

نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های

کاربردی منابع آب ایران

۲۳-۲۱ اردیبهشت ۱۳۸۹

کرمانشاه-شرکت آب منطقه ای کرمانشاه



## برآورد دبی رسوبات معلق بر اساس معادله سنج رسوب و عوامل مؤثر بر ضرایب این معادله در حوضه آبریز گرگانرود

ابوالفضل مساعدی

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، مامور به دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست

دانشگاه فردوسی مشهد. Email: Mosaedi@yahoo.com

امیر سعدالدین

استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

محمد ابراهیم زنگانه

کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، مؤسسه آموزش عالی غیرانتفاعی - غیردولتی لقمان حکیم آق قلا.

حسن فرازجو

کارشناس شرکت آب منطقه‌ای گلستان

### چکیده

انتقال رسوب و رسوبگذاری، پی‌آمدهایی چون، کاهش عمر مفید سدها و ظرفیت ذخیره مخازن، خوردگی تأسیسات سازه‌های رودخانه‌ای، وارد شدن خسارات به بناهای آبی و مزارع و بسیاری مسایل و مشکلات دیگر را در بر دارد. بنا بر این، در طراحی سازه‌های رودخانه‌ای، برآورد میزان رسوبات حمل شده توسط جریان رودخانه ضروری می‌باشد. از روش‌های مرسوم در برآورد رسوب، روش‌های هیدرولوژیکی می‌باشند، این روش‌های به چند از جمله USBR دسته تقسیم می‌شوند. در تحقیق حاضر که به عنوان یک طرح تحقیقاتی کاربردی با همکاری وزارت نیرو انجام شده است، بر اساس روش کلی USBR، با دسته‌بندی سالانه، فصلی، ماهانه، حد وسط دسته‌ها، دبی کلاسه، دوره مشابه هیدرولوژیکی، دوره کم‌آبی و پرآبی و وضعیت هیدروگراف جریان، اقدام به برآورد رسوب در ایستگاه‌های منتخب حوضه آبریز گرگانرود شده است. آنگاه بر اساس ریشه میانگین مربعات خطا، مناسب‌ترین مدل انتخاب و بر آن اساس مقادیر دبی رسوب روزانه در طی دوره آماری تعیین شد. در بخش دیگری از تحقیق به بررسی رابطه‌ی ضرایب  $a$  و  $b$  مربوط به معادله منحنی سنج رسوب در روش USBR با تعدادی از خصوصیات فیزیوگرافی حوضه پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در حوضه گرگانرود مدل حد وسط دسته‌ها مناسب‌ترین مدل در برآورد بار معلق می‌باشد. ضمن آنکه بیشترین همبستگی بین ضرایب  $a$  و  $b$  در منحنی سنج رسوب به ترتیب با شیب متوسط حوضه و ضریب گراویلوس می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** منحنی سنج رسوب، رسوب معلق، خصوصیات فیزیوگرافی و گرگانرود

## مقدمه

معمولاً انتقال جریان در مسیر رودخانه همراه با فرسایش و رسوبگذاری است. بنابراین در مباحث مهندسی رودخانه بررسی مقدار حمل رسوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اطلاعات دقیق و صحیح از فرسایش، انتقال رسوب و رسوبگذاری در کشور ما بسیار کم است و بین اندازه‌گیری‌ها و برآوردهای انجام شده نیز اختلاف زیادی مشاهده می‌شود. جوان بودن تحقیقات این رشته و فقدان اندازه‌گیری‌های دراز مدت فرسایش، مانع از دستیابی به اعداد قابل اعتماد شده است (عرب خدری، ۱۳۸۱). با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده بار معلق رسوب و به کمک معادله سنجه رسوب می‌توان مقدار رسوب انتقالی را برآورد نمود. در عین حال برآورد رسوب از طریق این معادله همواره با مقداری خطا همراه می‌باشد (مساعدی، ۱۹۹۸؛ اسالمن، ۲۰۰۰؛ عرب خدری و همکاران، ۱۳۸۴؛ اعظمی و همکاران، ۱۳۸۴؛ میرباقری و رجایی، ۱۳۸۵؛ میرزایی، ۱۳۸۱ و محمدی استادکلایه، ۱۳۸۱). با توجه به اینکه بیشترین میزان حمل رسوب در زمان‌های سیلابی رخ می‌دهد، بنابراین اندازه‌گیری رسوب در مواقع سیلابی ضروری می‌باشد (عرب خدری، ۱۳۸۱ و میرزایی، ۱۳۸۱). متأسفانه سهم نمونه‌های غلظت رسوب مربوط به دوره‌های سیلابی بسیار کم است و تمرکز نمونه‌برداری‌ها در این دوره سبب بهبود برآوردها خواهد گردید (محمدی استادکلایه، ۱۳۸۱ و حیدرنژاد و همکاران، ۱۳۸۵). مساعدی و محمدی استادکلایه (۱۳۸۱) در بررسی وضعیت رسوب انتقالی و نحوه تغییرات زمانی آن در حوضه آبریز گرگانرود مدلی را که در آن تقسیم‌بندی داده‌ها بر اساس زمان اندازه‌گیری دبی جریان (ماه‌های پرآب و کم‌آب) صورت گرفته بود، به‌عنوان مدل بهینه انتخاب نمودند. در تحقیقی دیگر که بر روی داده‌های دبی و رسوب ایستگاه مراوه‌تپه واقع بر رود اترک، توسط مساعدی و همکاران (۱۳۸۴) انجام شده‌است، مدلی که در آن تقسیم‌بندی داده‌ها بر اساس زمان اندازه‌گیری (دوره ماهانه) دبی جریان صورت گرفته بود، به‌عنوان مدل مناسب معرفی شده‌است. محققین بسیاری نیز نشان دادند که روش متوسط دسته‌ها در بهبود روابط موثر بوده و همبستگی دبی و رسوب را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد (اعظمی و همکاران، ۱۳۸۴؛ میرزایی، ۱۳۸۱؛ میرابوالقاسمی و مرید، ۱۳۷۴؛ پرهمت و دومیری گنجی، ۱۳۸۴ و مساعدی و همکاران، ۱۳۸۵).

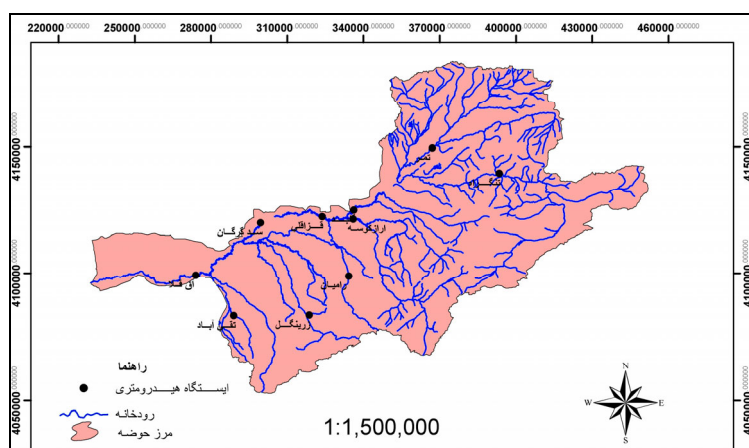
سیوتسکی و همکاران (۲۰۰۰) ارتباط بین پارامترهای سنجه‌ی رسوب و شرایط محیطی (مورفولوژی رودخانه، شرایط آب و هوایی و...) را در ۵۹ ایستگاه هیدرومتری رودخانه‌های آمریکای شمالی مورد مطالعه قرار دادند و با بدست آوردن ضرایب معادله‌ی سنجه‌ی رسوب دریافتند که ضریب  $a$  با پارامترهای بار رسوب درازمدت و میانگین دمای سالانه نسبت مستقیم و با پارامترهای متوسط دبی سالانه، عرض جغرافیایی و ارتفاع متوسط حوضه نسبت عکس دارد. همچنین توان  $b$  نیز با پارامترهای عرض جغرافیایی، بار رسوب درازمدت و ارتفاع متوسط حوضه نسبت مستقیم و با پارامترهای میانگین

دمای سالانه و متوسط دبی سالانه نسبت عکس دارد. این محققین همچنین بیان می‌دارند که منحنی سنجه برای ضرایب همبستگی کمتر از ۲۵ درصد توصیه نمی‌شود.

## مواد و روش‌ها

### -موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز گرگانرود با مساحت ۱۰۱۹۷ کیلومتر مربع یکی از حوضه‌های شمال شرق کشور است و بخش وسیعی از آن در استان گلستان واقع می‌باشد. این حوضه از جنوب مشرف به سلسله جبال البرز شرقی، از شرق به کوه‌های آلاداغ و گلی داغ، از شمال به حوضه آبریز اترک و از غرب به دریای خزر و حوضه آبریز قره‌سو محدود می‌شود. این حوضه با مختصات طول شرقی  $54^{\circ}10'$  تا  $56^{\circ}26'$  و عرض شمالی  $35^{\circ}35'$  تا  $38^{\circ}15'$  محصور گردیده است (محمدی استادکلایه، ۱۳۸۱). شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را در ایران و استان گلستان نشان می‌دهد. در این حوضه حدود ۴۰ شاخه به رود اصلی که همان گرگانرود است، می‌پیوندند. بنا بر این، با توجه به وسعت حوضه، تنوع آب و هوایی و طول رود اصلی ایستگاه‌های هیدرومتری متعددی بر روی رود اصلی و سرشاخه‌ها قرار دارند. از بین آمار ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در این حوضه تعدادی ایستگاه که دارای آمار دبی روزانه به مدت حداقل ۳۰ سال می‌باشند و در این مدت دبی رسوب هم در بعضی از روزهای سال اندازه‌گیری شده است، انتخاب شدند. قبل از بررسی بیشتر داده‌ها، آزمونهای آماری لازم از قبیل آزمون همگنی و آزمون داده پرت انجام شد و در نهایت آمار دبی روزانه و رسوب ۱۱ ایستگاه هیدرومتری برای ادامه بررسی در این تحقیق انتخاب شدند.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در حوضه آبریز گرگانرود.

### - روش اداره عمران اراضی ایالات متحده (روش USBR)

این روش از روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه‌ها است. در روش‌های هیدرولوژیکی ابتدا در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی غلظت مواد معلق (C) برحسب گرم بر لیتر و گذر حجمی متناظر با آن ( $Q_w$ ) بر حسب متر مکعب بر ثانیه طی یک دوره آماری طولانی مدت اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از رابطه (۱) بار معلق ( $Q_s$ ) بر حسب تن در روز محاسبه می‌شود.

$$Q_s = 0.0864 \times C \times Q_w \quad (1)$$

در واقع از طریق داده‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی و با توجه به اینکه دبی رسوب تابعی از دبی جریان می‌باشد، رابطه‌ای بین  $Q_s$  و  $Q_w$  استخراج می‌گردد و با استفاده از ارقام دراز مدت گذر حجمی رودخانه، بار معلق دراز مدت رودخانه برآورد می‌گردد.

در روش اداره عمران اراضی ایالات متحده (روش USBR)، پس از تعیین غلظت نمونه‌های رسوب، با اطلاع از مقدار آبدهی رودخانه در زمان برداشت نمونه، یک رابطه ریاضی (معمولاً غیر خطی) بین بار رسوبی معلق رودخانه و آبدهی آن برقرار می‌گردد. در عمل با توجه به داده‌های دبی جریان و دبی رسوب متناظر با آن، هر دو سری داده به صفحه مختصات لگاریتمی منتقل شده و خط بهترین برآزش بر مبنای روش حداقل مربعات<sup>۱</sup> از میان آن‌ها عبور داده می‌شود و رابطه‌ای به صورت معادله (۲) که به منحنی سنج رسوب<sup>۲</sup> معروف است بین دو متغیر برقرار می‌گردد. در مختصات لگاریتمی مقدار ضریب a فاصله قائم محل تقاطع خط بهترین برآزش با محور قائم تا مبدأ مختصات و مقدار نمای b برابر با شیب خط بهترین برآزش است.

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

در عمل می‌توان با استفاده از این روش، مدل‌های مختلفی برای برآورد رسوب پیشنهاد داد که مدل‌های استفاده شده در این تحقیق به شرح زیر است.

**الف) مدل سالانه (برآورد دبی رسوب بر اساس تمامی داده‌های اندازه‌گیری شده رسوب و بدون تقسیم‌بندی آن‌ها):** در این مدل داده‌های متناظر دبی جریان و دبی رسوب بدون تفکیک بکار برده شده و تنها از یک رابطه رگرسیونی بین تمامی مقادیر دبی رسوب اندازه‌گیری شده و دبی جریان استفاده می‌شود.

**ب) مدل فصلی:** در مدل فوق داده‌های متناظر دبی جریان و دبی رسوب با توجه به فصل نمونه‌برداری به چهار سری بهار، تابستانه، پاییزه و زمستانه تقسیم‌بندی می‌شود و سپس منحنی سنج آن‌ها استخراج می‌شود.

<sup>۱</sup>- Least Square Method

<sup>۲</sup>- Sediment rating curves

ج) **مدل ماهانه:** این مدل مشابه مدل قبل است، با این تفاوت که داده‌ها به دوازده سری ماهانه تقسیم می‌شوند. در نتیجه در این مدل ۱۲ منحنی سنجه رسوب بدست خواهد آمد.

د) **روش دوره مشابه هیدرولوژیکی:** در این مدل بر اساس تشابه تغییرات هیدرولوژیکی در ماه‌های سال، هر سال آبی به سه دوره تقسیم می‌شود. بر این اساس ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور در یک دوره، ماه‌های مهر، آبان، آذر، دی و بهمن در یک دوره و در نهایت ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت در یک دوره جای گرفته و برای هر دوره منحنی سنجه آن‌ها استخراج می‌شود.

ه) **مدل دوره پر آب و کم آب:** جهت برآورد بار معلق به این روش، ابتدا میانگین دبی سالانه را محاسبه نموده و با مقایسه میانگین دبی هر ماه با آن، ماه‌هایی که میانگین دبی آن‌ها بیشتر از میانگین سالانه یا مساوی آن باشد، بعنوان دوره پرآب و ماه‌هایی که میانگین دبی آن‌ها کمتر از میانگین سالانه باشد، بعنوان دوره کم آب شناخته شده و آنگاه برای این دو دوره منحنی سنجه استخراج می‌شود.

و) **مدل دبی کلاسه:** در این مدل، ابتدا میانگین دبی سالانه محاسبه و داده‌ها به سه دسته تقسیم شده که در دسته اول دبی‌های کمتر از دبی میانگین، در دسته دوم دبی‌های بیشتر از میانگین و کمتر از دو برابر میانگین و در دسته سوم دبی‌های بیشتر از دو برابر میانگین قرار می‌گیرند. در نهایت اقدام به ترسیم منحنی سنجه برای هر دسته می‌شود.

ز) **مدل حد وسط دسته‌ها:** در این مدل برای هر  $Q_w$  یا برای گذر حجمی متوسط هر دسته، بار معلق متوسط اندازه‌گیری شده همان دسته را برآورد می‌کنند. بدین ترتیب که دبی‌هایی را که در آن‌ها نمونه‌گیری غلظت انجام شده مدنظر قرار داده و آن‌ها را براساس حجم جریان (از کوچک به بزرگ) مرتب می‌کنند، سپس این داده‌ها به دسته‌هایی (حدود ده دسته یا بیشتر) تقسیم می‌شوند. در مرحله بعد دبی متوسط هر دسته (دبی میانه) را در نظر گرفته و غلظت متوسط دسته را بدست می‌آورند. در مرحله بعد بین این دو سری داده غلظت و جریان رابطه رگرسیون توانی برقرار می‌شود که دارای ضریب همبستگی بالایی است. ادامه کار مانند سایر مدل‌ها می‌باشد.

ح) **مدل وضعیت هیدروگراف جریان:** در این مدل ابتدا هیدروگراف سالیانه مربوط به هر سال آبی رسم می‌شود. سپس با توجه به تاریخ نمونه‌برداری به هیدروگراف آن سال رجوع نموده و معین می‌شود که وضعیت جریان نسبت به روز قبل افزایشی، کاهش یا نسبتاً بدون تغییر بوده‌است. بدین ترتیب داده‌ها بر اساس قرار گرفتن جریان در شاخه صعودی، نزولی یا دبی پایه هیدروگراف به سه سری تقسیم می‌شود و برای هر سری منحنی سنجه آن‌ها استخراج می‌شود.

- شاخص آماری

معادله به کار گرفته‌شده در مورد شاخص آماری مطابق رابطه (۳) می‌باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_{actual} - y_{forecast})^2} \quad (3)$$

که در آن  $RMSE^2$ : ریشه میانگین مربعات خطا،  $n$ : تعداد داده‌ها،  $y_{actual}$ : مقادیر رسوب مشاهده شده و  $y_{forecast}$ : مقادیر رسوب برآورد شده می‌باشد. هر چه مقدار  $RMSE$  به صفر نزدیکتر باشد مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود.

در بخش دوم تحقیق حاضر به بررسی میزان ارتباط بین ضرایب  $a$  و  $b$  معادله USBR و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه پرداخته شد. بدین منظور با برقراری رابطه رگرسیونی بین ضرایب بدست آمده از روش بهینه حد وسط دسته‌ها و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه که در جدول ۱ آمده‌است، در نرم‌افزار اکسل و با آزمودن توابع خطی، توانی، لگاریتمی و نمایی اقدام به انتخاب توابع با ضریب همبستگی بالاتر شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیوگرافی حوضه در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

ایستگاه	مختصات جغرافیایی ایستگاه		ارتفاع متوسط حوضه (m)	طول شاخه اصلی (km)	شیب متوسط (%)	مساحت محیط (km <sup>2</sup> )	ضریب گراویلپوس
	عرض شمالی	طول شرقی					
ارازکوسه	۳۷°۱۳'	۵۵°۰۸'	۱۲۱۰	۸/۷	۴/۵	۱۵۶۵	۱/۲۴
آق قلا	۳۷°۰۱'	۵۴°۲۸'	۹۱۱	۱۹۵/۰	۱/۴	۱۰۱۰۹	۱/۶۰
قزاقلی	۳۷°۱۴'	۵۵°۰۱'	۱۰۰۲	۷۵/۱	۲/۲	۶۵۶۰	۱/۵۷
گنبد	۳۷°۱۵'	۵۵°۰۹'	۸۵۶	۱۰۷/۲	۲/۶	۴۸۶۹	۱/۵۵
تقی‌آباد	۳۶°۵۲'	۵۴°۳۸'	۱۰۶۰	۲۰/۰	۱۳/۱	۱۱۴	۱/۲۶
تمر	۳۷°۲۹'	۵۵°۳۰'	۵۰۹	۵۵/۲	۴/۳	۱۵۲۵	۱/۲۳
گالیکش	۳۷°۱۵'	۵۵°۲۸'	۱۱۴۷	۲۰	۶/۱۳	۴۰۵	۱/۳۹
نوده	۳۶°۵۴'	۵۵°۱۶'	۱۵۰۶	۲۵	۶/۳۱	۸۸۵	۱/۵۴
لزوره	۳۷°۵۷'	۵۵°۱۰'	۱۲۶۴	۱۸	۷/۸۷	۲۷۲	۱/۳۸
سیاه‌آب	۳۶°۵۰'	۵۴°۰۳'	۶۳۸	۶۹	۵/۱۵	۱۶۳۷	۱/۴۲
زرین‌گل	۳۶°۵۲'	۵۴°۵۷'	۱۵۳۸	۲۲/۵	۱۲/۰	۳۳۵	۱/۱۵

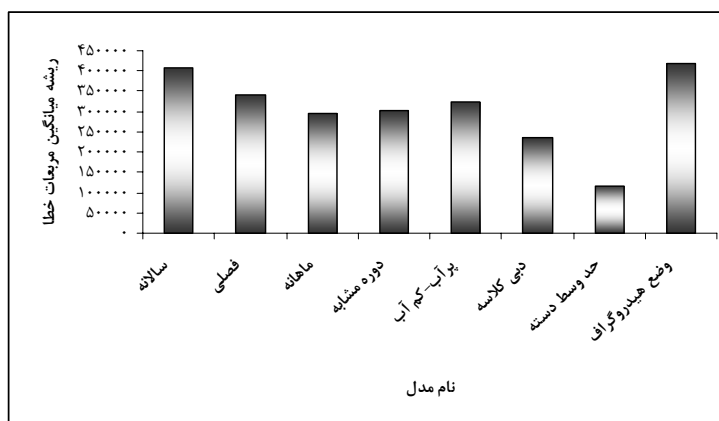
براساس رابطه‌ی USBR که بصورت  $Q_s = a \times Q_{10}^b$  می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که غلظت رسوب ( $C_s$ ) متناسب است با  $Q_{10}^{b-1}$ . بر اساس این رابطه مقادیر  $b$  نباید کمتر از ۱ باشد، زیرا در اینصورت تغییرات غلظت رسوب با دبی جریان نسبت عکس پیدا می‌کند که با تئوری انتقال رسوب تناقض خواهد

<sup>۲</sup> - Root Mean of Square Error

داشت. این حالت (b کمتر از 1) در حالتی اتفاق می افتد که ابر داده‌ها در منحنی سنج به شکل دایره بوده و ضریب همبستگی آن کمتر از ۲۵ درصد باشد.

### نتایج و بحث

رفتار هیدرولوژیک هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر تولید رسوب متفاوت بوده که این امر به شرایط مختلف اقلیمی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، تولید رواناب و سایر عوامل هیدرولوژیکی مربوط می‌باشد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود بر اساس شاخص آماری RMSE در ایستگاه قزاقلی روش حد وسط دسته‌ها به عنوان بهترین روش انتخاب شده‌است. این محاسبات در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام گردید که به دلیل محدودیت صفحات مقاله از ارائه جزئیات خودداری شده‌است و تنها به ذکر خلاصه نتایج در جدول ۲ اکتفا می‌شود. نتیجه حاصل از این تحقیق با نتایج میر ابوالقاسمی و مرید (۱۳۷۴)، اعظمی و همکاران (۱۳۸۵)، پرهمت و دومیری گنجی (۱۳۸۴)، مساعدی و همکاران (۱۳۸۵) و میرزایی (۱۳۸۱) در انتخاب مدل حد وسط دسته‌ها به‌عنوان مناسب‌ترین مدل در برآورد بار معلق مشابه می‌باشد.



شکل ۲. مقادیر شاخص آماری در هر یک از روش‌های مورد بررسی در ایستگاه قزاقلی

در بخش دوم تحقیق حاضر به بررسی ارتباط ضرایب a و b با خصوصیات فیزیوگرافی حوضه پرداخته شد. در جدول ۳ مقادیر مربوط به ضرایب a و b در مدل بهینه حدوسط دسته‌ها در هر ایستگاه ارائه شده‌است. نتایج مناسب‌ترین معادلات برازش داده شده در رابطه با ارتباط هر یک از عوامل فیزیوگرافی با ضرایب a و b در جداول ۴ و ۵ ارائه شده‌است.

جدول ۲. خلاصه نتایج برآورد بار معلق در ایستگاههای مورد مطالعه

ایستگاه	تعداد داده‌ها	دبی متوسط سالانه (متر مکعب بر ثانیه)	مدل بهینه	رسوب برآورد شده (تن در روز)
ارازکوسه	۱۱۰۳	۶	حد وسط دسته‌ها	۱۱۳۲۴
آق قلا	۱۱۰۹	۱۳/۵	حد وسط دسته‌ها	۱۹۰۳۷
قزاقلی	۵۶۳۳	۱۳/۷	حد وسط دسته‌ها	۱۶۷۲۵
گنبد	۳۰۷۰	۷/۴	حد وسط دسته‌ها	۱۶۶۳۰
تقی آباد	۳۴۱	۰/۳۸	حد وسط دسته‌ها	۴۷
تمر	۹۷۶	۱/۷	حد وسط دسته‌ها	۳۸۸۱
گالیکش	۴۲۰	۲/۶	حد وسط دسته‌ها	۱۶۷۷
نوده	۵۶۲	۲/۲	حد وسط دسته‌ها	۱۴۷
لزوره	۳۳۰	۲/۱۵	حد وسط دسته‌ها	۱۸۱
سیاه‌آب	۳۶۴	۲	حد وسط دسته‌ها	۱۲۴
زرین گل	۴۵۱	۲/۱	حد وسط دسته‌ها	۲۰۶

جدول ۳. مقادیر ضرایب a و b مربوط به مدل بهینه حدوسط دسته‌ها در ایستگاههای مورد مطالعه

ایستگاه	سیاه‌آب	لزوره	نوده	گالیکش	زرین گل	تمر	تقی آباد	گنبد	قزاقلی	آق قلا	ارازکوسه
A	۱۳۹۴	۳۷۱۰۱	۳۵۱۱	۲۵۴۸	۱۰۶۸	۲۴۹/۲۵	۶۸۳۳	۱۱۵۸۸	۱۰۱/۶	۳۳۳/۰۷	۱۲۹/۸۹
B	۱/۹۷	۱/۵۲	۱/۵	۱/۲۱	۲/۱۷	۱/۹۲	۱/۵۳	۱/۳۴	۱/۷	۱/۴	۱/۹۵

جدول ۴. معادلات مناسب‌ترین رابطه برازش داده‌شده بین ضریب a در منحنی سنج رسوب و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه

ضریب تبیین ( $R^2$ )	رابطه بهینه	پارامتر (X)
۰/۶۱	$a = 44.38 e^{0.0084 x}$	طول شاخه اصلی
۰/۷۳	$a = 525.97 x^{-1.25}$	شیب متوسط
۰/۷۰	$a = 0.8646 x^{0.6342}$	مساحت
۰/۶۸	$a = 0.2347 x^{1.1272}$	محیط
۰/۴۹	$a = 0.1917 e^{4.334 x}$	ضریب گراویلیوس



**جدول ۵. معادلات مناسب ترین رابطه برازش داده شده بین ضریب  $b$  در منحنی سنجه رسوب و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه**

ضریب تبیین ( $R^2$ )	رابطه بهینه	پارامتر ( $X$ )
۰/۴۷	$b = 2.28 x^{-0.078}$	طول شاخه اصلی
۰/۴۱	$b = 0.1515 \ln(x) + 1.504$	شیب متوسط
۰/۳۷	$b = -0.00002x + 1.79$	مساحت
۰/۴۴	$b = -0.0005x + 1.867$	محیط
۰/۶۴	$b = -1.185x + 3.399$	ضریب گراویلیوس

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ایستگاه‌هایی که بر روی شاخه اصلی گرگانرود قرار دارند، مقادیر  $a$  بیشتر از ایستگاه‌هایی است که بر روی شاخه‌های فرعی قرار دارند و در اکثر موارد با افزایش ارتفاع و شیب رودخانه مقادیر  $a$  کاهش می‌یابد. نکته جالب توجه آنست که این تغییرات در مورد ضریب  $b$  برعکس است، یعنی مقدار  $b$  در ایستگاه‌های واقع بر شاخه اصلی کمتر از ایستگاه‌های واقع بر شاخه فرعی بوده و با افزایش ارتفاع و شیب رودخانه مقدار  $b$  نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر این، در منحنی‌های سنجه استخراج شده، همواره تغییرات  $a$  و  $b$  عکس یکدیگر است. از آنجایی که  $a$  معرف مقدار ثابت عرض از مبدا و  $b$  معرف شیب خط است، اگر  $a$  زیاد و  $b$  کم باشد نشان‌دهنده حساسیت نسبتاً کم دبی رسوب در برابر تغییر دبی است و در حالت عکس، دبی رسوب شدیداً با دبی جریان تغییر می‌کند. با توجه به جداول ۴ و ۵، ضریب  $a$  دارای همبستگی بیشتری نسبت به ضریب  $b$  با خصوصیات فیزیوگرافی حوضه می‌باشد. همچنین روند تغییرات پارامتر شیب متوسط نسبت به ضریب  $a$  برخلاف سایر پارامترها حالت کاهشی دارد. در مورد ضریب  $b$  نیز همین پارامتر برخلاف دیگر پارامترها حالت افزایشی دارد.

### پیشنهادهای

منحنی سنجه رسوب بر اساس رابطه دبی لحظه‌ای جریان و غلظت لحظه‌ای رسوب استوار است. بنابراین استفاده از مقادیر دبی لحظه‌ای به جای دبی متوسط روزانه در برآورد رسوب ارجحیت دارد. توسعه استفاده از لمینوگراف‌های مجهز به دیتالاگر نیز سبب در دسترس قرار گرفتن داده‌های جریان در زمان‌های کوتاه‌تر از یک ساعت شده‌است، بدین ترتیب در صورت دسترسی به این اطلاعات بویژه در حوضه‌های کوچک و سیلابی پیشنهاد می‌شود که منحنی سنجه رسوب برای واحدهای زمانی کوتاه‌تر از یک روز به کار برده شود. از طرف دیگر با توجه به اینکه در ایام غیر سیلابی آهنگ تغییرات دبی نسبتاً یکنواخت و ثابت می‌باشد، بنابراین می‌توان جهت صرفه‌جویی در وقت و هزینه، استفاده از لمینوگراف را به روزهای سیلابی محدود نمود.

سهولت کاربرد معادلات رگرسیونی منحنی‌های سنج رسوب ( $Q_S = a \times Q_W^b$ ) باعث شده‌است که استفاده زیادی در برآورد بار رسوبی داشته‌باشند، اما از آنجایی که در این معادلات تنها یک متغیر مستقل وارد می‌شود، از این‌رو، این منحنی‌ها قادر به پیش‌بینی دقیق و صحیح مقدار دبی رسوب واقعی رودخانه‌ها نمی‌باشد. با توجه به اینکه در حال حاضر در منحنی‌های سنج، پارامتر دبی جریان تنها متغیر مستقل می‌باشد، توصیه می‌گردد کاربرد متغیرهای دیگری (مثل میزان کدورت) نیز در ترسیم منحنی‌های سنج رسوب مورد آزمون قرار گیرد و به عبارت دیگر منحنی رسوب سنج چند متغیره ترسیم گردد. چنانچه ایستگاه‌های هیدرومتری استان به دستگاه‌های سنجش میزان کدورت و گل آلودگی جریان مثل TSS متر و مخروط‌های Imhoff مجهز گردد، می‌تواند سبب افزایش دقت برآوردهای بارمعلق شود.

توصیه می‌شود بجای استفاده از رابطه مستقیم  $Q_S = a \times Q_W^b$ ، از روابط دیگری که در برگیرنده‌ی سایر مشخصات فیزیکی حوضه (مثل شیب حوضه، پوشش گیاهی، بافت خاک، ارتفاع متوسط خاک و شدت بارش و سایر عوامل مؤثر) باشد نیز استفاده شود.

پیشنهاد می‌شود به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر میزان رسوب معلق تولید شده در هر حوضه، ویژگی‌های فیزیکی حوضه بالادست در هر ایستگاه شامل وسعت حوضه بالادست، طول آبراهه‌ها با درجه انشعاب مختلف، مجموع طول کل آبراهه‌ها، تراکم آبراهه‌ها و فاصله از بالادست با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. چرا که به‌نظر می‌رسد تغییر در هر یک از عوامل اشاره شده و اختلال در شرایط هیدرولوژیکی، کاربری و شبکه زهکشی بر فرآیندهای کنترل‌کننده مؤلفه‌های تولید رسوب معلق مؤثر خواهد بود.

پیشنهاد می‌شود دفتر استانداردهای وزارت نیرو نسبت به تجدید نظر در روش متداول برآورد رسوب‌دهی سالانه اقدام نماید. همچنین برای واسنجی دقیق‌تر روش‌ها و مدل‌های مختلف از جمله مدل‌های مبنای این پژوهش ضروری است که در چند ایستگاه، تجهیزات مداوم غلظت‌سنجی برای مدت حداقل یک سال نصب گردد. به هر حال پیشنهاد می‌شود که در برآورد دبی رسوب یک رودخانه از به‌کار بردن معادله سنج رسوب برای تمامی داده‌ها بدون دسته‌بندی آنها اجتناب کرد. بنا بر این در وضعیت موجود، می‌بایست مقادیر دبی‌های رسوب اندازه‌گیری شده به چند دسته تقسیم شده و بر اساس مدل حد وسط دسته‌ها یا مدل ماهانه اقدام به برآورد رسوب نمود.

### سیاسگزاری

این تحقیق در غالب بخشی از طرح تحقیقاتی با کد پروژه: GLW-86007 با همکاری شرکت آب منطقه‌ای گلستان صورت گرفته است. از مسئولین این شرکت و همچنین کارشناسان آزمایشگاه کیفیت آب منطقه‌ای گلستان تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

- اعظمی، ا.، ع. نجفی نژاد، و م. عرب خدری. ۱۳۸۴. ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی در برآورد بار معلق رسوب جریان پایه و سیلابی در حوضه سد ایلام. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. پرهت، ج. و م. دومیری گنجی. ۱۳۸۴. تحلیل روابط آورد رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه هندیشان - جراحی. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب.
- حیدر نژاد، م.، س. ح. گلماهی، ا. مساعدی. و م. خ. ضیاء تبار احمدی. ۱۳۸۵. اصلاح معادله سنج رسوب و برآورد بار معلق در ایستگاه تله زنگ. مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران. تهران.
- عرب خدری، م. ۱۳۸۱. روش‌های افزایش دقت برآورد بار معلق رودخانه‌ها. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت اراضی - فرسایش خاک و توسعه پایدار.
- عرب خدری، م.، ش. حکیم خانی. و ج. و رانی. ۱۳۸۴. اعتبار برون‌یابی در برآورد میانگین رسوبدهی معلق سالانه ۱۷ ایستگاه هیدرومتری کشور. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. سال ۱۱. شماره ۴. محمدی استادکلایه، ا. ۱۳۸۱. بهینه‌سازی روابط دبی آب و دبی رسوب معلق در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه گرگانرود. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- مساعدی، ا. و ا. محمدی استادکلایه. ۱۳۸۱. بررسی وضعیت رسوب انتقالی و نحوه تغییرات زمانی آن در حوضه آبخیز گرگانرود. مجموعه مقالات نخستین کنفرانس دانشجویی منابع آب و خاک. ارومیه.
- مساعدی، ا.، م. شهابی. و ا. محمدی استادکلایه. ۱۳۸۴. بررسی تغییرات روابط دبی و رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری مراوه (اترک). مجموعه مقالات دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. کرمان.
- مساعدی، ا.، ا. محمدی، و م. حسینعلی زاده. ۱۳۸۵. انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- میرابوالقاسمی، ه. و س. مرید. ۱۳۷۴. بررسی روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه‌ها. مجله آب و توسعه. شماره ۱۰.
- میرباقری، س. ا. و ط. رجایی. ۱۳۸۵. بهبود پیش‌بینی و تخمین بار معلق رودخانه‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران. تهران.
- میرزایی، م. ۱۳۸۱. مقایسه روش‌های آماری برآورد بار معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی گرگانرود). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.

- Asselman, N.E.M. 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. Journal of Hydrology. 234: 228-248
- Mosaedi, A. 1998. Hydrological sizing of sediment reservoir system for irrigation and water supply. Ph.D. Thesis. Technical University of Budapest. Hungary.
- Syvitski, J.P., M.D. Morhead, D.B. Bahr and T. Mulder. 2000. Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters. Water Resources Research, Vol, 36, No, 9. Pp: 2747-2760.



دانشگاه صنعتی گرمانشاه

مجموعه مقالات

نخستین کنفرانس ملی پژوهشهای  
کاربردی منابع آب ایران



وزارت نیرو  
شرکت مدیریت منابع آب ایران

## Estimating the suspended load discharge based on sediment rating curve and the influencing factors on its parameters in Gorgan-Rud river Basin

**Abolfazl MOSAEDI**

Asso. Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Now in: Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Natural Resources and Environment, *Email: Mosaedi@yahoo.com*

**Amir SADOODIN,**

Assi. Prof. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Range and Watershed Management

**Mohammad E. ZANGANEH**

M.Sc. on Water Resources Eng. Loghman Hakim Institute of higher Edu., Agh-ghala

**Hassan FARAZJOO**

Expert, Golestan Regional Water Co.

### ABSTRACT

Sediment transport and siltation are usually associated with some consequences. The result is shallower riverbeds, less water storage capacity in river channels and reservoirs and some other negative outcomes that can occur due to sedimentation. For construction of river structures it is required to estimate the amount of suspended sediment loads in river channels. To achieve this, a number of hydrologic methods have been suggested by hydrologists worldwide. The Unites State Bureau of Reclamation (USBR) method is a class/procedure that has been used in this research to calculate the amounts of sediment load for some river gauge stations along the Gorgan-Rud River. In the USBR method, to increase the accuracy of sediment estimation various ways of data clustering have been suggested. In this research, data clustering was conducted based on annual, seasonal, monthly data analysis. The analysis was also carried out based on mid point of data classes, flow duration curve investigations, similar hydrologic periods, high flow and low flow periods, and the state of flow hydrographs. The performance of the various ways of data clustering in the USBR method was evaluated by the RMSE statistical criterion. The analysis indicates that data clustering based on mid point of data classes presents more accurate results. The daily sediment load was then calculated using the preferred model procedure. In addition, the relationships between the parameters of sediment rating curve equation (a, b) of the USBR method and some physical characteristics of the watersheds of were investigated. The physical characteristics included the length of main stream, mean slope of watershed, area, perimeter and the Graviliuse shape coefficient of watershed. The results show that mean slope and the Graviliuse shape coefficient of watershed can be used to estimate the parameters of sediment rating curve equation for the Gorgan-Rud River. This assists us to give an estimation of suspended sediment loads in the case of data limitations.

**Keywords:** Sediment rating curve, suspended load, physical characteristics, Gorgan-Rud.