

تخمین رسوب رگبار بر اساس متغیرهای بارش و روان آب در حوزه آبخیز

آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس

سیدحمیدرضا صادقی^{1*}، حمزه نور² و سمیه فضلی³، محمدباقر ریسی³

تاریخ دریافت: 89/7/26 تاریخ پذیرش: 90/3/21

1، 2 و 3 به ترتیب استاد، دانشجوی دکترا و دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران

* مسئول مکاتبه: E-mail: sadeghi@modares.ac.ir

چکیده

فرسایش خاک و تولید رسوبات معلق از جمله محدودیت‌های اساسی در استفاده پایدار از منابع آب و خاک به شمار می‌رود. از این رو ارزیابی فرآیندهای حاکم بر رفتار آن‌ها به منظور درک بهتر سامانه‌های آبخیز و تبیین شیوه‌های مدیریتی مناسب ضروری است. از طرفی رفتار متفاوت سامانه‌های مختلف در فرآیند فرسایش خاک و تولید رسوب و ضرورت مطالعات منطقه‌ای نیز تأیید شده است. به همین دلیل تحقیق حاضر برای ارزیابی امکان برآورد رسوب طی هشت رگبار به‌وقوع پیوسته در پاییز و زمستان 1387 بر اساس مؤلفه‌های اصلی بارش و روان آب در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس (کجور) با مساحت 500 کیلومتر مربع در استان مازندران انجام گرفت. برای این منظور از مدل‌های رگرسیونی دو و چند متغیره در شکل‌های ساده و تغییر یافته داده‌های مستقل و وابسته استفاده گردید. نتایج تحقیق حاضر دلالت بر توانایی این مؤلفه‌ها در تخمین رسوب رگبارها در حد قابل قبول با استفاده از روابط رگرسیونی دو متغیره و غیر خطی با مقادیر ضریب تبیین، خطای تخمین و ضریب کارایی به ترتیب بیش از 76، کم‌تر از 69 و بیش از 52 درصد داشته است. نتایج تحقیق حاضر امکان استفاده از روش مزبور را در برآورد تولید رسوب در مناطقی که شرایط مشابه با شرایط محل تحقیق دادند فراهم می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: برآورد رسوب، حوزه آبخیز کجور، متغیرهای بارش و روان آب، مدل‌های رگرسیونی

Storm-Wise Sediment Yield Prediction Using Rainfall and Runoff Variables at Educational and Research Watershed of Tarbiat Modares University

SHR Sadeghi^{1*}, H Noor², S Fazli³ and MB Raeisi³

Received: 18 October 2010 Accepted: 11 June 2011

^{1,2,3}Professor, PhD Student and Former Graduate Students, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

*Corresponding author: E-mail: sadeghi@modares.ac.ir

Abstract

Soil erosion and sediment yield from watersheds restrict sustainable use of land resources. Evaluation of governing process is, therefore, necessary for better understanding of the watershed system leading to appropriate management approaches. On the other hand, different behaviors of soil erosion and sediment yield as well as the necessity of regional studies have been often emphasized. The purpose of this study was to evaluate the applicability of rainfall and runoff variables of 8 storm events occurred during 2008 in prediction of storm-wise sediment yield in Educational and Research Watershed of Tarbiat Modares University (Kojour) with about 500 Km² in Mazandaran Province. Both bivariate and multivariate regression models were applied with using simple and transformed dependent and independent variables. Results showed that the developed regression models had good capability for estimation of storm-wise sediment yield with coefficient of determination, above 0.76, estimation error below 69% and efficiency coefficient of greater than 0.52. These findings may be convincing for the application of the developed models in this investigation to other areas similar to the studied area and leading to suitable soil and water management.

Key words: Kojour watershed, Rainfall and runoff variables, Regression models, Sediment yield estimation

مقدمه

زودیافت و مطابق با عوامل مؤثر در فرآیند فرسایش و رسوب کاملاً احساس می‌شود. مسلم مقدار رسوب خروجی از حوزه آبخیز وابسته به متغیرهای کنترل-کننده فرسایش و حمل رسوب می‌باشد در نتیجه میزان خروجی رسوب از حوزه آبخیز را می‌توان تابعی از مقدار روان‌آب به‌عنوان پاسخ سامانه حوزه آبخیز به بارش دانست. در این راستا استفاده از داده‌های زودیافت بارش و روان‌آب، به‌دلیل دسترسی آسان به آنها در بیشتر حوزه‌های آبخیز کشور، به‌منظور برآورد میزان رسوب خروجی از حوزه آبخیز مفید می‌باشد. روپرا و باتالا (2006) با بررسی روابط آبنگار و رسوب‌نگار در رودخانه توردرا اسپانیا وزن کل خشک رسوبات حمل شده در هر سیلاب را با دوام سیل و بزرگی آن مرتبط دانستند. بررسی تغییرپذیری زمانی رابطه میان بارش، دبی و غلظت رسوب معلّق در یک حوزه آبخیز کوهستانی در مدیترانه توسط لانا-رنولت و همکاران (2007) مد نظر قرار گرفت. ایشان مشاهده کردند که حجم کلّ رسوب هم‌بستگی بالایی با حجم روان‌آب، دبی متوسط، دبی اوج، ضریب روان‌آب و دبی پایه دارد. آنها بیش‌ترین هم‌بستگی را میان حجم رسوب و حجم روان‌آب، حجم رسوب و دبی اوج در طیّ فصل خشک مشاهده کردند. در ادامه زابالتا و همکاران (2007) به بررسی فاکتورهای کنترل‌کننده رسوب معلّق در طیّ یک واقعه بارش-روان‌آب در سه حوزه آبخیز با مساحت‌های متفاوت در اسپانیا پرداختند. در این بررسی مشخص شد که در دو حوزه آبخیز غلظت رسوب معلّق به دبی اوج وابسته بود و در یک حوزه آبخیز به‌دلیل کافی نبودن رسوب برای حمل در هر رگبار، ارتباط میان آن دو معنی‌دار نشد. همچنین نادال-رومرو و همکاران (2008) حوزه آبخیز آراگوس اسپانیا در مناطق هزاردره‌های مدیترانه را مورد پایش قرار دادند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که میزان بارش با ضریب روان‌آب، حداکثر غلظت رسوب معلّق و رسوب‌دهی کل هم‌بستگی معنی‌داری داشته‌اند. همچنین حداکثر غلظت رسوب معلّق و رسوب‌دهی کل هم‌بستگی بالایی نیز با میزان کلّ بارش، دبی اوج و عمق روان‌آب داشته است. در نهایت تحقیق رودریگز-بلانکو و

فرسایش خاک از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی و تولید غذا در جهان است که اثر مخرب بر زیست‌بوم-های طبیعی تحت مدیریت انسان دارد. هر چند فرسایش خاک در طول تاریخ وجود داشته، ولی در سال‌های اخیر به‌دلیل کاربری نامناسب اراضی شدت یافته است. فرسایش خاک علاوه بر آثار سوئی که در منطقه فرسایش یافته بر جای می‌گذارد دارای مشکلات برون منطقه‌ای¹ فراوانی نیز می‌باشد (کوتیاری و همکاران 2002). از طرفی بررسی فرسایش خاک در مقیاس حوزه‌های آبخیز برای دستیابی به مدیریت صحیح اراضی و حفظ کمیّت و کیفیت آب و خاک از ضروریات اساسی محسوب می‌گردد. با این حال به‌دلیل محدودیت-های مختلف نظیر کافی نبودن ایستگاه‌های هیدرومتری، مشکل جمع‌آوری داده‌های رسوب معلّق آبراهه‌ها و هزینه‌بر بودن آن، اطلاعات مشاهده‌ای در این زمینه در سطح جهان به‌ویژه کشورهای در حال توسعه ناچیز است (صادقی و سینگ 2005، صادقی و همکاران 1388). بنابراین یافتن روش‌ها و مدل‌های مناسب برای برآورد دقیق میزان رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز امری ضروری می‌باشد. بدین‌منظور تحقیقات و بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه برآورد فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز از سال‌ها پیش آغاز شده که منجر به ارائه مدل‌های تجربی، مفهومی و فرآیندی برآورد فرسایش و رسوب در سطح جهان گردیده است. با وجود این تلاش‌ها ممکن است یک مدل با مفهوم‌سازی صحیح فرآیند فرسایش و رسوب به‌دلیل در دسترس نبودن اطلاعات ورودی در بسیاری از مناطق کاربرد نداشته باشد (مریت و همکاران 2003). همچنین اغلب مدل‌ها در شرایط خاصّ ایجاد شده‌اند و کاربرد آنها در سایر مناطق بدون واسنجی باعث ایجاد خطای زیاد در برآوردها می‌گردد.

بنابراین از آن‌جا که مدل‌های ارائه شده متکی به داده‌های ورودی متفاوت هستند و برای شرایط خاص ایجاد شده‌اند لذا نیاز به مدل‌هایی با ورودی‌های

¹ Off site effects

مواد و روش‌ها

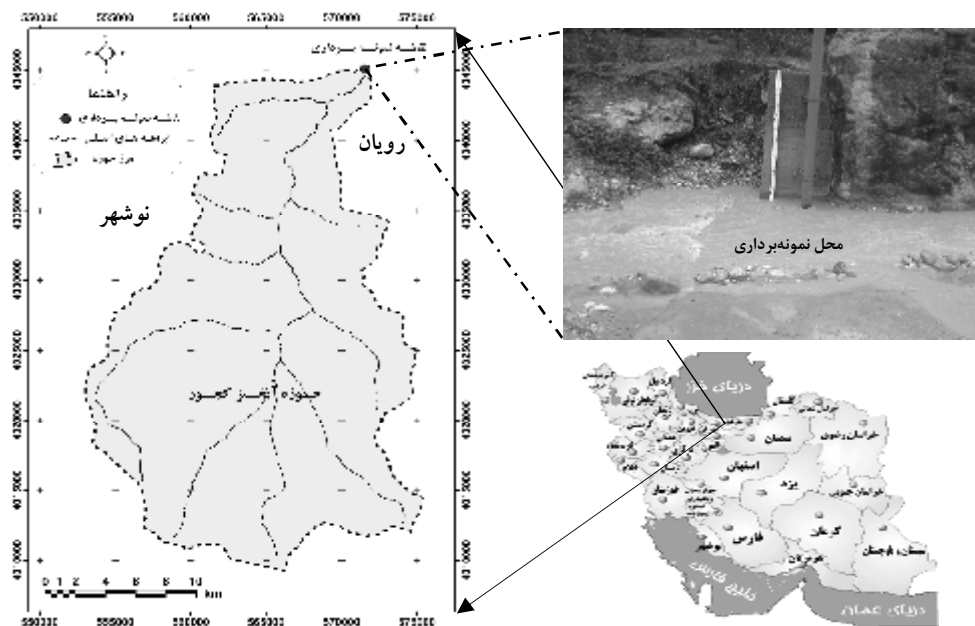
به منظور مدل‌سازی رسوب ناشی از رگبارها با استفاده از مؤلفه‌های بارش و روان‌آب حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس با مساحت حدود 50 هزار هکتار انتخاب گردید. این حوزه آبخیز یکی از حوزه‌های شماره 46 البرز مرکزی در ارتفاعات جنگلی کجور در جنوب شرقی شهرستان نوشهر است. این حوزه آبخیز از شمال با دریای خزر و از جنوب با بخش کجور مجاور است. حداقل و حداکثر ارتفاع و شیب حوزه آبخیز به ترتیب 150 و 2650 متر از سطح آب‌های آزاد و 45 درصد می‌باشد (صادقی و سعیدی 2010). شکل 1 محل نمونه‌برداری و موقعیت حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس در شمال ایران را نشان می‌دهد.

برای انجام تحقیق حاضر ابتدا مبادرت به اندازه‌گیری رسوب ناشی از وقوع رگبارها طی دوره مطالعاتی (مهر 1387 تا بهار 1388) از طریق تهیه رسوب‌نگارها (صادقی و همکاران 1388) گردید. برای تهیه رسوب‌نگار رگبارها، نمونه‌برداری از آب رودخانه طی رگبارها هم‌زمان با وقوع رگبار بعد از کسب اطلاع از متصدیان محلی و با حضور سریع در حوزه آبخیز از جریان آب رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری به وسیله ظروف پلاستیکی 2 لیتری و به روش انتگراسیون عمقی (ادوارد و گلیسون 1999، روویرا و باتالا 2006) با فواصل زمانی یک ساعت به منظور ثبت حداکثر نوسانات جریان به عمل آمد. هم‌زمان با برداشت هر نمونه رسوب دبی جریان رودخانه نیز با اندازه‌گیری سرعت آب با استفاده از مولینه مدل OTT 1-170690 و نیز جسم شناور واسنجی شده (صادقی و همکاران 1388)، قرائت اشل و اندازه‌گیری سطح مقطع به دست آمد. نمونه‌برداری رسوب و ثبت دبی از شروع رگبار و کسب اولین اطلاع از وقوع سیلاب و یا پیش بینی‌های سازمان هواشناسی کشور تا تمام شدن رگبار و رسیدن ارتفاع جریان رودخانه به ارتفاع اولیه قبل از رگبار و یا تاریکی مطلق هوا ادامه یافت.

بعد از نمونه‌برداری، ظروف حاوی آب و رسوب به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری غلظت رسوب

همکاران (2010) در زمینه بررسی فاکتورهای کنترل کننده تولید رسوب و رواناب در مناطق مرطوب اسپانیا نشان دهنده وقوع زود هنگام اوج اغلب رسوب‌نگارها در مقایسه با آب‌نگارها بود و بر نقش مهم مناطق نزدیک کانال در تامین رسوب دلالت داشت. در ایران نیز تلوری و همکاران (1386) یک مدل خطی گسسته برای شبیه‌سازی تغییرات زمانی بار رسوب معلق در پایه رگبار برای حوزه آبخیز گاران در استان کردستان تهیه نمودند. نتایج بررسی 12 رگبار نشان داد که این مدل می‌تواند با استفاده از رسوب‌دهی و شدت بارش یک ساعت قبل و همچنین بارش دو ساعت قبل با ضریب همبستگی 95 درصد رسوب معلق را برآورد نماید. غلامی و همکاران (1387) در مدل‌سازی رسوب ناشی از رگبارها با استفاده از متغیرهای باران و روان‌آب با بررسی 11 رگبار در حوزه آبخیز چهل‌گزی استان کردستان مشاهده کردند که مدل‌های رگرسیونی دو متغیره در مقایسه با چند متغیره از کارایی بالاتری برخوردار است و همچنین دریافتند که در تبیین رسوب ناشی از رگبار، متغیرهای بارش نسبت به دبی عمل‌کرد بهتری را داشته‌اند.

بررسی تحقیقات صورت گرفته در زمینه مدل‌سازی رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز با استفاده از متغیرهای زود یافت بارش و دبی و تحلیل روابط آن‌ها با یکدیگر نشان داد که تحقیقات جامع در زمینه ارتباط فرآیندی بین بارش، روان‌آب و رسوب معلق در مقیاس رگبار به دلیل ضرورت مطالعه آن در طراحی‌های حفاظت خاک و آب بسیار کم و صرفاً در سال‌های اخیر صورت گرفته است. همچنین در هیچ‌کدام از تحقیقات موجود، تحلیل فرآیندهای تبدیل بارش به روان‌آب و تأثیر هر یک از آن‌ها در کنترل رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز جنگلی مد نظر نبوده است. از این رو در تحقیق حاضر سعی بر آن است تا امکان برآورد رسوب معلق رگبارها با استفاده از متغیرهای باران و روان‌آب در مقیاس رگبار به دلیل ضرورت آن در انجام بسیاری از اقدامات مدیریتی حفظ آب و خاک در حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس به عنوان نماینده‌ای از جنگل‌های هیرکانی شمال کشور صورت گیرد.



شکل 1- موقعیت حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس در استان مازندران و ایران

از روش تخلیه آب¹ استفاده شد (والینگ و همکاران 2001). در این روش ابتدا یک لیتر نمونه آب و رسوب را درون بشر ریخته، سپس آن را به مدت 48 ساعت به حالت سکون نگه داشته و سپس به آرامی با کج کردن بشر اقدام به تخلیه آب بالای رسوبات گردید. بعد از خالی کردن آب اضافی، رسوبات موجود در کف ظرف را شسته و درون فویل‌های آلومینیمی از قبل تهیه و توزین شده ریخته و در آون در دمای 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت خشک گردید (پوتجارون و پونگون 1987). با توزین نمونه‌های فویل همراه رسوب و کسر نمودن وزن فویل‌های اولیه، غلظت رسوب در نمونه برحسب گرم در لیتر محاسبه شد. پس از تعیین غلظت رسوب در زمان‌های مختلف، تغییرات زمانی رسوبات معلّق عبوری از رودخانه را با زمان و برای هر رگبار رسم گردید. داده‌های مربوط به بارش هر رگبار نیز از ایستگاه‌های هواشناسی نوشهر و کجور به ترتیب مستقر در نزدیک‌ترین بخش به پایین دست و بالا دست حوزه آبخیز به دست آمد. مؤلفه‌های مرتبط با تمام رگبارها (میزان بارش و متوسط و

حداکثر شدت بارش) با استفاده از معادله گرادیان بارش و سطح تحت پوشش هر یک از خطوط هم‌بارش در منطقه مورد مطالعه تعیین گردید. در ادامه با استفاده از شاخص فی و مد نظر قرار دادن رواناب مستقیم، مقدار بارش مازاد محاسبه شد. همچنین با استفاده از روش خط مستقیم مقدار دبی پایه از هیدروگراف سیل جدا گردید (سوبرامانیا 2000). در نهایت با استفاده از متغیرهای بارش (میزان بارش و متوسط و حداکثر شدت بارش) در دو به ایستگاه هواشناسی منطقه و روان‌آب (دبی اوج و متوسط و حجم روان‌آب) به عنوان متغیرهای مستقل (غلامی و همکاران 1387، فضل‌ی 1388) برای برآورد رسوب به عنوان متغیر وابسته استفاده شد. همچنین به منظور دستیابی به مدل‌های بهتر از ترکیب مؤلفه‌های بارش و روان‌آب (فضل‌ی 1388) نیز استفاده گردید. ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته در حالت ساده و ضرب متغیرها از طریق رگرسیون دو متغیره (خطی و غیر خطی) و چند متغیره (با و بدون تجزیه تحلیل عاملی) (وفاخواه 1385) در نرم‌افزار SPSS 16.0 استفاده گردید. در این مرحله از مجموعه رگبارهای به‌وقوع پیوسته در دوره مورد

¹ Decantation

مجموعه 409 داده در حوزه آبخیز مطالعاتی همخوانی دارد. این موضوع نمایانگر تأثیرپذیری زیاد غلظت رسوب معلق از عوامل مختلف از جمله خصوصیات بارش، موجودیت و قابلیت دسترس بودن رسوب، میزان روان‌آب و شرایط رطوبت خاک می‌باشد که با یافته‌های والینگ و وب (1982)، لفرانسیوس و همکاران (2007) و صادقی و همکاران (2008) در نقاط مختلف جهان هم‌سو می‌باشد.

با توجه به جدول 2 ملاحظه می‌گردد که روابط به دست آمده دارای ضریب تبیین بسیار متفاوت و در دامنه 0/360 تا 0/994 قرار دارند.

لازم به ذکر است روابط درجه دو و بالاتر علی‌رغم برخورداری نسبی از عملکرد مناسب به دلیل عدم ارائه روند مشخص و نیز تغییرات نوسانی آن‌ها از مجموع روابط حذف گردیدند. از مجموع 17 مدل ارائه شده در جدول 2 به ترتیب 15 مدل یک متغیره و 2 مدل 2 متغیره برای تخمین رسوب‌دهی در مقیاس رگبار حاصل شده است. همچنین 14، 2 و 1 مدل به‌ترتیب با استفاده از داده‌های روان‌آب، بارش و ترکیب هر دو می‌باشد. بررسی دقیق روابط به‌دست آمده در جدول 2 نشان‌دهنده اهمیت بیشتر مؤلفه‌های روان‌آب نسبت به بارش در برآورد رسوب ناشی از رگبار می‌باشد که با یافته‌های ویلیامز (1975)، کینل (2001) و صادقی و مزویاما (2007) مبنی بر برتری نقش روان‌آب بر بارش در تغییرات رسوب معلق همخوانی دارد. اما یافته تحقیق حاضر با نتایج غلامی و همکاران (1387) در حوزه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق مبنی بر نقش معنی‌دار شدت بارندگی در تولید رسوب مغایرت دارد. از این‌رو می‌توان قابلیت و توانایی دبی جریان در انتقال ذرات فرسوده و متناسب با توان حمل جریان میزان رسوب خروجی در حوزه آبخیز مطالعاتی را تأیید نمود.

مطالعه، به‌ترتیب 75 و 25 درصد رگبارها به‌طور تصادفی برای مدل‌سازی و تأیید مدل‌های به‌دست آمده استفاده گردید (صادقی و همکاران 1385، داس 2000). سپس برای انتخاب مدل‌های بهینه، خطای تخمین، ضریب کارایی و مجذور میانگین مربعات خطا برای کلیه مدل‌های معنی‌دار محاسبه و مدل‌هایی با خطای تخمین پایین و ضریب تبیین بالا، ضریب کارایی نزدیک به یک و مجذور میانگین مربعات خطای کم‌تر انتخاب گردید (صادقی و همکاران 1385، گرین و استفنسون 1986، لی‌یو و لی 2008).

نتایج و بحث

در این تحقیق مقادیر بارش، روان‌آب و رسوب رگبارها (جدول 1) به‌روش ارائه شده جمع‌آوری و در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از بین تمامی روابط حاصل از مدل‌سازی بین مؤلفه‌های بارش، روان‌آب و رسوب با استفاده از رگرسیون دو و چند متغیره، 17 مدل معنی‌دار به‌شرح جدول 2 حاصل شد.

بررسی آماره‌های توصیفی موجود در جدول 1 و نیز کل داده‌های رسوب و دبی (مهر 1387 تا تیر 1388) جمع‌آوری شده به‌صورت روزانه طی دوره مطالعاتی به‌تعداد 308 داده نشان دهنده تغییرات زیاد غلظت رسوبات معلق با میانگین $4/33 \pm 13/70$ گرم در لیتر و ضریب تغییرات 316/35 درصد و دبی با $0/36 \pm 0/42$ مترمکعب بر ثانیه و ضریب تغییرات 118/56 درصد بوده است. در این تحقیق تغییرپذیری بیشتر غلظت رسوب معلق با توجه به دامنه گسترده‌تر، در مقایسه با مقادیر دبی تأیید شده است که با یافته‌های ویلیامز (1989) در امریکا، لفرانسیوس و همکاران (2007) در فرانسه، صادقی و همکاران (2008) در یک حوزه آبخیز جنگلی در ژاپن و نیز صادقی و همکاران (2009) با

جدول 1 آماره‌های بارش، دبی و رسوب معلّق رگبارهای مطالعه شده در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس

کل رسوب (تن)	رسوب		روان آب		بارش			مشخصات و		تاریخ رگبار
	غلظت رسوب معلّق (گرم در لیتر)		حجم (مترمکعب)	دبی (مترمکعب بر ثانیه)		ارتفاع بارش (میلی متر)	شدت (میلی متر در ساعت)		تداوم (ساعت)	
	میانگین	حداکثر		میانگین	حداکثر		میانگین	حداکثر		
0/81	0/55	0/55	2205	0/05±0/04	0/14	1/58	0/26±0/31	0/48	6	1387/07/11
258/00	108/00	108/00	6724	0/19±0/15	0/52	44/87	2/99±5/27	12/33	15	1387/07/19
25/00	16/00	16/00	5310	0/13±0/05	0/22	10/10	0/37±0/40	1/17	28	1387/08/06
0/50	0/68	0/68	1697	0/04±0/02	0/08	15/67	0/74±1/10	3/20	21	1387/08/08
19/90	23/10	23/10	2708	0/08±0/05	0/19	16/49	0/78±1/11	3/20	21	1387/08/10
138/20	6/96	6/96	33261	0/22±0/21	0/63	39/73	2/20±1/39	4/68	18	1387/08/18
152/20	6/75	6/75	39534	1/55±0/33	2/22	53/32	1/11±0/95	3/56	48	1387/09/12
0/22	0/26	0/26	1240	0/05±0/01	0/07	9/25	0/61±0/81	2/02	15	1387/09/26

جدول 2- مدل‌های معنی‌دار آماری با استفاده از مؤلفه‌های بارش و روان آب در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس

شماره رابطه	نوع مدل	سطح معنی‌داری	ضریب تبیین	خطا (درصد)		ضریب	مجذور میانگین مربعات خطا
				تأیید	تخمین		
1	$SS_t = 47/007 \ln Q_{av} + 149/394$	0/014	0/814	725/78	9/12	0/81	34/86
2	$SS_t = 259/738 Q_{av}^{1/834}$	0/027	0/746	96/09	91/25	-6/59	22/74
3	$SS_t = e^{5/496 - 0/285/Q_{av}}$	0/002	0/926	33/48	72/09	0/71	43/80
4	$SS_t = 71/55 Q_p + 12/585$	0/039	0/696	2352/85	24/57	0/69	44/61
5	$SS_t = 51/293 \ln Q_p + 124/031$	0/004	0/895	683/10	15/14	0/89	26/21
6	$SS_t = -10/689/Q_p + 124/997$	0/037	0/704	1407/80	92/95	0/70	43/96
7	$SS_t = 99/353 Q_p^{2/021}$	0/011	0/360	55/77	86/16	-3/96	180/12
8	$SS_t = e^{5/131 - 0/494/Q_p}$	0/003	0/907	61/02	55/75	0/84	31/88
9	$SS_t = 3/416 P_t - 20/986$	0/003	0/917	1508/43	14/44	0/917	23/27
10	$SS_t = 0/004 R_v - 3/976$	0/000	0/994	211/91	78/332	0/99	6/50
11	$SS_t = 46/532 \ln R_v - 349/154$	0/001	0/960	1293/66	41/37	0/96	16/67
12	$SS_t = 5/68 \times 10^{-7} R_v^{1/087}$	0/002	0/933	15/46	94/67	0/76	39/24
13	$SS_t = -1/901 \times 10^5 / R_v + 119/135$	0/036	0/705	1692/46	40/563	0/70	39/24
14	$SS_t = e^{4/934 - 9 \times 103 / R_v}$	0/001	0/953	20/61	80/363	0/89	26/29
15	$SS_t = 0/789 e^{1/462 \times 10^{-4} R_v}$	0/023	0/764	69/192	96/64	0/52	55/90
16	$SS_t = 2/949 P_t + 17/861 I_{av} - 26/657$	0/018	0/931	1546/37	21/04	0/87	21/25
17	$SS_t = 71/52 Q_{av} + 65/483 I_{av} - 29/23$	0/001	0/952	1576/87	4/18	0/91	17/64

در روابط بالا، SS_t ، Q_{av} ، Q_p ، R_v ، P_t ، I_{av} به ترتیب رسوب حمل شده طی یک رگبار (تن)، دبی متوسط (مترمکعب بر ثانیه)، دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)، حجم روان آب (مترمکعب)، میزان بارش (میلی متر)، شدت متوسط بارش (میلی متر بر دقیقه) می‌باشد.

ضریب کارآیی و مجذور میانگین مربعات خطا و سپس با توجه به سهولت دست‌رسی به متغیرهای مستقل مورد استفاده در مدل صورت پذیرفت. بر این اساس رابطه [14] به‌عنوان رابطه به‌منظور برآورد رسوب خروجی از حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس و با استفاده از حجم روان‌آب انتخاب گردید.

از نتایج حاصل از تحقیق حاضر می‌توان این طور جمع‌بندی نمود که مدل‌های بارش-روان‌آب و رسوب‌علی‌رغم توانایی مناسب در برآورد رسوب ناشی از رگبارها از تغییرپذیری درونی و نیز بیرونی زیادی برخوردار بوده که ضرورت مطالعات تقصیلی در هر ناحیه در مقیاس مختلف زمانی و مکانی را تأیید می‌نماید. اگرچه ارائه مدل‌های جامع ناحیه‌ای و یا قابل کاربرد در هر کاربری خاص مستلزم انجام مطالعات گسترده، دقیق و با طول دوره آماری بیشتر می‌باشد.

دقت در این روابط نشان دهنده برتری مدل‌های رگرسیونی ساده یا دو متغیره و غیر خطی نسبت به سایر شیوه‌ها می‌باشد که این امر با نظر صادقی و همکاران (1384) در حوزه آبخیز کسلیان و نیز غلامی و همکاران (1387) در حوزه آبخیز چهل‌گزی استان کردستان مبنی بر برتری مدل‌های دو متغیره به‌واسطه ایجاد خطای درونی ناشی از ورود متغیرهای زیاد و دارای ارتباط درونی در هنگام استفاده از رگرسیون‌های چند متغیره همخوانی دارد. هم‌چنین برتری ارتباطات غیر خطی بین متغیرهای مطالعه شده در این تحقیق با تأکیدات سینگ (1992) مبنی بر برتری روابط غیرخطی متغیرهای هیدرولوژی با یکدیگر تطابق دارد.

در نهایت انتخاب مدل بهینه در وهله اول بر اساس آماره‌های قابل قبول برای هر یک از مدل‌های تهیه شده شامل سطح معنی‌داری، ضریب تبیین، خطای تخمین،

منابع مورد استفاده

- تلوری ع ر، بیرویدیان ن، منوچهری ا، 1386. مدل‌سازی تغییرات زمانی رسوب مطالعه موردی: حوزه آبخیز گاران در استان کردستان. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره 75. صفحات 65 تا 70.
- صادقی س ح ر، مرادی ح ر، مزین م، وفاخواه م، 1384. کارآیی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدل‌سازی بارش-رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسلیان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره 12. صفحات 113 تا 122.
- صادقی س ح ر، نجفی د، وفاخواه م، 1385. تحلیل منطقه‌ای برآورد رسوب معلق در حوضه اصفهان-سیرجان، تحقیقات منابع آب ایران، شماره 2. صفحات 51 تا 65.
- صادقی س ح ر، نور ح، رئیسی م ب، 1388. تغییرپذیری دبی و غلظت رسوب معلق طی پاییز 1387 در حوزه آبخیز جنگلی کجور، صفحه 55. مجموعه خلاصه مقالات پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، 2-3 اردیبهشت، گرگان.
- غلامی ل، صادقی س ح ر، خالدی درویشان ع، تلوری ع، 1387. مدل‌سازی رسوب ناشی از رگبارها با استفاده از متغیرهای باران و روان‌آب. مجله علوم و صنایع کشاورزی، شماره 22. صفحات 263 تا 271.
- فضلی س، 1388. مدل‌سازی بارش، روان‌آب و رسوب معلق در حوزه آبخیز معرف خامسان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.

وفاخواه م، 1385. تجزیه و تحلیل ناحیه‌ای رسوب در بخشی از حوزه‌های آبخیز ساحلی دریای خزر، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره 13. صفحات 121 تا 131.

Das G, 2000. Hydrology and Soil Conservation Engineering. Prentice-Hall of India Press.

Edwards TK and Glysson GD, 1999. Field methods for measurement of fluvial Sediment. USGS Open-file Report 1-97 p. Available at: <http://water.usgs.gov/osw/techniques/Edwards-TWRI.pdf1999>.

Green IRA and Stephenson D, 1986. Criteria for Comparison of single event models, Hydrological Sciences Journal 31:395-411.

Kinnell PIA, 2001. The USLE-M and modeling erosion within catchment, *In*: Slott DE, Mohtar RH and Steinardt GC (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. USA.

Kothyari UC, Jain, M, and Raju KR, 2002. Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS. Hydrological Sciences Journal 47: 693-706.

Lana-Renault N, Regüés D, Martí-Bono C, Beguería S, Latron J, Nadal E, Serrano P, and García-Ruiz JM, 2007. Temporal variability in the relationships between precipitation, discharge and suspended sediment concentration in a Mediterranean Mountain Catchment, Nordic Hydrology 38: 139-150.

Lefrancois J, Grimaldi C, Gascuel-Oudoux C and Gilliet N, 2007. Suspended sediment and discharge relationships to identify bank degradation as a main sediment source on small agricultural catchments. Hydrological Processes 21: 2923-2933.

Liu X and Li J, 2008. Application of SCS model in estimation of runoff from small watershed in Loess Plateau of China, Chinese Geographical Sciences 18: 235-241.

Merritt WS, Letcher RA and Jakeman AJ, 2003. A review of erosion and sediment transport models, Environmental Modelling & Software 18: 761-799.

Nadal-Romero E, Regues D and Lateron J, 2008. Relationships among rainfall, runoff, and suspended sediment in a small catchment with badland, Catena 74: 127-136.

Putjaroon W and Pongewn K, 1987. Amount of runoff and soil loss from various land use sampling plots in Sakolnakorn Province, Thailand, Pp. 167-198. *In*: Proceeding of Forest Hydrology and Watershed Management, August 1987, IAHS-AISH, Publication.

Rodríguez-Blanco ML, Taboada-Castro MM and Taboada-Castro MT, 2010. Factors controlling hydro-sedimentary response during runoff events in a rural catchment in the humid Spanish zone. Catena 82: 206-217.

Rovira A and Batalla R, 2006. Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean Basin: The Lower Tordera (NE SPAIN), Geomorphology 79:58-71.

- Sadeghi SHR and Mizuyama T, 2007. Applicability of the Modified Universal Soil Loss Equation for prediction of sediment yield in Khanmirza Watershed, Hydrological Sciences Journal 52: 1068 – 1075.
- Sadeghi SHR, Mizuyama T, Miyata S, Gomi T, Kosugi K, Fukushima T, Mizugaki S and Onda Y, 2008. Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed. Geoderma 144:198-211.
- Sadeghi SHR and Saeidi P, 2010. Reliability of sediment rating curves for a deciduous forest watershed in Iran. Hydrological Science Journal 55:821-831.
- Sadeghi SHR and Singh JK, 2005. Development of a synthetic sediment graph using hydrological data. Journal of Agricultural Science and Technology (JAST) 7: 69-77.
- Sadeghi SHR, Saeidi P, Noor H and Raeisi MB, 2009. Understanding sediment yield process in a Hyrcanian forest watershed. Pp 119. International Conference Land Conservation-LANDCON 0905, May 26-30, Tara Mountain/Serbia.
- Singh VP, 1992. Elementary Hydrology. Eastern Economy Edition, New Delhi, India.
- Subramanya K, 2000. Engineering Hydrology, 2nd edition, New Delhi, India.
- Walling DE, Collins AL, Sickingabula HA and Leeks GJL, 2001. Integrated assessment of catchment suspended sediment budgets: A Zambian Example. Land Degradation and Development 12:387-415.
- Walling DE and Webb BW, 1982. Sediment availability and the prediction of storm-period sediment yield. Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield. IAHS Publication 137: 327-337.
- Williams JP, 1989. Sediment concentration versus discharge during single hydrologic events in rivers. Journal of Hydrology 111: 89-106.
- Williams JR, 1975. Sediment routing for agricultural watersheds. Water Resources Bulletin 11:965-974.
- Zabaleta A, Martínez M, Uriarte JA and Antigüedad I, 2007. Factors controlling suspended sediment yield during runoff events in small headwater catchments of the Basque Country. Catena 71: 179-190.