

مدل سازی رسوب ناشی از رگبارها با استفاده از متغیرهای باران و رواناب

لیلا غلامی - حمیدرضا صادقی* - عبدالواحد خالدی درویشان - عبدالرسول تلوری^۱

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۸۷/۴/۵

چکیده

پیچیدگی فرآیند و اشکال مختلف فرسایش، پراکنش مکانی و زمانی آن و همچنین نبود و یا کمبود آمار و اطلاعات در اغلب حوزه‌های آبخیز، استفاده از مدل‌های تجربی مبتنی بر متغیرهای در دسترس را ضروری می‌نماید. در این تحقیق کارایی متغیرهای باران و رواناب در برآورد تولید رسوب رگبارها در حوزه آبخیز چهل‌گزی استان کردستان با استفاده از انواع رگرسیون دو و چند متغیره و با تغییر شکل مختلف داده‌های باران، رواناب و رسوب متعلق به یازده رگبار در طی دوره مطالعاتی آبان ۱۳۸۵ تا اردیبهشت ۱۳۸۶ ارزیابی و مدل‌های بهینه با استفاده از معیارهای ضریب تبیین و خطای نسبی تخمین و تأیید تفکیک و ارائه گردید. نتایج حاصل از این تحقیق در مجموع نشان داد که مدل‌های رگرسیونی دومتغیره در اشکال مختلف تغییر شکل یافته با ضریب تبیین بیش از ۶۶ درصد و خطای تخمین و تأیید به ترتیب کم‌تر از ۴۰ و ۳۰ درصد در مقایسه با چند متغیره از کارایی بالاتری برخوردار هستند. همچنین نتایج بر عملکرد بیش‌تر متغیرهای باران با سهم مشارکت مجموع حدود ۸۰ درصد نسبت به متغیرهای رواناب در تبیین رسوب ناشی از رگبارها در منطقه مورد بررسی دلالت دارد.

واژه‌های کلیدی: تولید رسوب، مدل‌های رگرسیونی، سد قشلاق، حوزه آبخیز چهل‌گزی، استان کردستان

مقدمه

درجه و طول شیب پیشنهاد و سپس ماسگریو عامل آب و هوا و اسمیت عامل پوشش گیاهی را دخالت داد (۳) و نهایتاً منجر به تهیه رابطه جهانی فرسایش خاک USLE^۲ (۲۱) شده که به‌طور گسترده در سرتاسر جهان برای تخمین سالانه فرسایش خاک استفاده می‌شود (۱۱). بعدها مورگان، مورگان-فینی مدلی را پیشنهاد کردند که عوامل متعددی (درصد رطوبت خاک، چگالی، عمق ریشه، شاخص قابلیت جدا شدن خاک، نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل و ضریب پوشش گیاهی) را شامل می‌شد که

در حال حاضر نیاز به حفاظت خاک به‌عنوان یکی از مبانی توسعه در سرتاسر جهان مطرح می‌باشد. در حالی که توجه کافی به مشکلات عمده ناشی از فرسایش خاک و به‌طور مشخص هدررفت آب و خاک به‌وسیله رواناب‌های مازاد مد نظر قرار نمی‌گیرد (۱۷). اولین رابطه برای تعیین علت و برآورد فرسایش خاک توسط زینگ و بر اساس

۱- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندس آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور و دانشیار پژوهش مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

E-mail: sadeghi@modares.ac.ir

نویسنده مسئول:

2- Universal Soil Loss Equation, USLE

این رو در تحقیق حاضر سعی بر آن است تا مدل سازی رسوب ناشی از رگبار با استفاده از متغیرهای در دسترس باران و روان آب صورت گرفته تا به این ترتیب زمینه های رفع مشکلات ناشی از کمبود آمار و اطلاعات مرتبط با فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه های آبخیز کشور مورد توجه بیش تر قرار گیرد.

مواد و روش ها

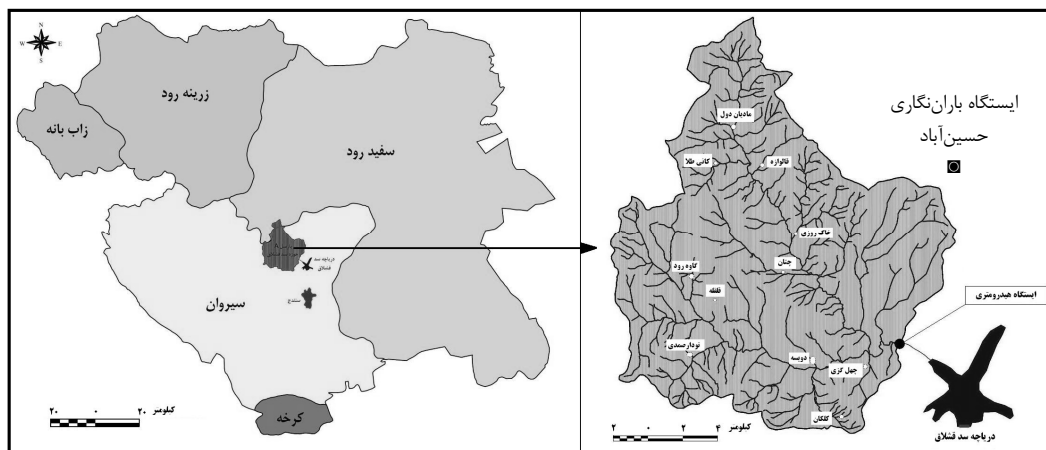
منطقه مورد مطالعه

به منظور مدل سازی رسوب ناشی از رگبارها با استفاده از متغیرهای باران و روان آب و همچنین بررسی توانایی آن ها در برآورد رسوب رگبارها، حوزه آبخیز چهل گزی سد قشلاق با مساحت ۲۷۲۳۳ هکتار واقع در استان کردستان حد واسط ۴۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی انتخاب گردید (شکل ۱). شیب متوسط ۱۷/۵۷ درصد و حداقل، حداکثر و متوسط ارتفاع حوزه مورد مطالعه به ترتیب ۱۵۵۰، ۲۸۵۰ و ۲۲۰۰ متر بالاتر از سطح آب های آزاد می باشد. متوسط بارندگی سالانه ۲۹۴/۲ میلی متر، مساحت مراتع و زراعت آبی و دیم به ترتیب ۲۳۴۶۵ و ۳۷۶۸ هکتار می باشد. در این حوزه شیل دارای بیش ترین فرسایش و آندزیت و آهک های میکروفسیل دار کم ترین فرسایش را در بین سنگ های پیوسته به خود اختصاص می دهند همچنین در بین نهشته های منفصل، رسوبات بستر رودخانه از بیش ترین حساسیت برخوردار بوده و آبرفت و زمین های زراعی در درجه دوم قرار دارد (۴).

اندازه گیری فرسایش را به دو مرحله آب و رسوب تقسیم کرد (۱). استلیک برای پیش بینی میزان سالانه فرسایش خاک در چک واسلواکی از ضرایب مرتبط با وضعیت اقلیمی، بافت خاک و نفوذپذیری، قابلیت فرسایش خاک، شیب و پوشش گیاهی استفاده نمود (۱). در سال ۱۹۵۲ برای بررسی شدت فرسایش خاک در کشور یوگسلاوی سابق از مدل E.P.M^۱ استفاده گردید که ۴ عامل وضعیت توپوگرافی، سنگ شناسی، خاک و نحوه استفاده از اراضی و عوامل اقلیمی را مد نظر قرار دادند (۱۸). در سال ۱۹۶۸ مدل P.S.I.A.C^۲ با ۹ عامل (سنگ شناسی، خاک، آب و هوا، روان آب، پستی و بلندی، پوشش سطح زمین، استفاده از زمین، وضعیت فعلی فرسایش در حوزه آبخیز و فرسایش رودخانه ای را جهت محاسبه و برآورد فرسایش مورد استفاده قرار گرفت (۱۹). همچنین نسخ متعددی برای رابطه جهانی فرسایش خاک مبتنی بر عوامل ارایه شده و کاربرد آن ها در نقاط مختلف جهان مورد ارزیابی قرار گرفته است (۱۱ و ۱۵). بیش تر روش های تخمین فرسایش خاک و یا تولید رسوب بر مدل جهانی فرسایش خاک استوار بوده و تفاوت بسیاری از آن ها در نحوه محاسبه و یا روش برآورد عامل فرسایش باران و روان آب می باشد. 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 در نسخه توان بالای آن ها در هدررفت خاک بسیار با اهمیت بوده و گاهی استفاده از مدل نامناسب، تخمین بسیار بالا و یا بسیار پائین را به دنبال داشته است. از

1- Erosion Potential Method

2- Pacific Southwest Inter-Agency Committee



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

روش تحقیق

برای دستیابی به اهداف تحقیق ابتدا مقادیر واقعی رسوب هر رگبار از طریق نمونه برداری و تحلیل رسوب-نگارهای اندازه گیری شده طی دوره مطالعاتی آبان ۱۳۸۵ تا اردیبهشت ۱۳۸۶ محاسبه شد. برای نمونه برداری از رسوب معلق در طی هر رگبار ابتدا ایستگاه هیدرومتری چهلگزی به مقاطع ۱ متری تقسیم و نمونه برداری با روش انتگراسیون عمقی (۶) انجام شد. سپس نمونه های رسوب جمع آوری شده پس از حمل به آزمایشگاه از کاغذ صافی عبور، در داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد و پس از ارزیابی زمان بهینه به مدت یک ساعت (۱۴) خشک و سپس وزن رسوب با ترازوی یک هزارم گرم تعیین گردید. برای بررسی کارایی روش های مورد استفاده، یازده رگبار با اندازه گیری رواناب و رسوب مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور بررسی امکان مدل سازی رسوب با استفاده از متغیرهای باران و رواناب، بسیاری از متغیرهای قابل اندازه گیری شامل مقدار، مدت، انرژی جنبشی بارندگی، شدت های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه ای، دبی پایه، دبی اوج، حجم رواناب و همچنین ضریب رواناب برای وقایع ثبت شده محاسبه شد. اطلاعات مربوط به ویژگی های باران و رواناب با استفاده از ایستگاه باران نگار حسین آباد به واسطه فاصله کم تر تا مرکز ثقل حوزه و ایستگاه هیدرومتری تونل چهلگزی با تجهیزات اشل،

لیمنوگراف و تلفریک دقیقاً در محل خروجی حوزه در منطقه محاسبه شد. مقدار انرژی جنبشی رگبار از طریق تجزیه و تحلیل کاغذهای باران نگار، مقدار ضریب رواناب هر رگبار با توجه به حجم رواناب حاصله و لحاظ مساحت حوزه و تقسیم آن بر مقدار باران، دبی اوج پس از رسم هیدروگراف هر رگبار و کسر دبی پایه از آن به روش رسم خط افقی از نقطه شروع تا انتهای شاخه نزولی هیدروگراف و نهایتاً جداسازی هیدروگراف مستقیم هر رگبار تعیین گردید. به منظور مدل سازی رسوب ناشی از رگبارهای مورد بررسی در حوزه آبخیز چهلگزی سد قشلاق از ویژگی های مختلف باران و رواناب به شرح توضیح داده شده و مندرج در (جدول ۱) استفاده شد.

به منظور بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از رگرسیون دو متغیره^۱ و چند متغیره^۲ از نرم افزار SPSS13 استفاده گردید. در این مرحله از مجموعه رگبارهای به وقوع پیوسته در دوره مطالعه، به ترتیب حدود $\frac{2}{3}$ و $\frac{1}{3}$ رگبارها برای واسنجی (رگبارهای شماره ۱، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹ و ۱۱ در جدول ۱) و تأیید (رگبارهای شماره ۲، ۶ و ۱۰ در جدول ۱) مدل های به دست آمده استفاده شد.

1- Bivariate Regression
2- Multivariate Regression

تهیه مدل‌های رگرسیونی در واقع از بررسی ارتباط مستقیم متغیرها با یکدیگر و یا شکل‌های تغییر یافته آنها (۵) صورت پذیرفته است. در رگرسیون دو متغیره از مدل‌های خطی، درجه دو، درجه سه، لگاریتمی، معکوس و نمایی استفاده شده است. همچنین به منظور انتخاب مدل مناسب و موثرترین متغیرهای مستقل مرتبط، با تجزیه و تحلیل عاملی بدون دوران و بدون تجزیه و تحلیل عاملی در ۶ حالت خطی، معکوس، توان دوم، توان سوم، لگاریتمی و نمایی بررسی گردید (۲).

از آنجایی که شرط لازم برای اعتبار یک مدل تطابق نتایج به دست آمده با نتایج واقعی می‌باشد ابتدا مدل‌های با ضریب همبستگی معنی‌دار بالاتر انتخاب شدند، سپس خطای تخمین و تأیید برای کلیه روابط دارای ضرایب همبستگی معنی‌دار محاسبه گردید. در نهایت فقط آن دسته از روابطی که علاوه بر ضریب همبستگی معنی‌دار، دارای خطای تخمین و تأیید کم‌تر از ۴۰ درصد (۸) نیز بودند ارایه شدند. ارزیابی خطای نسبی تخمین و تأیید به ترتیب با استفاده از داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی و داده‌های به کار گرفته نشده در آن طبق رابطه ۱ محاسبه شد (۹).

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

که در آن RE درصد خطای نسبی، Y_o مقدار مشاهده‌ای رسوب رگبار (تن) و Y_e مقدار تخمینی رسوب رگبار (تن) می‌باشد.

سپس رتبه‌بندی ویژگی‌های مختلف رگبار و رواناب مربوط به آن در تبیین تغییرات مقادیر رسوب معلق مربوط به رگبار با در نظر گرفتن ضریب β (ضریب رگرسیون استاندارد شده) در مدل نهایی شده برای هر یک از

(جدول ۱) - مشخصات رگبارهای انتخابی و متغیرهای محاسبه‌ای باران و رواناب برای مدل‌سازی رسوب ناشی از رگبارها

ردیف	تاریخ وقوع رگبار	مقدار بارش (میلی‌متر)	مدت بارش (دقیقه)	مقدار بارش (تن بر متر مربع)	شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف (سانتی‌متر بر ساعت)				دبی آب پایه (مترمکعب بر ثانیه)	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	حجم رواناب (مترمکعب)	ضریب رواناب (درصد)
					۱۰	۲۰	۳۰	۶۰				
۱	۱۳۸۵/۸/۵	۱/۶۸	۲۰۷	۱۳/۶	-۳۰۴	-۱۱۷۳	-۱/۵۱	-۱/۹۸	-۱/۷۱	-۱/۴۵۲	۳/۷۷۸	۱۲/۸۰
۲	۱۳۸۵/۸/۹	۷/۰۸	۹۹	۱۱۶/۶	۱/۱۷۵	-۱/۶۶۸	-۱/۷۷۷	-۱/۵۳۱	-۱/۰۰۰	۱/۳۹۰	۶/۰۰۰	۵/۳۳
۳	۱۳۸۵/۸/۱۵	۲/۰۴	۱۱۰	۲۹/۰۷	-۱/۶۹۹	-۱/۳۰۳	-۱/۳۳۹	-۱/۱۶۲	-۱/۰۰۰	-۱/۶۲۲	۳/۸۱۴	۱۲/۳۲
۴	۱۳۸۵/۸/۲۰	۱/۳۵	۱۹۴	۱۶/۰۵	-۱/۸۸۹	-۱/۱۴۷	-۱/۱۱۸	-۱/۰۸۴	-۱/۰۵۶	-۱/۷۳۲	۲/۴۶۵	۹/۵۶
۵	۱۳۸۵/۸/۲۰	۳/۰۰	۱۳۳	۵۶/۷	-۳۰۴	-۲۸۲	-۲۷۵	-۲۴۸	-۱/۸۶	۱/۰۵۳	۵/۴۹۷	۱۰/۲۰
۶	۱۳۸۵/۸/۲۰	۸/۷۸	۱۱۲	۱۵/۱۴	۱/۱۷۵	-۱/۰۰۶	-۱/۱۳	-۱/۴۳	-۱/۰۰۰	۱/۱۹۰	۵/۰۴۰	۴/۷۲
۷	۱۳۸۵/۸/۱۸	۲/۶۲	۱۱۰	۳۷/۸۵	-۱/۶۹۹	-۱/۳۰۳	-۱/۳۳۹	-۱/۱۴	-۱/۰۰۰	-۱/۸۸۰	۲/۲۰۰	۳/۴۲
۸	۱۳۸۵/۸/۱۶	۹/۲۰	۲۶۱	۱۲۸/۶	-۱/۶۶۸	-۱/۳۲۸	-۱/۵۵۷	-۱/۳۳۸	-۱/۴۴۴	۲/۸۱۰	۳/۶۲۰	۳/۴۴
۹	۱۳۸۶/۸/۱۷	۴/۲۶	۸۸	۷۲/۴۵	-۱/۴۲۸	-۱/۶۲۸	-۱/۸۵۷	-۱/۴۲۸	-۱/۰۰۰	۲/۵۳۰	۲/۰۲۰	۶/۸۸
۱۰	۱۳۸۶/۸/۳۱	۵/۲۹	۲۲۶	۸۰/۸۹	-۱/۳۷۵	-۱/۳۳۳	-۱/۳۳۹	-۱/۲۹۶	-۱/۰۰۰	۳/۲۴۰	۴/۳۰۰	۸/۴۸
۱۱	۱۳۸۶/۸/۲۷	۱/۶۱۸	۲۳۳	۲۹/۲۴	۱/۲۱۴	۱/۰۳۱	-۱/۹۱۶	-۱/۵۲۲	-۱/۵۲۲	۳/۷۲۰	۵/۵۲۳	۲/۳۲

نتایج

نتایج مربوط به مدل‌سازی رگبارها منجر به تهیه بیش از ۱۱۷ رابطه مختلف شد. در (جدول ۲) مدل‌های پرت‌تر دو و چند متغیره با ضریب تبیین معنی‌دار و خطای تخمین و تأیید قابل قبول ارائه شده است.

ویژگی‌های مختلف رگبار و روان‌آب مربوطه با استفاده از سهم نسبی ضریب مذکور به جمع مطلق آنها صورت پذیرفت (۲). با انجام این مقایسه، متغیر مستقلی که بیش‌ترین مقدار ضریب β را داشته به‌عنوان مهم‌ترین عامل تبیین‌کننده تغییرات رسوب معلق ناشی از رگبار معرفی شده است.

(جدول ۲) - بهترین روابط رگرسیونی دو و چند متغیره بین ویژگی‌های بارش و روان‌آب با رسوب مشاهده‌ای رگبار

شماره رابطه	خطای تأیید (%)	خطای تخمین (%)	سطح معنی‌داری	ضریب تبیین	رابطه
۲	۱۷/۰۱	۱۵/۵۵	۰/۰۰۰	۰/۹۴۲	$S = ۹/۵۰۱(P) + ۲۱/۹۲۲$
۳	۲۷/۳۱	۲۷/۱۰	۰/۰۰۶	۰/۷۴۵	$S = ۳۴/۹۰۷(q_b) + ۱۴/۴۲۰$
۴	۲۹/۸۷	۲۴/۵۱	۰/۰۰۷	۰/۷۲۵	$S = ۳۰/۴۸۴e^{-۰/۴۱۴} q_b$
۵	۲۵/۶۰	۲۴/۰۵	۰/۰۰۳	۰/۹۰۱	$S = ۸/۵۳۰(q_p)^2 - ۵۵/۷۷۶(q_p) + ۱۲۹/\sqrt{q_p}$
۶	۲۶/۹۰	۲۰/۴۳	۰/۰۱۲	۰/۹۲۰	$S = ۲/۱۱۴(q_p)^2 - ۲۲/۲۰۲(q_p) + ۸۳/۸۲۲(q_p) - ۶۷/۹۰۸$
۷	۲۸/۱۹	۲۴/۹۳	۰/۰۰۶	۰/۷۴۶	$S = ۱۲/۷۹۳e^{-۰/۳۳۵} q_p$
۸	۲۹/۵۷	۲۹/۱۱	۰/۰۱۴	۰/۶۶۶	$S = ۷/۳۴۰e^{۰/۲۹۴} q_b \text{ Log}$
۹	۲۹/۰۹	۳۹/۷۸	۰/۰۱۰	۰/۶۹۲	$S = ۱۱۵/۴۸۱ \sqrt{q_p} - ۱۷۳/۴۶۹$
۱۰	۲۴/۵۲	۲۵/۵۱	۰/۰۰۴	۰/۸۹۵	$S = ۴۸/۱۱۴(\sqrt{q_p})^2 - ۱۳۰/۶۷۷(q_p) + ۱۷۹/۹۸۲$
۱۱	۲۸/۸۰	۲۶/۸۵	۰/۰۰۹	۰/۷۱۱	$S = ۳/۰۲۵e^{۰/۴۰۹} \sqrt{q_p}$
۱۲	۲۸/۳۸	۲۹/۸۶	۰/۰۳۶	۰/۷۳۵	$S = ۱/۱۰ * 10^{-A}(V^2) - ۰/۰۰۱(V) + ۶۰/۹۶۰$
۱۳	۴۰/۹۵	۳۶/۷۲	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	$S = ۵۵/۳۱۵ \text{Log}(I_r) - ۱۰۵/۹۷۳ \text{Log}(I_r) + ۸۳/۶۴۱$
۱۴	۳۲/۵۶	۱۷/۱۰	۰/۰۲۸	۰/۹۳۵	$S = -۱۱۶۷۱/۰۴۰ * T^{-۱} - ۱۶/۹۱۹ r_p^{-۱} - ۳۶/۸۸۹ q_b^{-۱} + ۲۱۴/۴۳۶$
۱۵	۲۷/۰۴	۶/۶۴	۰/۰۰۹	۰/۹۹۸	$S^{-۱} = ۰/۱۱۵ P^{-۱} - ۰/۰۰۱ r_p^{-۱} + ۱/۰۶۴ E^{-۱} + ۰/۰۱۲ q_b^{-۱} - ۱۱۲/۰۸۷ V^{-۱} + ۰/۰۰۲$
۱۶	۳۵/۴۲	۱۷/۲۹	۰/۰۰۴	۰/۹۹۳	$S^{-۱} = ۰/۱۰۵ P^{-۱} - ۰/۰۰۱ r_p^{-۱} - ۱/۰۱۹ E^{-۱} + ۰/۰۱۳ q_b^{-۱} + ۰/۰۰۱$
۱۷	۲۱/۶۲	۷/۴۲	۰/۰۰۱	۰/۹۹۰	$S^{-۱} = ۰/۹۰۷ P^{-۱} - ۱/۰۹۷۲ E^{-۱} + ۰/۰۱۳ q_b^{-۱}$
۱۸	۲۲/۵۳	۵/۱۸	۰/۰۴۳	۰/۹۹۱	$\text{Ln}(S) = -۲/۵۱۲ \text{Ln}(P) + ۰/۰۶۲ \text{Ln}(T) - ۱/۷۹۱ \text{Ln}(E) + ۰/۳۶۲ \text{Ln}(q_b) - ۰/۰۴۴ \text{Ln}(V) + ۷/۹۸۰$
۱۹	۲۳/۴۳	۵/۳۷	۰/۰۰۶	۰/۹۹۱	$\text{Ln}(S) = -۲/۶۵۷ \text{Ln}(P) - ۱/۸۹۶ \text{Ln}(E) + ۰/۳۶۳ \text{Ln}(q_b) - ۰/۰۵۴ \text{Ln}(V) + ۸/۶۲۱$
۲۰	۲۱/۸۴	۶/۶۴	۰/۰۰۱	۰/۹۹۰	$\text{Ln}(S) = -۲/۶۰۹ \text{Ln}(P) - ۱/۸۹۳ \text{Ln}(E) + ۰/۳۸۶ \text{Ln}(q_b) + ۸/۰۷۴$
۲۱	۳۲/۳۲	۱۹/۹۵	۰/۰۰۵	۰/۹۴۰	$S = ۵۵/۹۴۹ \text{Ln}(T) + ۳۱/۶۸۲ \text{Ln}(E) - ۳۳۷/۰۱۶$
۲۲	۳۰/۴۷	۳۲/۲۰	۰/۰۰۲	۰/۹۸۴	$S = ۰/۰۰۱ (E)^2 + ۰/۹۹۵ (q_p)^2 + ۱۸/۵۶۲$
۲۳	۳۶/۰۵	۲۲/۳۶	۰/۰۰۲	۰/۹۶۸	$S = ۰/۲۹۴ P^2 + ۲/۷۶۸ q_b^2 + ۳۰/۲۰۸$
۲۴	۳۳/۷۴	۱۵/۷۱	۰/۰۲۳	۰/۸۸۸	$\text{Ln}(S) = ۰/۵۱۳ \text{Ln}(P) + ۰/۵۱۸ \text{Ln}(T) - ۰/۰۰۴ \text{Ln}(q_b) + ۰/۸۰۱$
۲۵	۳۷/۰۸	۱۴/۹۵	۰/۰۱۶	۰/۹۰۷	$S = ۴۷/۲۸۶ \text{Ln}(P) + ۴۳/۰۸۶ \text{Ln}(T) - ۵/۵۸۶ \text{Ln}(q_b) - ۲۰/۷۰۸۶$
۲۶	۳۳/۹۹	۱۵/۶۳	۰/۰۲۲	۰/۸۹۱	$\text{Log}(S) = ۰/۵۱۷ \text{Log}(P) + ۰/۵۰۸ \text{Log}(T) - ۰/۰۰۵ \text{Log}(q_b) + ۰/۳۶۸$
۲۷	۳۷/۵۸	۱۴/۷۵	۰/۰۱۵	۰/۹۵۴	$S = ۱۱۰/۵۹۹ \text{Log}(P) + ۹۶/۹۴۶ \text{Log}(T) - ۱۳/۹۸۳ \text{Log}(q_b) - ۲۰۳/۱۱۴$
۲۸	۳۷/۴۲	۱۴/۹۰	۰/۰۰۸	۰/۹۳۴	$\sqrt{S} = ۲/۱۰۰ \sqrt{P} + ۰/۲۷۶ \sqrt{T} - ۰/۰۴۶ \sqrt{q_b} + ۰/۲۰۰$

P مقدار بارندگی (میلی‌متر)، T مدت بارندگی (دقیقه)، q_b دبی پایه (مترمکعب بر ثانیه)، E انرژی جنبشی باران (تن در متر بر هکتار)، q_p دبی اوج روان‌آب مستقیم (مترمکعب بر ثانیه)، V حجم روان‌آب (مترمکعب) و S رسوب (تن)

از طرفی رتبه‌بندی عوامل مورد بررسی و تبیین رسوب و معلق رگبارهای مورد بررسی با توجه به روش کار ارائه شده و با استفاده از بهترین رابطه چند متغیره رگرسیونی انجام و نتایج مربوطه در (جدول ۳) خلاصه شده است.

(جدول ۳) - رتبه‌بندی ویژگی‌های مختلف رگبار و رواناب مربوط به آن در تبیین تغییرات مقادیر رسوب معلق

رتبه متغیر مستقل مورد استفاده در مدل نهایی										متغیر وابسته
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
r_p	q_p	q_b	C	T	V	E	I_r	I_r	P	S
۰/۸۳	۰/۹۱	۲/۰۳	۲/۶۷	۶/۳۰	۶/۵۵	۱۵/۲۱	۱۸/۵۳	۲۲/۵۳	۲۴/۵۳	(%)

P مقدار بارندگی (میلی‌متر)، I_r شدت ۲۰ دقیقه‌ای (سانتی‌متر بر ساعت)، I_r شدت نیم‌ساعته (سانتی‌متر بر ساعت)، E انرژی جنبشی باران (تن در متر بر هکتار)، V حجم رواناب (مترمکعب)، T مدت بارندگی (دقیقه)، C ضریب رواناب q_b دبی پایه (مترمکعب بر ثانیه)، q_p دبی اوج رواناب مستقیم (مترمکعب بر ثانیه)، r_p حداکثر شدت لحظه‌ای (سانتی‌متر بر ساعت) و S رسوب (تن)

نتیجه

متغیره از کارایی بالاتری برخوردار هستند. تبیین ارتباطات غیرخطی بین متغیرهای مطالعه شده با تولید رسوب با تاکیدات سینگ مبنی بر برتری ارتباطات غیرخطی متغیرهای هیدرولوژی با یکدیگر (۱۶) تطابق دارد. همچنین با نظر صادقی و همکاران مبنی بر برتری مدل‌های دو متغیره در تبیین ویژگی‌های رواناب در حوزه آبخیز کسلیان به واسطه ایجاد خطای درونی ناشی از ورود متغیرهای زیادی و دارای ارتباط درونی در هنگام استفاده از رگرسیون‌های چندمتغیره همخوانی دارد (۵). همچنین دقت مدل‌های دو متغیره به دست آمده دلالت بر دقت بسیار قابل قبول آنها داشته که ضرورت مداخله عوامل دیگر کنترل کننده فرآیند فرسایش خاک و تولید رسوب به واسطه ثبات نسبی عوامل وابسته سامانه آبخیز در دوره مطالعاتی را منتفی می‌سازد. حال آن‌که ضرورت بررسی مدل‌های رگرسیونی چند متغیره در اشکال نهایی مدل‌های ارایه شده برآورد فرسایش و یا واسنجی مدل‌ها در مقایسه با دو متغیره با لحاظ مجموع بیشتری از عوامل ورودی (بارش)، سامانه آبخیز (پوشش گیاهی، خاک، مدیریت زراعی و اراضی و توپوگرافی) و همچنین ویژگی‌ها رواناب خروجی حوزه توسط ماسگرو، مورگان و مورگان فینی، استیلک، گاوریلوویچو کمیته تحقیقات جنوب ناحیه پیسیفیک (۱، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۸ و ۱۹)

دقت در (جدول ۲) نشان می‌دهد که ۱۲ رابطه اول بر ارتباط معنی‌دار ($P < 0/01$) مقدار بارش، دبی پایه، دبی اوج، حجم سیلاب و شدت بیست دقیقه‌ای بارش به اشکال ساده و تغییر شکل یافته آن‌ها با تولید رسوب ناشی از رگبارها در حوزه مورد مطالعه با ضرایب تبیین بین ۶۶/۶ تا ۹۹/۹ درصد و خطای تخمین بین ۱۵/۵۵ تا ۳۹/۷۸ دلالت داشته حال آن‌که ارتباط معنی‌دار ($P < 0/01$) رابطه درجه سه دبی اوج رواناب مستقیم (q_p) و تولید رسوب (رابطه ۶) با ضریب تبیین ۹۲/۰ درصد و خطای تخمین ۲۰/۴۳ درصد از کارایی بالاتری در بین رگرسیون دو متغیره نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار بوده است. همچنین این جدول نشان می‌دهد که بر اساس روابط رگرسیونی چند متغیره (رابطه ۱۴ تا ۲۸) با ضرایب تبیین حداقل ۸۸/۸ و حداکثر ۹۹/۸ و با خطای تخمین حداقل و حداکثر به ترتیب ۶/۶۴ و ۳۶/۷۶ درصد با خطای تأیید کم برای حوزه آبخیز چهل گزی سد قشلاق پیشنهاد می‌شوند. ارزیابی کلی مدل‌ها با استفاده از ضریب تبیین، سطح معنی‌داری، خطای تخمین و همچنین خطای تأیید در مجموع نشان می‌دهد که مدل‌های رگرسیونی ساده یا دو متغیره در اشکال مختلف تغییر شکل در مقایسه با چند

در مطالعات ناحیه‌ای تولید رسوب مد نظر قرار گرفته است. ارزیابی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره (جدول ۳) نشان داد که مقدار باران و شدت ۲۰ دقیقه‌ای به ترتیب با نقش کنترل‌کنندگی ۲۴/۵۳ و ۲۲/۵۳ قادر به تبیین بیش از ۴۷ درصد از تغییرپذیری تولید رگبار در حوزه مورد مطالعه می‌باشد. جدول مذکور همچنین نشان می‌دهد که شدت ۳۰ دقیقه‌ای در رتبه بعدی اهمیت قرار می‌گیرد. از آن‌جا که بحث در جدول مذکور همچنان نشان دهنده نقش کنترل‌کنندگی عوامل مرتبط با بارش بیش از ۸۰ درصد بوده که پس از آن عامل حجم رواناب با مشارکت نسبی کم‌تر از ۷ درصد عهده‌دار تنظیم رسوب خروجی ناشی از رگبار در حوزه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق می‌باشد. یافته مذکور هم‌چنین با نظرات ASCE، ویلیامز، کینل و صادقی و همکاران مبنی بر برتری کنترل‌کنندگی عامل رواناب بر بارش مغایرت داشته حال آن‌که با نظرات صادقی و همکاران در راستای ضرورت تعیین متغیرهای بارش و رواناب در تبیین صحیح میزان رسوب خروجی از حوزه امامه در ایران هم‌سو می‌باشد (۵، ۷، ۱۱، ۱۵ و ۲۰). دلیل برتری کنترل‌کنندگی عامل بارش بر رواناب در این تحقیق را می‌توان به کوچک بودن نسبی مساحت

حوزه آبخیز مورد مطالعه، تغییرات قابل ملاحظه مؤلفه‌های بارندگی و در نتیجه تأثیرپذیری زیاد عوامل رواناب از ویژگی‌های بارش نسبت داد.

تحقیق حاضر به منظور تعیین توانایی متغیرهای بارش و رواناب در تبیین رسوب ناشی از رگبارها در حوزه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق انجام شده است. نظر به نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر می‌توان جمع‌بندی نمود که متغیرهای مورد استفاده، ضریب توافق آن‌ها با مقادیر مشاهده‌ای رسوب در بیشتر موارد بالا می‌باشد. از طرفی با توجه به روابط دو و چند متغیره حاصل در مدل‌سازی در بیشتر موارد تنها شکل تغییر یافته مدل‌ها قادر به تبیین تغییرات مورد بررسی بوده و همچنین کارآیی مدل‌های رگرسیونی دو متغیره با توجه به شاخص‌های آماری مورد نظر بیش‌تر از مدل‌های چند متغیره ارزیابی گردید. با توجه به نتایج به دست آمده و ضرورت دست‌یابی به جمع‌بندی‌های نهایی، انجام بررسی‌های دقیق با تعداد بیش‌تر رگبار و سایر عوامل مؤثر در فرسایش از قبیل ویژگی‌های خاک و مطالعات تکمیلی در زمینه فرسایش و تولید رسوب و همچنین واسنجی مدل‌های موجود و تهیه شده در سایر نقاط کشور پیشنهاد می‌شود.

منابع

- ۱- احمدی، ح.، ۱۳۷۸. ژئومورفولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، جلد ۱، ۶۸۷ ص.
- ۲- خالدی‌درویشان، ع.، ۱۳۸۳. ارتباط خصوصیات هیدرولوژیکی حوزه آبخیز با مورفومتری رسوبات بستر در رودخانه‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۸۵ ص.
- ۳- رفاهی، ح. ق.، ۱۳۷۹. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۵۵۱ ص.
- ۴- سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان، ۱۳۷۲. مطالعات تفصیلی اجرایی آبخیزداری پارسل A قشلاق، ۲۶۱ ص.
- ۵- صادقی، س. ح. ر.، مرادی، ح. ر.، مزین، م. و وفاخواه، م.، ۱۳۸۴. کارایی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدل‌سازی بارش - رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسلیان)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲ (۳)، ۸۱-۹۰.

- ۶- مهدوی، م.، ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی، جلد اول، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۶۲ ص.
- 7- American Society of Civil Engineers, 1970. Sediment Sources and Sediment Yields. Journal of the Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers, 96(HY6): 1283-1329.
 - 8- Das, G., 2000. Hydrology and soil conservation engineering, Prentice-Hall of India, 489pp.
 - 9- Green, I.R.A. and D. Stephenson, 1986. Criteria for comparison of single event models. Hydrological Science Journal, 31:395-411.
 - 10- Haregeweyn, N., Poesen, J., Nyssen, J., Verstraeten, G., Vente, J.D., Govers, G., Deckers S. and Moeyersons, J., 2005. Specific sediment yield in Tigray-Northern Ethiopia: Assessment and semi-quantitative modeling, *Geomorphology*, 69: 315–331.
 - 11- 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.
 - 12- Loureiro, N.S. and Coutinho, M.A., 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.
 - 13- Morgan, R.P.C., 1974. Estimating regional variations in soil erosion hazard in peninsular Malaysia, *Malay. Nat. J.*, 28: 94-106.
 - 14- Putjaroon, W. and Pongboon, K., 1987. Amount of Runoff and Soil Losses from Various Land Use Sampling Plots in Province, Thailand, In: Proceedings of Forest Hydrology and Watershed Management August 1987, IAHS-AISH, Publication, 167-1987.
 - 15- Sadeghi, S.H.R., Singh, J.K. and Das, G., 2004. Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction, Iran. *International Agriculture Engineering Journal*. 13(1&2), 1-14.
 - 16- Singh, V.P., 1992. Elementary hydrology. Eastern Economy Edition, New Delhi, India.
 - 17- Storey, P.J., 2002. The conservation and improvement of sloping land, Oxford Publishing Co. Pvt. Ltd., 323pp.
 - 18- 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.
 - 19- Vente, J.D. and Poesen, J., 2005. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models, *Earth-Science Reviews*, 71: 95–125.
 - 20- Williams, J.R., 1975. Sediment-yield prediction with Universal Equation Using runoff energy factor. Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources, ARS-S-40, US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 244- 252.
 - 21- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses guide to conservation planning. USDA, Agricultural Handbook No. 537, Washington. USA.

Storm-Wise sediment yield prediction using rainfall and runoff variables

L. Gholami–H.R. Sadeghi*–A.V. Khaledi Darvishan– A.R. Telvari¹

Abstract

Application of empirical models is a must owing to complexity of process, different features, spatial and temporal variation of soil erosion and non-existence or lack of pertaining data. In this study, the efficiency of rainfall and runoff variables of 11 storms during winter 2006 and spring 2007 in explanation of storm-wise sediment yield in Chehelgazi watershed of Gheshlagh Dam basin in Kurdistan province was evaluated with the help of bivariate and multivariate regression models by using different transformed data. The models' efficacy was then assessed by using coefficient of determination, error of estimation and verification. The results showed that bivariate regression models, using different transformed data with determination coefficient of beyond 66%, and respective error of estimation and verification of below 40 and 30%, had a better efficiency in estimation of storm-wise sediment yield than multivariate regression models. The results also verified that the rainfall variables could explain storm-wise sediment yield variations better than runoff relating factors with overall contribution of some 80%.

Key words: Sediment yield, regression models, Gheshlagh dam, Chehelgazi watershed, Kurdistan province, Iran

*- Corresponding author Email: sadeghi@modares.ac.ir

1- College of Natuaral Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares Univ., Noor, Mazandaran, Iran, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran