

تغییرپذیری معادلات سنجه رسوب در طول برخی رودخانه‌های استان‌های کرمانشاه، کردستان، زنجان و گیلان

جبار هادی قورقی^۱، لیلا غلامی^{۲*}، ادريس كرمی^۳

۱. کارشناس اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان دهگلان، بخش یگان حفاظت، استان کردستان

۲. استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور تهران، مرکز شرق

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۲/۲۳؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۵/۳۰)

چکیده

بررسی ظرفیت حمل رسوب و فرایند انتقال رسوب در هیدرولیک رودخانه‌ها و ریخت‌شناسی آن، اهمیت ویژه‌ای دارد. با توجه به اینکه مطالعه تغییرات ضرایب اصلاحی در روش‌های مختلف برآورد رسوب می‌تواند مفید باشد، بنابراین پژوهش حاضر به منظور مقایسه تغییرات مقادیر ضرایب اصلاحی از بالادست به پایین‌دست رودخانه‌های قره‌سو (کرمانشاه)، نگل و سروآباد (کردستان) و قزل‌اوزن (کردستان، زنجان و گیلان) با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی CF_1 ، Smearing، LQMLE، CF_2 ، معمولی و FAO انجام شده است. نتایج نشان داد از بالادست به پایین‌دست رودخانه، با کاهش ضریب معادله، فرسایش‌پذیری در حوضه بالادست ایستگاه‌ها کاهش و با افزایش توان معادله، انتقال رسوب افزایش یافت. کاهش و افزایش ضریب و توان معادلات در جهت پایین‌دست مقاطع مختلف رودخانه می‌تواند به دلیل اضافه‌شدن مناطق با شیب کمتر به حوضه بالادست است. در ایستگاه‌های مطالعه‌شده، روش‌های هیدرولوژیکی استفاده‌شده (به جز روش FAO) مقدار رسوب را کمتر از مقدار رسوب مشاهده‌ای تخمین زدند. همچنین، مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی نشان داد ایستگاه‌های پایین‌دست حوضه اختلاف رسوب برآورد کمتری نسبت به ایستگاه‌های بالادست داشت. مقایسه روش‌های استفاده‌شده نشان داد در ایستگاه یساول روش FAO با خطای نسبی، کارایی مدل و شاخص توافق به ترتیب ۴/۳۱، ۰/۴۵۴ و ۰/۷۵۰، ایستگاه قره‌گونی روش LQMLE با خطای نسبی و کارایی مدل و شاخص توافق به ترتیب ۶۸/۱۷-، ۰/۲۸۵ و ۰/۵۲۶، در ایستگاه پل دختر نیز روش LQMLE با خطای نسبی و کارایی مدل و شاخص توافق به ترتیب ۵۳/۴۱-، ۰/۳۷۷ و ۰/۶۴۷ و نیز روش LQMLE برای ایستگاه هیدرومتری استور به ترتیب با خطای نسبی و کارایی مدل و شاخص توافق، ۲۵/۵۳-، ۰/۶۸۰ و ۰/۸۷۴ مناسب‌ترین روش تخمین رسوب ارزیابی شدند. در ایستگاه‌های هیدرومتری دوآب مرگ، پل کهنه و قورباغستان به ترتیب روش‌های LQMLE، CF_2 و LQMLE مناسب‌ترین روش ارزیابی تخمین رسوب بودند. در ایستگاه‌های هیدرومتری شویشه و کوماسی نیز روش FAO بهترین روش ارزیابی تخمین رسوب بود.

کلیدواژگان: بار بستر، رسوب معلق، فرسایش‌پذیری، منحنی سنجه رسوب، واسنجی.

مقدمه

مواد رسوبی که توسط رودخانه‌ها حمل می‌شوند مشکلات بسیاری از جمله رسوب‌گذاری در مخازن و کاهش ظرفیت مخزن، ایجاد جزایر رسوبی در مسیر رودخانه‌ها، تخریب سازه‌های رودخانه‌ها و انتقال آلودگی را به وجود می‌آورند. بنابراین، برآورد دقیق میزان رسوب در مواردی نظیر امور مهندسی رودخانه، طراحی مخازن، انتقال رسوب، تعیین خسارت‌های ناشی از رسوب‌گذاری به محیط زیست و تعیین تأثیرات مدیریت آبخیز کاملاً ضروری است [۱]. بر همین اساس، طراحی بهینه و عملکرد مناسب سازه‌های منابع آب، نظیر مخزن سد و کانال، به تخمین دقیق بار رسوبی رودخانه نیاز دارد [۲ و ۳].

از طرفی، دخالت و فعالیت‌های انسانی نیز در طبیعت تأثیر زیادی بر ضریب و توان منحنی‌های سنجه رسوب دارد [۴ و ۵]. صادقی [۵]، تلوری [۶]، Pavanelli و [۷] و عرب‌خردی [۸] بیان کردند که مهم‌ترین روش اندازه‌گیری بار معلق در رودخانه‌ها، اندازه‌گیری غلظت رسوب معلق و دبی جریان در رودخانه‌ها است که این روش به اندازه‌گیری پیوسته نیاز دارد، اما باید توجه داشت که روش نمونه‌برداری مستقیم به علت هزینه زیاد و نیز مشکلات نمونه‌برداری معمولاً فقط در رودخانه‌های مهم و دائمی قابل استفاده است. بنابراین، روش‌های تجربی در برآورد رسوب معلق ارائه شده است که در نهایت باید بتوان این روش‌ها را برای هر منطقه به‌طور مناسب و اسنچی کرد [۵]، Endreny و Hassett ضرایب اصلاحی را در نمونه‌های با تعداد کم که بیشتر از دبی جریان پایه گرفته شده‌اند، رضایت‌بخش می‌دانند [۹]. به دلیل اینکه روش‌های منحنی سنجه رسوب کارایی کمی دارند پژوهشگران روش‌های متنوعی را ارائه کرده‌اند و ضرایب اصلاحی زیادی طراحی کرده‌اند. به‌طور کلی، روش برآورد بار معلق رودخانه‌ها به دو دسته تقسیم شده است. دسته اول روش‌های مبتنی بر قوانین دینامیک و مکانیک سیالات که توسط پژوهشگران علم هیدرولیک ارائه شده است و دسته دوم روش مبتنی بر اندازه‌گیری‌های مستقیم و تحلیل‌های آماری که بیشتر توسط پژوهشگران علم هیدرولوژی ارائه شده است [۱۰]. فیض‌نیا و همکارانش با بهینه‌سازی معادله سنجه رسوب در ایستگاه‌های باغ تنگه، نارون و گلینک، حوضه‌های آبخیز سد لتیان و طالقان، مدلی بهینه برای برآورد بار رسوب معلق ارائه دادند و منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها در هر سه ایستگاه، کمترین

میزان میانگین درصد خطای نسبی، بیشترین میزان ضریب کارایی و ضریب تعیین و بهترین قابلیت پیش‌بینی را داشت [۱۱]. میرزایی و همکارانش [۱۲] و عرب‌خردی و همکارانش [۱۳] بیشترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا را مربوط به روش‌های FAO و USBR سالانه می‌دانند. همچنین، زنگانه و همکارانش [۱۴]، مساعدی و همکارانش [۱۵] و ذرتی‌پور و همکارانش [۱۶] مدل حد وسط دسته را به عنوان مناسب‌ترین مدل در برآورد بار معلق بیان کردند.

محققان دیگری نظیر Ulke و همکارانش [۱۷]، کاکائی لفسدانی و همکارانش [۱۸]، Zhu و همکارانش [۱۹]، Kisi و [۲۰] Melesse، Shiri و همکارانش [۲۱] متغیرهای بارش و دما را سبب افزایش دقت برآورد مدل‌سازی غلظت رسوب معلق می‌دانند. خزایی موغانی و همکارانش به پیش‌بینی رسوب معلق با استفاده از مدل سری زمانی تابع انتقال در رودخانه گران‌رود، پرداختند که در نهایت مدل سری زمانی تابع انتقال، دقت و صحت بیشتری نسبت به روش متداول سنجه رسوب ارزیابی داشت [۲۲]. وروانی و همکارانش در بررسی رسوب‌دهی ضریب MVUM را مناسب برآورد متوسط بار رسوب روزانه می‌دانند [۲۳]. صادقی و همکارانش ارزیابی کارایی منحنی سنجه رسوب در حوضه آبخیز معرف خامسان با استفاده از داده‌های دبی و رسوب متناظر آن در فواصل زمانی یک‌ساعته طی چهار رگبار پرداختند. نتایج تحقیق ایشان دلالت بر همبستگی کم ولی معنادار داده‌های غلظت رسوب معلق و دبی جریان داشت. همچنین، ضرایب کارایی کم (کمتر از ۴۰ درصد) در روابط به‌دست‌آمده نیز نشان‌دهنده کافی نبودن کاربرد صرف منحنی سنجه رسوب به‌منظور تخمین میزان غلظت رسوب معلق در حوضه آبخیز معرف خامسان داشت [۲۴]. صادقی و همکارانش ریشه چهارم داده‌های تغییر شکل‌یافته را با توجه به موقعیت آنها در شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف، مناسب ارائه رابطه بهینه دبی-رسوب در یکی از آبخیزهای ژاپن عنوان کردند [۲۵]. همچنین، هادی قورقی و خالدی‌درویشان با مقایسه کارایی برخی روش‌های دسته‌بندی داده در تهیه منحنی سنجه رسوب و برخی روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار رسوبی معلق نشان دادند در مدل‌های تخمین رسوب، برای دبی‌های کم، رسوب بیشتر از مقدار مشاهده‌ای و به‌عکس در دبی‌های بالا، رسوب کمتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد می‌شد، همچنین روش FAO در همه حالت‌ها مقدار رسوب را بیشتر

انجام خواهد شد که از نظر اقلیمی کاملاً با یکدیگر متفاوت خواهد بود.

مواد و روش‌ها

مناطق مطالعه شده ایستگاه‌های هیدرومتری دوآب مرگ، پل کهنه و قورباغستان واقع بر رودخانه قره‌سو (استان کرمانشاه)، شویشه، کوماسی و آزاد دوآب واقع بر رودخانه نگل و سروآباد (استان کردستان)، ایستگاه‌های هیدرومتری یساول، قره‌گونی، پل دختر، استور و گیلوان واقع بر رودخانه قزل‌اوزن (استان‌های کردستان، زنجان و گیلان) در جدول ۱ و شکل ۱ شرح داده شده‌اند. داده‌های استفاده شده در این پژوهش، آمار ثبت شده غلظت رسوب و دبی متناظر روزانه در ایستگاه‌های هیدرومتری دوآب مرگ، پل کهنه، قورباغستان، شویشه، کوماسی و آزاد، یساول، قره‌گونی، پل دختر، استور و گیلوان بود. برای انجام مراحل مختلف تحقیق حاضر از رابطه اصلی $Q_s = aQ_w^b$ استفاده شد، که در آن Q_s دبی رسوب بر حسب تن در روز، Q_w دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه و a و b ضرایب منطقه‌ای برای معادله انتقال رسوب هستند [۳۱]. سپس، با استفاده از روش‌های منحنی سنجه رسوب، روش ایالات متحده، ضریب اصلاحی فائو^۱، ضریب اصلاحی پارامتری^۲ (اثر تبدیل لگاریتمی و روش تخمینگر شبه‌بیشینه درست‌نمایی) و غیرپارامتری (CF_p و Smearing) آزمایش شدند.

در روش ایالت متحده آمریکا داده‌های دبی آب و دبی رسوب، به صفحه مختصات لگاریتمی منتقل شده و بهترین خط بر مبنای روش حداقل مربعات به آنها برازش داده شده و در نهایت رابطه منحنی سنجه رسوب بین دو متغیر برقرار می‌شود. مقدار ضریب a فاصله قائم محل تقاطع خط بهترین برازش با محور قائم تا مبدأ مختصات و مقدار نمای b برابر با شیب خط بهترین برازش است. روش ضریب اصلاحی فائو توسط جونز و همکارانش [۳۲] ارائه شد. در این روش ابتدا بهترین خط با رابطه منحنی سنجه رسوب به روش حداقل مربعات به مقادیر لگاریتمی غلظت رسوب و دبی برازش داده می‌شود. در روش ضریب اصلاحی پارامتری از اثر تبدیل لگاریتمی، ضریب اصلاحی رابطه ۱ استفاده می‌شد که در این رابطه S^2 از رابطه ۲ محاسبه می‌شد [۳۱].

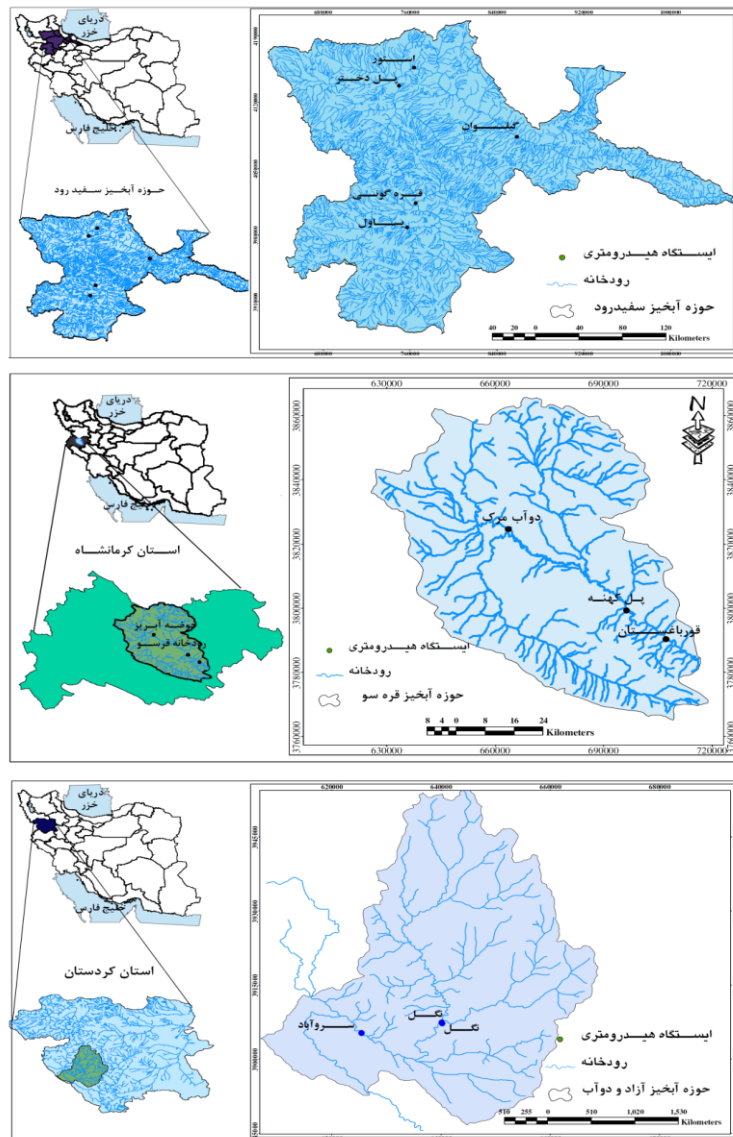
از مقدار مشاهداتی برآورد کرد [۲۶]. کاویان و همکارانش با مقایسه ضرایب اصلاحی معادلات سنجه رسوب در رودخانه‌های مناطق نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب نشان دادند بیشترین مقدار ضریب نش-ساتکلیف مربوط به ضریب اصلاحی FAO بوده و با توجه به تغییرات زیاد ضریب و توان و نیز رابطه عکس دو ضریب لازم است در بررسی‌های رابطه دبی-رسوب علاوه بر متغیر جریان رودخانه متغیرهای دیگری مانند خصوصیات بارش و خصوصیات فیزیکی آبخیز نیز در نظر گرفته شود [۲۷]. نجفی‌نژاد و همکارانش با ارزیابی کارایی ضرایب اصلاحی در بهینه‌سازی منحنی سنجه رسوب حوضه سد کمال صالح استان مرکزی نشان دادند بهینه دبی-رسوب در ایستگاه حسن‌آباد، از منحنی سنجه یک خطی با میانگین ضرایب اصلاحی MVUM و در ایستگاه قلعه‌نو، از منحنی سنجه حد وسط با میانگین ضرایب اصلاحی MVUM پیروی کرد [۲۸]. دسترنج و همکارانش روش‌های اصلاحی برآورد رسوب معلق FAO، MVUE، LQMLE و LRC در رودخانه بشار استان کهگیلویه و بویراحمد را بررسی کردند. آنها بیان کردند که از نظر دقت برآورد روش‌های مختلف تقریباً در یک حد بود و تفاوت چندانی بین دقت برآورد روش‌ها وجود نداشت [۲۹]. نوحه‌گر و همکارانش نتیجه گرفتند که در بیشتر مدل‌ها، LQMLE و MVUE بهترین روش‌های برآورد رسوب معلق بوده است [۳۰].

با توجه به سوابق پژوهش بیان شده در این بخش می‌توان بیان کرد که مقایسه تغییرات ضرایب اصلاحی روش‌های مختلف برآورد رسوب از بالادست به پایین دست رودخانه‌ها تا کنون به‌ندرت انجام شده است. بنابراین، پژوهش حاضر به‌منظور تغییرات ضرایب اصلاحی ایستگاه‌های هیدرومتری دوآب مرگ، پل کهنه و قورباغستان واقع بر رودخانه قره‌سو (استان کرمانشاه)، ایستگاه‌های هیدرومتری کوماسی، شویشه و آزاد دوآب واقع بر رودخانه‌های نگل و سروآباد (استان کردستان)، ایستگاه‌های هیدرومتری یساول، قره‌گونی، پل دختر، استور و گیلوان واقع بر رودخانه قزل‌اوزن (استان‌های کردستان، زنجان و گیلان) با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی انجام شده است. در نهایت، نوآوری پژوهش حاضر علاوه بر اینکه مقایسه تغییرات ضرایب اصلاحی و توان‌های منحنی سنجه در روش‌های مختلف برآورد رسوب از بالادست به پایین دست رودخانه‌ها بوده است، این بررسی‌ها در مناطقی

1. Food and Agriculture Organization (FAO) Modified Coefficient
2. Parametric Modified Coefficient

جدول ۱. موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های مطالعه شده

ارتفاع (متر)	مساحت بالادست (کیلومترمربع)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام استان	نام رودخانه	نام ایستگاه هیدرومتری
۱۳۱۰	۱۲۶۰	۳۴° ۳۳' ۱۳"	۴۶° ۴۷' ۲۴"		قره‌سو	دوآب مرگ
۱۲۴۸	۵۰۴۰	۳۴° ۱۹' ۴۵"	۴۷° ۰۸' ۱۶"	کرمانشاه		پل کهنه
۱۲۶۸	۵۳۷۰	۳۴° ۱۳' ۵۳"	۴۷° ۱۴' ۴۰"			قورباغستان
۱۱۲۰	۱۹۶۲	۳۵° ۱۷' ۰۲'	۴۶° ۲۲' ۴۳'		سروآباد	آزاد دوآب
۱۳۲۷	۹۹۶	۳۵° ۱۸' ۰۲'	۴۶° ۳۲' ۲۴'	کردستان	نگل	کوماسی
۱۳۳۱	۳۷۹/۵	۳۵° ۲۰' ۴۶'	۴۶° ۳۶' ۱۸'			شویشه
۱۵۴۰	—	۳۶° ۰۰' ۰۰'	۴۷° ۵۱' ۰۰'		قزل‌وزن	یساول (بیانلو)
۱۴۱۰	۱۹۷۱۹	۳۶° ۱۴' ۰۰'	۴۷° ۵۷' ۰۰'			قره‌گونی
۱۰۸۰	۳۳۰۰۴	۳۷° ۲۱' ۰۰'	۴۷° ۴۹' ۰۰'	زنجان		پل دختر
۱۰۰۰	۴۲۰۷۲	۳۷° ۳۱' ۰۰'	۴۷° ۵۸' ۰۰'			استور
۳۲۰	۴۹۳۰۰	۳۶° ۴۶' ۴۲'	۴۹° ۰۹' ۵۸'	گیلان		گیلان



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مطالعه شده در حوضه‌های آبخیز بررسی شده و کشور

تهیه انواع معادله‌های سنجه رسوب: در این مرحله براساس معادله USBR منحنی سنجه رسوب یک‌خطی و حد وسط برای هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی ترسیم شد. در منحنی سنجه یک‌خطی برای همه داده‌های دبی - رسوب هر ایستگاه، یک خط برازش داده شد. در منحنی سنجه حد وسط نیز از میانگین دسته‌بندی داده‌های دبی - غلظت رسوب استفاده و برای هر ایستگاه یک خط برازش از بین ابرنقاط میانگین داده‌ها برازش داده شد. پس از ترسیم منحنی‌های سنجه یک‌خطی و حد وسط دسته‌ها، با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی LQMLE، Smearing، CF_1 ، CF_2 معمولی و FAO انواع معادله‌های اصلاحی سنجه رسوب برای هر یک از ایستگاه‌ها به دست آمد [۲۸].

ارزیابی مدل: در نهایت، هر یک از معادله‌های سنجه رسوب با توجه به مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای غلظت رسوب ارزیابی شدند. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های کارایی مدل (E)، شاخص توافق (d) و خطای نسبی (RE) انجام شد (روابط ۷ تا ۹).

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (7)$$

$$d = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{Q}| + |Q_i - \bar{Q}|)^2} \right) \quad (8)$$

$$RE_{en} = \left| \frac{Q_i - P_i}{Q_i} \right| \times 100 \quad (9)$$

در این روابط Q_i مقادیر مشاهده‌شده، P_i مقادیر تخمینی و \bar{Q} متوسط مقادیر مشاهده‌شده هستند. دامنه کارایی مدل بین یک (مناسب) تا $-\infty$ است و اگر مقدار E برابر با یک باشد، تناسب کاملی بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده وجود دارد. مقدار صفر نشان‌دهنده این است که مدل نسبت به استفاده از مقادیر متوسط داده‌های مشاهده‌ای بهتر یا بدتر تخمینی ارائه نکرده است و مقدار منفی بیان می‌کند که مدل تفاوت زیادی با مقادیر مشاهده‌شده دارد. دامنه شاخص توافق بین صفر (نامناسب) و یک (مناسب) قرار می‌گیرد. در نهایت، شاخص خطای نسبی میزان خطای نسبی ایجادشده توسط مدل را تخمین زده است که مقدار آن هرچه کمتر باشد، نشان‌دهنده خطای کمتر در مقدار برآوردی مدل نسبت به داده‌های مشاهده‌ای بوده است [۲۳ و ۲۶].

$$CF_1 = \exp(2 / 6.5 S^2) \quad (1)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\log C_i - \log \hat{C}_i)^2}{(n-2)} \quad (2)$$

در این رابطه‌ها S اشتباه استاندارد برآورد منحنی سنجه رسوب در لگاریتم پایه ۱۰، n تعداد نمونه‌ها، $\log \hat{C}_i$ لگاریتم مقدار برآوردی غلظت و $\log C_i$ لگاریتم مقادیر مشاهده‌ای هستند. روش بعدی، روش تخمینگر شبه‌بیشینه درست‌نمایی است که با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\hat{LQMLE} = L_{RC} \times \exp \frac{S^2}{\gamma} \quad (3)$$

که در آن LQMLE رسوب برآوردشده، L_{RC} رسوب برآوردشده با استفاده از منحنی سنجه و S^2 مجذور میانگین اشتباه رگرسیون است [۳۴]. Smilie و Koch با رد توزیع نرمال خطاهای باقی‌مانده، ضریب اصلاحی ناپارامتری CF_2 را برای حذف اریبی داده‌ها ارائه کردند (روابط ۴ تا ۶) [۳۵].

$$CF_2 = \frac{1}{n \sum_{i=1}^n 10^{\varepsilon_i}} \quad (4)$$

$$\varepsilon_i = \log C_i - \log \hat{C}_i \quad (5)$$

$$L_s = L_{RC} \times \frac{\sum_{i=1}^N \exp(\varepsilon_i)}{N} \quad (6)$$

که در این رابطه‌ها ε_i حداقل مربعات باقی‌مانده با استفاده از معادله منحنی سنجه بوده و در واقع تفاوت لگاریتم طبیعی رسوب مشاهده‌ای و برآوردی و L_{RC} رسوب برآوردشده از روش ایالت متحده امریکاست [۳۵].

داده‌های رسوب معلق: در این پژوهش وضعیت

رسوب‌دهی در خروجی رودخانه‌های قره‌سو، سروآباد، نگل و قزل‌اوزن در استان‌های کرمانشاه، کردستان، زنجان و گیلان بررسی شده است. طبق نظر کوهن حداقل ۳۰ نمونه دبی - رسوب لازم است تا بتوان به ارزیابی کارایی منحنی سنجه و فاکتورهای اصلاحی پرداخت [۳۰]. با توجه به کمبود زمان و هزینه، امکان نمونه‌برداری در بازه زمانی مطالعه شده وجود نداشت، پس از داده‌های موجود و ثبت‌شده در ایستگاه‌های هیدرومتری موجود استفاده شد [۵]. با توجه به این نکته و نیز تعداد داده‌های جمع‌آوری شده شرکت آب منطقه ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در استان‌های کرمانشاه، کردستان، زنجان و گیلان در پایه زمانی مشترک سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۵ انتخاب شد [۲۸].

نتایج و بحث

استان‌های کردستان، زنجان و گیلان را نشان می‌دهند. جدول ۵ نیز آمار رسوب و دبی متوسط را در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان می‌دهد.

جدول‌های ۲ تا ۴ مقادیر ضرایب اصلاحی در رودخانه قره‌سوی کرمانشاه، نگل و سروآباد کردستان و قزل‌اوزن در

جدول ۲. مقادیر ضرایب اصلاحی در ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه قره‌سو در استان کرمانشاه

ایستگاه	ضرایب	LQMLE	Smearing	CF ₁	CF ₂	معمولی	FAO
دوآب مرگ	مقدار ضریب معادله	-	-	۳/۰۶	۱/۶۲	۳/۵۶	۱۳/۰۳
	مقدار توان معادله	-	-	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۶۷
	ضریب اصلاحی LQMLE و Smearing	۱/۲۴	۱/۰۹	-	-	-	-
قورباغستان	مقدار ضریب معادله	-	-	۳/۳۷	۱/۷۰	۲/۲۴	۶/۱۰
	مقدار توان معادله	-	-	۱/۷۴	۱/۷۴	۱/۷۴	۱/۷۴
	ضریب اصلاحی LQMLE و Smearing	۱/۲۶	۱/۰۹	-	-	-	-
پل کهنه	مقدار ضریب معادله	-	-	۳/۱۸	۱/۶۳	۰/۸۷	۲/۶۶
	مقدار توان معادله	-	-	۱/۸۹	۱/۸۹	۱/۸۹	۱/۸۹
	ضریب اصلاحی LQMLE و Smearing	۱/۲۴	۱/۰۹	-	-	-	-

جدول ۳. مقادیر ضرایب اصلاحی در ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه نگل و سروآباد در استان کردستان

ایستگاه	ضرایب	LQMLE	Smearing	CF ₁	CF ₂	معمولی	FAO
شویشه	مقدار ضریب معادله	-	-	۴/۵۷	۴/۶۷	۶/۳۲	۶۹/۴۴
	مقدار توان معادله	-	-	۱/۵۹	۱/۵۹	۱/۵۹	۱/۵۹
	ضریب اصلاحی LQMLE و	۱/۳۳	۱/۲۲	-	-	-	-
کوماسی	مقدار ضریب معادله	-	-	۵/۰۱	۲/۹۵	۳/۸۶	۳۰/۹۹
	مقدار توان معادله	-	-	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱
	ضریب اصلاحی LQMLE و	۱/۳۶	۱/۱۲	-	-	-	-
آزاد دوآب	مقدار ضریب معادله	-	-	۴/۲۴	۲/۲۳	۳/۷۷	۲۲/۱۵
	مقدار توان معادله	-	-	۱/۶۰	۱/۶۰	۱/۶۰	۱/۶۰
	ضریب اصلاحی LQMLE و	۱/۳۱	۱/۱۳	-	-	-	-

جدول ۴. مقادیر ضرایب اصلاحی در ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه قزل‌اوزن در استان‌های کردستان، زنجان و گیلان

ایستگاه	ضرایب	LQMLE	Smearing	CF ₁	CF ₂	معمولی	FAO
یساول	مقدار ضریب معادله	-	-	۳/۷۰	۲/۰۷	۹/۱۵	۲۶/۵۸
	مقدار توان معادله	-	-	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵
	ضریب اصلاحی LQMLE و Smearing	۱/۲۸	۱/۱۴	-	-	-	-
قره‌گونی	مقدار ضریب معادله	-	-	۵/۰۸	۶/۱۴	۱۳/۳۳	۵۸/۲۳
	مقدار توان معادله	-	-	۱/۴۶	۱/۴۶	۱/۴۶	۱/۴۶
	ضریب اصلاحی LQMLE و Smearing	۱/۳۶	۱/۲۷	-	-	-	-
پل دختر	مقدار ضریب معادله	-	-	۴/۸۱	۴/۶۶	۱۱/۹۳	۶۱/۸۷
	مقدار توان معادله	-	-	۱/۶۰	۱/۶۰	۱/۶۰	۱/۶۰
	ضریب اصلاحی LQMLE و Smearing	۱/۳۵	۱/۲۵	-	-	-	-
استور	مقدار ضریب معادله	-	-	۳/۹۴	۳/۴۰	۴/۹۷	۱۵/۳۴
	مقدار توان معادله	-	-	۱/۷۵	۱/۷۵	۱/۷۵	۱/۷۵
	ضریب اصلاحی LQMLE و Smearing	۱/۲۶	۱/۱۵	-	-	-	-
گیلوان	مقدار ضریب معادله	-	-	۶/۵۴	۳/۱۵	۱/۷۱	۶/۸۱
	مقدار توان معادله	-	-	۱/۸۷	۱/۸۷	۱/۸۷	۱/۸۷
	ضریب اصلاحی LQMLE و Smearing	۲/۱۸	۱/۱۲	-	-	-	-

جدول ۵. مقادیر رسوب متوسط و دبی متوسط در ایستگاه‌های مطالعه‌شده

رودخانه	ایستگاه	رسوب متوسط (تن)	دبی متوسط (تن)
آزاد	سروآباد	۳۱۶۳/۳۵۶	۲۲/۱۷
کوماسی	نگل	۲۰۴۷/۸۸۲	۱۶/۱۵۸
شویشه	نگل	۴۳۱/۱۵۷	۳/۱۵۲
قزل‌اوزن	گیلوان	۸۱۴۹۸/۱۱۳	۱۵۱/۶۸۹
قزل‌اوزن	یساول	۴۹۴۰/۰۷۳	۲۶/۴۸۰
قزل‌اوزن	پل‌دختر	۴۸۶۵۹/۳۸۱	۶۵/۲۲۷
قزل‌اوزن	قره‌گونی	۲۸۸۳۵/۰۴۵	۴۸/۹۱۸
قزل‌اوزن	استور	۱۸۷۵۹۳/۴۲	۲۲۰/۳۱۸
قره‌سو	دوآب مرگ	۷۲۳/۵۰۲	۱۲/۷۷۱
قره‌سو	پل کهنه	۲۳۱۴/۰۹	۳۱/۳۴۳
قره‌سو	قورباغستان	۲۴۴۲/۸۶۴	۳۷/۲۸۹

روش‌های Smearing و LQMLE از بالادست به پایین دست رودخانه به‌طور منظم کاهش داشت (جدول ۴). همچنین، در روش منحنی سنجۀ معمولی ضریب مدل و CF_2 ابتدا در دو ایستگاه اول واقع بر رودخانه مد نظر (یساول و قره‌گونی) روند افزایشی و در سایر ایستگاه‌ها تا پایاب رودخانه روند کاهش‌ی مشاهده شد. ضرایب و توان اصلاحی در روش‌های CF_1 و FAO از در ایستگاه‌های واقع بر رودخانه‌های قره‌سو، نگل و سروآباد روند کاهش‌ی داشت در حالی که ایستگاه‌های واقع بر رودخانه قزل‌اوزن روند منظمی را نشان ندادند. در ایستگاه‌های واقع بر رودخانه‌های قره‌سو، نگل و سروآباد، کاربرد روش‌های FAO و معمولی نشان داد مقادیر ضرایب و توان معادلات از بالادست به پایین دست رودخانه به‌طور منظم کاهش‌ی بود. همچنین، نتایج نشان می‌دهد کاربرد روش‌های LQMLE، Smearing در برآورد ضرایب و توان معادلات فقط در ایستگاه‌های بالادست حوضه‌های مطالعه شده با دیگر ایستگاه‌ها همخوانی نداشت. از دلایل این فرایند می‌تواند تغییرات شیب و اضافه‌شدن مناطقی با شیب کمتر به مناطق بالادست حوضه، تغییرات در بستر رودخانه به علت برداشت‌های غیراصولی شن و ماسه در رودخانه‌های قره‌سو، نگل و سروآباد اشاره کرد. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج وروانی و همکارانش [۲۳] و نیز صادقی و همکارانش [۲۴ و ۲۵] همخوانی دارد. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج اندری و هاست [۹] و نوحه‌گر و همکارانش [۲۹] مطابقت نداشت چرا که ایشان ضرایب اصلاحی نمونه‌های با تعداد کم، که بیشتر از دبی جریان پایه گرفته شده‌اند، گرفته بودند و بیان کردند که این ضرایب می‌توانند نتایج رضایت‌بخش ارائه دهند.

با توجه به اینکه ضریب معادله نشان‌دهنده قابلیت

با توجه به جدول ۲ می‌توان بیان کرد که در رودخانه قره‌سو در استان کرمانشاه مقادیر ضریب معادلات LQMLE، Smearing، CF_1 ، CF_2 ، معمولی و FAO از ایستگاه‌های بالادست رودخانه به پایین دست آن به ترتیب از ایستگاه دوآب مرگ به ایستگاه پل کهنه کاهش می‌یابد، در حالی که در این رودخانه مقادیر توان معادلات استفاده‌شده به‌عکس ضریب معادلات از ایستگاه بالادست رودخانه به طرف پایین دست افزایش می‌یابد. دلیل کاهش ضریب معادلات از بالادست به سمت پایین دست حوضه، کاهش فرسایش‌پذیری در حوضه بالادست ایستگاه‌های مد نظر بوده و افزایش توان معادلات نیز به دلیل افزایش انتقال رسوب حاصل از فرسایش در شرایط رودخانه در ایستگاه هیدرومتری بوده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت از بالادست رودخانه قره‌سو به طرف پایین دست آن با افزایش دبی آب و رسوب کاهش مقدار ضریب معادله و افزایش توان وجود داشته است. پس می‌توان این‌گونه بیان کرد که مقدار توان معادله رابطه مستقیم و ضریب معادله رابطه معکوس با میزان دبی آب و رسوب در رودخانه قره‌سو داشته است. ایستگاه‌های واقع بر رودخانه‌های نگل و سروآباد (شویشه، کوماسی و آزاد دوآب) در استان کردستان روند تغییرات ضریب و توان معادله همچنین شبیه به ایستگاه‌های واقع بر رودخانه قره‌سو بود، یعنی اینکه ضرایب و توان معادلات به ترتیب روند کاهش‌ی داشتند (جدول ۳).

در ایستگاه‌های واقع بر رودخانه قزل‌اوزن (یساول، قره‌گونی، پل‌دختر، استور و گیلوان) روند تغییرات ضریب و توان معادله از روند رودخانه‌های یادشده تبعیت کرد (به‌جز در ایستگاه گیلوان). در این رودخانه به‌جز در ایستگاه یساول که کاهش زیادی را نشان داد، مقادیر ضریب اصلاحی با استفاده از

در جهت پایین دست مقاطع مختلف رودخانه با اضافه شدن مناطق با شیب کمتر به حوضه بالادست همراه است که این عامل می‌تواند یکی از دلایل کاهش ضریب معادله و افزایش توان معادله باشد [۲۷]. جدول های ۶ تا ۸ اختلاف برآورد روش‌های مختلف استفاده شده رسوب برآوردی و مشاهده‌ای برای ایستگاه‌های مطالعه شده، رودخانه‌های قره‌سو کرمانشاه نگل و سروآباد کردستان و قزل‌اوزن در استان‌های کردستان زنجان و گیلان را نشان می‌دهند.

فرسایش‌پذیری در سطح حوضه آبخیز بالادست ایستگاه بررسی شده و توان معادله نشان‌دهنده انتقال رسوب با توجه به ویژگی‌های ایستگاه بررسی شده است. بنابراین، از بالادست به سمت پایین دست حوضه با کاهش ضریب معادله فرسایش‌پذیری در حوضه بالادست ایستگاه مد نظر کاهش یافته و با افزایش توان معادله انتقال رسوب حاصل از فرسایش در شرایط رودخانه در ایستگاه هیدرومتری افزایش یافته است. با بررسی‌های انجام‌شده مشخص شد که حرکت

جدول ۶. مقایسه مقدار رسوب برآوردی و مشاهده‌ای بر حسب تن در ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه قره‌سو

ایستگاه	مقدار رسوب مشاهده‌ای	LQMLE	Smearing	CF ₁	CF ₂	معمولی	FAO
دوآب مرگ	۱۶۴۱۰۸/۳۲	۱۰۵۳۹۴/۸۸	۹۲۷۶۸/۱۲	۷۳۶۵۱/۳۲	۳۸۷۳۱/۰۱	۸۵۲۶۵/۴۹	۳۱۲۰۹۹/۶۲
	اختلاف برآورد (درصد)	-۳۵/۷۸	-۴۳/۴۷	-۵۵/۱۲	-۷۶/۴۰	-۴۸/۰۴	۹۰/۱۸
پل کهنه	۹۲۲۹۷۸/۸۸	۷۱۲۲۸۹/۷۶	۶۱۹۵۷۱/۸۰	۸۵۳۰۴۰/۳۹	۴۳۱۴۴۰/۱۴	۵۶۶۴۳۹/۸۸	۱۵۴۴۲۳۱/۹۰
	اختلاف برآورد (درصد)	-۲۲/۸۳	-۳۲/۸۷	-۷/۵۸	-۵۳/۲۶	-۳۸/۶۳	۶۷/۳۱
قورباغستان	۱۳۴۱۱۳۲/۴۳	۱۲۴۳۰۲۸/۹۵	۱۰۹۲۶۹۸/۹۶	۳۶۶۸۷۴۲/۵۲	۱۸۸۳۳۲۰/۱۷	۹۹۹۳۹۲/۹۱	۳۰۷۴۸۴۱/۵۲
	اختلاف برآورد (درصد)	-۷/۳۱	-۱۸/۵۲	۱۷۳/۵۶	۴۰/۴۳	-۲۵/۴۸	۱۲۹/۲۷

جدول ۷. مقایسه مقدار رسوب برآوردی و مشاهده‌ای بر حسب تن در ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه‌های نگل و سروآباد

ایستگاه	مقدار رسوب مشاهده‌ای	LQMLE	Smearing	CF ₁	CF ₂	معمولی	FAO
نگل (شویشه)	۱۰۴۷۷۱/۲۶۹	۲۷۵۷۰/۱۵	۲۵۱۷۴/۱۰	۱۴۹۶۸/۵۰	۱۵۲۹۹/۵۷	۲۰۶۹۸/۷۸	۲۲۷۵۰۴/۶۱
	اختلاف برآورد (درصد)	-۷۳/۶۹	-۷۵/۹۷	-۸۵/۷۱	-۸۵/۴۰	-۸۰/۲۴	۱۱۷/۱۴
نگل (کوماسی)	۵۵۲۹۲۸/۱۶۳	۱۸۲۱۸۲/۰۰	۱۵۰۹۸۰/۸۱	۱۷۳۶۲۹/۹۵	۱۰۲۲۴۴/۱۷	۱۳۴۴۴۶/۰۶	۱۰۷۶۷۷۸/۹۲
	اختلاف برآورد (درصد)	-۶۷/۰۵	-۷۲/۶۹	-۶۸/۶۰	-۸۱/۵۱	-۷۵/۶۸	۹۴/۷۴
سروآباد	۱۴۲۰۳۴۷/۰۴۱	۷۰۰۲۴۳/۷۱	۶۰۰۵۸۴/۶۴	۵۹۹۵۷۸/۰۵	۳۱۴۶۷۸/۶۶	۵۳۳۵۳۲/۹۱	۳۱۳۰۷۶۱/۳۰
	اختلاف برآورد (درصد)	-۵۰/۷۰	-۵۷/۷۲	-۵۷/۷۹	-۷۷/۸۴	-۶۲/۴۴	۱۲۰/۴۲

جدول ۸. مقایسه مقدار رسوب برآوردی و مشاهده‌ای بر حسب تن در ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه قزل‌اوزن

ایستگاه	مقدار رسوب مشاهده‌ای	LQMLE	Smearing	CF ₁	CF ₂	معمولی	FAO
یساول	۸۳۹۸۹۰/۵۵	۲۳۷۱۵۳/۷۱	۲۱۰۴۳۲/۸۱	۷۴۹۴۰/۹۶	۴۱۹۹۳/۹۵	۱۸۵۲۹۰/۱۶	۵۳۸۵۱۲/۲۵
	اختلاف برآورد (درصد)	-۷۱/۷۶	-۷۴/۹۵	-۹۱/۰۸	-۹۵/۰۰	-۷۷/۹۴	۴۴/۳۱
قره‌گونی	۶۴۰۱۵۵۲/۶۴	۲۰۳۷۷۲۹/۰۰	۱۹۰۰۰۴۸/۲۵	۵۶۲۴۲۹/۹۵	۶۷۹۷۲۵/۱۷	۱۴۹۹۳۶۷/۲۰	۱۰۷۳۰۵۵۶/۷۹
	اختلاف برآورد (درصد)	-۶۸/۱۷	-۷۰/۳۲	-۹۱/۲۱	-۸۹/۳۸	-۷۶/۵۸	۶۷/۶۲
پل دختر	۱۳۵۴۷۸۹۸/۰۶	۶۳۱۱۸۰۶/۳۱	۵۸۶۲۳۵۲/۰۱	۱۸۹۳۴۹۸/۸۶	۱۸۳۴۱۸۹/۰۳	۴۶۹۲۳۵۷/۰۶	۲۴۳۴۰۵۶۶/۷۴
	اختلاف برآورد (درصد)	-۵۳/۴۱	-۵۶/۷۳	-۸۶/۰۲	-۸۶/۴۶	-۶۵/۳۶	۷۹/۶۶
استور	۱۱۸۳۷۷۳۵/۰۸	۸۸۱۵۶۵۴۳/۵۷	۷۸۲۳۴۱۰۵/۳۹	۵۳۹۳۲۸۱/۹۶	۴۶۶۴۲۳۴۴/۲۲	۶۸۰۷۱۹۰۴/۶۹	۲۱۰۱۱۲۶۰/۱۱۴
	اختلاف برآورد (درصد)	-۲۵/۵۳	-۳۳/۹۱	-۵۴/۴۴	-۶۰/۶۰	-۴۲/۵۰	۷۷/۴۹
گیلوان	۲۱۱۱۷۰۶۳۹/۸۰	۴۷۵۴۹۷۰۳/۶۹	۴۴۹۹۰۲۱۶/۱۰	۱۲۰۰۶۹۰۹۷۴/۸۰	۲۷۴۷۲۶۲۳۳/۰۷	۲۳۰۸۶۱۴۰/۸۷	۳۸۱۶۵۳۸۲۵/۰۷
	اختلاف برآورد (درصد)	-۷۷/۴۸	-۷۸/۶۹	۴۶۸/۵۹	۳۰/۱۰	-۸۹/۰۷	۸۰/۷۳

این حالت در بیشتر ایستگاه‌های بررسی شده رخ داده است. این امر می‌تواند به دلیل نتایج به‌دست‌آمده از مقدار ضریب a در معادلات استفاده‌شده باشد زمانی که بیش تخمینی مقادیر رسوب بوده است، به دلیل بیشتر بودن مقدار این ضریب از یک است. زمانی که مقادیر رسوب برآوردی کمتر تخمین زده شده است، مقدار این ضریب بیشتر از یک برآورد شده است. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده با نتایج پژوهش هادی قورقی و همکارانش [۳۶] و هادی قورقی و خالدی درویشان [۳۸] همخوانی داشت. پس می‌توان این‌گونه بیان کرد که با توجه به اینکه روش‌های استفاده‌شده در تخمین رسوب به‌علت اینکه مخصوص شرایط حوضه‌های آبخیز کشور نبوده و با توجه به شرایط اقلیمی خاصی تهیه اصلاح شود که با نتایج صادقی [۵]، فیض‌نیا و همکارانش [۱۱]، وروانی و همکارانش [۲۳] و صادقی و همکارانش [۲۴] مبنی بر اینکه باید روش‌های تجربی برای هر منطقه به‌طور مناسب واسنجی شوند، مطابقت دارد.

مقایسه روش‌های استفاده‌شده با شاخص‌های کارایی مدل (E)، شاخص توافق (d) و خطای نسبی (RE) نشان داد در ایستگاه یساول، FAO مناسب‌ترین روش با خطای نسبی، کارایی مدل و شاخص توافق به‌ترتیب $۰/۴۵۴$ ، $۴/۳۱$ و $۰/۷۵۰$ ، ایستگاه قره‌گونی روش LQMLE با خطای نسبی و کارایی مدل و شاخص توافق به‌ترتیب $۰/۲۸۵$ ، $۶۸/۱۷$ و $۰/۵۲۶$ مناسب‌ترین روش، در ایستگاه هیدرومتری پل‌دختر نیز روش LQMLE با خطای نسبی و کارایی مدل و شاخص توافق به‌ترتیب $۵۳/۴۱$ ، $۰/۳۷۷$ و $۰/۶۴۷$ مناسب‌ترین روش و همچنین روش LQMLE برای ایستگاه هیدرومتری استور به‌ترتیب با خطای نسبی و کارایی مدل و شاخص توافق، $۲۵/۵۳$ ، $۰/۶۸۰$ و $۰/۸۷۴$ مناسب‌ترین روش تخمین رسوب ارزیابی شدند. در ایستگاه هیدرومتری گیلوان روش CF_2 ، با خطای نسبی، کارایی مدل و شاخص توافق به‌ترتیب $۳۰/۱۰$ ، $۰/۱۰۴$ و $۰/۶۷۶$ بهترین روش در تخمین رسوب برآوردی بود. ایستگاه‌های هیدرومتری روی رودخانه قره‌سو نیز نشان دادند ایستگاه دوآب مرگ با شاخص توافق، کارایی مدل و خطای نسبی به‌ترتیب $۰/۶۵۰$ ، $۰/۳۸۲$ و $۴۵/۶۸$ روش LQMLE بهترین روش در تخمین میزان رسوب برآوردی بود. در ایستگاه هیدرومتری پل کهنه روش CF_2 به‌دلیل مقادیر E، d و RE برابر با $۰/۴۲۷$ ، $۰/۷۶۵$ و $۵۵/۶۸$ بهترین روش هیدرولوژیکی شناخته شد. برای ایستگاه هیدرومتری

با توجه به نتایج جدول‌های ۶ تا ۸ مقایسه مقادیر رسوب برآوردشده در ایستگاه‌های مطالعه‌شده، روش‌های هیدرولوژیکی (به‌جز روش FAO که بیش تخمینی دارد) به‌کار برده‌شده مقدار رسوب برآوردی را کمتر از مقدار رسوب مشاهده‌ای تخمین زدند نتایج تحقیق حاضر با نتایج هادی قورقی و همکارانش [۳۶]، خالدی درویشان و همکارانش [۳۷]، هادی قورقی و خالدی درویشان [۲۶]، زنگنه و همکارانش [۱۴]، مطابقت داشت. با توجه به اینکه مقدار ضریب معادله در روش‌های CF_1 ، CF_2 ، Smearing و LQMLE کمتر بود، این موضوع از عواملی است که موجب کاهش مقادیر رسوب برآوردی توسط روش‌های استفاده‌شده است. از دلایل این موضوع می‌توان به تغییرات اقلیمی در مناطق مطالعاتی اشاره کرد، به‌طوری که هادی قورقی و خالدی درویشان [۲۶] نیز نشان دادند تفاوت‌های اقلیمی بین دو منطقه می‌تواند سبب تغییرات در میزان رسوب مشاهده‌ای که این عامل موجب تفاوت در رسوب تخمینی نیز می‌شود. با استفاده از تغییر در منطقه اقلیمی سبب تغییر مدل‌های بهینه برآورد رسوب معلق انتهایی خواهد شد. به‌طوری که ایشان بیان کردند که تفکیک داده‌ها به صورت فصول اقلیمی با تأخیر یک‌ماهه در فصول تقویمی و نیز تفکیک سال‌های کم‌آب و پرآب سبب افزایش دقت مدل‌های استفاده‌شده خواهد شد [۲۶ و ۳۷]. در حالی که مقدار ضریب معادله در روش FAO کمتر محاسبه شد که سبب شد مقادیر رسوب برآوردی بیشتر از رسوب مشاهده‌ای باشد. همچنین، در ایستگاه قورباغستان (واقع بر رودخانه قره‌سو) و ایستگاه گیلوان (واقع بر رودخانه قزل‌اوزن) روش‌های CF_1 و CF_2 مقدار رسوب برآوردی را بیشتر از رسوب مشاهده‌ای برآورد کردند. همچنین، با مقایسه مقادیر رسوب برآوردی و مشاهده‌ای ایستگاه‌ها در حوضه‌های مطالعه‌شده مشخص شد که مقادیر رسوب برآوردی و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های پایین‌دست حوضه اختلاف رسوب برآوردی نسبت به مشاهده‌ای در مقایسه با ایستگاه‌های واقع در بالادست کمتر بود و مقادیر رسوب برآوردی در این ایستگاه‌ها با رسوب مشاهده‌ای همخوانی بیشتر داشت. مقایسه داده‌ها به عنوان یک اصل کلی و پذیرفته‌شده در مدل‌های تخمین رسوب، در دبی‌های کم، رسوب برآوردی بیشتر از مقادیر رسوب مشاهده‌ای و به‌عکس در دبی‌های بالا رسوب برآوردی کمتر از مقادیر رسوب مشاهده‌ای برآورد شد که در تحقیق حاضر نیز

- river systems: GEP approach. Arab J Geosci. 2013; 6(9):3469-3480.
- [4]. Hu B, Wang TH, Yang Z, Sun X. Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications. Quatern Int. 2011; 230:34-43.
- [5]. Sadeghi, S.H.R. 2007. The development of curve sediment equation for upward and downward hydrograph using regression model. Iran Water Resource Research, 1(1):101-103.
- [6]. Telvari AR. The suspended sediment with some watershed characteristics in Karkheh and Dez brenchez in Lrestan proviance. Pajohesh and Sazandegi Journal. 2002; 15(1):47-56. (In Persian)
- [7]. Pavanelli D, Bigi A. Suspended sediment concentration for three Apennine monitored basins particle size distribution and physical parameters. In: The Agro Environment Congress, Venice, Italy. 2004; 537-544.
- [8]. Arabkhedri M. The study of suspended sediment in Iran watersheds. Iran Water Resource Research, 2005; 2:61-60. (In Persian)
- [9]. Endreny TA, Hassett JM. Robustness of pollutant loading estimators for sample size reduction in a suburban watershed. Int J River Basin Manag. 2005; 3(1):53-66.
- [10]. Ghomshi M, Podesh T Application evaluation of sediment load equations in Khosastan Rivers. Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 2003; 6(1): 13-30. (In Persian)
- [11]. Feiznia S, Ghafari G, Karimizade K, Tabatabayzade MS. Determination of the Most Suitable Method for Estimation of Suspended Sediment in Hydrometric Stations Upland of Latian and Taleghan Dams. Journal of natural environment (Iranian journal of natural resources), 2011; 64(3):231-242. (In Persian)
- [12]. Mirzaei MR, Arabkhedri M, Feiznia S, Ahmadi H. A Comparison of methods of estimation of suspended sediment. Iranian Journal of Natural Resources, 2005; 58(2):301-315. (In Persian)
- [13]. Arabkhedri M, Hakiamkhani Sh, Varvani J. The validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 hydrometric stations). Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 2004; 11(3):123-131. (In Persian)
- [14]. Zanganeh ME, Mosaedi A, Meftah Halghi M, Dehghan AA. Determination of suitable method for estimating suspended sediments discharge in Arazkoose hydrometric station (Gorganrood Basin). Journal of Water and Soil Conservation, 18(2):85-104. (In Persian)

قورباغستان نیز روش LQMLE با مقادیر ۰/۱۹، ۰/۸۶ و ۳/۹۹ برای شاخص توافق، کارایی مدل و خطای نسبی مناسبترین روش ارزیابی شد. در ایستگاه‌های هیدرومتری شویسه و کوماسی روی رودخانه سروآباد و نگل نیز FAO بهترین روش ارزیابی تخمین رسوب بود. در حالی که روی همین رودخانه در ایستگاه هیدرومتری آزاد دوآب با E، d و RE برابر با مقادیر به ترتیب ۰/۴۳۲، ۰/۶۷۳ و ۵/۳۰ بهترین روش LQMLE بود.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور مقایسه تغییرات مقادیر ضرایب اصلاحی از بالادست به پایین دست رودخانه‌های قره‌سوی کرمانشاه (ایستگاه‌های هیدرومتری دوآب مرگ، پل کهنه و قورباغستان)، نگل و سروآباد کردستان (ایستگاه‌های کوماسی، شویسه و آزاد دوآب) و قزل‌اوزن کردستان، زنجان و گیلان (ایستگاه‌های هیدرومتری یساول، قره‌گونی، پل دختر، استور و گیلوان) با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی LQMLE، Smearing، CF_۱، CF_۲، معمولی و FAO انجام شده است. با توجه به نتایج تخمین زده شده توسط روش‌های هیدرولوژیکی مختلف پیشنهاد می‌شود برای اینکه مدل‌های استفاده شده بتوانند برآوردهای نزدیک به واقعیت ارائه دهند با استفاده از روش‌های دیگری از جمله تفکیک اقلیمی داده‌ها دقت مدل‌ها را در برآورد رسوب افزایش داد. همچنین، عوامل دیگری مانند تغییرات شیب حوضه و رودخانه‌ها، شرایط بستر و نوع اقلیم منطقه نیز می‌تواند در روند تغییرات ضرایب این معادله‌ها مؤثر واقع شود، که در پژوهش‌های بعدی می‌توان موارد مد نظر را در تخمین رسوب لحاظ کرد.

منابع

- [1]. Ahmadi H, Malekian A, Abedi R. The most Appropriate Statistical Method for Suspended Sediment Estimation of Rivers (Case Study: Roodak Station of the Jajrood Basin). Quarterly J Envir Erosion Res. 2012; 2:78-88. (In Persian)
- [2]. Kisi O, Shiri J. River suspended sediment estimation by climatic variables implication: Comparative study among soft computing techniques. Computers Geosci. 2012; 43:73-82.
- [3]. Azamathulla HM, Cuan YC, Ghani AA, Chang CK. Suspended sediment load prediction of

- [15]. Mosaedi A, Mohammadi Ostadkelayeh A, Najafinejad A, Yaghmaiee F. Optimization of the relations between flow discharge and suspended sediment discharge in selected hydrometric stations of Gorganroud river. *Iranian Journal of Natural Resources*, 2006; 59(2):331-342. (In Persian)
- [16]. Zoratipour A, Mahdavi M, Khalighi Sigaroudi Sh, Salajegheh A, Shams Almaali N. Assessment of the effect of classification on the improved estimation of suspended sediment load using hydrological methods (Case study: Taleghan Basin). *Journal of the Iranian Natural Resources*, 2009; 61(4):809-819. (In Persian)
- [17]. Ulke A, Tayfur G, Ozkul S. Predicting suspended sediment loads and missing data for Gediz river, Turkey. *J Hydrol Eng.* 2009; 14(9):954-965.
- [18]. Kakaie Lafdani E, Moghaddam Nia A, Ahmadi A. Daily suspended sediment load prediction using artificial neural networks and support vector machines. *J Hydrol.* 2013; 478(25):50-62.
- [19]. Zhu YM, Lu XX, Zhou Y. Suspended sediment flux modeling with artificial neural network: An example of the Longchuanjiang River in the upper Yangtze catchment, China. *Geomorphology*, 2007; 84(1):111-125.
- [20]. Melesse AM, Ahmad S, McClain ME, Wang X, Lim YH. Suspended sediment load prediction of river systems: An artificial neural network approach. *Agricul Water Manag.* 2011; 98(5):855-866.
- [21]. Tabatabaei MR, Solaimani K, Habibnejad Roshan M, Kavian A. Estimation of daily suspended sediment concentration using artificial neural networks and data clustering by self-organizing map (Case Study: Sierra Hydrometry Station- Karaj Dam Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 2015; 5(10):98-116. (In Persian)
- [22]. Khazaii Moghani S, Najafi Nezhad A, Aziam Mohseni M, Shaikh B. Forecasting suspended sediment discharge by using time series transfer function model in selected stations of Gorganroud, Golestan Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 2013; 21(3):185-202. (In Persian)
- [23]. Varvani J, Najafi Nejad A, Mirmoini Karahroudi A. Improving of sediment rating curve using minimum variance unbiased estimator. *Gorgan, JOURNAL of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 2008; 15(1):150-161. (In Persian)
- [24]. Sadeghi SHR, Fazli S, Khaledi Darvishan AV. Efficiency assessment of sediment rating curve in Khamsan representative watershed. 6th National Conference of Watershed Management Sciences and Engineering, 28-29 April 2010, 8 P. (In Persian)
- [25]. Sadeghi, SHR, Mizuyama T, Miyata S, Gomi T, Kosugi K, Fukushima T, Mizugaki S, Onda Y. Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed. *Geoderma*, 2008; 144:198-211.
- [26]. Hadi Ghoroghi J Khaledi Darvishan AV. Performance evaluation of suspended sediment load prediction models in North and West of Iran (Case study: Gharasoo and Tajan rivers). *Iranian Water Research Journal*, 2014; 9(2):73-78.
- [27]. Kavian A, Moradian M, Darabi H, Safari A. The modification coefficients comparison of sediment curve equation in sub-humid and semi-arid rivers. *Extant ion and Development of Watershed Management*, 2013; 2(7):15-20. (In Persian)
- [28]. Najafinejad A, Mardian M, Varvani J, Sheikh VB. Performance evaluation of correction factors in optimization of sediment rating curve (Case Study: Kamal Saleh Dam Watershed, Markazi Province, Iran). *Journal of Water and Soil Conservation*, 2011; 18(2):105-122. (In Persian)
- [29]. Dastranj A, Khazai M, Kazemi M, Falah S, Adeli B. Assessment corrective methods for estimating suspended sediment (Case Study: Beshaar Watershed). *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 2015; 4(3):47-57. (In Persian)
- [30]. Nohegar A, Kazemi M, Ahmadi SJ, Gholami H, Mahdavi R. Determine the most appropriate corrective method to estimate suspended sediment load (Case Study: Tange Bostanak Watershed). *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 2017; 7(3):67-82. (In Persian)
- [31]. Walling DE, Webb BW. The Reliability of suspended sediment load data, in: erosion and sediment transport (Proc. of Florence Symp. June 1981, IAHS. Public. 1981; 133:177-194.
- [32]. Jones KR, Berney O, Carr DP, Barret EC. Arid zone hydrology for agricultural development. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 1981; 37:271-284.
- [33]. Thomas RB. Estimating total suspended sediment yield with probability sampling. *Water Resour Res.* 1985; 21:1381-1388.

- [34]. Duan N. Smearing estimate, a nonparametric retransformation method. Harvard University Press, Cambridge, Mass, 1983; 456p.
- [35]. Koch RW, Smillie GM. Comment on river loads underestimated by rating curves. *Water Resour Res*, 1986; 22(13):2121-2122.
- [36]. Hadi Ghoroghi H, Habibnejad Roshan M, Khaledi Darvishan AV. Efficiency of different data separation methods to increase the accuracy of sediment rating curve; Case Study a part of the Sefidrood watershed. *The Iranian Society of Irrigation and Water*, 2013; 2(2):97-111. (In Persian)
- [37]. Khaledi Darvishan, AV, Hadi Ghoroghi J, Gholami L, Katebi Kord A. The changes study of sediment rating coefficient in Gharasoo River of Kermanhah province. *The 6th National Conference of Iran Water Resources Management*, 23-25 April 2016. Kurdisatn University, Sanandaj, Iran. 2016. (In Persian)
- [38]. Hadi Ghoroghi J, Khaledi Darvishan AV. the estimation of suspended sediment yield models in north and west of Iran (Case of study: Gharasoo and Tajan Rivers). *Journal of Iran Water Research*, 2015; 9(2):73-78. (In Persian)