مدل‌سازی رسوب ناشی از رگبارها با استفاده از متغیّرهای باران و روانآب

لیلا غلامی - حمیدرضا صادقی* - عبدالواحد خالدی‌درویشان - عبدالرسول تلوری[1]

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 متغیّرهای در دسترس را ضروری می‌نماید. در این تحقیق کارایی متغیّرهای باران و روانآب در برآورد تولید رسوب رگبارها در حوزهٔ آبخیز چهل‌گزی استان کردستان با استفاده از انواع رگرسیون دو و چند متغیّره و با تغییر شکل مختلف داده‌های باران، روانآب 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 دومتغیّره در اشکال مختلف تغییر شکل یافته با ضریب تبیین بیش از ۶۶درصد و خطای تخمین و تأیید به‌ترتیب کم‌تر از ۴۰ و ۳۰درصد در مقایسه با چند متغیّره از کارایی بالاتری برخوردار هستند. همچنین نتایج بر عملکرد بیش‌تر متغیّرهای باران با سهم مشارکت مجموع حدود ۸۰درصد نسبت به متغیّرهای رواناب در تبیین رسوب ناشی از رگبارها در منطقه مورد بررسی دلالت دارد.

واژه‌های کلیدی: تولید رسوب، مدل‌های رگرسیونی، سدّ قشلاق، حوزهٔ آبخیز چهل‌گزی، استان کردستان

مقدمه

در حال حاضر نیاز به حفاظت خاک به‌عنوان یکی از مبانی توسعه در سرتاسر جهان مطرح می‌باشد. در حالی که توجّه کافی به مشکلات عمده ناشی از فرسایش خاک و به‌طور مشخص هدررفت آب و خاک به‌وسیله روانآب‌های مازاد مدّ نظر قرار نمی‌گیرد (۱۷). اوّلین رابطه برای تعیین علّت و برآورد فرسایش خاک توسط زینگ و بر اساس 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 تهیّه رابطه جهانی فرسایش خاک USLE[2] (۲۱) شده که به‌طور گسترده درسرتاسر جهان برای تخمین سالانه فرسایش خاک استفاده می‌شود (۱۱). بعدها مورگان، مورگان-فینی مدلی را پیشنهاد کردند که عوامل متعدّدی (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

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 آبخیز داری

نویسنده مسئول: E-mail: sadeghi@modares.ac.ir

2- Universal Soil Loss Equation, USLE

Archive of SID

www.SID.ir

اندازه‌گیری فرسایش را به دو مرحله آب و رسوب تقسیم کرد (۱). استلیک برای پیش‌بینی 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 شدّت فرسایش خاک در کشور یوگسلاوی سابق از مدل E.P.M[1] استفاده گردید که ۴ عامل وضعیت توپوگرافی، سنگ‌شناسی، خاک و نحوه استفاده از اراضی و عوامل اقلیمی را مدّ نظر قرار دادند (۱۸). در سال ۱۹۶۸ مدل P.S.I.A.C[2] با ۹ عامل (سنگ شناسی، خاک، آب و هوا، روانآب، پستی و بلندی، پوشش سطح زمین، استفاده از زمین، وضعیت فعلی فرسایش در حوزهٔ آبخیز و فرسایش رودخانه‌ای را جهت محاسبه و برآورد فرسایش مورد استفاده قرارگرفت (۱۹). همچنین نسخ متعددی برای رابطه جهانی فرسایش خاک مبتنی بر عوامل ارایه شده و کاربرد آن‌ها در نقاط مختلف جهان مورد ارزیابی قرارگرفته است (۱۱ و ۱۵). بیش‌تر روش‌های تخمین فرسایش خاک و یا تولید رسوب بر مدل جهانی فرسایش خاک استوار بوده و تفاوت بسیاری از آن‌ها در نحوه محاسبه و یا روش برآورد عامل فرسایندگی باران و روانآب می‌باشد. همچنین تخمین میزان تولید رسوب طی یک رگبار به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به‌دلیل تعدادکم و در عین حال شدّت زیاد رگبارها و در نسخه توان بالای آن‌ها در هدررفت خاک بسیار با اهمیّت بوده و گاهی استفاده از مدل نامناسب، تخمین بسیار بالا و یا بسیار پائین را به دنبال داشته است. از این‌رو در تحقیق حاضر سعی برآن است تا مدل‌سازی رسوب ناشی از رگبار با استفاده از متغیّرهای در دسترس باران و روان آب صورت‌گرفته تا به این ترتیب زمینه‌های رفع مشکلات ناشی از کمبود آمار و اطلاعات مرتبط با فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز کشور مورد توجّه بیش‌تر قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

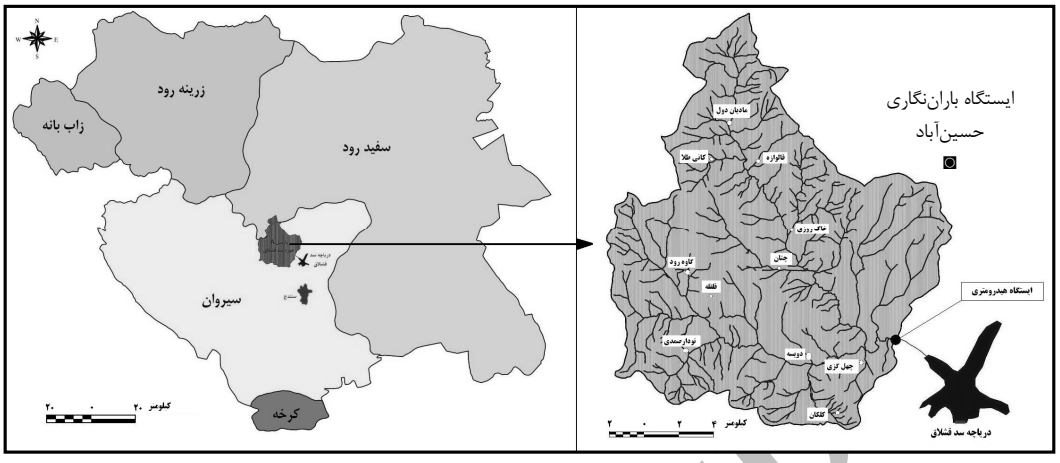
منطقه مورد مطالعه

به‌منظور مدل‌سازی رسوب ناشی از رگبارها با استفاده از متغیّرهای باران و روانآب و همچنین بررسی توانایی آن‌ها در برآورد رسوب رگبارها، حوزهٔ آبخیز چهل‌گزی سدّ 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 ۱۷/۵۷درصد و حداقل، حداکثر و متوسط ارتفاع حوزه مورد مطالعه به‌ترتیب ۱۵۵۰، ۲۸۵۰ و ۲۲۰۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه ۲۹۴/۲ میلی‌متر, مساحت مراتع و زراعت آبی و دیم به‌ترتیب ۲۳۴۶۵ و ۳۷۶۸ هکتار می‌باشد. در این حوزه شیل دارای بیش‌ترین فرسایش و آندزیت و آهک‌های میکروفسیل‌دار کم‌ترین فرسایش را در بین سنگ‌های پیوسته به خود اختصاص می‌دهند همچنین در بین نهشته‌های منفصل، رسوبات بستر رودخانه از بیش‌ترین حساسیت برخوردار بوده و آبرفت و زمین‌های زراعی در درجه دوّم قرار دارد (۴).

1- Erosion Potential Method
2- Pacific Southwest Inter-Agency Committee

Archive of SID

www.SID.ir



(شکل ۱) - شمای کلی و موقعیت حوزهٔ آبخیز چهل‌گزی سدّ قشلاق در استان کردستان

روش تحقیق

برای دست‌یابی به اهداف تحقیق ابتدا مقادیر واقعی رسوب هر رگبار از طریق نمونه‌برداری و تحلیل رسوب-نگارهای اندازه‌گیری شده طی دوره مطالعاتی آبان ۱۳۸۵ تا اردیبهشت ۱۳۸۶ محاسبه شد. برای نمونه‌برداری از رسوب معلق در طی هر رگبار ابتدا ایستگاه هیدرومتری چهل‌گزی به مقاطع ۱ متری تقسیم و نمونه‌برداری با روش انتگراسیون عمقی (۶) انجام شد. سپس نمونه‌های رسوب جمع‌آوری شده پس از حمل به آزمایشگاه از کاغذ صافی عبور، در داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و پس از ارزیابی زمان بهینه به مدت یک‌ساعت (۱۴) خشک و سپس وزن رسوب با ترازوی یک‌هزارم گرم تعیین گردید. برای بررسی کارآیی روش‌های مورد استفاده، یازده رگبار با اندازه‌گیری روانآب و رسوب مورد استفاده قرار گرفتند. به‌منظور بررسی امکان مدل‌سازی رسوب با استفاده از متغیّرهای باران و روانآب، بسیاری از متغیّرهای قابل اندازه‌گیری شامل مقدار، مدت، انرژی جنبشی بارندگی، شدّت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه‌ای، دبی پایه، دبی اوج، حجم روانآب و همچنین ضریب روانآب برای وقایع ثبت شده محاسبه شد. اطلاعات مربوط به ویژگی‌های باران و روانآب با استفاده از ایستگاه باران‌نگار حسین‌آباد به‌واسطه فاصله کم‌تر 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 باران‌نگار، مقدار ضریب روانآب هر رگبار با توجّه به حجم روانآب 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 به‌روش رسم خط افقی از نقطه شروع تا انتهای شاخه نزولی هیدروگراف و نهایتاً جداسازی هیدروگراف مستقیم هر رگبار تعیین گردید. به‌منظور مدل‌سازی رسوب ناشی از رگبارهای مورد بررسی در حوزهٔ آبخیز چهل‌گزی سدّ قشلاق از ویژگی‌های مختلف باران و روانآب به شرح توضیح داده شده و مندرج در (جدول ۱) استفاده شد.

به‌منظور بررسی ارتباط بین متغیّرهای مستقل و وابسته از رگرسیون دومتغیّره[1] و چند متغیّره[2] از نرم‌افزار SPSS13 استفاده گردید. در این مرحله از مجموعه رگبارهای به وقوع پیوسته در دوره مطالعه، به‌ترتیب حدود $\frac{۲}{۳}$ و $\frac{۱}{۳}$ 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) مدل‌های به دست آمده استفاده شد.

1- Bivariate Regression
2- Multivariate Regression

Archive of SID

www.SID.ir

(جدول ۱) – مشخصات رگبارهای انتخابی و متغیرهای محاسبه ای باران و رواناب برای مدل سازی رسوب ناشی از رگبارها

ردیف	تاریخ وقوع رگبار	مقدار بارش (میلی‌متر)	مدت بارش (دقیقه)	انرژی جنبشی بارندگی (تن متر بر هکتار)	شدّت بارش در پایه‌های زمانی مختلف (سانتی‌متر بر ساعت) ۱۰	۲۰	۳۰	۶۰	۱۲۰	دبی آب پایه (مترمکعب بر ثانیه)	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	حجم رواناب (مترمکعب)	ضریب رواناب (درصد)
۱	۱۳۸۵/۸/۵	۱/۶۸	۲۰۷	۱۳/۶	۰/۳۰۴	۰/۱۷۳	۰/۱۵۱	۰/۰۹۸	۰/۰۷۱	۰/۴۵۲	۳/۷۷۸	۵۸۵۴۳/۲	۱۲/۸۰
۲	۱۳۸۵/۸/۹	۷/۰۸	۹۹	۱۱۶/۶	۱/۱۷۵	۰/۷۶۸	۰/۷۷۷	۰/۵۳۱	۰/۰۰۰	۱/۳۹۰	۶/۰۰۰	۱۰۲۸۳۴/۰	۵/۳۳
۳	۱۳۸۵/۸/۱۵	۲/۰۴	۱۱۰	۲۹/۰۷	۰/۴۹۹	۰/۴۰۳	۰/۳۳۹	۰/۱۶۲	۰/۰۰۰	۰/۶۴۲	۳/۸۱۴	۶۹۰۱۲/۰	۱۲/۴۲
۴	۱۳۸۵/۸/۳۰	۱/۳۵	۱۹۴	۱۶/۰۵	۰/۱۸۹	۰/۱۴۷	۰/۱۱۸	۰/۰۸۴	۰/۰۵۶	۰/۷۳۲	۲/۴۶۵	۳۵۱۵۴/۰	۹/۵۶
۵	۱۳۸۵/۹/۷	۳/۹۰	۱۳۳	۵۶/۷	۰/۳۰۴	۰/۲۸۲	۰/۲۷۵	۰/۲۴۸	۰/۱۸۶	۱/۰۵۳	۵/۴۹۷	۱۰۸۳۷۶/۲	۱۰/۳۰
۶	۱۳۸۵/۹/۲۰	۸/۲۸	۱۱۲	۱۵۱/۴	۱/۱۷۵	۰/۸۰۶	۰/۸۱۳	۰/۷۴۳	۰/۰۰۰	۱/۱۹۰	۵/۰۴۰	۱۰۶۴۸۶/۰	۴/۷۲
۷	۱۳۸۵/۱۱/۱۸	۲/۶۲	۱۱۰	۳۷/۸۵	۰/۴۹۹	۰/۴۰۳	۰/۳۳۹	۰/۲۱۴	۰/۰۰۰	۰/۹۸۰	۲/۲۰۰	۴۳۲۷۹/۰۰	۳/۴۲
۸	۱۳۸۵/۱۲/۶	۹/۲۰	۲۶۱	۱۴۸/۶	۰/۷۶۹	۰/۶۲۸	۰/۵۵۷	۰/۴۳۸	۰/۳۴۴	۲/۸۱۰	۳/۶۷۰	۸۱۲۸۸/۰۰	۳/۲۴
۹	۱۳۸۶/۱/۷	۴/۳۶	۸۸	۷۴/۴۵	۰/۸۴۸	۰/۶۲۸	۰/۸۵۷	۰/۴۲۸	۰/۰۰۰	۲/۵۳۰	۴/۰۲۰	۸۱۶۵۷/۰۰	۶/۸۸
۱۰	۱۳۸۶/۱/۲۱	۵/۲۹	۲۲۶	۸۰/۸۹	۰/۳۷۵	۰/۳۳۳	۰/۳۳۹	۰/۲۹۶	۰/۲۰۷	۳/۳۴۰	۴/۳۰۰	۸۹۹۵۰/۰۰	۸/۴۸
۱۱	۱۳۸۶/۲/۷	۱۶/۱۸	۲۷۳	۲۹۷/۴	۱/۲۱۴	۱/۰۳۱	۰/۹۱۶	۰/۷۶۷	۰/۵۷۲	۳/۷۷۰	۵/۵۷۳	۱۲۷۸۱۴/۴۰	۳/۳۷

تهیّه مدل‌های رگرسیونی در واقع از بررسی ارتباط مستقیم متغیّرها با یکدیگر و یا شکل‌های تغییریافته[1] آن‌ها (۵) صورت پذیرفته است. در رگرسیون دو متغیّره از مدل های خطی، درجه دو، درجه سه، لگاریتمی، معکوس و نمایی استفاده شده است. همچنین به‌منظور انتخاب مدل مناسب و موثرترین متغیّرهای مستقل مرتبط، با تجزیه و تحلیل عاملی بدون دوران و بدون تجزیه و تحلیل عاملی در ۶ حالت خطی، معکوس، توان دوم، توان سوّم، لگاریتمی و نمایی بررسی گردید (۲).

از آنجایی که شرط لازم برای اعتبار یک مدل تطابق نتایج به‌دست آمده با نتایج واقعی می‌باشد ابتدا مدل‌های با ضریب همبستگی معنی‌دار بالاتر انتخاب شدند، سپس خطای تخمین و تأیید برای کلیّه 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 ۴۰درصد (۸) نیز بودند ارایه شدند. ارزیابی خطای نسبی تخمین و تأیید به‌ترتیب با استفاده از داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی و داده‌های به کار گرفته نشده در آن طبق رابطه ۱ محاسبه شد (۹).

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

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 روانآب 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

1- Transformed Data

Archive of SID

www.SID.ir

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

نتایج

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

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

شماره رابطه	خطای تائید(٪)	خطای تخمین(٪)	سطح معنی-داری	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	$S= ۸/۵۳۰(q_p^{۲}) -۵۵/۷۷۶(q_p) +۱۲۹/\sqrt{q_p}$
۶	۲۶/۹۰	۲۰/۴۳	۰/۰۱۲	۰/۹۲۰	$S= ۲/۱۱۴(q_p^{۳})-۲۲/۲۰۲(q_p^{۲})+۸۳/۸۲۲(q_p)-۶۷/۹۰۸$
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	$S=۷/۲۴۰e^{۳/۲۹۴}q_b^{\ \mathrm{Log}}$
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	$S= ۴۸/۱۱۴(\sqrt{q_p})^{۳}-۱۳۰/۶۷۷(q_p)+۱۷۹/۹۸۲$
۱۱	۲۸/۸۰	۲۶/۸۵	۰/۰۰۹	۰/۷۱۱	$S= ۳/۰۲۵e^{۱/۴۰۹}\sqrt{q_p}$
۱۲	۲۸/۳۸	۲۹/۸۶	۰/۰۳۶	۰/۷۳۵	$S= ۱/۱۰*۱۰^{-۸}(V^{۲})-۰/۰۰۱(V)+۶۰/۹۶۰$
۱۳	۴۰/۹۵	۳۶/۷۲	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	$S= ۵۵/۳۱۵Log(I_{۲۰})^{۳}-۱۰۵/۹۷۳Log(I_{۲۰})+۸۳/۶۴۱$
۱۴	۳۲/۵۶	۱۷/۱۰	۰/۰۲۸	۰/۹۳۵	$S= -۱۱۶۷۱/۰۴۰۰T^{-۱}-۱۶/۹۱۹r_p^{-۱}-۳۶/۸۸۹q_b^{-۱}+۲۱۴/۴۳۶$
۱۵	۲۷/۰۴	۶/۶۴	۰/۰۰۹	۰/۹۹۸	$S^{-۱}= ۰/۱۱۵P^{-۱}-۰/۰۰۱r_p^{-۱}+۱/۰۶۴E^{-۱}+۰/۰۱۲q_b^{-۱}-۱۱۲/۰۸۷V^{-۱}+۰/۰۰۲$
۱۶	۳۵/۴۲	۱۷/۲۹	۰/۰۰۴	۰/۹۹۳	$S^{-۱}= ۰/۱۰۵P^{-۱}-۰/۰۰۱r_p^{-۱}-۱/۰۱۹E^{-۱}+۰/۰۱۳q_b^{-۱}+۰/۰۰۱$
۱۷	۲۱/۶۲	۷/۴۲	۰/۰۰۱	۰/۹۹۰	$S^{-۱}= ۰/۹۰۷P^{-۱}-۱۰/۹۷۲E^{-۱}+۰/۰۱۳q_b^{-۱}$
۱۸	۲۲/۵۳	۵/۱۸	۰/۰۴۳	۰/۹۹۱	$Ln(S)=-۲/۵۱۲Ln(P)+۰/۰۶۲Ln(T) -۱/۷۹۱ Ln(E)+۰/۳۶۲ Ln(q_b) -۰/۰۴۴Ln(V)+۷/۹۸۰$
۱۹	۲۳/۴۳	۵/۳۷	۰/۰۰۶	۰/۹۹۱	$Ln(S)=-۲/۶۵۷Ln(P)-۱/۸۹۶Ln(E)+۰/۳۶۳ Ln(q_b)-۰/۰۵۴Ln(V)+۸/۶۲۱$
۲۰	۲۱/۸۴	۶/۶۴	۰/۰۰۱	۰/۹۹۰	$Ln(S)=-۲/۶۰۹Ln(P)-۱/۸۹۳Ln(E)+۰/۳۸۶ Ln(q_b)+۸/۰۷۴$
۲۱	۳۲/۳۲	۱۹/۹۵	۰/۰۰۵	۰/۹۴۰	$S=۵۵/۹۴۹Ln(T)+۳۱/۶۸۲ Ln(E)-۳۳۷/۰۱۶$
۲۲	۳۰/۴۷	۳۲/۲۰	۰/۰۰۲	۰/۹۸۴	$S=۰/۰۰۱(E)^{۲}+۰/۹۹۵(q_p)^{۲}+۱۸/۵۶۲$
۲۳	۳۶/۰۵	۲۲/۳۶	۰/۰۰۲	۰/۹۶۸	$S= ۰/۲۹۴P^{۲}+۲/۷۶۸q_b^{۲}+۳۰/۲۰۸$
۲۴	۳۳/۷۴	۱۵/۷۱	۰/۰۲۳	۰/۸۸۸	$Ln(S)= ۰/۵۱۳Ln(P)+۰/۵۱۸Ln(T)-۰/۰۰۴ Ln(q_b)+۰/۸۰۱$
۲۵	۳۷/۰۸	۱۴/۹۵	۰/۰۱۶	۰/۹۰۷	$S= ۴۷/۲۸۶Ln(P)+۴۳/۰۸۶Ln(T)-۵/۵۸۶ Ln(q_b)-۲۰۷/۰۸۶$
۲۶	۳۳/۹۹	۱۵/۶۳	۰/۰۲۲	۰/۸۹۱	$Log(S)=۰ /۵۱۷Log(P)+۰/۵۰۸Log(T)-۰/۰۰۵ Log(q_b)+۰/۳۶۸$
۲۷	۳۷/۵۸	۱۴/۷۵	۰/۰۱۵	۰/۹۵۴	$S=۱۱۰ /۵۹۹Log(P)+۹۶/۹۴۶Log(T)-۱۳/۹۸۳ Log(q_b)-۲۰۳/۱۱۴$
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)

Archive of SID

www.SID.ir

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

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

متغیّر وابسته	رتبه متغیّر مستقل مورد استفاده در مدل نهایی									
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
S	P	$I_{۲۰}$	$I_{۳۰}$	E	V	T	C	q_b	q_p	r_p
نقش کنترل‌کنندگی (٪)	۲۴/۵۳	۲۲/۵۳	۱۸/۵۳	۱۵/۲۱	۶/۵۵	۶/۲۰	۲/۶۷	۲/۰۳	۰/۹۱	۰/۸۳

P مقدار بارندگی (میلی‌متر)، $I_{۲۰}$ شدّت ۲۰ دقیقه‌ای (سانتی‌متر بر ساعت)، $I_{۳۰}$ شدّت نیم‌ساعته (سانتی‌متر بر ساعت)، E انرژی جنبشی باران (تن در متر بر هکتار)، V حجم روانآب (مترمکعب)، T مدت بارندگی (دقیقه)، C ضریب روانآب q_b دبی پایه (مترمکعب بر ثانیه)، q_p دبی اوج روانآب مستقیم (مترمکعب بر ثانیه)، r_p حداکثر شدّت لحظه‌ای (سانتی‌متر بر ساعت) و S رسوب (تن)

نتیجه

دقّت در (جدول ۲) نشان می‌دهد که ۱۲ رابطه اوّل بر ارتباط معنی‌دار ($P<۰/۰۱$) مقدار بارش، دبی پایه، دبی اوج، حجم سیلاب و شدّت 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 ۹۹/۹درصد و خطای تخمین بین ۱۵/۵۵ تا ۳۹/۷۸ دلالت داشته حال آن‌که ارتباط معنی‌دار ($P<۰/۰۱$) رابطه درجه سه دبی اوج روانآب مستقیم (q_p) و تولید رسوب (رابطه ۶) با ضریب تبیین ۹۲/۰درصد و خطای تخمین ۲۰/۴۳درصد از کارایی بالاتری در بین رگرسیون دو متغیّره نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار بوده است. همچنین این جدول نشان می‌دهد که بر اساس روابط رگرسیونی چند متغیّره (رابطه ۱۴ تا ۲۸) با ضرایب تبیین حداقل ۸۸/۸ و حداکثر ۹۹/۸ و با خطای تخمین حداقل و حداکثر به‌ترتیب ۶/۶۴ و ۳۶/۷۶درصد با خطای تائید کم برای حوزهٔ آبخیز چهل گزی سدّ 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 دومتغیّره در اشکال مختلف تغییر شکل در مقایسه با چند متغیّره از کارایی بالاتری برخوردار هستند. تبیین ارتباطات غیرخطی بین متغیّرهای مطالعه شده با تولید رسوب با تاکیدات سینگ مبنی بر برتری ارتباطات غیرخطی متغیّرهای هیدرولوژی با یکدیگر (۱۶) تطابق دارد. همچنین با نظر صادقی و همکاران مبنی‌بر برتری مدل‌های دو متغیّره در تبیین ویژگی‌های روانآب در حوزهٔ آبخیز کسیلیان به‌واسطه ایجاد خطای درونی ناشی از ورود متغیّرهای زیادی و دارای ارتباط درونی در هنگام استفاده از رگرسیون‌های چندمتغیّره همخوانی دارد (۵). همچنین دقّت مدل‌های دو متغیّره به‌دست آمده دلالت بر دقّت بسیار قابل قبول آنها داشته که ضروت مداخله عوامل دیگر کنترل‌کننده 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 متغیّره در اشکال نهایی مدل‌های ارایه شده برآورد فرسایش و یا واسنجی مدل‌ها در مقایسه با دومتغیّره با لحاظ مجموع بیشتری از عوامل ورودی (بارش)، سامانه آبخیز (پوشش گیاهی، خاک، مدیریت زراعی و اراضی و توپوگرافی) و همچنین ویژگی‌ها روانآب خروجی حوزه توسط ماسگریو، مورگان و مورگان فینی، استیلک، گاوریلوویچو کمیته تحقیقات جنوب ناحیه پیسیفیک (۱، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۸ و ۱۹)

Archive of SID

www.SID.ir

در مطالعات ناحیه‌ای تولید رسوب مدّ نظر قرارگرفته است.

ارزیابی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیّره (جدول ۳) نشان داد که مقدار باران و شدّت ۲۰ دقیقه‌ای به‌ترتیب با نقش کنترل‌کنندگی ۲۴/۵۳ و ۲۲/۵۳ قادر به‌تبیین بیش از ۴۷درصد از تغییرپذیری تولید رگبار در حوزه مورد مطالعه می‌باشد. جدول مذکور همچنین نشان می‌دهد که شدّت ۳۰ دقیقه‌ای در رتبه بعدی اهمیّت قرار می‌گیرد. از آن‌جا که بحث در جدول مذکور همچنان نشان دهنده نقش کنترل‌کنندگی عوامل مرتبط با بارش بیش از ۸۰درصد بوده که پس از آن عامل حجم رواناب با مشارکت نسبی کم‌تر از ۷درصد عهده‌دار تنظیم رسوب خروجی ناشی از رگبار در حوزهٔ آبخیز چهل گزی سدّ قشلاق می‌باشد. یافته مذکور هم‌چنین با نظرات ASCE ، ویلیامز، کینل و صادقی و همکاران مبنی بر برتری کنترل-کنندگی عامل روانآب بر بارش مغایرت داشته حال آن‌که با نظرات صادقی و همکاران در راستای ضرورت تعیین متغیّرهای بارش و روانآب 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 روآناب در این تحقیق را می‌توان به کوچک بودن نسبی مساحت حوزهٔ 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 متغیّرهای بارش و روانآب در تبیین رسوب ناشی از رگبارها در حوزهٔ آبخیز چهل‌گزی سدّ قشلاق انجام شده است. نظر به نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر می‌توان جمع‌بندی نمود که متغیّرهای مورد استفاده، ضریب توافق آن‌ها با مقادیر مشاهده‌ای رسوب در بیشتر موارد بالا می‌باشد. از طرفی با توجّه به روابط دو و چند متغیّره حاصل در مدل‌سازی در بیشتر موارد تنها شکل تغییریافته مدل‌ها قادر به تبیین تغییرات مورد بررسی بوده و همچنین کارآیی مدل‌های رگرسیونی دو متغیّره با توجّه به شاخص‌های آماری مورد نظر بیش‌تر از مدل‌های چند متغیّره ارزیابی گردید. با توجّه 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 تهیّه شده در سایر نقاط کشور پیشنهاد می‌شود.

منابع

۱- احمدی، ح.، ۱۳۷۸. ژئومرفولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوّم، جلد ۱، ۶۸۷ ص.

۲- خالدی‌درویشان، ع.، ۱۳۸۳. ارتباط خصوصیات هیدرولوژیکی حوزهٔ آبخیز با مورفومتری رسوبات بستر در رودخانهٔ واز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرّس، ۸۵ ص.

۳- رفاهی، ح. ق. ۱۳۷۹. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوّم، ۵۵۱ص.

۴- سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان، ۱۳۷۲. مطالعات تفضیلی اجرایی آبخیزداری پارسل A قشلاق، ۲۶۱ ص.

۵- صادقی، س.ح. ر.، مرادی، ح.ر.، مزیّن، م. و وفاخواه، م.، ۱۳۸۴. کارایی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدل-سازی بارش- روانآب (مطالعه موردی: حوزهٔ آبخیز کسیلیان)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲ (۳)، ۸۱-۹۰.

Archive of SID

www.SID.ir

۶- مهدوی، م.، ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی، جلد اوّل، 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., Verstraeeten, 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 Coutinbo, M.A., 2001. Anew 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 Reasearch 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.

Archive of SID

www.SID.ir

Storm-Wise sediment yield prediction using rainfall and runoff variables

L. Gholami–H.R. Sadeghi*–A.V. Khaledi Darvishan– A.R. Telvari[1]

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

Archive of SID

*- 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

www.SID.ir