

واسنجی مدل MUSLE به روش ضریب تصحیح نسبت m در برآورد بار رسوب وقایع سیلابی حوضه سد کمال صالح

مهدی مردیان^{۱*}، علی نجفی نژاد^۱، جواد وروانی^۲ و واحدبردی شیخ^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۵/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۵)

چکیده

یکی از بخش‌های مهم مدیریتی اکوسیستم‌ها، بررسی وضعیت رسوبدهی آبخیزها و تغییرات مربوط به آن است. با توجه به این که میزان رسوبدهی وابسته به میزان رواناب می‌باشد و رواناب بهترین شاخص منفرد برای برآورد بار رسوب است در این تحقیق به ارزیابی دو حالت تغییر شکل یافته مدل MUSLE برای ۹ رویداد سیلابی در دو زیرحوضه اصلی سد کمال صالح استان مرکزی پرداخته شد. برای انجام کار، پس از این که پارامترهای مدل مذکور شامل رواناب، ضریب فرسایش پذیری، توپوگرافی، مدیریت پوشش و عملیات حفاظت خاک با استفاده از روابط مربوطه محاسبه شد، توان عامل رواناب به دو روش اصلاح گردید. نتایج شاخص‌های ارزیابی نشان داد که در روش ضریب تصحیح نسبت m با ارائه یک رابطه به جای عدد ۰/۵۶ توان عامل رواناب، اختلاف مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی وقایع سیلابی کوچک و بزرگ در مقایسه با روش ضریب تصحیح میانگین به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که کاربرد این روش اصلاحی باعث افزایش صحت مدل MUSLE شده و درصد انحراف معیار را کاهش داده است. هم‌چنین آزمون اعتبارسنجی مدل در این روش اصلاحی انجام شد که بر این اساس ضریب کارایی برای ایستگاه حسن‌آباد (زیرحوضه رودخانه بزرگ) ۰/۹۹۷ و برای ایستگاه قلعه‌نو (زیرحوضه آشورآباد) ۰/۸۱۱ به دست آمد و کارایی مدل اصلاحی به روش ضریب تصحیح نسبت m را تأیید کرد. با این حال پیشنهاد می‌شود با داشتن تعداد بیشتری هیدروگراف منفرد و رسوبگراف متناظرشان، کارایی این روش اصلاحی در سایر آبخیزها نیز ارزیابی شود.

واژه‌های کلیدی: روش ضریب تصحیح نسبت m سد کمال صالح، شاخص‌های ارزیابی، مدل MUSLE

۱. به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و استادیاران آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. استادیار آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mehdimardian@yahoo.com

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت کره زمین و هم‌چنین تغییرات اقلیمی، کاهش منابع آب و حاصل‌خیزی خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات اکوسیستم‌ها به شمار می‌آید. این در حالی است که یکی از بخش‌های مهم مدیریتی اکوسیستم‌ها، بررسی وضعیت رسوبدهی آبخیزها و تغییرات مربوط به آن می‌باشد. برآورد بار رسوب در جریان‌های رودخانه‌ای به لحاظ مدیریت اثرات آن بر کیفیت آب، زندگی آبریان، وسایل حمل و نقل و هم‌چنین در مدیریت رسوب مخازن، شستشو و ته‌نشینی رسوب در کانال‌ها و بنادر از اهمیت زیادی برخوردار است (۱۱). اهمیت این موضوع باعث شده تا محققین با توجه به تغییرپذیری بالای وضعیت رسوب انتقالی جریان‌ها، سعی در توسعه چگونگی روابط بین دبی جریان و غلظت رسوب داشته باشند. از طرفی با شناسایی چگونگی فرآیندهای تأثیرگذار بر این رسوبدهی که مرتبط با خصوصیات اقلیمی، هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی آبخیزهاست، مدل‌هایی را در این زمینه ارائه داده یا مدل‌های قبلی را توسعه دهند. اگرچه مدل‌هایی از جمله معادله جهانی فرسایش خاک (Universal Soil Loss Equation) تخمین قابل‌قبولی از تلفات سالیانه خاک دارند، ولی در بیشتر آنها به عامل رواناب، مخصوصاً در مواقع سیلابی، کمتر اهمیت داده شده است. این اهمیت توجه به عامل رواناب باید به سه دلیل مدنظر باشد: ۱. میزان رسوب تولیدی وابسته به میزان رواناب می‌باشد و رواناب بهترین شاخص منفرد برای برآورد بار رسوب است (۲۰). ۲. طبق نتایج به دست آمده از تحقیقات گوناگون، بیشترین مقدار رسوب انتقالی در مواقع سیلابی مشاهده می‌شود (۲۱). ۳. توزیع بارش از سالی به سال دیگر متغیر است که این نیز روی عامل رواناب تأثیرگذار بوده و میزان رسوبدهی سالانه را تغییر می‌دهد (۱۸).

ویلیامز و همکارانش در سال ۱۹۷۸ برای اثربخشی عامل رواناب بر مدل USLE، با جایگزین کردن فاکتور رواناب به جای فاکتور فرسایش‌دهی بارش، "معادله اصلاح شده مدل جهانی فرسایش خاک" را تحت عنوان "MUSLE"

(Modified U.S.L.E.) ارائه دادند (۲۵). در نتیجه این مدل بار رسوب یک رویداد منفرد را براساس فاکتور رواناب و سایر خصوصیات آبخیز، طبق معادله ۱ برآورد می‌کند.

$$A = 11.8(V_{QQP})^{0.56} K.LS.C.P \quad [1]$$

در این فرمول A بار رسوب رویداد (تن)؛ V_Q حجم سیلاب (مترمکعب)؛ Q_P دبی اوج سیلاب (مترمکعب بر ثانیه)؛ K فاکتور فرسایش‌پذیری خاک؛ LS فاکتور توپوگرافی؛ C فاکتور پوشش و مدیریت؛ و P فاکتور عملیات حفاظت خاک است.

یکی از مزیت‌های مدل MUSLE سهولت کاربرد و اجرای آسان آن نسبت به اکثر مدل‌های برآورد بار رسوب است (۱۸). اما ضرایب اولیه مدل در فاکتور رواناب شامل $11/8$ و $0/56$ براساس مطالعات ویلیامز و برنت از ۷۷۸ رویداد سیلابی منفرد از ۱۸ آبخیز با مساحت‌های بین ۱۵ تا ۱۵۰۰ هکتار و شیب ۱ تا ۶ درصد، در نبرسکا به دست آمده است (۱ و ۲۵). در نتیجه کاربرد این مدل در سایر حوضه‌ها مستلزم تصحیح ضرایب فاکتور رواناب است. البته چندین حالت تغییر شکل‌یافته از MUSLE دیده می‌شود که برای مثال می‌توان به مدل MUSLT اشاره کرد که در آن مقادیر $2/5$ و $0/5$ به ترتیب جایگزین مقادیر ضرایب $11/8$ و $0/56$ فاکتور رواناب شده‌اند (۱). هم‌چنین برای برآورد رسوبدهی رخداد‌های سیلابی در خروجی آبخیزهای بزرگ که منابع تولید رسوب آنها به صورت توزیعی غیریکنواخت است؛ ویلیامز و هان (۲۵) یک مدل روندیابی بر مبنای MUSLE پیشنهاد کرده‌اند که مستلزم تقسیم آبخیز به چند زیرحوضه و استفاده از ضریب روندیابی می‌باشد. صادقی (۱۹) نیز با ارزیابی مدل MUSLE، با ارائه رابطه رگرسیونی و تعریف ضریب نسبی m مقدار $0/081$ را برای توان عامل رواناب در آبخیز امامه به دست آورده است. هم‌چنین وروانی و همکاران (۷) در تحقیقات خود دریافتند که مدل MUSLE و حالت‌های تغییر شکل‌یافته آن، برآورد بیش از اندازه واقعی دارند. استرایوس و کلاگوفر (۲۲) نیز با ارزیابی مدل مربوطه نتیجه گرفتند که با بزرگ‌تر شدن مقیاس سطح، میزان خطای مستقیم از برآوردهای بالا و پایین افزایش می‌یابد. هم‌چنین در تحقیقات

آبی در اراضی کم شیب مجاور رودخانه‌ها قرار دارد. شکل ۱ موقعیت حوضه سد کمال‌صالح و زیرحوضه‌های مطالعاتی آن را نشان می‌دهد. هم‌چنین جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های آبسنجی حوضه مطالعاتی را نشان می‌دهد. در این تحقیق وضعیت رسوبدهی خروجی دو زیرحوضه اصلی سد کمال‌صالح بررسی شده است.

محاسبه مقادیر فاکتورهای مدل MUSLE

الف) فاکتور رواناب ($Q_p \cdot V$): مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب به عنوان پارامترهای فاکتور رواناب در مدل MUSLE است. در این تحقیق، مقادیر این پارامترها از ۹ رویداد که در بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ به وسیله شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مرکزی ثبت شده بود، استخراج گردید.

ب) فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K): برای تعیین عدد مربوط به فاکتور فرسایش‌پذیری خاک، از خصوصیات خاک شامل بافت، ساختمان، نفوذپذیری، درصد مواد آلی، درصد شن، درصد سیلت و درصد رس استفاده شد. این خصوصیات قبلاً به وسیله مهندسین مشاور بوم‌آباد (۵) در هر یک از اجزای واحدهای اراضی زیرحوضه‌های سد کمال‌صالح بررسی شده است. لذا براساس خصوصیات خاک و با استفاده از نمودار ویشمایر (۱۳) مقدار K برای هر یک از اجزاء واحدهای اراضی به دست آمد. در نهایت با توجه به میانگین وزنی سطح هر یک از اجزاء واحدهای اراضی، عدد K برای هر یک از زیرحوضه‌ها تعیین شد.

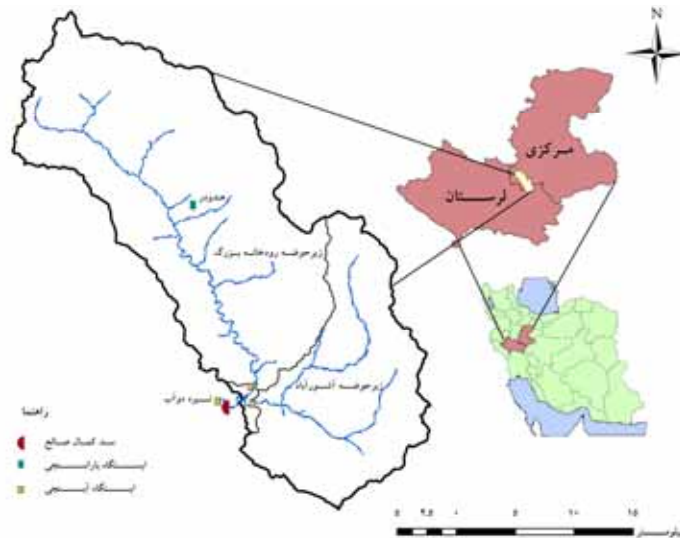
ج) فاکتور توپوگرافی (LS): طبق نظر بلانکو و نادائوکا (۹)، فاکتور LS از نظر برآورد، مبهم‌ترین و مشکل‌ترین فاکتور مدل جهانی فرسایش خاک می‌باشد. در این تحقیق، برای تعیین عدد LS با خطای پایین، از سه معادله شامل معادله ویشمایر و اشمیت (معادله ۲)، معادله مور و ویلسون (معادله ۳) و معادله میشر و همکاران (معادله ۴) استفاده شد. در معادله ویشمایر و اشمیت و معادله میشر و همکاران، عدد LS براساس میانگین LS از ۳۰ دامنه معرف محاسبه شد. در معادله مور و ویلسون

کامبازگلو و گوگاس (۱۰)، اپی‌فانیو و همکاران (۱۲)، پاندی و همکاران (۱۸)، صادقی (۱۹) و ویلیامز و هان (۲۵) گزارش شده که حتی مدل اصلاح شده MUSLE نیز فقط برای وقایع متوسط برآورد قابل‌قبولی از رسوبدهی ارائه می‌دهد؛ ولی برای اکثر وقایع بزرگ، برآورد کمتر و برای وقایع کوچک، برآورد بالاتری را به همراه دارد. بنابراین، هدف اصلی در این تحقیق بررسی این موضوع و ارائه روشی برای اصلاح ضرایب فاکتور رواناب است که براساس آن بتوان خطای مذکور را حذف و یا به میزان چشمگیری کاهش داد و با توسعه مدل MUSLE، میزان رسوبدهی وقایع سیلابی با شدت‌های متفاوت را با دقت قابل‌قبولی برآورد کرد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر حوضه سد کمال‌صالح استان مرکزی به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شده است. بررسی رسوبدهی این حوضه با توجه به خصوصیات مختلف آبخیز، که در فاکتورهای مدل MUSLE تعریف شده‌اند، می‌تواند در برنامه‌های مدیریت کاهش رسوب ورودی به مخزن سد به کار گرفته شود. حوضه سد کمال‌صالح با طول $49^{\circ} 04' 02''$ تا $49^{\circ} 27' 11''$ شرقی و عرض $33^{\circ} 33' 13''$ تا $33^{\circ} 55' 55''$ شمالی، با مساحت ۶۵۵ کیلومترمربع در جنوب غرب استان مرکزی و شمال شرق استان لرستان قرار دارد؛ و جزء سرشاخه‌های اصلی رودخانه تیره لرستان به حساب می‌آید. ارتفاع بیشینه این آبخیز ۲۹۶۰ متر، ارتفاع کمینه ۱۸۴۰ متر، ارتفاع متوسط ۲۱۵۷ متر و شیب متوسط حوضه ۱۲/۸ درصد می‌باشد. میانگین نزولات سالانه حدود ۵۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه نیز براساس روش آمبرژه در طبقه نیمه‌خشک سرد تا نیمه‌مرطوب سرد قرار دارد (۴). مورفولوژی حوضه از تپه‌ماهورها با واحدهای دگرگونی و مرتفع آذرین زون سنندج-سرجان تشکیل شده است. زراعت دیم عمدتاً در دامنه‌های اراضی تپه‌ماهوری و کوهستانی واقع است و زراعت



شکل ۱. موقعیت حوضه سد کمال صالح استان مرکزی

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های آبرسانی حوضه سد کمال صالح

ایستگاه	موقعیت	مختصات		ارتفاع ایستگاه (متر)	سطح زهکشی (کیلومتر مربع)
		عرض شمالی	طول شرقی		
حسن آباد	خروجی زیرحوضه رودخانه بزرگ	۳۳-۳۸-۴۷	۴۹-۱۷-۲۰	۱۸۲۵	۴۳۶/۵
قلعه‌نو	خروجی زیرحوضه آشورآباد	۳۳-۳۸-۰۰	۴۹-۱۷-۲۷	۱۸۲۰	۲۱۲/۸
تیره دو آب	پایین دست سد کمال صالح	۳۳-۳۸-۰۴	۴۹-۱۵-۳۳	۱۷۹۸	۶۶۷/۳

که در آن: A_s سطح سلول تقسیم بر عرض سلول (مترمربع بر متر)؛ β درجه شیب؛ n و m ضرایب معادله که به ترتیب برابر $0/4$ و $1/3$ می‌باشند (۱۵).

$$LS = L^{0/5} (0/0138 + 0/00974.Y + 0/001138.Y^2) \quad [4]$$

که در آن: L طول شیب یا فاصله از نقطه مبدأ جریان بالادست تا نقطه‌ای که شیب به حدی کاهش یابد که رسوبگذاری رخ دهد (متر)؛ Y درصد شیب در طول رواناب بالادست (۲۰).

(د) فاکتور پوشش و مدیریت (C): عدد فاکتور پوشش و مدیریت با توجه به وضعیت پوشش هر یک از کاربری‌های اراضی براساس جداول ارائه شده در این زمینه توسط USDA (۲۳ و ۲۴) تعیین شد. سپس میانگین عدد فاکتور C، براساس میانگین وزنی سطح هر یک از کاربری‌ها برای ماه وقوع سیلاب در زیرحوضه‌های مطالعاتی مشخص گردید.

نیز ابتدا با استفاده از مدل رقمی ارتفاع در حالت‌های اندازه سلول ۵۰ و ۱۰۰ متر لایه‌های شیب تهیه شد. سپس برای هر یک از این لایه‌ها، مقدار LS سلول‌ها طبق معادله مذکور محاسبه شد و میانگین LS در هر لایه تعیین شد. با مقایسه عینی نتایج به دست آمده از سه معادله مذکور، مقدار LS میانی، به عنوان مقدار مناسب فاکتور توپوگرافی انتخاب شد.

$$LS = \left(\frac{b}{22/13}\right)^m \cdot [0/065 + 0/0465(\theta) + 0/006541(\theta)^2] \quad [2]$$

که در آن: b طول شیب (متر)؛ θ درصد شیب؛ و m توان طول شیب که مقدار آن در شیب‌های کمتر از ۱ مساوی $0/2$ ، شیب ۱ تا ۳ مساوی $0/3$ ، شیب ۳ تا ۵ مساوی $0/4$ ، و شیب بالاتر از ۵ درصد مساوی $0/5$ است (۲۴).

$$LS = \left[\frac{A_s}{22/13}\right]^n \left[\frac{\sin \beta}{0/0896}\right]^m \quad [3]$$

می‌کند؛ Q_i دبی هیدروگراف در ساعت i (مترمکعب بر ثانیه)؛ Q_{i+1} دبی هیدروگراف در ساعت $i+1$ (مترمکعب بر ثانیه)؛ و a و b ضرایب معادله سنجه رسوب‌اند. لازم به ذکر است که از ۹ رویداد سیلابی، ۶ رویداد برای اصلاح مدل و ۳ رویداد برای آزمون اعتبارسنجی مدنظر قرار گرفته است. از این رو، پس از محاسبه مقادیر فاکتورهای مدل MUSLE، رسوب هر یک از رویدادها طبق معادله ۱ برآورد شد. سپس به شرح دو روش زیر شامل ضریب تصحیح میانگین (A) و ضریب تصحیح نسبت m توان فاکتور رواناب مدل اصلاح شد.

۱) **ضریب تصحیح میانگین (A):** در این روش، ابتدا مقادیر بار رسوب مشاهده‌ای (بر مبنای منحنی سنجه)، و برآوردی (بر مبنای مدل MUSLE با ضرایب اولیه) از ۶ رویداد روبروی هم قرار گرفتند. سپس توان فاکتور رواناب مدل MUSLE برای هر یک از رویدادها با سعی و خطا تصحیح شد تا اختلاف مقدار رسوب برآوردی با مشاهده‌ای به حداقل ممکن برسد. در نهایت، میانگین توان‌های اصلاح شده از ۶ رویداد، به عنوان عدد نهایی توان مدل انتخاب شد.

۲) **ضریب تصحیح نسبت m :** در این روش، ابتدا مانند روش قبلی با عمل سعی و خطا، توان مدل در هر رویداد اصلاح شد. سپس بین مقادیر توان‌های اصلاح شده هر رویداد با مقادیر فاکتور رواناب (دبی اوج در حجم متناظر سیلاب) رویداد متناظر، رابطه رگرسیونی براساس بیشترین ضریب تعیین (R^2) برقرار شد و این رابطه جایگزین مقدار 0.56 توان مدل MUSLE شد. بنابراین، برخلاف روش ضریب تصحیح میانگین، که مقدار توان اصلاحی برای تمامی رویدادها یک عدد ثابت به دست می‌آمد، در این روش، مقدار توان اصلاحی برای هر رویداد با یک رابطه (m) که مقدار آن مرتبط با شدت بزرگی آن رویداد است، به دست آمد.

ارزیابی و اعتبارسنجی

برای ارزیابی دو حالت تغییر شکل یافته مدل MUSLE، از شاخص‌های صحت و درصد انحراف (D_v) استفاده شد.

و) **فاکتور عملیات حفاظت خاک (P):** برای تعیین عدد فاکتور عملیات حفاظت خاک نیز از جداول USDA (۲۳ و ۲۴) که به هریک از عملیات حفاظتی امتیازی می‌دهد استفاده شد. در حوضه سد کمال‌صالح، مهم‌ترین عملیات حفاظت خاک شامل بانکت‌بندی همراه با کشت بادام، بذرپاشی و سدهای اصلاحی است که طبق روش USDA مقدار فاکتور مذکور برابر 0.9 برای این عملیات درنظر گرفته شد.

محاسبه بار رسوب مشاهده‌ای و برآوردی

به دلیل این‌که ۹ رویداد سیلابی فاقد رسوبگراف بود، از منحنی سنجه برای محاسبه بار رسوب مشاهده‌ای آنها استفاده شد. هر چند خود این منحنی سنجه رسوب نیز با خطای زیادی مخصوصاً در مواقع برآورد رسوب سیل مواجه است؛ با این حال برای داشتن مقادیر با خطای کمتر، از منحنی سنجه حدوسط دسته‌ها با تلفیق ضریب اصلاحی FAO (رابطه ۵ و ۶) که معمولاً مناسب ترسیم منحنی سنجه رسوب جریان‌های سیلابی است (۲، ۳ و ۶) استفاده شد.

$$Q_s = \alpha Q_w^b \quad [5]$$

$$\alpha = \frac{\bar{Q}_s}{\bar{Q}_w^b} \quad [6]$$

که در آن: Q_s غلظت رسوب بر حسب میلی‌گرم در لیتر یا تن در روز؛ Q_w دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه؛ و a و b ضرایب ثابت معادله؛ α فاکتور اصلاحی فائو، \bar{Q}_s میانگین غلظت رسوب نمونه‌های مشاهده‌ای (تن در روز)، و \bar{Q}_w میانگین دبی جریان نمونه‌های مشاهده‌ای (مترمکعب بر ثانیه) است. با استفاده از ضرایب a و b این معادله سنجه و هیدروگراف جریان، بار رسوب هر یک از وقایع سیلابی طبق رابطه ۷ محاسبه شد.

$$Y_o = \sum_{i=1}^n \frac{a \left[\frac{(Q_i + Q_{i+1})}{2} \right]^b}{24} \quad [7]$$

که در آن: Y_o بار رسوب محاسباتی از منحنی سنجه رسوب (تن) که به جای بار رسوب مشاهده‌ای از رسوبگراف عمل

هر یک از زیرحوضه‌ها در ماه سیلابی نشان می‌دهد. مقدار فاکتور P نیز با توجه به سطح کم عملیات بانکت به سطح کل آبخیزها برابر مقدار واحد در نظر گرفته شد. همان طور که اشاره شد، برای محاسبه رسوب مشاهده‌ای هر رویداد، از رابطه ۷ و مقادیر ضرایب a و b معادله سنجه رسوب استفاده گردید. روابط ۱۰ و ۱۱ ضرایب a و b معادلات سنجه رسوب حدوسط دسته‌ها با اعمال ضریب اصلاحی FAO را نشان می‌دهد.

معادله سنجه رسوب ایستگاه حسن‌آباد

$$Q_s = 6/19Q_w^{1/21} \quad [10]$$

معادله سنجه رسوب ایستگاه قلعه‌نو

$$Q_s = 5/94Q_w^{1/33} \quad [11]$$

در مورد رسوب برآوردی رویدادها هم که از حالت‌های تغییر شکل یافته مدل MUSLE استفاده شد. بدین صورت که در روش ضریب تصحیح میانگین، میانگین مقادیر اصلاحی توان عامل رواناب برای ایستگاه حسن‌آباد عدد ۰/۱۲۸ و برای ایستگاه قلعه‌نو عدد ۰/۱۲۵ به دست آمد. با جایگزینی این مقادیر به جای مقدار ۰/۵۶، بار رسوب براساس معادله اصلاح شده MUSLE به روش ضریب تصحیح میانگین برآورد شد (جدول ۶). مطابق مقادیر برآوردی رسوب از این روش و مقادیر رسوب مشاهده‌ای، برازش خطی از لگاریتم مقادیر رسوب برآوردی نسبت به خط ۱:۱ ترسیم شد (شکل ۲).

همان طور که اشاره شد، در مدل MUSLE بر مبنای روش ضریب تصحیح نسبت m مقدار توان فاکتور رواناب برای هر رویداد براساس یک رابطه رگرسیونی محاسبه شد (روابط ۱۲ و ۱۳).

ایستگاه حسن‌آباد

$$m = 0/0296 \ln(Q_p, V) - 0/3978 \quad [12]$$

ایستگاه قلعه‌نو

$$m = 0/0332 \ln(Q_p, V) - 0/4234 \quad [13]$$

شاخص صحت از متوسط بار رسوب برآوردی به مشاهداتی به دست می‌آید و مقدار آن در بهترین حالت برابر مقدار واحد است (۸). درصد انحراف نیز از رابطه ۸ محاسبه می‌شود که هرچه مقدار آن کمتر باشد، بیانگر نتایج بهتر مدل است.

$$\%D_v = \frac{SSY_o - SSY_e}{SSY_o} \times 100 \quad [8]$$

برای اعتبارسنجی مدل اصلاحی بهینه MUSLE، که براساس شاخص‌های ارزیابی تعیین شده است، از ضریب کارایی مدل (رابطه ۹) استفاده شد. این آزمون اعتبارسنجی برای ۳ رویداد مستقل انجام شد و براساس متوسط ضریب کارایی، اعتبار مدل اصلاحی بهینه MUSLE مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

$$ME = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (SSY_o - SSY_e)^2}{\sum_{i=1}^n (SSY_o - SSY_m)^2} \right] \quad [9]$$

که در آن: SSY_o بار رسوب مشاهده‌ای (تن)، SSY_e بار رسوب برآوردی (تن)، SSY_m متوسط مقادیر مشاهده‌ای (تن) است. ضریب کارایی مدل هر چه به یک نزدیک‌تر باشد دقت بالاتر است (۱۷).

نتایج

در مورد فاکتور رواناب، همان طور که اشاره شد، مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب ۹ رویداد از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مرکزی تهیه شد (جدول ۲). جدول ۳ عدد فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)، که با استفاده از نمودار ویشمایر به دست آمده است را برای هر یک از اجزای واحدهای اراضی نشان می‌دهد. با توجه به میانگین وزنی سطح هر یک از اجزای واحدهای اراضی، میانگین فاکتور فرسایش‌پذیری خاک برای هر دو زیرحوضه عدد ۰/۴۳ به دست آمد. در مورد عدد LS، با توجه به نتایج جدول ۴، مقادیر LS معادله مور و ویلسون در حالت اندازه سلول ۵۰ متر مابین سایر مقادیر هستند. بر این اساس، مقدار LS برای زیرحوضه رودخانه بزرگ ۲۶/۲۰ و برای زیرحوضه آشورآباد برابر ۱۶/۳۳ تعیین شد. جدول ۵ مقدار فاکتور C را براساس میانگین وزنی سطح کاربری‌ها برای

جدول ۲. مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب ۹ رویداد در زیرحوضه‌های سد کمال صالح

تاریخ رویداد	زیرحوضه رودخانه بزرگ		زیرحوضه آشورآباد	
	دبی اوج (m ³ /s)	حجم سیل (m ³)	دبی اوج (m ³ /s)	حجم سیل (m ³)
۱۳۷۹/۱/۵	۸۹/۴	۹۶۳۳۹۰۰	۱۹/۴	۱۶۶۸۷۰۰
۱۳۸۲/۱/۵	۱۷/۲	۱۴۵۲۸۰۰	۱۸/۸	۱۰۵۸۲۰۰
۱۳۸۲/۲/۱	۹۱/۵	۷۹۰۵۱۰۰	۱۹/۲	۲۸۲۷۸۰۰
۱۳۸۳/۱/۱۶	۶/۱	۴۶۴۴۰۰	۳	۲۱۶۲۰۰
۱۳۸۳/۲/۴	۴۹/۲	۳۲۷۷۶۰۰	۲۷/۱	۱۸۰۵۱۰۰
۱۳۸۳/۲/۷	۳۴/۴	۲۰۳۵۳۰۰	۱۷/۲	۹۴۷۴۰۰
۱۳۸۳/۲/۱۵	۴/۶	۲۰۳۵۳۰۰	۳/۵	۳۰۴۳۰۰
۱۳۸۳/۹/۲	۴/۳	۲۳۲۶۰۰	۴/۷	۱۵۲۵۰۰
۱۳۸۳/۱۲/۲۰	۱۳۹/۷	۱۸۰۶۹۰۰۰	۸۰/۴	۷۷۱۱۸۰۰

جدول ۳. عدد فرسایش پذیری خاک در اجزای واحدهای اراضی حوضه سد کمال صالح

واحدهای اراضی	۱,۲,۱	۲,۱,۱	۲,۲,۱	۲,۲,۲	۳,۱,۱	۳,۲,۱	۴/۵,۱,۱
مقدار K	۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۴۲	۰/۴۶	۰/۳۵	۰/۴۲

جدول ۴. مقادیر محاسبه شده فاکتور توپوگرافی با سه روش مختلف در حوضه سد کمال صالح

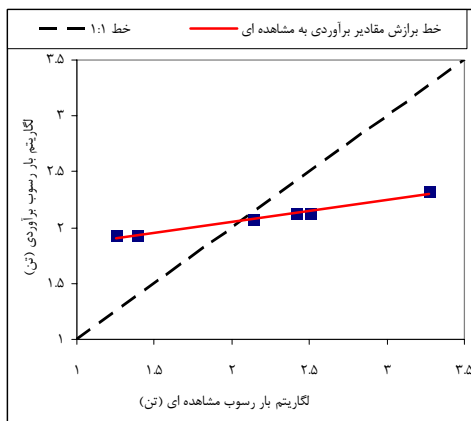
	معادله ویشمایر و اشمیت		معادله میشرای و همکاران	معادله مور و ویلسون	
	۲۲/۳۶	۱۸/۰۲		سلول ۵۰ متر	سلول ۱۰۰ متر
زیرحوضه رودخانه بزرگ	۲۲/۳۶	۱۸/۰۲	۱۹/۲۴	۲۰/۲۶	۲۶/۲۷
زیرحوضه آشورآباد	۱۸/۰۲	۱۸/۰۲	۱۵/۵۱	۱۶/۳۳	۲۱/۱۸

جدول ۵. مقادیر فاکتور C برای ماه وقوع سیلاب در زیرحوضه‌های سد کمال صالح

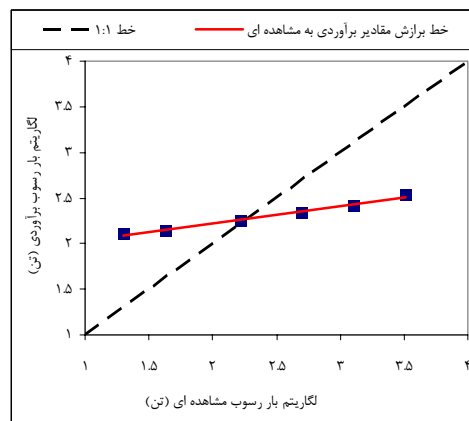
ماه موردنظر	زیرحوضه رودخانه بزرگ	زیرحوضه آشورآباد
آذر	۰/۲۲	۰/۲۱
اسفند	۰/۲۱	۰/۲
فروردین	۰/۲	۰/۱۹
اردیبهشت	۰/۱۹	۰/۱۸

جدول ۶. مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی مدل MUSLE به روش ضریب تصحیح میانگین (بر حسب تن)

ایستگاه قلعه‌نو			ایستگاه حسن‌آباد		
تاریخ رویداد	رسوب مشاهده‌ای از منحنی سنجه	رسوب برآوردی از MUSLE ^A	تاریخ رویداد	رسوب مشاهده‌ای از منحنی سنجه	رسوب برآوردی از MUSLE ^A
۱۳۷۹/۱/۵	۲۶۱/۶	۱۳۶/۷	۱۳۸۲/۱/۵	۱۶۶/۱	۱۸۱/۹
۱۳۸۳/۱/۱۶	۱۷/۸	۸۳/۹	۱۳۸۲/۲/۱	۱۲۷۰/۵	۲۶۵/۹
۱۳۸۳/۲/۴	۳۲۲/۵	۱۳۶/۴	۱۳۸۳/۱/۱۶	۴۲/۶	۱۳۷/۷
۱۳۸۳/۲/۷	۱۳۸/۸	۱۱۸/۹	۱۳۸۳/۲/۴	۴۹۰/۶	۲۱۹/۴
۱۳۸۳/۲/۱۵	۲۴/۸	۸۴/۵	۱۳۸۳/۹/۲	۲۰/۱	۱۳۲/۶
۱۳۸۳/۱۲/۲۰	۱۸۸۷/۷	۲۰۸/۲	۱۳۸۳/۱۲/۲۰	۳۲۲۹/۸	۳۴۴/۹



ایستگاه قلعه‌نو



ایستگاه حسن‌آباد

شکل ۲. برازش خطی لگاریتم مقادیر رسوب برآوردی (روش ضریب تصحیح میانگین) نسبت به خط مشاهده‌ای (۱:۱)

برآوردی جداول ۶ و ۸ نشان می‌دهد. مطابق با نتایج جدول ۹، روش ضریب تصحیح نسبت m به عنوان بهینه در اصلاح مدل MUSLE تعیین شد و اعتبارسنجی آن با بررسی رسوب مشاهده‌ای و برآوردی سه رویداد مستقل دیگر امتحان شد. جدول ۱۰ مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی براساس مدل اصلاحی بهینه MUSLE را برای سه رویداد مستقل نشان می‌دهد. براساس مقادیر جدول ۱۰، ضریب کارایی مدل برای ایستگاه حسن‌آباد (زیرحوضه رودخانه بزرگ) معادل ۰/۹۹۷ و برای ایستگاه قلعه‌نو (زیرحوضه آشورآباد) معادل ۰/۸۱۱ به دست آمد.

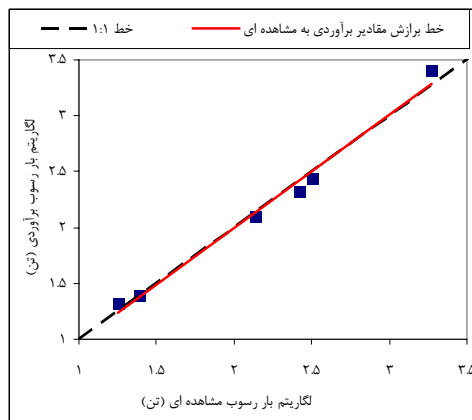
در این روابط m توان اصلاح شده مدل MUSLE؛ Q_p دبی اوج سیل (مترمکعب بر ثانیه)؛ و V حجم آبدهی (مترمکعب) رویداد متناظر است. با محاسبه مقدار m به عنوان توان اصلاح شده مدل برای هر یک از رویدادها (جدول ۷)، بار رسوب براساس معادله اصلاح شده MUSLE به روش ضریب تصحیح نسبت m برآورد شد (جدول ۸). مطابق مقادیر برآوردی رسوب از این روش و مقادیر رسوب مشاهده‌ای، برازش خطی از لگاریتم مقادیر رسوب برآوردی نسبت به خط ۱:۱ ترسیم شد (شکل ۳). جدول ۹ نتایج شاخص‌های ارزیابی حالت‌های تغییر شکل‌یافته مدل MUSLE را با توجه به مقادیر رسوب مشاهده‌ای و

جدول ۷. مقادیر توان اصلاح شده مدل MUSLE به روش ضریب تصحیح نسبت m

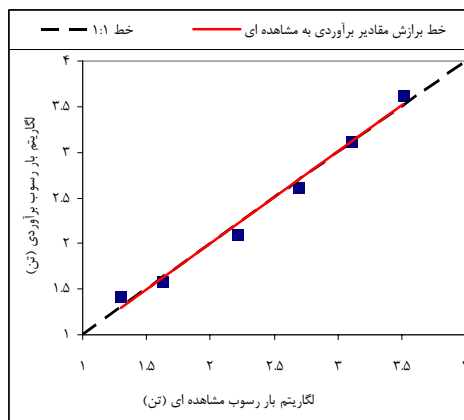
تاریخ	۷۹/۱/۵	۸۲/۱/۵	۸۲/۲/۱	۸۳/۱/۱۶	۸۳/۲/۴	۸۳/۲/۷	۸۳/۲/۱۵	۸۳/۹/۲	۸۳/۱۲/۲۰
حسن آباد	---	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۴۲	۰/۱۶	---	---	۰/۱۱	۰/۲۴
قلعه‌نو	۰/۱۵	---	---	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۳۷	---	۰/۲۵

جدول ۸. مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی مدل MUSLE به روش ضریب تصحیح نسبت m (بر حسب تن)

ایستگاه قلعه‌نو			ایستگاه حسن‌آباد		
تاریخ رویداد	رسوب مشاهده‌ای از منحنی سنجه	رسوب برآوردی از MUSLE ^m	تاریخ رویداد	رسوب مشاهده‌ای از منحنی سنجه	رسوب برآوردی از MUSLE ^m
۱۳۷۹/۱/۵	۲۶۱/۶	۲۱۳/۳	۱۳۸۲/۱/۵	۱۶۶/۱	۱۲۵/۹
۱۳۸۳/۱/۱۶	۱۷/۸	۲۰/۸	۱۳۸۲/۲/۱	۱۲۷۰/۵	۱۳۰۶/۱
۱۳۸۳/۲/۴	۳۲۲/۵	۲۷۴/۱	۱۳۸۳/۱/۱۶	۴۲/۶	۳۸/۳
۱۳۸۳/۲/۷	۱۳۸/۸	۱۲۴/۸	۱۳۸۳/۲/۴	۴۹۰/۶	۴۱۴/۱
۱۳۸۳/۲/۱۵	۲۴/۸	۲۵/۱	۱۳۸۳/۹/۲	۲۰/۱	۲۶/۴
۱۳۸۳/۱۲/۲۰	۱۸۸۷/۷	۲۵۴۹/۳	۱۳۸۳/۱۲/۲۰	۳۲۲۹/۸	۴۱۵۹/۹



ایستگاه قلعه‌نو



ایستگاه حسن‌آباد

شکل ۳. برازش خطی لگاریتم مقادیر رسوب برآوردی (روش ضریب تصحیح نسبت m) نسبت به خط مشاهده‌ای (۱:۱)

جدول ۹. مقادیر شاخص‌های ارزیابی در دو روش اصلاحی مدل MUSLE

ایستگاه قلعه‌نو		ایستگاه حسن‌آباد		شاخص ارزیابی
ضریب تصحیح m	ضریب تصحیح میانگین	ضریب تصحیح m	ضریب تصحیح میانگین	
۱/۱	۱/۷	۱/۱	-۰/۹	صحت
-۱/۶	-۶۷/۱	-۲/۲	-۹۴/۶	درصد انحراف

جدول ۱۰. مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی از مدل اصلاحی بهینه MUSLE برای سه رویداد مستقل (بر حسب تن)

ایستگاه قلعهنو			ایستگاه حسن‌آباد		
تاریخ رویداد	رسوب مشاهده‌ای از	رسوب برآوردی	تاریخ رویداد	رسوب مشاهده‌ای	رسوب برآوردی
از	منحنی سنجه	MUSLE ^m	از	منحنی سنجه	MUSLE ^m
۱۳۸۲/۱/۵	۱۶۰/۶	۱۵۱/۱	۱۳۷۹/۱/۵	۱۵۷۳/۸	۱۶۲۶/۵
۱۳۸۲/۲/۱	۴۲۳/۲	۲۹۶/۶	۱۳۸۳/۲/۷	۲۷۴/۲	۲۳۵/۹
۱۳۸۳/۹/۲	۱۴/۸	۲۴/۱	۱۳۸۳/۲/۱۵	۳۲/۲	۲۸/۹

بحث

انحراف معیار را کاهش داده و باعث افزایش صحت مدل MUSLE در حوضه مطالعاتی شده است. با توجه به این نتایج، مدل اصلاحی MUSLE به روش ضریب تصحیح نسبت m به عنوان مدل بهینه انتخاب شد و اعتبارسنجی آن در سه رویداد سیلابی مستقل دیگر با تعیین ضریب کارایی بررسی شد. بر این اساس ضریب کارایی مدل در ایستگاه حسن‌آباد (زیرحوضه رودخانه بزرگ) معادل ۰/۹۹۷ و در ایستگاه قلعهنو (زیرحوضه آشورآباد) معادل ۰/۸۱۱ به دست آمد. مقادیر بالای ضریب کارایی نشان می‌دهد که مدل اصلاحی MUSLE به روش ضریب تصحیح نسبت m به عنوان مدل بهینه، کارایی قابل قبولی دارد.

اما مساله مهمی که جای بحث دارد، این است که به‌کارگیری مدل MUSLE به روش ضریب تصحیح نسبت m تا به حال در تحقیقات داخلی و خارجی گزارش نشده است و برای اولین بار در این تحقیق به کار رفته است. البته صادقی (۱۹) با ارزیابی مدل MUSLE، با ارائه رابطه رگرسیونی و تعریف ضریب نسبی m عدد ثابت ۰/۸۱ را برای توان عامل رواناب در آبخیز امامه تعیین کرد؛ اما در این تحقیق به جای یک عدد ثابت، رابطه m جایگزین توان عامل رواناب شد. به گونه‌ای که عدد به دست آمده از این رابطه در ارتباط با بزرگی و شدت دبی اوج و حجم سیلاب رویداد است و یک مقدار ثابت برای تمامی رویدادها نیست، که به نظر می‌رسد این یک مزیت مهم در توسعه مدل MUSLE باشد. هرچند در این تحقیق روش ضریب تصحیح نسبت m در اصلاح مدل

در این تحقیق با هدف توسعه روش‌های برآورد بار رسوب وقایع سیلابی، به ارزیابی دو حالت تغییر شکل یافته مدل MUSLE در خروجی زیرحوضه‌های اصلی سد کمال‌صالح استان مرکزی پرداخته شد. بر این اساس، از دو روش اصلاحی به نام‌های ضریب تصحیح میانگین (A) و ضریب تصحیح نسبت m برای واسنجی مدل استفاده شد. در روش ضریب تصحیح میانگین، از میانگین توان‌های اصلاح شده رویدادها استفاده شد و در روش ضریب تصحیح نسبت m از یک رابطه به جای توان ۰/۵۶ مدل بهره گرفته شد. طبق نتایج به دست آمده از جدول ۶ و شکل ۲، مدل اصلاحی به روش ضریب تصحیح میانگین نتوانسته بار رسوب وقایع سیلابی بزرگ و کوچک را به خوبی برآورد کند و فقط در وقایع سیلابی با شدت متوسط عملکرد خوبی داشته است. این نتیجه با نتایج تحقیقات وروانی و همکاران (۷)، کامبازگلو و گوگاس (۱۰)، اپی‌فانیو و همکاران (۱۲)، پاندی و همکاران (۱۸)، صادقی (۱۹) و ویلامز و هان (۲۵) کاملاً مطابقت دارد. اما طبق نتایج جدول ۸ و شکل ۳، مدل اصلاحی به روش ضریب تصحیح نسبت m نتوانسته بار رسوب وقایع سیلابی با شدت‌های متفاوت را با دقت بالایی برآورد کند و محدودیت‌های حالت قبلی مدل را به خوبی برطرف کند. نتایج مربوط به شاخص‌های ارزیابی نیز نشان می‌دهد که مدل اصلاحی به روش ضریب تصحیح نسبت m عملکرد بهتری داشته است. به گونه‌ای که این روش اصلاحی نسبت به روش ضریب تصحیح میانگین، درصد

سیلاب‌های چند- اوجه نیز به کار گرفت. با فرض شرایط یکسان در سیلاب‌های چند- اوجه، غلظت رسوب اوج اول بیشتر از اوج‌های بعدی است. کوتیاری و همکاران (۱۶) دلیل آن را فرسودگی کمتر ذرات خاک در اوج‌های بعدی ناشی از چسبندگی ذرات می‌دانند و اشاره دارند که بایستی فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K) در اوج‌های دوم به بعد اصلاح شود. نکته مهم دیگر قابل بررسی در این تحقیق در مورد برآورد صحیح فاکتور LS است. حد بالای فاکتور LS در مدل مذکور مقدار واحد نیست؛ بلکه به دلیل مقادیر متفاوت طول دامنه، می‌تواند هر مقدار مثبتی را بپذیرد.

در این تحقیق با مقایسه نتایج سه معادله محاسبه فاکتور LS، سعی شد یک عدد منطقی به کار گرفته شد. با این حال با توجه به مقادیر متفاوت طول شیب و اثرات توپوگرافیکی و هیدرولوژیکی جریان‌های محدب، مقعر، واگرا و همگرا باید در مورد روش محاسبه این فاکتور تحقیقات بیشتری انجام گیرد. در پایان لازم به یادآوری است که کارایی روش ضریب تصحیح نسبت m در اصلاح مدل MUSLE بایستی در سایر آبخیزها نیز ارزیابی شود؛ به شرط آنکه رسوبگراف به جای منحنی سنجه مبنای رسوب مشاهده‌ای باشد. در صورتی که این روش در سایر حوضه‌ها کارایی قابل‌قبولی داشته باشد می‌توان به خوبی از این روش اصلاحی در برآورد رسوب وقایع سیلابی فاقد رسوبگراف استفاده کرد و در برنامه‌های مدیریتی آبخیزها آن را به کار گرفت.

MUSLE عملکرد بهتری داشته و توانسته است محدودیت اصلی روش ضریب تصحیح میانگین را برطرف کند، اما تصمیم‌گیری قطعی در مورد موفقیت این روش اصلاحی به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. به نظر می‌رسد مهم‌ترین داده‌های مورد نیاز برای بررسی صحت و دقت روش ضریب تصحیح نسبت m داشتن تعداد کافی هیدروگراف منفرد و رسوبگراف متناظر آنهاست. در این تحقیق با داشتن ۹ هیدروگراف، این روش اصلاحی بررسی شد، اما رسوبگراف متناظر آنها ثبت نشده بود. به همین دلیل منحنی سنجه حدوسط دسته‌ها با ضریب اصلاحی FAO جایگزین رسوبگراف شد که این خود نیز می‌تواند محاسبه صحیح بار رسوب مشاهده‌ای رویداد را با ابهاماتی روبرو کند و عدم قطعیت را افزایش دهد. زیرا در یک دبی مشخص در طول شاخه بالارونده و پایین‌رونده یک هیدروگراف جریان، غلظت رسوب برابر نیست و این خاصیت باعث می‌شود تا شکل منحنی سنجه به صورت حلقه درآید (۸، ۱۴ و ۲۱). بنابراین منحنی سنجه رسوب هر قدر هم که با دقت ترسیم شده باشد، به دلیل خطی بودن نمی‌تواند مشابه رسوبگراف عمل کند.

نکته مهم دیگری که در اینجا باید به آن پرداخته شود، در مورد تغییرات رسوبدهی وقایع سیلابی چند- اوجه است. مدل MUSLE در اصل برای برآورد بار رسوب وقایع سیلابی منفرد ارائه شده است (۷، ۲۰ و ۲۵) و به کارگیری آن در وقایع چند- اوجه گزارش نشده است. با این حال به نظر می‌رسد با اصلاح ضریب فرسایش‌پذیری خاک بتوان این مدل را برای

منابع مورد استفاده

۱. صادقی، س.ح.ر.، م. علافی بادی، م. دشتی مرویلی، ه. یغمایی و ه. اسدی. ۱۳۸۶. کاربرد MUSLT در برآورد رسوب ناشی از رگبارهای منفرد. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، صفحات ۱۲۵۸-۱۲۵۹.
۲. عرب‌خدری، م.، ش. حکیم خانی و ج. وروانی. ۱۳۸۳. اعتبار روش‌های برون‌یابی در برآورد میانگین رسوبدهی معلق سالانه (۱۷ ایستگاه هیدرومتری کشور). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱(۳):۱۲۳-۱۳۱.
۳. گنجی نوری، ز.، ج. م. و. سامانی، و. س. مرید. ۱۳۸۷. بررسی عدم قطعیت حجم رسوب مخازن سدها. مجله تحقیقات منابع آب ایران ۴(۱):۹۰-۹۷.

۴. مردیان، م.، ع. نجفی نژاد، ج. وروانی و و. ب. شیخ. ۱۳۸۸. بررسی رسوبدهی وقایع سیلابی با استفاده از مدل MUSLE و آمار مشاهداتی در زیرحوضه‌های سد کمال صالح استان مرکزی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۵. مهندسین مشاور بوم‌آباد. ۱۳۸۲. مطالعات پایه زیرحوزه هندودرا. مدیریت آبخیزداری سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی، ۵۹۷ ص.
۶. میرزایی، م.، ر.، م. عرب خلدی، س. فیض نیا و ح. احمدی. ۱۳۸۴. مقایسه روش‌های آماری برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها. مجله منابع طبیعی ۵۸(۲):۳۰۱-۳۱۳.
۷. وروانی، ج.، س. فیض نیا، ح. احمدی و م. جعفری. ۱۳۸۶. ارزیابی کارایی مدل‌های تجربی برآورد رسوب حوزه‌های آبخیز در زمان سیلاب‌های منفرد و ارائه ضرایب اصلاحی، نشریه دانشکده منابع طبیعی ۶۰(۴):۱۲۲۵-۱۲۳۹.
۸. وروانی، ج.، ع. نجفی نژاد و آ. میرمعینی کهرودی. ۱۳۸۷. اصلاح منحنی سنج رسوب با استفاده از روش حداقل واریانس نا اریب، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱۵(۱):۱۵۰-۱۶۱.
9. Blanco, A.C. and K. Nadaoka. 2006. A comparative assessment and estimation of potential soil erosion rates and patterns in Laguna lake watershed using three models: Towards development of an erosion index system for integrated watershed-lake management. Symposium on infrastructure development and the environment, Philippines.
10. Cambazoglu, M. K. and M. Gogus. 2004. Sediment yields of basins in the Western Black Sea Region of Turkey. Turkish J. Eng. Environ. Sci. 28:355-367.
11. Choudhury, P. and B.S. Sil. 2010. Integrated Water and Sediment Flow Simulation and Forecasting Models for River Reaches. J. Hydrol. 385(1-4): 313-322.
12. 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.
13. Georgia Soil and Water Conservation Commission. 2000. Manual for erosion and sediment control in Georgia. 5th ed., State Soil & Water Conservation Commission.
14. Khanouch, K., R. Altschul and F. Assassi. 2009. Estimating suspended sediment yield, sedimentation controls and impacts in the Mellah Catchment of Northern Algeria. Arab J. Geosci. 2(3): 257-271.
15. Knijff, J.M., R.J.A. Jones and L. Montanarella. 2000. Soil erosion risk assessment in Europe. European Soil Bureau. 38p.
16. Kothyari, U., M. Jain and K.G.R. Raju. 2002. Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS. Hydrol. Sci. J.-des Sci. Hydrol. 47(5):693-706.
17. Pandey, A., V.M. Chowdary, B.C. Mal and M. Billib. 2007. Runoff and sediment yield modeling from a small agricultural watershed in India using the WEPP model. J. Hydrol. 348(3-4): 305-319.
18. Pandey, A., V.M. Chowdary and B.C. Mal. 2009. Sediment yield modelling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS. Paddy Water Environ. 7:105-113.
19. Sadeghi, S.H.R. 2004. Application of MUSLE in prediction of sediment yield in Iranian conditions. 13th International Soil Conservation Organization Conference-Brisbane-Australia. 4p.
20. Sadeghi, S.H.R., T. Mizuyama and B. Vangah. 2007. Conformity of MUSLE estimates and erosion plot data for storm-wise sediment yield estimation. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 18(1):117-128.
21. Sadeghi, S.H.R., T. Mizuyama, S. Miyata, T. Gomi, K. Kosugi, T. Fukushima, S. Mizugaki and Y. Onda. 2008. Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed. J. Hydrol. 356:271-282.
22. 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.
23. USDA. 1977. Procedure for computing sheet and rill erosion on project areas. Technical release, Geology 51(Rev. 2), 18p.
24. USDA. 2002. National agronomy manual. 190-V-NAM, 3rd ed. 227p.
25. 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.

Calibration of MUSLE Model Using "*m* Correction Coefficient Method" to Predict Sediment Load of Torrential Events in the Kamal Saleh Dam Watershed

M. Mardian^{1*}, A. Najafinejad¹, J. Varvani² and V. B. Sheikh¹

(Received : Jul. 24-2010 ; Accepted : Jan.14-2012)

Abstract

Investigation in to the sediment delivery of watersheds and its variation is an important element of ecosystem management. Since sediment load depends on runoff quantity, and runoff is considered as a unique indicator of sediment load, in this research the two modified versions of the MUSLE model were evaluated for 9 torrential events in two subwatersheds of the Kamal Saleh watershed in the Markazi Province of Iran. To this end, first all factors of the model including runoff, erodibility, topographic, cover management, and support practice were estimated using routine equations of the model. Then, the power coefficient in the runoff factor was corrected, applying two methods: "*m* correction coefficient" and "average correction coefficient. The evaluation criteria showed that the "*m* correction coefficient method" (compared to the "average correction coefficient method") reduces the difference of the observed and estimated sediment load of small and large torrential events remarkably. In fact, the application of this modified method increased the accuracy of the MUSLE by decreasing the standard deviation of prediction. Also, the validation analysis of the modified method showed that the coefficient of efficiency indexes for the Hasan-Abad station (Rudkhane Bozorg subwatershed) and Ghal'e-No station (Ashur-abad subwatershed) were 0.997 and 0.811, respectively. This result confirms the efficiency of application of "*m* correction coefficient method". However, it is suggested that the performance of this method be evaluated using a sufficient number of individual hydrographs and their sedimentgraphs in other watersheds.

Keywords: Evaluation Criteria, Kamal Saleh dam, *m* Correction coefficient method, MUSLE model.

1. MSc. Grad. and Assis. Prof.s of Watershed Manage., Respectively, Gorgan Univ. of Agric. and Natur. Resour., Gorgan, Iran.

2. Assis. Prof. of Watershed Manage., College of Agric. and Natur. Resour., Islamic Azad Univ., Branch of Arak, Arak, Iran.

*: Corresponding Author, Email: mehdimardian@yahoo.com