



ارزیابی کارایی مدل MUSLE در برآورد بار رسوب ناشی از رگبارهای منفرد در زیرحوزه‌های رودخانه دویرج استان ایلام

حاجی کریمی^۱، حسن فتحی‌زاد^{۲*}، محسن توکلی^۳، مسعود بازگیر^۴، پرویز گرایبی^۵

۱- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۲- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۵- کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی استان ایلام

چکیده

بخش عمده‌ای از کشور ما در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده که معمولاً میزان فرسایش و رسوب این مناطق بالاست، از اینرو بررسی فرآیند فرسایش خاک و تولید رسوب و ارزیابی عوامل مؤثر بر آن از ضروریات مدیریت صحیح منابع موجود در یک حوزه آبخیز می‌باشد. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی کارایی مدل MUSLE در برآورد رسوب در مقیاس رگبار و نیز مدل‌سازی آن با استفاده از خصوصیات رگبار و رواناب مربوطه در چهار زیرحوزه از زیرحوزه‌های آبخیز رودخانه دویرج استان ایلام بوده که در نهایت مدلی بهینه برای برآورد رسوب رگبار در این حوزه ارائه شده است. برای انجام تحقیق حاضر از ۲ رگبار به تاریخ‌های ۱۳۹۱/۱۰/۲ و ۱۳۹۱/۱۱/۱۰ استفاده شده است و نتایج بیانگر تطابق مناسب در مرحله واسنجی مقدار رسوب مشاهده‌ای و برآوردی هر چهار زیرحوزه می‌باشند. اما در مرحله اعتبارسنجی، مقدار رسوب مشاهده‌ای و برآوردی زیرحوزه‌های ۱، ۲ و ۳ دارای اختلاف بیشتری نسبت به زیرحوزه شماره ۴ می‌باشد که دلیل ناکارآمدی مدل در مرحله اعتبارسنجی را می‌توان به مساحت زیاد زیرحوزه‌ها نسبت داد. جهت ارائه مدل بهینه کل حوزه از رابطه رگرسیونی استفاده گردید که توان فاکتور رواناب از ۰/۵۶ به ۰/۳۴ تغییر نمود که دارای ضریب همبستگی بالایی (۹۰ درصد) می‌باشد. در این حالت اگر چنانچه زیرحوزه‌های دیگر حوزه آبخیز دویرج دارای شرایط مشابهی از نظر زمین‌شناسی، خصوصیات پوشش گیاهی، فیزیوگرافی و... باشند می‌توان از مدل تغییر شکل یافته MUSLE استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی:

فرسایش و رسوب، مدل MUSLE، واسنجی و اعتبارسنجی، دویرج.



Quarterly Journal of
Environmental Erosion Researches
No. 11, Autumn 2013, pp: 39-54
www.magazine.hormozgan.ac.ir

Evaluation the Efficiency of MUSLE Model in Sediment Load Estimation Resulting from Individual Rain Events in Doviraj River Sub-Basins, Ilam Province

Haji karimi^{1*}, Hassan Fathizad², Mohsen Tavakoli³, Masoud Bazgir⁴, Parviz Graee⁵

- 1- Associate professor, Faculty of Agriculture, Ilam University
- 2- M.Sc. Graduated, Faculty of Agriculture, Ilam University
- 3- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Ilam University
- 4- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Ilam University
- 5- Master of Science, Natural Resources Office, Ilam Province

Abstract

Most of our country is located in arid and semiarid climate which have high soil erosion and sediment production, therefore, the study of soil erosion and sediment yield and also evaluation of the effective factors on sediment production are very important in proper management of a watershed. The aim of present study is the efficiency evaluation of MUSLE model in sediment estimation in the storm scale and also its modeling based on storm and runoff characteristics in four sub-basins of Doviraj River watershed in Ilam Province, which finally an optimized model is given for estimation of sediment resulted from the storm. Two storms in different dates (2012.11.22 and 2013.1.30) are used in this research. Results indicate appropriate correspondence in calibration stage between the observed and estimated sediment yield in four sub-basins. But, in validation stage, a high difference between observation and estimation in 1, 2 and 3 sub-basins was observed compared to the 4th sub-basin. The reason of inefficiency of the model in validation stage is related to the vastness of sub-basins. In order to present the appropriate model of the whole area the regression relation has been used, in which the power of runoff factor changed from 0.56 to 0.34, which has a high correlation coefficient. In this case if the other sub-basins of Doviraj watershed have similar vegetation cover, physiography and geology conditions, the modified MUSLE model can be used

Keywords:

Erosion and Sediment, MUSLE Model, Calibration and Validation, Doviraj Catchment

۱. مقدمه

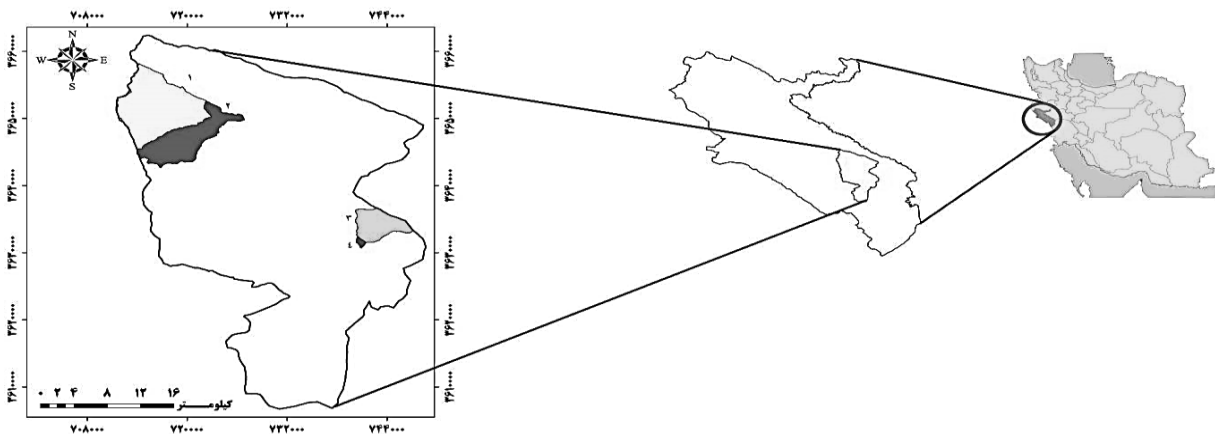
در حال حاضر ۳۶ درصد سطح خشکی‌های زمین را مناطق خشک و نیمه‌خشک در بر گرفته‌اند که ۱۹ درصد این سطوح، کاملاً خشک و در پاره‌ای موارد فاقد پوشش گیاهی هستند. فرسایش خاک یکی از مشکلات جهانی است که به طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد که برای تشکیل یک سانتی‌متر خاک بیش از سیصد سال زمان لازم است (Tripathi, 1988). فرسایش آبی که توسط آب ایجاد می‌شود، مهم‌ترین معضل در تخریب اراضی جهان بوده و به منزله تهدیدی جدی برای بقای بشر شناخته شده است (Walling, 1988). Pimental et al., 1995 هزینه‌های جهانی فرسایش خاک را حدود ۴۰۰ میلیارد دلار در سال برآورد کرده‌اند که مبلغی بیش از ۷۰ دلار به ازای هر فرد در سال می‌باشد. برنامه توسعه سازمان ملل (UNEP, 1999) فرسایش خاک در ایران را در حال حاضر نزدیک به ۲۰ تن در هکتار در سال تخمین زده است که نسبت به ۱۰ سال گذشته ۱۰ تن در هکتار افزایش یافته است. با توجه به مسائل ذکر شده، ارزیابی خطرات فرسایش خاک و رسوب امری مهم و ضروری برای توسعه روش‌های ممانعت از فرسایش به منظور مدیریت پایدار اراضی و منابع آب است (Vrieling et al., 2002). برآورد بار رسوب در جریان‌های رودخانه‌ای به لحاظ مدیریت اثرات آن بر کیفیت آب، زندگی آبریان، وسائل حمل و نقل و هم‌چنین در مدیریت رسوب مخازن، شستشو و ته‌نشینی رسوب در کانال‌ها و بنادر از اهمیت زیادی برخوردار است (Cambazoglu & Ggus, 2004). عدم وجود ایستگاه‌های رسوب‌سنجی در حوزه‌های آبخیز، برآورد میزان فرسایش خاک را با مشکل مواجه می‌سازد که این امر سبب استفاده از روش‌های تجربی برآورد فرسایش خاک می‌گردد. مدل اصلاح‌شده جهانی فرسایش خاک (MUSLE) از جمله مواردی است که به صورت فراوان در اغلب نقاط جهان جهت برآورد بار رسوب در طی رگبار مورد استفاده قرار می‌گیرند (صادقی و همکاران، ۲۰۰۴). در بحث برآورد و اندازه‌گیری فرسایش و رسوب با استفاده از مدل MUSLE تحقیقات گوناگونی صورت گرفته است. Epifanio et al., 1991 با ارزیابی منحنی‌های سنجه و مدل MUSLE در یک آبخیز تپه ماهوری با کاربری مرتع در کالیفرنیا دریافتند که منحنی سنجه سالیانه رسوب، نتایج بهتری را نسبت به منحنی سنجه یک رویداد منفرد ارائه می‌کند، همچنین نتایج آنها نشان داد که در صورت اصلاح ضرائب، مدل پیش‌بینی درستی ارائه می‌کند. Nicks et al., 1994 شکل کلی معادله MUSLE را تا حدودی تغییر داده و شاخص مساحت حوزه را به آن اضافه نمودند. همچنین این افراد با تغییر تئوریک مدل جهانی فرسایش خاک مدل TMUSLE را ارائه دادند. Strauss & Klaghofer, 2003 برای تعیین مقیاس مناسب برای برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل MUSLE و MMF، سه مقیاس پلات، آبخیز کوچک و آبخیز بزرگ را بکار بردند و نتیجه گرفتند که با بزرگ‌تر شدن مقیاس، میزان خطای مستقیم از برآوردهای بالا و پایین افزایش می‌یابد و نمی‌توان در مقیاس بزرگ به دلیل کاهش صحت داده‌های ورودی مقادیر تلفات خاک را با درجه اطمینان قابل قبولی بدست آورد. Cambazoglu & Ggus, 2004 برای تعیین تلفات خاک و بار رسوب ۸۵ آبخیز منطقه غرب دریای سیاه با استفاده از مدل USLE و MUSLE دریافتند که محاسبه فاکتورهای مدل USLE از طریق میانگین وزنی و تلفیق آن با GIS برآوردی بهتری از بار رسوب ارائه می‌دهد. همچنین نتیجه گرفتند که مدل MUSLE پیش‌بینی بهتری از بار رسوب ارائه می‌دهد که مهم‌ترین دلیل آن را استفاده از فاکتور رواناب ناشی از وقایع منفرد دانستند. Pandey et al., 2009 با مدل‌سازی بار رسوب ۳۴۵ رویداد بارش با استفاده از مدل MUSLE، تصاویر سنجش از دور و GIS در یکی از آبخیزهای هندوستان، علاوه بر مشاهده کارایی مناسب مدل ($R^2=0/83$)، دریافتند مدل برای وقایع متوسط، برآورد خوبی از بار رسوب ارائه می‌دهد، در حالی که برای اکثر وقایع بزرگ برآورد کمتر و برای وقایع کوچک برآورد بالاتری دارد. Arekhi et al., 2011 نتایج برآورد مدل ناشی از تلفیق مدل MUSLE و مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای موج جنبشی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز کنگیر را موفقیت‌آمیز گزارش کرده‌اند. بررسی محققان در ارزیابی میزان کارایی مدل MUSLE نیز بیانگر این است که کاربرد مدل با ضرائب اولیه فاکتور رواناب، اختلاف زیادی را بین رسوب برآوردی یک رویداد با مقدار مشاهده‌ای نشان می‌دهد و اصلاح مدل برای وقایع سیلابی با شدت‌های متفاوت مدل را کاراتر می‌کند، این مشکل بصورتی است که مدل اصلاح شده، برای وقایع سیلابی خیلی کوچک و خیلی بزرگ از کارایی کمتری برخوردار است. بنابراین بایستی راه حل را در نحوه اصلاح ضرائب فاکتور رواناب جستجو کرد و با ارائه روشی جدید

سعی در توسعه MUSLE مخصوصاً برای وقایع سیلابی فاقد آمار داشت. به جهت فقدان یا کمبود داده‌های دبی و رسوب که استفاده از روابط و مدل‌های تجربی را برای مدیریت آبخیزهای کشور محدود می‌کند، بدون شک تحقق اهداف این پژوهش می‌تواند گام مؤثری در توسعه مدل MUSLE باشد. هدف از تحقیق حاضر برآورد میزان فرسایش و رسوب دو رگبار در چهار زیرحوزه، حوزه آبخیز دویرج بوسیله اندازه‌گیری مستقیم و مقایسه آن با میزان برآوردی حاصل از مدل MUSLE و همچنین واسنجی و اعتبارسنجی مدل و نهایت ارائه یک مدل بهینه برای زیر حوضه‌ضضهای مورد نظر می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه دویرج در استان ایلام و در مختصات جغرافیایی $۱۶^{\circ} ۴۷'$ تا $۴۰^{\circ} ۴۷'$ طول شرقی و $۳۲^{\circ} ۳۴'$ تا $۳۳^{\circ} ۰۵'$ عرض شمالی واقع شده است. طبق بازدیدهای انجام شده، مشخص شد که در این حوزه یک ایستگاه آب‌سنجی بنام پل دویرج در خروجی حوزه قرار دارد. این ایستگاه بر روی رودخانه دویرج در پایین‌تر از خروجی حوزه مورد مطالعه پس از پیوستن رودخانه چیخواب به دویرج قرار دارد و آبدهی کل رودخانه دویرج و چیخواب را اندازه‌گیری و ثبت می‌کند. از آنجاییکه آمار یک ایستگاه جهت بررسی پارامترهای هیدرولوژیکی منطقه کافی نمی‌باشد در این تحقیق برای بررسی پارامترهای هیدرولوژیکی و رسوب‌زایی منطقه، چهار زیرحوزه انتخاب گردید که در این زیرحوضه‌ها اندازه‌گیری تغییرات ارتفاع سیلاب توسط اشل و اندازه‌گیری مواد بار معلق با نمونه‌برداری از سیلاب در زمان‌های مختلف و سنجش آنها در آزمایشگاه جهت رگبارها صورت گرفت. موقعیت و مشخصات چهار زیرحوزه انتخاب شده در شکل (۱) و جدول (۱) آمده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی زیرحوضه‌های مورد مطالعه در استان ایلام

جدول ۱. مشخصات چهار زیرحوزه انتخاب شده

زیرحوضه‌ها	۴	۳	۲	۱	خصوصیات
مساحت (ha)	۱۰۰/۹۲	۲۳۴۳/۳۲	۴۴۱۵/۶۲	۷۶۷۹/۲۶	
محیط (km)	۴/۲۴	۲۱/۹۷	۳۹/۷۲۲	۳۹/۷۵	
ارتفاع مینیمم (m)	۴۱۴/۳۹	۴۹۸/۴۱	۷۳۸/۴۹	۸۵۸/۱۰	
ارتفاع ماکزیمم (m)	۸۰۵/۵۶	۱۴۰۰/۴۴	۱۹۲۸/۷۶	۱۸۵۸/۸۹	
ارتفاع میانه (m)	۵۷۴/۱۴	۷۲۹/۷۶	۱۲۸۸/۳۴	۱۲۶۸/۵۵	
شیب میانه (%)	۳۱/۷۱	۲۳/۶۲	۲۸/۷۷	۲۲/۵۵	
طول آبراهه اصلی (Km)	۱/۴۶	۵/۰۴	۱۸/۳۰	۱۳/۸۱	

اندازه‌گیری دبی و نمونه‌برداری رسوب

در زیرحوزه‌های مورد مطالعه به دلیل فقدان ایستگاه آب‌سنجی تغییرات ارتفاع سیلاب توسط اشل بصورت مستقیم صورت گرفت. مراحل کار به این صورت می‌باشد که ابتدا در خروجی زیرحوزه‌ها اقدام به نصب اشل شد و از وقوع بارندگی تجهیزات لازم برای اندازه‌گیری بار معلق آماده گردید. در طول بارندگی، هنگام شروع بارندگی و ایجاد رواناب به طور مرتب اشل تمام ایستگاه‌ها قرائت گردید و همزمان با آن با استفاده از دستگاه نمونه‌برداری (مدل SHHH-150-1.4)، بار معلق از رواناب ایجاد شده نمونه گرفته شده و در بطری مخصوص ریخته شده‌اند. انتخاب فواصل زمانی برای نمونه گرفتن از مواد بار معلق بستگی به تغییر ارتفاع رواناب و همچنین تغییر غلظت رواناب داشت. برداشت اطلاعات دبی و رسوب تا تمام شدن رگبار و رسیدن ارتفاع جریان رودخانه به دبی پایه ادامه می‌یافت. نمونه‌های محتوی آب و رسوب بعد از هر رگبار برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. اندازه‌گیری غلظت مواد معلق توسط عمل خشک کردن در دستگاه آون صورت گرفت. در مرحله بعد اقدام به برآورد میزان دبی جریان سیلاب‌ها، با استفاده از آمار اشل و معادله مانینگ شد. در شکل ۲ بخشی از عملیات صحرائی به منظور اندازه‌گیری مستقیم رسوبدهی آمده است.



شکل ۲. تصاویری از عملیات صحرائی و برداشت‌های میدانی صورت گرفته در تحقیق حاضر

مدل MUSLE

در این تحقیق با توجه به آمار و اطلاعات موجود و شرایط محل مورد مطالعه از مدل MUSLE استفاده شده است. مدل MUSLE مدلی تجربی است که به دلیل در نظر گرفتن رواناب ناشی از وقایع سیلابی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. Williams & Berndt, 1972 با مطالعه و بررسی داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده از هیجده حوزه مختلف در تگزاس و نبراسکا در ایالات متحده آمریکا بهترین معادله را جهت اثر بخشی عامل رواناب بر مدل USLE، با جایگزین کردن فاکتور رواناب بجای فاکتور فرساینده‌گی بارش، معادله اصلاح شده مدل جهانی فرسایش خاک را تحت عنوان MUSLE ارائه دادند (Pandey et al., 2009). در نتیجه این مدل، بار رسوب یک رویداد منفرد را بر اساس فاکتور رواناب و سایر خصوصیات آبخیز برآورد می‌کند. مدل MUSLE بصورت رابطه (۱) تعریف شده است.

$$Y = 11.8 (Q_{qp})^{0.56} KLSCP \quad (1)$$

که در آن Y ، بار رسوب رخداد (تن)؛ Q ، حجم کل روان آب (متر مکعب)؛ qp ، مقدار روان آب حداکثر یا شدت حداکثر روان آب (متر مکعب در ثانیه)؛ k ، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک؛ LS ، عامل توپوگرافی؛ C ، عامل مدیریت زراعی و P ، عامل عملیات کنترل فرسایش می‌باشد.

محاسبه فاکتورهای مدل MUSLE

فاکتور رواناب ($Q \times qp$)

مدل MUSLE دارای دو فاکتور حجم کل رواناب و ارتفاع حداکثر رواناب است که مقادیر آنها از هیدروگراف هر زیرحوزه و هر رگبار محاسبه شد. در این تحقیق، مقادیر این پارامتر از ۲ رویداد که در تاریخ‌های ۱۳۹۱/۱۰/۲ و ۱۳۹۱/۱۱/۱۰ بوسیله اندازه‌گیری مستقیم بدست آمد استفاده شده است.

فاکتور فرسایش‌پذیری (K)

عامل فرسایش‌پذیری (K)، به مفهوم سرعت فرسایش‌پذیری خاک به ازای واحد شاخص فرسایش باران است (Parysow et al., 2003). در پلات استاندارد اندازه‌گیری این پارامتر به عوامل متعدد و از جمله خصوصیات خاک شامل بافت خاک، میزان ماده آلی خاک و نفوذپذیری (Wischmeier, 1971) وابسته می‌باشد. در پژوهش حاضر نظر به سطح و دقت اطلاعات موجود از نمودار مثلث اریکسون برای تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک استفاده شد. در این مطالعه، مقادیر عامل K پس از انجام آزمایشات خاک‌شناسی و تعیین بافت خاک برای نقاط نمونه‌برداری به روش ذکر شده با استفاده از نمودار اریکسون استخراج گردید.

عامل مدیریت پوشش گیاهی (C)

عامل مدیریت پوشش گیاهی (C) به عنوان عامل نشان دهنده تأثیر فعالیت‌های زراعی و مدیریت کشاورزی و اثر پوشش درختی، درختچه‌ای، علفی و زمینی روی کاهش فرسایش خاک می‌باشد (Wischmeier & Smith, 1978). این عامل بر اساس معیار بررسی وضعیت و سلامت پوشش گیاهی کنترل‌کننده فرسایش و تحت عنوان شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده ($NDVI$) و با استفاده از فناوری سنجش از دور بدست می‌آید (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹). از آنجایی که شاخص ($NDVI$) برای محاسبه داده‌های طیفی زمینی استفاده شده و همبستگی بالایی با زیست توده سطح زمین دارد، لذا رابطه (۲) برای تخمین عامل مدیریت پوشش گیاهی استفاده شده است (Walling, 1997).

$$C = (1 - NDVI) / 2 \quad (2)$$

در نتیجه مقدار C در هر سلول می‌تواند مورد محاسبه قرار گیرد. از آنجایی که مقادیر فاکتور C ، بین صفر و یک می‌باشد، مقدار صفر به پیکسل‌های با مقادیر منفی و عدد یک به پیکسل‌هایی با مقدار بیشتر از یک اختصاص خواهد یافت. در این تحقیق، نقشه فاکتور C براساس $NDVI$ تهیه گردید. در حقیقت این فاکتور به طور کامل، رابطه معکوس با $NDVI$ دارد.

عامل توپوگرافی (LS)

نظر به اهمیت عوامل طول و تندی شیب بر فرسایش خاک از طریق تغییر در سرعت جریان آب در سطح زمین، تنش و تغییرپذیری آن‌ها در حوزه مطالعاتی مدنظر قرار گرفت. اثر تلفیقی عوامل مذکور در قالب عامل توپوگرافی با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Mushtak, 2003).

$$LS = (\text{Flow accumulation} \times \text{Cell size}/22.13)0.4 \times (\sin(\text{Slop} \times 0.01745)/0.09)1.3 \times 1.6 \quad (3)$$

نقشه عامل مدیریت اراضی (P)

در این مطالعه نیز نقش انواع عملیات حفاظتی شامل کشت روی خطوط تراز، سیستم ترانس‌بندی، آبراهه‌های پوشش‌دار و سایر اثرات حفاظتی در مقایسه با شرایط استاندارد حاکم بر کرت‌های مطالعاتی فرسایش خاک (Renard & Freimund, 1994)، در قالب تحلیل عامل مدیریت اراضی در نظر قرار می‌گیرد. برای تخمین عامل مدیریت اراضی از جدول استاندارد موجود و بر اساس مقادیر پیشنهادی تهیه شده است. در زیرحوزه‌های مورد مطالعه به دلیل اینکه هیچ گونه کار حفاظتی صورت نگرفته است به این عامل عدد یک داده شده است (جدول ۵).

تعیین بار رسوب مشاهده‌ای رویدادها

بار رسوب مشاهده‌ای هر یک از رویدادها، بر مبنای منحنی سنج‌رسوب بدست آمده است، که برای محاسبه آن، از رابطه (۴) بر اساس معادله سنج‌رسوب تعریف می‌شود.

$$Y_o = \sum_{i=1}^n a \left[\frac{(Q_i + Q_{i+1})}{2} \right]^b \quad (4)$$

که در این رابطه

Y_o ، بار رسوب مشاهده‌ای رویداد مورد نظر (تن)؛ Q_i ، دبی در ساعت t_i (مترمکعب بر ثانیه)؛ Q_{i+1} ، دبی در ساعت t_{i+1} (مترمکعب بر ثانیه) و a و b ضرایب معادله سنج‌رسوب می‌باشند.

در این معادله ابتدا دبی‌های متوسط بین ساعت‌های t_i و t_{i+1} در طول زمان هیدروگراف مورد نظر محاسبه می‌شوند. سپس با استفاده از معادله بهینه دبی-رسوب، بار رسوب هر یک از دبی‌های متوسط بر حسب تن در رخداد بدست می‌آید، که با تقسیم هر یک به زمان بین دو دبی، متوسط رسوب عبوری سیلاب بین دو ساعت t_i و t_{i+1} بر حسب تن در ساعت بدست می‌آید. سپس با جمع این مقادیر، بار رسوب معلق مشاهده‌ای هیدروگراف مربوطه تعیین می‌شود. بار رسوب سیلاب حاصل مجموع بار معلق و بار کف می‌باشد. برای اندازه‌گیری بار کف نیز ابزارهایی وجود دارد ولی استفاده از آنها در مقایسه با وسایل اندازه‌گیری رسوب معلق، به دلیل مشکلات فنی و مسائل دیگر متداول نشده است و اغلب کارشناسان نسبتی از بار معلق (حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد) را به عنوان بار کف در نظر می‌گیرند. در این تحقیق بدلیل نبود وسایل اندازه‌گیری از روش نسبت بار معلق برای محاسبه بار کف سیلاب‌ها استفاده شد (جدول ۱۱ و ۱۲).

تهیه منحنی سنج رسوب بر اساس تمامی داده‌های اندازه‌گیری شده رسوب و بدون تقسیم‌بندی آنها

این مدل، ساده‌ترین مدل برای برآورد دبی رسوب است که در آن تمامی داده‌های رسوب معلق، بدون در نظر گرفتن زمان اندازه‌گیری آنها و یا کلاسه‌بندی مقادیر دبی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر در این مدل، تفکیک داده‌ها صورت نمی‌گیرد. یعنی تنها از یک رابطه رگرسیونی بین تمامی مقادیر دبی رسوب اندازه‌گیری شده و دبی جریان استفاده می‌شود و در نتیجه برای برآورد هر مقدار دبی رسوب در هر زمان و در هر گونه وضعیت جریان تنها از یک رابطه استفاده خواهد شد.

تعیین بار رسوب برآوردی رویدادها

کاربرد مدل MUSLE مستلزم تصحیح ضرائب فاکتور رواناب جهت کاهش اختلاف بین بار رسوب مشاهده‌ای سیلاب با بار رسوب برآوردی است. در این تحقیق از روش ضریب تصحیح میانگین برای اصلاح مدل استفاده شده است. در این تحقیق مقدار بار رسوبی به سه صورت با استفاده از مدل MUSLE برآورد شده است:

الف: از مدل با ضرایب اولیه: در این مرحله از توان اولیه مدل MUSLE برای برآورد بار رسوبی استفاده شد. یعنی پارامترهای بدست آمده از اندازه‌گیری مستقیم بدون تغییر در معادله مدل MUSLE قرار گرفت. سپس مقادیر بار رسوب مشاهده‌ای (بر مبنای منحنی سنج) و برآوردی (بر مبنای مدل MUSLE با ضرائب اولیه) هر رویداد مورد مقایسه قرار گرفتند.

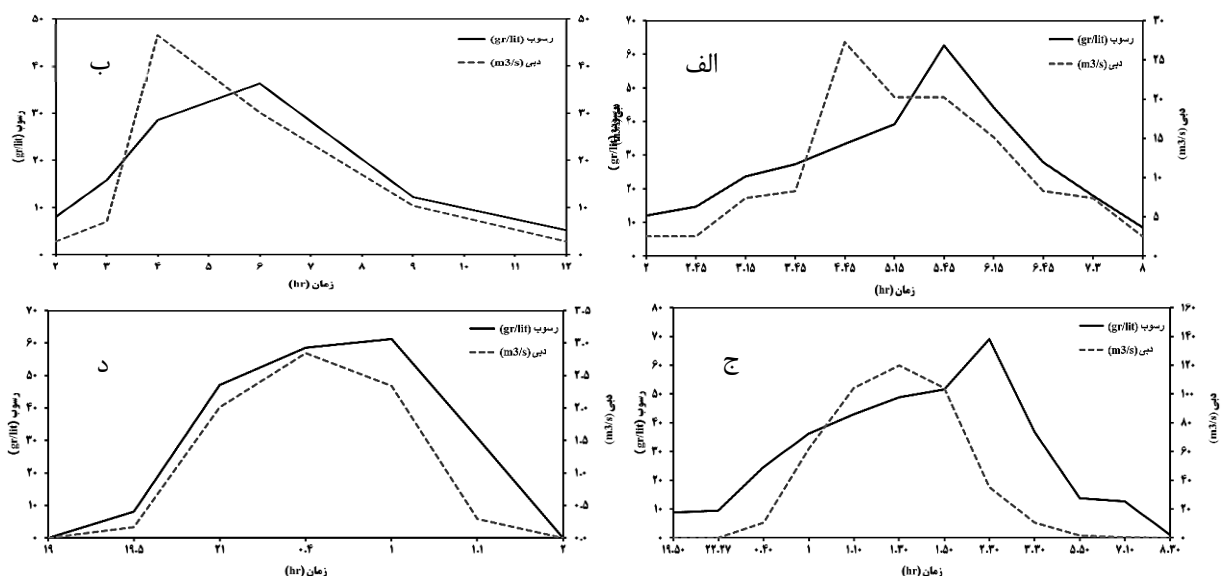
ب: واسنجی و اعتبارسنجی مدل: در این مرحله برای واسنجی مدل MUSLE توان فاکتور رواناب برای رگبار اول با عمل سعی و خطا، بگونه‌ای تصحیح شد که اختلاف مقادیر رسوب برآوردی و مشاهده‌ای به حداقل ممکن برسد. سپس از توان فاکتور رواناب رگبار اول حاصل از مرحله واسنجی برای اعتبارسنجی مدل برای رگبار دوم استفاده شد.

ج: استفاده از میانگین ضرائب مدل‌ها برای تمام زیرحوزه‌ها: در این مرحله از عدد توان‌های اصلاح شده مرحله قبل میانگین گرفته و بعنوان عدد نهایی توان مدل استفاده شد. در نهایت بار رسوب برآوردی با مدل اصلاحی MUSLE به روش ضریب تصحیح میانگین برآورد شد. برای اینکه بتوان از مدل اصلاحی برای کل زیر حوزه‌های حوزه آبخیز دویرج با شرایط مشابه استفاده کرد، یک رابطه رگرسیونی بین بار رسوب برآوردی با مدل اصلاحی MUSLE برقرار گردید.

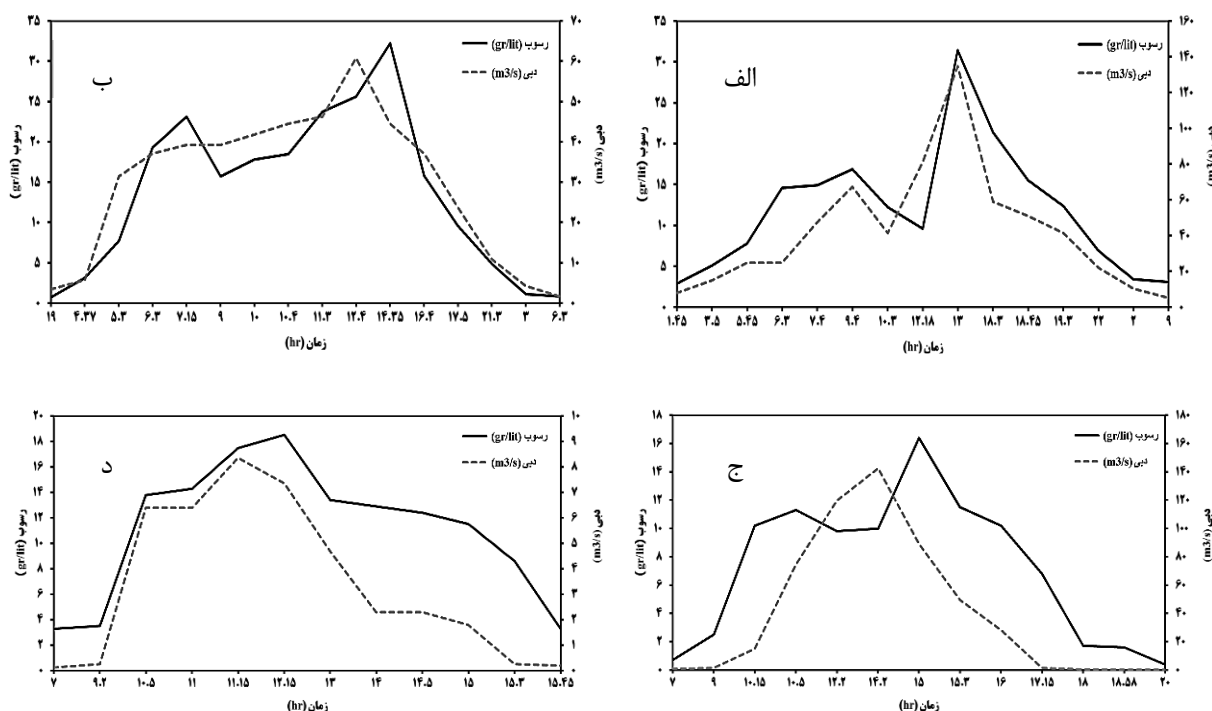
۳. نتایج

رگبارهای مورد مطالعه

برای انجام تحقیق حاضر از ۲ رگبار در اواخر پاییز و زمستان به تاریخ‌های ۱۳۹۱/۱۰/۲ و ۱۳۹۱/۱۱/۱۰ استفاده شده است. میزان بارش رگبار اول در زیر حوزه‌های ۱ و ۲ برابر با ۶۳ و ۴ برابر ۶۲ میلی‌متر می‌باشد و در رگبار دوم در زیر حوزه‌های ۱ و ۲ برابر با ۱۳۰ و ۴ برابر ۱۱۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شده و مدت زمان بارش هر کدام به ترتیب برابر با ۱۱ و ۲۸/۵ ساعت بوده است که هیدروگراف سیلاب، رسوب و دبی هر رگبار پس از انجام محاسبات لازم برای ۹۹ نمونه بار معلق تعیین و تغییرات در شکل‌های (۳ و ۴) نشان داده شده است.



شکل ۳. هیدروگراف دبی و رسوب رگبار در تاریخ ۱۳۹۱/۱۰/۲ برای (الف) زیر حوزه شماره ۱، (ب) زیر حوزه شماره ۲، (ج) زیر حوزه شماره ۳، (د) زیر حوزه شماره ۴



شکل ۴. هیدروگراف دبی و رسوب رگبار در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۱۰ برای (الف) زیر حوزه شماره ۱، (ب) زیر حوزه شماره ۲، (ج) زیر حوزه شماره ۳، (د) زیر حوزه شماره ۴

پس از ترسیم منحنی سنجه رسوب برای تمامی داده‌های اندازه‌گیری شده و بدست آوردن رابطه رگرسیونی توانی مربوطه، داده‌های مربوط به دبی رودخانه برای کل دوره آماری را در معادله سنجه رسوب قرار داده و بار معلق همان لحظه برآورد می‌شود. معادله‌های انتقال رسوب حاصل از رگبارهای مختلف در زیر حوزه‌ها که بر اساس روش USBR محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳. انواع معادلات سنجه رسوب بر اساس روش USBR

زیر حوزه	تاریخ رگبار	تعداد داده‌ها	رابطه دبی - رسوب	ضریب همبستگی
۱	۱۳۹۱/۱۰/۲	۷	$Q_s = 3.82 Q_w^{0.5823}$	$R^2 = 0.87$
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۱۵	$Q_s = 0.78 Q_w^{0.7337}$	$R^2 = 0.84$
۲	۱۳۹۱/۱۰/۲	۱۱	$Q_s = 6.76 Q_w^{0.6128}$	$R^2 = 0.82$
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۱۶	$Q_s = 0.30 Q_w^{1.1046}$	$R^2 = 0.94$
۳	۱۳۹۱/۱۰/۲	۱۲	$Q_s = 12.76 Q_w^{0.3116}$	$R^2 = 0.71$
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۱۳	$Q_s = 2.12 Q_w^{0.4087}$	$R^2 = 0.83$
۴	۱۳۹۱/۱۰/۲	۵	$Q_s = 35.08 Q_w^{0.5727}$	$R^2 = 0.80$
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۱۲	$Q_s = 8.3523 Q_w^{0.3553}$	$R^2 = 0.84$

نتایج فاکتورهای مدل MUSLE

نتایج دو فاکتور حجم کل رواناب و مقدار رواناب حداکثر یا شدت حداکثر رواناب بر اساس هیدروگراف هر زیرحوزه و هر رگبار در جدول (۴) و نتایج سایر پارامترها در جدول (۵) ارائه شده است.



جدول ۴. نتایج پارامترهای هیدرولوژیکی وقایع زیر حوضه‌های مطالعاتی

شماره زیر حوضه	تاریخ رگبار	بارش (mm)	دبی اوج (m ³ /s)	حجم سیلاب (m ³)	ضریب رواناب (درصد)
۱	۱۳۹۱/۱۰/۲	۶۳	۳۰/۱۲	۴۶۸۹۴۵/۲۱	۱۲
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۱۳۰	۱۳۴/۵۸	۵۳۳۳۱۸۶/۳۴	۵۳
۲	۱۳۹۱/۱۰/۲	۶۳	۳۰/۰۷	۳۲۰۲۱۱/۷۲	۱۱
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۱۳۰	۶۰/۸۲	۲۷۷۳۵۵۳/۲۸	۴۸
۳	۱۳۹۱/۱۰/۲	۶۲	۱۱۹/۷۶	۶۵۹۳۷۴/۷۵	۴۵
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۱۱۰	۱۶۶/۴۸	۲۱۲۶۳۰۹/۲۶	۸۲
۴	۱۳۹۱/۱۰/۲	۶۲	۲/۸۵	۲۸۹۷۴/۶۱	۴۶
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۱۱۰	۸/۳۶	۹۳۷۷۸/۵۳	۸۴

جدول ۵. آمار مربوط به فاکتورهای مدل MUSLE در زیر حوضه‌های مطالعاتی

زیر حوضه	پارامتر	فاکتور K	فاکتور LS	فاکتور C	فاکتور P
۱	حداقل	۰/۴۶	۰	۰/۰۲	۱
	حداکثر	۰/۵۹	۸۸۱/۷۹	۰/۶۴	۱
	میانگین	۰/۵۰	۹/۱۷	۰/۵۱	۱
	انحراف معیار	۰/۰۳	۱۳/۱۳	۰/۰۶	۰
۲	حداقل	۰/۴۷	۰	۰/۰۴	۱
	حداکثر	۰/۵۲	۷۸۰/۸۴	۰/۶۳	۱
	میانگین	۰/۴۹	۱۳/۶۵	۰/۵۰	۱
	انحراف معیار	۰/۰۲	۱۸/۸۲	۰/۰۸	۰
۳	حداقل	۰/۴۸	۰	۰/۳۹	۱
	حداکثر	۰/۵۱	۴۸۸/۷۹	۰/۶۴	۱
	میانگین	۰/۵۱	۱۰/۰۹	۰/۵۷	۱
	انحراف معیار	۰/۰۱	۱۳/۰۷	۰/۰۴	۰
۴	حداقل	۰/۴۸	۰	۰/۴۸	۱
	حداکثر	۰/۵۱	۱۶۳/۹۰	۰/۶۲	۱
	میانگین	۰/۴۸	۱۳/۹۱	۰/۵۷	۱
	انحراف معیار	۰/۰۱	۱۱/۸۴	۰/۰۲	۰

مقایسه رسوب مشاهده‌ای و برآوردی رویدادها

در تحقیق حاضر مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده و برآوردی از مدل MUSLE، در حالت‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

حالت الف: مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای بر مبنای منحنی سنج رسوب و رسوب برآوردی بر مبنای معادله MUSLE با ضرائب اولیه. نتایج این برآورد در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول ۶. مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی بر مبنای معادله اولیه MUSLE (برحسب تن)

زیر حوزه	تاریخ رگبار	بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی از معادله اولیه MUSLE
۱	۱۳۹۱/۱۰/۲	۷۱۳۰/۷۲	۲۷۸۴۷۱/۰۴
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۱۲۶۸۹۴/۰۱	۲۵۱۲۶۱۰/۴۵
۲	۱۳۹۱/۱۰/۲	۷۵۲۶/۸۷	۳۵۸۹۲۹/۶۳
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۵۰۰۱/۳۸	۱۵۸۶۶۴۸/۱۲
۳	۱۳۹۱/۱۰/۲	۳۴۶۲۰/۳۲	۹۱۵۷۶۸/۸۲
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۳۶۶۹۹/۰۹	۲۱۲۱۵۲۷/۷۱
۴	۱۳۹۱/۱۰/۲	۱۷۹۴/۹۰	۲۵۴۳۶/۵۸
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۳۷۶۶/۳۷	۸۹۷۷۱/۵۳

حالت ب: مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و رسوب برآوردی بر مبنای معادله MUSLE با ضریب تصحیح شده (A). مقادیر توان واسنجی و اعتبارسنجی شده به همراه معادلات مربوطه برای دو رگبار در جدول ۷ و ۸ نشان داده شده است.

جدول ۷. مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی بر مبنای توان اصلاح شده (بر حسب تن) برای رگبار ۱۳۹۱/۱۰/۲

زیر حوزه شماره ۱		زیر حوزه شماره ۲		زیر حوزه شماره ۳		زیر حوزه شماره ۴	
بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.34}	بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.32}	بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.38}	بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.32}
۷۱۳۰/۷۲	۷۴۴۳/۶۳	۷۵۲۶/۸۷	۷۱۹۶/۷۶	۳۴۶۲۰/۳۲	۳۴۶۹۳/۳۵	۱۷۹۴/۹۰	۱۶۸۰/۹۰

جدول ۹. مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی بر مبنای توان اصلاح شده (بر حسب تن) برای رگبار ۱۳۹۱/۱۱/۱۰

زیر حوزه شماره ۱		زیر حوزه شماره ۲		زیر حوزه شماره ۳		زیر حوزه شماره ۴	
بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.34}	بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.32}	بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.38}	بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.32}
۱۲۶۸۹۴/۰۱	۲۸۳۰۱/۹۰	۵۰۰۱/۳۸	۱۶۸۲۵/۸۹	۳۶۶۹۹/۰۹	۶۱۳۵۲/۴۳	۳۷۶۶/۳۷	۳۴۵۵/۴۵

حالت ج: مقایسه رسوب برآوردی و مشاهده‌ای در حالت میانگین توان اصلاح شده: در این مرحله برای تمامی زیرحوزه‌ها از توان فاکتور رواناب چهار زیر حوزه در مرحله قبل میانگین گرفته شده و نسبت به محاسبه رسوب اقدام شد توان اصلاح شده، معادلات و مقادیر برآورد شده در این حالت در جدول (۱۰) آورده شده است.

جدول ۱۰. معادلات رسوب مشاهده‌ای و برآوردی از مدل MUSLE (برحسب تن)

تاریخ رگبار	زیر حوزه شماره ۱		زیر حوزه شماره ۲		زیر حوزه شماره ۳		زیر حوزه شماره ۴	
	بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.34}	بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.34}	بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.34}	بار رسوب مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی MUSLE ^{0.34}
۱۳۹۱/۱۰/۲	۷۱۳۰/۷۲	۷۴۴۳/۶۳	۷۵۲۶/۸۷	۹۹۶۸/۴۳	۳۴۶۲۰/۳۲	۱۶۷۶۲/۸۸	۱۷۹۴/۹۰	۲۱۰۸
۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۱۲۶۸۹۴/۰۱	۲۸۳۰۱/۹۰	۵۰۰۱/۳۸	۲۴۵۷۶/۴۹	۳۶۶۹۹/۰۹	۲۹۴۸۷/۲۴	۳۷۶۶/۳۷	۴۵۳۳/۰۵

به منظور ارائه مدل بهینه برای محاسبه رسوب در تمام حوزه می‌توان از رابطه رگرسیونی استفاده کرد. همانگونه که در نمودار (۱) مشاهده می‌شود، مقدار همبستگی (R^2) برای چهار زیر حوزه‌ی مورد مطالعه برابر با ۰/۹۰۵۸ بدست آمده است. همچنین مدل تغییر شکل یافته MUSLE چهار زیر حوزه آبخیز دویرج بصورت رابطه (۵) می‌باشد.

$$Y = 11.8(Qq_p)^{0.34} KCPLS \quad (5)$$

که در آن

Y: بار رسوب رخداد (تن)

Q: حجم کل رواناب (متر مکعب)

qp: مقدار رواناب حد اکثر یا شدت حد اکثر رواناب (متر مکعب/ در ثانیه)

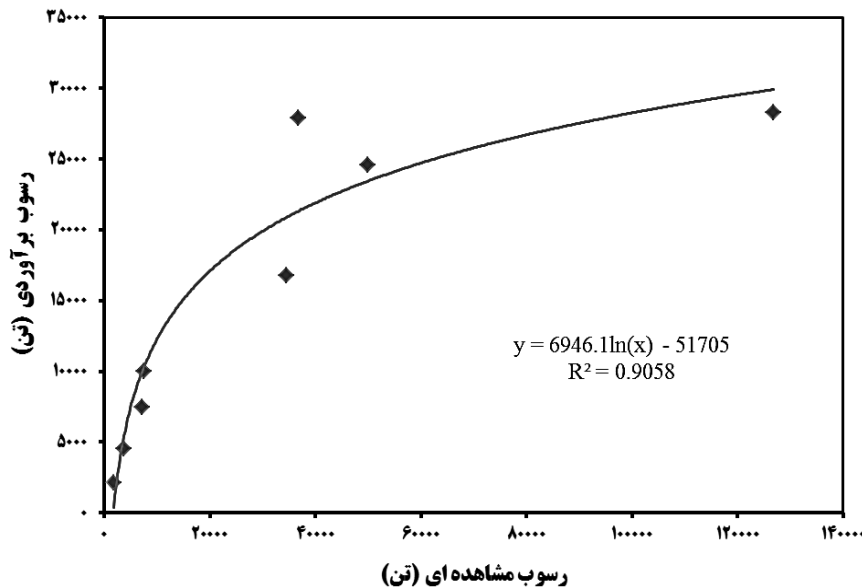
K: فاکتور فرسایش پذیری خاک

LS: عامل توپوگرافی

C: عامل مدیریت زراعی

P: عامل مربوط به عملیات حفاظت خاک است.

با توجه به دقت قابل قبول ($R^2=0.9058$) بدست آمده برای زیر حوزه‌های مورد مطالعه می‌توان از آن برای زیر حوزه‌های آبخیز دویرج که دارای شرایط مشابهی از نظر زمین‌شناسی، خصوصیات پوشش گیاهی، فیزیوگرافی و... باشند مورد استفاده قرار گیرد.



نمودار ۱. رابطه بین رسوب مشاهده‌ای و رسوب برآوردی تمامی زیر حوزه‌ها در هر دو رگبار

تعیین نسبت تحویل رسوب (SDR)

نسبت تحویل رسوب ضریبی است که نشان دهنده بخشی از مواد فرسایش یافته در حوزه است که به خروجی حوزه منتقل می‌گردند. به منظور برآورد این نسبت و تعیین آن، بدلیل عدم وجود فرسایش حوزه و میزان رسوب‌دهی، عموماً از روش‌های تجربی و روابطی که برای این منظور توسط محققین مختلف در دنیا ارائه شده است، استفاده می‌شود. با توجه به پارامترهای موجود از حوزه و بازدیدهای انجام شده و از آنجائیکه شیب متوسط حوزه و زیرحوزه‌ها و شیب دامنه‌ها بالاست بخش اعظم فرسایش تبدیل به رسوب می‌گردد. لذا از رابطه Renfro که کاربردی‌تر بوده و توسط محققین مختلف توصیه شده، استفاده شد که نتایج بدست آمده از این روش در جدول شماره (۱۱) آمده است.

جدول ۱۱. مقادیر نسبت تحویل رسوب در زیرحوزه های مورد مطالعه با استفاده از روش Renfro

زیر حوزه	مساحت (کیلومتر مربع)	رابطه نسبت تحویل رسوب
۱	۷۶/۷۹	۰/۱۸
۲	۴۴/۱۵	۰/۱۹
۳	۲۳/۴۳	۰/۲۰
۴	۱	۰/۲۵

برآورد میزان فرسایش زیر حوزه‌ها

برای بدست آوردن مقدار فرسایش زیرحوزه‌ها باید از رابطه ضریب رسوبدهی استفاده کرد و مقادیر رسوب را بر میزان نسبت تحویل رسوب تقسیم نمود. در جدول ۱۲، مقادیر فرسایش مشاهده‌ای و مقادیر فرسایش برآوردی مدل اصلاح شده MUSLE حاصل از هر رخداد در هر زیر حوزه که از رابطه Renfro محاسبه شده آمده است.

جدول ۱۲. مقادیر فرسایش مشاهده‌ای و برآوردی مدل اصلاح شده MUSLE حاصل از Renfro (برحسب تن)

زیر حوزه	تاریخ رگبار	بار رسوب مشاهده‌ای	فرسایش مشاهده‌ای	بار رسوب برآوردی	فرسایش برآوردی
۱	۱۳۹۱/۱۰/۲	۷۱۳۰/۷۲	۳۸۹۶۵/۶۸	۷۴۴۳/۶۳	۴۰۶۷۵/۵۵
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۱۲۶۸۹۴/۰۱	۶۹۳۴۰۹/۸۹	۲۸۳۰۱/۹۰	۱۵۴۶۵۵/۱۶
۲	۱۳۹۱/۱۰/۲	۷۵۲۶/۸۷	۳۸۹۹۹/۳۳	۹۹۶۸/۴۳	۵۱۶۴۹/۸۷
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۵۰۰۰۱/۳۸	۲۵۹۰۷۴/۵۱	۲۴۵۷۶/۴۹	۱۲۷۳۳۹/۳۳
۳	۱۳۹۱/۱۰/۲	۳۴۶۲۰/۳۲	۱۷۳۱۰۱/۶	۱۶۷۶۲/۸۸	۸۳۸۱۴/۳۹
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۳۶۶۹۹/۰۹	۱۸۳۴۹۵/۴۶	۲۷۹۱۷/۳۴	۱۳۹۵۸۶/۷۰
۴	۱۳۹۱/۱۰/۲	۱۷۹۴/۹۰	۷۱۷۹/۶	۲۱۰۸	۸۴۳۲
	۱۳۹۱/۱۱/۱۰	۳۷۶۶/۳۷	۱۵۰۶۵/۴۷	۴۵۳۳/۰۵	۱۸۱۳۲/۲۰

۴. بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق واسنجی مدل MUSLE جهت برآورد بار رسوب در زیرحوزه‌های حوزه آبخیز رودخانه دویرج بوده است. به دلیل تأثیرپذیری منطقی رسوبات معلق در خروجی یک حوزه از خصوصیات مختلف رگبار و رواناب مربوط به آن، رسوب به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته و مدل نهایی تخمین آن به دست آمده است. نتایج به دست آمده در چهار زیر حوزه مورد مطالعه نشان می‌دهد که به طور کلی بیشترین حجم رسوب مربوط به رگبار ۱۳۹۱/۱۱/۱۰ و کمترین آن مربوط به ۱۳۹۱/۱۰/۲ می‌باشد. علت زیاد بودن رسوب در این رگبار را می‌توان به خصوصیات خاک (مواد آلی، رطوبت خاک و ...) و پوشش گیاهی این فصل که فرسایش‌پذیری خاک را بیشتر می‌کند نسبت داد. رگبار ۱۳۹۱/۱۱/۱۰ در چهار زیر حوزه، رسوب زیادی را تولید کرده که دلیل آن را می‌توان با افزایش رطوبت پیشین خاک و نفوذپذیری کم خاک و طولانی بودن رگبار مرتبط دانست.

استفاده از مدل MUSLE، تخمین بالایی از رسوب را ارائه می‌کند که این خود می‌تواند به دلیل بالا بودن مقدار رواناب در زیرحوزه‌های مورد مطالعه باشد. طبق نتایج تحقیق سرخوش (۱۳۷۵)، مدل MUSLE، برای عامل رواناب مقادیر بالایی بدست آمده که منجر به افزایش مقادیر رسوب برآوردی و نتیجه اصلاح ضرائب مدل گردیده است.

در زیرحوزه شماره ۱، درصد اختلاف بار برآوردی با مشاهده‌ای از ۴ تا ۷۸ درصد بوده که برای رگبار ۱۳۹۱/۱۰/۲ این اختلاف ۴ درصد بوده است. بر اساس نتایج، در این ایستگاه مدل می‌تواند برای وقایع کوچک کارایی مناسبی داشته باشد. مثلاً در سیلاب ۱۳۹۱/۱۱/۱۰ که رویدادی خیلی بزرگ تلقی می‌شود، رسوب برآوردی ۷۸ درصد کمتر از مقدار مشاهده‌ای است. با

توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اینگونه استنباط کرد که مدل در زیرحوزه شماره ۱، در حالت واسنجی از کارایی مناسبی برخوردار بوده ولی در حالت اعتبارسنجی کارایی آن پایین‌تر است که دلیل آن می‌توان ارتفاع بارش و رواناب زیاد ناشی از رگبار دوم باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده در زیرحوزه شماره ۲ مشاهده می‌شود که میزان رسوب مشاهده‌ای رگبار ۱۳۹۱/۱۰/۲ نسبت به مقدار برآوردی از مدل در حالت واسنجی دارای اختلاف ۳۲ درصدی بوده که این نشان دهنده کارایی قابل قبول مدل در حالت واسنجی می‌باشد. اما میزان رسوب مشاهده‌ای رگبار ۱۳۹۱/۱۱/۱۰ نسبت به مقدار برآوردی از مدل در حالت اعتبارسنجی دارای اختلاف زیاد و در حدود ۵۰ درصد می‌باشد که نشان دهنده کارایی متوسط مدل در حالت اعتبارسنجی می‌باشد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که مدل در این زیرحوزه از کارایی مناسبی برخوردار بوده است.

در زیرحوزه شماره ۳، درصد اختلاف بار رسوب برآوردی با مشاهده‌ای بین ۲۴ تا ۵۲ درصد است. در این ایستگاه مدل می‌تواند برای وقایع کوچک، کاربرد خوبی داشته باشد اما برای وقایع بزرگ از کارایی کمتری برخوردار است. بر اساس نتایج بدست آمده، مشاهده می‌شود که میزان رسوب مشاهده‌ای رگبار ۱۳۹۱/۱۰/۲ نسبت به مقدار برآوردی از مدل در حالت واسنجی دارای اختلاف قابل قبول و در حدود ۳۴ درصد بوده که این نشان دهنده کارایی خوب مدل در حالت واسنجی می‌باشد. میزان رسوب مشاهده‌ای رگبار ۱۳۹۱/۱۱/۱۰ نسبت به مقدار برآوردی از مدل در حالت اعتبارسنجی دارای اختلافی در حدود ۵۲ درصد می‌باشد که نشان دهنده کارایی متوسط مدل در حالت اعتبارسنجی برای برآورد رسوب می‌باشد.

ایستگاه شماره ۴ به دلیل اختلاف کم رسوب برآوردی و مشاهده‌ای، مدل برای حوزه‌های کوچک، کاربرد خوبی داشته است. بر اساس نتایج بدست آمده، مشاهده می‌شود که میزان رسوب مشاهده‌ای رگبار ۱۳۹۱/۱۰/۲ نسبت به مقدار برآوردی از مدل در حالت واسنجی دارای اختلاف ناچیز و در حدود ۱۷ درصد بوده که این نشان دهنده کارایی خوب مدل در حالت واسنجی برای برآورد رسوب می‌باشد. میزان رسوب مشاهده‌ای رگبار ۱۳۹۱/۱۱/۱۰ نسبت به مقدار برآوردی از مدل در حالت اعتبارسنجی دارای اختلاف کم و در حدود ۲۰ درصد می‌باشد که نشان دهنده کارایی بالای مدل در حالت اعتبارسنجی برای برآورد رسوب می‌باشد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که مدل در زیرحوزه شماره ۴، در حالت واسنجی و اعتبارسنجی کارایی مناسبی دارد.

مدل MUSLE حاصل نتایج تحقیقات در ۱۸ حوزه آبخیز با مساحت بین ۱۵ تا ۱۵۰۰ هکتار می‌باشد و برای حوزه‌های کوچک توصیه شده است (صادقی و همکاران، ۱۳۸۶؛ Williams & Hann, 1978). همین مسأله باعث می‌شود در حوزه‌های با مساحت زیاد منجر به برآورد بیش از حد واقعی شود زیرا وقتی مساحت حوزه افزایش پیدا کند دبی بیشینه ویژه کاهش پیدا می‌کند. در این تحقیق با توجه به مشخصات زیرحوزه‌ها در جدول (۱) مشاهده می‌شود که زیرحوزه‌های ۱، ۲ و ۳ دارای مساحتی بیشتر از مساحت ذکر شده برای مدل MUSLE می‌باشند. اما زیرحوزه شماره ۴ دارای مساحتی برابر ۱۰۰ هکتار می‌باشد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری بار رسوب نشان دهنده اختلاف ناچیزی بین مقدار مشاهده‌ای و برآوردی در این زیرحوزه می‌باشد. این موضوع گویای آن است که می‌توان مدل MUSLE را بخوبی در این زیرحوزه اجرا کرد البته باید ضریب و نمای فاکتور رواناب را تغییر داد.

وروانی و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقات خود دریافتند که مدل MUSLE و حالت‌های تغییر شکل یافته آن، برآورد بیش از اندازه واقعی دارند. Strauss & Klaghofer, 2003 نیز با ارزیابی مدل مربوطه نتیجه گرفتند که با بزرگ شدن مقیاس سطح، خطای برآوردها بالا و پایین افزایش می‌یابد. هم‌چنین در تحقیقات Cambazoglu & Ggus, 2004، Epifanio et al., 1991، Pandey et al., 1999، صادقی و همکاران (۲۰۰۴) و Williams & Hann, 1978 گزارش شده که مدل اصلاح شده MUSLE نیز برای وقایع متوسط برآورد قابل قبولی ارائه می‌دهد، که تحقیق حاضر نیز این نتایج را تایید می‌کند.

نکته‌ای که باید مدنظر قرار گیرد، مدت زمان سیلاب رخ داده است. هر چه این مدت بیشتر شود مقدار برآوردی با مقدار مشاهده‌ای اختلاف پیدا می‌کند. مثلاً در رخداد ۱۳۹۱/۱۰/۲ مدت زمان سیلاب بوقوع پیوسته در چهار زیرحوزه بین ۷ تا ۱۲

ساعت بوده است. برای این رخداد اختلاف مقدار رسوب مشاهده‌ای با مقدار برآوردی از مدل اصلاح شده MUSLE در زیرحوزه‌ها بین ۴ و ۵۲ درصد بوده است. در حالی که در رخداد ۱۳۹۱/۱۱/۱۰ مدت زمان سیلاب بوقوع پیوسته در چهار زیرحوزه بین ۱۰ تا ۳۶ ساعت بوده است. برای این رخداد اختلاف مقدار رسوب مشاهده‌ای با مقدار برآوردی از مدل اصلاح شده MUSLE در زیرحوزه‌ها بین ۲۰ تا ۷۸ درصد بوده است. که نتایج برآوردی نشان دهنده عملکرد خوب مدل اصلاح شده در زیرحوزه‌های شماره ۳ و ۴ و عملکرد ضعیف و متوسط برای زیرحوزه‌های شماره ۱ و ۲ است. نتایج این تحقیق می‌تواند به طور گسترده در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و اعتباری بخش آبخیزداری برای طراحی سازه‌های هیدرولیکی و سازه‌های کنترل رسوب و حفاظت در حوزه آبخیز دویرج مورد استفاده قرار گیرد. اگرچه بکار بردن نتایج این تحقیق در مورد سایر حوزه‌ها مستلزم واسنجی است ولی نتایج می‌تواند مورد استفاده محققین، طراحان و مدیران اجرایی قرار گرفته و سودمند واقع شود.

۵. منابع

۱. فاطمی، س. ب.، و ی. رضایی، ۱۳۸۹. مبانی سنجش از دور، چاپ دوم، تهران: انتشارات آزاد، ۲۵۷ص.
۲. سرخوش، ا.، ۱۳۷۵. بررسی کارایی مدل MUSLE در برآورد رسوب و مقایسه آن با مدل MPSIAC در حوزه آبخیز درکه، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
۳. صادقی، س.ح.ر.، م. علافی‌بادی، م. دشتی‌مرویلی، ه. یغمایی، و ه. اسدی، ۱۳۸۶. کاربرد MUSLT در برآورد رسوب ناشی از رگبارهای منفرد. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران. ۱۲۵۸-۱۲۵۹.
۴. وروانی، ج.، س. فیض‌نیا، ح. احمدی، و م. جعفری، ۱۳۸۶. ارزیابی کارایی مدل های تجربی برآورد رسوب حوزه های آبخیز در زمان سیلاب های منفرد و ارائه ضرائب اصلاحی. نشریه دانشکده منابع طبیعی، جلد ۶۰، شماره ۴، ۱۲۳۹-۱۲۲۵.
5. Arekhi, S., A. Shabani., and G. Rostamizad., 2011. Application of the modified universal soil loss equation (MUSLE) in prediction of sediment yield (Case study: Kengir Watershed, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 1-12.
6. Cambazoglu, M. K., and Ggus, M., 2004. Sediment yields of basins in the Western Black Sea Region of Turkey. *Turkish J. Eng. Environ. Sci.* 28:355-367.
7. Epifanio, Ch. R., M.J. Singer., and X, Huang., 1991. Hydrologic impacts of Oak Harvesting and evaluation of the modified universal soil loss equation. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. 126: 221-224.
8. Lal, R., 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sci.* 17(4): 319-464.
9. Lin, C.Y., 1997. A study on the width and placement of vegetated buffer strips in a mudstone-distributed watershed. *J. china. Soil water conserves.* 29 (3), 250-266 (in Chinese with English abstract).
10. Mushtak, T.J. 2003. Application of GIS to Estimate Soil Erosion Using RUSLE. *Geo-Spatial Information Science*, 6: 34-37.
11. Nicks, A. D., R.D. Williams., J. R. Williams., and G. A. Gander., 1994. Estimating erosion with models having different technologies. 25th Annual Conf. Intl. *erosion Control Assoc*, pp. 51-61.
12. Pandey, A., V. M. Chowdary., and B.C. Mal., 2009. Sediment yield modeling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS. *Paddy Water Environ.* 7:105-113.
13. Pierson, F.B., C.W. Slaughter., and K.C. Zane., 2001. Long-Term Stream Discharge and Suspended-Sediment Database, Reynolads Creek Experimental Watershed, Idaho. United States, *Water Resources*, 37(11): 2857-2861.
14. Pimental, D., C. Harvey., P. Resosudarmo., K. Sinclair., D. Kurz., M. McNair., S. Crist., L. shpritz., R. Saffouri., and R. Blair., 1995. Environmental costs of soil erosion and conservation benefites. *Science.* 267: 1117- 1123.
15. Parysow, P., G.X. Wang., G. Gertner., and A.B. Anderson., 2003. Spatial uncertainty analysis for GISping soil erodibility based on joint sequential simulation. *Catena*, 53:65-78.
16. Renard, K G., and J.R. Freimund., 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157: 287-306.
17. Sadeghi, S.H.R., J. K. Singh., and G. Das., 2004. Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction: a case study. *Int Agric Eng J.* 13: 1-14.
18. Strauss, P. and E. Klaghofer., 2003. Scale considerations for the estimation of soil erosion by water in Austria. Federal Agency for Water Management, Institute for Land and Water Management Research, A-3252. Petzenkirchen.
19. Tripathi, R. P., 2001. Soil Erosion and Conservation, New Age International Ltd, Polishers. 350 p.
20. UNEP, 1999. Human Development Report of the Islamic Republic of IRAN. Chapter 8, pp: 109-121.
21. Vrieling, A., G. Sterk., and N. Beaulieu., 2002. Erosion risk mapping: a methodological case study in the Colombian Eastern Plains. *J. of Soil and Water Conserve.* 57(3): 158-163.
22. 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.
23. Williams, J.R. and R.W. Hann., 1978. Optimal operation of large agricultural watersheds with water quality constraints. Texas Water Resources Institute, A&M University.
24. Wischmeier, W. H. A., 1971. Soil erodibility Nomo graph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26:189 193.
25. Wischmeier, W.H., and D.D. Smith., 1978. Predicting rainfall erosion. Losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook, vol. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC, pp 58.