ارزیابی کارايي مدل‌های تجربی برآورد رسوب حوزه‌های آبخیز در زمان سیلاب‌های منفرد و ارائه ضرائب اصلاحی

جواد وروانی*[١]، سادات فیض‌نیا[٢]، حسن احمدی[٢] و محمد جعفری[٢]
[١] دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ایران
[٢] استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستاني، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ٨٦/١/٢٥، تاریخ تصویب: ٨٦/٨/٢٨)

چکیده

ماهیت نامنظم و پراکنده حمل رسوب توسط رودخانه‌ها و به طور کلي تغییرات زماني و مکاني رسوبدهي حوزه‌هاي آبخیز بویژه در دوره‌هاي سیلابي در بیشتر موارد منجر به تصمیم گیری ها و قضاوت نادرست و غیرواقعي در مورد رفتار فرسایش و رسوب حوزه‌هاي آبخیز مي‌شود. به منظور برآورد رسوبدهی در زمان رخدادهاي سیلابی مدل‌های تجربی مختلفی ارائه شده است که در زمینه دقت و درستي برآورد این مدل‌ها اطلاعات اندکی وجوددارد. در این پژوهش به منظور ارزیابی کارايي مدل‌های مختلف تجربی برآورد رسوب سیلاب‌های منفرد، اقدام به نمونه‌برداری از بار رسوبی رخدادهاي سیلابی(۵رخداد) در ایستگاه هیدرومتری و رسوب سنجی پل دوآب (رودخانه قره چای استان مرکزی) شد. نمونه‌برداری همزمان غلظت و ثبت دبی جریان در رخدادهاي سیلابی به گونه‌اي انجام شد که شاخه‌های نزولی و صعودی هیدروگراف سیلاب‌های یاد شده را شامل شود . با داشتن میزان مشاهده‌اي از رسوبدهی رخدادهاي سیلابی میزان دقت و درستي مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابي با شاخص‌هاي مختلف نشان مي‌دهد که به طور کلي مدل‌های تجربي ارائه شده دو نوع برآورد متفاوت از خود نشان مي‌دهند, یکدسته از مدل‌ها برآورد بیش از اندازه واقعي داشته‌اند که شامل مدل MUSLE و تغییر شکلهای این مدل می باشد و دسته دوم مدل‌ها برآورد زیر اندازه واقعي داشته‌اند که مشتمل برمدل‌هاي رونديابي رسوب و منحني‌هاي سنجه رسوب یک خطي و حد وسط با ضریب درستي MVUE مي‌باشد. درخاتمه به منظور اصلاح برآورد مدل‌هاي مختلف میزان مشاهده اي به عنوان مبناي كار قرار گرفت و توان معادله‌هاي تجربي درستي شد.

واژه‌های کلیدی: رسوبدهی، رخدادهاي سیلابی، مدل MUSLE، رودخانه قره چای، هیدروگراف، غلظت رسوب

* نویسنده مسئول: تلفن: ٠٩١٨-٨٦٢٩٩٢١ فاکس: ٠٨٦١-٣٦٧٥٧٧٦ Email: varvani_55@yahoo.com

مقدمه

ماهيت نامنظم و پراكنده حمل رسوب توسط رودخانه‌ها و به طور كلي تغييرات زماني و مكاني رسوبدهي حوزه‌هاي آبخيز به‌ويژه در دوره‌هاي سيلابي در بيشتر موارد منجر به تصميم گيرها و قضاوت نادرست و غيرواقعي در مورد رفتار فرسايش و رسوب حوزه‌هاي آبخيز مي‌شود. شناخت درست فرآيندهای فرسايش و رسوب در برنامه ريزي و عمليات اجرايي حوزه‌هاي آبخيز تاثير زيادی می‌تواند داشته باشد. با اين وجود فرآيند رسوبدهي حوزه‌هاي آبخيز به‌ويژه رسوبدهي در شرايط سيلابي از چالش‌هاى پايه‌اي در برنامه‌هاى مديريتی به شمار مي‌رود. اين فرايند به دو علت كمتر مورد بررسي قرار گرفته است, دليل اول به ماهيت متغير و پيچيده آن برمي‌گردد كه افراد زيادي به‌اين موضوع اشاره نموده‌اند و دليل دوم نبود پشتوانه آماري مناسب در اين زمينه مي‌باشد (Demissie،۱۹۹۶؛ Walling وهمكاران ،۱۹۹۲؛ Hook، ۲۰۰۰؛ عرب خدری و همكاران، ۱۳۸۲؛ Banasik، ۲۰۰۵). در بررسی ويژگي‌هاي زماني بار معلق رودخانه اگزى[۱] در توروِرتون[۲] انگلستان، طي دوره ۱۹۷۸ تا ۱۹۸۰ Walling وWeb (۱۹۸۸) نتيجه‌گيری مي‌كنند كه غلظت بيشتر از ۱۰۰ ميلي گرم در ليتر فقط در ۵ درصد زمان (معادل ۱۸ روز در سال) رخ می‌دهد، ۵۰ درصد بار رسوبي در ۱ درصد زماني (معادل ۹۰ ساعت در سال) و ۹۰ درصد بار رسوبي در ۵ درصد زمان تجمعي تخليه مي‌شود. Kothyari و همكاران (۲۰۰۲) در برآورد تغييرات زمانی توليد رسوب با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافيايي، نسخه تغيير يافته‌ای از RUSLE را برای برآورد رسوب در سيلاب‌های منفرد به كار می‌برند كه نتيجه كار اين افراد تهيه گراف رسوب لحظه‌ای سيلاب‌ها بوده است. Hartley (۱۹۸۷) يك مدل توليد رسوب و رواناب براي رخدادهاي منفرد گسترش داده به‌طوري‌كه تعداد داده‌هاي ورودي و محاسبات كمتري را نياز داشته ولي درجه شباهت زيادي با فرآيندهاي هيدروليكي و هيدرولوژيكي داشته باشد. در اين مدل روش‌هاي عددي پيچيده و يا رونديابي هيدروليكي مورد نياز نبوده و با استفاده از نظريه انرژي جنبشي هيدروگراف سيل شبيه سازي می‌شود. در تعيين رسوبدهي اين مدل ميزان ذخيره چالابي، نفوذ، تأثير پوشش گياهي و كنش خاك در اثر قطره‌هاي باران و رواناب سطحي و فرايندهاي انتقال رسوب را در نظر مي‌گيرد.

Cohen و Laron (۲۰۰۵) با بررسي نرخ رسوبدهي در زمان رخدادهاي سيلابی جادين[۳] جنوبي اسرائيل سامانه‌اي را پياده كرده‌اند كه به طور خودكار ميزان بارش، جريان، باربستر و بار معلق را در طي رخدادهاي سيلابي ثبت مي‌كند. نتايج حاكي از اين سامانه نشانگر آن است كه غلظت رسوب معلق با دبي جريان آب رابطه قوي در مقياس يك رخداد داشته ولي روابط بين رخداداي پراكنده بوده است. ميزان رسوب يك رخداد منفرد زياد بوده ولي به‌علت تعداد كم سيلاب‌ها در مناطق خشك ميزان توليد رسوب ميانگين كمتر مي‌باشد. Williams (۱۹۷۵) مدل MUSLE را گسترش داده كه نسخه تغيير يافته‌ای از معادله جهانی فرسايش خاک (Wischmeier و Smith، ۱۹۶۵) می‌باشد. در اين مدل عامل انرژی باران مدل جهانی فرسايش خاک با عامل رواناب به گونه‌ای جايگزين شده است تا بتوان توليد رسوب هر رخداد سيل را بدست آورد. عامل رواناب هم شامل حجم رواناب و هم شامل ميزان بيشينه رواناب می‌باشد. در مقايسه با معادله جهانی مدل MUSLE برای يک رخداد منفرد می‌تواند به كار رود. برای برآورد رسوبدهی رخدادهاي سيلابی در خروجی حوزه‌های آبخيز بزرگ ويليامز (۱۹۷۵) يک مدل روندیابی برمبنای معادله MUSLE پيشنهاد می‌كند كه مستلزم تقسيم حوزه آبخيز به چند زير حوزه و استفاده از ضريب روندیابی می‌باشد.

۱- Exe

۲- Thorverton

۳- Judean

رضائی فرد وهمکاران (١٣٨١) در بررسي كارائي مدل MUSLE در برآورد رسوب رويدادهاي منفرد در زير حوزه افجه(لتيان) بيان می‌دارد كه برآورد رسوبدهي هر يك از رويدادها با استفاده از ضريب و نماي اوليه مدل به مراتب بيشتر از ميزان مشاهده‌اي است. با توجه به‌اين موضوع ضريب و نماي مدل اصلاح شدكه به ترتيب ميزان ۰/۰۴۶و ۰/۶۸ برای آنها پیشنهاد شد. Sadeghi (۲۰۰۴) نیز در اصلاح ضرایب مدل MUSLE توان ۰/۰۸۱ را برای این مدل پیشنهاد می‌کند. Nick و همکاران (۱۹۹۴) شکل کلی معادله MUSLE را تا حدودی تغییر داده و شاخص مساحت حوزه را به آن اضافه می‌نمایند. همچنین این افراد با تغییر تئوریکی مدل جهانی فرسایش خاک مدل TMUSLE را ارائه می‌دهند.

منحنی‌های سنجه رسوب که در واقع رابطه نمايي بين ميزان دبی جريان و دبی رسوب می‌باشند نيز در صورت عدم وجود داده‌های مشاهده‌ایی برای برآورد بار رسوبی هیدروگراف رخدادهاي سيلابی به کاربرده شده‌اند و حتی در بعضی موارد برآورد اين روابط به عنوان مبنای ارزيابی مدل‌های تجربی برآورد رسوب رخدادهاي سيلابی قرار گرفته‌اند. (رضائی فرد و همکاران ،١٣٨١؛ Sadeghi، ۲۰۰۴؛ عرب خدری و همکاران، ۱۳۸۲)

بيشتر بررسي‌هاي ياد شده بر اين نکته اتفاق نظر دارند که در برآورد درست و دقيق از ميزان رسوبدهی رخدادهاي منفرد و ارزيابی مدل‌های تجربی برآورد رسوب سيلاب‌ها بيش از همه نمونه‌برداری و ثبت هیدروگراف سیل از نظر میزان غلظت رسوب اهميت دارد. در صورت وجود چنين پايه آماری می‌توان برآورد مدل‌های تجربی را تا حد ممکن اصلاح نمود. با فرض اينکه ميزان رسوبدهی در زمان رخداد سيل با انجام نمونه‌برداری از شاخه‌های صعودی و نزولی هيدروگراف می‌تواند بدست آيد. اين بررسي با هدف ارزيابی دقت و درستي مدل‌های تجربی در برآورد رسوبدهی در زمان رخدادهاي سيلابی انجام شد.

مواد و روش‌ها

بررسی ويژگي‌هاي حوزه آبخيز

باتوجه به اهميت رودخانه قره چاي در سطح استان مرکزي از جنبه‌هاي مختلف اعم از آبخيزداري, مديريت منابع آب و خاک،عمران، فعاليت‌هاي زيربنايي, مقوله‌هاي اقتصادي و اجتماعي و از طرفي باتوجه به‌اينكه حوزه آبخيز ايستگاه هيدرومتري پل دوآب از سرشاخه‌هاي مهم اين رودخانه بوده و تأسيسات هيدرومتري و هواشناسي به نسبت مجهزی در اين منطقه قرار دارد, لذا اين حوزه آبخيز به عنوان منطقه مورد بررسي انتخاب شد. با استفاده از نقشه‌هاي ١:٢٥٠٠٠ توپوگرافي اين منطقه و كنترل‌هاي صحرايي در مورد مرز حوزه، خروجي و محل ايستگاه‌های هيدرومتري محدوده آبخيز مورد بررسي بسته شد. بعد از اين قسمت بااستفاده از نرم افزارهاي مختلف GIS (ARCVIEW, ILWIS 3) لايه‌هاي مختلف اطلاعاتي مشتمل بر نقشه‌هاي رقومی‌ارتفاع[1], نقشه شيب, جهت, شبكه زهكشي تهيه و ترسيم شد. نقشه‌هاي رقومي زمين شناسي, فرسايش, كاربري اراضي, تيپ اراضي آبخيز مورد بررسي نيز تهيه شد. نقشه‌های ياد شده برای بدست آوردن عامل‌های توپوگرافی، خاک، کاربری اراضی مدل MUSLE مورد استفاده واقع شد. با توجه به در دسترس بودن بررسي‌هاي تفصيلي (سازمان جهاد كشاورزي، مديريت آبخيزداري، ١٣٧٨) اطلاعات خاک شناسي، زمين شناسي, كاربري اراضي براي حوزه مورد بررسي استخراج شد. همچنين عمليات پيمايش صحرايي در جهت كنترل واحدهای مختلف نقشه‌های زمین شناسی وکاربری اراضی در سطح حوزه آبخيز انجام شد.

١- DEM

نمونه‌برداري، ثبت رخدادهاي سيلابي و بررسي ويژگي‌هاي هيدرولوژيكي رخدادهاي سيلابي

به منظور بررسي ويژگي‌هاي هيدرولوژيكي رخدادهاي سيلابي حوزه آبخيز ايستگاه پل دوآب و سه سرشاخه آن دبي‌هاي روزانه و هيدروگراف سيلاب‌هاي ثبت شده آنها جمع‌آوري شد. هيدروگراف سيلاب‌هاي رخدادهاي مختلف با روش‌ها مختلف از نقطه نظر آب پايه و جريان رواناب سطحي مورد تجزيه تحليل قرار گرفت و شاخص‌هاي مختلف مورد نياز استخراج شد. همچنين كليه آمار مربوط به غلظت رسوب‌ها معلق و دبي رسوب همزمان جهت ترسيم منحني‌هاي سنجه و بررسي‌هاي ديگر تهيه شد. از آنجائي‌كه نمونه‌برداري از رخدادهاي سيلابي با فاصله‌هاي زماني كوتاه به‌ويژه در شاخه‌هاي نزولي و صعودي هيدروگراف از نيازهاي اصلي اين پژوهش بوده است لذا بدين منظور تعداد ۵ رخداد سيلاب در ايستگاه پل دو آب با فاصله‌هاي زمانی یک ساعته نمونه‌برداري شد, نمونه‌برداري از بار معلق رودخانه با دستگاه USDH48 و از سه مقطع و در مواقعی كه به علت شرايط سيلابي و تلاطم شديد جريان امكان استفاده از دستگاه نبود, نمونه‌ها به روش دستي گرفته شد. روش نمونه‌برداري انتگراسيون عمقي با مقطع عرضي يكسان۱ (EWI) بوده است. همزمان با برداشت نمونه‌هاي بار رسوب،ميزان ارتفاع جريان آب با مقياس مدرج موجود در محل ايستگاه خوانده مي‌شد. بعد از گرفتن نمونه‌ها, در آزمايشگاه شاخص‌هاي مختلف كيفيت آب شامل غلظت رسوب, TDS، pH و EC اندازه‌گيري شد. لازم به يادآوري است در اين پژوهش فقط شاخص غلظت رسوب جهت بدست آوردن ميزان رسوبدهی هر رخداد سيل استفاده شد. نمونه‌برداري از بار معلق بعد از هر رخداد بارش همزمان با بالا آمدن ارتفاع آب در محل ايستگاه صورت مي‌گرفت. تا حد امكان نمونه‌برداري با رعايت نكات فني ارائه شده توسط موسسه بررسي‌هاي زمين شناسی امريكا[2] صورت گرفت (Edwards و Glysson، ۱۹۸۸). باتوجه به رابطه منحني سنجه آب در ايستگاه اطلاعات و رقوم سطح آب به دبي تبديل و هيدروگراف جريان سيلاب‌ها ترسيم شد. براي بدست آوردن گراف رسوب, ميزان غلظت رسوب بدست آمده با استفاده از رابطه (۱) تبديل به دبي رسوب شد (ميرابولقاسمیو مريد، ۱۳۷۴).

$$Qs = 0/864C.QW \qquad (۱)$$

در اين رابطه Qw دبی جريان آب (متر مكعب بر ثانيه) و C غلظت رسوب (ميلي گرم در ليتر) و Qs دبی رسوب (تن در روز) می‌باشد. تغييرات دبی رسوب در ساعت‌هاي مختلف به صورت گراف رسوب ارائه شد. بعد از بدست آوردن گراف رسوب حجم رسوب معلق هر رخداد سيل از روي گراف ترسيم شده محاسبه شد. با توجه به اينكه امكان اندازه‌گيری بار كف در زمان رخدادهاي سيلابی ممكن نبود لذا براي محاسبه بار كل رسوبي (مجموع بار كف و بار معلق) باتوجه به جدول استاندارد (Das، ۲۰۰۴) درصدي به عنوان باركف به آن اضافه شد (۱۰ درصد) كه درنهايت ميزان باركل رسوبي هر هيدروگراف بدست آمد.

کاربرد مدل‌های تجربی در برآورد باررسوبی رخدادهای سیلابی ثبت شده

روش‌های برآورد رسوب هیدروگراف سیل که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت شامل موارد زیر می‌باشد :

مدل **MUSLE** ويليامز (۱۹۷۵)

$$S=11.8(Q.qp)^{0.56}K.L.S.C.P \qquad (۲)$$

مدل **Nick** و همكاران (۱۹۹۴)

$$S= 1.586(Q.qp)^{0.56}DA^{0.12}K.L.S.C.P \qquad (۳)$$

۱- Equal Width Increment

۲- U.S. Geological Survey

مدل **TMUSLE**

$$S=2.5\ (Q.qp)^{0.5} K.L.S.C.P \qquad (۵)$$

ضرایب اصلاح شده **MUSLE** توسط رضائی‌فرد (۱۳۸۱)

$$S=0.046\ (Q.qp)^{0.68} K.L.S.C.P \qquad (۶)$$

ضرایب اصلاح شده **MUSLE**توسط **Sadeghi** (۲۰۰۴)

$$S=11.8(Q.qp)^{0.081} K.LS.C.P \qquad (۷)$$

مدل روندیابی ویلیامز (۱۹۷۵)

$$Ry = \sum_{i=1}^{n} y_i e^{-\beta Ti} \sqrt{D50i} \qquad (۸)$$

در معادله‌هاي ۱ تا ۷ شاخصS، میزان رسوب هر رخداد سیل به تن، Q حجم رواناب ناشی از هیدروگراف سیل به متر مکعب qp، دبی پیک سیلاب به متر مکعب بر ثانیه،DA سطح حوزه به هکتار،K عامل خاکشناسی، L و S به ترتیب عامل طول شیب و درصد شیب، C عامل پوشش گیاهی و P عامل اقدام‌هاي مدیریتی در معادله جهانی فرسایش خاک می‌باشد و در معادله ۸ شاخص Ry، رسوب رخداد سیل در خروجی حوزه به تن؛ y_i رسوبدهی از زیرحوزه i که از معادله اولیه MUSLEبدست می‌آید، β ضریب روندیابی،Tiزمان پیمایش از زیرحوزهi به خروجی حوزه به ساعت که می‌تواند معادل زمان تمرکز در نظر گرفته شود،$D50_i$قطرمدیان رسوبزیرحوزه i به میلیمتر می‌باشد.

به منظور برآورد رسوبدهي رخدادهاي سیلابی ثبت شده با روش‌های یاد شده در ابتدا شاخص‌هاي مختلف مورد نیاز هرروش محاسبه شد و سپس برآورد رسوبدهي رخدادهاي سیلابي انجام شد. به منظور استفاده از مدل روندیابي رسوب Williams (۱۹۷۵) محدوده حوزه آبخیز پل دو آب باتوجه به‌ایستگاه‌هاي هیدرومتري موجود در سرشاخه‌ها به چهار قسمت تقسیم شده که مشخصات هریک از آن ها به صورت جداگانه محاسبه شد. همچنین شاخص‌هاي مختلف مورد نیاز مدل روندیابي Williams (۱۹۷۵) جهت استفاده‌هاي بعدي تهیه شد. همچنین دراین قسمت شاخص زمان تمرکز هر حوزه باتوجه به روش‌هاي مختلف و استفاده از نرم افزار ١ SMADA محاسبه شد. با استفاده از روش گشتاورها و استفاده از هیتوگراف بارش‌هاي ثبت شده براي هر رخداد سیل و هیدروگراف‌هاي مشاهده‌اي ضریب ذخیره واز آنجا ضریب روند یابی در هر رخداد بدست آمد. از آنجائیکه سیلاب‌های ثبت شده در خروجي پل دو آب بوده در این قسمت باتوجه روش کریگر میزان شاخص‌هاي دبي سیلاب و حجم سیلاب براي سایر سرشاخه‌ها محاسبه شد. با توجه به داده‌های چندین ساله جریان آب و غلظت رسوب در ایستگاه پل دوآب منحنی‌های سنجه رسوب به دو روش یک خطی و حدوسط ترسیم و با احتساب ضریب درستي تبدیل لگاریتمی‌ناریب با کمینه واریانس (MVUE)[۲] در هر دو روش در کل ۴ روش منحنی سنجه رسوب انتخاب شد و میزان رسوب هر رخداد سیل با توجه به منحنی‌های سنجه رسوب برآورد شد.

ارزیابي کارایي مدل‌هاي تجربي

به منظور ارزیابي کارایي مدل‌های تجربی، رسوب برآورد شده با روش‌های مختلف با میزان واقعي مشاهده شده هر هیدروگراف مقایسه شد. شاخص‌هاي مختلف ارزیابي مشتمل بر شاخص میانگین اختلافات، مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE)[۳]، شاخص خطاي برآورد PE[٤] ومیانگین اختلاف برآورد به تن به عنوان شاخص درستي و ضریب تغییرات که از تقسیم انحراف معیار به میانگین برآورد ها بدست می‌آید به عنوان شاخص دقت مد نظرقرار گرفت. در ادامه کار ارزیابی

١- Storm water Management and Design Aid

٢- Minimum Variance Unbiased Estimator

١- Root Mean Square Error

٢- Prediction Error

توان معادله‌هاي مختلف ارائه شده با استفاده از بار رسوبی مشاهده شده درست شد و با تجزیه تحلیل رگرسیون چند متغیره رابطه بین نمای معادله‌هاي و شاخص‌های مختلف هیدروگراف جریان بدست آمد. در پایان با استفاده از ضرایب اصلاح شده رسوبدهی ۱۸ مورد دیگر از سیلاب‌ها که در سر شاخه‌ها و خروجی حوزه آبخیز اندازه‌گیری شده بود برآورد شد و نتایج با همدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج

در جدول ۱ میزان برآوردی رسوب سیلاب‌های ثبت شده با مدل‌های مختلف تجربی ومیزان مشاهده‌هایی آورده شده است. میزان شاخص‌های مختلف درستي و دقت مدل‌ها در جدول ۲ آورده شده است. مدل‌های رگرسیونی چند متغیره بین توان معادله‌هاي تجربی و شاخص‌های هیدروگراف سیل در معادله‌هاي ۲ تا ۴ مشخص شده است. همچنین در جدول ۳ میزان اصلاح شده توان معادله‌هاي تجربی برآورد رسوب سیلاب آورده شده است. به منظور بررسي وضعيت برآوردهاي ضرائب اصلاح شده در ۱۸ مورد دیگر از سیلاب‌هاي رخ داده در حوزه آبخیز شازند, بازنه و پل دوآب, نتایج مدل‌هاي مختلف به کارگرفته شد که در جدول ۴ آمده است.همچنین از آنجایيكه فقط امكان درستي منحنی‌های سنجه رسوب در ایستگاه پل دوآب وجود داشت لذا در جدول ۵ نتایج مقایسه برآورد منحنی‌های سنجه اصلاح شده با مدل‌های MUSLE ویلیامز (۱۹۷۵)، Nickو همکاران (۱۹۹٤) و TMUSLE آورده شده است.

روابط چند متغیره بين توان معادله‌هاي تجربی و شاخص‌های هیدروگراف سیل

$$P1= -0.9+0.103Ln(Q)-0.0102Tp \quad (۹)$$
$$(R^2=0.98, SE=0.03)$$

$$P2= -0.8+0.0974Ln(Q)-0.0097Tp \quad (۱۰)$$
$$(R^2=0.98, SE=0.03)$$

$$P3= -0.605+0.0869Ln(Q)-0.009Tp \quad (۱۱)$$
$$(R^2=0.97, SE=0.03)$$

در این معادله‌ها P1، P2 وP3 به ترتیب میزان توان مدل‌های MUSLE،مدل Nick و همکاران (۱۹۹۴) و مدل TMUSLE می‌باشند. Ln (Q) و Tp به ترتیب میزان لگاریتم طبیعی حجم رواناب سیل و زمان تا اوج سیلاب می‌باشد.

جدول ۱- میزان رسوب برآورد شده (به تن) سیلاب‌های ثبت شده، شاخص‌های مدل‌های مختلف تجربی ومیزان رسوب مشاهده‌اي

شاخص و مدل‌های مختلف -تاریخ سیلاب		۸۳/۱/۱۶	۸۳/۱/۲۲	۸۳/۲/۱	-۸۳/۲/۴ ۸۳/۲/۸	-۸۶/۲/۱۵ ۸۶/۲/۱۷
مساحت حوزه آبخیز به هکتار	DA	۱۷۵۰۹۲/۰۴	۱۷۵۰۹۲/۰۴	۱۷۵۰۹۲/۰۴	۱۷۵۰۹۲/۰۴	۱۷۵۰۹۲/۰۴
حجم رواناب (m^3)	Q	۳۰۵۳۷۰/۰۰	۱۵۷۵۰/۰۰	۶۰۱۷۴۰/۰۰	۲۲۵۳۴۹۴۳/۱۳	۲۰۴۱۲۰۰/۰۰
دبی بیشینه سیلاب به (m^3/S)	qp	۱۸/۵۵	۲/۱۰	۱۰/۸۰	۹۰/۷۰	۵۳/۲۰
عامل فرسایش پذیری خاک	K	۰/۳۵۷۶	۰/۳۵۷۶	۰/۳۵۷۶	۰/۳۵۷۶	۰/۳۵۷۶
عامل توپوگرافی	LS	۵/۷۲	۵/۷۲	۵/۷۲	۵/۷۲	۵/۷۲
عامل پوشش کیاهی	C	۰/۱۳۹۶	۰/۱۳۹۶	۰/۱۳۹۶	۰/۱۳۹۶	۰/۱۳۹۶
عامل اقداما ت حفاظتی	P	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۹۵
میزان رسوبدهی با مدل MUSLE (۱۹۷۵،Williams)		۲۰۳۸۱/۸۲	۱۱۴۳/۹۰	۲۲۰۱۱/۷۱	۵۵۱۲۲۲/۹۶	۱۰۶۵۴۰/۳۳
رسوبدهی با مدل Nick و همکاران (۱۹۹٤)		۱۱۶۶۴/۲۳	۶۵۴/۶۴	۱۲۵۹۷/۰۰	۳۱۵۴۵۷/۲۰	۶۰۹۷۱/۵۴
رسوبدهی با مدل TMUSLE		۱۶۹۸/۶۸	۱۲۹/۸۰	۱۸۱۹/۴۶	۳۲۲۶۶/۹۲	۷۴۳۷/۴۵
ضرایب اصلاح شده مدل MUSLE توسط رضايي فرد و همكاران (۱۳۸۱)		۵۱۳/۴۵	۱۵/۵۵	۵۶۳/۷۳	۲۸۱۴۸/۷۳	۳۸۲۵/۴۸
ضرایب اصلاح شده مدل MUSLE توسط صادقي (۲۰۰۴)		۱۱/۶۶	۷/۶۸	۱۱/۷۹	۱۸/۷۸	۱۴/۸۱
میزان تولید رسوب با استفاده از منحنی سنجه رسوب	یک خطی	۶۹/۸۶	۱/۸۵	۱۱۵/۷۱	۷۷۵۸/۵۷	۵۶۸/۴۰
	حدوسط	۱۲۶/۲۵	۲/۲۸	۱۸۸/۵۴	۱۷۸۳۰/۷۳	۱۲۱۴/۸۶
	یک خطی - MVUE	۷۶/۲۹	۲/۰۴	۱۲۶/۷۱	۸۴۲۷/۲۲	۶۳۸/۴۰
	حد وسط - MVUE	۱۳۰/۲۷	۲/۳۳	۱۴۳/۷۷	۱۸۳۸۳/۳۴	۱۲۵۳/۵۶
مدل روند یابی رسوب ویلیامز (۱۹۷۵)		۱۱۶/۶۸	۱/۵۷	۱۶۱/۲۵	۴۰۵۸/۷۴	۷۹۵/۷۶
رسوب مشاهده‌هایی(تن)		۱۰۱۹/۷۰	۶/۵۰	۱۴۶۲/۱۹	۲۹۲۸۷/۸۸	۳۶۴۱/۱۹

جدول ۲- میزان مختلف شاخص‌های درستي و دقت برآورد مدل‌های مختلف تجربی رسوب رخدادهاي سيلابی

مدل‌های مختلف		میانگین اختلافات	مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE)	PE	میانگین اختلاف برآورد به تن	ضریب تغییرات (درصد)
مدل Williams MUSLE (۱۹۷۵)		۱/۴۹۳	۱/۴۹	۵۰/۸۳	۱۳۳۱۷۶/۶۵	۱۶۶/۳۴
مدل Nick و همکاران (۱۹۹٤)		۱/۲۵۱	۱/۲۵	۲۸/۶۶	۷۳۱۸۵/۴۳	۱۶۶/۳۴
مدل TMUSLE		۰/۳۹۴	۰/۳۹	۴/۲۱	۱۵۸۶/۹۷	۱۵۵/۴۷
ضرایب اصلاح شده مدل MUSLE توسط رضايي فرد و همكاران (۱۳۸۱)		-۰/۰۶۶	۰/۰۷	۰/۵۲	۵۴۷/۴۴	۱۸۳/۴۷
ضرایب اصلاح شده مدل MUSLE توسط صادقي (۲۰۰۴)		-۱/۹۰۹	۱/۹۱	۰/۸۳	۷۰۷۱/۰۲	۳۱/۹۰
منحنی سنجه رسوب	یک خطی	-۰/۸۳۶	۰/۸۴	۰/۸۳	۵۳۷۷/۰۱	۱۹۸/۷۲
	حدوسط	-۰/۵۸۹	۰/۵۹	۰/۶۹	۳۲۱۰/۹۶	۲۰۱/۸۸
	یک خطی -MVUE	-۰/۷۹۸	۰/۸۰	۰/۸۱	۵۲۲۹/۳۶	۱۹۸/۶۴
	حد وسط -MVUE	-۰/۶۰۲	۰/۶۰	۰/۶۹	۳۱۰۰/۸۳	۲۰۲/۵۳
مدل روند یابی رسوب ویلیامز (۱۹۷۵)	Dm اولیه	-۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۴	۶۰۵۶/۶۹	۱۶۷/۸۰
	Dm (0/05)	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۳۴	۵۱۹/۵۶	۱۶۷/۸۰

جدول ۳- میزان اصلاح شده توان معادله‌هاي تجربی برآورد رسوب سيلاب

تاریخ سیلاب		۸۳/۱/۱۶	۸۳/۱/۲۲	۸۳/۲/۱	۸۳/۲/۴-۸۳/۲/۸	۸۳/۲/۱۵-۸۳/۲/۱۷	میزان میانگین
مدل MUSLE ویلیامز (۱۹۷۵)		۰/۳۶۷	۰/۰۶۳	۰/۳۸۷	۰/۴۲۳	۰/۳۷۸	۰/۳۲۴
مدل Nick و همکاران (۱۹۹٤)		۰/۴۰۳	۰/۱۱۷	۰/۴۲۳	۰/۴۴۹	۰/۴۰۸	۰/۳۶۰
مدل TMUSLE		۰/۴۶۷	۰/۲۱۲	۰/۴۸۶	۰/۴۹۵	۰/۴۶۱	۰/۴۲۴
منحنی سنجه رسوب	یک خطی	۲/۸۷	۱/۲۹۵	۲/۲۱۵۹	۱/۶۵	۱/۸۴	۱/۹۷
	حدوسط	۲/۸۱	۱/۲۸۲	۲/۱۴۷	۱/۶۱	۱/۸۱	۱/۹۳

جدول ۴- برآورد رسوب (به تن) رخدادهاي سیلابی سال‌های ۸۱ و ۸۲ در ایستگاه پل دوآب
و سرشاخه‌های آن با استفاده از معادله‌هاي اصلاح شده

حوزه آبخیز	تاریخ رخداد سیلاب	رسوبدهی با مدل اصلاح شده **MUSLE** ویلیامز(١٩٧٥)	رسوبدهی با مدل اصلاح شده **Nick** و همکاران (١٩٩٤)	رسوبدهی با مدل اصلاح شده TMUSLE
شازند	۸۲/۱/۵-۸۲/۱/۷	۳۰۸/۹۶	۲۴۶/۹۳	۳۱۰/۶۲
	۸۲/۲/۱-۸۲/۲/۳	۳۲۶/۹۳	۲۶۲/۹۴	۳۳۴/۴۷
	۸۳/۱/۱۶-۸۳/۱/۱۷	۱۱۴/۷۵	۸۲/۱۶	۸۴/۹۸
	۸۳/۱/۲۹-۸۳/۱/۳۰ (a)	۹۵/۴۰	۶۶/۹۱	۶۶/۷۴
	۸۳/۱/۲۹-۸۳/۱/۳۰ (b)	۴۱/۵۸	۲۶/۵۹	۲۲/۵۱
	۸۳/۲/۵-۸۳/۲/۷	۲۴۴/۷۲	۱۹۰/۵۹	۲۲۸/۹۶
	۸۳/۲/۱۵-۸۳/۲/۱۶	۱۱۲/۸۴	۸۰/۶۴	۸۳/۱۳
بازنه	۸۲/۱/۶-۸۲/۱/۷	۹۱/۰۹	۶۵/۰۷	۶۰/۶۱
	۸۲/۱/۲۷-۸۲/۱/۳۰	۵۸/۴۱	۳۹/۷۱	۳۳/۸۸
	۸۲/۲/۲-۸۲/۲/۴	۴۳۶/۹۴	۳۷۱/۵۴	۴۷۱/۶۷
	۸۳/۲/۵-۸۳/۲/۷ (a)	۲۰۱/۲۷	۱۵۷/۰۲	۱۷۱/۰۳
	۸۳/۲/۵-۸۳/۲/۷ (b)	۲۰۴/۸۴	۱۶۰/۱۲	۱۷۵/۰۲
	۸۳/۲/۱۵-۸۳/۲/۱۶	۲۰۱/۰۲	۱۵۶/۸۱	۱۷۰/۷۶
پل دوآب	۸۱/۱۲/۱۶-۸۱/۱۲/۱۸	۲۸۶/۶۸	۲۶۸/۸۱	۲۳۹/۴۰
	۸۱/۱۲/۲۲-۸۱/۱۲/۲۳	۱۳۶/۱۸	۱۱۷/۵۶	۹۰/۳۸
	۸۲/۱/۶-۸۲/۱/۸	۱۷۰۸/۷۵	۱۹۵۳/۷۶	۲۴۷۵/۵۹
	۸۲/۱/۲۷-۸۲/۲/۶ (a)	۱۲۶۱/۹۱	۱۳۹۵/۰۶	۱۶۶۴/۹۳
	۸۲/۱/۲۷-۸۲/۲/۶ (b)	۴۰۹۴/۶۲	۵۱۵۹/۱۳	۷۷۶۸/۸۰

جدول ۵- نتايج برآورد رسوب(به تن) رخدادهاي سيلابی سال‌های ۸۱ و ۸۲ در ايستگاه پل دوآب با استفاده از منحنی سنجه اصلاح شده و معادله‌هاي تجربی اوليه

تاريخ رخدادهاي سيلاب	رسوبدهی با مدل MUSLE ويليامز (۱۹۷۵)	رسوبدهی با مدل Nick و همكاران (۱۹۹۴)	رسوبدهی با مدل TMUSLE	مدل روند يابی ويليامز (۱۹۷۵)	منحنی سنجه يک خطی اصلاح شده	منحنی سنجه حدوسط اصلاح شده
۸۱/۱۲/۱۶-۸۱/۱۲/۱۸	۷۲۹۷/۲۲	۴۱۷۶/۱۰	۶۷۸/۹۲	۳۰۱/۶۰	۶۱/۳۹	۶۶/۲۹
۸۱/۱۲/۲۲-۸۱/۱۲/۲۳	۲۰۱۵/۶۱	۱۱۵۳/۵۰	۲۱۵/۲۵	۲۱/۷۲	۷/۶۲	۸/۵۷
۸۲/۱/۶-۸۲/۱/۸	۱۵۹۶۳۹/۷۷	۹۱۳۵۹/۶۱	۱۰۶۷۱/۷۱	۷۹۰۰/۷۷	۱۱۱۶۳/۵۸	۱۰۷۹۲/۳۵
۸۲/۱/۲۷-۸۲/۲/۶ (a)	۹۴۵۳۶/۰۷	۵۴۱۰۱/۶۷	۶۶۸۴/۵۲	۵۳۵۶/۲۲	۱۷۰۹/۳۱	۱۷۴۵/۴۹
۸۲/۱/۲۷-۸۲/۲/۶ (b)	۷۲۲۹۸۱/۹۶	۴۱۳۷۵۲/۴۷	۴۱۱۰۸/۹۳	۳۷۴۷۴/۰۹	۱۷۰۸۱۰/۴۳	۱۶۰۰۰۶/۵۶

بحث

با بررسی ميزان رسوب برآوردی و مشاهده‌هايی با شاخص‌های مختلف می‌توان ديد كه دو نوع برآورد متفاوت در روش‌های به كار گرفته شده وجود دارد. يكدسته از مدل‌ها برآورد بيش از اندازه واقعي داشته‌اند كه شامل مدل MUSLE Williams، ۱۹۷۵)، مدل Nick و همكاران (۱۹۹۴) و مدل TMUSLE مي‌باشد. دسته دوم مدل‌ها برآورد زير اندازه واقعي داشته‌اند كه مشتمل برمدل‌هاي روندیابي رسوب Williams (۱۹۷۵)، ضرايب اصلاح شده مدل MUSLE توسط صادقي (۲۰۰۴) ، ضرايب اصلاح شده مدل MUSLE توسط رضايي فرد وهمكاران(۱۳۸۱)، منحني‌هاي سنجه رسوب يک خطي و حد وسط با ضريب درستي MVUE مي‌باشد. در ميان مدل‌هاي مختلف تجربي مورد ارزيابي برآورد مدل رسوبدهي Williams (۱۹۷۵) يا MUSLE با ضرائب اوليه نسبت به ساير مدل‌ها درستي كمتري داشته است بدين معني كه برآوردهاي مدل اختلاف زيادي با ميزان مشاهده‌هايي داشته است. به عنوان مثال شاخص ميانگين اختلاف براي اين مدل ۱/۴۹۳ بوده كه در حالت طبيعي ۱۳۳۱۷۶/۶۵ تن برآورد بيش از حد واقعي داشته است.در رسوبدهي با مدل Nick و همكاران (۱۹۹۴) نيز شاخص درستي كمتر بوده و اختلاف برآورد مدل در حدود ۷۳۱۸۵/۴۳ تن بوده است. به همين ترتيب شاخص ميانگين اختلاف براي مدل TMUSLE نسبت به مدل‌هاي ديگر كمتر بوده (۰/۳۹۴) كه نشان دهنده برآورد به‌نسبت بهتر اين مدل از دو مدل قبلي است. با توجه به ارزيابي شاخص‌ها مي‌توان گفت كه از بين مدل‌هاي ياد شده، ضرايب اصلاح شده مدل MUSLE توسط رضايي فرد و همكاران (۱۳۸۱) برآورد به‌نسبت مناسبي داشته است.ميزان اختلاف برآورد اين روش با ميزان مشاهده‌هايي در حدود ۵۴۷/۴۲ تن بوده است كه نسبت به ساير مدل‌ها اختلاف كمتري به حساب مي‌آيد. از آنجائي‌كه روش ياد شده تغير يافته مدل MUSLE اوليه است و تنها تفاوتي كه با اين مدل دارد توان آن ميزاني از توان معادله اصلي بيشتر است (۰/۶۸ در مقابل ۰/۵۶) همچنين مبناي اين ضرايب ميزان برآورد شده با منحني رسوب بوده است لذا استفاده از اين ضرائب را نمي‌توان پيشنهاد نمود. تنها برتري كه ضرايب اصلاح شده مدل MUSLE توسط صادقي (۲۰۰۴) دارد اين است كه ميزان دقت برآورد اين ضرايب نسبت به ساير مدل‌ها زيادتر بوده ولي اين شاخص نمي‌تواند به دو دليل مبناي گزينش مدل ياد شده شد. دليل اول اينكه ضرايب ياد شده بر پايه

داده‌هاي محاسباتي منحني سنجه رسوب بوده است, همان‌طوري‌که اشاره شد خود منحني‌هاي سنجه رسوب برآورد کمتر از حد واقعي داشته‌اند و کاربرد آنها با خطاي زيادي روبرو مي‌باشد و دليل دوم اينکه بافرض بالا بودن ميزان دقت برآورد ميزان درستي برآورد بسيار پايين بوده و به عنوان مثال شاخص ميانگين اختلاف براي اين مدل ١/٩٠٩ بوده است که نسبت به ساير مدل‌ها ميزان بسيار بالايي بوده است. روش منحني سنجه حدوسط کارايي به‌نسبت بهتري نسبت به منحني سنجه يک خطي داشته است اين حالت به‌ويژه در سيلاب‌هاي بزرگ بهتر نشان داده شده است. در سيلاب‌هاي بزرگ ميزاني که با منحني سنجه رسوب حد وسط بدست مي‌آيد نسبت به ميزان يک خطي از درستي و دقت بيشتري برخوردار است. به عنوان مثال در سيلاب مورخه ٨٣/٢/۴ که يک سيلاب به‌نسبت بزرگ در مقايسه با ساير سيلاب‌ها به شمار مي‌آيد, ميزان برآوردي با اين مدل در حدود ١٨٣٨٣/٣۴ تن مي‌باشد که در مقايسه با ميزان متناظر آن در روش يک خطي نسبت به ميزان واقعي (٢٩٢٨٧١٨٨ تن) نزديک تر است. دو روش ياد شده منحني‌هاي سنجه بدون اعمال ضريب درستي تبديل لگاريتمي بوده و همان‌طوري‌که بيان شد منحني‌هاي سنجه رسوب بيشتر براي برآورد رسوبدهي ساليانه به کاربرده مي‌شود و در اين گونه برآوردها نتايج مختلف حاکي از دقت و درستي به‌نسبت خوب کاربرد ضريب درستي تبديل لگاريتمی MVUE است. ضريب درستي تبديل لگاريتمي پيشنهاد شده MVUE [1] برآورد کننده نارايب با کمينه واريانس بوده است و براي اولين بار کاربرد آن در منحني‌هاي سنجه يک خطي و حدوسط توصيه شده است. (وروانی و عرب خدری، ١٣٨۴) نتايج کاربرد اين ضريب بهبود زيادی در برآوردهای منحني‌هاي سنجه رسوب در رخدادهاي سيلابی نشان نمی‌دهد.

در زمينه مدل‌های مورد استفاده وارزيابی در اين بررسي اين نکته آشکار است که تغيير توان معادله‌هاي ارائـه شـده تـاثير زيادی در تغيير برآورد دارد واين موضوع باعث شده است کـه در اصلاح معادله‌هاي تجربی توان معادله‌هاي تغيير داده شوند زيرا تغييـر سـاير عامـل‌هـا در ميـزان رسـوبدهی رخـدادهاي سيلاب تاثير کمتری دارد.از طرف ديگر بـرآورد بـيش از حـد معادله‌هاي اوليه MUSLE بـه شـرايط و چگـونگي بدسـت آوردن داده‌ها نيز بستگی دارد به طوريکـه بـه نظـر مـی‌رسـد رخـدادهاي سـيلابی مـورد بررسـي بـرای ايـن معادلـه‌هـاي رسوبدهی زيادتری را داشته‌انـد. مسـاله ديگـری کـه در ايـن ارتباط می‌توان مد نظر قرار داد اين است کـه در معادلـه‌هـاي ارائه شده توسط ويليامز (١٩٧۵) دوره بازگشت سيلاب‌هـا در نظر گرفته نشده است به بيان ديگر برای دوره بازگشـت‌هـای مختلف ضرائب مختلفی ارائه نشده است و آنچه مسـلم اسـت اين که رسوبدهی سيلاب‌های با دوره بازگشت طـولانی‌تـر بـه يقين زيادتر خواهد بود. ايـن تغييـر در حـال حاضـر نيـاز بـه داده‌های زيادی از سيلاب‌ها دارد که بتـوان تجزيـه و تحليـل بيشتری بر روی آنها انجام داد و ضـرايب مختلـف بـرای دوره بازگشتهای متفاوت را ارائه داد. لازم به يادآوري است معادلـه اوليه MUSLE با توان ٠/۵۶ برای حوزه‌های آبخيز کوچـک توصيه شده است و همين مساله باعث می‌شود در حوزه‌هـای با مساحت زياد منجر به برآورد بيش از حد واقعی شـود زيـرا وقتی مساحت حوزه افزايش پيدا می‌کند دبـی بيشـينه ويـژه کاهش پيدا می‌کند و به طور کلی حوزه‌های کوچـک واکـنش شديدتری نسبت به رگبارها نشان می‌دهند بنـابر ايـن ميـزان رسوبدهی اين حوزه‌ها با شرايط يکسان بيشتر خواهد شـد بـه همين دليل است که معادله اوليه ويليـامز(١٩٧۵) نسـبت بـه معادله‌هاي Nickو همکاران (١٩٩۴) و TMUSLE که در آن مساحت حوزه نيز دخالت داده شده است برآورد بـيش ا ز حد واقعی نشان می‌دهد.در حال حاضر داده‌هـای زيـادتری از نقاط مختلف کشور لازم است تا بتوان معادله‌هاي اصلاح شده را با ضريب اطمينان بالايی برای مناطق مختلف کشور توصيه نمود و لی درا ين بين مدل روند يابی رسوب نسبت بـه سـاير معادله‌هاي دقت و درسـتي بيشـتری را داشـته اسـت.کـارايي منحنی‌های سنجه رسـوب بسـتگی بـه نـوع داده‌هـای مـورد

١- Minimum Variance Unbiased estimator

استفاده برای بدست آوردن ضرایب آنها دارد وبه طور کلی از آنجايي كه تعداد متغيرهای کمتری برای برآورد استفاده می‌کنند خطای به‌نسبت زیادتری را دارند. همچنین در صورتی که کاربرد آنها برای دبی‌های جریانی باشد که در محدوده کالیبراسیون ضرایب آنها قرار نمی‌گیرد میزان این خطا زیادتر می‌شود. در این بررسي نیز از آنجاییکه در ترسیم منحنی‌های سنجه رسوب دبی‌های پایه فراوانی بیشتری داشته‌اند لذا در دبی‌های سیلابی زیر حد واقعی برآورد داشته‌اند. با این حال از آنجاییکه در ترسیم منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته‌ها از داده‌های دبی جریان و رسوب معلق میانگین گیری می‌شود لذا تاثیر دبی‌های پایین کمتر بوده و در دبی‌های بالا خطای برآورد کمتری دیده می‌شود.

با مبنا قرار دادن میزان مشاهداتي، اصلاحات لازم در مدل‌های MUSLE ویلیامز (۱۹۷۵)، مدل Nick و همکاران (۱۹۹۴)، مدل TMUSLE و منحنی‌های سنجه صورت گرفت. میزان میانگین توان معادله براي مدل MUSLE ویلیامز (۱۹۷۵) ۰/۳۲۴، براي مدل Nick و همکاران (۱۹۹۴) ۰/۳۶ و مدل TMUSLE، ۰/۴۲۶ مي‌باشد، از طرفي توان معادله‌هاي منحني سنجه رسوب یک خطي و حد وسط نیز با در نظر گرفتن میزان مشاهده‌هايي به ترتیب ۱/۹۷ و ۱/۹۳ بدست آمد. نتیجه قابل توجهی که در این راستا بدست آمده است مربوط به مدل روندیابی Williams(۱۹۷۵) مي‌باشد. انجام آزمونهاي سعي و خطا [۱] در این مدل نشان مي‌دهد که پیش از همه شاخص Dm_{50} (قطرمیانه رسوب‌ها) در برآورد مدل نقش پایه‌اي ایفا مي‌کند. بدین‌منظور میزان Dm_{50} باتوجه به مشاهده‌هاي صحرایي و بررسي‌هاي قطر رسوب‌ها در اندازه سیلت (۰۵۲/۰ میلمتر) در نظر گرفته شد با قراردادن این میزان در معادله اولیه نتایج کاربرد مدل بسیار موفقیت آمیز بوده است. به‌طوري‌که درستي برآوردهاي مدل به میزان زیادي افزایش یافته است. میزان شاخص میانگین اختلاف براي این مدل به ۰/۰۵ و میانگین اختلاف ۵۱۹/۵۶ تن رسید که نسبت به سایر برآوردها درستي بیشتري داشته است.

بررسي وضعیت برآوردهاي ضرائب اصلاح شده در ۱۸ مورد دیگر از سیلاب‌هاي رخ داده در حوزه آبخیز شازند, بازنه و پل دوآب نشان مي‌دهد که برآوردها در بیشتر موارد شبیه هم بوده و اختلاف ناچیزي بین برآورد مدل‌هاي مختلف دیده مي‌شود.استثنايي که در این مورد به چشم مي‌خورد بین برآورد یک رخداد سیلابي در ایستگاه پل دوآب مي‌باشد که تفاوت زیادي در بین برآوردهاي منحني سنجه رسوب و سایر مدل‌هاي تجربي وجود دارد. شاید بتوان گفت دلیل این تفاوت به نوع هیدروگراف سیل مربوط مي‌باشد که اغلب در سیلاب‌هاي بزرگ شاخه نزولي هیدروگراف با شیب کمتري پایین آمده و باعث تداوم بیشتر جریان و از این رو برآورد بیش از حد میزان بار رسوبي با منحني سنجه مي‌شود. روابط بین توان معادله‌هاي تجربي MUSLE, Nick و همکاران (۱۹۹۴) و TMUSLE و شاخص‌هاي هیدروگراف سیل نشان مي‌دهد که توان معادله‌هاي تجربي در رویدادهاي منفرد بیش از همه متأثر از زمان تا اوج سیلاب و میزان لگاریتم طبیعي حجم رواناب سیل مي‌باشد.

پیشنهادها

در خاتمه موارد زیر در بررسی‌های بار رسوبی حوزه‌های آبخیز بایستی مد نظر قرار گیرد :

- برآوردهای بار رسوبی رودخانه‌ها و حوزه‌های آبخیز نیازمند درک درست تغییرات مکانی و زمانی رسوب می‌باشد.
- به منظور برآورد بهتر باررسوبی رودخانه‌ها سهم رسوبدهی سیلابی بایستی مشخص شده و در محاسبات منظور شود.
- کاربرد مدل‌های تجربی در برآورد رسوبدهی سیلاب‌ها بایستی با احتیاط بیشتری صورت پذیرد. روابط ارائه شده در این بررسي در حوزه‌های آبخیز که شرایط مشابه دارند امکان پذیر بوده و لی در حوزه‌های آبخیز دیگر این روابط بایستی کالیبره شوند.

۱- Trial and Errors

- استفاده از منحنی‌های سنجه رسوب در برآورد بار رسوبی هیدروگراف سیل می‌تواند به برآورد غیر واقعی بارر‌سوبی تا چندین برابر شود لذا برای استفاده از این منحنی‌ها به‌حتم باید محدوده کاربرد آنها تعیین شود.

- به نظر می‌رسد مدل روند یابی رسوب Williams (١٩٧٥) با کمی‌خطای برآورد نسبت به بقیه مدل‌ها بهتر عمل کرده و از آنجايي كه کاربرد آن نیازمند دخالت دادن تمام قسمت‌های حوزه آبخیز می‌باشد لذا به استفاده از آن در برآورد باررسوبی سیلاب‌ها در حوزه‌های آبخیز بزرگ توصیه می‌شود.

تقدیر و تشکر

از کلیه همکاران محترم مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری تهران و استان مرکزی که در این بررسي همکاری داشتند تشکر و قدردانی می‌شود.پروفسور Walling از دانشگاه Exeter انگلستان و دکتر Banasik از دانشکده کشاورزی دانشگاه Warsaw لهستان رهنمودهای موثری در این بررسي داشته‌اند.

منابع

١-رضايي فرد محسن، عبدالرسول تلوری، محمود عرب خدری،١٣٨١، بررسی کارايي MUSLE در برآورد رسوب رویدادهای منفرد درزیر حوضه افجه در حوضه لتیان، مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت اراضی – فرسایش خاک و گسترش پایدار – اراک،٥٣٤-٥٤١

٢-عرب خدری محمود، شاهرخ حکیم خانی، داود نیک کامی(١٣٨٢)،مقایسه چند روش آماری برآورد بار معلق یک حوزه با رژیم برفی و بارانی، وزارت جهاد کشاورزی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارش نهايي طرح تحقیقاتی،١٢٠ صفحه

٣-میر ابوالقاسمي،هادي ومريد،سعيد، ١٣٧٤،بررسي روش‌هاي هيدرولوژيکي برآورد بارمعلق رودخانه‌ها،آب و گسترش شماره ١٠، صفحات ٥٤تا ٦٧

٤-وروانی،جواد،عرب خدری محمود،١٣٨٤، بررسی ضرایب تصحیح تبدیل لگاریتمی‌در مدل‌های رگرسیونی و برآورد باررسوبی چند رودخانه منتخب، گزارش نهايي طرح ملی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور،٦٧ صفحه

٥-وزارت جهاد کشاورزی،سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی، مدیریت آبخیزداری،١٣٨١، مجموعه بررسي‌هاي پایه حوزه‌های آبخیز، تواندشت، نهرمیان و شازند، مهندسین مشاور نهرآب، دانشگاه علم و صنعت.دو جلد ٦٧٠ صفحه

6-Banasik K.,Marker Madeyski,J.Kent Mitchell and Kazuki Mori,2005,An investigation of lag times for rainfall-runoff sediment yield events in small river basins،Hydrological Sciences،50(5):855-866

7-Cohen H. and J.B. Laronne،2005,High rates of sediment transport by flashfloods in the southern Judean desert،Israel, Hydrological Processes,19,1687-1702

8-Das G., 2004, Hydrology and soil conservation engineering, Prentice Hall of India, 490 P.

9-Demissie,M.,1996،Sediment load during flood events for Illinois Streams Water International,21,131-137

10- Edwards K.T. and Glysson G.D., 1988, Field methods for measuring of fluvial sediment, US Geological Survey open file report,115 pp

11- Hartley, D.M،1987, Simplified process model for water sediment yield from single storms،Transactions of the ASAE, American Society of Agricultural Engineers, 30,(3),710-717

12- Hook, R., 2000,Toward a uniform theory of clastic sediment yield in fluvial systems،Geological Society of American Bulletin، 112:1778-1786:4-20

13- Kothyari Umesh, C.Jain, K.Manoj, G.Ranga Rau Kittur،2002, Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS, Journal of Hydrology, 45(5):693-700

14- Nicks, A. D., Williams, R.D. Williams, J. R., and Gander, G. A. 1994. Estimating erosion with models having different technologies. In: Proc. 25th Annual Conf. Intl. erosion Control Assoc., Reno, NV, February 15-18, 1994, pp. 51-61.

15- Sadeghi, S.H.R،2004, Application of MUSLE in prediction of sediment yield in Iranian Condition،ISCO2004-13th International Soil Conservation Organization Conference, Brisbane،998

16- Walling D. E. and Webb, B.W. and Wood, J. C, 1992, Some sampling considerations in the design of effective strategy for monitoring sediment associated transport, IAHS, 210

17- Walling, D. E. and Webb, B.W., 1988, the reliability of rating curve, estimates of suspended sediment yield: some further comments, IAHS, 174, PP. 337-350.

18- Williams, J. R. 1975. Sediment – yield prediction with universal equation using runoff energy factor. Proceedings of the sediment- yield workshop, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi.

19- Wischmeier W.H, and Smith, D.D., 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agriculture Handbook, 282, USDA-ARS

Evaluation of Performance of Empirical Models of Storm Events Sediment Yield of Drainage Basin and Introducing Calibration Coefficients

J. Varvani*[1], S. Feiznia[2], H. Ahmadi[2], M. Jafari[2]

[1] PhD Student, Research and Science Brach, Islamic Azad University, I. R. Iran

[2] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received 14 April 2007, Accepted 19 November 2007)

Abstract

Variable and dynamic nature of sediment transport by rivers and spatial and temporal variation of drainage basin sediment yield in general, especially during flood events, can lead to unreal and inaccurate judgments and faulty planning about erosion and sediment yield behavior of the drainage basin. Generally empirical models used to estimate the amount of sediment yield during flood events; however, there is little information on the accuracy and precision of such models. In this research, in order to evaluate the performance of the empirical models used to estimate the flood event sediment yield, at first the concurrent sediment and water discharge of some of the flood events (five events) were recorded on an hourly in the Poledouab hydrometric station located in Gharachay river of Markazi Province in a way that rising and falling limb of hydrographs included. Considering observed data of flood events sediment yield, the accuracy and precision of empirical model's estimations was investigated. The results show that there are two different kinds of estimation in the selected models. Some of them that overestimate the sediment yield include MUSLE model and its modifications, and those underestimating floods event sediment yield include sediment routing model and linear and mean class rating curves with bias correction factor of MVUE. Finally by considering observed value as a basis, the power of empirical equations calibrated for more accurate and precise estimation.

KeyWord: Storm event sediment yield, MUSLE, Ghareh chay River, Hydrograph, Sediment Concentration

* Corresponding author: Tel: 0918-8629921 , Fax: 0861-3675776 , E-mail: varvani_55@yahoo.com