

## ارزیابی روش‌های اصلاحی برآورد رسوب معلق (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بشار)

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه هرمزگان	علی دسترنج	۱
نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه هرمزگان، Khazayi64@gmail.com	مجید خزایی*	۲
دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه هرمزگان	محمد کاظمی	۳
دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی آموزشگاه عالی سراوان	ساناز فلاح	۴
دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه هرمزگان	بهزاد عادل	۵

### چکیده

از آنجایی که معادلات رگرسیونی منحنی‌های سنجه با توجه به تبدیل لگاریتمی آمار دبی جریان و رسوب معلق به دست می‌آید دارای اریب زیاد هستند. در این تحقیق از ضرایب اصلاحی به منظور بهبود نتایج روش‌های برآورد بار رسوبی رودخانه‌ها در ایستگاه هیدرومتری بشار و زهره با شاخص‌های مختلف دقت و صحت استفاده گردید. از این رو تحقیق حاضر در صدد ارزیابی عمل کرد پنج روش منحنی سنجه از جمله  $FAO$ ،  $MVUE$ ،  $LQMLE$ ،  $LRC$  در دو حالت حد واسط دسته‌ها و در حالت بدون تقسیم‌بندی داده‌ها بوده است. به منظور ارزیابی کارایی منحنی‌های سنجه رسوب و انتخاب بهترین آن‌ها، از شاخص‌های مجذور مربعات خطا و ضریب کارایی استفاده گردید. محاسبه ضرایب اصلاحی با معیارهای مجذور مربعات خطا و ضریب کارایی حاکی از این است که در ایستگاه بشار روش  $LQMLE$  حداکثر میزان ضریب کارایی ( $CE=92$ ) و حداقل خطا ( $RMSE=0/38$ ) و روش  $LS$  کمترین میزان ضریب کارایی و بیشترین میزان خطا ( $CE=86$  و  $RMSE=0/94$ ) را ارائه نموده است. در حالت معمولی نیز روش  $LQMLE$  حداکثر میزان ضریب کارایی و حداقل میزان خطا را داراست ( $CE=82$ ) و ( $RMSE=0/38$ ) و روش  $LS$  کمترین میزان ضریب کارایی و بیشترین میزان خطا ( $CE=86$  و  $RMSE=0/94$ ) را ارائه نموده است. محاسبه ضرایب اصلاحی در ایستگاه زهره نشان داد که روش  $LQMLE$  حداکثر میزان ضریب کارایی را داراست ( $CE=95$ ) و روش  $FAO$  کمترین میزان ضریب کارایی و بیشترین میزان خطا ( $CE=-1/58$  و  $RMSE=2/48$ ) را ارائه نموده است. در حالت معمولی نیز روش  $LRC$  حداکثر میزان ضریب کارایی و حداقل میزان خطا را ( $CE=95$ ) و ( $RMSE=0/53$ ) کسب نموده است. از سویی در بین روش‌های مختلف روش  $LS$  کمترین میزان ضریب کارایی و بیشترین میزان خطا ( $CE=3/88$  و  $RMSE=3/88$ ) را ارائه نموده است. در مجموع روش‌های مختلف و ضرایب اصلاحی متفاوت منحنی سنجه رسوب در حالات بدون تقسیم‌بندی داده‌ها و در حالت حد واسط می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در اکثر مدل‌ها روش‌های  $LQMLE$  و  $LRC$  بهترین روش‌های محاسبه رسوب بوده است.

کلمات کلیدی: رسوب معلق، حوزه آبخیز، روش‌های اصلاحی، برآورد، منحنی سنجه

### ۱. مقدمه

برآورد مقدار رسوب در پروژه‌های حفاظت خاک، طراحی و اجرای سازه‌های آبی، آبخیزداری و نیز بهره‌برداری از منابع آب از اهمیت بسزایی برخوردار است (جلالی و همکاران، ۱۳۸۶). شبیه‌سازی و ارزیابی آورد رسوب رودخانه از جمله مسائل مهم و کاربردی در مدیریت منابع آب هست (احمدی و همکاران، ۱۳۸۷). تعیین مقدار رسوب حمل شده توسط رودخانه‌ها از جنبه‌های مختلف دارای اهمیت است. با توجه به محدودیت منابع آبی در طبیعت، توزیع زمانی و مکانی

غیریکنواخت منابع آبی، افزایش آلودگی‌ها، تخریب منابع طبیعی و همچنین افزایش جمعیت، رشد و توسعه جوامع شهری و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، ضرورت برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آبی اجتناب‌ناپذیر است. فرسایش، انتقال رسوب، رسوب‌گذاری و کیفیت آب از مسائل بسیار مهم در مدیریت حوزه‌های آبخیز می‌باشند. این مسائل را می‌توان با برقراری و توسعه برنامه‌های اندازه‌گیری مقدار رسوب انتقالی در رودخانه‌ها مورد بررسی قرار داد (عرب خدری، ۱۳۸۴). روش اندازه‌گیری بار معلق که بر پایه اندازه‌گیری غلظت رسوب معلق و دبی جریان استوار است، روشی مطمئن ولی مستلزم اندازه‌گیری پیوسته هست که معمولاً تنها برای رودخانه‌های مهم و دائمی مقدور هست (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۸). از آنجائی‌که بسیاری از حوزه‌های آبخیز در اکثر کشورها از جمله ایران فاقد ایستگاه رسوب سنجی هستند، استفاده از مدل‌های تجربی و روش‌های آماری برآورد رسوب معلق انتقالی رودخانه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. غالب ارزیابی‌های مقدار تولید رسوب حوزه‌های آبخیز با استفاده از نمونه‌برداری‌های پراکنده، محدود و نامنظم از رسوبات معلق رودخانه‌ها صورت می‌گیرد. در صورت نبود اندازه‌گیری واقعی رسوب، هیدرولوژیست‌ها از منحنی سنج رسوب برای تخمین غلظت رسوب معلق استفاده می‌کنند و معمولترین روش تخمین بار رسوب با استفاده از داده‌های غلظت رسوب معلق و دبی جریان هست (Horowitz, ۲۰۰۳) و قدیمی عروس محلّه و قدوسی، (۱۳۷۸). در حوزه‌های آبخیز عمل نمونه‌برداری از دبی جریان و رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری صورت می‌گیرد ولی برای تمامی دبی‌های جریان، نمونه‌برداری رسوب انجام نمی‌شود، بلکه میزان رسوب آن‌ها برآورد می‌گردد (دستورانی و همکاران، ۱۳۸۶). به دلیل عدم کارایی روش‌های منحنی سنج؛ محققین و کارشناسان روش‌های متنوعی را ارائه کرده‌اند و ضرایب اصلاحی زیادی طراحی نموده‌اند. به طور کلی روش برآورد بار معلق رودخانه‌ها به دو دسته تقسیم شده است. دسته اول روش‌های مبتنی بر قوانین دینامیک و مکانیک سیالات که عموماً توسط متخصصان و صاحب‌نظران علم هیدرولیک ارائه شده است (قمشی و ترابی پوده، ۱۳۸۱) و دسته دوم روش مبتنی بر اندازه‌گیری‌های مستقیم و تحلیل‌های آماری که بیشتر توسط صاحب‌نظران علم هیدرولوژی توصیه شده‌اند (میرابولقاسمی و مرید، ۱۹۹۷). در تخمین بار معلق رودخانه معمولاً از روش‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود که در این بین برآورد مستقیم بهترین روش هست و برای این منظور باید آمار کاملی از غلظت رسوب و دبی جریان متناظر در دست باشد که در اغلب موارد به علت کمبود امکانات، نیروی انسانی و بالا بودن هزینه، امکان برداشت داده رسوب و دبی به اندازه کافی مقدور نیست (صادقی و همکاران، ۱۳۸۴). به لحاظ اهمیت و نقش پدیده انتقال رسوب در عرصه‌های مختلف مهندسی تعیین کمیت بار رسوبی از دیرباز مورد توجه متخصصین مسایل رودخانه‌ای قرار گرفته است (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۱).

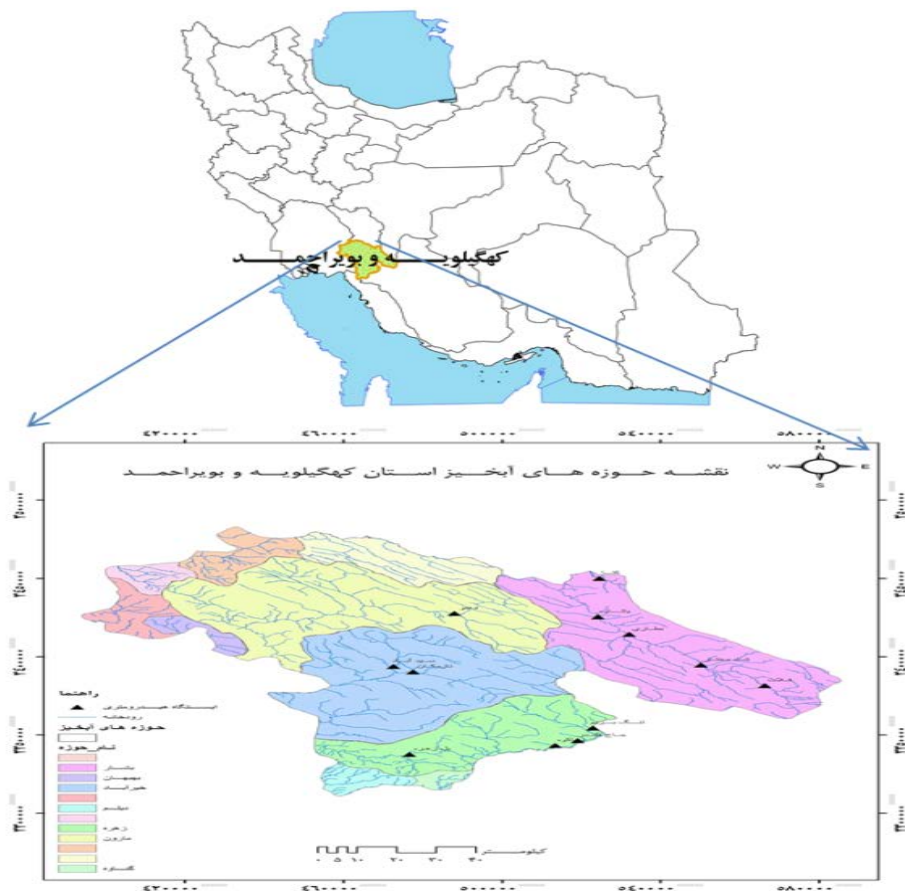
بررسی مقایسه‌ای بین روش‌های برآورد رسوب معلق در حوزه آبخیز قزل اوزن توسط برزگری (۱۳۸۴) نشان داد که روش‌های برآورد رسوب مانند USBR، جاماب و منحنی سنج رسوب به ترتیب مقدار رسوب معلق را کمتر از مقادیر واقعی برآورد می‌کنند و لذا در صورت استفاده از روش‌های موجود باید در سیستم نمونه‌گیری از رسوب اصلاحاتی صورت گیرد. در تحقیق دیگری ذرتی پور و همکاران (۱۳۸۷) تأثیر طبقه‌بندی رسوب را بر بهبود روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه‌ها در حوزه آبخیز طالقان مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که استفاده از کلاس بندی فصلی داده‌های رسوب و تجزیه هیدروگراف خروجی حوزه برای افزایش دقت منحنی سنج رسوب و برآورد بار معلق رودخانه موثر است. نجفی نژاد و همکاران (۱۳۹۰) با ارزیابی کارایی ضرایب اصلاحی در بهینه‌سازی منحنی سنج رسوب با استفاده از دو منحنی سنج یک خطی و حد وسط، و به کمک چندین فاکتور اصلاحی 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 یک خطی با میانگین ضرایب اصلاحی MVUE و در ایستگاه قلعه نو، از منحنی سنج حد وسط با میانگین ضرایب اصلاحی MVUE پیروی می‌کند. همچنین مشخص شد که منحنی سنج حد وسط با فاکتور اصلاحی FAO در مقایسه با سایر منحنی‌های سنج عملکرد بهتری در برآوردی

رسوب دبی‌های سیلابی داشته است. بررسی تغییرات زمانی و مکانی منحنی سنج رسوب در حوزه چانگ چیان رودخانه یانگ تسه توسط بنگکی هو و همکاران (۲۰۱۱)، غلظت رسوب معلق را در سه بازه بالادست، میانه و پایین‌دست رودخانه را در دوره‌های متفاوت زمانی از سال ۱۹۵۵ تا ۲۰۰۷ محاسبه کردند نشان دادند که تعرضات و فعالیت‌های انسانی به طبیعت تأثیر اصلی را بر روی پارامترهای منحنی سنج رسوب دارد. تحقیقات زیادی به منظور بررسی اعتبار و افزایش دقت منحنی سنج رسوب در سطح جهان صورت گرفته است. نتایج نشان‌دهنده آن است که منحنی سنج در اغلب موارد دارای تخمین‌های کمتر (وآلینگ) از واقعیت هست. البته در مناطق مختلف و حتی شرایط مختلف یک حوزه آبخیز تخمین‌های مدل متفاوت (بیش تخمینی و کم تخمینی) و برآورد رسوب از طریق این معادله با خطا همراه است.

### روش تحقیق

#### منطقه مورد مطالعه

رودخانه بشار با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۲ ثانیه عرض شمالی در استان کهگیلویه و بویراحمد واقع شده است (شکل ۱). طول رودخانه بشار در استان کهگیلویه و بویراحمد در حدود ۱۹۰ کیلومتر هست. این رودخانه مهم‌ترین منبع آب جاری در شهرستان یاسوج هست که از کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و پس از خروج از استان به رودخانه کارون می‌پیوندد (طبیعی و همکاران، ۱۳۸۸).



شکل ۱-نمایی از نقشه ایران و موقعیت حوزه های آبخیز استان کهگیلویه و بویراحمد

### روش تحقیق

به منظور تخمین رسوب معلق در پژوهش حاضر از روش‌های منحنی سنج، روش اداره عمران اراضی ایالات متحده، حد وسط دسته‌ها، سازمان خواربار و کشاورزی جهانی، برآورد کننده نا اریب با حداقل واریانس، تخمین گر شبه بیشینه درست نمایی و اصلاحگر و هم چنین روش‌های رگرسیونی چند متغیره به کمک داده‌های بارش، روا ناب روز جاری و روزهای قبل استفاده می‌شود. در روش‌های رگرسیونی مقادیر اندازه‌گیری شده دبی جریان و دبی رسوب در مقابل یکدیگر رسم شده و سپس تابع مناسبی بر داده‌ها برازش داده می‌شود.

در این مطالعه داده‌های همزمان دبی رسوب معلق دبی جریان به مدت ۱۳ سال از سالهای - آماری ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۹ در ایستگاه هیدرومتری قلات از شرکت سهامی آب منطقه‌ای کهگیلویه و بویراحمد جمع‌آوری گردید. برای محاسبه مقدار رسوب متوسط سالانه در این مطالعه از فرمول توانی منحنی سنج برآورد رسوب که در آن دبی رسوب به دبی جریان عبوری در هر ایستگاه ارتباط داده می‌شود استفاده شد.

### روش اداره عمران اراضی ایالات متحده:

در روش منحنی رسوب یک خطی یا روش USBR داده‌های موجود از اندازه‌گیری  $Q_s$  و  $Q_w$  متناظر با آن به صفحه مختصات لگاریتمی منتقل شده و خط بهترین برازش بر مبنای روش حداقل مربعات خطا از میان آن‌ها عبور داده می‌شود. سپس یک رابطه رگرسیونی به صورت معادله توانی استخراج می‌گردد که به منحنی سنج رسوب یک خطی معروف است.  $a$  و  $b$  ضرایب ثابت معادله می‌باشند.

### مدل حد وسط داده‌ها:

جهت برآورد رسوب معلق براساس مدل حد وسط دسته‌ها ابتدا دبی‌های جریان بادی‌های برنجی یک نمو معین به تعدادی دسته تقسیم شدند و برای متوسط هر دسته، میانگین رسوب همان دسته تعیین گردید جانسون (۱۹۹۶).

### روش سازمان خوار و بار و کشاورزی جهانی (FAO):

جونز و همکاران (1981) به جای استفاده از معادله توانی سنج رسوب که از نقطه‌ای با مختصات میانگین نقاط لگاریتم دبی و آب عبور می‌کند از معادله خطی موازی که از میانگین نقاط رسوب و دبی متناظر با آن می‌گذرد استفاده می‌کنند. این روش به نام روش فائو مطرح شده است و در عمل به عنوان ضریبی محاسبه شده و در منحنی سنج رسوب یک خطی اعمال می‌گردد.

در این روش بجای  $a$  در معادله بالا از  $a'$  استفاده می‌شود (جونز و همکاران، ۱۹۸۱).

$$a' = \frac{Q_s}{Q_w^b}$$

### روش برآورد کننده نا اریب با حداقل واریانس (MVUE)

در این روش تصحیح اریب برای هر یک از مقادیر دبی روزانه با استفاده از روابط زیر به دست آورده می‌شود (چون و همکاران، ۱۹۸۹).

$$L_{MVUE} = L_{RC(t)} \times g_m$$

$$g_m = \frac{m+1}{2m} \times [(1-V) \times S^2]$$

$$V = \frac{(\ln(Q_x) - \bar{Q})^2}{Q_{var}} + \frac{1}{N}$$

در این معادلات  $L_{MVUE}$  رسوب برآورد شده از روش MVUE

$L_{RC}(t)$ ، بار رسوبی برآورد شده از منحنی سنجی برای هر روز  $t$   
 $gm$  تابع فینی،  $Q_x$  میانگین دبی جریان روزانه،  $Q$  دبی جریان لحظه‌ای،  $N$  تعداد داده،  $Q_{var}$  واریانس دبی‌های جریان  
 و  $Q_{Bar}$ : متوسط دبی،  $S$  اشتباه استاندارد منحنی سنجی هست  
 روش تخمین گر شبه بیشینه درست نمایی (QMLE):  
 در این منحنی سنجی رسوب مسئله اریب ناشی از تبدیل لگاریتمی تا حدودی بر طرف شده است. و تصحیح اریب  
 برای هر یک از مقادیر دبی روزانه به کار برده می‌شود. معادله کلی روش QMLE به صورت زیر است:

$$L_{QMLE} = L_{RC} \times \exp\left(\frac{S^2}{2}\right)$$

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

که در آن  $L_{QMLE}$  رسوب برآورد شده از روش QMLE هست  $L_{RC}$  رسوب برآورد شده با استفاده از منحنی سنجی  
 یک خطی و  $S^2$  مجذور میانگین اشتباه رگرسیون هست.  $C_o$  و  $C_e$  نیز به ترتیب مقادیر مشاهداتی و محاسباتی هست.  
 این روش به نام روش پارامتری CF1 نیز گزارش شده است.  
 روش اصلاح گر: یک روش غیرپارامتری بوده که شکل کلی آن به صورت رابطه زیر است (توماس، ۱۹۸۵):

$$L_S = L_{RC} \times \frac{\sum_{i=1}^N \exp(e_i)}{N}$$

$$e_i = (\log C_o - \log C_e)$$

$L_S$ : رسوب برآورد شده با استفاده از روش Smearing  
 $\varepsilon_i$ : باقی‌مانده حداقل مربعات معادله منحنی سنجی بوده و در واقع تفاوت لگاریتم طبیعی رسوب مشاهده شده و برآورد  
 شده است.

#### ارزیابی کارایی روش‌های محاسبه رسوب معلق:

در تحقیق حاضر از، از شاخص‌های مجذور مربعات خطا و ضریب کارایی به منظور اعتبارسنجی روش‌های مختلف  
 استفاده گردید. هر مدلی که میانگین مربعات خطا کمتر باشد آن مدل نسبت به سایر مدل‌ها از دقت بیشتری برخوردار  
 است. هر چه مقدار ضریب کارایی بالاتر باشد معادله به دست آمده بهتر می‌تواند روابط بین دو پارامتر مورد نظر را  
 بیان کند.

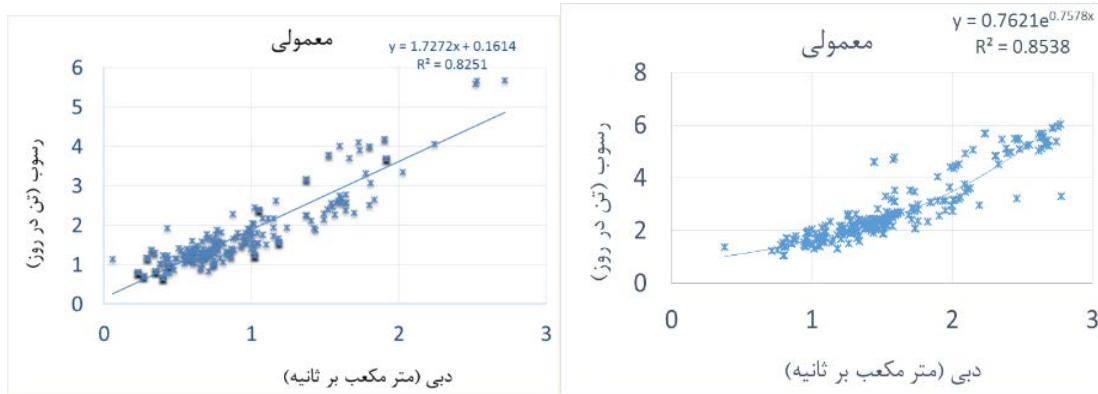
$$CE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Sy_o - Sy_e)^2}{\sum_{t=1}^T (Sy_o - \overline{Sy_o})^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Sy_o - Sy_e)^2}{n}}$$

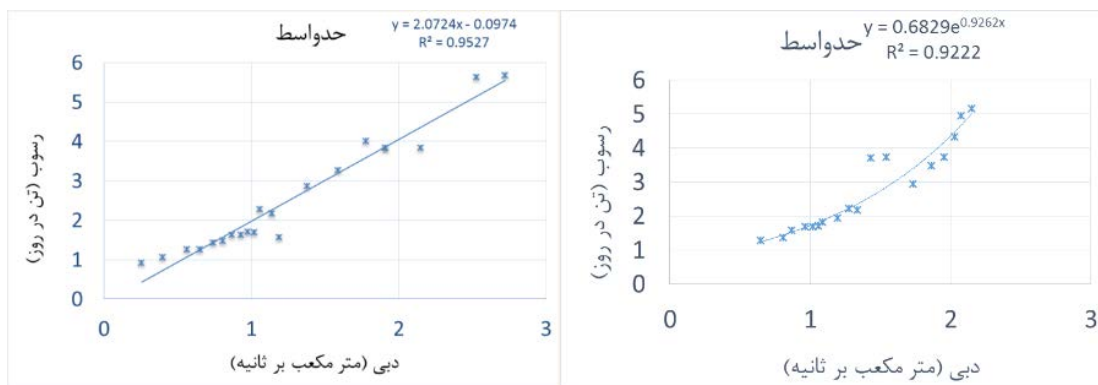
#### نتایج و بحث

بعد از تجزیه و تحلیل اولیه داده‌ها و انجام آزمون‌های آماری آماده سازی داده‌ها، معادلات توانی، نمایی، لگاریتمی، خطی  
 بر داده‌ها در حالات معمولی (بدون تفکیک داده‌ها) و حد واسط برآزش گردید. سپس روش‌ها و ضرایب اصلاحی مختلف  
 بر معادلات برتر لحاظ گردید و به کمک معیارهای ارزیابی مدل‌ها به اعتبارسنجی روش‌ها مختلف اقدام گردید که نتایج

آن‌ها در زیر ارائه گردیده است. نمودارهای بهترین خط رگرسیونی بین مقادیر دبی و رسوب در طی سال‌های مختلف در شکل‌های ۲ و ۳ برای حالت‌های معمولی و حد واسط در دو حوزه بشار و زهره ارائه گردیده است.



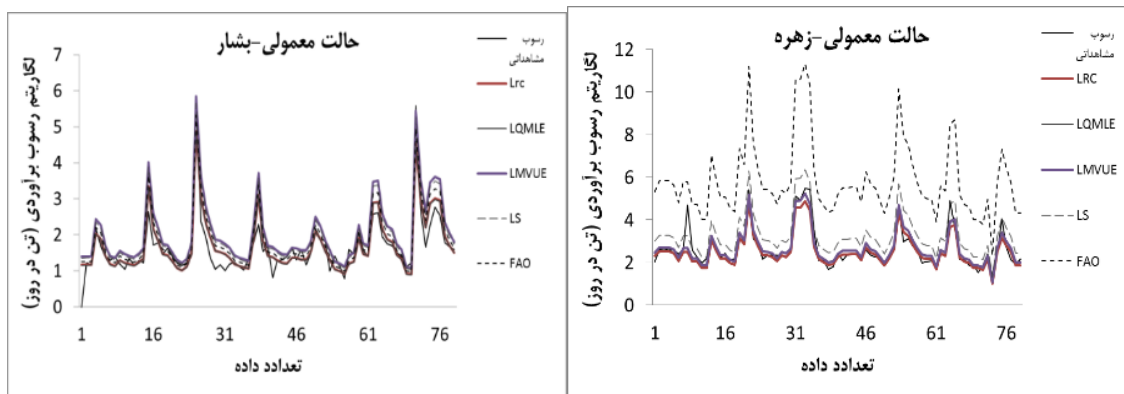
شکل ۲- بهترین خط رگرسیونی بین مقادیر دبی و رسوب در حالت معمولی در ایستگاه بشار و زهره



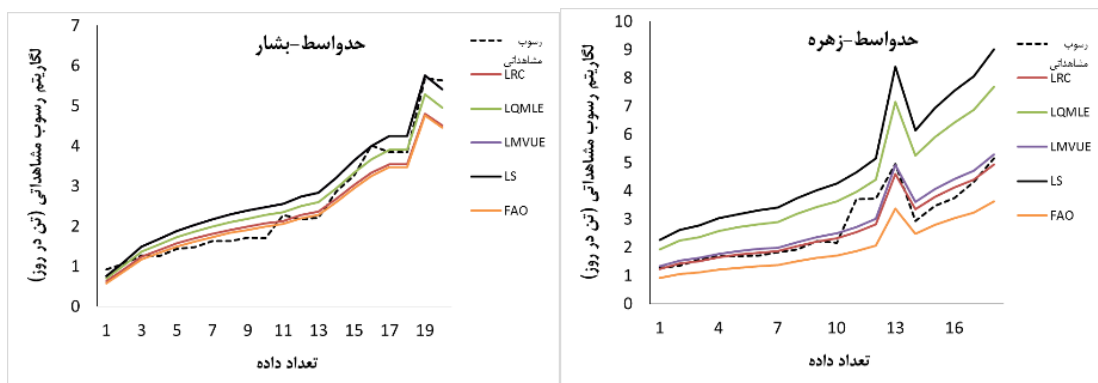
شکل ۳- بهترین خط رگرسیونی بین مقادیر دبی و رسوب در حالت حد واسط در ایستگاه بشار و زهره

نتایج نمودارهای خط برازش بین نقاط حاکی از این است که در دو ایستگاه مورد بررسی دقت روابط دبی و رسوب در حالت حد واسط بیشتر از حالت معمولی بوده است. رابطه برتر در ایستگاه بشار در هر دو حالت معمولی و حد واسط رابطه خطی با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۹۵ و رابطه برتر در ایستگاه زهره در هر دو حالت مذکور رابطه توانی با مقادیر ضریب تبیین ۰/۸۵ و ۰/۹۲ بوده است. با توجه به نتایج تحقیق. صادقی و همکاران (۱۳۸۴) که ضریب تبیین کمتر از ۰/۵۰ را دلیل بی‌کفایتی رابطه بین دبی و رسوب در معادلات منحنی سنجه گزارش کردند. می‌توان به روابط به دست آمده در ایستگاه‌های مورد بررسی اعتماد نمود. همان‌طور که ذکر گردید به دلیل میزان اریب ناشی از تبدیل لگاریتمی در روابط منحنی سنجه محققان ضرایب اصلاحی مختلفی را برای بهبود روابط دبی-رسوب ارائه کرده‌اند که در تحقیق حاضر به بررسی این ضرایب در دو حالت معمولی و حد واسط در دو ایستگاه بشار و زهره پرداخته شده است.

با برقراری رابطه بین مقادیر متناظر دبی آب و رسوب براساس ۵ روش (LQMLE, LMVUE, FAO, LRC, LR) اقدام به انتخاب مدل مناسب بر اساس معیارهای ارزیابی مدل‌ها از جمله مجذور مربعات خطا و ضریب کارایی که دارای بهترین قابلیت پیش‌بینی بودند اقدام گردید. نتایج مقادیر ضرایب اصلاحی در حالات و ایستگاه‌های مختلف در شکل ۴ و ۵ ارائه شده است. هم‌چنین نتایج مقادیر ضرایب خطا در حالات و شاخص‌های مختلف در دو ایستگاه فشار و زهره در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.



شکل ۴-مقادیر ضرایب اصلاحی در حالت معمولی برای ایستگاه‌های زهره و فشار



شکل ۵-مقادیر ضرایب اصلاحی در حالت حد واسط برای ایستگاه‌های زهره و فشار

جدول ۱-نتایج ضرایب خطا در روش‌های حد واسط دسته‌ها و معمولی در ایستگاه فشار

معمولی		حد واسط دسته‌ها		روش
RMSE	CE	RMSE	CE	
۰/۴۰	۸۲	۰/۴۳	۹۵	LRC
۰/۳۸	۸۲	۰/۳۸	۹۲	LQMLE
۰/۵۶	۶۵	۰/۸۹	۸۶	LMVUE
۰/۵۱	۷۱	۰/۹۴	۸۶	LS
۰/۴۲	۸۰	۰/۴۴	۹۰	FAO

جدول ۲- نتایج ضرایب خطا در روش‌های حد واسط دسته‌ها و معمولی در ایستگاه زهره

روش	حد واسط دسته‌ها		معمولی	
	CE	RMSE	CE	RMSE
LRC	۸۲	۰/۳۹	۹۵	۰/۵۳
LQMLE	۹۵	۰/۴۲	۸۲	۰/۵۵
LMVUE	۱۱	۱/۰۳	۸۴	۰/۵۴
LS	۶۰	۰/۹۱	۴۸	۰/۹۷
FAO	-۱/۵۸	۲/۴۸	۷-	۳/۸۸

محاسبه ضرایب اصلاحی (LRC, LQMLE, LMVUE, LS, FAO) با معیارهای مجذور مربعات خطا، ضریب کارایی حاکی از این است که در ایستگاه بشار روش LQMLE حداکثر میزان ضریب کارایی را داراست (CE=۹۲) (جدول ۱). هم چنین میزان خطا در این روش‌ها نیز حداقل است (RMSE=۰/۳۸). در بین روش‌های مختلف روش LS کمترین میزان ضریب کارایی و بیشترین میزان خطا (CE=۸۶ و RMSE=۰/۹۴) را ارائه نموده است. در حالت معمولی نیز روش LQMLE حداکثر میزان ضریب کارایی و حداقل میزان خطا را داراست (CE=۸۲) و (RMSE=۰/۳۸) (جدول ۱). در بین روش‌های مختلف روش LS کمترین میزان ضریب کارایی و بیشترین میزان خطا (CE=۸۶ و RMSE=۰/۹۴) را ارائه نموده است.

محاسبه ضرایب اصلاحی در ایستگاه زهره نشان داد که روش LQMLE حداکثر میزان ضریب کارایی را داراست (CE=۹۵) و میزان خطا در این روش‌ها نیز کم است (RMSE=۰/۴۲) (جدول ۲). در بین روش‌های مختلف روش FAO کمترین میزان ضریب کارایی و بیشترین میزان خطا (CE=-۱/۵۸ و RMSE=۲/۴۸) را ارائه نموده است. در حالت معمولی نیز روش LRC حداکثر میزان ضریب کارایی و حداقل میزان خطا را داراست (CE=۹۵) و (RMSE=۰/۵۳) (جدول ۲). در بین روش‌های مختلف روش LS کمترین میزان ضریب کارایی و بیشترین میزان خطا (CE=-۷ و RMSE=۳/۸۸) را ارائه نموده است. در مجموع روش‌های مختلف و ضرایب اصلاحی متفاوت منحنی سنج رسوب در حالات بدون تقسیم‌بندی داده‌ها و در حالت حد واسط (دسته‌بندی داده‌ها) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در اکثر مدل‌ها روش‌های LQMLE و LRC بهترین روش‌های محاسبه رسوب بوده است. این نتیجه نیز با نتایج محمدی استادکلایه (۱۳۸۴)، عرب خدری و همکاران (۱۳۸۲) و حیدر نژاد و همکاران (۱۳۸۴) مطابقت دارد. در روش FAO وجود داده‌های استثنایی با مقادیر رسوب زیاد در زوج متناظر دبی-آب-دبی رسوب تأثیر زیادی روی افزایش ضریب  $\alpha$  به وجود می‌آورد، زیرا در رابطه FAO تغییرات مخرج کسر معمولاً محدود تر از صورت کسر است که این امر از نقاط ضعف روش FAO هست (زنگانه و همکاران، ۱۳۹۰).

آجیت و سیلوین (۲۰۰۷) نشان دادند که اولاً، مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط روش USBR سالانه ۲۰-۲۵ درصد بیش تر از مقادیر واقعی است. ثانیاً، براساس سری‌های زمانی موجود، برآورد دقیق تر نیاز به دوره‌های طولانی مدت دارد. وروانی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه خود در ۵ ایستگاه هیدرومتری منتخب از مناطق اقلیمی مختلف کشور، کاربرد ضریب حداقل واریانس نا اریب را باعث افزایش صحت و دقت منحنی‌های سنج می‌دانند. براساس داده‌های جداول مشخص می‌شود که روش حد وسط دسته‌ها در مقایسه با چهار روش دیگر تعیین رسوب معلق دارای مقادیر RMSE کمتر و ضریب تبیین بیشتری هست، این موضوع نشان‌دهنده آن است که این روش دارای انحراف کمتری نسبت به مقادیر واقعی هست. بنابراین از بین روش‌های مورد بررسی روش منحنی حد وسط دسته‌ها به عنوان مناسب‌ترین روش



تعیین رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه انتخاب گردید. نتیجه به دست آمده از این پژوهش در انتخاب مدل حد وسط دسته به عنوان مناسب ترین مدل در برآورد بار معلق با نتایج میر ابوالقاسمی و مرید (۱۳۷۴)؛ مطابقت دارد. در تحقیقی دیگر عرب خدروی و همکاران (۱۳۸۲) با بررسی اعتبار روشهای برون یابی در برآورد میانگین رسوب بدهی معلق سالانه تلفیق جریان روزانه و منحنی سنج حد وسط دسته ها را به عنوان روش مناسب معرفی می کنند و بیان می دارند روش های یک خطی، فائو، پارامتری و غیرپارامتری را ضعیف ترین نتایج را در برداشته اند.

### نتیجه گیری

در بررسی روش های مختلف منحنی های سنج رسوب در مقیاس فصلی و حد واسط، روش LQMLE و LRC نسبت به سایر موارد صحت و دقت بیشتری داشته است و برآورد بار رسوبی وقایع سیلابی با این روش به نسبت دقیق تر از منحنی های سنج دیگر است. از نظر دقت برآورد روش های مختلف تقریباً در یک حد بوده و تفاوت چندانی بین دقت برآورد روش ها وجود ندارد. به رغم این که ضریب MVUE در بیشتر تحقیقات باعث افزایش کارایی منحنی های سنج رسوب می گردد لیکن در این تحقیق این ضریب کارایی چندانی از خود نشان نداده است. ورنه و همکاران، ۱۳۸۷ نیز به نتایج مشابهی در تحقیقات خود رسیده اند. دو ضریب دیگر  $CF_1$  و  $CF_2$  متأثر از اشتباه استاندارد منحنی سنج و خطای باقی مانده های منحنی های سنج یک خطی و حد وسط می باشند و تغییرات آنها به شدت وابسته به برآوردهای دو نوع منحنی سنج مذکور هست. با توجه به موارد مذکور می توان ادعان داشت با توجه به این که بیشترین میزان حمل رسوب در زمان های سیلابی رخ می دهد، بنابراین اندازه گیری رسوب در مواقع سیلابی ضروری هست. متأسفانه سهم نمونه های غلظت رسوب مربوط به دوره های سیلابی بسیار کم است و تمرکز نمونه برداری ها در این دوره سبب بهبود برآوردها خواهد شد (محمدی استادکلایه، ۱۳۸۴؛ حیدر نژاد و همکاران، ۱۳۸۴). کاربرد منحنی های سنج رسوب در برآورد بار رسوب رودخانه ها و حوزه های آبخیز باید با احتیاط بیشتری صورت گیرد. شرایط داده ها و هدف کاربرد منحنی ها تأثیر زیادی در انتخاب نوع منحنی سنج رسوب دارند.

### مآخذ

امید طبیعی، فردین بوستانی، آریا شفاهی پور، حمزه ولوی. ۱۳۸۸. بررسی آلودگی آب در رودخانه بشار. همایش ملی مدیریت بحران آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۷ ص.

برزگر، فاطمه، ۱۳۸۴، مقایسه روشهای برآورد بار رسوب معلق، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۲۰ وروانی، جواد . ۱۳۸۰ . آنالیز ناحیه ای رسوب معلق در حوزه آبخیز گرگانرود و بررسی وضعیت رسوبدهی سرشاخه های اصلی سد وشمگیر . پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران . ۲۰۳صفحه.

حیدر نژاد، م.، ح. گلمایی، ا. مساعدی و م. ضیاء تبار احمدی . ۱۳۸۳. ارائه مدل بهینه برآورد رسوب و حجم رسوب گذاری در دو سد مخزنی ایران. مطالعه موردی: سدهای کرج و دز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری . ۳۹ ص.

دستورانی، ج.، بابائی، ا.، و رضایی راد، ن . ۱۳۸۶. کاربرد آمار دبی جریان و رسوب در بررسی اثر زمین لرزه بر رسوبزایی حوزه آبخیز سفید رود، خلاصه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج.

ذرتی پور، امین، ۱۳۸۶، مقایسه روشهای هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه ها، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۵۰ صفحه.

- راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها - نشریه شماره ۳۸۳، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۸۶
- زنگانه محمدابراهیم، مساعدی ابوالفضل، مفتا مهدی و دهقانی امیراحمد. ۱۳۹۰. تعیین مناسب‌ترین روش برآورد دبی انتقال رسوبات معلق در ایستگاه آرازکوسه حوزه گرگان رود. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد هجدهم، شماره دوم، ۱۳۹۰، ۸۵-۱۰۴.
- صادقی، س.ح.ر.، توفیقی، ب.، و مهدوی، م. ۱۳۸۴. تهیه مدل تخمین رسوب لحظه‌ای در حوزه زرین درخت، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۸(۳): ۷۵۹-۷۶۷.
- عرب خدری، محمود، ش. حکیم خانی، ۱۳۸۲، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مقایسه چند روش آماری برآورد رسوب‌دهی در حوزه‌های بارانی و برفی در حوزه آبخیزداری، مرکز تحقیقات حفاظت خاک آبخیزداری کشور، ۶۳ ص. ۸۳/ وزارت جهاد کشاورزی، شماره ثبت: ۹۶۶
- علی نجفی نژاد، اکبر بابائی، ابراهیم صنیعی و عمران محمودی. ۱۳۸۹. مقایسه منحنی‌های سنج رسوب معلق فصلی و بار معلق ماهانه در تعدادی از رودخانه‌های استان گلستان. مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب ۸ و ۹ اردیبهشت ۱۳۸۹، گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس. ۶ ص.
- محمدی، امین؛ مساعدی، ابوالفضل و حشمت پور، علی. ۱۳۸۶. تعیین مناسب‌ترین روش محاسبه بار معلق در ایستگاه هیدرومتری قراقلی رودخانه گرگان رود. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. جلد چهارم. شماره چهارم. ۲۳۲-۲۴۰.
- محمدی، ا.، مساعدی، ا.، و حشمت پور، ع. ۱۳۸۶. تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری قراقلی رودخانه گرگان رود، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۴): ۲۳۲-۲۴۰.
- میر ابوالقاسمی، ه و مرید، س، ۱۳۷۴. بررسی روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه‌ها، آب و توسعه شماره ۱۰، صفحات ۵۴ تا ۶۷.
- روانی، ج.، نجفی نژاد، ع.، و میر معینی کهرودی، آ. ۱۳۸۷. اصلاح منحنی سنج رسوب با استفاده از روش حداقل واریانس ناریب، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۵ (۱)، ۱۵۰-۱۶۱.
- قمشی، م و ترابی پوده، ح.، ۱۳۸۱. ارزیابی کاربرد معادله های بار رسوبی در رودخانه های خوزستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ششم. ۱۳-۳۰.
- Horowitz A. J. 2003. An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. *Hydrological Processes* 17: 3387-3409.
- Jansson M.B. 2002. Determining sediment source areas in a tropical river basin- Costa Rica. *Catena* 47: 63-84.
- 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.
- Ferguson, R.I. 1987. Accuracy and precision of methods for estimating river loads, *Earth Surface Processes and Land Forms*, 12: 95-104.
- Duan, N. 1983. Smearing estimate, a nonparametric retransformation method, *Journal of American Statistical Association*, 78(383): 605-610.
- Thomas, R.B. 1985. Estimating total suspended sediment yield with probability sampling. *Water Resources Research*. 21: 1381-1388.
- Jansen, P. P., (1983), "Principles of river engineering", Pitman Pub. Inc., England.

**HORMOZGAN UNIVERSITY****Quarterly Journal of  
ENVIRONMENTAL EROSION RESEARCH  
2014 autumn Vol. 4: 3 (15), 47-57****Assessment corrective methods for estimating suspended sediment (Case Study: Beshaar Watershed)**

- 1 **Dastranj, A.** PhD candidate, Watershed Science and Engineering, Department of Rangeland & Watershed Management, Hormozgan University,
- 2 **Khazayi, M.\*** Corresponding Author: PhD candidate, Watershed Science and Engineering, Department of Rangeland & Watershed Management, Hormozgan University, Khazayi64@gmail.com
- 3 **Kazemi, M.** PhD candidate, Watershed Science and Engineering, Department of Rangeland & Watershed Management, Hormozgan University
- 4 **Falah, S.** MSc Student of desertification, Department of Rangeland & Watershed Management, Saravan University
- 5 **Adeli, B.** PhD candidate, Watershed Science and Engineering, Department of Rangeland & Watershed Management, Hormozgan University

**Abstract**

Regression equations of sediment rating curves are too biased due to the logarithmic of the discharge and suspended sediment data. In this study, correction coefficients were used to improve the results of river sediment estimation methods in Bashar and Zohreh hydrometric stations with different indices of accuracy and precision. The present study aims to evaluate the performance of five methods of rating curve including FAO, MVUE, QMLE, LRC, Ls in the case of intermediate categories and no category situations. Root mean square of error and coefficient of efficiency indicators were used to evaluate the performance of sediment rating curves and to choose the best of them. Results of root mean square of error and coefficient of efficiency indicators computation indicates that in the Bashar station LQMLE method is provided maximum coefficient of efficiency (CE=92) and the minimum error (RMSE=0.38) and LS method had the lowest coefficient of efficiency and highest error (CE=86 and RMSE=0.94). In normal state the same results has been obtained. Zohreh station correction coefficients results showed that the maximum coefficient of efficiency is related to LQMLE (CE=95) and FAO had lowest coefficient of efficiency and the highest root mean square of error (CE= -1.58 and RMSE=2.48). In normally condition the LRC method has achieved maximum coefficient of efficiency and minimum error (CE=95) and (RMSE=0.53). On the other hand, amongst the different methods, LS is provided the lowest coefficient of efficiency and the highest root mean square of error (CE=-7 and RMSE=3.88). In general, by application of different methods and different correction coefficients of sediment rating curves in cases of non-classified data and the intermediate state, concluded that in most models the LQMLE and LRC is the best method of calculating sediment.

**Keywords: Corrective methods, Estimation, Rating curve, Suspended sediment, Watershed**