

کاربرد متغیرهای باران و رواناب در تخمین رسوب ناشی از رگبارها در کرت های آزمایشی با کاربری های مختلف

حمیدرضا صادقی* - حمیدرضا پورقاسمی - معید محمدی - حشمت... آقارضا^۱

تاریخ دریافت: ۸۶/۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۸۶/۹/۲۱

چکیده

در حال حاضر ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب به عنوان یکی از بحث های مهم در مدیریت حوزه های آبخیز مطرح و به عنوان یکی از نگرانی های مهم اغلب کشورهای در حال توسعه محسوب می شود. پیچیدگی فرآیندها و اشکال مختلف فرسایش، پراکنش مکانی و زمانی آن و همچنین نبود و یا کمبود آمار و اطلاعات در اغلب حوزه های آبخیز، استفاده از مدل های تجربی مبتنی بر متغیرهای سهل الوصول در تخمین فرسایش و رسوب را ضروری می نماید. در این تحقیق کارآیی متغیرهای باران و رواناب در برآورد میزان رسوب رگبارها در کرت های آزمایشی استاندارد ایجاد شده در کاربری های مختلف اراضی در حوزه آبخیز خسیبجان در استان مرکزی با استفاده از رگرسیون دو و چند متغیره و با تغییر شکل مختلف داده های باران، رواناب و رسوب ارزیابی و مدل های بهینه با کمک معیارهای ضریب تبیین تعدیل شده، خطای نسبی تخمین و تایید تهیه شد. نتایج تحقیق بر ارتباط معنی دار ($p < 0.01$) جذر ضریب رواناب با تولید رسوب و جذر تولید رسوب ناشی از رگبارها در به ترتیب در کاربری دیم و آیش با ضرایب تبیین تعدیل شده ۷۵/۷ و ۴۳/۹ و خطای تخمین ۱/۸۴ و ۴۸/۰۲ درصد دلالت داشته، حال آنکه ارتباط معنی دار ($p < 0.01$) معکوس مقادیر شدت سی دقیقه و تولید رسوب در کاربری مرتع با ضریب تبیین تعدیل شده ۵۳/۹ و خطای تخمین ۵۶/۱۵ درصد از کارآیی نسبی بالاتری برخوردار بوده است. از این رو نتایج به دست آمده از این تحقیق بر اختلاف عملکرد متغیرهای بارش و رواناب در تبیین رسوب ناشی از رگبارها در کاربری های مختلف دلالت داشته است. نتایج به دست آمده همچنین بر ضرورت مطالعات و ارزیابی دقیق مدل های تولید رسوب رگبارها در کاربری های مختلف تأکید دارد.

واژه های کلیدی: تولید رسوب، مدل های رگرسیونی، کرت های فرسایش، حوزه آبخیز خسیبجان، استان مرکزی

مقدمه

در حال حاضر نیاز به حفاظت خاک به عنوان یکی از مباحث توسعه در سرتاسر جهان مطرح می باشد، در حالیکه توجه کافی به مشکلات عمده ناشی از فرسایش خاک و به طور مشخص هدررفت آب و خاک به وسیله رواناب های مازاد مدنظر قرار نمی گیرد (۲۴). تحقیقات و بررسی های گسترده ای در زمینه علت و برآورد فرسایش خاک در حوزه های آبخیز از سالها پیش آغاز گردید. اولین رابطه توسط زینگ و بر اساس درجه و طول شیب پیشنهاد و سپس ماسگریو عامل آب و هوا و اسمیت عامل پوشش گیاهی را در رابطه دخالت دادند (۳) که نهایتاً منجر به ارائه رابطه جهانی فرسایش خاک^۱ USLE گردید (۲۸ و ۲۹). در حال حاضر این

رابطه به طور گسترده در سرتاسر جهان برای تخمین سالانه فرسایش خاک استفاده می شود (۱۵). بعدها مورگان، مورگان-فینی مدلی را پیشنهاد کردند که عوامل متعددی (درصد رطوبت خاک، دانسیته، عمق ریشه، شاخص قابلیت جدا شدن خاک، نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل و ضریب پوشش گیاهی) را شامل می شد که اندازه گیری فرسایش را به دو مرحله آب و رسوب تقسیم کرد (۲). استلیک برای پیشبینی میزان سالانه فرسایش خاک در چک و اسلواکی از ضرایب مرتبط با وضعیت اقلیمی، بافت خاک و نفوذپذیری، قابلیت فرسایش خاک، شیب و پوشش گیاهی استفاده نمود (۲). در سال ۱۹۵۲ برای بررسی شدت فرسایش خاک در کشور یوگسلاوی سابق از مدل

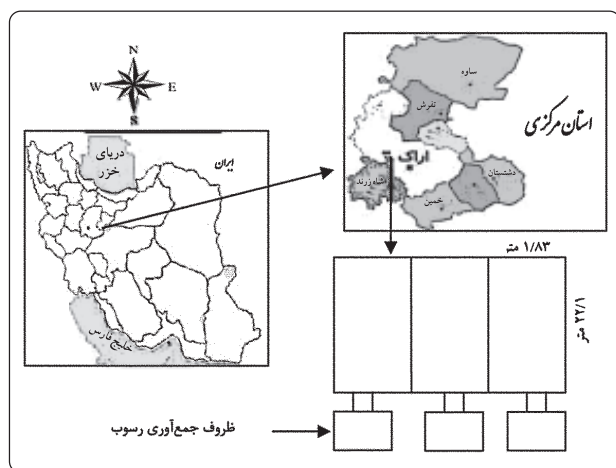
۱- به ترتیب دانشیار، دانشجویان کارشناسی ارشد مهندس آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشکده تربیت مدرس نور و عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، اراک
* نویسنده مسئول Email: sadeghi@modares.ac.ir

1) Universal Soil Loss Equation

مرتبط با فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه های آبخیز کشور فراهم گردد.

مواد و روش ها

تحقیق حاضر در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسیبجان در ۶۰ کیلومتری شهرستان اراک در طول شرقی ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۴ دقیقه و عرض شمالی ۳۴ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۰ دقیقه اجرا گردید (شکل ۱). ارتفاع محل تحقیق از سطح دریا ۱۸۵۰ متر، بارندگی سالانه ۳۲۱ میلیمتر، متوسط درجه حرارت ۱۳/۲ درجه سانتیگراد، تبخیر و تعرق پتانسیل ۱۵۸۸ میلیمتر و آب و هوای منطقه طبق روش آمبرژه خشک و سرد می باشد (۱).



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و شمای کلی کرت های آزمایشی

به منظور سنجش میزان فرسایش و هدررفت خاک، زمینی با شیب ۹ درصد در دامنه شمالی منطقه مورد بررسی انتخاب گردید. سپس کرت های استاندارد با ابعاد ۲۲/۱ در ۱/۸ متر (۱۰ احداث و اطراف آنها با ورق های گالوانیزه محصور شد. ارتفاع ورقه ها ۳۰ سانتیمتر بوده و ۱۵ سانتیمتر آن در زمین فرو شد. کرت ها در اراضی دیم منطقه ایجاد شد که خاک آن در جهت شیب شخم زده شده و بذرپاشی در آنها بدون انجام هر گونه کودپاشی و اقدام خاک ورزی صورت گرفته بود. تیپ گیاهی غالب منطقه مرتعی مورد بررسی و طبعاً محل استقرار کرت های مربوطه *Astragalus-Hultemia*

E.P.M^۱ استفاده شد که ۴ عامل وضعیت توپوگرافی، سنگ شناسی، خاک و نحوه استفاده از اراضی و عوامل اقلیمی را مدنظر قرار داد (۲۵). سپس در سال ۱۹۶۸ مدل P.S.I.A.C^۲ با ۹ عامل (سنگ شناسی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش سطح زمین، استفاده از زمین، وضعیت فعلی فرسایش در حوزه آبخیز و فرسایش رودخانه ای) جهت محاسبه و برآورد فرسایش مورد استفاده قرار گرفت (۱۳، ۲۵ و ۲۶). همچنین نسخ متعددی برای رابطه جهانی فرسایش خاک ارائه شده و کاربرد آنها در نقاط مختلف جهان مورد ارزیابی قرار گرفته است (۲۲). ویلیامز و برنت در امریکا نشان دادند که رابطه USLE تنها قادر است ۴۷ درصد از تغییرات در میزان تولید رسوب در رگبارها را ارزیابی نماید (۲۷). شاهی و همکاران نیز در حوزه آبخیز قشلاق از رابطه جهانی فرسایش خاک برای تخمین میزان رسوب در هر رگبار استفاده و عدم توانایی آن در تبیین متغیر مورد بررسی مورد تایید قرار گرفت (۴). همچنین عدم توانایی USLE در تخمین مقدار رسوب انتقالی طی رگبارها توسط کینل و رییس در حوزه آبخیز راکی کریک^۳ در استرالیا (۱۶) و صادقی و همکاران در حوزه آبخیز امامه در ایران (۲۲) تایید شده است. اگرچه روش های مختلفی برای تخمین فرسایش خاک و یا تولید رسوب ارائه شده اند لکن اغلب آنها بر مدل جهانی فرسایش خاک استوار بوده و تفاوت عمده آنها در نحوه محاسبه و یا روش برآورد عامل فرسایش باران و رواناب می باشد (۲۲). روابط متعددی برای تخمین مقدار عامل فرسایش باران تهیه و معرفی گردیده اند که نیاز به داده های ورودی متفاوت داشته و به همین دلیل دامنه استفاده و همچنین دقت آنها بسیار متغیر می باشد (۱۹ و ۲۲). همچنین تخمین میزان تولید رسوب طی یک رگبار به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل 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 پائین را به دنبال داشته است. از این رو در تحقیق حاضر سعی شد تا مدل سازی رسوب ناشی از رگبار با تکیه بر استفاده از دستیابی به متغیرهای سهل الوصول باران و رواناب صورت گیرد تا به این ترتیب زمینه های رفع مشکلات ناشی از کمبود آمار و اطلاعات

1) Erosion Potential Method
3) Rocky Creek

2) Pacific South Inter Agency Committee

در دوره مطالعه، به ترتیب ۹ و ۳ رگبار برای واسنجی و تایید مدل‌های به دست آمده استفاده شد. تهیه مدل‌های رگرسیونی در واقع از بررسی ارتباط مستقیم متغیرها با یکدیگر و یا اشکال تغییر یافته^۳ آنها صورت پذیرفت. در رگرسیون دو متغیره از مدل‌های خطی، لگاریتمی، معکوس و نمایی استفاده شد. همچنین به منظور انتخاب مدل مناسب و مؤثرترین متغیرهای مستقل مرتبط، از رگرسیون خطی چند متغیره به روش پسر^۴ به دلیل عملکرد و کارایی بیشتر (۵ و ۶) در اشکال مختلف ساده و تغییر شکل یافته داده‌ها استفاده گردید. از آنجایی که شرط لازم برای اعتبار یک مدل تطابق نتایج بدست آمده با نتایج واقعی می‌باشد، به منظور انتخاب بهترین مدل برای هر متغیر وابسته، ابتدا مدل‌های با ضریب تبیین تعدیل شده معنی دار و بالاتر (۹) انتخاب شدند، سپس خطای نسبی تخمین و تأیید برای کلیه روابط انتخابی محاسبه گردید. ارزیابی خطای نسبی (RE) تخمین و تأیید به ترتیب با استفاده از داده‌های مورد استفاده در مدل سازی و داده‌های به کار گرفته نشده در آن طبق رابطه (۱) محاسبه شد (۱۱). برای انتخاب مدل‌ها با استفاده از این معیار، روابط با خطای نسبی تخمین کمتر از ۴۰ درصد و با خطای نسبی تأیید کمتر استفاده گردید (۱۱).

$$RE = \left| \frac{Y_o - Y_e}{Y_o} \right| * 100 \quad (1)$$

که در آن RE خطای نسبی تخمین و تأیید (%)، Y_o مقدار مشاهد‌های متغیر، Y_e میانگین مقادیر مشاهده‌ای متغیر، Y_e مقدار تخمینی متغیر و n تعداد مشاهدات می‌باشد.

نتایج و بحث

برای ارزیابی توانمندی متغیرهای بارش و رواناب در تبیین رسوب تولیدی ناشی از رگبارها، کلیه اطلاعات مربوط به خصوصیات بارش، رواناب و رسوب مربوط به دوازده رگبار با مشخصات مندرج در جدول ۱ به شرح روش کار ارائه شده استخراج و مورد استفاده قرار گرفتند. پس از انجام مراحل که به آنها اشاره شد، کلیه متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژی اندازه‌گیری و محاسبه شده برای مدل سازی رسوب ناشی از رگبار در کرت‌های

بوده که در حدود ۵۰ درصد از سطح ایستگاه و عمدتاً اراضی دشتی و دامنه‌های را می‌پوشاند. اراضی این تپ دارای شیب خیلی کم تا ملایم و پوشش موجود نمایانگر تخریب شدید خاک سطحی است. پوشش متوسط این تپ حدود ۴۶ درصد بوده و ترکیب گیاهان موجود به ترتیب گون، ورك، فرسیون، *Platyloba* و جارو با دامنه پراکنش ۱۴ تا ۳۱ درصد بود (۷). کرت‌های تحت تیمار آیش نیز در بخش مرتعی و با ایجاد شخم در جهت شیب ایجاد شده بود. در انتهای هر کرت لوله خروجی رواناب تعبیه که به ظروف مدرج جمع‌آوری کننده رواناب و رسوب هدایت می‌شد. هر تیمار در سه تکرار و در قالب سه کرت آزمایشی ایجاد شده و مقادیر میانگین مستخرج از آنها برای آنالیزهای بعدی مورد استفاده قرار گرفت. شمای عمومی کرت‌های مورد بررسی در شکل ۱ ارائه گردیده است. در مرحله بعد نمونه‌های جمع‌آوری شده در طول هر رگبار پس از عبور از کاغذ صافی در داخل آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت یک روز خشک و سپس وزن رسوب با ترازوی دقیق تعیین گردید. آمار بارندگی تمامی رگبارها طی پاییز ۱۳۷۴ تا شهریور ۱۳۷۸ به کمک نزدیکترین ایستگاه کلیماتولوژی منطقه و مجهز به باران‌نگار جمع‌آوری شد (۱). برای مدل سازی تولید رسوب با استفاده از مؤلفه‌های بارش و رواناب از کلیه رگبارهای به وقوع پیوسته با اندازه‌گیری همزمان بارش، رواناب و رسوب (۱) در دوره مذکور و جمعاً به تعداد دوازده رگبار استفاده شد. کلیه اطلاعات مربوط به خصوصیات بارش (مقدار بارش، مدت بارش و حداکثر شدت نیم ساعته) با استفاده از تحلیل کاغذهای باران‌نگار استخراج شدند. خصوصیات هیدرولوژیکی رواناب شامل حجم، دبی اوج و ضریب رواناب بهترتیب با استفاده از مقادیر رواناب جمع‌آوری شده، هیدروگراف مثلثی بدون بعد (۸) و تقسیم حجم رواناب حاصله در انتهای کرت بر حجم بارش ثبت شده در باران‌نگار تعیین شد.

روش کار در این مطالعه شامل دو مرحله جمع‌آوری داده‌ها و دسته‌بندی و آنالیز آماری داده‌ها بوده است. به منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری و بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از رگرسیون دو متغیره^۱ و چند متغیره^۲ از نرم افزار SPSS 11.5 استفاده گردید. در این مرحله از مجموعه رگبارهای به وقوع پیوسته

1) Bivariate Regression

3) Transformed data

2) Multivariate Regression

4) Backward

در سطح ۱ درصد معنی دار بوده اگرچه خطای تأیید آنها بسیار زیاد برآورد شده و لذا هیچ یک از مدل ها توانایی تبیین تولید رسوب با استفاده از رگرسیون چند متغیره برای کاربری آیش را ندارد. ارزیابی کلی مدلهای با استفاده از ضریب تبیین تعدیل شده، سطح معنی داری، خطای تخمین و همچنین خطای تأیید در مجموع نشان می دهد که مدل های رگرسیونی ساده یا دو متغیره در اشکال مختلف

استاندارد استخراج و با ترکیب های مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. برای این منظور داده های مربوط به رگبارهای مورخ ۱۳۷۵/۲/۲۶، ۱۳۷۵/۱۰/۳، ۱۳۷۶/۲/۱۵ به صورت تصادفی انتخاب و برای مرحله تأیید کنار گذاشته شدند. با توجه به داده های موجود برای متغیرهای مستقل و وابسته، مناسبترین روابط دو و چند متغیره استخراج و در جداول ۲ و ۳ ارائه گردید.

جدول (۱) مشخصات رگبارهای انتخابی در مدل سازی رسوب رگبار در کرت های آزمایشی مستقر در ایستگاه خسیجان، اراک

تاریخ وقوع رگبار (روز)	مقدار بارش (mm)	مدت بارش (h)	حد اکثر شدت نیم ساعته (mm.h ⁻¹)	ضریب رواناب		حجم رواناب (Liter)		دبی اوج (Liter.s ⁻¹)		رسوب مشاهده ای (kg)	نوع کاربری	
				نوع کاربری	نوع کاربری	نوع کاربری	نوع کاربری	نوع کاربری	نوع کاربری			
۱	۷۴/۱۲/۲۸	۱۱/۳	۴/۵۲	۰/۲۳۳	۰/۲۰۲	۰/۸۶۲	۸/۱۶۵	۰/۱۲۴	۰/۰۹۵	۳۴/۰	۱/۴	۴/۳
۲	۷۵/۱/۱۷	۱۴/۵	۳/۳	۰/۱۲۳	۰/۱۲۰	۰/۱۳۷	۷/۵۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۸۵	۶/۰	۱/۰	۱/۲
۳	۷۵/۱/۲۸	۱۰/۸	۱/۶	۰/۰۴۸	۰/۰۳۰	۰/۱۰۷	۲۲/۸۱۵	۰/۰۹۳	۰/۰۲۷	۵/۴۲۳	۶/۰	۱۵/۰
۴	۷۵/۲/۶	۱۱/۷	۶/۲	۰/۱۷۳	۰/۰۳۸	۰/۰۸۱	۳۸/۵۱۴	۰/۲۱۳	۰/۰۷۱	۸/۱۴	۸/۰	۱۱/۰
۵	۷۵/۲/۳۱	۵/۰	۱/۱	۰/۰۵۲	۰/۰۸۹	۰/۰۲۳	۱۱/۴۳۳	۰/۲۱۸	۰/۱۲۶	۱۸۳/۰	۳۳۹/۰	۳۲۴/۰
۶	۷۵/۹/۴	۵/۰	۶/۰	۰/۱۳۳	۰/۰۲۶۳	۰/۰۲۶	۳/۲۶۳	۰/۰۶۶	۰/۰۳۸	۲/۲	۱/۴	۱/۰
۷	۷۵/۱۰/۳	۱۵/۰	۱/۹	۰/۰۴۸	۰/۰۱۱۷	۰/۱۳۷	۹/۸۹۲	۰/۰۸۷	۰/۰۱۸	۷/۰	۰/۹	۳/۷
۸	۷۶/۱/۱۶	۱۶/۰	۲/۸	۰/۰۲۱۷	۰/۰۲۴۰	۰/۰۲۷	۱۳/۷۷۱	۰/۱۸۱	۰/۱۶۸	۲/۰	۲/۰	۱/۷
۹	۷۶/۲/۸	۸/۲	۳/۲	۰/۱۵۷	۰/۰۱۴۰	۰/۰۲۳	۷/۹۹۵	۰/۰۵۶	۰/۰۶۷	۴/۰	۲/۰	۸/۰
۱۰	۷۶/۲/۱۵	۱۰/۸	۲/۳	۰/۱۵۰	۰/۰۰۹۶	۰/۰۲۸	۶/۱۸۶	۰/۰۵۳	۰/۰۷۸	۱/۴	۱/۰	۲/۲
۱۱	۷۶/۲/۲۷	۱۱/۴	۲/۳	۰/۰۶۶	۰/۰۰۷۳	۰/۰۳۴	۳/۲۰۱	۰/۰۳۸	۰/۰۴۱	۲/۰	۲/۰	۷/۲
۱۲	۷۷/۱/۱۶	۳۷/۷	۵۴	۰/۱۰۶	۰/۰۱۰۱	۰/۱۱۳	۱۷/۴۲۴	۰/۱۸۹	۰/۱۹۹	۱/۵	۲/۰	۲/۰

تغییر شکل در مقایسه با چند متغیره از کارایی بالاتری برخوردار هستند. مقایسه ترسیمی تخمین های حاصل از مدل های نهایی ۳، ۱۵ و ۱۷ به ترتیب مربوط به کاربری های دیم، مرتع و آیش با مقادیر مشاهده ای متناظر آنها، به همراه مقایسه خط های برازشی و بهینه در شکل ۲ نشان داده شده که همچنان مؤید توانمندی مدل های نهایی تهیه شده می باشد.

تبیین ارتباطات غیر خطی بین متغیرهای مطالعه شده با تولید رسوب با اظهارات سینگ (۲۳) مبنی بر غالب بودن ارتباط غیر خطی بین متغیرهای هیدرولوژی تطابق دارد. حال آنکه ضرورت بررسی مدلهای رگرسیونی چند متغیره در اشکال نهایی مدل های ارائه شده برآورد فرسایش و یا اسنجی مدل ها در مقایسه با دو متغیره با لحاظ مجموع بیشتری از عوامل ورودی (بارش)،

دقت در جدول ۲ نشان می دهد که روابط ۳ و ۱۷ بر ارتباط معنی دار ($p < 0.01$) جذر ضریب رواناب با تولید رسوب و جذر تولید رسوب ناشی از رگبارها به ترتیب در کاربری دیم و آیش با ضرایب تبیین تعدیل شده ۷۵/۷ و ۴۳/۹ و خطای تخمین ۱/۸۴ و ۴۸/۰۲ درصد دلالت داشته حال آنکه ارتباط معنی دار ($p < 0.01$) معکوس مقادیر شدت سی دقیقه و تولید رسوب در کاربری مرتع (رابطه ۱۵) با ضریب تبیین تعدیل شده ۵۳/۹ و خطای تخمین ۵۶/۱۵ درصد از کارایی نسبی بالاتری نسبت به سایر مدل ها برخوردار بوده است. همچنین دقت در جدول ۳ نشان می دهد که بر اساس روابط رگرسیونی چند متغیره تنها مدلهای ۲۵ و ۳۱ با ضرایب تبیین ۹۶/۲ و ۸۸/۵ درصد به ترتیب برای کاربری های دیم و مرتع و با خطای تخمین ۳۵/۳۳ و ۳۴/۸ درصد

جدول (۲) نتایج حاصل از رگرسیون دو متغیره در برآورد رسوب ناشی از رگبار در کاربری های دیم، مربع و آیش

رابطه کاربری	مدل	ضریب سطح		خطای نسبی (%)	
		تبیین	معنی داری	تخمین	تایید
۲	$y_e = -68.253 + 4250.002(C)$	0.894	0.000	1129.59±824.2	1425.19±1278.81
۳	$y_e = -191.664 + 1559.761 \sqrt{C}$	0.757	0.000	1.84±1.53	32.52±0.01
۴	$\sqrt{y_e} = -8.087 + 79.595 \sqrt{C}$	0.772	0.001	55.04±0.35	58.77±0.49
۵ دیم	$y_e = -68.253 + 12750.005 \sqrt[3]{C}$	0.894	0.001	7196.11±16498.92	497.29±4.51
۶	$\sqrt[3]{y_e} = -22.751 + 4250.002 \sqrt[3]{C}$	0.894	0.000	398.75±2.63	497.29±4.51
۷	$\log y_e = 4.165 + 2.021 \log(C)$	0.592	0.000	4217.81±12517.85	1099.26±13.91
۸	$\frac{1}{y_e} = -75.347 + 319.54 \frac{1}{I_{30}}$	0.51	0.018	99.53±0.02	34.4±0.57
۹	$y_e = -32.479 + 2467.19(C)$	0.395	0.041	628.5±595.4	33.38±54.59
۱۰	$\sqrt{y_e} = -4.443 + 51.947 \sqrt{C}$	0.365	0.050	582.97±2.99	73.35±0.92
۱۱	$\sqrt[3]{y_e} = -10.826 + 2467.19 \sqrt[3]{C}$	0.395	0.041	3021.48±4079.33	69.67±0.25
۱۲	$y_e = -32.479 + 7401.569 \sqrt[3]{Du}$	0.395	0.041	217.89±1.65	7084.58±8297.72
۱۳	$\log y_e = 3.052 + 1.417 \log(C)$	0.313	0.068	92427.86±163040.8	12172.25±190.23
۱۴	$\frac{1}{y_e} = -0.014 + 4.705 \frac{1}{I_{30}}$	0.519	0.017	3105.71±77.27	181.66±2.33
۱۵	$y_e = -42.88 + 176.351 \frac{1}{I_{30}}$	0.539	0.015	56.15±0.27	99.12±0.02
۱۶	$y_e = -36.633 + 1876.099(C)$	0.341	0.058	578.9±440.9	664.03±276.86
۱۷	$\sqrt{y_e} = -5.148 + 47.675 \sqrt{C}$	0.439	0.031	48.02±0.28	30.86±0.30
۱۸	$\sqrt[3]{y_e} = -12.211 + 1876.099 \sqrt[3]{C}$	0.341	0.058	195.46±1.44	199.12±0.50
۱۹	$\log y_e = 1.253 + 0.824 \log(D)$	0.441	0.031	1486.51±18.56	1809.7±11.34
۲۰ آیش	$\log y_e = 3.485 + 1.810 \log(C)$	0.572	0.011	1269.09±14.14	1479.2±14.45
۲۱	$\frac{1}{y_e} = 0.075 + 0.040 \frac{1}{D}$	0.483	0.023	39282.5±1098.21	4144.3±42.05
۲۲	$y_e = -77.607 + 317.464 \frac{1}{I_{30}}$	0.563	0.012	100.1±0.03	2.19±0.01
۲۳	$\frac{1}{y_e} = -0.014 + 4.705 \frac{1}{V}$	0.364	0.050	19763.98±507.82	3724.35±54.96

I_{30} حداکثر شدت نیم ساعته ($mm.h^{-1}$)، V حجم رواناب (Liter)، C ضریب رواناب، D دبی اوج ($Liter.s^{-1}$)، Du مدت بارندگی (h) و y_e مقدار تولید رسوب (kg)

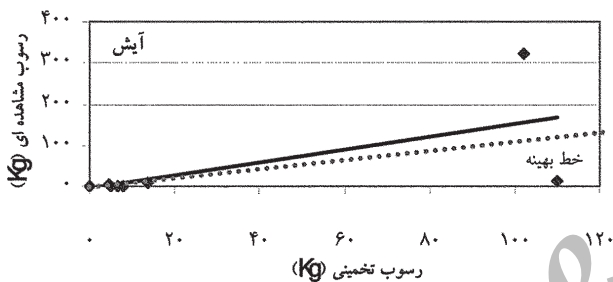
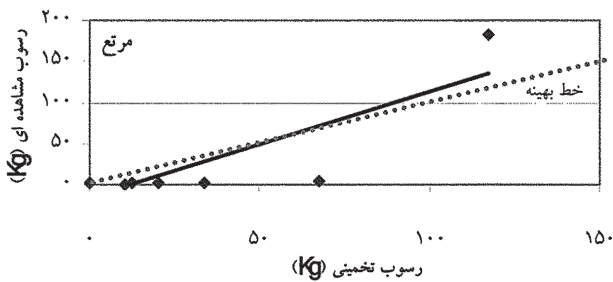
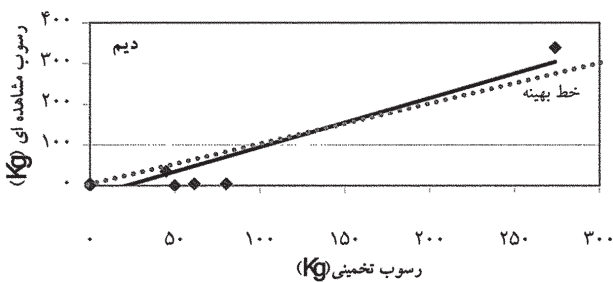
کمیته تحقیقات جنوب ناحیه پیسیفیک مکزیک نظر قرار گرفته است (به نقل از احمدی، هارگیون و همکاران، لوریرو و کوتینیو، رنارد، صادقی و همکاران، تنگستانی، ونت و پوزن) (۲، ۱۳، ۱۷،

سامانه آبخیز (پوشش گیاهی، خاک، مدیریت زراعی و اراضی و توپوگرافی) و همچنین خصوصیات رواناب خروجی حوزه توسط ماسگریو، مورگان و مورگان فینی، استیلک، گاوریلوویچ و

جدول (۳) نتایج حاصل از رگرسیون دو متغیره در برآورد رسوب ناشی از رگبار در کاربری های دیم، مرتع و آیش

تایید	خطای نسبی (%)	تخمین	سطح معمی داری	ضریب تبیین	مدل	کاربری	رابطه
7904.61±8767.55	7300.28±8847.36	0.006	0.962	$y_e = -175.495 - 3.931(I_{30}) - 18.023(V) + 8706.873(C)$	۲۴		
2701.52±29.23	35.33±42.57	0.006	0.962	$\sqrt{y_e} = -58.498 - 3.931\sqrt{I_{30}} - 18.023\sqrt{V} + 8706.873\sqrt{C}$	۲۵		
49.5±0.36	227.99±1.98	0.004	0.924	$y_e = -672.379 - 28.848\sqrt{I_{30}} - 228.917\sqrt{V} + 206.91\sqrt{Va} + 5195.771\sqrt{C}$	۲۶		
291.04±3.11	10598.62±24288.6	0.001	0.928	$y_e = -88.467 - 27.11\sqrt{V} + 14.238\sqrt{Va} + 18761.509\sqrt{C}$	۲۷	دیم	
1241.36±14.56	1558.36±17.24	0.034	0.567	$\log y_e = 4.628 + 1.797 \log(D) - 1.957 \log(Va)$	۲۸		
100.12±0.001	99.77±0.02	0.019	0.837	$y_e = -150.364 - 1035.781 \frac{1}{V} + 2748.602 \frac{1}{Va} - 247.888 \frac{1}{Du}$	۲۹		
4325.37±2807.83	8481.26±10463.55	0.001	0.998	$y_e = -168.579 - 2.888(I_{30}) - 12.859(V) - 22.683(D) + 7295.83(C)$	۳۰		
226.46±2.78	34.8±0.26	0.009	0.885	$\sqrt{y_e} = -19.767 - 10.225\sqrt{V} + 4.819\sqrt{Va} + 226.579\sqrt{C} + 1.857\sqrt{Du}$	۳۱		
7284.90±58.44	89.41±0.59	0.008	0.896	$y_e = -340.496 - 164.341\sqrt{V} + 83.638\sqrt{Va} + 3595.645\sqrt{Du} + 23.949\sqrt{C}$	۳۲		
2957.57±10.71	2710.63±25.5	0.036	0.951	$\sqrt[3]{y_e} = -48.392 - 2.760\sqrt[3]{I_{30}} - 20.36\sqrt[3]{V} + 120.428\sqrt[3]{D} + 9006.468\sqrt[3]{C}$	۳۳		
7684.92±50.11	4965.53±3122.02	0.008	0.952	$y_e = -153.613 - 7.722\sqrt[3]{I_{30}} + 350.318\sqrt[3]{D} - 61.876\sqrt[3]{V}$	۳۴	مرتع	
331.98±2.15	81960.35±2441.41	0.027	0.71	$\frac{1}{y_e} = 0.461 + 0.009 \frac{1}{D} - 3.617 \frac{1}{Va} + 0.996 \frac{1}{Du}$	۳۵		
100.1±0.003	95.29±0.21	0.005	0.915	$y_e = -8.659 - 1143.811 \frac{1}{V} + 3.512 \frac{1}{D} + 1824.026 \frac{1}{Va} + 1.686 \frac{1}{Du}$	۳۶		
3859.79±6654.83	1137.25±9.19	0.040	0.655	$\log y_e = 8.365 - 3.054 \log(V) + 3.606 \log(C) + 1.697 \log(Du)$	۳۷		
9061.32±3436.20	8119.72±7440.58	0.008	0.952	$y_e = -153.613 - 2.574(I_{30}) - 20.625(V) + 116.773(D) + 9270.954(C)$	۳۸		
23.97±15.94	2534.91±10463.04	0.001	0.998	$\sqrt[3]{y_e} = -56.193 - 2.888\sqrt[3]{I_{30}} - 12.859\sqrt[3]{V} - 22.863\sqrt[3]{D} + 7295.833\sqrt[3]{C}$	۳۹		
9787.07±110.38	7110.67±70.3	0.058	0.598	$\log y_e = 2.935 + 0.421 \log(D) - 2.783 \log(Va) + 1.939 \log(Du)$	۴۰	آیش	
1845.99±1179.17	1324.542±1027.06	0.056	0.489	$y_e = 375.3 - 501.654 \log(Va) + 240.471 \log(Du)$	۴۱		
73.03±0.18	100.13±0.003	0.008	0.894	$y_e = -365.281 + 413.149 \frac{1}{I_{30}} - 7.561 \frac{1}{D} + 1302.195 \frac{1}{Va} + 4.23 \frac{1}{C}$	۴۲		

I_{30} حداکثر شدت نیم ساعته (mm.h^{-1})، حجم رواناب (Liter)، C ضریب رواناب، D دبی اوج (Liter.s^{-1})، مدت بارندگی Va (h) مقدار بارندگی (kg)



شکل (۲) مقایسه مقادیر تخمینی رسوب رگبارها با استفاده از مدل های نهایی و مشاهده ای در کاربری های مختلف

و سایر پارامترهای مؤثر در فرسایش از قبیل خصوصیات خاک و مطالعات تکمیلی در زمینه فرسایش و تولید رسوب و همچنین واسنجی مدل‌های موجود و تهیه شده در سایر نقاط کشور پیشنهادهای این تحقیق می باشد.

سپاسگزاری

داده های استفاده شده در این مقاله از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی تهیه و در اختیار قرار گرفته است. بدینوسیله از زحمات و همکاریهای ارزنده آن مرکز قدردانی می گردد.

۲۰، ۲۲، ۲۵ و ۲۶). از طرفی نتایج حاصل از روابط رگرسیونی دو متغیره نشان می دهد که اکثر مدل‌های تأیید شده با ضریب رواناب رابطه داشته که با نتایج کینل و ریس (۱۶) و کینل (۱۵) همخوانی دارد. دلیل این امر را می توان در انعکاس برآیند عملکرد متغیرهای بارش و رواناب در قالب ضریب رواناب بر کنترل رسوب جستجو نمود که با یافته های ویلیامز و برنت (۲۷) و صادقی و همکاران (۲۲) در خصوص نقش کنترل کنندگی حجم و دبی اوج رواناب در کنترل رسوب خروجی از حوزه های آبخیز مطابقت دارد. از طرفی بخشی از ارتباط ضعیف موجود بین متغیرهای مورد بررسی و میزان فرسایش خاک در تحقیق حاضر را می توان به استفاده از داده های به دست آمده از کرتهاى آزمایشی در مدل سازی و عدم امکان شبیه سازی کامل کلیه فرآیندهای حاکم بر سامانه آبخیز نسبت داد که با نظرات مککرگر و همکاران (۱۸) و کیمهی (۱۴) در خصوص محدودیت کاربرد کرتهاى آزمایشی به انجام مطالعات مقایسه ای و ارزیابی کارایی مدل های برآورد فرسایش خاک همخوانی دارد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

تحقیق حاضر به منظور تعیین توانایی متغیرهای بارش و رواناب در تبیین رسوب ناشی از رگبارها در کرتهاى استاندارد فرسایشی با کاربری های مختلف در ایستگاه تحقیقات خسیبجان انجام شده است. نظر به نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر می توان جمع بندی نمود که متغیرهای مورد استفاده، علیرغم همبستگی بالا با یکدیگر، ضریب توافق آنها با مقادیر مشاهده ای رسوب به جز ضریب رواناب در کاربری های دیم و آیش و نیز شدت سی دقیقه ای و تولید رسوب در کاربری مرتع بسیار کم بوده است. از طرفی با توجه به روابط دو و چند متغیره حاصل در مدل سازی تنها شکل تغییر یافته مدل ها قادر به تبیین تغییرات مورد بررسی بوده و همچنین کارایی مدل های رگرسیونی دو متغیره با توجه به شاخصه ای آماری مورد نظر بیشتر از مدل های چند متغیره ارزیابی گردید. با توجه به نتایج به دست آمده و ضرورت دستیابی به جمع بندی های نهایی، انجام بررسیهای دقیق با تعداد بیشتر رگبار

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، ۴۷۳-۴۷۵.
۲. احمدی، ح.، ۱۳۷۸. ژئومرفولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، جلد ۱، ۶۸۷ ص.
۳. رفاهی، ح. ق.، ۱۳۷۹. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۵۵۱ ص.
۴. شاهویی، ص.، عبدالملکی، پ.، نجم الدینی، ن.، شاهویی، س. و طوماریان، ن.، ۱۳۷۱. رابطه میزان فرسایش با عوامل موثر آن در طول یک رگبارش. سومین کنگره علوم خاک، دانشکده کشاورزی کرج، ۱۵-۱۷ شهریور، ۴۱-۵۶.
۵. صادقی، س. ح. ر. و بهزادفر، م.، ۱۳۸۳. بررسی ارتباط بین پارامترهای بارندگی و عامل فرسایش آن در ایستگاه های هواشناسی استان مازندران و گلستان. نشریه علمی-پژوهشی آب و آبخیز، شماره ۱، ۲-۱۰.
۶. صادقی، س. ح. ر.، مرادی، ح. ر.، مزین، م. و وفاخواه، م.، ۱۳۸۴. کارآیی روشهای مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدل سازی بارش-رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسلیان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲ (۳)، ۸۱-۹۰.
۷. گندمکار، ع. ا.، ۱۳۷۵. گزارش طرح تحقیقاتی ایستگاه خسیجان. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، ۳۱-۳۶.
۸. علیزاده، ا.، ۱۳۸۰. هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا، ۵۷۰ ص.
۹. مهدوی، م.، ۱۳۷۷. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۳۴ ص.

10. Bennett, H. H. 2001. Soil Conservation. Agrobios, New Delhi, 993p.
11. Das, G., 2000. Hydrology and Soil Conservation Engineering. Prentice-Hall of India, 489p.
12. Green, I. R. A. and D. Stephenson, 1986. Criteria for Comparison of Single Event Models. Hydrological Science Journal, 31:395-411.
13. Haregeweyn, N., J. Poesen, J. Nyssen, G. Verstraeten, J. D. Vente, G. Govers, S. Deckers and J. Moeyersons, 2005. Specific Sediment Yield in Tigray-Northern Ethiopia: Assessment and Semi-Quantitative Modeling. Geomorphology, 69: 315-331.
14. Kimhi, A., 2006. Plot Size and Maize Productivity in Zambia. Journal of the International Association of Agricultural Economics, 35 (1):1-9.
15. 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, 24-19 May, 1999. Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
16. Kinnell, P. I. A. and L. M. Risse, 1998. USLE-M: Empirical Modeling Rainfall Erosion through Runoff and Sediment Concentration. Soil Science Society American Journal, 62:1667-1672.
17. Loureiro, N. S. and M. A. Coutinbo, 2001. A New Procedure to Estimate the RUSLE EI30 Index based on Monthly Rainfall Data and Applied to the Algarve Region. Journal of Hydrology, 250: 12-18.
18. McGregor, K. C., C. K. Mutchler, J. R. Johnson and D. E. Pogue, 1996. Cooperative Soil Con-

- ervation Studies at Holly Springs (1956-1996). Bulletin 1044, Mississippi State University, 32p.
19. 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.
 20. Morgan, R. P. C., 1974. Estimating Regional Variations in Soil Erosion Hazard in Peninsular Malaysia. *Malaysian Nature Journal*, 28: 94-106.
 21. Renard, K. G., 1974. Estimation of Rainfall Erosion Index. *Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE*, 101 (IR3):240-241.
 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&2):1-14.
 23. Singh, V. P., 1992. *Elementary Hydrology*. Eastern Economy Edition, New Delhi, India, 973p.
 24. Storey, P. J., 2002. *The Conservation and Improvement of Sloping Land*. Oxford Publishing Co. Pvt. Ltd., 323p.
 25. Tangestani, M. H., 2006. Comparison of EPM and PSIAC Models in GIS for Erosion and Sediment Yield Assessment in a Semi-Arid Environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27:585-597.
 26. Vente, J. D. and J. Poesen, 2005. Predicting Soil Erosion and Sediment Yield at the Basin Scale: Scale Issues and Semi-Quantitative Models. *Earth-Science Reviews*, 71:95-125.
 27. Williams, J. R. and H. D. Berndt, 1972. Sediment Yield Computed with Universal Equation. *Journal of Hydraulic Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers*, 98(HY12):2087-2098.
 28. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, 1965. Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland, East of the Rocky Mountains, *Agriculture Handbook 282, USDA-ARS*.
 29. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses Guide to Conservation Planning*. USDA, Agricultural Handbook No. 537, Washington. USA.

Applicability of Rainfall and Runoff Variables in Estimation of Storm-Wise Sediment Yield from Experimental Plots with Different Land Uses

H.R. Sadegi* – H.R. Pourghasemi – M. Mohammadi – H.A. Agharazi¹

Abstract

Presently, evaluation of soil erosion and sediment yield is one of the challenging issues in watershed management and it is considered to be a concerning issue in the developing countries. Using empirical models is inevitable due to complexity of processes, features, spatial and temporal variation of soil erosion and non-existence or lack of appropriate data. In the present study, the efficiency of rainfall and runoff variables in explanation of storm-wise sediment yield from standard erosion plots with different land uses was evaluated with the help of bivariate and multivariate regression models by using different transformed data. The models' efficacy was then assessed by coefficient of determination, and errors of estimation and verification. The results also proved the significant relationship ($p < 0.01$) between roots of runoff coefficient and sediment yield and root sediment yield in rainfed and fallow land uses with respective determination coefficient of 75.7 and 43.9%, and errors of estimation of 1.84 and 48.04%. While the significant relationship ($p < 0.01$) between inverse values of maximum 30 minutes intensity and sediment yield with determination coefficient of 53.9% and estimation error of 56.15% was preferably ascertained for application in rangeland plots. The results of the study verified different performances of rainfall and runoff variables in explanation of storm-wise sediment yield in different land uses. The results also emphasize on detailed studies and minute evaluation of storm-wise sediment yield models in different land uses.

Key words: Sediment yield, Regression models, Erosion plots, Khosbijan Watershed, Markazi Province, Iran

* corresponding author Email: sadeghi@modares.ac.ir

1- Contribution from Tarbiat Modares University, College of Natural Resources, Noor, Mazandran