



دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد هجدهم، شماره دوم، ۱۳۹۰

www.gau.ac.ir/journals

## ارزیابی کارایی ضرایب اصلاحی در بهینه‌سازی منحنی سنج رسوب (مطالعه موردی: حوضه سد کمال صالح استان مرکزی)

\* علی نجفی‌نژاد<sup>۱</sup>، مهدی مردیان<sup>۲</sup>، جواد وروانی<sup>۳</sup> و واحدبردی شیخ<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آب‌خیزداری،

<sup>۲</sup> دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۴

### چکیده

با توجه به اهمیت مطالعات رسوب‌دهی آبخیزها، برای برآورد غلظت رسوب معلق جریان از منحنی سنج استفاده می‌شود. اما این منحنی سنج در بیش‌تر مواقع نتوانسته به‌خوبی بیانگر غلظت رسوب دبی‌های بالا باشد که این به‌دلیل اریب ناشی از تبدیل لگاریتمی و اریب ناشی از عمل برون‌یابی است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش با هدف بهینه‌سازی منحنی سنج رسوب، بهترین رابطه دبی جریان- غلظت رسوب برای خروجی زیرحوضه‌های اصلی سد کمال صالح استان مرکزی ارایه گردید. برای انجام کار ابتدا با استفاده از دو منحنی سنج یک‌خطی و حدوسط، و به کمک ۵ فاکتور اصلاحی  $FAO$ ،  $QMLE$ ،  $Smearing$ ،  $MVUE$  و  $\beta$ ، انواع معادله‌های سنج رسوب تهیه، و سپس کارایی آن‌ها ارزیابی شد. نتایج براساس مقادیر شاخص‌های ارزیابی نشان داد که معادله بهینه دبی- رسوب در ایستگاه حسن‌آباد، از منحنی سنج یک‌خطی با میانگین ضرایب اصلاحی  $MVUE$ ؛ و در ایستگاه قلعه‌نو، از منحنی سنج حدوسط با میانگین ضرایب اصلاحی  $MVUE$  پیروی می‌کند. طبق نتایج، فاکتور اصلاحی  $\beta$  در منحنی سنج حدوسط دسته‌ها توانست به‌خوبی اختلاف بین مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای را در دبی‌های بالا کم کند، ولی معادله‌های  $Smearing$ -خطی و

\* مسئول مکاتبه: najafinejad@gau.ac.ir

QMLE به دلیل پراکنش زیاد داده‌های مشاهده‌ای و نیز ضعف در مورد برون‌یابی مقادیر، کم‌ترین کارایی را داشتند. همچنین مشخص شد که منحنی سنجه حدوسط با فاکتور اصلاحی FAO در مقایسه با سایر منحنی‌های سنجه عملکرد بهتری در برآوردی رسوب دبی‌های سیلابی داشته است.

**واژه‌های کلیدی:** سد کمال‌صالح، شاخص‌های ارزیابی، فاکتورهای اصلاح اریب، منحنی سنجه بهینه رسوب

### مقدمه

از آنجا که اهمیت آب و مشکل کمیت و کیفیت آن از زمان گذشته وجود داشته است، حفظ منابع آبی موجود یک ضرورت انکارناپذیر می‌باشد. از طرفی شناخت اهمیت بالای منابع اراضی امری است که باید با ترویج و توسعه کاربری اراضی بهینه برای نگهداشت و افزایش حاصل‌خیزی منابع خاک صورت پذیرد. پیامد شناخت متقابل از منابع آب و خاک، افزایش رفاه مردم و نبود وابستگی اقتصادی کشورها را به دنبال دارد (پانندی و همکاران، ۲۰۰۹). در این میان تشدید فرآیند فرسایش خاک و فزونی رسوبات، به عنوان دو محرک تنش‌زا، مهم‌ترین تهدید برای این منابع به حساب می‌آیند. بر این اساس در پژوهش‌های رسوب‌دهی آبخیزها به مطالعه غلظت رسوب معلق (SSC)<sup>۱</sup> توجه خاصی شده است. زیرا بار معلق شاخصی از رسوب‌دهی کل سطح آبخیز است، و علاوه بر این، بر اثر شستشوی اراضی حاصل‌خیز بالادست شکل می‌گیرد (صادقی و همکاران، ۲۰۰۸).

هیدرولوژیست‌ها در صورت کمبود داده‌های غلظت رسوب معلق، از منحنی‌های سنجه برای پیش‌بینی و برآورد غلظت رسوب معلق جریان‌ها استفاده می‌کنند (هورویتز، ۲۰۰۲). روش‌های برآورد رسوب از نظر نوع منحنی سنجه و استفاده از دبی جریان، به منحنی سنجه یک‌خطی، چندخطی و حدوسط دسته‌ها طبقه‌بندی می‌شوند (ثقفیان و همکاران، ۲۰۰۸) که تمامی آن‌ها از رابطه اداره احیای اراضی امریکا (USBR)<sup>۲</sup> پیروی می‌کنند. این رابطه به صورت زیر است:

$$Q_s = aQ_w^b \quad (1)$$

که در آن،  $Q_s$ : دبی 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 هستند.

1- Suspended Sediment Concentration

2- U.S. Bureau of Reclamation

این رابطه به دلیل داشتن اریب<sup>۱</sup> در بیش تر مواقع نتوانسته غلظت رسوب در دبی های مختلف جریان را به خوبی نشان دهد، اریب در واقع باعث شده تا مقدار باقی مانده ها (اختلاف بین مقادیر مشاهده ای با مقادیر محاسباتی) توزیع نرمالی نداشته باشد و مقدار آن بیش تر از صفر شود (کائو و همکاران، ۲۰۰۵). اریب منحنی سنجه از دو عامل منشأ می گیرد. عامل اول به علت تغییر شکل معادله از حالت لگاریتمی به حالت طبیعی مدل رگرسیون خطی است که در اصل مربوط به ذات منحنی سنجه می باشد. عامل دوم اریب، ناشی از عمل برون یابی برای برآورد رسوب دبی های بالاست (آیدانزا و ناپلیتانو، ۲۰۰۶) که در ارتباط با کمیت و کیفیت داده ها بوده و باعث می شود رسوب برآوردی خطای زیادی داشته باشد. دو اریب ناشی از عوامل بالا معمولاً منجر به کم تخمینی<sup>۲</sup> مقدار رسوب انتقالی می شوند که با پراکندگی<sup>۳</sup> نقاط نمونه ارتباط مستقیم دارد. بنابراین برای به دست آوردن برآوردهای ناریب، یک سری فاکتورهای اصلاحی (CF)<sup>۴</sup> به شکل زیر در معادله منحنی سنجه به کار گرفته می شوند:

$$Q_s = CF \cdot a Q_w^b \quad (2)$$

که در آن،  $Q_s$ ،  $Q_w$ ،  $a$  و  $b$ : همان پارامترهای رابطه USBR هستند و CF: ضریب اصلاحی است. بر این اساس چند فاکتور اصلاحی در سال های اخیر توسط محققان به صورت زیر ارایه شده است. FAO-۱: روش فائو توسط جونز و همکاران (۱۹۸۱) برای تعدیل ارقام و نزدیک کردن مقادیر محاسباتی به مقادیر مشاهده ای برای مناطق خشک و نیمه خشک مطرح شده است. در این روش ضریب  $\alpha$  به عنوان فاکتور اصلاحی، به صورت زیر جایگزین ضریب  $a$  در رابطه USBR شده است (عرب خدیری و همکاران، ۲۰۰۴).

$$Q_s = \alpha Q_w^b \quad (3)$$

فاکتور اصلاحی  $\alpha$  از رابطه زیر به دست می آید.

$$\alpha = \frac{\bar{Q}_s}{\bar{Q}_s^b} \quad (4)$$

که در آن،  $\bar{Q}_s$ : میانگین دبی های رسوب نمونه های مشاهده ای (میلی گرم در لیتر یا تن در روز)، و  $\bar{Q}_w$ : میانگین دبی جریان نمونه های مشاهده ای (مترمکعب بر ثانیه) است.

- 
- 1- Bias
  - 2- Underestimation
  - 3- Scatter
  - 4- Correction Factor

۲- QMLE: روش تخمین گر شبه‌بیشینه درست‌نمایی توسط فرگوسن (۱۹۸۷) برای اصلاح اثر تبدیل لگاریتمی با فرض توزیع نرمال خطاهای باقی‌مانده به‌کار گرفته شده است و بیش‌تر در مورد اریب منفی ذاتی منحنی سنج به‌کار برده می‌شود. این روش که به‌نام روش پارامتری (CF<sub>۱</sub>) نیز گزارش شده؛ از یک ضریب تصحیح براساس مجذور خطای استاندارد باقی‌مانده رگرسیون استفاده می‌کند و معادله آن به شکل زیر است (آیدانزا و ناپلیتانو، ۲۰۰۶).

$$CF_{QMLE} = e^{(2/561S^2)} \quad (5)$$

که در آن، e: تابع نمایی (برابر ۲/۷۱۸) و S<sup>۲</sup>: خطای استاندارد (مجذور میانگین) معادله رگرسیون در لگاریتم با مبنای ۱۰ است که از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\log C_o - \log C_e)}{n-2} \quad (6)$$

در این رابطه، C: غلظت رسوب مشاهده‌ای (تن در روز)، C<sub>e</sub>: غلظت رسوب برآوردی (تن در روز)، و n: تعداد نمونه‌های مشاهده‌ای است.

۳- ضریب بازسازی<sup>۲</sup>: روش اصلاح گر توسط دون (۱۹۸۳) در مورد برازش جذر مربع و یا جذر مکعب داده‌ها استفاده می‌شود. این روش که به ضریب اصلاحی غیرپارامتری (CF<sub>۱</sub>) نیز معروف است با رد توزیع نرمال خطاهای باقی‌مانده، برای حذف اریبی داده‌ها ارایه شده و شکل کلی معادله آن به‌صورت زیر است (وروانی و همکاران، ۲۰۰۸):

$$CF_{smearing} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (7)$$

$$\varepsilon_i = \log(C_o) - \log(C_e) \quad (8)$$

که در آن، ε<sub>i</sub>: باقی‌مانده حداقل مربعات مدل رگرسیونی، C<sub>e</sub>: غلظت رسوب مشاهده‌ای (تن در روز)، C<sub>o</sub>: غلظت رسوب برآوردی (تن در روز) و n: تعداد نمونه‌های مشاهده‌ای می‌باشد.

1- Quasi-Maximum Likelihood Estimator

2- Smearing

۴-  $MVUE^1$ : برآوردگر نااریب با حداقل واریانس توسط کوهن و همکاران (۱۹۸۹) برای برآزش لگاریتم خطی ارایه شده است. در این روش برای هر یک از مقادیر دبی رسوب مشاهده‌ای، یک ضریب اصلاحی محاسبه می‌شود و میانگین آن‌ها به‌عنوان CF معادله  $MVUE$  انتخاب می‌گردد. معادله‌های این فاکتور اصلاحی به‌صورت زیر تعریف شده‌اند (اندرنی و هاست، ۲۰۰۵):

$$CF_{MVUE} = \frac{\sum_{i=1}^n g_m}{n} \quad (9)$$

$$g_{m_i} = \frac{m+1}{2m} (1-V) S^2 \quad (10)$$

$$V = \frac{1}{N} + \left[ \frac{\ln(Q_x) - Q_{Bar}}{Q_{Var}} \right]^2 \quad (11)$$

که در آن،  $g_m$ : تابع فینی که در حقیقت نقش ضریب اصلاحی نمونه  $i$  را دارد.  $m$ : درجه آزادی معادله رگرسیونی  $(n-1)$ ;  $V$ : تابعی از متغیرهای توزیعی؛  $S^2$ : خطای استاندارد رگرسیون؛  $Q_x$ : مقدار دبی مشاهده‌ای نمونه  $i$ ؛  $Q_{Bar}$ : متوسط دبی‌های مشاهده‌ای؛  $Q_{Var}$ : واریانس دبی‌های جریان و  $N$ : تعداد داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد.

۵-  $\beta$ : این روش که توسط کائو و همکاران (۲۰۰۵) برای تصحیح منحنی‌های سنج رسوب رودخانه‌های تایوان ارایه شده؛ از ضریب  $\beta$  برای محاسبه فاکتور اصلاحی استفاده می‌کند. این ضریب از تقسیم مجموع باقی‌مانده‌ها بر مجموع مقادیر برآوردی مدل رگرسیونی به‌دست می‌آید و می‌تواند مثبت یا منفی باشد. در نهایت فاکتور اصلاحی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CF_{\beta} = 1 + \beta \quad (12)$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^N (\varepsilon_i)}{\sum_{i=1}^N a Q_w^b} \quad (13)$$

در رابطه بالا مقادیر پارامترها مطابق روش‌های قبلی محاسبه می‌شوند. این روش در مورد پیش‌بینی رسوب دبی‌های بالا خطای مقادیر برآوردی را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد.

#### 1- Minimum Variance Unbiased Estimator

پژوهش‌های زیادی در زمینه به‌کارگیری فاکتورهای اصلاح اریب با هدف بهینه‌سازی روابط دبی-رسوب انجام شده است. کوهن (۱۹۹۵) با ارزیابی فاکتورهای اصلاحی نتیجه گرفت در صورتی که شرایط زیر با یکدیگر مهیا باشد، سه روش QMLE، Smearing و MVUE نتایج تقریباً مشابهی ارائه می‌دهند. این شرایط عبارتند از: ۱- ضریب همبستگی بالای معادله رگرسیون خطی، ۲- تعداد حداقل ۳۰ نمونه برای اصلاح معادله رگرسیونی، ۳- کاربرد معادله فقط در مورد درونیابی مقادیر. اگر تمام شروط تأمین باشد روش QMLE بهترین روش است، زیرا روش آسانی است. اگر تنها شرط اول برقرار باشد روش MVUE بهترین است؛ و اگر شرط اول تأمین نباشد (مدل توزیع نرمالی نداشته باشد)، Smearing بهترین روش می‌باشد. با این حال لوئیس (۱۹۹۶) دریافت در صورتی که برآوردگر MVUE نااریب باشد مقادیر RMSE<sup>۱</sup> مشابهی با "مدل‌های تغییرشکل نیافته" دارد. اندرنی و هاست (۲۰۰۵) نیز با ارزیابی فاکتورهای اصلاحی دریافتند که این فاکتورها در مورد نمونه‌های با تعداد کم که اکثراً از جریان پایه برداشت شده‌اند پاسخ‌گوی خوبی هستند. لادویگ (۲۰۰۶) در مطالعات خود، برآوردگر QMLE را مناسب‌تر از ضریب Smearing عنوان کرده است. وروانی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی رسوب‌دهی مناطق اقلیمی متفاوت کشور، ضریب MVUE را مناسب برآورد متوسط بار رسوب روزانه می‌دانند. صادقی و همکاران (۲۰۰۸) ریشه چهارم داده‌های تغییرشکل یافته 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. خانچول و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهش‌های خود عنوان کردند که کلاس‌بندی مقادیر دبی براساس فصل وقوع سیلاب، مناسب ترسیم منحنی سنج رسوب برای برآورد رسوب وقایع سیلابی بدون رسوب‌نگار است. در پژوهش‌های عرب‌خدری و همکاران (۲۰۰۴)، میرزایی و همکاران (۲۰۰۵) و گنجی‌نوروزی و همکاران (۲۰۰۸) نیز منحنی سنج حدوسط دسته‌ها نتایج مطلوب‌تری را در برآورد دبی رسوب به همراه داشته است.

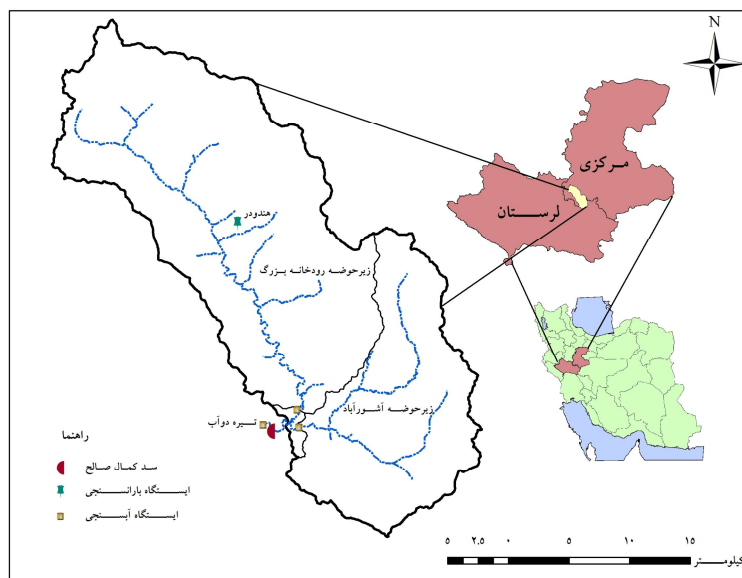
همان‌طور که نتایج سوابق پژوهش نشان می‌دهد توصیه بیش‌تر محققان بر این است که معادله‌های سنج رسوب باید به کمک فاکتورهای اصلاحی تصحیح شوند تا اختلاف مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای به‌خصوص در دبی‌های بالا کاهش یابد. با این حال در پژوهش‌های داخلی به ارزیابی کارایی فاکتورهای اصلاحی به‌ویژه فاکتورهای MVUE و  $\beta$  کم‌تر پرداخته شده است. بنابراین این پژوهش بررسی میزان کارایی منحنی سنج را شفاف‌تر مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش حوضه سد کمال‌صالح استان

1- Root Mean Square Error

مرکزی به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شده؛ زیرا این سد در تأمین آب شرب شهر اراک، از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین ارایه رابطه بهینه دبی- رسوب برای خروجی زیرحوضه‌های اصلی برای تصمیم‌گیری بهتر در برنامه‌های مدیریتی یکی دیگر از اهداف این پژوهش می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**معرفی منطقه مورد مطالعه:** حوضه سد کمال صالح با طول ۴۹ درجه و ۴ دقیقه و ۲ ثانیه تا ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه و ۱۱ ثانیه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۳۳ دقیقه و ۱۳ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۵۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه 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 (مردیان، ۲۰۱۰). شکل ۱ موقعیت حوضه سد کمال صالح و زیرحوضه‌های مطالعاتی و همچنین جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوضه سد کمال صالح و ایستگاه‌های مطالعاتی آن.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری دبی- رسوب حوضه سد کمال‌صالح.

ایستگاه	موقعیت	سطح زه‌کشی (کیلومتر مربع)	ارتفاع ایستگاه (متر)	مختصات	
				طول شرقی	عرض شمالی
حسن‌آباد	خروجی زیرحوضه رودخانه بزرگ	۴۳۶/۵	۱۸۲۵	۴۹-۱۷-۲۰	۳۳-۳۸-۴۷
قلعه‌نو	خروجی زیرحوضه آشورآباد	۲۱۲/۷۵	۱۸۲۰	۴۹-۱۷-۲۷	۳۳-۳۸-۰۰
تیره دوآب	پایین دست سد کمال‌صالح	۶۶۷/۲۹	۱۷۹۸	۴۹-۱۵-۳۳	۳۳-۳۸-۰۴

نمونه‌برداری از رسوب معلق: در این پژوهش وضعیت رسوب‌دهی در خروجی دو زیرحوضه بالادست سد کمال‌صالح بررسی شده است. طبق نظر کوهن (۱۹۹۵) حداقل ۳۰ نمونه دبی- رسوب لازم است تا بتوان به ارزیابی کارایی منحنی سنج و فاکتورهای اصلاحی پرداخت. با توجه به این‌که تعداد نمونه‌های جمع‌آوری شده شرکت آب منطقه‌ای استان مرکزی از هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی کافی نبود، بنابراین از اوایل آبان‌ماه ۱۳۸۷ تا اواخر اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۸، هر ۱۰ روز یک‌بار اقدام به نمونه‌برداری از رسوب معلق به وسیله بطری‌های ۱ لیتری گردید و غلظت رسوب معلق هر یک از نمونه‌ها در آزمایشگاه آب و خاک شرکت آب منطقه‌ای مرکزی با استفاده از روش کاغذ صافی تعیین شد. در نهایت با احتساب نمونه‌های قبلی، ۳۷ داده برای ایستگاه حسن‌آباد و ۴۵ داده برای ایستگاه قلعه‌نو جمع‌آوری شد.

تهیه انواع معادله‌های سنج رسوب: در این مرحله براساس معادله USBR، منحنی سنج رسوب یک‌خطی و حدوسط برای هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی ترسیم گردید. در منحنی سنج یک‌خطی برای تمامی داده‌های دبی- رسوب هر ایستگاه، یک خط برازش داده شد. در منحنی سنج حدوسط 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 سنج یک‌خطی و حدوسط دسته‌ها، با استفاده از ۵ فاکتور اصلاحی  $QMLE$ ،  $FAO$ ،  $Smearing$ ،  $MVUE$  و  $\beta$  انواع معادله‌های اصلاحی سنج رسوب برای هر یک از ایستگاه‌ها به‌دست آمد.

انتخاب معادله بهینه دبی- رسوب: در نهایت هر یک از معادله‌های سنج رسوب با توجه به مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای غلظت رسوب مورد ارزیابی قرار گرفتند، و معادله بهینه هر یک از ایستگاه‌ها تعیین گردید. برای ارزیابی از مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE)، میانگین اختلافات (BIAS)،



معیار ناش - ساتکلیف یا خطای حداکثر (ME)<sup>۱</sup>، و شاخص صحت (P)<sup>۲</sup> استفاده شد (پاندی و همکاران، ۲۰۰۷؛ وروانی و همکاران، ۲۰۰۸).

$$RMSE = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (SSC_o - SSC_e)^2}{N} \right)^{1/2} \quad (14)$$

$$BIAS = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (SSC_o - SSC_e)}{N} \right) \quad (15)$$

$$ME = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (SSC_o - SSC_e)^2}{\sum_{i=1}^n (SSC_o - SSC_m)^2} \right) \quad (16)$$

$$P = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{SSC_e}{SSC_o} \right)}{N} \right) \quad (17)$$

در رابطه‌های بالا،  $SSC_o$ : غلظت رسوب مشاهده‌ای (میلی‌گرم در لیتر، یا تن در روز)،  $SSC_e$ : غلظت رسوب برآوردی (میلی‌گرم در لیتر، یا تن در روز)،  $SSC_m$ : متوسط مقادیر مشاهده‌ای رسوب، N: تعداد نمونه‌های مشاهده‌ای است.

### نتایج و بحث

همان‌طور که اشاره شد با ترسیم منحنی‌های سنجه یک‌خطی و حدوسط، معادله دبی - رسوب بر مبنای روش USBR تهیه گردید (رابطه‌های ۱ و ۲ در جدول ۲). ضریب تبیین در منحنی‌های

1- Maximum Error

2- Precision

سنجه یک خطی و حدوسط ایستگاه حسن آباد به ترتیب برابر با ۰/۷ و ۰/۹۷۲، و در ایستگاه قلعه‌نو به ترتیب برابر با ۰/۶۴۵ و ۰/۹۷۵ به دست آمد. با اعمال ضرایب اصلاحی QMLE، FAO، Smearing، MVUE و  $\beta$  انواع معادله‌های سنجه رسوب در جدول ۲ برای ایستگاه‌های مطالعاتی ارایه شده است. لازم به ذکر است با توجه به این که ضریب اصلاحی به صورت یک عدد ثابت در معادله اولیه USBR اثر داده می‌شود از این رو ضریب تبیین در معادله‌های اصلاح شده تغییر نخواهد کرد.

جدول ۲- انواع معادله‌های سنجه رسوب براساس نوع منحنی سنجه و فاکتور اصلاحی.

رابطه دبی - رسوب		نوع منحنی سنجه	نوع ضریب اصلاحی
ایستگاه قلعه‌نو	ایستگاه حسن آباد		
$Q_s = 4/4 Q_w^{1/12}$	$Q_s = 4/24 Q_w^{1/13}$	خطی	بدون ضریب اصلاحی
$Q_s = 4/16 Q_w^{1/33}$	$Q_s = 5/25 Q_w^{1/21}$	حدوسط	
$Q_s = 7/49 Q_w^{1/12}$	$Q_s = 7/27 Q_w^{1/13}$	خطی	FAO
$Q_s = 5/94 Q_w^{1/33}$	$Q_s = 6/19 Q_w^{1/21}$	حدوسط	
$Q_s = 11/43 Q_w^{1/12}$	$Q_s = 9 Q_w^{1/13}$	خطی	QMLE
$Q_s = 6/33 Q_w^{1/33}$	$Q_s = 8/96 Q_w^{1/21}$	حدوسط	
$Q_s = 23/34 Q_w^{1/12}$	$Q_s = 16/14 Q_w^{1/13}$	خطی	Smearing
$Q_s = 4/48 Q_w^{1/33}$	$Q_s = 6/05 Q_w^{1/21}$	حدوسط	
$Q_s = 5/26 Q_w^{1/12}$	$Q_s = 4/87 Q_w^{1/13}$	خطی	MVUE
$Q_s = 4/5 Q_w^{1/33}$	$Q_s = 5/79 Q_w^{1/21}$	حدوسط	
$Q_s = 4/4 Q_w^{1/12}$	$Q_s = 4/24 Q_w^{1/13}$	خطی	$\beta$
$Q_s = 4/15 Q_w^{1/33}$	$Q_s = 5/23 Q_w^{1/21}$	حدوسط	

جدول‌های ۳ و ۴ نتایج مقادیر شاخص‌های ارزیابی هر یک از این معادله‌ها را با توجه به مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی نشان می‌دهد. همچنین ضریب تبیین ( $R^2$ ) براساس درجه همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی رسوب در این جدول‌ها آمده است.

جدول ۳- مقادیر شاخص های ارزیابی در هر یک از معادله های سنجه رسوب ایستگاه حسن آباد.

شاخص ارزیابی	بدون ضریب اصلاحی						بدون ضریب اصلاحی					
	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط
$\beta$	MVUE	Smearing	QMLE	FAO	QMLE	Smearing	QMLE	FAO	QMLE	Smearing	QMLE	FAO
RMSE	۵۱/۲۹۵	۶۰/۵۱۲	۵۰/۰۰۶	۶۳/۰۶۴	۱۵۶/۰۰۴	۱۰۲/۸۸	۷۲/۰۰۷	۶۴/۵۶۴	۵۷/۵۹۸	۵۵/۹۰۱	۵۱/۲۹۵	
ME	۰/۴۶۵	۰/۳۷۱	۰/۵۵۸	۰/۳۱۶	-۳/۲۹۸	۰/۷۹۴	۰/۰۸۴	۰/۲۸۲	۰/۴۱۴	۰/۴۶۲	۰/۵۳۵	
BIAS	۱۳/۰۲۱	-۷/۱۵۳	۹/۰۷۳	۹/۱۹۹	-۶/۱۵۷	۳۲/۵۷۲	-۱۲/۷۹	۱۰/۳۵۲	-۵/۹۶۶	۲/۷۹۸	۱۳/۰۲۱	
P	۲/۰۷۰	۲/۲۹۷	۱/۷۶۳	۲/۳۹۹	۶/۱۷۶	۳/۵۵۵	۳/۴۴۲	۲/۴۵۶	۲/۷۸۳	۲/۰۸۲	۱/۶۲۲	
R <sup>۲</sup>	۰/۵۷۳	۰/۵۶۹	۰/۵۷۳	۰/۵۶۹	۰/۵۷۳	۰/۵۶۹	۰/۵۷۳	۰/۵۶۹	۰/۵۷۳	۰/۵۶۹	۰/۵۷۳	

جدول ۴- مقادیر شاخص های ارزیابی در هر یک از معادله های سنجه رسوب ایستگاه قلعه نو.

شاخص ارزیابی	بدون ضریب اصلاحی						بدون ضریب اصلاحی					
	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط
$\beta$	MVUE	Smearing	QMLE	FAO	QMLE	Smearing	QMLE	FAO	QMLE	Smearing	QMLE	FAO
RMSE	۲۷/۸۶۱	۲۶/۸۸۵	۳۶/۷۲۳	۲۶/۳۶۳	۱۰۶/۸۱	۲۸/۲۹۹	۳۶/۲۰۳	۲۶/۴۵۳	۲۹/۶۵۹	۲۷/۷۷۵	۴۰/۴۶۷	
ME	۰/۸۷۷	۰/۸۰۲	۰/۵۹۰	۰/۸۰۰	-۲/۴۶۴	۰/۸۷۰	۰/۶۰۱	۰/۷۹۹	۰/۷۳۲	۰/۷۷۸	۰/۵۰۲	
BIAS	۲/۴۴۸	۰/۱۵۱	۹/۶۳۵	۰/۲۸۶	-۶/۱۸۵	-۱۱/۱۸۱	-۱۴/۸۷	-۹/۱۷۴	-۳/۱۳۷	۲/۳۴۰	۱۳/۰۱۴	
P	۲/۱۰۲	۲/۲۸۲	۲/۵۲۲	۲/۲۷۱	۱۱/۲۰۰	۳/۲۰۸	۵/۴۸۴	۳/۰۱۰	۴/۰۲۰	۲/۱۱۱	۲/۱۱۲	
R <sup>۲</sup>	۰/۸۲۸	۰/۸۲۸	۰/۸۳۶	۰/۸۲۸	۰/۸۳۶	۰/۸۲۸	۰/۸۳۶	۰/۸۲۸	۰/۸۳۶	۰/۸۲۸	۰/۸۳۶	

برای انتخاب معادله بهینه هر ایستگاه از رتبه‌بندی مقادیر شاخص‌های ارزیابی جدول‌های ۳ و ۴ استفاده شده است. به این صورت که نزدیک‌ترین مقدار شاخص  $ME$ ،  $BIAS$  و  $P$  به عدد ۱ و نزدیک‌ترین مقدار شاخص  $RMSE$  به عدد صفر در ایستگاه موردنظر، که بیانگر کم‌ترین اختلاف بین مقادیر رسوب برآوردی و مشاهده‌ای است، رتبه یک را به خود اختصاص داد. مقادیر بعدی شاخص‌ها در ایستگاه موردنظر نیز بر این اساس رتبه‌بندی شدند. سپس مقادیر رتبه‌بندی شده ستون‌ها نسبت به هم مقایسه شده و معادله بهینه براساس ستونی که کم‌ترین مقادیر رتبه‌ها در آن ثبت شده است انتخاب گردید. در صورتی که مقادیر رتبه‌های ۲ ستون برابر باشد، اولویت با معادله‌ای می‌باشد که ضریب تبیین ( $R^2$ ) براساس درجه همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی رسوب در آن بالاتر است. جدول‌های ۵ و ۶ نتایج مربوط به رتبه‌بندی مقادیر شاخص‌های ارزیابی را نشان می‌دهد.

براساس نتایج جدول‌های ۵ و ۶، معادله بهینه دبی - رسوب در ایستگاه حسن‌آباد از منحنی سنجه خطی با میانگین ضرایب اصلاحی  $MVUE$ ؛ و در ایستگاه قلعه‌نو از منحنی سنجه حدوسط با میانگین ضرایب اصلاحی  $MVUE$  پیروی می‌کند. مطابق با نتایج، ضریب تبیین معادله بهینه دبی - رسوب برای ایستگاه حسن‌آباد برابر ۰/۷ و برای ایستگاه قلعه‌نو برابر ۰/۹۷۵ است. با توجه با این‌که ضریب  $MVUE$  در منحنی‌های سنجه با ضریب همبستگی بالا نتایج قابل‌قبولی ارائه می‌دهد (کوهن، ۱۹۹۵)، بنابراین معادله بهینه ایستگاه قلعه‌نو دقت بیشتری نسبت به معادله بهینه ایستگاه حسن‌آباد دارد. طبق نتایج جدول ۲، نکته قابل‌توجه در مورد فاکتور اصلاحی  $MVUE$  این است که میانگین ضرایب اصلاحی  $MVUE$  نسبت به فاکتورهای  $FAO$ ،  $QMLE$  و  $Smearing$  عدد کم‌تری است. به‌نظر می‌رسد این فاکتور اصلاحی تنها بتواند در مورد برآورد رسوب متوسط روزانه کاربرد داشته باشد و در مورد برآورد رسوب وقایع سیلابی عملکرد خوبی نشان ندهد. در پژوهش‌های کوهن (۱۹۹۵) و روانی و همکاران (۲۰۰۸) نیز اشاره شده است که فاکتور اصلاحی  $MVUE$  در مورد برون‌یابی و دبی‌های سیلابی از دقت خوبی برخوردار نیست و برآورد پایین‌تری ارائه می‌دهد. با این حال با توجه به نتایج شاخص‌های ارزیابی، میانگین اختلاف بین مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهده‌ای معادله‌های بهینه در مورد داده‌های موجود مطلوب و رضایت‌بخش می‌باشد که با نتایج پژوهش‌های اندرنی و هاست (۲۰۰۵) مطابقت دارد.

جدول ۵- رتبه‌بندی مقادیر شاخص‌های ارزیابی در هر یک از معادله‌های سنجه رسوب ایستگاه حسن‌آباد.

$\beta$	MVUE		Smearing		QMLE		FAO		بدون ضریب اصلاحی		شاخص ارزیابی	
	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط		
۳	۲	۶	۱	۷	۱۱	۱۰	۹	۸	۵	۴	۲	RMSE
۴	۳	۷	۲	۸	۱۱	۱	۱۰	۹	۶	۵	۳	ME
۱	۸	۴	۵	۶	۱۱	۱۰	۹	۷	۳	۲	۸	BIAS
۳	۱	۵	۲	۶	۱۱	۱۰	۹	۷	۸	۴	۱	P

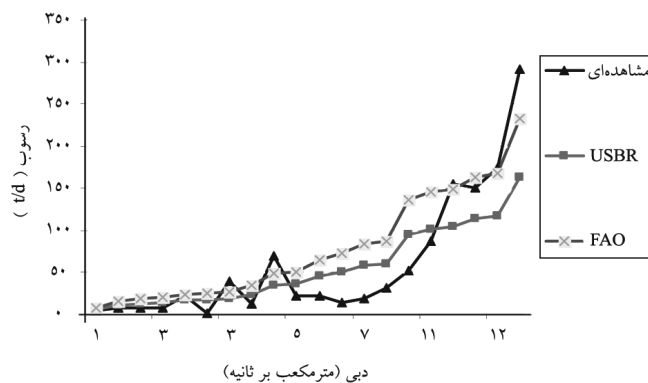
جدول ۶- رتبه‌بندی مقادیر شاخص‌های ارزیابی در هر یک از معادله‌های سنجه رسوب ایستگاه قلعه‌نو.

$\beta$	MVUE		Smearing		QMLE		FAO		بدون ضریب اصلاحی		شاخص ارزیابی	
	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط	خطی	حدوسط		
۵	۱۰	۱	۹	۲	۱۱	۶	۸	۳	۷	۴	۱۰	RMSE
۵	۱۰	۱	۹	۲	۱۱	۶	۸	۳	۷	۴	۱۰	ME
۴	۹	۱	۶	۲	۱۱	۸	۱۰	۷	۵	۳	۹	BIAS
۱	۳	۵	۶	۴	۱۱	۸	۱۰	۷	۹	۲	۳	P

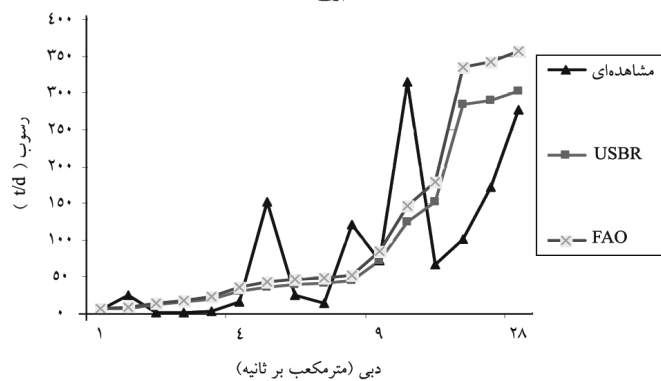
مطابق با نتایج جدول ۲، ضریب اصلاحی  $\beta$  در منحنی سنجه یک‌خطی و چندخطی هیچ تأثیری بر اصلاح رابطه دبی-رسوب ندارد. اما این فاکتور در منحنی سنجه حدوسط دسته‌ها به‌صورت یک ضریب کاهنده عمل کرده است و توانسته مقدار ضریب  $a$  معادله USBR را نسبت به سایر فاکتورهای اصلاحی پایین آورد. مطابق با نتیجه پژوهش‌های کائو و همکاران (۲۰۰۵) این ضریب کاهنده باعث می‌شود تا اختلاف مقادیر رسوب برآوردی و مشاهده‌ای در دبی‌های بالا کاهش یابد.

طبق نتایج جدول‌های ۵ و ۶، در ایستگاه حسن‌آباد، معادله بهینه کم‌ترین اختلاف را با معادله خطی- $\beta$  دارد؛ ولی در ایستگاه قلعه‌نو، معادله بهینه کم‌ترین اختلاف را با معادله حدوسط-Smearing دارد. این در حالی است که معادله بهینه هر دو ایستگاه بیش‌ترین اختلاف را با معادله‌های QMLE و Smearing خطی دارند. طبق نظر کوهن (۱۹۹۵)، مهم‌ترین دلیل کارایی پایین فاکتور QMLE، پراکنش زیاد داده‌های مشاهده‌ای و نیز ضعف در مورد برون‌یابی مقادیر است. زیرا برآورد کم از غلظت واقعی به‌وسیله منحنی سنجه، با درجه پراکندگی نقاط نمونه منحنی سنجه افزایش می‌یابد. همچنین دلیل ضعف فاکتور Smearing این است که این فاکتور در مورد برون‌یابی مقادیر کارایی پایینی دارد. نتایج جدول ۲ نیز نشان می‌دهد که ضریب Smearing، به‌ویژه در حالت یک‌خطی، نسبت به سایر ضرایب اصلاحی عدد بالاتری است که این خود باعث شده تا اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی رسوب افزایش یابد و دقت و صحت کاهش پیدا کند.

نکته مهمی که باید در مورد فاکتورهای اصلاحی QMLE، Smearing، MVUE و  $\beta$  به آن اشاره کرد این است که این ضرایب اصلاحی در مورد کاهش اریب ناشی از تبدیل لگاریتمی مؤثر هستند و در مورد برون‌یابی داده‌ها عملکرد خوبی از خود نشان نمی‌دهند. اما طبق نتایج در شکل ۲، خط برآوردی از معادله حدوسط با کاربرد فاکتور اصلاحی FAO در دبی‌های بالا نزدیک به خط مشاهده‌ای است. همان‌طور که جونز و همکاران (۱۹۸۱) اشاره دارند ضریب FAO برای تعدیل ارقام و نزدیک کردن مقادیر محاسباتی به مقادیر مشاهده‌ای است که به‌نظر می‌رسد کاربرد آن در برون‌یابی داده‌ها منطقی‌تر باشد. بنابراین توصیه می‌شود برای برآورد رسوب وقایع سیلابی با استفاده از منحنی سنجه، از ضریب اصلاحی فائو استفاده شود.



الف



ب

شکل ۲- برازش خطی مقادیر مشاهده‌ای نمونه‌ها و مقادیر برآوردی از معادله‌های سنجه USBR و FAO در ایستگاه حسن‌آباد (الف) و قلعه‌نو (ب).

با توجه به کیفیت داده‌های دبی- رسوب ایستگاه‌های مطالعاتی که علاوه بر تعداد کم، بیش‌تر آن‌ها بیانگر شرایط دبی- رسوب پایه هستند، معادله‌های بهینه دبی- رسوب از این پژوهش نمی‌توانند در برآورد رسوب‌دهی وقایع سیلابی کارا باشند. به نظر می‌رسد نمایش صحیح از شدت تغییرات رسوب‌دهی در ارتباط با نوع ترسیم منحنی سنجه است و منحنی‌های سنجه ماهانه نسبت به یک خطی و حدوسط دسته‌ها دقت بیش‌تری دارند که این با نتایج پژوهش‌های عرب‌خداری و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. با این حال ایراد وارده بر منحنی‌های سنجه رسوب این است که این منحنی‌ها هر چقدر هم با دقت ترسیم شده باشند به دلیل خطی بودن نمی‌توانند رسوب وقایع سیلابی را به خوبی برآورد کنند. زیرا در یک دبی مشخص در طول شاخه بالارونده و پایین‌رونده یک هیدروگراف جریان، غلظت رسوب

برابر نیست و باعث می‌شود تا شکل منحنی سنجه به صورت حلقه درآید (صادقی و همکاران، ۲۰۰۸؛ وروانی و همکاران، ۲۰۰۸). با این حال اگر در هر ماه نمونه‌برداری‌های زیادی انجام گیرد، می‌توان منحنی سنجه چندخطی مختص برآورد رسوب سیلاب در آن ماه را از ارایه داد (خانچول و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به پژوهش‌های زیاد در زمینه رسوب‌دهی رودخانه‌های کشور، در مورد توسعه روابط دبی- رسوب و بررسی میزان کارایی آن‌ها، به خصوص دو فاکتور اصلاحی  $MVUE$  و  $\beta$ ، به پژوهش‌های پیش‌تری احتیاج است. توصیه می‌شود کارایی فاکتورهای اصلاحی منحنی سنجه به‌ویژه در مورد برون‌یابی مقادیر رسوب برآوردی مورد ارزیابی دقیق‌تری قرار گیرد. در پایان باید به این نکته اشاره کرد که اگرچه بیش‌تر منحنی‌های سنجه رسوب در نشان دادن رسوب‌دهی وقایع سیلابی عملکرد ضعیفی دارند، اما تهیه رابطه بهینه دبی- رسوب برای هر ایستگاه هیدرومتری، براساس ارزیابی روش‌های ترسیم منحنی سنجه و فاکتورهای اصلاحی، می‌تواند به‌خوبی در برآورد متوسط رسوب‌دهی روزانه، ماهانه و سالانه رودخانه‌ها به‌کار رود و در برنامه‌های مدیریت آبخیزها برای تصمیم‌گیری بهتر به‌کار گرفته شود. از این رو انجام این‌گونه پژوهش‌ها در سایر آبخیزها پیشنهاد می‌شود.

### سپاسگزاری

در پایان از همکاری شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مرکزی در انجام نمونه‌برداری‌های دبی- رسوب کمال تشکر را داریم.

### منابع

1. Arabkhedri, M., Hakimkhani, Sh., and Varvani, J. 2004. The validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 Hydrometric Stations). Gorgan, J. Agric. Sci. and Natur. Resour. 11: 3. 123-130. (In Persian)
2. Cohn, T.A., Delong, L.L., Gilroy, E.J., Hirsch, R.M., and Wells, D.K. 1989. Estimating constituent loads. Water Resources Research, 25: 5. 937-942.
3. Cohn, T.A. 1995. Recent advances in statistical methods for the estimation of sediment and nutrient transport in rivers. Reviews in Geophysics, Supplement, Pp: 1117-1123.
4. Duan, N. 1983. Smearing estimate, a nonparametric retransformation method. J. Amer. Statistical Association, 78: 383. 605-610.
5. Endreny, Th., and Hassett, J. 2005. Robustness of pollutant loading estimators for sample size reduction in a suburban watershed. Intl. J. River Basin Manage. (IAHR & INBO), 3: 1. 53-66.
6. Ferguson, R. 1987. Accuracy and precision of methods for estimating river loads. Earth Surface Processes and Land Forms. 12: 95-104.



7. Ganji Noroozi, Z., Samani, J.M.V., and Morid, S. 2008. Uncertainty Analysis of Reservoir Sedimentation, Iran-Water Resources Research, 4: 1. 90-97. (In Persian)
8. Horowitz, A. 2002. The use of rating (transport) curves to predict suspended sediment concentration: A matter of temporal resolution. Peachtree Business Center. Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, 3p.
9. Iadanza, C., and Napolitano, F. 2006. Sediment transport time series in the Tiber River. Physics and Chemistry of the Earth, 31: 1212-1227.
10. Jones, K.R., Berney, O., Carr, D.P., and Barret, E.C. 1981. Arid zone hydrology for agricultural development. FAO Irrigation and Drainage Paper, 37: 271.
11. Kao, Sh., Lee, T., and Milliman, J.D. 2005. Calculating highly fluctuated suspended sediment fluxes from mountainous rivers in Taiwan. TAO, 16: 3. 653-675.
12. Khanchoul, K., Altschul, R., and Assassi, F. 2009. Estimating suspended sediment yield, sedimentation controls and impacts in the Mellah Catchment of Northern Algeria. Arab. J. Geosci. 2: 3. 257-271.
13. Ladewig, M.D. 2006. Sediment transport rates in the lower Muskegon River and tributaries. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (Natural Resources and Environment) in the University of Michigan, 72p.
14. Lewis, J. 1996. Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation. Water Resources Research, 32: 7. 2299-2310.
15. Mardian, M. 2010. Investigation on sediment yield of torrential events using MUSLE model and observed data in the sub watersheds of the Kamal Saleh dam, Markazi province, Iran. A thesis of M.Sc. Thesis Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 140p. (In Persian)
16. Mirzaei, M.R., Arab-Khedri, M., Feiznia, S., and Ahmadi, H. 2005. A comparison of methods of estimation of suspended sediment, Iran. J. Natur. Resour. 58: 2. 301-313. (In Persian)
17. Pandey, A., Chowdary, V.M., Mal, B.C., and Billib, M. 2007. Runoff and sediment yield modeling from a small agricultural watershed in India using the WEPP model. J. Hydrol. HYDROL 15931, 35p.
18. Pandey, A., Chowdary, V.M., and Mal, B.C. 2009. Sediment yield modeling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS. Paddy Water Environ. 7: 105-113.
19. Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S., and Onda, Y. 2008. Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed. Geoderma, 144: 198-211.
20. Saghafian, B., ghermezcheshmeh, B., and Samiee, M. 2008. Regional analysis of sediment in southwest watersheds of Iran. Iran Water Resources Management Co (WRMC), 125p. (In Persian)
21. Varvani, J., Najafinejad, A., and Mirmoini Karahroudi, A. 2008. Improving of sediment rating curve using minimum variance unbiased estimator. Gorgan, J. Agric. Sci. and Natur. Resour. 15: 1. 150-161. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(2), 2011*  
[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## **Performance Evaluation of Correction Factors in Optimization of Sediment Rating Curve (Case Study: Kamal Saleh Dam Watershed, Markazi Province, Iran)**

**\*A. Najafinejad<sup>1</sup>, M. Mardian<sup>2</sup>, J. Varvani<sup>3</sup> and V.B. Sheikh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>M.Sc. Graduated, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Faculty of member Islamic Azad University, Arak Branch

Received: 2010/04/06; Accepted: 2011/02/23

### **Abstract**

Because of importance of sediment delivery of watersheds, sediment rating curve is used for estimation of suspended sediment concentration. But most often sediment rating curve can not represent sediment concentration well in high flows, because of bias in log-transformation and extrapolation of data. For optimization of sediment rating curve, this research carried out with data of Q-SSC in outlet of two sub watershed of the Kamal Saleh dam watershed, Markazi province, Iran. Sediment data analysis was carried out using sediment rating curve of single-line and mean of classes with different correction factors such as FAO, QMLE, Smearing, MVUE and  $\beta$ . The results of various evaluation indices showed that the optimum sediment rating curve in the Hasan-Abad station follows single-line sediment rating curve and in the Ghaleh-No station mean of classes sediment rating curve, both with average of MVUE correction coefficients. According to the results,  $\beta$  correction factor for mean of classes' sediment rating curve could reduce the difference between observation and estimation for high flows, but because of high scatter of observed data and undesirable extrapolation the Smearing-linear and QMLE had the lowest efficiency. However, for high flows in torrential events, the mean of classes' sediment rating curve with FAO correction factor gave more accurate results than other methods.

**Keywords:** Bias correction factors, Evaluation indexes, Kamal Saleh dam, Optimum sediment rating curve

---

\* Corresponding Author; Email: najafinejad@gau.ac.ir