



دانشگاه گرجان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هجدهم، شماره دوم، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

تعیین مناسب‌ترین روش برآورد دبی انتقال رسوبات معلق در ایستگاه ارازکوسه حوضه گرگان‌رود

محمدابراهیم زنگانه^۱، *ابوالفضل مساعدی^۲، مهدی مفتاح‌هلقی^۳ و امیراحمد دهقانی^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۱۰

چکیده

برآورد صحیح میزان رسوبات حمل شده توسط جریان رودخانه در طراحی تمامی پروژه‌های آبی ضروری می‌باشد. با این وجود هنوز تلاش‌های کافی و مناسب در این خصوص صورت نگرفته است. یکی از روش‌های مرسوم در برآورد دبی رسوب، روش‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. روش‌های هیدرولوژیکی به چند دسته شامل روش اداره عمران اراضی ایالات متحده (USBR)، حد وسط دسته‌ها، سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی (FAO)، برآوردکننده ناریب با حداقل واریانس (MVUE)، تخمین‌گر شبه‌بیشینه درست‌نمایی (QMLE) و اصلاح‌گر (Smearing) تقسیم می‌شوند که دقت آن‌ها نیز در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از این روش‌ها اقدام به برآورد رسوب در محل ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه در حوضه آبخیز گرگان‌رود شده است. به این منظور از آمار متناظر دبی جریان و دبی رسوب طی سال‌های آبی ۱۳۵۲-۵۳ تا ۱۳۸۶-۸۷ استفاده شده است. پس از تعیین معادلات سنجه رسوب براساس تمامی داده‌های متناظر اندازه‌گیری شده، با مقایسه شاخص‌های آماری شامل ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا، نسبت اختلاف و انحراف استاندارد عمومی، مناسب‌ترین روش برآورد بار معلق انتخاب و براساس آن مقادیر دبی رسوب روزانه در طی دوره آماری ذکر شده تعیین گردید. در بخشی دیگر از پژوهش، معادلات سنجه رسوب با

* مسئول مکاتبه: mosaedi@yahoo.com

استفاده از ۸۰ درصد داده‌های متناظر اندازه‌گیری شده، تعیین شدند و از ۲۰ درصد دیگر داده‌ها به‌منظور صحت‌سنجی و تعیین خطای معادلات استفاده شد. در نهایت مقادیر برآورد شده رسوب از مدل‌های مختلف، با مقادیر اندازه‌گیری شده در طی یک دوره مستمر ۴۵ روزه، به‌وسیله شاخص آماری میانگین درصد خطای نسبی مقایسه گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که در ایستگاه ارازکوسه روش حد وسط دسته با ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۹، ریشه میانگین مربعات خطای ۵۲۱۴۸، نسبت اختلاف ۰/۶۸ و انحراف استاندارد عمومی ۰/۸۹ مناسب‌ترین روش در برآورد بار معلق بوده و بر این اساس متوسط دبی رسوب روزانه در آن ۱۱۳۲۴ تن در روز برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: ارازکوسه، بار معلق، روش‌های هیدرولوژیکی، شاخص‌های آماری

مقدمه

انتقال دقیق از فرسایش، انتقال رسوب و رسوب‌گذاری در کشور چندان زیاد نیست و در بسیاری از موارد، بین اندازه‌گیری‌ها و برآوردهای انجام شده نیز اختلاف زیادی مشاهده می‌شود. رودخانه‌ها همواره با پدیده‌های فرسایش و انتقال رسوب مواجه می‌باشند، بنابراین در هیدرولیک رودخانه و ژئومورفولوژی آن، بررسی ظرفیت حمل رسوب جریان و مکانیسم انتقال رسوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. انتقال رسوب و رسوب‌گذاری، پی‌آمدهایی چون، ایجاد جزایر رسوبی در مسیر رودخانه و در نتیجه کاهش ظرفیت انتقال جریان‌های سیلابی، کاهش عمر مفید سدها و ظرفیت ذخیره مخازن، خوردگی تأسیسات سازه‌های رودخانه‌ای و وارد شدن خسارات به ابنیه آبی و مزارع، رسوب‌گذاری در کف کانال و بسیاری مسایل و مشکلات دیگر را در بر دارد. همچنین با توجه به لزوم اطلاع از میزان رسوبات حمل شده توسط جریان رودخانه در طراحی سازه‌های رودخانه‌ای، ضرورت برآورد بار رسوب رودخانه‌ها به‌روشنی تبیین می‌شود. کاربرد داده‌های رسوب معلق امروزه در اقدامات زیست‌محیطی شامل مطالعات بیولوژیکی (بسترهای تخم‌ریزی ماهی و محیط‌های زندگی ماهی) و کیفیت آب (انتقال آلوده‌کننده‌ها و مواد معدنی) نقش مهمی پیدا کرده است (دی، ۱۹۸۸). ماهیت پیچیده و متغیر بار رسوب رودخانه‌ها باعث شده است که برآورد مقدار تولید رسوب و میزان رسوب وارده به مخزن با مشکل روبرو شود.

با توجه به این که دبی رسوب تابعی از دبی جریان در رودخانه می‌باشد، برای تعیین دبی رسوب معلق از روش‌های تجربی مبتنی بر رابطه رگرسیونی بین دبی جریان لحظه‌ای و دبی رسوب معلق استفاده می‌شود. به این منظور از داده‌های دبی رسوب معلق و دبی لحظه‌ای متناظر اندازه‌گیری شده در بعضی از روزهای سال استفاده می‌شود و منحنی یا منحنی‌های سنجه رسوب^۱ رودخانه تعیین می‌گردد. منحنی‌های سنجه رسوب یکی از معمول‌ترین روش‌های برآورد بار رسوب معلق رودخانه‌ها هستند. سابقه بررسی علمی در مورد انتقال رسوب معلق رودخانه‌ها بیش از صد سال است (والینگ و وب، ۱۹۸۱). به طوری که نخستین نمونه‌برداری از بار معلق رودخانه‌ها در سال ۱۸۴۵ میلادی در رودخانه می‌سی‌سی‌پی انجام شد (میرابوالقاسمی و مرید، ۱۹۹۵). روش اندازه‌گیری بار معلق رسوب، بر پایه اندازه‌گیری غلظت رسوب معلق و دبی جریان، روشی مطمئن است که مستلزم اندازه‌گیری پیوسته می‌باشد و معمولاً تنها برای رودخانه‌های مهم و دائمی قابل استفاده می‌باشد (تلوری، ۲۰۰۲؛ پاوانلی و بیگی، ۲۰۰۴؛ صادقی، ۲۰۰۴؛ عرب‌خدری، ۲۰۰۵؛ پرهمت و دومیری‌گنجی، ۲۰۰۵).

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؛ اسلمن، ۲۰۰۰؛ عرب‌خدری و همکاران، ۲۰۰۴؛ اعظمی و همکاران، ۲۰۰۵؛ میرباقری و رجایی، ۲۰۰۶). علاوه بر این، صادقی و همکاران (۲۰۱۰a) وجود ضریب کارایی کم‌تر از ۵۰ درصد در مدل‌های مورد بررسی در حوضه آبخیز خامسان را نشانه بی‌کفایتی منحنی سنجه در تخمین کامل و دقیق بار معلق می‌دانند. با توجه به این که بیش‌ترین میزان حمل رسوب در زمان‌های سیلابی رخ می‌دهد، بنابراین اندازه‌گیری رسوب در مواقع سیلابی ضروری می‌باشد (عرب‌خدری، ۲۰۰۱؛ میرزایی، ۲۰۰۲). متأسفانه سهم نمونه‌های غلظت رسوب مربوط به دوره‌های سیلابی بسیار کم است و تمرکز نمونه‌برداری‌ها در این دوره سبب بهبود برآوردها خواهد شد (محمدی‌استادکلاویه، ۲۰۰۲؛ حیدرنژاد و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج پژوهش نجفی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۰) نشان می‌دهد که از بین انواع معادلات منحنی سنجه رسوب، رابطه توانی دارای بالاترین میزان همبستگی می‌باشد. مساعدی و همکاران (۲۰۰۵) مدلی که در آن تقسیم‌بندی داده‌ها براساس ماه اندازه‌گیری دبی جریان صورت گرفته است را به‌عنوان مدل مناسب در ایستگاه مراوه‌تپه واقع بر رود اترک معرفی نمودند. محققان بسیاری نیز نشان دادند که روش حد وسط دسته‌ها در بهبود روابط مؤثر

1- Sediment Rating Curves

بوده و همبستگی دبی و رسوب را به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌دهد (میرابوالقاسمی و مرید، ۱۹۹۵؛ میرزایی، ۲۰۰۲؛ پرهمت و دومیری‌گنجی، ۲۰۰۵؛ اعظمی و همکاران، ۲۰۰۵؛ صادقی و همکاران، ۲۰۱۰b). آچیت و سیلویین (۲۰۰۷) نشان دادند که اولاً، مقادیر پیش‌بینی شده توسط روش USBR سالانه ۲۵-۲۰ درصد بیش‌تر از مقادیر واقعی است. ثانیاً، براساس سری‌های زمانی موجود، برآورد دقیق‌تر نیاز به دوره‌های طولانی‌مدت دارد. وروانی و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه خود در ۵ ایستگاه هیدرومتری منتخب از مناطق اقلیمی مختلف کشور، کاربرد ضریب حداقل واریانس ناریب^۱ را باعث افزایش صحت و دقت منحنی‌های سنجی می‌دانند. صادقی و همکاران (۲۰۰۸) عوامل مؤثر در روابط بین رسوب‌نگارها و آب‌نگارها و حلقه‌های سنجی برای رگبارهای به‌وقوع پیوسته در آبخیز می^۲ در ژاپن را بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که به‌ازای دبی معین، رسوب برآورد شده در شاخه صعودی هیدروگراف بیش‌تر از شاخه نزولی می‌باشد.

با توجه به موارد بالا، در حالی‌که مطالعات وسیعی در رابطه با برآورد دبی رسوب براساس دبی جریان، صورت گرفته ولی هنوز نیاز به مطالعات بیش‌تر جهت افزایش دقت برآوردها، مشهود است. بنابراین، این پژوهش به‌منظور تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق، از میان ۶ روش مورد بررسی، براساس ۵ معیار آماری، در ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه (واقع بر رودخانه گرگان‌رود) انجام گردید. این ایستگاه در حوضه آبریز گرگان‌رود واقع بوده و می‌تواند تا حدودی معرف وضعیت متوسط این حوضه باشد.

مواد و روش‌ها

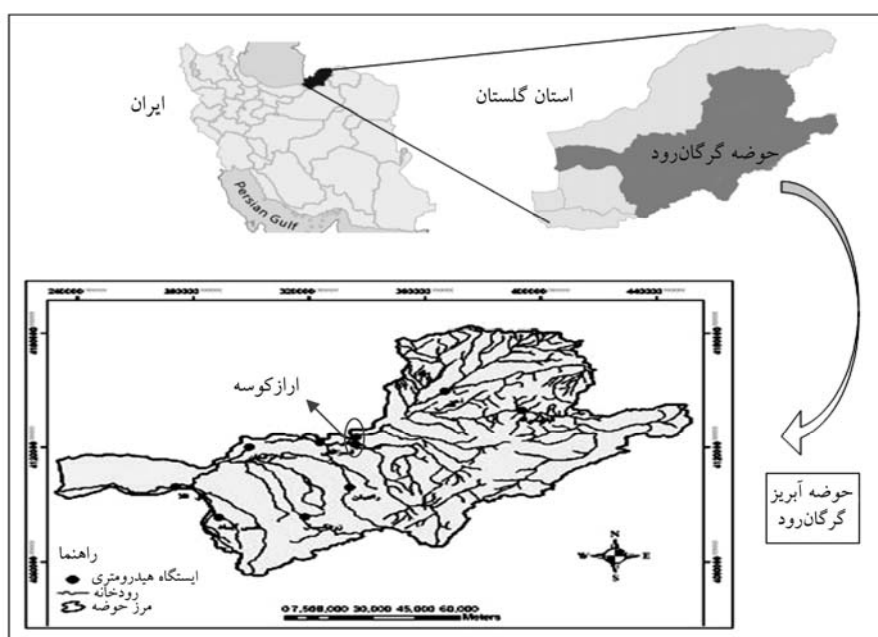
منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز گرگان‌رود با مساحت ۱۴۱۱۹ کیلومتر مربع یکی از حوضه‌های آبریز شمال‌شرق کشور بوده که بخش وسیعی از آن در استان گلستان واقع می‌باشد. این حوضه از جنوب مشرف به سلسله جبال البرز شرقی، از شرق به کوه‌های آلاداغ و گلی‌داغ، از شمال به حوضه آبخیز اترک و از غرب به دریای خزر و حوضه آبخیز قره‌سو محدود می‌شود. این منطقه با مختصات طول شرقی ۵۳ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۰ دقیقه محصور گردیده است (محمدی‌استادکلاویه، ۲۰۰۲). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد

1- Minimum Variance Unbiased Estimator

2- Mie

مطالعه را در ایران و استان گلستان نشان می‌دهد. این حوضه مهم‌ترین حوضه آبریز در سطح استان گلستان بوده و بیش از نیمی از منابع آب سطحی استان در این حوضه جریان دارد. سدهای متعددی در این حوضه احداث شده‌اند که رسوب‌گذاری یکی از مهم‌ترین مشکلات این سدها می‌باشد.

ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه: رودخانه‌های چهل‌چای و نرماب (پس‌پشته) که در جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی مینودشت قرار دارند، به فاصله ۲۰۰ متری پل جاده ارتباطی مینودشت-مشهد به هم پیوسته و پس از الحاق رودخانه خرمالو (نوده) واقع در سمبه مختوم رودخانه قره‌سو را تشکیل داده که از غرب روستای ارازکوسه گذشته و به گرگان‌رود می‌پیوندد. ایستگاه هیدرومتری این رودخانه از سال ۱۳۴۵ آماربرداری می‌کند. در ابتدا پس از کنترل صحت داده‌ها، حدود ۱۱۰۰ نمونه مطلوب دبی آب و دبی رسوب متناظر در اختیار قرار گرفت. خصوصیات فیزیوگرافی ایستگاه هیدرومتری در جدول ۱ (محمدی‌استادکلاویه، ۲۰۰۲) و محدوده داده‌های مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در حوضه آبریز گرگان‌رود.

جدول ۱- خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبخیز گرگان‌رود در محل ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه.

ایستگاه	مختصات جغرافیایی ایستگاه			طول شاخه اصلی (کیلومتر)	شیب متوسط (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	ضریب گراویلیوس
	ارتفاع متوسط (متر)	عرض شمالی	طول شرقی					
ارازکوسه	۱۲۱۰	۳۷ درجه و ۰۰ دقیقه و ۴۱ ثانیه	۵۵ درجه و ۲۵ دقیقه و ۱۱ ثانیه	۷۶/۸	۴/۵۸	۱۵۶۵	۱۷۵	۱/۲۴

جدول ۲- محدوده داده‌های مورد استفاده در کل دوره آماری.

پارامتر	دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)	دبی رسوب (تن در روز)
حداکثر	۱۶۶/۵	۶۵۷۵۶۶۲
حداقل	۰/۰۱	۰/۰۹
میانگین	۱۰/۶	۴۱۳۳
انحراف معیار	۳۴۷/۲	۱۳۴۱۵

روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه‌ها: در روش هیدرولوژیکی ابتدا در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی غلظت مواد معلق (C) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و گذر حجمی متناظر با آن (Q_w) بر حسب مترمکعب 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 شده و با استفاده از ارقام درازمدت گذر حجمی رودخانه، بار معلق درازمدت رودخانه برآورد می‌گردد. در ادامه به معرفی روش‌های گوناگون هیدرولوژیکی برآورد رسوب معلق پرداخته می‌شود.

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

$$Q_s = aQ_w^b \quad (2)$$

روش حد وسط دسته‌ها: در این روش برای هر Q_w یا برای گذر حجمی متوسط هر دسته، بار معلق متوسط اندازه‌گیری شده همان دسته را برآورد می‌کنند. به این 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 ۱۰ دسته یا بیش‌تر) تقسیم می‌شوند. در مرحله بعد دبی متوسط هر دسته (دبی میانه) را در نظر گرفته و غلظت متوسط دسته را به دست 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 روش USBR می‌باشد (جانسون، ۱۹۹۶).

روش سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی (FAO)^۳: جونز و همکاران (۱۹۸۱) برای نزدیک کردن مقادیر برآورد شده از منحنی سنجه رسوب به مقادیر مشاهده شده، توصیه نموده‌اند که در روابط دبی آب-دبی رسوب به جای ضریب a از ضریب a' طبق رابطه ۳ استفاده شود:

$$a' = \frac{\bar{Q}_s}{\bar{Q}_w^b} \quad (3)$$

که در آن، \bar{Q}_s : متوسط دبی رسوب، b : همان ضریب معادله USBR و \bar{Q}_w : متوسط دبی جریان متناظر آن می‌باشد.

1- United State Bureau of Reclamation

2- Least Square Method

3- Food and Agricultural Organization

روش برآوردکننده نااریب با حداقل واریانس (MVUE)^۱: در این روش تصحیح اریب برای هر یک از مقادیر دبی روزانه با استفاده از رابطه‌های ۴ تا ۶ بیان شده است:

$$\hat{L}_{MVUE} = L_{RC(t)} \times g_m \quad (۴)$$

$$g_m = \frac{m+1}{2m} \times |(1-V) \times S^2| \quad (۵)$$

$$V = \frac{(\ln(Q_x) - \bar{Q})^2}{Q_{var}} + \left[\frac{1}{N} \right] \quad (۶)$$

در این معادلات، \hat{L}_{MVUE} : رسوب برآورد شده از روش MVUE، $L_{RC(t)}$: بار رسوبی برآورد شده از منحنی سنجه برای هر روز t ، g_m : تابع فینی، Q_x : میانگین دبی جریان روزانه، N : تعداد داده، Q_{var} : واریانس دبی‌های جریان، \bar{Q} : متوسط دبی، S : اشتباه استاندارد منحنی سنجه و m : تعداد پارامترهای تابع توزیع حاکم بر داده‌های دبی جریان می‌باشد (چون و همکاران، ۱۹۸۹).
روش تخمین‌گر شبه‌بیشینه درست‌نمایی (QMLE)^۲: این روش بر معادله کلی ارایه شده به صورت رابطه ۷ استوار است:

$$\hat{L}_{QMLE} = L_{RC} \times \exp\left(\frac{S^2}{2}\right) \quad (۷)$$

که در آن، \hat{L}_{QMLE} : رسوب برآورد شده از روش QMLE می‌باشد. L_{RC} : رسوب برآورد شده با استفاده از منحنی سنجه یک خطی و S^2 : مجذور میانگین اشتباه رگرسیون می‌باشد (دون، ۱۹۸۳).
روش اصلاح‌گر^۳: یک روش غیرپارامتری بوده که شکل کلی آن به صورت رابطه ۸ است:

$$L_s = L_{RC} \times \frac{\sum_{i=1}^N \exp(e_i)}{N} \quad (۸)$$

که در آن، L_s : رسوب برآورد شده از روش اصلاح‌گر، L_{RC} : رسوب برآورد شده از روش USBR، e_i : حداقل مربعات باقی‌مانده با استفاده از معادله منحنی سنجه بوده و در واقع تفاوت لگاریتم طبیعی رسوب مشاهده‌ای و برآوردی است (توماس، ۱۹۸۵).

1- Minimum Variance Unbiased Estimator

2- Quasi-Maximum Likelihood Estimator

3- Smearing

ارزیابی مدل‌ها: برای ارزیابی مدل‌های به دست آمده از روش‌های شش‌گانه فوق از شاخص‌های مختلف ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب همبستگی، نسبت اختلاف و انحراف استاندارد عمومی^۲ به شرح ارایه شده در معادلات ۹ تا ۱۲ استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Q_s - Q_{si})^2} \quad (9)$$

$$R = \frac{\sum (Q_{si} - \bar{Q}_s)(Q_{wi} - \bar{Q}_w)}{\sqrt{\sum (Q_{si} - \bar{Q}_s)^2 \sum (Q_{wi} - \bar{Q}_w)^2}} \quad (10)$$

$$r = \frac{\sum Q_{si}}{\sum Q_s} \quad (11)$$

$$GSD = \frac{RMSE}{\bar{Q}_{si}} \quad (12)$$

که در رابطه‌های ذکر شده، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، n: تعداد داده‌ها، Q_s : مقادیر رسوب مشاهده شده، Q_{si} : مقادیر رسوب برآورد شده، \bar{Q}_s : میانگین رسوب اندازه‌گیری شده، Q_{wi} : دبی جریان و \bar{Q}_w : میانگین دبی جریان، R: ضریب همبستگی، r: نسبت اختلاف و GSD: انحراف استاندارد عمومی می‌باشد.

مقدار بهینه شاخص‌های RMSE و GSD برابر صفر بوده، در حالی که مقدار بهینه شاخص آماری ضریب همبستگی ۱۰۰ درصد می‌باشد. همچنین هرچه مقدار شاخص نسبت اختلاف (r) به یک نزدیک‌تر باشد مدل از دقت بیش‌تری برخوردار خواهد بود (رضایی‌پژند، ۲۰۰۱).

در این پژوهش برای ارزیابی مدل مناسب، اقدام به اندازه‌گیری بار رسوبی در ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه گردید. به این منظور از تاریخ ۱۳۸۷/۸/۱ تا ۱۳۸۷/۹/۱۵ روزانه در دو نوبت، ساعات ۶ صبح و ۶ بعدازظهر نمونه‌برداری بار معلق به روش انتگراسیون عمقی انجام شد. نمونه‌های اندازه‌گیری شده به آزمایشگاه رسوب شرکت آب منطقه‌ای گلستان منتقل، و براساس غلظت رسوب اندازه‌گیری شده مقدار دبی رسوب معلق محاسبه شد.

-
- 1- Root Mean Square Error
 - 2- General Standard Deviation

روش دیگری که به منظور ارزیابی مدل بهینه مورد استفاده قرار گرفت، تقسیم داده‌های متناظر دبی جریان و دبی رسوب اندازه‌گیری شده به دو گروه ۸۰ و ۲۰ درصدی می‌باشد. بر این اساس همه رابطه‌های مربوط به منحنی‌های سنجه رسوب براساس ۸۰ درصد داده‌ها که به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند، استخراج شدند. سپس برای بررسی دقت این معادلات با استفاده از ۲۰ درصد باقی‌مانده داده‌های دبی جریان، دبی رسوب برآورد شد و با مقدار اندازه‌گیری شده براساس شاخص‌های آماری مورد مقایسه قرار گرفت. در این پژوهش از این روش به‌عنوان مدل ۸۰-۲۰ نام برده می‌شود. برای مقایسه دقت معادلات برآورد رسوب با میزان رسوب مشاهده شده در طول مدت نمونه‌برداری عملی از شاخص آماری میانگین درصد خطای نسبی طبق رابطه‌های ۱۳ و ۱۴ استفاده گردید. هرچه مقدار این معیار کم‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که معادلات مربوطه از دقت بالاتری برخوردار است.

$$RME = \frac{\sum_{i=1}^n RE_i}{n} \quad (13)$$

$$RE_i = \left| \frac{Q_s - Q_{si}}{Q_s} \right| \times 100 \quad (14)$$

که در آن، RME: میانگین درصد خطای نسبی، RE_i : درصد خطای نسبی هر برآورد، Q_s : میزان رسوب مشاهده شده، Q_{si} : میزان رسوب معلق برآورد شده و n : تعداد دفعات مقادیر برآورد شده رسوب معلق می‌باشد.

نتایج و بحث

با برآزش معادلات منحنی سنجه بار معلق برای داده‌های متناظر دبی- رسوب و محاسبه ضرایب مربوط به روش‌های پارامتری و ناپارامتری، شاخص‌های آماری برای هر یک از مدل‌ها محاسبه شد که نتایج آن در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه گردیده است. در این جدول‌ها تعداد داده‌ها، ضریب همبستگی (R)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، نسبت اختلاف (t)، انحراف استاندارد عمومی (GSD)، ضرایب مربوط معادله USBR (a و b) و ضریب روش‌های ناپارامتری آمده است.

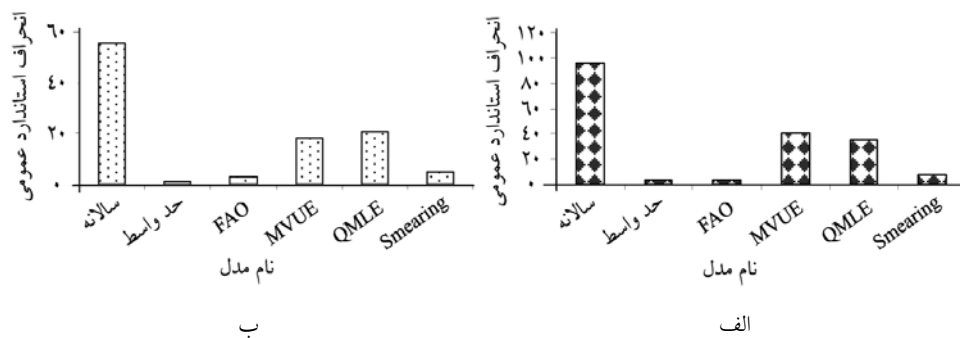
در شکل‌های ۲ تا ۴ مقادیر شاخص‌های آماری برای مدل‌های ۸۰-۲۰ و تمام داده‌ها مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. مطابق آنچه در شکل‌های ۲ تا ۴ مشاهده می‌شود براساس هر دو روش به‌کار برده شده استفاده از تمام داده‌ها و همچنین مدل ۸۰-۲۰، روش حد وسط دسته دارای کم‌ترین مقدار RMSE و GSD بوده و از نظر شاخص آماری r نیز در رتبه دوم قرار دارد. به این ترتیب این روش به‌عنوان مدل بهینه در ایستگاه ارازکوسه معرفی می‌گردد. همچنین روش‌های فائو و سالانه نامناسب‌ترین مدل برای برآورد بار معلق این ایستگاه می‌باشند. این نتایج در نمونه‌برداری مستقیم بار معلق نیز به اثبات رسیده است.

جدول ۳- خلاصه پارامترهای آماری محاسبه شده (براساس معادله‌های ۹ تا ۱۲) و ضرایب منحنی سنجی رسوب (a) و بدون تقسیم داده‌ها. (b)

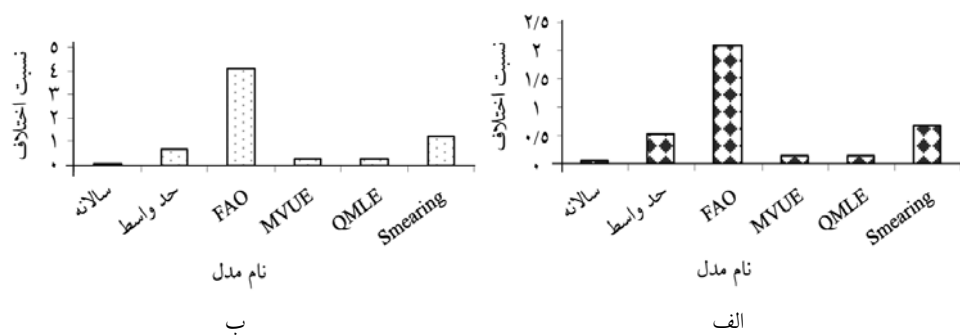
مدل	تعداد داده	R	RMSE	r	GSD	a	b	ضریب
سالانه	۲۱۶	۰/۶۱	۴۲۵۹۲۸	۰/۱۰	۵۳/۳۵	۳۷/۱۷	۱/۶۸	-
حد وسط	۱۱	۰/۷۹	۵۲۱۴۸	۰/۶۸	۰/۸۹	۱۸۵/۲۴	۱/۷۷	-
FAO	۲۱۶	-	۹۷۷۸۱۱	۴/۱۲	۳/۱۲	۱۵/۶۰	۱/۶۸	-
MVUE	۲۱۶	-	۴۱۹۹۲۵	۰/۳۰	۱۸/۲۰	-	-	-
QMLE	۲۱۶	-	۴۲۰۲۵۳	۰/۲۷	۲۰/۴۶	-	-	۲/۶۸
Smearing	۲۱۶	-	۴۶۰۷۰۸	۱/۲۴	۴/۸۹	-	-	۱۲/۲۵

جدول ۴- خلاصه پارامترهای آماری محاسبه شده (براساس معادله‌های ۹ تا ۱۲) و ضرایب منحنی سنجی رسوب (a) و براساس تقسیم داده‌ها به دسته‌های ۸۰ و ۲۰ درصد (مدل ۸۰-۲۰). (b)

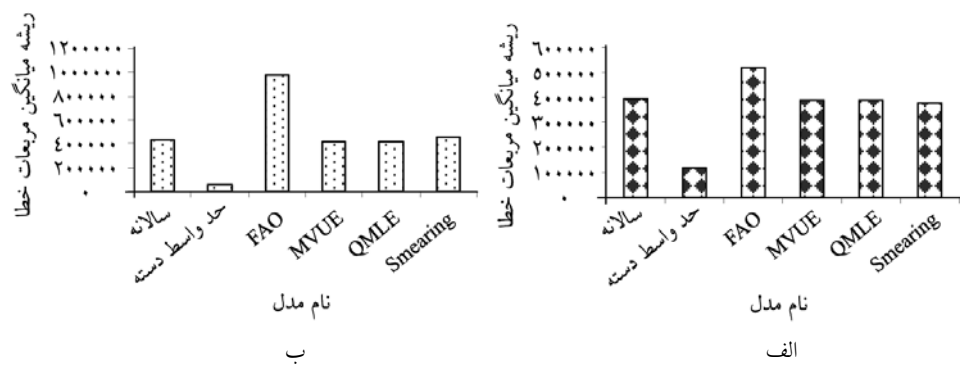
مدل	تعداد داده	R	RMSE	r	GSD	a	b	ضریب
سالانه	۱۱۰۳	۰/۸	۳۹۶۱۲۰	۰/۰۶	۹۵/۸	۳۷/۲	۱/۶۸	-
حد وسط	۵۴	۰/۹	۱۱۵۳۰۷	۰/۵۲	۳/۱۴	۱۲۹/۸۹	۱/۹۵	-
FAO	۱۱۰۳	-	۵۱۸۵۶۰	۲/۰۸	۳/۵۳	۱۳۲۸	۱/۶۸	-
MVUE	۱۱۰۳	-	۳۹۰۲۶۹	۰/۱۴	۴۰/۲	-	-	-
QMLE	۱۱۰۳	-	۳۸۹۲۷۷	۰/۱۶	۳۵/۴	-	-	۲/۶۶
Smearing	۱۱۰۳	-	۳۷۶۰۴۰	۰/۷	۷/۶۷	-	-	۱۱/۸۴



شکل ۲- هیستوگرام مقادیر شاخص آماری انحراف استاندارد عمومی (GSD) برای مدل ۲۰-۸۰ (الف) و تمام داده‌ها (ب).



شکل ۳- هیستوگرام مقادیر شاخص آماری نسبت اختلاف (z) برای مدل ۲۰-۸۰ (الف) و تمام داده‌ها (ب).



شکل ۴- هیستوگرام مقادیر شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای مدل ۲۰-۸۰ (الف) و تمام داده‌ها (ب).

در جدول ۵ مقادیر RME مدل‌های مورد بررسی در نمونه‌برداری مستقیم دبی و رسوب ارایه شده است، به این ترتیب که این مقادیر برای روش حد وسط، کم‌ترین و برای روش FAO بیش‌ترین مقدار می‌باشد.

جدول ۵- مقادیر RMSE مدل‌های مورد بررسی در نمونه‌برداری مستقیم دبی و رسوب.

سالانه	حدوسط	FAO	MVUE	QMLE	Smearing
۵۳	۵۰	۸۰۹	۵۱	۷۲	۱۷۰

از آنجایی که نمونه‌برداری مستقیم در فصل پاییز انجام گرفته و حدود ۹۸ درصد داده‌های مربوط به دبی جریان کم‌تر از میانگین دبی سالانه ایستگاه موردنظر بوده‌اند آنچه در ارزیابی مدل بهینه در نمونه‌برداری مستقیم مشهود است، این است که روش سالانه در دبی‌های پایین و از میان روش‌های اصلاحی، مدل MVUE نزدیک‌ترین مدل به مدل بهینه در برآوردها می‌باشد.

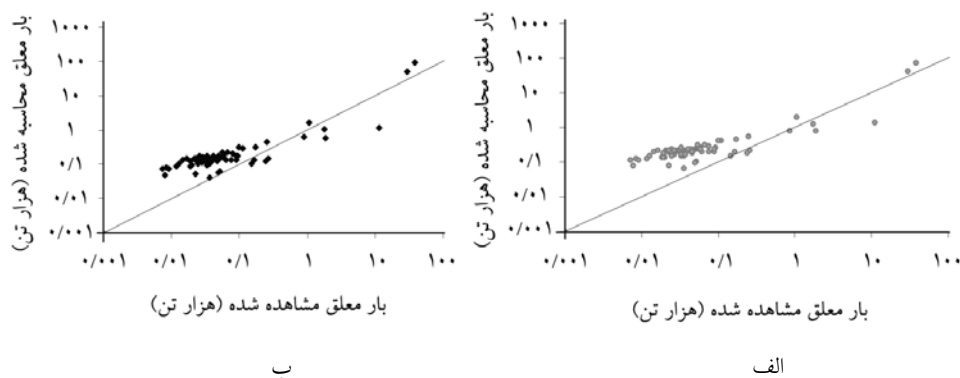
در جدول ۶ متوسط دبی رسوب روزانه در هر یک از روش‌های مورد بررسی بر حسب تن در روز آمده است. مطابق آنچه که در این جدول ملاحظه می‌گردد، متوسط سالانه رسوب ایستگاه ارازکوسه ۱۱۳۲۴ تن در روز بوده که روش‌های FAO و Smearing به ترتیب مقدار بار معلق را ۴/۹ و ۱/۶ برابر بیش‌تر از روش بهینه برآورد کرده‌اند. همچنین بار معلق روش‌های سالانه، MVUE و QMLE به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۳۳ و ۰/۳۷ برابر روش بهینه می‌باشد.

جدول ۶- متوسط دبی رسوب روزانه در هر یک از روش‌های مورد بررسی (تن در روز).

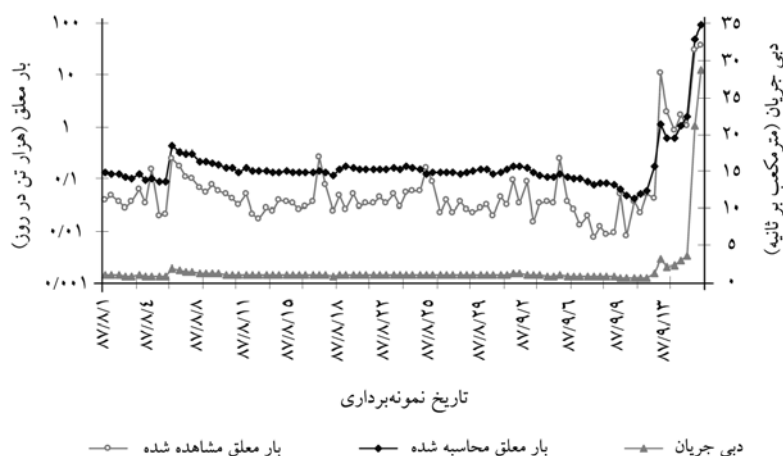
روش	سالانه	حدوسط	FAO	MVUE	QMLE	Smearing
متوسط دبی رسوب روزانه	۱۵۷۵	۱۱۳۲۴	۵۶۰۰۵	۳۸۰۷	۴۱۸۷	۱۸۶۳۹

به‌منظور اعتبارسنجی مدل‌های مورد استفاده در شکل ۵ مقادیر پیش‌بینی و مشاهده‌ای در مقابل هم نشان داده شده‌اند و نقاط به‌دست آمده نسبت به خط آرمانی $Y=X$ مقایسه شده‌اند. ملاحظه می‌شود که بار معلق در مدل بهینه در بیش‌تر مواقع، به‌خصوص در دبی‌های پایین، بیش‌تر از مقدار واقعی مشاهده شده در رودخانه می‌باشد.

در شکل ۶ رسوب‌نمود و آب‌نمود مربوط به دوره ۴۵ روزه نمونه‌برداری در ایستگاه ارازکوسه نشان داده شده است.



شکل ۵- مقایسه مقادیر بار معلق مشاهده شده و محاسبه شده برای مدل ۲۰-۸۰ (الف) و تمام داده‌ها (ب).



شکل ۶- رسوب نمود و آب نمود دوره ۴۵ روزه نمونه برداری در ایستگاه ارازکوسه.

نتیجه گیری

سهولت کاربرد معادلات رگرسیونی منحنی‌های سنج رسوب باعث شده است که استفاده زیادی در برآوردهای بار رسوبی داشته باشند، اما از آنجایی که در این معادلات تنها یک متغیر مستقل وارد می‌شود، از این رو این منحنی‌ها قادر به پیش‌بینی دقیق و صحیح مقدار بار رسوبی واقعی رودخانه‌ها نمی‌باشد. بنابراین سعی می‌شود با اعمال شرایط یا تغییراتی در آن‌ها (از جمله دسته‌بندی داده‌ها و سایر روش‌هایی که در بخش مواد و روش‌ها ذکر شد) خطای برآورد رسوب را کاهش داد.

نتیجه به دست آمده از این پژوهش در انتخاب مدل حد وسط دسته به عنوان مناسب ترین مدل در برآورد بار معلق با نتایج میرابوالقاسمی و مرید (۱۹۹۵)، میرزایی (۲۰۰۲)، پرهمت و دومیری گنجی (۲۰۰۵)، اعظمی و همکاران (۲۰۰۵) و مساعدی و همکاران (۲۰۰۵) مشابه می باشد. همچنین بیشترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا مربوط به روش های FAO و USBR سالانه است. این نتیجه نیز با نتایج محمدی استادکلاهی (۲۰۰۲)، میرزایی (۲۰۰۲)، عرب خدیری و همکاران (۲۰۰۴) و حیدر نژاد و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. روش های پارامتری و ناپارامتری (QMLE, MVUE) و Smearing) که تابعی از اشتباه استاندارد می باشند، در مراحل برآورد و ارزیابی نتایج متفاوتی از خود نشان داده به طوری که نمی توان نتیجه گیری منطقی در مورد کارایی این روش ها در ایستگاه ارازکوسه به دست آورد. در روش FAO وجود داده های استثنایی با مقادیر رسوب زیاد در زوج متناظر دبی آب-دبی رسوب تأثیر زیادی روی افزایش ضریب α' به وجود می آورد، زیرا در رابطه $\alpha' = \frac{Q_s}{Q_w}$ تغییرات مخرج کسر معمولاً محدودتر از صورت کسر است که این امر از نقاط ضعف روش FAO می باشد. این به آن معنی است که رابطه بالا میزان رسوب معلق محاسبه شده را بیش تر از مقدار مشاهداتی نشان می دهد که این از نقاط ضعف روش اخیر قلمداد می شود. در ارتباط با برآوردهای FAO، پارامتری و غیرپارامتری چون این ضرایب به روش یک خطی اعمال می شوند، هر نوع خطا در آن به طور مستقیم به برآوردهای ناشی از اعمال این ضرایب منتقل می شود. در روش حد وسط دسته ها، به دلیل کاهش اثر نقاط پایین، برآورد رسوب دهی در دبی های بالا بهبود می یابد. همچنین در این روش، پراکنش نقاط کاهش یافته و خطای ناشی از تبدیل لگاریتمی به حداقل می رسد.

قسمت عمده آمار مورد استفاده در این پژوهش که مبنای معادلات سنج رسوب قرار گرفته اند، داده های اندازه گیری شده دبی آب و دبی رسوب در محل ایستگاه هیدرومتری است، بنابراین برای بالا بردن دقت اندازه گیری ها و صحت آمار و ارقام، استفاده از تجهیزات به روز و افراد صلاحیت دار و با مسئولیت برای اندازه گیری ها، توصیه می شود.

از آنجایی که بیشترین مقدار رسوب در دبی های بالا انتقال پیدا می کند، پیشنهاد می گردد در صورت امکان از جریان های سیلابی به تعداد کافی نمونه برداری صورت گیرد.

با توجه به توسعه روزافزون فن آوری در مباحث مهندسی آب، استفاده از روش های جدید مانند هوش مصنوعی و پردازش تصاویر دیجیتال در برآورد بار معلق ایستگاه های هیدرومتری پیشنهاد می گردد.

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 به نظر 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 تجدیدنظر در روش متداول برآورد رسوب‌دهی سالانه با توجه به خطای بسیار زیاد آن‌ها اقدام نماید. به‌عنوان مثال روش حد وسط دسته‌ها را مورد بررسی بیش‌تری قرار داده تا در صورتی‌که در ایستگاه‌های هیدرومتری دیگر هم خطای کم‌تری دارد، به‌عنوان روش جایگزین معرفی شود. همچنین برای واسنجی دقیق‌تر روش‌های مختلف از جمله روش مبنای این پژوهش ضروری است در چند ایستگاه، تجهیزات مداوم غلظت‌سنجی برای مدت حداقل یک سال نصب گردد.

سپاسگزاری

از مسئولان و کارشناسان محترم شرکت سهامی آب منطقه‌ای گلستان که زمینه انجام این پژوهش را فراهم فرمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Achite, M., and Sillvain, O. 2007. Suspended sediment transport in a semiarid watershed, J. Hydrol. 84: 3. 187-202.
2. Arabkhedri, M. 2001. Certitude increase methods of estimating rivers suspended sediment. P 123-132, In: Land manegment-soil erosion and resistant development congress. (In Persian)
3. Arabkhedri, M. 2005. Investigation of the suspended load Iran's watershed basin. J. Iran. Water Resour. Res. 1: 2. 51-60. (In Persian)
4. Arabkhedri, M., Hakimkhani, Sh., and Varvani, J. 2004. The Validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 Hydrometric station), J. Agric. Sci. and Natur. Resour. 13: 123-131. (In Persian)
5. Asselman, N.E.M. 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. J. Hydrol. 23: 4. 228-248.

6. Azami, A., Najafinezhad, A., and Arabkhedri, M. 2005. Valuation hydrologic models in estimating of suspended load overflow and base flow in Ilam dam basin. P 298-306, In: The third Erosion and Sediment National Conference. (In Persian)
7. Chon, 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.
8. Day, T.J. 1988. Evaluation of long term suspended sediment records for selected Canadian rivers. Symposium on sediment budgets. Porto Algere. Brazil: IAHS, Pp: 189-195.
9. Duan, N. 1983. Smearing estimate, a nonparametric retransformation method. Harvard University. Press, Cambridge, Mass, 456p.
10. Heydarnezhad, M., Golmaei, S.H., Mosaedi, A., and Ziatabar ahmadi, M.KH. 2006. Correction of sediment rating curve and estimating of suspended load in Telezang station. P 243-252, In: The 7rd Civil Engineering National Conference. Tehran. (In Persian)
11. Jansson, M.B. 1996. Estimating a sediment rating curves of the Reventzon river at Palomo using -logged mean loads within discharge classes. *J. Hydrol.* 183: 4. 227-241.
12. 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: 271-284.
13. Mirabolghasemi, H., and Morid, S. 1995. Investigation of Hydrological methods for estimating suspended load of rivers, *J. Water and Dev.* 35: 95-116. (In Persian)
14. Mirbagheri, S., and Rajaei, T. 2006. Improve the predict and estimating river suspended load with artificial neoural networks. P 435-443, In: The 7rd Civil Engineering National Conference. Tehran. (In Persian)
15. Mirzaei, M. 2002. Comparision statistics methods of estimating rivers suspended sediment (Gorganrood case study). M.Sc. Thesis. Tehran University, 115p. (In Persian)
16. Mohammadi Ostadkelaye, A. 2002. Optimaization of water discharge and suspended load discharge terms in hydrometric stations Gorganrood river. M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 90p. (In Persian)
17. Mosaedi, A. 1998. Hydrological sizing of sediment reservoir system for irrigation and water supply. Ph.D. Thesis, Technical University of Budapest, Hungary, 200p.
18. Mosaedi, A., Shahabi, M., and Mohammadi Ostadkelaye, A. 2005. Survey of conversion discharge and suspended load terms in Marave (Atrak) hydrometric station. P 333-340, In: The 2rd Watershed and Water and Soil resources Management National Conference. Kerman. (In Persian)

19. Najafinejad, A., Babaei, A., Saniei, E., and Mahmoodi, O. 2010. Comparison of monthly and seasonal suspended load rating curves in several Golestan province rivers. In: The 4rd National Seminar on Erosion and Sediment. Noor, Iran, 6p. (In Persian)
20. Pavanelli, D., and Bigi, A. 2004. Suspended sediment concentration for three apennine monitored basins, particle size distribution and physical parameters. P 537-544, In: The Agro Environment Congress, Venice, Italy.
21. Porhemat, J., and Domeri Ganji, M. 2005. Analysis of sediment bring terms in hydrometric stations of Hendijan-Jarahi zone. P 265-272, 3rd Erosion and Sediment National Conference. (In Persian)
22. Rezaee Pazhand, H. 2001. Application of probability and statistics in water resources. Sokhan Gatar publication, 456p. (In Persian)
22. Sadeghi, S.H.R. 2004. Producing sediment rating curve equation for rising and falling limb of hydrograph using regression concept, J. Iran. Water Resour. Res. 1: 1. 101-103. (In Persian)
23. Sadeghi, S.H.R., Fazli, S., and Khaledi Darvishan, A. 2010. Evaluation of efficiency sediment rating curve in Khamesan tyupicaly watershed. In: The 4th National Seminar on Erosion and Sediment. Noor, Iran, 6p. (In Persian)
24. Sadeghi, S.H.R., Saeedi, P., Raeesi, M.B., and Noor, H. 2010. Operation of median groups method in improvement of monthly sediment rating relations. In: The 4th National Seminar on Erosion and Sediment. Noor, Iran, 6p. (In Persian)
25. Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S., and Onda, Y. 2008. Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed. J. Hydrol. 356: 271-282.
26. Telvari, A. 2002. Corresponding of suspended sediment with some of up stream watershed of Dez and Karkhe in Lorestan Province. Pajouhesh and Sazandegi. 15: 1. 47-56. (In Persian)
27. Thomas, R.B. 1985. Estimating total suspended sediment yield with probability sampling. Water Resources Research. 21: 1381-1388.
26. Varvani, J., Najafinejad, A., and Mirmoeeni, A. 2008. Correction of sediment rating curve with minimum variance unbiased estimator method. J. Agric. Sci. and Natur. Resour. 15: 1. 123-131. (In Persian)
28. Walling, D.E., and Webb, B.W. 1981. The reliability of suspended sediment load data, Erosion and Sediment Transport Measurement, IAHS Pub. 133: 177-194.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

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

Determination of Suitable Method for Estimating Suspended Sediments Discharge in Arazkoose Hydrometric Station (Gorganrood Basin)

M.E. Zanganeh¹, *A. Mosaedi², M. Meftah Halghi³ and A.A. Dehghani³

¹M.Sc. Graduated, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, ³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2009/11/14; Accepted: 2011/10/02

Abstract

Sediment transport and settling leads to some outcomes such as sedimentary island establishment in river stream and consequently, decrease in transfer capacity of flood water flows, decrease in useful life of dams and depots saving capacity, corrosion in river factor foundations, damaging the water buildings and farms, settling in the canal bed and many other problems. Also it is necessary correct estimation of the rivers sediment load in all hydraulics projects is necessary. One of the methods of sediment estimating is hydrological methods. Hydrological methods are divided to several categories, such as USBR, FAO, Median of groups, MVUE, QMLE, and Smearing. In this research estimating of sediment in Arazkoose hydrometric station which is located on Gorganrood watershed was carried out by these methods. Therefore, sediment and flow discharge data during years of 1973 to 2008 accumulated and analyzed. After determination of sediment rating curves in various methods, the best method was selected by comparison of the statistic parameters such as R, RMSE, r and GSD. After that, the daily sediment discharges in all statistic period were determined. At last estimating's quintiles during 45 days period with the statistic indicator, relative mean of error. The results of this study showed that median of groups with $R=0.79$, $RMSE=52148$, $r=0.68$ and $GSD=0.89$ is the proper method for suspended load estimating in the Arazkoose station and based on this method the average of daily sediment discharge was estimated at this station as 11324 ton/day.

Keywords: Arazkoose, Hydrological methods, Statistics indicator, Suspended load

* Corresponding Author; Email: mosaedi@yahoo.com

