

## آنالیز روش‌های مختلف منحنی سنج در برآورد رسوب ورودی به سدها

(مطالعه موردی: سد دوستی)

سید محمد کالوندی

دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه فردوسی مشهد  
kalvandi.mohammad@gmail.com

سعید رضا خدانشناس

عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

بیژن قهرمان

عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

رمضان طهماسبی

عضو هیئت علمی دانشگاه جامع علمی و کاربردی تهران

آرمین بوستانی

کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، مدرس گروه آب و خاک دانشگاه پیام نور سبزوار

منابعی که مقاله از آن استخراج شده است:

- پایان نامه برای اخذ مدرک کارشناسی ارشد تحت عنوان: آنالیز عدم قطعیت حجم رسوب ورودی سدها (مطالعه موردی سد دوستی)
- طرح پژوهشی زیر نظر سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی (وزارت نیرو)

تاریخ ارسال: ۸۹/۳/۸

تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۲۶

## چکیده

تخمین دقیق حجم رسوبات حمل شده به وسیله رودخانه‌ها و متعاقباً حجم رسوب ورودی به سدها در بسیاری از پروژه‌های کلان مدیریت منابع آب دارای اهمیت فراوان است. به منظور تخمین بار رسوبی ورودی روش‌های مختلفی از جمله روابط رگرسیونی در قالب معادلات سنج به کار برده می‌شوند که نحوه استفاده و دقت آن‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین به دلیل هزینه بالای اندازه‌گیری مداوم رسوب حمل شده و پایش آن برآورد میزان رسوبات معلق در رودخانه‌ها معمولاً از طریق منحنی سنج رسوب انجام می‌گیرد. از این رو تحقیق حاضر در صدد ارزیابی عمل کرد ۷ روش منحنی سنج از جمله همبستگی سالیانه، USBR، متوسط دسته‌ها، FAO-USBR، متوسط دسته‌ها، FAO، USBR-فرگوسن و متوسط دسته‌ها فرگوسن بوده است، که برای ۳۴ سال آماری در دو ایستگاه هریز رود پل خاتون و کشف رود پل خاتون مرتبط با سد دوستی انجام شد. در نهایت برای کل داده‌ها نتایج این تحقیق نشان دهنده عمل کرد بهتر روش‌های FAO متوسط دسته‌ها و فرگوسن متوسط دسته‌ها بود. نتیجه این روش‌ها نیز بسیار نزدیک به هم بدست آمد. همچنین با این روش‌ها حجم مفید باقی‌مانده مخزن پس از ۳۴ سال محاسبه شد.

کلمات کلیدی: دبی رسوب، منحنی سنج رسوب، روش فرگوسن، حد وسط دسته‌ها، پل خاتون.

## مقدمه

فرسایش یافته و حجم رسوبات ته نشین شده در حوزه های کوچک، ۴. اندازه گیری حجم رسوب در داخل آبیگر ها، دریاچه ها و یا مخازن سدها (Verstraeten & Poesen, 2001) در این تحقیق از روش منحنی های سنج با ۷ مدل مختلف استفاده شد. اهداف تحقیق به طریق زیر می‌باشد: مقایسه ۷ مدل تجربی برای برآورد بار رسوب سدها، ارائه و معرفی مناسب ترین مدل جهت برآورد بار کل رسوب در رودخانه‌ها و حوضه، همچنین برآورد حجم رسوب سد دوستی که امری مطالعاتی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

مساحت کل حوضه آبریز ۷۰۶۰۰ کیلومتر مربع، ۴۵ درصد خاک افغانستان، ۴۰ درصد ایران و ۱۵ درصد در ترکمنستان است. حوضه آبریز هریز در ایران از دو شاخه اصلی هریز رود و کشف رود تشکیل شده است (مشخصات هیدرولوژیکی رودخانه هریز رود، شماره ۶۲۲۳). رودخانه هریز رود از ارتفاعات هندوکش در خاک افغانستان سرچشمه گرفته، پس از طی ۹۰۰ کیلومتر به مرز ایران می‌رسد و بعد از طی حدود ۲۴۰ کیلومتر از طریق مرز شهر مرزی سرخس به خاک ترکمنستان وارد می‌گردد. این رودخانه پرآب‌ترین رودخانه خراسان و دارای رواناب متوسط یک میلیارد متر مکعب می‌باشد. تغییرات رواناب سالانه آن بین یکصد میلیون تا چهار میلیارد متر مکعب در طول ۳۴ سال آماری می‌باشد (گزارش خلاصه مشخصات و اهمیت طرح سد دوستی، شماره ۵۲۹۷).

سد دوستی از نوع خاکی سنگریزه‌ای با هسته رسی است که ارتفاع آن از پی ۷۸ متر، طول تاج ۶۵۵ متر و عرض تاج ۱۵ متر، حجم کل مخزن ۱ میلیارد و ۲۵۰ میلیون مترمکعب و حجم آب قابل تنظیم سالانه ۸۲۰ میلیون مترمکعب است.

## مطالعات و روش‌ها

در این مطالعه پس از جمع‌آوری داده‌های همزمان دبی رسوب معلق دبی جریان به مدت ۳۴ سال از سال‌های

پدیده رسوب گذاری درمخازن سدها مهمترین عامل تهدید کننده سرمایه گذاری‌های عظیم در پروژه های آبی می‌باشد. دریاچه ها و سدها به عنوان فیلترهای بار رسوبی به حساب می آیند. تخمین زده شده است که ۳۰ درصد جریان رسوبی جهان پشت سدها به دام می افتد (ناظریان، ۱۳۸۴). همچنین کاهش سالانه توانایی ذخیره سدهای جهان به دلیل ته نشین شدن رسوبات تقریباً ۰/۵ تا ۱ درصد حجم مخزن می باشد که برای بسیاری از سدها این مقدار بالاتر از ۴ تا ۵ درصد بوده و در نتیجه اغلب سدها قسمت اصلی توانایی ذخیره آب خود را در طول ۲۵ تا ۳۰ سال از دست می دهند (Verstraeten et al, 2003).

بار رسوبی عبارت است از کل رسوب خروجی از یک حوزه که مقدار آن در یک نقطه مرجع و در یک دوره زمانی خاص قابل اندازه گیری باش (Vanoni, 1975). این مقدار را می توان به صورت بار رسوبی کل (تن در سال) و یا به صورت بار رسوبی ویژه (تن در سال در کیلومتر مربع) بیان کرد.

پیشقدم محاسبات رسوبات غیر یکنواخت، انیشتین (Einstein, 1950) بود. میلر (Miller, 1953)، کلزر و لین (Lane & Koelzer, 1958) و کامورا (Komura, 1963) روابطی را برای محاسبه وزن واحد حجم ظاهری رسوبات با در نظر گرفتن زمان ارائه دادند. چرچیل (Churchill, 1948)، براون (Brune, 1953)، بر مینای داده‌های جمع آوری شده از تعداد ۴۴ مخزن در سال ۱۹۵۳ و برون (Brown, 1958) برای تخمین راندمان تله اندازی روابطی را ارائه دادند. موریس (Morris & Fan, 1998) یک سری از مدل‌های تجربی بر اساس نقشه برداری و مشاهدات صحرایی تهیه کرد که برای تخمین مقدار بار رسوب سالانه مخزن (RSL)، بار تجمعی رسوب مخزن (ARSL)، بکار برده شدند. همچنین چندین مدل ریاضی بر اساس معادلات حرکت و پیوستگی آب و رسوب برای پیش‌بینی رسوب‌گذاری مخازن تهیه کرد. با این وجود، در عمل مدل‌های تجربی به طور وسیع به کار برده می‌شوند. اندازه گیری بار رسوبی بوسیله روش‌های مختلفی امکان پذیر است: ۱. مشاهده همزمان بار رسوب معلق و دبی جریان، ۲. استفاده از منحنی های سنج، ۳. محاسبه کل خاک

آماري ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۰ در ایستگاه‌های هیدرومتری هریرود پل خاتون و کشف رود پل خاتون از شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی، این ایستگاه‌ها مناسب تشخیص داده شد و به علت این که سد دوستی در بالا دست این دو ایستگاه قرار گرفته و ایستگاه هریرود پل خاتون مجموع رواناب هر دو رودخانه را شامل می‌شود به طوری که رواناب رودخانه کشفرود وارد مخزن سد نمی‌شود. بدین صورت پس از برآورد رسوب هر ایستگاه به صورت جداگانه داده‌های کشفرود از داده‌های ایستگاه هریرود کم شد و حجم ورودی رسوب خالص به سد محاسبه شد.

برای محاسبه مقدار رسوب متوسط سالانه در این مطالعه از فرمول توانی منحنی سنجه برآورد رسوب که در آن دبی رسوب به دبی جریان عبوری در هر ایستگاه ارتباط داده می‌شود استفاده شد (Harrison, 2000).

$$Q_s = a Q_w^b \quad (1)$$

که در آن  $Q_s$  دبی باررسوبی (ton/day)،  $Q_w$  دبی جریان (m<sup>3</sup>/sec) و  $a, b$  پارامترهای ثابت می‌باشند. با داشتن دبی های روزانه جریان در طول دوره آماری مشخص و قرار دادن آنها در فرمول توانی به دست آمده برای هر ایستگاه و سپس تقسیم مقدار حاصله بر طول دوره آماری دبی روزانه، مقدار متوسط بار رسوبی برای هر ایستگاه در کل سال محاسبه شد. در روش روابط همبستگی سالیانه جهت برآورد دبی رسوب ورودی به مخزن بر اساس مشاهدات همزمان دبی رسوب و آب، برای هر سال منحنی‌های سنجه به دست آمد. در روش USBR آماده سازی منحنی سنجه رسوب شامل رسم تمام مقادیر اندازه گیری شده دبی رسوب در طی دوره آماری موجود در مقابل مقادیر متناظر دبی آب و ایجاد همبستگی با بیشترین ضریب همبستگی می‌باشد. در روش متوسط دسته‌ها بجای برازش منحنی به آمار روزانه موجود بین متوسط دسته‌ها همبستگی ایجاد می‌شود محاسبات آماری نشان می‌دهند که مقدار بار رسوبی یک رودخانه وقتی غلظت‌ها از دبی جریان خروجی تخمین زده می‌شود و از رگرسیون حداقل مربعات از متغیرهای لگاریتم گرفته شده استفاده می‌شود، از مقدار واقعی کمتر تخمین زده می‌شود. برای اصلاح مقادیر اندازه گیری شده توسط منحنی

سنجه چندین فرم از فاکتورهای اصلاح شیب  $a$  پیشنهاد شده است. در این بررسی از ضریب اصلاحی FAO استفاده شد که در آن مقدار  $a$  در رابطه ۱ به صورت زیر تعدیل می‌شود:

$$\alpha = \frac{\bar{Q}_s}{\bar{Q}_w} \quad (2)$$

که در آن  $\bar{Q}_s$  ضریب FAO،  $\bar{Q}_s$  متوسط بار رسوب روزانه (ton/day)،  $\bar{Q}_w$  متوسط دبی جریان روزانه (m<sup>3</sup>/s) می‌باشد. در ادامه  $a$  جایگزین  $\alpha$  در فرمول ۱ می‌شود و مجدداً بار رسوب از روی رابطه جدید محاسبه می‌گردد.

همچنین ضریب فرگوسن (Ferguson, 1986) برای اصلاح مقادیر رسوبی استفاده شد. در این روش مقدار کاهش پیش بینی بار رسوبی توسط منحنی سنجه متناسب با اندازه پخشیدگی داده ها در اطراف خط رگرسیونی می‌باشد

$$CF = 2/651 S^2 \quad (3)$$

که در آن  $S^2$  متوسط مربعات خطا در رگرسیون داده های لگاریتم (log10) گرفته شده می‌باشد که CF در  $a$  ضرب شده و  $a$  حاصل می‌شود.

راندمان تله اندازه درصدی از مواد رسوبی وارد شده به مخزن را که ته نشین می‌شوند را نشان می‌دهد. راندمان تله اندازه تابعی است از نسبت  $C/IW$  که  $C$  ظرفیت مخزن و  $IW$  کل آب سالیانه وارده به مخزن (آبدهی سالیانه) می‌باشد. روش برون و روش چرچیل از جمله روش‌های مورد استفاده برای برآورد راندمان تله اندازه می‌باشد که در این تحقیق روش برون مورد استفاده قرار گرفت. این روش بر مبنای داده‌های جمع آوری شده از تعداد ۴۴ مخزن ارایه گردیده که به منحنی‌های تله اندازه برون معروف هستند. همچنین انتخاب هر یک از سه منحنی برون، بر اساس اندازه ذرات رسوبی خواهد بود. معادله این منحنی‌ها برای سال  $t$  به صورت زیر می‌باشد:

$$TE_t = a_1 + b_1 \{ \log_{10} (C_{t-1} / IW_t) \}^2 \quad (4)$$

که در آن  $TE_t$ ، راندمان تله اندازه در سال  $t$ ام بر حسب درصد،  $C_{t-1}$  حجم مفید مخزن (m<sup>3</sup>) در شروع سال  $t$ ،  $a_1$  و  $b_1$  ضرایب منحنی‌های براون که از منحنی‌های برون استخراج می‌شوند و  $IW_t$ ، آبدهی سالیانه (m<sup>3</sup>) می‌باشند. باید توجه داشت که به علت رسوب گذاری در مخزن، از

که  $ARSL_t$  رسوب تجمعی در مخزن پس از  $t$  سال (ton)،  $ARSL_{t-1}$  رسوب تجمعی در مخزن پس از  $t-1$  سال (ton)،  $RSL_t$  کل بار رسوب تله اندازه شده در مخزن در سال  $t$ ام (ton) و  $ARSL_t$  مساوی صفر می‌باشد. در ادامه لازم است جرم رسوب تجمعی در مخزن به حجم تبدیل شود که از رابطه ۱۰ استفاده می‌گردد:

$$ARSV_t = 1000 ARSL_t / W_t \quad (10)$$

که  $ARSV_t$  حجم رسوبات ته نشین شده در مخزن در انتهای سال  $t$ ام (m<sup>3</sup>)،  $ARSL_t$  رسوب تجمعی در مخزن در انتهای سال  $t$ ام (ton) و  $W_t$  متوسط وزن حجمی رسوبات پس از  $t$  سال بهره برداری از مخزن (kg/m<sup>3</sup>) است.

سپس حجم مفید باقی مانده در مخزن در انتهای سال  $t$  را می‌توان به صورت زیر برآورد کرد:

$$C_t = C_0 - ARSV_t \quad (11)$$

که  $C_t$  حجم مفید مخزن در انتهای سال  $t$  (m<sup>3</sup>) و  $C_0$  حجم مفید اولیه مخزن (m<sup>3</sup>) است (Salas & Hyun-Suk, Shin, 1999). با تکرار مراحل بالا برای هر سال و به تعداد لازم، حجم مفید مخزن پس از  $t$  سال به دست می‌آید و می‌توان سرعت کاهش حجم مخزن را برای هر روش به دست آورد. همچنین در این تحقیق برای آنالیزها از نرم افزارهای Excel و Matlab استفاده شد.

### نتایج

در ابتدا بر اساس روش‌های ارایه شده در بخش مواد و روش‌ها که در کل ۷ روش را شامل می‌شد، به برآورد سرعت کاهش حجم سد دوستی پرداخته شد. بدین منظور پارامترهای رسوبی که شامل مقدار رسوب ورودی، راندمان تله اندازه و وزن حجمی رسوبات ته نشین شده می‌باشد، برآورد گردید. قابل ذکر است که دبی رسوب ورودی به سد دوستی بر اساس آمار آبنجی و رسوب سنجی ایستگاه های پل خاتون و روش‌های ذکر شده برآورد و در نهایت

حجم آن به تدریج کاسته می‌گردد و در نتیجه نسبت  $C/IW$  و به تبع آن راندمان تله اندازه نیز کاهش می‌یابد. بنا بر این در محاسبه  $TE$  لازم است تا کاهش تدریجی ظرفیت مخزن نیز مد نظر باشد.

همچنین برای تعیین وزن مخصوص اولیه رسوبات از روابط معروف لین و کولزر همچنین میلر استفاده شد (فرمول ۵) که میلر رابطه لین و کولزر برای تعیین وزن مخصوص رسوبات با گذشت زمان را تصحیح کرده و معادله ۶ را ارائه داده است (Miller, 1953):

$$W_t = 0.01 (W_1(c)p(c) + W_1(m)p(m) + W_1(s)p(s)) \quad (5)$$

$$W_t = W_1 + 0.01 K \left[ \left( \frac{t}{t-1} \right) \ln t - 1 \right] \quad (6)$$

که در آن  $W_t$  متوسط وزن حجمی رسوبات پس از  $t$  سال بهره برداری از مخزن (kg/m<sup>3</sup>) و  $W_1$  وزن مخصوص اولیه رسوبات (kg/m<sup>3</sup>) و  $t$ ، تعداد سال‌هایی که بعد از آن وزن حجمی محاسبه می‌شود،  $k$  ثابت معادله که از فرمول زیر به دست می‌آید.

$$K = 0.01 [K(c)P(c) + K(m)P(m) + P(s)K(s)] \quad (7)$$

$K(c)$ ،  $K(m)$  و  $K(s)$  به ترتیب ثابت‌های تحکیم رس، سیلت و ماسه و  $P(c)$ ،  $P(m)$  و  $P(s)$  به ترتیب درصد ذرات رس، سیلت و ماسه می‌باشد.

که در نهایت برای تخمین سرعت کاهش حجم مخزن از فرمول‌های زیر استفاده می‌شود و تحلیل‌ها برای هر روش صورت می‌گیرد.

$$RSL_t = 3.65 QT_t \times TE_t \quad (8)$$

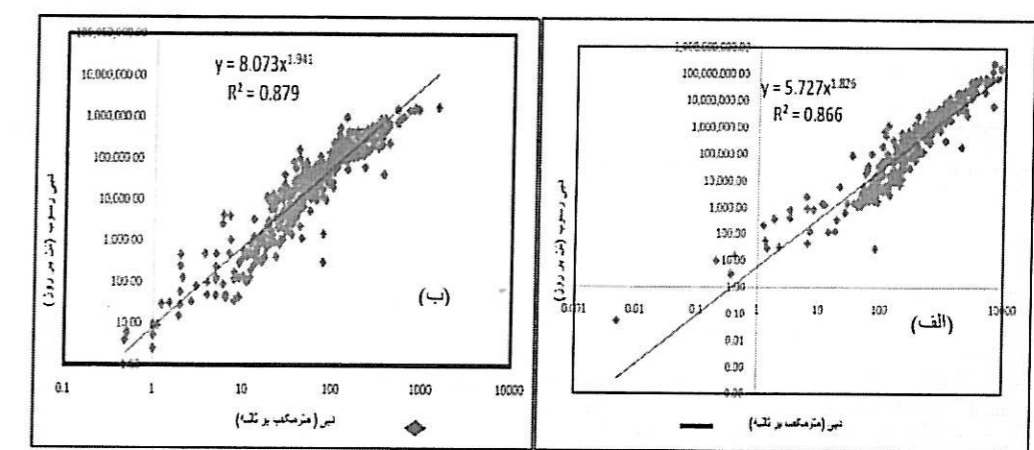
که  $RSL_t$  کل بار رسوب تله اندازه شده در مخزن در سال  $t$ ام (ton)،  $QT_t$  دبی رسوب سالیانه در سال  $t$ ام (kg/m<sup>3</sup>) و  $TE_t$  راندمان تله اندازه در سال  $t$ ام (%) و رسوب تجمعی در مخزن پس از  $t$  سال برابر خواهد بود با:

$$ARSL_t = ARSL_{t-1} + RSL_t \quad (9)$$

$$t = 1, 2, \dots$$

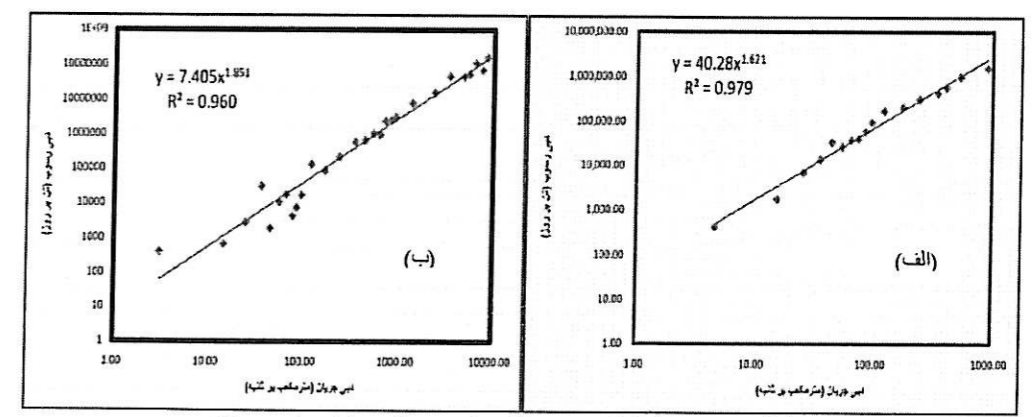
نتایج روش‌ها با سایر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه مورد مقایسه قرار گرفت. مشکلی که در استفاده از این روش‌ها وجود دارد این است که آمار مطلوبی از دبی رسوب در مواقع سیلابی در ایستگاه‌ها ثبت نشده است، لذا رابطه همبستگی استخراج شده بین دبی آب و دبی رسوب قدری می‌تواند همراه با نتایج دست پایین باشد که لازم است در انتخاب روش‌ها، این مشکل مد نظر باشد. لازم به ذکر است که روابط بر اساس روابط نمایی استخراج شده، که رابطه مورد قبول بین دبی آب و دبی رسوب است.

همچنین حداقل سطح معنی‌دار بودن ۵٪ در نظر گرفته شد. برای برآورد دبی سالیانه رسوب به روش همبستگی سالیانه، روابط همبستگی هر سال بر اساس مشاهدات همزمان دبی رسوب و آب به دست آمد و رابطه همبستگی برای روش USBR برای ایستگاه‌های هریرود- پل خاتون و کشف رود- پل خاتون به صورت شکل ۱ الف و ب حاصل شد و برای روش متوسط دسته‌ها به صورت شکل ۲ الف و ب ارائه گردید.



خطوط ممند خطوط رگرسیون و علامت‌های مقادیر مشاهده‌ای می باشد.

شکل ۱- رابطه دبی رسوب - دبی با روش USBR در طول دوره آماری (از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۰) ایستگاه هریرود - پل خاتون و (ب) ایستگاه کشف رود - پل خاتون



خطوط ممند خطوط رگرسیون و علامت‌های مقادیر مشاهده‌ای می باشد.

شکل ۲- رابطه دبی رسوب - دبی با روش متوسط دسته‌ها در طول دوره آماری (از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۰) ایستگاه هریرود - پل خاتون و (ب) ایستگاه کشف رود - پل خاتون

روش اصلاحی FAO را بر روی دو روش USBR و متوسط دسته‌ها انجام شد و با استفاده از فرمول ۲ ضریب اصلاحی

ا<sub>۰</sub> محاسبه و پس از قرار دادن ا<sub>۰</sub> در فرمول ۱ محاسبات را دوباره تکرار شد (جدول ۱).

جدول ۱: تأثیر ضریب FAO بر روی دو روش USBR و متوسط دسته‌ها برای ایستگاه‌های هریرود پل خاتون و کشف رود پل خاتون

نام ایستگاه	تأثیر ضریب FAO بر روی روش USBR			تأثیر ضریب FAO بر روی روش متوسط دسته‌ها		
	a	b	a	a	b	a
هریرود- پل خاتون	8/073	1/941	41/75	110/94	1/621	40/280
کشف رود- پل خاتون	5/727	1/826	107/26	154/95	1/851	7/405

روش اصلاحی دیگر روش فرگوسن بود که این روش را نیز بر روی دو روش USBR و متوسط دسته‌ها تأثیر داده شد که پس از محاسبه CF از فرمول ۳ و ضرب آن در

فاکتور a<sub>۰</sub> ضریب اصلاح شده ا<sub>۰</sub> حاصل شد و با این ضریب محاسبات دوباره انجام گرفت (جدول ۲).

جدول ۲: تأثیر ضریب فرگوسن بر روی دو روش USBR و متوسط دسته‌ها برای ایستگاه‌های هریرود پل خاتون و کشف رود پل خاتون

نام ایستگاه	تأثیر ضریب فرگوسن بر روی روش USBR					تأثیر ضریب فرگوسن بر روی روش متوسط دسته‌ها				
	a	b	S <sup>2</sup>	CF	a	a	b	S <sup>2</sup>	CF	a
هریرود پل خاتون	8/073	1/941	0/879	2/330	18/810	110/94	1/621	0/979	2/595	104/526
کشف رود پل خاتون	5/727	1/826	0/866	2/296	13/149	154/95	1/851	0/960	2/545	18/846

سپس برآورد رسوب سالیانه برحسب تن در روز با استفاده از این روش برای ایستگاه هریرود پل خاتون و کشف رود پل خاتون انجام شد. اندازه گیری و تخمین بار بستر معمولاً بسیار پیچیده بوده و از این رو رقمی بین ۱۰ تا ۲۰ درصد بار معلق را به عنوان بار بستر در نظر می‌گیرند، که برای این تحقیق

متوسط آن، ۱۵ درصد در نظر گرفته شد. نتایج متوسط بار معلق روزانه، بار بستر روزانه و بار کل رسوبی رودخانه‌های هریرود و کشف رود و همچنین بار رسوب ورودی به سد دوستی با استفاده از روش‌های مختلف در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵: متوسط بار رسوبی روزانه ورودی به سد دوستی با روش‌های مختلف (ton/day)

روش	نوع رسوب	رودخانه هریرود	رودخانه کشف رود	ورودی به سد
همبستگی سالیانه	بار معلق	۲۵۷۸۶۳	۱۶۷	۲۵۷۶۹۶
	بار بستر	۲۸۶۷۹	۲۵	۲۸۶۵۴
	بار کل	۲۹۶۵۴۲	۱۹۲	۲۹۶۳۵۰
USBR	بار معلق	۴۵۱۷۷	۴۹۰	۴۴۶۸۷
	بار بستر	۶۷۷۷	۷۴	۶۷۰۳
	بار کل	۵۱۹۵۴	۵۶۴	۵۱۳۹۰
متوسط دسته‌ها	بار معلق	۳۷۹۴۶	۷۲۳	۳۷۲۲۳
	بار بستر	۵۶۹۵	۱۰۸	۵۵۸۷
	بار کل	۴۳۶۴۱	۸۳۱	۴۲۸۱۰
FAO, USBR	بار معلق	۲۳۳۶۳۵	۹۱۷۷	۲۳۴۵۸
	بار بستر	۳۵۰۴۵	۱۳۷۷	۳۳۶۶۸
	بار کل	۲۶۸۶۸۰	۱۰۵۵۴	۲۵۸۱۲۶
FAO, متوسط دسته‌ها	بار معلق	۱۰۴۵۱۲	۱۵۱۲۴	۸۹۳۸۸
	بار بستر	۱۵۶۷۷	۲۲۶۹	۱۳۴۰۸
	بار کل	۱۲۰۱۸۹	۱۷۳۹۳	۱۰۲۷۹۶
فرگوسن, USBR	بار معلق	۱۰۵۲۶۱	۱۱۲۵	۱۰۴۱۳۶
	بار بستر	۱۵۷۸۹	۱۶۹	۱۵۶۲۰
	بار کل	۱۲۱۰۵۰	۱۲۹۴	۱۱۹۷۵۶
فرگوسن, متوسط دسته‌ها	بار معلق	۹۸۴۷۰	۱۸۳۹	۹۶۶۳۱
	بار بستر	۱۴۷۷۰	۲۷۶	۱۴۴۹۴
	بار کل	۱۱۳۲۴۰	۲۱۱۵	۱۱۱۱۲۵

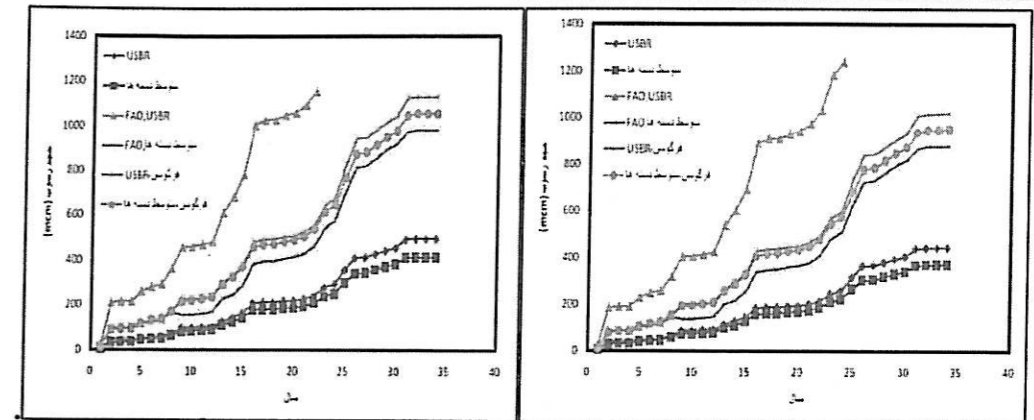
برای تبدیل بار رسوب وزنی به حجم، از روابط ارائه شده توسط لین و کولزر و میلر استفاده شد. طبق نتایج این روش‌ها وزن حجمی اولیه رسوبات به ترتیب برابر ۱۳۷۱/۳، ۱۳۹۲/۱ و ۹۹۴/۴ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد می‌شود و پس از ۳۴ سال با روش‌های لین و کولزر و میلر به ترتیب ۱۴۱۱/۸ و ۱۲۴۶/۵ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. در این تحقیق با توجه به وضعیت سد دوستی، رسوبات داخل مخزن از نوع 2 یعنی به طور معمول و

متعادل سطح آب در مخزن تغییر می‌کند، در نظر گرفته شد. همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد راندمان تله اندازی با نسبت  $C/IW$  ارتباط مستقیمی داشته و از روی منحنی برون به دست می‌آید. پس از محاسبه پارامترهای رسوبی برای تخمین سرعت کاهش حجم مخزن از روش توضیح داده شده در بخش مواد و روش‌ها استفاده شد که نتایج محاسبات برای روش‌های مختلف در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶: نتایج محاسبات حجم مفید مخزن سد دوستی با استفاده از روش‌های مختلف (mcm)

سال	USBR	متوسط دسته‌ها	FAO, USBR	FAO, متوسط دسته‌ها	فرگوسن, USBR	فرگوسن, متوسط دسته‌ها
1	1245/42	1245/22	1227/18	1238/46	1239/32	1237/58
2	1208/94	1215/59	1040/71	1160/90	1154/32	1160/71
3	1207/96	1214/10	1035/85	1157/13	1152/06	1156/85
4	1207/69	1213/75	1034/56	1156/42	1151/41	1155/94
5	1198/66	1204/63	990/56	1136/30	1130/40	1132/26
6	1194/26	1199/65	969/21	1125/28	1120/13	1119/34
7	1191/93	1196/87	958/46	1120/10	1114/70	1112/12
8	1178/17	1184/03	887/58	1084/78	1082/67	1078/84
9	1154/15	1166/91	793/70	1097/48	1026/72	1034/32
10	1153/34	1165/74	791/35	1097/85	1024/82	1031/27
11	1151/48	1163/11	781/99	1091/03	1020/49	1024/46
12	1148/92	1160/01	769/29	1083/47	1014/53	1016/43
13	1123/62	1138/40	640/57	1025/20	955/77	960/51
14	1107/72	1125/26	567/85	1006/29	918/78	926/45
15	1087/60	1107/87	467/92	962/82	872/09	881/51
16	1042/95	1073/41	247/50	869/08	768/93	792/85
17	1038/42	1068/90	225/13	857/56	758/41	781/17
18	1038/24	1068/55	224/29	856/76	757/99	780/26
19	1033/94	1063/98	202/80	844/34	748/00	768/45
20	1031/86	1061/47	192/39	837/58	743/16	761/95
21	1024/17	1054/94	156/30	824/00	725/31	745/04
22	1010/72	1041/92	93/95	788/36	694/23	711/54
23	973/61	1012/97	-	709/43	609/00	637/47
24	958/69	1000/45	-	676/23	574/59	605/30
25	893/42	952/00	-	548/44	427/54	483/45
26	839/54	909/29	-	439/37	308/82	377/69
27	837/10	905/96	-	430/51	303/24	369/19
28	822/49	892/52	-	394/54	270/62	335/44
29	808/06	879/05	-	358/86	238/64	301/77
30	794/50	867/72	-	331/85	208/40	273/29
31	756/77	839/01	-	279/72	129/09	204/05
32	753/82	835/70	-	271/23	122/51	195/68
33	753/80	835/67	-	271/14	122/48	195/60
34	753/79	835/64	-	271/08	122/45	195/54

در انتها مقایسه نتایج روش‌های مختلف روش برتر محاسبه رسوب سالیانه را نیز مشخص نماید. این مقایسه به خوبی در نمودارهای ۵ و ۶ قابل مشاهده است.



شکل ۶ مقایسه نتایج روش های مختلف برآورد حجم رسوب با روش Miller

شکل ۵ مقایسه نتایج روش های مختلف برای برآورد حجم رسوب با روش Lane & Miller

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بالا مشاهده می شود روش های USBR و متوسط دسته ها معمولاً روابط برآورد داده شده از بین دبی آب و رسوب، بار رسوبی را کمتر از مقدار واقعی برآورد می کند و این مشکل به این علت است که تعداد برداشت دبی رسوب در مواقع سیلابی بسیار کم، بالعکس برداشت دبی رسوب در مواقع دبی پایین زیاد می باشد، لذا در برآورد منحنی به کل آمار فرمول ایجاد شده، دبی های پایین را بهتر برآورد کرده و در برآورد دبی های بالا دچار مشکل می شود که برای حل این مشکل در این پژوهش از ضرایب تعدیل (افزایش دهنده) FAO و فرگوسن بر روی دو روش USBR و متوسط دسته ها استفاده شد که با توجه به اشکال ۵ و ۶ این افزایش به خوبی قابل مشاهده است. شایان ذکر است که روش همبستگی سالانه به علت کمبود آمار در بعضی از سال های آماری (جدول ۳ و ۴) از محاسبات حذف شد. در روش FAO-USBR با توجه به نمودارهای ۵ و ۶ مشاهده شد که این روش مقدار تخمین حجم رسوب را بیشتر از میزان واقعی تخمین می زند و علت آن با توجه به شکل ۲، خط رگرسیونی که به صورت توانی رسم می شود برای داده های لگاریتمی به حالت مستقیم است حال آنکه دبی مشاهده ای در دبی های بالا و سیلابی به صورت انحنا و تعادل می رسد که با تأثیر ضریب FAO، برآورد رسوب از حد انتظار بالاتر می رود. اما برای

افزایش سهم دبی های یکی از روش ها این است که دبی ها را دسته بندی کرده متوسط هر دسته را به دست آورده و بین متوسط دسته های دبی جریان و متوسط دسته های دبی رسوب رگرسیون گرفته شود که روش متوسط دسته ها حاصل می شود و با تأثیر ضرایب FAO و همچنین ضریب تعدیل فرگوسن، همان طور که در شکل های ۵ و ۶ دیده می شود نزدیک به هم و بهترین روش ها در گروه منحنی های سنجی می باشد. همچنین تحقیقات ( دانکو، ۱۳۸۴)، ( گنجی، ۱۳۸۵)، (ناظریان، ۱۳۸۴) در این زمینه مؤید این نکته می باشد. این که متوسط راندمان تله اندازی همه روش های به کار گرفته شده در بازه ۹۶ تا ۹۸ درصد بوده و تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته نکته دیگر در این تحقیق است. قابل ذکر است که در این تحقیق برای محاسبه وزن مخصوص رسوبات مخزن در طول ۳۴ سال از دو روش میلر و لین و کولزر استفاده شد که رابطه لین و کولزر چگالی نخستین سال رسوب گذاری پس از ۱ سال تحکیم را نشان می دهد، در حالی که مسأله مورد علاقه ما، متوسط چگالی در طی ۱ سال جهت محاسبه فضای لازم برای ورود مداوم رسوب به داخل مخزن می باشد. این مسأله توسط فرمول میلر تأمین می شود. معادله اصلاح شده میلر وزن حجمی مربوط به معادله لین و کولزر را به متوسط وزن حجمی برای ۱ سال تبدیل می کند. با توجه به نتایج و روش های تجربی مورد استفاده مناسب زمان پر شدن مخزن در حدود ۲۵ تا ۴۰ سال می باشد که این

زمان با توجه به فرمول های به کار رفته بدون احتساب عملیات تخلیه رسوب مخزن، فلاشینگ و فعالیت های باز دارنده و حفاظتی مخزن می باشد. همچنین تخمین زده شده که کاهش سالانه توانایی ذخیره سدهای جهان به دلیل ته نشین شدن رسوبات تقریباً ۰/۵ تا ۱ درصد حجم مخزن می باشد که برای بسیاری از سدها این مقدار بالاتر از ۴ تا ۵ درصد بوده و در نتیجه اغلب سدها قسمت اصلی توانایی ذخیره آب خود را در طول ۲۵ تا ۳۰ سال از دست می دهند. با توجه به این نکته و نتایج بالا این مخزن عملکردی متعادل دارد. شایان

ذکر است که در این سد به دلیل تازه به بهره برداری رسیدن و همچنین خشکسالی های مداوم پس از احداث سد عملیات رسوب سنجی انجام نگرفته و به طور متوسط در سدهای ایران هر ۱۰ تا ۱۵ سال یک مرتبه این کار صورت می گیرد همچنین عملیات رسوب سنجی با توجه به نکات بالا و این که داده های این تحقیق مربوط به قبل از احداث سد است منطقی نمی باشد و فاکتور مقایسه ای درستی نمی باشد.

منابع

۱. دانکو، ع. ۱۳۸۴. آنالیز عدم قطعیت برای برآورد حجم رسوب در مخزن سد. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه مازندران. ۱۰۲ صفحه.
۲. گنجی نوروزی، ز. ۱۳۸۵. بررسی عدم قطعیت حجم رسوب مخازن سدها (مطالعه موردی سد اکیاتان). پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس. ۱۰۶ صفحه.
۳. گزارش خلاصه مشخصات و اهمیت طرح سد دوستی (پل خاتون) در منطقه مرزی سرخس، شماره ۵۲۹۷.
۴. مشخصات هیدرولوژیکی رودخانه هریرود، وزارت نیرو، آب منطقه ای خراسان رضوی، شماره ۶۲۲۳.
۵. ناظریان، ح. ۱۳۸۴. ارائه مدل های رگرسیونی چند متغیره برآورد رسوب در حوزه های شمال استان خراسان. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۸۷ صفحه.
6. Brown, C. B. ۱۹۵۸. Sediment transportation. Engineering hydraulics. H. E. Rouse, ed., Wiley. New York.
7. Brune, G. M. ۱۹۵۳. Trape efficiency of Reservoirs. Trans. AGU. ۳۴(۳): ۴۰۷-۴۱۸.
8. Churchill, M.A. ۱۹۴۸. Discussion of Analysis and use of reservoir sedimentation data. by L. C. Gottschalk. Proc., Fed. Interagency Sedimentation Conf. ۱۳۹-۱۴۰.
9. Einstein, H.A. ۱۹۵۰. The bed load function for sediment transportation in open channel flows. Tech. Bulletin, No. ۱۰۲۶. United States.
10. Ferguson, R. I. 1986. River loads underestimated by rating curves. Water Resources Research (22). 74-76.
11. Harrison, C. G. A. 2000. What factor control mechanical erosion rates. Int. J. Earth Sci. (531):78-92.
12. Komura, S. ۱۹۶۳. Discussion: Erosion of Sediments. Task Committee on Preparation of Sediment Manual, J. of the Hydraulic Div., ASCE, Vol. ۸۹, No. HY1, Proceeding ۱۹۶۳-۳۴۰۵.
13. Lane, E. W. and Koelzer, V. A. ۱۹۵۸. Density of sediments deposited in reservoirs. A Study of methods used in measurement and analysis of sediment load in streams. Rep. No. ۹. Hydraulic lab. Univ of Iowa.
14. Miller, C. R. ۱۹۵۳. Determination of the unit weight of sediment for use in sediment volume computations. Bureau of Reclamation. Denver.

15. Morris, G. L. and J. Fan. ۱۹۹۸. Reservoir sedimentation handbook. McGraw-Hill. New York. ۱۵-۳۰.
16. Salas, J. D. and Hyun-Suk Shin. 1999. Uncertainty Analysis of Reservoir Sedimentation. Journal of Hydraulic Engineering. 125 (4): 339-350.
17. Vanoni, V.A. 1975. Sedimentation Engineering, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices. Vol (54): 77-93.
18. Verstraeten, G. and J. Poesen. 2001. Factors controlling sediment yield from small intensively cultivated catchments in temperate humid climate. Geomorphology (40): 123-144.
19. Verstraeten, G. J., Poesen, J. D. Vente and Koninckx, X. 2003. Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates. Geomorphology (50): 327-348.

## Analysis of different methods of rating curves in estimating of dams alluvia and study on Doosti Dam

### Abstract:

The precision estimating of the carried sediments content by rivers and subsequently the entered sediment content into dams, are very important in many of water-sources major management projects. For estimating of entered sedimentary load, will be applied, different methods among regressional relations as rating curves equations, which it is less considerable to procedure of use and also their precision is low, also, it will be performed to estimate content of suspended sediments in rivers, normally, through the sediment rating curve due to high cost for continuous measurement of carried sediment and its purge.

Therefore, present research intend to assess function of seven rating curve methods such as annual correlation, USBR, mean clusters, FAO-USBR, FAO-mean clusters, Fergosen-USBR and Fergosen- mean clusters, which it was performed to 34 statistical years in two stations namely Harirood-Pole Khatoon and Kashafrud-Pole Khatoon relevant to Doosti Dam.

Finally, for all data, the research results indicate that better to FAO-mean clusters and Fergosen- mean clusters methods. The results of these methods were much similar. Also, by these methods were calculated useful content of rest reservoir after 34-years.

**Keyword:** Discharge sediment, Sediment rating curve, Fergosen method, mean clusters, Pole Khatoon.



ISSN :

**Regional Analysis of Low Flow by Hybrid Method in Mazandaran Province**  
*Mirzahoseini, M., Mohseni saravi, M., Zehtabian, G.*

t

**Analysis of different methods of rating curves in estimating of dams alluvia and study on Doosti Dam**  
*Kalvandi, S., Khodashenas, S., Ghahraman, B., Tahmasbi, R., Bustani, A.*

10

**Measurement and simulation of chloride in Doroodzan dam reservoir using HEC-5Q model**  
*Noshadi, M., Sokoot, M.*

21

**Investigating the influence of wind on spatial distribution of snow accumulation in one of Karoon sub-basins (case study-Samsami basin)**  
*Maroofi, S., Tabari, H., Zarea abyane, H., Sharifi, M.*

31

**Yeild estimation and homogenizing in north-west unguaged sites of Iran by applying Regional Growth Curve (Azarbayejan sharghi, Azarbayejan gharbi, Ardebil, Kordestan and Ilam provinces)**  
*Rahmati, S. H., Porhemmat, J., Daneshkar Arasteh, P., Heidarizadeh, M.*

45

**Estimation of Scour Depth at Bridge Piers by Using FASTER Model**  
*Sheikholeslami, M., Shafaei bajestan, M., Kashefpour, S.M.*

57

**Modeling water retention curve of some Iranian soils using pseudo parametric neural network pedotransfer functions**  
*Haghverdi, A., Ghahraman, B., Jalini, M., Khoshnudi yazdi, A.A., Arabi, Z.*

69