در مقیاس رگبار پس از ارزیابی عملکرد آنها مد نظر قرار گرفت. برای این منظور کلیه متغیرهای مورد نیاز و ورودی مدل‌های مذکور برای حوزه چهل‌گزی محاسبه و به‌منظور اجرای مدل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده از کاربرد هر یک از مدل‌ها با مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده ۱۱ رگبار مقایسه و نهایتاً کارآیی مدل‌های مذکور در حوزه مورد بررسی ارزیابی شد. نتایج آزمون‌های بررسی همبستگی، واسنجی‌های انجام شده و همچنین t جفتی، ضمن تایید ارتباط خوب برآوردهای بسیاری از مدل‌ها با یکدیگر نمایانگر عدم توانایی کلیه مدل‌های مذکور به‌جز مدل‌های واسنجی شده TAM و MUSLE-S در برآورد رسوب ناشی از رگبارها در حوزه مورد مقایسه بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: واسنجی مدل‌های فرسایش خاک، تولید رسوب رگبارها، سد قشلاق، حوزه آبخیز چهل‌گزی، استان کردستان

۱- دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور

۴- دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

مقدمه

تخمین مقدار فرسایش در اراضی کشاورزی به‌خصوص در کوهپایه‌ها و فلات مرتفع و پرشیب می‌تواند ابزاری برای شناخت مناطق حساس و تدوین برنامه‌های عملی حفاظت خاک و آب باشد تا با توجه به امکانات زارعین کم درآمد، امکان استفاده منطقی از اراضی توام با حفظ قدرت تولیدی خاک و همچنین جلوگیری از پرشدن سدها به وسیله رسوبات حاصل از فرسایش خاک فراهم شود (۲۴). تخمین دقیق رسوب تولیدی در هر رگبار مستلزم داشتن تعداد کافی نمونه در طول هر واقعه و یا منحنی کامل رسوب است, در حالی‌که در بسیاری از اوقات تنها چند نمونه رسوب طی هر رگبار برداشت و مقدار رسوب برآورد گردیده است. برای برآورد فرسایش خاک و رسوب تولیدی روابط متعددی ارائه شده که در بعضی موارد به جای یکدیگر و بدون توجه به شرایط خاص استفاده از آنها به کار رفته‌اند (۱۲). تحقیقات و بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه علت و برآورد فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز از سال‌ها پیش آغاز و نهایتاً منجر به تهیه رابطه جهانی فرسایش خاک USLE[1] (۲۷) شده که به‌طور گسترده در سرتاسر جهان برای تخمین سالانه فرسایش خاک استفاده می‌شود. ویلیامز و برنت (۲۶) در امریکا نشان دادند که رابطه جهانی فرسایش خاک تنها قادر است ۴۷٪ از تغییرات در میزان تولید رسوب در رگبارها را ارزیابی نماید (۲۶). حال آنکه مدل جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (MUSLE) برآوردهای خوبی از رسوب رگبارها را در اختیار قرار داده است. همچنین توانایی نسخه اصلاح شده جدید USLE (USLE-M) در تخمین مقدار رسوب انتقالی طی رگبارها توسط کینل و رایس (۶) در حوزه آبخیز راکی کریک[2] در استرالیا و صادقی و همکاران (۱۱) در حوزه آبخیز امامه در ایران موفق ارزیابی شد (۶ و ۲۲). صادقی و همکاران (۲۱) از رابطه جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (MUSLE) برای محاسبه فرسایش خاک و MUSLT برای محاسبه رسوب رگبارها در حوزه آبخیز امامه استفاده نمودند. در همین راستا، یک نسخه MUSLE محدودیت‌دار را برای منطقه تهیه و معرفی کردند که تخمین‌های بهتری را برای مقدار رسوب تولیدی ارائه نمود (۲۱). نسخ متعددی برای رابطه جهانی فرسایش خاک (MUSLE[3]، MUSLT[4]، EUSLE[5]، USLE-M[6] و AOF[7]) ارائه شده و کاربرد آنها در نقاط مختلف جهان مورد ارزیابی قرار گرفته است (۲۲). صادقی (۱۱) کاربرد مدل MUSLE و نوع محدودیت‌داری از آن را برای تخمین بار رسوبی در حوزه آبخیز امامه مورد بررسی قرار داد و در نهایت مدل جدیدی را برای تخمین رسوب با خطای تخمین و نسبت متوسط بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی به‌ترتیب ۱۹/۴- درصد و ۱/۲۹ به‌دست آورد. صادقی و مهدوی (۱۶) طی تحقیقی در حوزه آبخیز امامه به ارزیابی مدل SEDIMOT-II مبتنی بر MUSLE پرداختند. نتایج نشان داد که کارآیی مدل اولیه برای تخمین مقادیر رسوب ناشی از رگبارها در حوزه آبخیز مذکور

1- Universal Soil Loss Equation
2- Rocky Creek
3- Modified Universal Soil Loss Equation
4- Theoretical Modified Universal Soil Loss Equation
5- European Universal Soil Loss Equation
6- USLE Modification
7- Onstad and Foster Mode

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

ضعیف بوده است (۱۶). صادقی و همکاران (۲۲) به بررسی توانایی برخی مدل‌های رایج فرسایش خاک سالانه و رگباری شامل USLE، Hudson، EUSLE، USLE-M، AOF و TAM[1] برای تخمین رسوب حاصل از رگبار در حوزه آبخیز امامه پرداختند. مقایسه نتایج برآورد رسوب از طریق اعمال نسبت تحویل رسوب در مقادیر فرسایش‌های برآوردی توسط مدل‌ها با مقادیر مشاهده‌ای نشان داد که تمام مدل‌های مورد بررسی نتایج مشابهی داشته و از توافق بالایی در بین یکدیگر برخوردار بودند اما رابطه قابل استنادی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های تخمین بار رسوبی به دست نیامد. صادقی و همکاران (۱۷) کارآیی مدل MUSLE در تخمین رسوب ۲۴ رگبار در ۳ پلات در داخل مناطق تحت چرای آزاد و برداشت دستی در مراتع Matash در شمال ایران را ناموفق ارزیابی کردند. صادقی و همکاران (۱۸) کارآیی مدل MUSLE اصلی در تخمین رسوب ۸ رگبار در حوزه Mie ژاپن را ضعیف ارزیابی کرده و لذا مدل واسنجی شده جدیدی برای برآورد رسوب ناشی از رگبار ارائه کردند. در ایران نیز خواجه‌ای و همکاران (۲) در مطالعه‌ای به بررسی قابلیت مدل MUSLE در برآورد رسوب حاصل از رگبارهای منفرد و رسوب سالانه در حوزه آبخیز رودخانه شهرچای در آذربایجان غربی پرداختند. نتایج نشان داد که در صورت اصلاح ضریب و توان به‌ترتیب به مقدار ۰/۰۰۱ و ۱/۰۸۲، مدل برآوردی در حوزه‌های مشابه با شهر چای قابل استفاده می‌باشد ولی استفاده از مدل MUSLE برای برآورد رسوب سالانه را توصیه نکردند. رضایی‌فرد و همکاران (۱۰) بررسی مدل MUSLE برای برآورد رسوب ۱۱ واقعه منفرد در زیر حوزه افچه در لتیان پرداختند. نتایج این تحقیق نیز بر ضرورت اصلاح مدل MUSLE در برآورد رگبارها از طریق استفاده از مقادیر ۰/۰۴۶ و ۰/۶۸ به ترتیب برای ضریب و توان مدل MUSLE دلالت داشت (۱۰). صادقی و توفیقی (۲۳) به بررسی تغییرپذیری لحظه‌ای رسوب معلق شش رگبار به‌وقوع پیوسته در حوزه آبخیز خانمیرزا در چهارمحال و بختیاری پرداخته و ضمن ارزیابی ارتباط آب‌نگار، رسوب‌نگار و عدم توانایی مدل TAM در بازسازی رسوب‌نگار منطقه را تایید نمودند. صادقی (۱۲) ضمن مقایسه توانایی عوامل فرسایندگی نسخ مختلف رابطه جهانی فرسایش خاک در برآورد رسوب ناشی از رگبارها در حوزه آبخیز امامه عملکرد مدل AOF در شبیه‌سازی مقادیر مشاهده‌ای را بهتر از سایر شیوه‌ها ارزیابی نمودند. صادقی و همکاران (۱۹) کاربرد برخی از مدل‌های برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب شامل USLE، MUSLE برای رسوب[2]، AOF، MUSLT، MUSLE برای فرسایش[3]، USLE-M و AUSLE در ۳ کرت استاندارد در کاربری مرتع در مقیاس رگبار در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسبیجان در شهرستان اراک را مورد سنجش قرار داد. نتایج ارزیابی ضمن تایید ارتباط خوب برآوردهای بسیاری از مدل‌ها با یکدیگر نمایان‌گر عدم توانایی مدل‌های مذکور در برآورد رسوب ناشی از رگبارها در تیمارهای مورد مقایسه بوده‌اند.

1- Time Area Method
2- MUSLE-S
3- MUSLE-E

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

حال آنکه ارتباط معنی‌دار مدل MUSLE-E در کاربری مرتع مورد تایید قرار گرفت.

نتایج بررسی سوابق نشان می‌دهد که اگر چه 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 عامل فرسایندگی باران و رواناب می‌باشد. تغییرپذیری زیاد زمانی (۱۵) و مکانی (۱۴) عامل فرسایندگی و همچنین نقش آن به‌عنوان یکی از ورودی‌های مهم به سامانه‌های آبخیز برای انجام فرآیند فرسایش خاک (۷) از دلایل اصلی ضرورت توجه به این عامل در برآورد صحیح فرسایش خاک می‌باشد. 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 (۹). از طرفی تاکنون ارزیابی‌های بسیار محدودی در خصوص ارزیابی کارآیی و واسنجی[1] آنها در تامین تخمین‌های مناسب از فرسایش خاک و یا تولید رسوب در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی صورت پذیرفته است. از این‌رو در تحقیق حاضر سعی شده تا قابلیت اغلب نسخ رابطه جهانی فرسایش خاک (EUSLE، USLE-M، AOF، MUSLE-E، MUSLE-S، MUSLT و TAM) به عنوان زیربنای مفهومی بسیاری از مدل‌های پیچیده و توسعه یافته امروزی در حوزه آبخیز چهل‌گزی قشلاق استان کردستان 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 فرسایندگی، توپوگرافی و یا مقیاس زمانی مورد استفاده متفاوت بوده (۳، ۴، ۵، ۹، ۱۲، ۲۶ و ۲۷) و طبعاً مقایسه توانمندی آنها در ارزیابی مقادیر مشاهده‌ای رسوب ناشی از رگبارها زمینه ساز استفاده از مدل‌های صحیح و کارآمد و همچنین تهیه و توسعه مدل‌های جدید خواهد بود.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

به‌منظور مقایسه روش‌های مختلف تخمین رسوب و فرسایش و امکان واسنجی آنها در برآورد رسوب رگبارها, حوزه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق با مساحت ۲۷۲۳۳ هکتار واقع در استان کردستان (´۴۵ °۴۶ تا ´۵۷ °۴۶ طول شرقی و ´۲۵ °۳۵ تا ´۳۸ °۳۵ عرض شمالی)، شیب متوسط ۱۷/۵۷٪ و حداقل، حداکثر و متوسط ارتفاع به‌ترتیب ۱۵۵۰، ۲۸۵۰ و ۲۲۰۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد انتخاب شد (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه ۲۹۴/۲ میلی‌متر، مساحت مراتع و زراعت به‌ترتیب ۲۳۴۶۵ و ۳۷۶۸ هکتار می‌باشد. تشکیلات عمده زمین‌شناسی حوزه شامل رسوبات رودخانه‌ای و شیل با بیش‌ترین فرسایش و آندزیت و آهک‌های میکروفسیل‌دار با کم‌ترین فرسایش می‌باشد (۸).

به‌منظور ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف برآورد فرسایش و رسوب در تخمین رسوب ناشی از رگبارها ابتدا مقادیر واقعی رسوب هر

1- Calibration

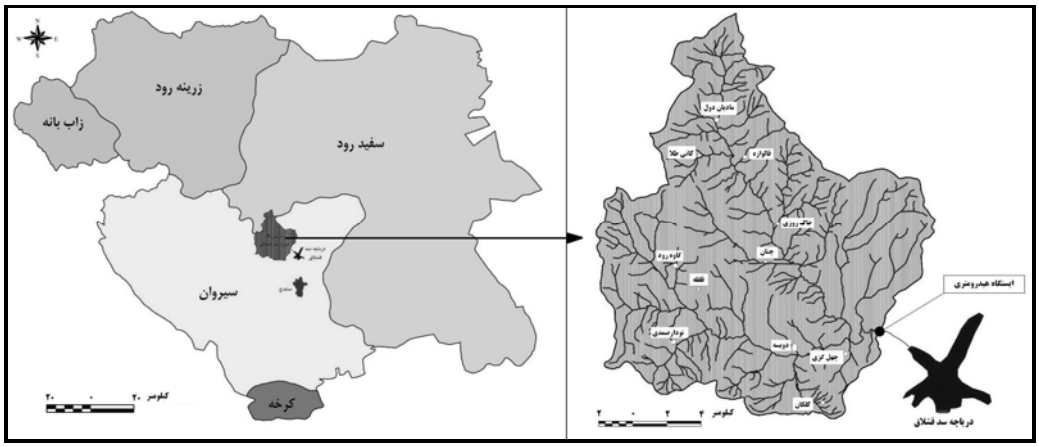
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

رگبار از طریق نمونه‌برداری و تحلیل رسوب‌نگارهای اندازه‌گیری شده محاسبه شد. سپس متغیرهای مورد نیاز برای اجرای مدل‌های مورد مطالعه از منابع اطلاعاتی مختلف محاسبه و برای اجرای آنها استفاده شد. برای نمونه‌برداری رسوب معلق از تقسیم‌بندی مقطع مورد بررسی و روش انتگراسیون عمقی (۱ و ۲۵) استفاده شد. نمونه‌های رسوب جمع‌آوری شده سپس به آزمایشگاه حمل و پس از عبور از کاغذ صافی، در داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و ارزیابی زمان بهینه یک‌ساعت (۱۳) خشک و نهایتاً وزن رسوب معلق با ترازوی یک‌هزارم گرم تعیین گردید. برای بررسی کارآیی روشهای مورد استفاده، یازده رگبار با اندازه‌گیری رواناب و رسوب با مشخصات مندرج در جدول ۱ نمونه‌برداری و مورد استفاده قرار گرفتند.

اطلاعات مربوط به خصوصیات بارش و رواناب نیز با استفاده از ایستگاه باران‌نگار و هیدرومتری موجود در منطقه محاسبه شد. مقدار انرژی جنبشی رگبار از طریق تجزیه و تحلیل کاغذهای باران‌نگار، مقدار ضریب رواناب هر رگبار با توجه به حجم رواناب حاصله و لحاظ مساحت حوزه و تقسیم آن بر مقدار بارش و دبی اوج با استفاده از اوج هیدروگراف مستقیم هر رگبار تعیین گردید. در ادامه کلیه متغیرهای مورد نیاز مدل‌های مختلف برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه مورد مطالعه محاسبه و در روابط مربوطه استفاده شد. برای تبدیل مقادیر فرسایش برآوردی توسط مدل‌های فرسایش به رسوب برآوردی، از نسبت تحویل رسوب مشاهده‌ای (۱) و ضرب آن در مقادیر فرسایش استفاده شد. سپس مقایسه نتایج به‌دست آمده از مدل‌های مختلف تخمین با یکدیگر و مقادیر مشاهده‌ای ناشی از رگبارها با استفاده از ماتریس همبستگی و t جفتی انجام شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS13 و صفحه گسترده EXCEL انجام پذیرفت. در نهایت عملکرد مدل‌های موجود در تخمین رسوب رگبارها در حوزه مورد مطالعه با استفاده از آزمون همبستگی ارزیابی و سپس واسنجی لازم برای مدل‌های برتر با استفاده از ۸ رگبار تصادفی (تاریخ‌های ۱۳۸۵/۸/۵، ۱۳۸۵/۸/۱۵، ۱۳۸۵/۸/۳۰، ۱۳۸۵/۹/۷، ۸۵۱۳/۱۱/۱۸، ۱۳۸۵/۱۲/۶، ۱۳۸۶/۱/۷ و ۱۳۸۵/۲/۷) و اعتبارسنجی[1] مربوطه نیز به کمک ۳ رگبار باقیمانده (تاریخ‌های ۱۳۸۵/۸/۹، ۱۳۸۵/۹/۲۰ و ۱۳۸۶/۱/۲۱) انجام پذیرفت. مدل نهایی نیز مجدداً با استفاده از آزمون t و احراز فرض تساوی یا صفر مقادیر حاصل از مدل‌های واسنجی شده و مشاهده‌ای شناسایی شد.

1- Validation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]



شکل ۱- شمای کلی و موقعیت حوزه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق در استان کردستان.

جدول ۱- مشخصات رگبارهای انتخابی در ارزیابی کارآیی مدل‌های مختلف برآورد فرسایش و رسوب در تخمین رسوب ناشی از رگبارها

ردیف	تاریخ رگبار (روز)	مقدار بارش (میلی‌متر)	مدت بارش (دقیقه)	شدت نیم‌ساعته (سانتی‌متر بر ساعت)	حجم رواناب (مترمکعب)	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	رسوب مشاهده‌ای (تن)
۱	۱۳۸۵/۸/۵	۱/۶۸	۲۰۷	۰/۱۵۱	۵۸۵۴۳/۲	۳/۷۷۸	۶۴/۸۰۶
۲	۱۳۸۵/۸/۹	۷/۰۸	۹۹	۰/۷۷۷	۱۰۲۸۳۴/۰	۶/۰۰۰	۱۴۰/۰۰۰
۳	۱۳۸۵/۸/۱۵	۲/۰۴	۱۱۰	۰/۲۳۹	۶۹۰۱۲/۰	۳/۸۱۴	۲۷/۸۰۸
۴	۱۳۸۵/۸/۳۰	۱/۳۵	۱۹۴	۰/۱۱۸	۳۵۱۵۴/۰	۲/۴۶۵	۳۵/۰۱۷
۵	۱۳۸۵/۹/۷	۳/۹۰	۱۳۳	۰/۲۷۵	۱۰۸۳۷۶/۲	۵/۴۹۷	۵۳/۱۳۸
۶	۱۳۸۵/۹/۲۰	۸/۲۸	۱۱۲	۰/۸۱۳	۱۰۶۴۸۶/۰	۵/۰۴۰	۵۹/۲۰۰
۷	۱۳۸۵/۱۱/۱۸	۲/۶۲	۱۱۰	۰/۲۳۹	۴۳۴۷۹/۰۰	۲/۲۰۰	۴۳/۰۰۲
۸	۱۳۸۵/۱۲/۶	۹/۲۰	۲۶۱	۰/۵۵۷	۸۱۲۸۸/۰۰	۳/۶۷۰	۱۰۵/۴۰۰
۹	۱۳۸۶/۱/۷	۴/۳۶	۸۸	۰/۸۵۷	۸۱۶۵۷/۰۰	۴/۰۲۰	۵۸/۹۰۰
۱۰	۱۳۸۶/۱/۲۱	۵/۲۹	۲۲۶	۰/۳۳۹	۸۹۵۹۵/۰۰	۴/۳۰۰	۱۰۷/۹۰۰
۱۱	۱۳۸۶/۲/۷	۱۶/۱۸	۲۷۳	۰/۹۱۶	۱۲۷۸۱۴/۴۰	۵/۵۷۳	۱۸۰/۰۰۰

نتایج و بحث

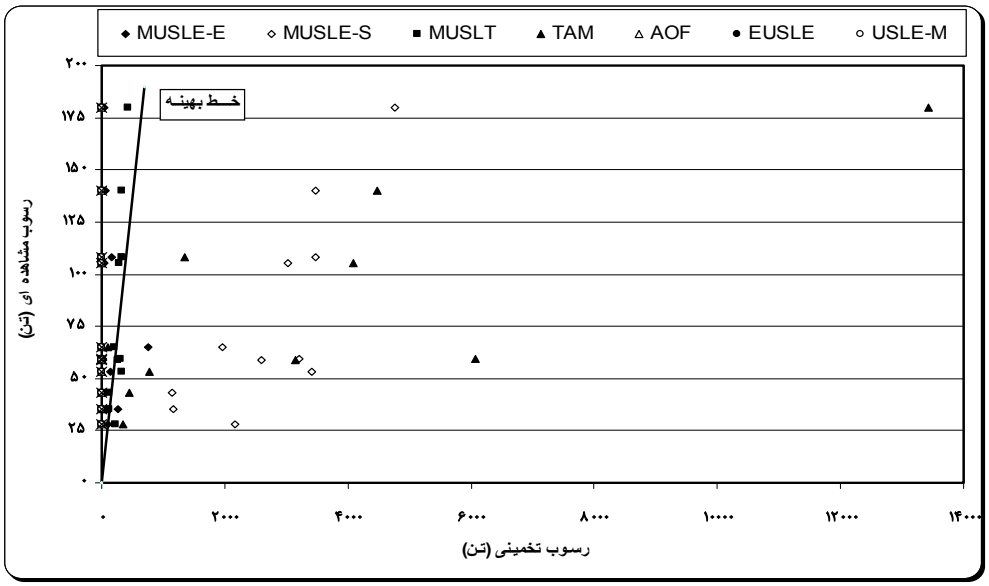
روش‌های مختلف پیشنهاد شده برای برآورد رسوب مدل‌های EUSLE، USLE-M، AOF، MUSLE-E، MUSLE-S، MUSLT و TAM از طریق استخراج عوامل مورد نیاز محاسبه و مقادیر به‌دست آمده در جدول ۲ آورده شده و همچنین ارتباط مقادیر مذکور با یکدیگر و مقادیر مشاهده‌ای در شکل ۲ ارائه شده است. جدول ۳ ماتریس همبستگی بین رسوب تخمینی مدل‌های مختلف و مقادیر مشاهده‌ای را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

جدول ۲- مقادیر رسوب تخمینی (تن) مدل‌های مختلف فرسایش خاک مشاهده‌ای رگبارهای مورد مطالعه در حوزه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق، استان کردستان

ردیف	تاریخ رگبار / روش	۸۵/۸/۵	۸۵/۸/۹	۸۵/۸/۱۵	۸۵/۸/۳۰	۸۵/۹/۷	۸۵/۹/۲۰	۸۵/۱۱/۱۸	۸۵/۱۲/۶	۸۶/۱/۸	۸۶/۱/۲۱	۸۶/۲/۷
۱	مشاهده‌ای	۶۴/۸۱۰	۱۴۰/۰۰۰	۲۷/۸۱۰	۳۵/۰۲۰	۵۳/۱۴۰	۵۹/۲۰۰	۴۳/۰۰۰	۱۰۵/۴۰۰	۵۸/۹۰۰	۱۰۷/۹۰۰	۱۸۰/۰۰۰
۲	EUSLE	۰/۰۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۰۴۷	۰/۰۰۰۰۰۵۲	۰/۰۰۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۰۰۶۶	۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۴۱
۳	USLE-M	۰/۰۳۸	۰/۰۳۳	۰/۰۱۵	۰/۰۱۶	۰/۰۲۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۷	۰/۰۱۵	۰/۰۱۸	۰/۰۴۰	۰/۰۲۷
۴	AOF	۴/۹۸۴	۰/۷۶۳	۰/۸۲۵	۲/۵۳۲	۱/۰۹۳	۰/۲۸۲	۰/۹۱۶	۰/۷۲۹	۰/۳۲۱	۱/۵۴۲	۰/۶۸۹
۶	MUSLE-E	۷۵۹/۹۶۴	۶۴/۴۱۰	۱۰۴/۱۸۶	۲۶۹/۹۵۶	۱۳۹/۱۳۴	۱۸/۵۷۹	۶۵/۶۳۶	۴۶/۲۳۶	۲۸/۷۷۹	۱۶۳/۸۸۸	۳۷/۷۷۳
۷	MUSLE-S	۱۹۵۸/۳۴۰	۳۴۷۸/۵۳۱	۲۱۵۸/۷۶۶	۱۱۵۸/۷۷۲	۳۴۱۰/۸۹۲	۳۲۱۷/۲۱۱	۱۱۴۷/۵۰۶	۳۰۲۹/۴۲۴	۲۶۰۵/۴۹۲	۳۴۷۵/۰۰۶	۴۷۶۳/۸۵۷
۸	MUSLT	۱۹۸/۲۷۲	۳۳۱/۱۵۹	۲۱۶/۲۹۴	۱۲۴/۱۰۵	۳۲۵/۴۰۴	۳۰۸/۸۵۵	۱۲۳/۰۲۷	۲۹۲/۷۰۷	۲۵۵/۸۴۵	۳۳۰/۸۵۹	۴۳۸/۴۹۸
۹	TAM	۹۸/۷۳۶	۴۴۷۲/۷۳۷	۳۴۰/۶۳۹	۸۸/۸۶۲	۷۷۰/۱۴۰	۶۰۷۲/۲۵۹	۴۴۴/۳۱۲	۴۰۸۲/۷۳۰	۳۱۴۹/۶۷۶	۱۳۵۲/۶۸۲	۱۳۴۲۸/۰۸۵

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]



شکل ۲- ارتباط مقادیر رسوب مشاهده‌ای و تخمینی با استفاده از نسخ مختلف رابطه جهانی فرسایش خاک.

جدول ۳- ماتریس همبستگی بین مقادیر رسوب حاصل از مدل‌های مختلف و رسوب مشاهده‌ای رگبارها

روشها	مشاهده‌ای	MUSLE-E	MUSLE-S	MUSLT	TAM	AOF	EUSLE	USLE-M
مشاهده‌ای	۱/۰۰۰	-۰/۲۰۷	۰/۸۲۹*	۰/۸۲۰*	۰/۹۵۴**	-۰/۱۹۶	۰/۷۹۲*	۰/۳۴۹
MUSLE-E		۱/۰۰۰	-۰/۳۳۵	-۰/۳۳۱	-۰/۳۸۳	۰/۹۸۸**	۰/۳۱۵	۰/۷۱۹*
MUSLE-S			۱/۰۰۰	۱/۰۰۰**	۰/۸۳۰	-۰/۳۸۰	۰/۵۵۴	۰/۳۹۳
MUSLT				۱/۰۰۰	۰/۸۱۹*	-/۳۷۹	۰/۵۵۱	۰/۳۹۶
TAM					۱/۰۰۰	-۰/۳۷۲	۰/۶۷۹	۰/۲۱۳
AOF						۱/۰۰۰	۰/۲۸۶	۰/۶۶۶
EUSLE							۱/۰۰۰	۰/۶۸۲
USLE-M								۱/۰۰۰

*: سطح اعتماد ۹۵٪ **: سطح اعتماد ۹۹٪.

دقت در جدول ۲ و شکل ۲ نشان می‌دهد که مدل‌های EUSLE، USLE-M و AOF برآوردهای کم و سایر مدل‌های مورد بررسی تخمین‌های بسیار بیش‌تری از مقادیر مشاهده‌ای رسوب ارائه نموده‌اند. همچنین با توجه به جدول ۳ می‌توان استنباط نمود که بالاترین همبستگی (r=٪۹۷/۸ و P<۰/۰۱) بین رسوب تخمینی مدل TAM با رسوب مشاهده‌ای وجود داشته است و طبعاً امکان بیش‌تر واسنجی مدل مذکور برای منطقه مورد بررسی را تایید می‌نماید. از طرفی ارتباط بین

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

تخمین‌های حاصل از مدل‌های MUSLE-S، MUSLT و EUSLE با مقادیر مشاهده‌ای رسوب در سطح ۹۵٪ معنی‌دار بوده و امکان واسنجی مدل‌های مذکور برای حوزه آبخیز چهل‌گزی را نیز فراهم می‌آورد. از این‌رو روابط اصلی مدل‌های مذکور (۲۳، ۲۴ و ۲۶) برای منطقه مورد تحقیق واسنجی و با اضافه کردن حرف C به مفهوم واسنجی شده به ابتدای روش‌های مورد استفاده در جدول ۴ خلاصه شده است. میانگین خطای تخمین و همچنین تایید حاصل از کاربرد مدل‌های تهیه شده (۲۰) به‌جز خطای تخمین مدل MUSLT و آن‌هم با اختلاف کم در دامنه قابل قبول خطای تخمین مدل‌ها در مدل‌سازی منابع طبیعی (۱۷) بوده است.

جدول ۴- نتایج حاصل از واسنجی مدل‌های موجود (نام مدل-C) در برآورد رسوب ناشی از رگبارها (تن)

رابطه	مدل	خطا (٪) تخمین	خطا (٪) تأیید
...(۲)	$C\text{-}TAM = 1Y/Y\ast(SDR_1E_1 + SDR_1SDR_2E_2 + \ldots + SDR_1\ldots SDR_nE_n)^{0/14}$	۲۹/۰۵	۳۸/۴۰
...(۳)	$C - MUSLE - S = 0/003\ (Q \times q_p)^{0/73}\ KLSCP$	۳۹/۴۶	۳۰/۰۹
...(۴)	$C - MUSLT = 0/0000017\ (Q \times q_p)^{1/42}\ KLSCP$	۴۹/۳۶	۲۵/۱۸
...(۵)	$C - EUSLE = 570(DR\ [12/1 + 8/9\ (Logr_p - 0/434)]\ (R_{0/5})/1000)^{0/1}\ KLSCP$	۲۸/۴۶	۳۸/۵۹

Q: حجم رواناب (مترمکعب)، q_p: دبی اوج رواناب (مترمکعب بر ثانیه)، K: عامل فرسایش‌پذیری خاک، L: عامل طول شیب، S: عامل تندی شیب، C: عامل مدیریت زراعی و P: عامل مدیریت اراضی

سپس مدل‌های واسنجی شده برای منطقه مذکور طبق روش کار ارائه شده برای کلیه رگبارها مجدداً استفاده و مقادیر تخمینی جدید آنها با مقادیر مشاهده‌ای رسوب از طریق کاربرد آزمون t جفتی مقایسه و نتایج به دست آمده در جدول ۵ خلاصه شده است.

جدول ۵- مقایسه مقادیر رسوب حاصل از مدل‌های واسنجی شده و رسوب مشاهده‌ای رگبارها به‌وسیله آزمون t جفتی

روشهای مورد مقایسه		میانگین	انحراف معیار	اشتباه از معیار	آماره t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
مشاهده‌ای	C-TAM	۳۰/۶۹۲	۴۰/۴۲۰	۱۲/۱۸۷	۲/۵۱۸	۱۰	۰/۱۱۷
	C-MUSLE-S	۱۴/۵۰۸	۲۸/۰۸۸	۸/۴۶۹	۱/۷۱۳		۰/۱۷۷
	C-MUSLT	۱۳/۲۹۹	۳۰/۳۸۲	۹/۱۶۰	۱/۴۵۲		۰/۰۳۰*
	C-EUSLE	۲۹/۴۰۰	۴۲/۱۲۲	۱۲/۷۰۰	۲/۳۱۵		۰/۰۴۳*

*: سطح اعتماد ۹۵٪ **: سطح اعتماد ۹۹٪.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

با استفاده از جدول ۵ می‌توان استنباط کرد که مدل‌های C-TAM و C-MUSLE-S با مقادیر رسوب مشاهده‌ای اختلاف معنی‌داری ندارند و از بین مدل‌های واسنجی شده برای تخمین رسوب در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شوند.

تحلیل نتایج به‌دست آمده از کاربرد مدل‌های EUSLE، USLE-M، AOF، MUSLE-E، MUSLE-S، MUSLT و TAM نشان می‌دهد که عملکرد مدل‌های مذکور مشابه با سایر نقاط جهان از تغییرپذیری زیادی برخوردار می‌باشد. این موضوع شاید به دلیل تهیه و استفاده اغلب مدل‌های ذکر شده در کرت استاندارد و عدم استفاده از آنها در سطح حوزه آبخیز باشد. نتایج بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که از میان نسخ مختلف رابطه جهانی هدررفت خاک مدل‌های EUSLE، USLE-M، AOF و MUSLE-E برای تخمین فرسایش سالانه یا رگبار و مدل‌های TAM، MUSLE-S و MUSLT برای تخمین رسوب رگبار به‌کار می‌روند. برای مقایسه مدل‌های فرسایش به‌همراه مدل‌های رسوب با رسوب مشاهده‌ای مقایسه از مقادیر SDR هر رگبار (۱) استفاده شد. استفاده از ۸ رگبار انتخابی برای اجرای مدل‌های مذکور منجر به تخمین‌های متفاوت و طبعاً تایید عدم کارآیی برخی از مدل‌های مورد استفاده شد. نتایج به‌دست آمده طی تحقیق نشان داد که اگرچه مدل‌های MUSLE-S، MUSLT و TAM رسوب ناشی از رگبارها را زیاد تخمین زده‌اند, ولی ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی رسوب در همه آنها بالاتر از ۸۲٪ بوده که با نتایج صادقی و همکاران (۲۱) مبنی بر تخمین بسیار زیاد مدل‌های مذکور و ارتباط معنی‌دار آنها با مقادیر مشاهده‌ای در حوزه آبخیز امامه همخوانی داشته و مؤید تطابق بالای روند تغییرات رسوب تخمینی با مشاهده‌ای می‌باشد. نتایج استفاده از مدل‌های موجود نشان داد که استفاده از نسخ اصلی آنها نمی‌توانند تخمین درستی از مقادیر رسوب حوزه مورد مطالعه ارائه دهند و با شرایط منطقه سازگار نمی‌باشند. همچنین نتایج آزمون t جفتی تنها دلالت بر غیرمعنی‌دار بودن اختلاف تخمین‌های مدل‌های TAM و MUSLE-E داشته و لذا پتانسیل استفاده از آنها در شکل اصلاح شده را مهیا می‌سازد. ولی از آنجایی که سطح همبستگی مدل‌های MUSLE-S، MUSLT و EUSLE نیز پس از TAM و ضریب همبستگی منفی و غیرمعنی‌دار MUSLE-E بسیار بالا می‌باشد لذا تلاش‌های به‌عمل آمده در راستای واسنجی مدل‌های مذکور (جدول ۴) منجربه دستیابی به مدل‌های مناسب منطقه‌ای با خطای تخمین و تایید به‌ترتیب کمتر از ۴۹/۳۶ و ۳۸/۵۹٪ شده است. یافته‌های مذکور با نتایج خواجه‌ای و همکاران (۲)، رضایی‌فرد و همکاران (۱۰) و صادقی و همکاران (۲۰) مبنی بر ضرورت تغییر ضریب و توان مدل MUSLE مطابقت دارد. در مدل‌های TAM، MUSLE-E، MUSLT و EUSLE ضرایب به ۱۷/۷، ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۰۰۰۱۷ و ۵۷۰ و توان‌ها نیز به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۷۳، ۱/۴۲ و ۰/۱ تغییر یافت. نتایج به دست آمده در جدول ۵ دلالت

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

بـر ارتقـای کیفـی مـدل‌هـای C-TAM و C-MUSLE-S داشـته کـه زمینـه‌سـاز غیرمعنی‌دار شدن اختلاف تخمین‌های ناشی از آنها با مقـادیر مـشاهده‌ای شـده اسـت. انجـام آزمـون t جفتـی بـرای تخمـین‌هـای منـتج از استفاده مدل‌های واسنجی شده (جدول ۵) نیز دلالت بر توانایی مدل‌های جدید به‌دست آمـده در منطقه داشته که خود بـر ضـرورت تاییـد و واسنجی مدل‌های موجود و ارتقای کیفی آنهـا طـی واسـنجی تاکیـد دارد کـه بـا یافتـه‌هـای صادقی (۱۲) نیـز همخـوان اسـت. یافتـه‌هـای فعلی همچنین با نتایج به دسـت آمـده توسـط صادقی و همکاران (۲۰)، ویلیامز و برنت (۲۶)، موهـان‌سـیا و همکـاران (۹) و کینـل (۵) در رابطه با توانـایی مـدل MUSLE-S در بـرآورد رسوب رگبار در نقاط مختلف جهـان مطابقـت دارد.

تحقیـق حاضـر بـه‌منظـور ارزیـابی امکـان واسنجی نسخ مختلف رابطه جهـانی فرسـایش خاک در حوزه آبخیز چهـل‌گـزی سـد قـشلاق استان کردستان انجام شد. از نتـایج بـه دسـت آمـده در خـصوص مقایـسه، کـاربرد و توانـایی روش‌های مختلـف تخمـین فرسـایش خـاک و تولیـد رسـوب در مـدل‌هـای EUSLE، USLE-M، AOF، MUSLE-E، MUSLE-S، MUSLT و TAM می‌توان جمـع‌بنـدی نمـود که روش‌های یاد شده به رغم همبستگی بالا با یکـدیگر دارای اخـتلاف معنـی‌دار بـا مقـادیر مشاهده‌ای رسوب در حوزه آبخیـز چهـل‌گـزی سد قـشلاق بـوده و در ایـن میـان تنهـا مـدل TAM و MUSLE-S همبـستگی بـالایی بـا رسوب مشاهده‌ای از خـود نـشان داده و طبعـاً قادر به برآورد خوب از مقادیر رسـوب تولیـدی طی رگبارها در حوزه مذکور خواهد بود. وجـود اختلاف معنی‌دار بین نتـایج بـه‌دسـت آمـده از روش‌های گوناگون دلالـت بـر ضـرورت انجـام واسـنجی‌هـای لازم در هنگـام اسـتفاده از روشهای موجود و یا تهیه مدل‌هـای منطقـه‌ای تخمین فرسایش خاک و یا تولید رسـوب دارد. همچنین انجام تحقیقات گسترده‌تـر بـا تعـداد بیشتر رگبارها و در مقیاس‌های مکانی مختلـف و جمع‌آوری کلیه داده‌های مورد نیاز با استفاده از وسایل دقیق اندازه‌گیـری پیـشنهاد و تاکیـد می‌شود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

منابع

1. Gholami, L. 2007. Study on Storm-Wise Sediment Delivery Ratio Methods in Chehelgazi Watershed of Gheshlagh Dam, Master of Science Seminar, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, 52 p. (In Persian)
2. Khajehi, A., A. Broushkeh, R. Sokouti and M. Arab Khedri. 2001. Study on Applicability of MUSLE Model for Estimation of Sediment in Storm and Annual Bases in Shahrchai Watershed. *In:* National Conference of Land Management, Soil Erosion and Sustainable Development, Arak, January 22-24, 2002: 436-446. (In Persian)
3. 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.
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. 8 pp.
5. Kinnell, P.I.A. 2005. Why the universal soil loss equation and the revised version of it do not predict event erosion well?, Hydrological Processes. 19, 851-854.
6. Kinnell, P.I.A. and L.M. Risse. 1998. USLE-M: Empirical modeling rainfall erosion though runoff and sediment concentration, Soil Science Society American Journal, 62, 1667-1672.
7. Laflen, J.M. and W.C. Moldenhauer. 2003. The USLE story, Special Publication, WASWC, 54 p.
8. Management of Natural Resources and Watershed Management Office in Kurdistan Province. 1993. Watershed Management Detailed-Executive Studies of Parcel A of Gheshlagh Dam Watershed, 261 p. (In Persian)
9. Moehansyah, H., B.L. Maheshwari and J. Armstrong. 2004. Field evaluation of selected soil erosion models for catchment management in Indonesia, Biosystems Engineering, 88(4): 491-506.
10. Rezaii Fard, M., A. Telvari and M. Arab Khedri. 2001. Study on Applicability of MUSLE Model for Estimation of Storm-Wise Sediment in Afcheh Subwatershed in Letian Basin. National Conference of Land Management, Soil Erosion and Sustainable Development, Arak, January 22-24, 2002: 534-542. (In Persian)
11. Sadeghi, S.H.R. 2004. Application of MUSLE in prediction of sediment yield in Iranian conditions. *In:* 13th International Soil Conservation Conference-Brisbane, July 2004, Paper No. 998, 5 p.
12. Sadeghi, S.H.R. 2005. Comparison of Some Rainfall Erosivity Estimation Methods. Journal of Agricultural Sciences and Industries, Vol, 19(1): 45-52. (In Persian)
13. Sadeghi, S.H.R., S. Aghabeigi Amin, M. Vafakhah, B. Yasrebi and A. Esmaeili Sari. 2006. Suitable Drying Time for Suspended Sediment Samples, Iran, International Sediment Initiative Conference, Nov.12-16. 2006. Khartoum, Sudan: 71.
14. Sadeghi, S.H.R. and M. Behzadfar. 2004. Spatial Variability of Rainfall Erosivity in Mazandaran Province, Journal of Agriculture and Natural Resources Sciences, 2(1): 36-49. (In Persian)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

15. 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. 2004. 1280-1285.
16. Sadeghi, S.H.R. and M. Mahdavi. 2004. Applicability of SEDIMOT II model in flood and sediment yield estimation. Journal of Agricultural Sciences and Technology, 6: 147-154.
17. Sadeghi, S.H.R., T. Mizuyama and B. Ghaderivangah. 2007a. Conformity of MUSLE estimates and erosion plot data for storm-wise sediment yield estimation. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 18(1): 117-128.
18. Sadeghi, S.H.R., T. Mizuyama, S. Miyata, T. Gomi, K. Kosugi, S. Mizugaki and Y. Onda. 2007b. Is MUSLE apt to small steeply reforested watershed? Journal of Forest Research, 12: 270-277.
19. Sadeghi, S.H.R., H.R. Pourghasemi, M. Mohammadi and H. Agharazi. 2007. Comparison the Accuracy of Some Methods of Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield in Rangelands. Journal of Rangeland, 1(1): 91-102. (In Persian)
20. Sadeghi, S.H.R., J.K. Singh and G. Das. 2004. Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction, Iran. International Agriculture Engineering Journal. 13 (1 and 2), 1-14.
21. Sadeghi, S.H.R., J.K. Singh and G. Das. 2003. Storm-wise sediment yield prediction using applicable models in Iran. Journal of Agriculture Sciences and Natural Resources of Kazar. 1(3), 83-94.
22. Sadeghi, S.H.R., J.K. Singh and G. Das. 2004. Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction, Iran. International Agriculture Engineering Journal, 13 (1 and 2): 1-14.
23. Sadeghi, S.H.R. and B. Tofighi. 2003. Application of Time-Area Method to Develope Sediment Rating Curve (Khanmirza Watershed), Agricultural Sciences and Natural Resources Journal, Vol 1(1): 54-66. (In Persian)
24. Shahoii, S.S., P. Abdulmaleki, N. Najmeddini, S.S. Shahoii and N. Toomarian. 1992. The Storm-Wise Relationship between Erosion and Effective Factors, *In:* 3th National Congress of Soil Sciences, September 6-8, 1992, 41-56. (In Persian)
25. Tofighi, B. 2002. Development of Temperal Variation Model of the Sediment in Zarrin Derakht Watershed, Master of Science Thesis, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, 91 p. (In Persian)
26. Williams, J.R. and H.D. Berndt. 1977. Sediment yiled prediction based on watershed hydrology. Transaction of the ASAE. 20(6), 1100-1104.
27. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland, East of the Rocky Mountains, Agriculture Handbook 282, USDA-ARS.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

Calibration of USLE Different Versions in Chehelgazi Watershed in Kurdistan

A.V. Khaledi Darvishan[1], S.H.R. Sadeghi[2], L. Gholami[3] and A.R. Telvari[4]

Abstract

The application of suitable empirical models for estimation of soil erosion and sediment yield is essential owing to nonexistence or lack of associated data in many watersheds. In the present study, the calibration of different versions of universal soill loss equation Viz. EUSLE, USLE-M, AOF, MUSLE, MUSLT and TAM was considered in estimation of storm-wise sediment yield in Chehelgazi of Gheshlagh Dam Watershed in Kurdistan province. To conduct the study, the entire input data were collected for the Chehelgazi watershed in sanandaj Township. The models' estimates were then compared with observed sediment data for 11 storm events. In contrary to high correlation coffeicenty among different models' estimates, the inappliability of the study models except calibrated TAM and MUSLE-S was proved in estimation of measured sediment data with the help of correlation matrix and t-test analyses.

Keywords: Soil Erosion Models Calibration, Storm-Wise Sediment Yield, Gheshlagh Dam, Chehelgazi Watershed, Kurdistan Province

1- Ph.D. Student College of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, Noor
2- Associate Professor, College of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, Noor
3- M.Sc Students, College of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, Noor
4- Research Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Manegment Research Institute, Tehran

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]