مقایسه روش‌های آماری برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها[۱]

محمد رضا میرزایی[۲] محمود عرب‌خدری[۳] سادات فیض‌نیا[۴] حسن احمدی[۵]

چکیده

امروزه گرایش زیادی در مورد فهم نحوه و مقدار حمل مواد توسط رودخانه‌ها وجود دارد. چرا که این اطلاعات در بررسی نرخ و الگوی فرسایش، هوازدگی فیزیکی و شیمیایی، ارزیابی جریان مواد از سطح اراضی به سمت پایین‌دست حوزه، بررسی آلودگی‌های منابع آب به خصوص آلودگی‌های غیر نقطه‌ای، بیلان رسوب و مدیریت حوزه‌های آبخیز به‌کار می‌روند. گاهی مقدار رسوب خروجی معیار نسبتاً مناسبی برای سنجش فرسایش سالانه حوزه است. تاکنون روش‌های متعددی برای برآورد مقدار رسوب معلق ارایه شده است که نتایج حاصل از این روش‌ها در اغلب موارد اختلافات فاحشی باهم دارند. مهم‌ترین مشکل ارزیابی این روش‌ها را می‌توان فقدان آمار مشاهده‌ای قابل اعتماد در این حوزه‌ها دانست. وجود آمار نسبتاً فشرده در ایستگاه رسوب‌سنجی قزاقلی واقع در بالادست سد وشمگیر در حوزه آبخیز گرگانرود فرصت تعیین دقت و صحت روش‌های برآورد بار معلق را فراهم کرد. به این منظور ابتدا با استفاده از شیوه‌های مختلف (سیستماتیک، تصادفی- سیستماتیک، تصادفی ساده) با فرکانس‌های متفاوت (۱۲، ۲۶، ۵۲، ۱۰۴ در سال) و با در نظر گرفتن طبقه‌بندی جریان، از جمعیت داده‌های مشاهده‌ای نمونه‌گیری به عمل آمد و سپس مقدار بار معلق با ۲۱ روش متفاوت از نظر نوع منحنی‌سنجه و یا دبی جریان برای هر یک از نمونه‌ها تعیین گردید. نهایتا پس از دسته‌بندی روشها، با استفاده از دو پارامتر آماری انحراف معیار خطاها و مقدار خطای برآوردی نسبت به آمار فشرده مشاهده‌ای، روش‌های برآورد رسوب مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که روش برآورد تلفیق دبی متوسط روزانه با منحنی‌سنجه حد وسط دسته‌ها، دقیق‌تر و صحیح‌تر از سایر روش‌ها بود و به عنوان بهترین روش انتخاب شد. همچنین در این روش برآورد رسوب، نمونه‌گیری تصادفی- سیستماتیک جواب مناسبتری را نسبت به بقیه روش‌ها ارایه داد. روی هم رفته روش نمونه‌گیری از جریان طبقه‌بندی شده با نمونه‌های اضافی از جریان‌های بالا و میانی مقدار خطا را در مقایسه با روش نمونه‌گیری بدون طبقه بندی حدود ۵۰ درصد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: *رسوب معلق، رودخانه، منحنی سنجه رسوب، دبی، ضرایب اصلاحی، نمونه‌گیری .*

---

[۱]- تاریخ دریافت: ۸۲/۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۲/۱۱/۲۷

[۲]- کارشناس ارشد آبخیزداری (E-mail: mrmgh_mirzaei@yahoo.com)

[۳]- مربی پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

[۴]- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۵]- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

مقدمه

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 قرارداد (۱۸)، از طرف دیگر رسوب معلق رودخانه تا حد زیادی پیام‌آور وضعیت بالادست است. گروه‌های زیادی نیاز به این داده‌ها دارند. از این اطلاعات می‌توان رابطه بین فرایندهای فرسایش حوزه و رسوب معلق را مطالعه کرد (۱۴). بنابراین بخش رسوب معلق در ارتباط نزدیک با تحقیقات فرسایش خاک قرار دارد (۲۷) و از اطلاعات آن می‌توان برای ارزیابی، اصلاح و بهبود مدل‌های برآورد رسوب و کمک به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در مورد تاثیر کاربری اراضی و استراتژی‌های کنترل آلودگی استفاده کرد. همچنین محاسبات حجم مرده مخازن ناشی از پرشدن مواد رسوبی و طراحی حوضچه‌های رسوب، عملیات رسوب‌زدایی و غیره همگی بر پایه اطلاعات رسوب شناسی حوزه استوارند (۶). چون در بسیاری از رودخانه‌ها بخش رسوب معلق قسمت اعظم بار کل رسوب را تشکیل می‌دهد و بار بستر بیشتر از فرسایش رودخانه‌ای ناشی می‌شود و به علت مشکلات عملی در اندازه‌گیری بار بستر تقریبا در تمام موارد، اندازه‌گیری رسوب مربوط به بار معلق می‌باشد. در تخمین صحیح و مقدار رسوب معلق مواردی همچون طرح نمونه‌برداری از غلظت (تکرار و الگوی نمونه‌گیری(۳)، وسعت حوزه، زمین شناسی منطقه، نوع روش استفاده شده برای برآورد بار حوزه (۲۰) شدت بارش، اقلیم، پوشش گیاهی، توپوگرافی و فعالیت‌های انسان (۲۲) مؤثر می‌باشند. اگر یک برنامه نمونه‌برداری فشرده، اطلاعات مفصلی فراهم کند که نشان دهنده مناسبی از تغییرات رسوب باشد، خطاها و عدم قطعیت‌های کمتری وجود خواهد داشت (۱۳). مطالعات متعددی در ارتباط با تاثیر استراتژی‌های مختلف نمونه‌گیری صورت گرفته است که نشان از اهمیت موضوع دارد (۷، ۲۰، ۱۹، ۲۵، ۱۰، ۲۶، ۲۵ و ۲۱). در رودخانه‌ها مقدار رسوب معلق تغییرات زمانی دارد و در اغلب موارد قسمت اعظم رسوبات فقط در چند روز از سال در خلال شرایط اوج سیلاب حمل می‌شوند. برای مثال رودخانه ایل در کالیفرنیا عرض یک سیل سه روزه به اندازه ۸ سال قبل رسوب حمل کرده است (۲۲). از آنجا که عمده رسوبات در دوره‌های سیلابی انتقال می‌یابد ضرورت دارد که به این مساله توجه دقیق‌تری مبذول شود (۶). بنابراین نمونه‌برداری از سیلابها اهمیت ویژه‌ای دارد. توماس[۱] (۱۹۸۵) بیان می‌کند که طرح نمونه‌گیری انتخابی در لیست زمان (SALT)[۲]، که تاکید بیشتری بر نمونه‌گیری از جریان‌های بالا دارد، مطلوب‌تر است. اندازه‌گیری و تخمین مقدار رسوب معلق رودخانه‌ها از سالیان گذشته مورد توجه بوده و روش‌های متفاوتی نیز برای برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها ابداع شده است که اغلب آنها بر اساس یک رابطه تجربی بین دبی جریان (Q_w) و دبی رسوب (Q_s) می‌باشد (۲۹). برای برقراری چنین رابطه‌ای نیاز به نمونه‌برداری جریان و رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری است که این کار اغلب به صورت دورهای انجام می‌شود. این رابطه معمولا به‌صورت یک رابطه نمایی ($Q_s = a\ Q_w^b$) تعریف می‌شود که منتج از منحنی‌سنجه رسوب است. پارامترهای منحنی‌سنجه (a و b) را از چندین روش شامل مدل‌های خطی و غیرخطی حداقل مربعات (نمایی) می‌توان به دست آورد. تخمین حاصل از مدل غیر خطی با استفاده از روش تکرار (بر اساس آزمون و خطا) به دست می‌آید، که همیشه به جواب نمی‌رسد(۴)، همچنین مقدار خطای باقیمانده نیز قابل محاسبه نمی‌باشد که همین امر باعث کاهش صحت می‌شود. به همین دلیل در محاسبه پارامترهای منحنی سنجه از روش خطی استفاده می‌شود. از مدل‌های خطی می‌توان به مدل لگاریتمی‌و مدل میانگین دسته‌ها اشاره کرد (۱۵). در روش خطی بایستی داده‌ها به حالت لگاریتمی‌تبدیل شوند. این تبدیل لگاریتمی‌باعث ایجاد اریبی در خط ترسیمی‌بر اساس حداقل مربعات می‌شود که

---

[۱]-Thomas

[۲]-Selecting at list time

به تخمین کمتر از مقدار واقعی منجر می‌شود (۸، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۹) که برای رفع آن افراد و سازمان‌های مختلف ضرایب تصحیحی مختلفی را ارایه کرده‌اند که به‌طور مثال می‌توان به فرگوسن[۱] (۱۹۸۶) و جونز و همکاران[۲] (۱۹۸۱) اشاره کردند که در مورد کارایی این ضرایب نتایج متفاوتی ارایه شده است (۱، ۸، ۹، ۱۲ و ۲۸) بنابراین در حال حاضر هیچ‌کدام از آنها قطعی نبوده و برای استفاده از آنها به مطالعات بیشتری نیاز است. در این مطالعه دو مورد اساسی در برآورد رسوب معلق توسط روش‌های برون‌یابی (منحنی سنجه رسوب) پرداخته شده است که عبارتند از ۱- نوع روش استفاده شده برای برآورد بار معلق حوزه ۲- طرح نمونه‌برداری از غلظت (تکرار و الگوی نمونه‌گیری). یکی از مهم‌ترین منابع خطا در برآورد بار معلق، از برنامه‌های نامناسب نمونه‌برداری ناشی می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه با توجه به آمار مفصل غلظت موجود در ایستگاه رسوب‌سنجی قزاقلی در حوزه آبخیز گرگانرود صورت گرفت. این ایستگاه با کد ۱۲-۰۲۳ براساس تقسیم‌بندی مرکز تحقیقات منابع آب (تماب) شناخته می‌شود. موقعیت ایستگاه در طول شرقی ′۰۰ °۵۵ عرض شمالی و ′ ۱۳ °۳۷، در ارتفاع ۳۰ متری از سطح دریا بر روی رودخانه گرگانرود در ورودی دریاچه سد وشمگیر، در نزدیکی دهکده قزاقلی واقع در ۱۳ کیلومتری گنبد قابوس می‌باشد. این ایستگاه در سال ۱۳۵۰ تأسیس شده و از همان سال دارای آمار جریان آب و رسوب می‌باشد. ایستگاه قزاقلی در خروجی حوزه آبخیزی به وسعت ۷۰۶۲ کیلومتر مربع واقع است مجهز به پل تلفریک، لیمنوگراف و دستگاه‌های اندازه‌گیری و نمونه‌برداری (به صورت نمونه برداری ۳ مقطعی، نمونه‌برداری از یک قائم ثابت، نمونه‌برداری از یک نقطه ثابت سطحی، نمونه برداری چند مقطعی) می‌باشد (مرکز تحقیقات و کاربرد مواد رادیواکتیو، ۱۳۵۴).

آمار موجود در ایستگاه

در حدود ۲۰۰۰ نمونه غلظت رسوب از تاریخ ۶۱/۷/۱ تا ۶۷/۱/۳۰ در ایستگاه قزاقلی توسط تماب اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است بعد از این تاریخ تعداد نمونه برداری در سال به شدت کاهش یافته است. اندازه‌گیری‌ها با فواصل زمانی نسبتاً کم به‌طوری که در روزهای دارای جریان حداقل یک نمونه و در مواقع سیلابی هر دو ساعت یکبار نمونه‌برداری انجام شده است. ابتدا داده‌ها به همراه دبی لحظه‌ای و تاریخ و ساعت نمونه‌برداری، وارد کامپیوتر شد. سپس کلیه داده‌ها چندین بار مورد بررسی قرار گرفتند تا از اشتباهات تایپی نیز جلوگیری شود. بعضی از داده‌های ناهمگون و غلط حذف شدند. نمودار تغییرات رسوب معلق و دبی رودخانه گرگانرود در محل ایستگاه قزاقلی در شکل (۱) آمده است، که نشان دهنده رژیم برفی- بارانی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق با ۲۶ روش نمونه‌گیری، نمونه‌هایی از جمعیت داده‌های فشرده غلظت گرفته شد و سپس توسط ۱۸ روش آماری مقدار بار معلق برآورد گردید و نتایج با مقدار بار معلق واقعی که از روش درون‌یابی به دست آمد، مقایسه شد. ذیلاً ویژگی‌های داده‌های پایه و روش‌های تجزیه و تحلیل ارایه شده است.

برنامه نمونه گیری از داده‌ها

۲۶ روش نمونه‌گیری در ستون‌های اول و دوم جدول (۱) ملاحظه می‌شود. این روش‌ها در سه دسته کلی قرار می‌گیرند.

الف) نمونه‌گیری بدون طبقه‌بندی جریان

به این منظور ۴ نمونه با تکرار ۱۰۴، ۵۲، ۲۶، و ۱۲ تایی در سال برداشت شد و مورد استفاده قرار گرفت که به ترتیب نشان دهنده نمونه‌گیری به صورت هفته‌ای دو نمونه، هفتگی، هر دو هفته یکبار و ماهیانه می‌باشند. هر یک از نمونه‌ها به سه روش سیستماتیک، تصادفی- سیستماتیک و تصادفی ساده تهیه شدند.

۱- Ferguson
۲- Jones *et al.*

جدول ۱-میزان خطای مربوط به کلیه روش‌های نمونه‌گیری به همراه روش‌های مختلف برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها (خطاهای کمتر از ۵ درصد در آن مشخص شده است)

		منحنی تداوم جریان												تلفیق آبدهی ماهانه و روزانه					
		یک خطی	دو خطی	حد وسط	روش فائو	CF[1]	CF[2]	یک خطی	دو خطی	حد وسط	روش فائو	CF[1]	CF[2]	یک خطی	دو خطی	حد وسط	روش فائو	CF[1]	CF[2]
بدون طبقه بندی جریان	هفته ای دو نمونه	-۰/۷۰	-۰/٤٤	-۰/۱۸	۰/۵۵	-۰/۲٦	۰/۹۳	-۰/٦٦	-۰/۳٦	-۰/۰۸	۰/۷٦	-۰/۱٦	۱/۲۰	-۰/٦۷	-۰/۳۱	-۰/۱۰	۰/۷۱	-۰/۱۸	۱/۱٤
	هفته ای یک نمونه	-۰/۷۲	-۰/۲٦	-۰/۲۷	۰/۵۱	-۰/۲٦	۱/۰۲	-۰/٦۸	-۰/۱۵	-۰/۱۷	۰/۷۳	-۰/۱٦	۱/۳۰	-۰/٦۹	-۰/۰٦	-۰/۱۸	۰/٦۹	-۰/۱۸	۱/۲٤
سیستماتیک	هر دو هفته یک نمونه	-۰/۷۱	-۰/۳۸	-۰/۲٦	۱/٤۲	-۰/۲٤	۰/۰۹	-۰/٦۸	-۰/۲۹	-۰/۱٦	۱/۷۵	-۰/۱٤	۰/۲٤	-۰/٦۸	-۰/۲٤	-۰/۱۸	۱/٦۸	-۰/۱٦	۰/۲۱
(با فواصل منظم زمانی)	ماهی یک نمونه	-۰/٦۵	***	-۰/٦۲	-۰/۰۲	۰/۰٤	۰/٤٤	-۰/٦۰	***	-۰/۵۸	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/٦٤	-۰/٦۱	***	-۰/۵۸	۰/۰۹	۰/۱٦	۰/٦۰
	انحراف معیار	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۵۸	۰/۱۱	۰/٤۳	۰/۰٤	۰/۱۱	۰/۲۳	۰/٦۸	۰/۰۲	۰/۵۰	۰/۰٤	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/٦٦	۰/۰۱	۰/٤۸
بدون طبقه بندی جریان	هفته ای دو نمونه	-۰/۷٤	-۰/۳۳	-۰/۱۷	۰/٦٤	-۰/۲۳	۱/۰۱	-۰/٦۹	-۰/۱۸	-۰/۰۵	۰/۹۱	-۰/۱۱	۱/۳۵	-۰/۷۰	-۰/۱۲	-۰/۰٦	۰/۸۷	-۰/۱۳	۱/۲۹
	هفته ای یک نمونه	-۰/۷۳	-۰/٤۲	-۰/٤۱	۰/۲۱	-۰/۲۳	۰/۵۵	-۰/٦۹	-۰/۳۵	-۰/۲۳	۰/۳۷	-۰/۱۲	۰/۷۷	-۰/۷۰	-۰/۳۰	-۰/۳٤	۰/۳٤	-۰/۱٤	۰/۷۲
تصادفی ـ سیستماتیک	هر دو هفته یک نمونه	-۰/٦۰	-۰/۳۹	-۰/۲٦	۰/۹۸	۰/۳۸	٤/۵۵	-۰/۵۵	-۰/۳۰	-۰/۱۷	۱/۲۵	۰/۵۷	۵/۳۲	-۰/۵٦	-۰/۳٦	-۰/۱۸	۱/۱۹	۰/۵۲	۵/۱۵
(در یک فاصله زمانی معین بصورت تصادفی)	ماهی یک نمونه	-۰/٦۱	۰/۲۵	۰/۰۲	۲/۳٤	-۰/۰۳	۰/۱٤	-۰/۵٦	۰/٤۳	۰/۱٦	۲/۸۰	۰/۱۱	۰/۲۹	-۰/۵۷	۰/٦۵	۰/۱۲	۲/٦۹	۰/۰۷	۰/۳٦
	انحراف معیار	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱٦	۰/۹۲	۰/۱٤	۲/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۲	۱/۰٤	۰/۲۳	۲/۳۰	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۱۲	۱/۰۱	۰/۵۱	۲/۳۳
بدون طبقه بندی جریان	(نمونه (در سال ۱۰٤	-۰/٦۳	-۰/۳٦	-۰/۱۵	۰/۹٦	۰/۰۷	۲/۷۹	-۰/۵۸	-۰/۲۷	-۰/۰٤	۱/۲۳	۰/۲۱	۳/۳۱	-۰/۵۹	-۰/۲۱	-۰/۰٦	۱/۱۷	۰/۱۸	۳/۲۰
	(نمونه (در سال ۵۲	-۰/٦۵	-۰/۳۹	-۰/۰۲	۱/۷٤	۰/۰۱	۲/۳۰	-۰/٦۰	-۰/۳۰	۰/۱۱	۲/۱۱	۰/۱۵	۲/۷٦	-۰/٦۱	-۰/۲٤	۰/۰۹	۲/۰۳	۰/۱۱	۲/٦۵
تصادفی ـ ساده	(نمونه (در سال ۳٦	-۰/۷۳	-۰/٤۸	-۰/٤٤	۰/۲۰	-۰/۲٤	۱/۵۳	-۰/۷۰	-۰/٤۱	-۰/۳۸	۰/۳٦	-۰/۱۳	۱/۸۷	-۰/۷۰	-۰/۳٦	-۰/۳۹	۰/۳۳	-۰/۱۵	۱/۸۰
(کل داده ها بصورت تصادفی - تعداد در سال)	(نمونه (در سال ۱۲	-۰/۷۲	۰/۰۷	-۰/۳٤	۲/۷٤	-۰/۲۵	۰/۳۷	-۰/٦۸	۰/۲۲	-۰/۲۵	۳/۲۵	-۰/۱٤	۰/۵٦	-۰/٦۹	۰/۰٦	-۰/۲۷	۳/۱٤	-۰/۱۷	۰/۵۲
	انحراف معیار	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۱۹	۱/۰۸	۰/۱۲	۱/۰۵	۰/۰٦	۰/۰۸	۰/۱۵	۱/۳۳	۰/۰٤	۱/۲۰	۰/۰٦	۰/۸۳	۰/۱٦	۱/۳۰	۰/۰۳	۱/۱۷
با طبقه بندی جریان	هفته ای دو نمونه	-۰/٦٦	-۰/۵۰	-۰/۱۲	۰/۵۹	-۰/۳۵	۱/۰۵	-۰/٦۱	-۰/٤۳	-۰/۰۱	۰/۸۱	-۰/۲٦	۱/۳۳	-۰/٦۲	-۰/٤۵	-۰/۰۲	۰/۸٦	-۰/۲۸	۱/۲۷
	هفته ای یک نمونه	-۰/٦۵	-۰/۳٦	-۰/۱۲	۰/۵٦	-۰/۱۹	۱/۱۷	-۰/٦۰	-۰/۲۷	۰/۰۰	۰/۷۸	-۰/۰۸	۱/٤۷	-۰/٦۲	-۰/۲۰	-۰/۰۲	۰/۷۳	-۰/۱۱	۱/٤۰
سیستماتیک بعلاوه ۳۰۰ نمونه	هر دو هفته یک نمونه	-۰/٦۲	-۰/۳۳	-۰/۱۳	۰/۷۸	-۰/۱٦	۰/۹۲	-۰/۵٦	-۰/۲۳	-۰/۰۱	۱/۰۲	-۰/۰٤	۰/۹۲	-۰/۵۸	-۰/۳۰	-۰/۰٤	۰/۹٦	-۰/۰۷	۰/۸٦
بالاتر از میانگین لگاریتمی داده ها	ماهی یک نمونه	-۰/۵۳	-۰/۲۷	-۰/۰۷	۰/۷۷	-۰/۰۱	۱/۳٦	-۰/٤۷	-۰/۱۷	۰/۰٤	۱/۰۲	۰/۱۳	۱/۵۸	-۰/٤۹	-۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۹۵	۰/۱۰	۱/۵۰
	انحراف معیار	۰/۰٦	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۱٤	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۲۹	۰/۰٦	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۲۸
با طبقه بندی جریان	هفته ای دو نمونه	-۰/٦۸	-۰/۷۷	-۰/۱۳	۰/٦۹	-۰/۰۹	۰/۸٦	-۰/٦۳	۱/۰۲	-۰/۰۲	۰/۹۲	۰/۰٤	۱/۱۱	-۰/٦٤	۱/۳٤	-۰/۰٤	۰/۸۷	۰/۰۱	۱/۰٦
	هفته ای یک نمونه	-۰/٦۸	-۰/٤۲	-۰/۱۵	۰/٦۹	-۰/۲۵	۰/۸۹	-۰/٦۳	-۰/۳٤	-۰/۰٤	۰/۹۳	-۰/۱۵	۱/۱۵	-۰/٦٦	-۰/۲۸	-۰/۰۵	۰/۸۱	-۰/۲۰	۱/۰۲
سیستماتیک بعلاوه۵۰ نمونه	هر دو هفته یک نمونه	-۰/٦۵	-۰/۳۰	-۰/۱۷	۰/۹۵	-۰/۲۳	۰/۳۸	-۰/٦۰	-۰/۲۰	-۰/۰٦	۱/۲۲	-۰/۱۲	۰/۵۷	-۰/٦۱	-۰/۱۳	-۰/۰۸	۱/۱٦	-۰/۱٤	۰/۵۲
از دبیهای بالا۰ ۲۵۰ نمونه از میانی	ماهی یک نمونه	-۰/۵۹	-۰/۳٤	-۰/۱۳	۰/۹۵	-۰/۱۱	۰/۷۱	-۰/۵۳	-۰/۲٤	-۰/۰۱	۱/۳۳	۰/۰۱	۰/۹۵	-۰/۵۵	-۰/۱۷	-۰/۰۳	۱/۱٦	-۰/۰۲	۰/۸۹
	انحراف معیار	۰/۰٤	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۳۸	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۰٦	۰/۳٦	۰/۰۵	۰/۵۸	۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۲٤
با طبقه بندی جریان	هفته ای دو نمونه	-۰/٦۱	-۰/۳۹	-۰/۱۲	۰/۷۰	-۰/۰۹	۱/۲۱	-۰/۵۵	-۰/۳۱	۰/۰۰	۰/۹٤	۰/۲۵	۱/۵۲	-۰/۵۷	-۰/۲٤	-۰/۰۲	۰/۸۸	۰/۲۱	۱/٤۵
	هفته ای یک نمونه	-۰/۵۹	-۰/۳۸	-۰/۱۲	۰/٦٤	-۰/۰۸	۱/۳۹	-۰/۵۳	-۰/۳۰	-۰/۰۱	۰/۸۷	۰/۰۵	۱/۷۲	-۰/۵۵	-۰/۲۳	-۰/۰۳	۰/۸۱	۰/۰۲	۱/٦٤
سیستماتیک بعلاوه۱۵۰ نمونه	هر دو هفته یک نمونه	-۰/۵۵	-۰/۳٤	-۰/۱۷	۰/٦۹	-۰/۰٦	۰/۹۷	-۰/٤۹	-۰/۲۵	-۰/۰٦	۰/۹۳	۰/۰۷	۰/۹۰	-۰/۵۰	-۰/۱۸	-۰/۰۸	۰/۸۷	۰/۰٤	۰/۸٤
از دبیهای میانی۰ ۱۵۰ نمونه از دبیهای بالا	ماهی یک نمونه	-۰/٤۸	-۰/۳۸	-۰/۰۹	۰/٦۱	-۰/۰۲	۱/۰٤	-۰/٤۱	-۰/۲۹	-۰/۰۲	۰/۸٤	۰/۱۷	۱/۳۲	-۰/٤۳	-۰/۲۳	-۰/۰۱	۰/۷۸	۰/۱۳	۱/۲٤
	انحراف معیار	۰/۰٦	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰٤	۰/۰۳	۰/۳۱	۰/۰٦	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۳۵	۰/۰٦	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۳٤

اعداد منفی (-) نشان دهنده تخمین کمتر از میزان واقعی است و اعداد مثبت برآورد بیش از میزان واقعی را نشان می دهند.

ب) نمونه‌گیری با طبقه بندی جریان

به این منظور با توجه به مطالعات گذشته و استفاده از نرم‌افزار SPSS توزیع داده‌ها، نرمال لگاریتمی به دست آمد. سپس دبی‌های بیش از (انحراف معیار + Q) جریان‌های بالا و دبی‌های کمتر از (انحراف معیار − Q) جریان‌های پایین و جریان‌های حد واسط این دو به نام جریان‌های میانی نامیده شدند. شکل (۲) نحوه طبقه‌بندی جریان را نشان می‌دهد. سپس ۳۰۰ نمونه اضافی از جریان‌های بالا و میانی به سه شیوه متفاوت زیر به داده‌های روش سیستماتیک افزوده شد.

-روش سیستماتیک به علاوه ۳۰۰ نمونه بالاتر از میانگین لگاریتم داده‌ها،

-روش سیستماتیک به علاوه ۵۰ نمونه از جریان‌های بالا به علاوه ۲۵۰ نمونه از جریان‌های میانی ،

-روش سیستماتیک به‌علاوه ۱۵۰ نمونه از جریان‌های بالا و ۱۵۰ نمونه از دبی‌های میانی.

ج) سایر نمونه‌ها

دو نمونه دیگر نیز به نمونه‌های فوق اضافه شد. نمونه اول کل جامعه آماری و نمونه دوم مرکب از داده‌های همزمان با نزدیکترین ایستگاه در نظر گرفته شدند. در ارتباط با نمونه دوم، بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده در ایستگاه ارازکوسه به عنوان نزدیکترین ایستگاه، آمار مشترک زمانی با ایستگاه قزاقلی انتخاب شد. این نمونه‌گیری به این علت انجام گرفت که نشان دهد در شرایط معمولی نمونه‌گیری، چه تغییری در مقدار برآورد رسوب معلق به وجود می‌آید.

روش‌های برآورد بار معلق

در این مطالعه از روش‌های برون‌یابی یا منحنی‌سنجه رسوب استفاده شد که در این روش‌ها تعداد محدودی از اندازه‌گیری‌های غلظت رسوب با برقراری رابطه بین غلظت یا دبی رسوب و دبی جریان آب و استفاده از آمار دبی جریان برای دوره زمانی مورد نظر برون‌یابی می‌شود. سازمان‌ها و محققین مختلف بر اساس منحنی سنجه رسوب، روش‌های متفاوتی را ارایه و به کار برده‌اند که فرق آنها یا از نظر اصلاحاتی است که بر روی منحنی سنجه رسوب انجام گرفته و یا در نحوه استفاده از آمار دبی جریان است.

الف) انواع منحنی سنجه رسوب:

۱- منحنی سنجه رسوب یک خطی: در این روش معمولا داده‌های غلظت یا دبی رسوب و دبی جریان متناظر آنها به یک محور مختصات تمام لگاریتمی منتقل شده و بهترین خط برازش با استفاده از روش حداقل مربعات از میان نقاط عبور داده می‌شود. بنابراین در این روش بدون توجه به نحوه پراکنش نقاط فقط یک خط از بین نقاط عبور داده می‌شود.

۲ - عبور دادن بیش از یک خط از بین نقاط: اگر وضعیت پراکنش نقاط اجازه دهد می‌توان به جای یک خط، دو یا سه خط از بین نقاط برازش داد. بنابراین در این حالت بیش از یک معادله برای منحنی سنجه رسوب وجود خواهد داشت، که در این مطالعه دو خطی و سه خطی برازش داده شدند. اما به علت برازش نامناسب در سه خطی این روش حذف شد.

۳ - روش حدوسط دسته‌ها: در این روش که آنرا برای اولین بار جانسون (۱۹۸۵) پیشنهاد کرده است دبی‌های جریان با یک نمو معین به تعدادی دسته تقسیم شده و برای دبی متوسط هر دسته، دبی رسوب متوسط اندازه‌گیری شده همان دسته تعیین می‌شود و در آخر منحنی سنجه رسوب با استفاده از آنها به دست می‌آید.

۴- ضریب اصلاحی فائو: در این روش که توسط جونز و همکاران[1] (فائو، ۱۹۸۱) تشریح شده است، ابتدا بهترین خط را با معادله (۱) به روش حداقل مربعات به مقادیر لگاریتمی(نه مقادیر واقعی) برازش می‌دهند.

$$Qs = aQ_w^b \qquad (1)$$

ولی از معادله فوق که از نقاط میانگین‌های $\log Q_s$ و $\log Q_w$ عبور می‌کند استفاده نمی‌شود و به جای آن معادله خطی موازی که از میانگین‌های Q_s و Q_w متناظر با آن می‌گذرد به کار می‌رود. بنابراین معادله جدید به صورت زیر خواهد بود.

۱-Jones *et al.*

$$a' = \overline{Q}_s / \overline{Q}_w^b \quad (۲)$$

مقدار a' از تقسیم میانگین‌های Q_s و Q_w متناظر اندازه‌گیری شده به دست می‌آید.

۵- ضریب اصلاحی پارامتری: برای اصلاح اثر تبدیل لگاریتمی، توماس (۱۹۸۵) به نقل از میلر[1] (۱۷) ضریب اصلاحی زیر را پیشنهاد کرده است:

$$CF_1=EXP\ [2.65S^2] \quad (۳)$$

که در آن S اشتباه استاندارد برآورد منحنی سنجه رسوب در لگاریتم پایه ۱۰ بوده و از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$S^2=\sum (\log_{Ci}- \hat{\log}_{Ci}) /(n-2)^2 \quad (۴)$$

n: تعداد نمونه‌های غلظت،

$\log_{Ci}$: لگاریتم مقدار مشاهده‌ای غلظت،

$\hat{\log}_{Ci}$: لگاریتم مقدار برآوردی غلظت .

۶ - ضریب اصلاحی غیر پارامتری: کخ و اسمیلیه[2] (۱۹۸۶) با رد توزیع نرمال خطاهای باقیمانده، ضریب اصلاحی غیرپارامتری را برای حذف اریبی داده‌ها توصیه کرده‌اند که از رابطه‌های (۵) و (۶) قابل محاسبه است:

$$CF_2 = 1/n\ \Sigma 10^{\varepsilon I} \quad (۵)$$

$$\varepsilon I= \log_{Ci} - \hat{\log}_{Ci} \quad (۶)$$

ضرایب اصلاحی پارامتری و غیر پارامتری نیز همانند ضریب اصلاحی فائو به‌صورت ضریبی برای معادله (۱) به کار می‌روند.

ب) روش‌های استفاده از دبی جریان:

۱-منحنی تداوم جریان: در این روش با استفاده از آمار روزانه دبی جریان، منحنی تداوم جریان تهیه شده و سپس محور احتمال (درصد زمان برابر یا بیشتر) به تعدادی دسته تقسیم شده و دبی متناظر حد وسط هر یک از این دسته‌ها و درصد احتمال آنها برای برآورد بار معلق به کار می‌روند.

۲- دبی متوسط روزانه: در این روش دبی متوسط جریان به‌طور مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳- دبی ماهانه: در بسیاری از موارد آمار جریان روزانه ناقص می‌باشد. در چنین حالاتی می‌توان دبی ماهانه را به سهولت بر اساس آمار ایستگاه‌های مجاور برآورد کرد. برای تخمین رسوب معلق ماهانه لازم است منحنی سنجه بین دبی و رسوب ماهانه تهیه شود (جاماب ۱۳۶۸). جاماب روشی برای این منظور معرفی کرده است که در این مطالعه برای هریک از روش‌های ۶ گانه تهیه منحنی سنجه رسوب به‌طور جداگانه استفاده شده است.

به این ترتیب از تلفیق ۶ نوع منحنی سنجه رسوب و ۳ روش استفاده از دبی جریان جمعا ۱۸ روش، با در نظر گرفتن ۲۶ نمونه‌گیری متفاوت جمعاً ۴۶۸ تخمین از رسوب معلق به دست آمد. طرح کامل روش‌های نمونه‌گیری و روش‌های برآورد رسوب معلق در جدول (۱) آمده است. به عنوان مثال تلاقی روش "یک خطی- تداوم" با "نمونه‌گیری بدون نمونه‌های اضافی - سیستماتیک" مبین برآورد بار معلق ایستگاه از طریق تلفیق منحنی سنجه رسوب یک خطی و منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های مربوط به روش نمونه‌گیری سیستماتیک بدون نمونه‌های اضافی است.

محاسبه رسوب معلق واقعی

با توجه به آمار مناسب موجود، رسوب معلق اندازه‌گیری شده در هر لحظه نماینده رسوب عبوری در یک بازه زمانی در نظر گرفته شده است (به علت فاصله زمانی کم اندازه‌گیری‌ها به ویژه در سیلاب‌ها).

برای محاسبه مقدار رسوب معلق در هر بازه زمانی اگر t_1 ابتدای بازه زمانی و t_2 انتهای آن باشد، از رابطه (۷) استفاده شد:

$$Qs_{t2-t1} = (Qs_1 + Qs_2)/2 * (t_2 - t_1) \quad (۷)$$

Q_{s1} = مقدار رسوب معلق در لحظه t_1 (تن در ثانیه)،

Q_{s2}= مقدار رسوب معلق در لحظه t_2 (تن در ثانیه)،

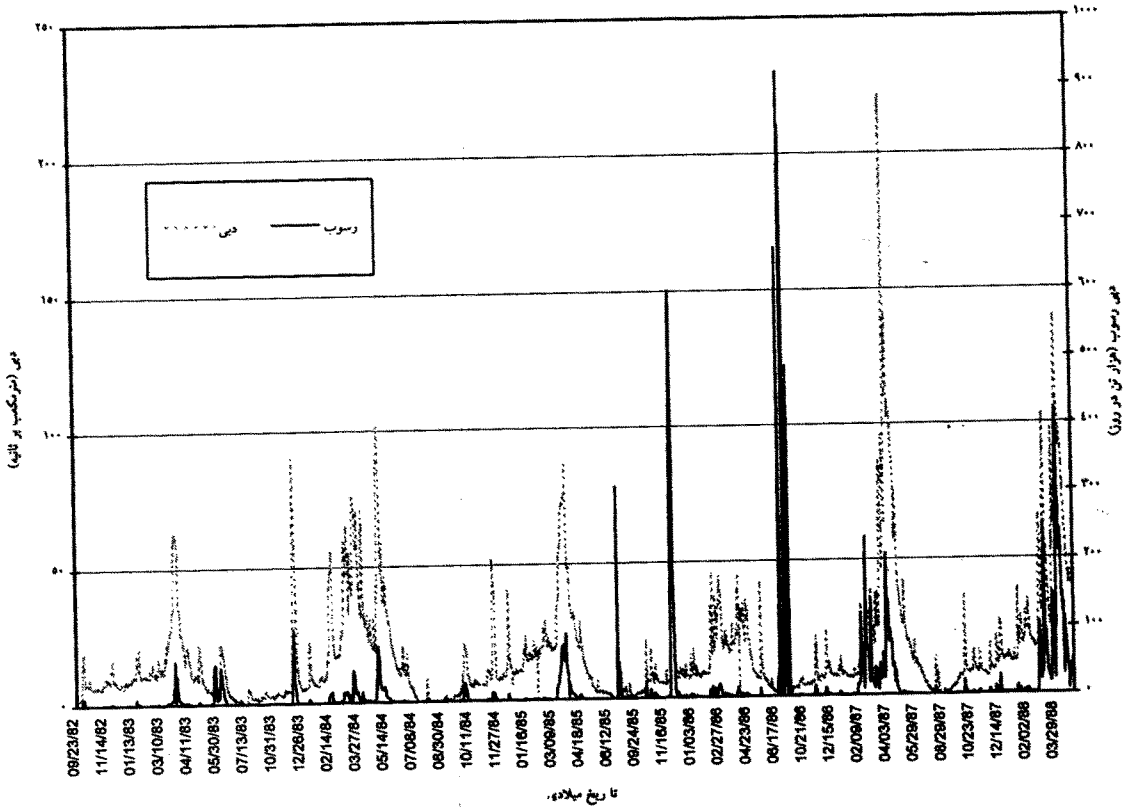
$(t_2 - t_1)$: اختلاف زمانی دو اندازه‌گیری باهم (ثانیه).

مجموع کل رسوب بازه‌های زمانی در طول دوره آماری مقدار رسوب کل را می‌دهد.

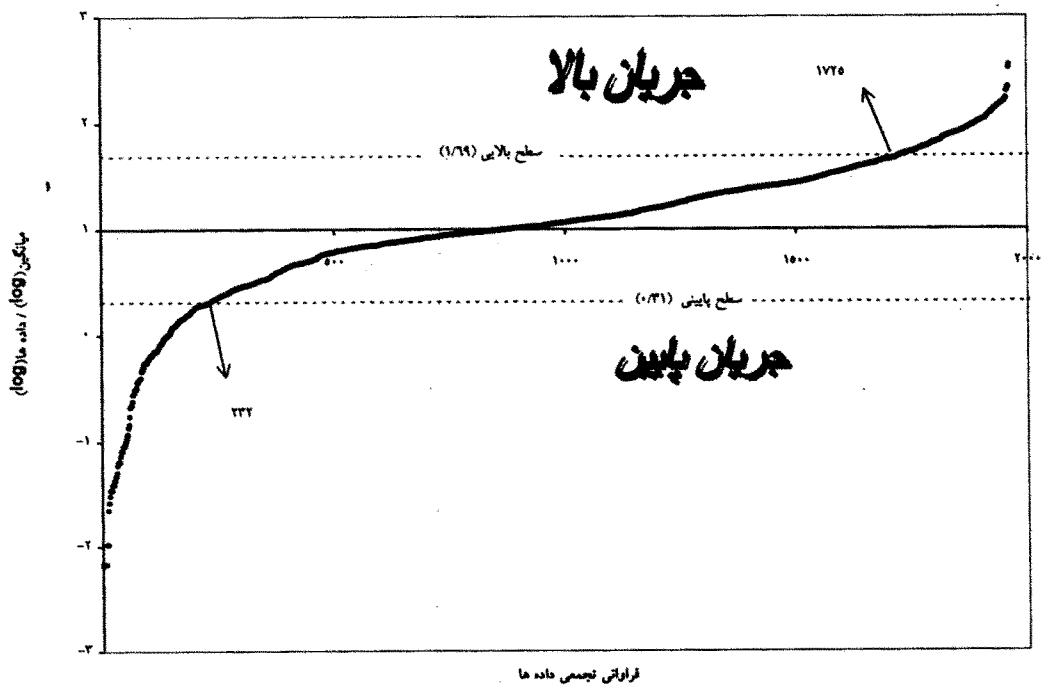
---

[1]- Miller

[2]- Kock & Smillie



شکل ۱- خصوصیات رژیم رسوب معلق رودخانه گرگانرود از تاریخ ۶۱/۷/۱ تا ۶۷/۲/۱۵ (ایستگاه قزاقلی)



شکل ۲- پراکندگی داده‌های لگاریتمی دبی (بدون بعد) در اطراف میانگین رودخانه گرگانرود از تاریخ ۶۱/۷/۱ تا ۶۷/۲/۱۵ (ایستگاه قزاقلی)

نحوه محاسبه مقدار خطای هر روش

محاسبه مقدار خطا (e_i) از روش انحراف نسبی استاندارد شده مطابق معادله (۸) انجام گرفت.

$$e_i = (Qs_{act} - Qs_{est}) / Qs_{act} \qquad (8)$$

Qs_{act}: مقدار واقعی رسوب معلق

Qs_{est}: مقدار برآوردی رسوب معلق

علاوه بر محاسبه مقدار خطای هر روش، نتایج بر اساس روش نمونه‌گیری گروه‌بندی شدند. بر این اساس نمونه‌ها به ۶ دسته با ۴ تکرار تقسیم شدند.

روش ارزیابی نتایج

مجموع قدر مطلق خطاها و انحراف معیار هر گروه محاسبه شد. هر چه مقدار خطای روش‌ها به صفر نزدیکتر باشد، صحت بالاتر می‌رود یعنی برآورد حاصله به واقعیت نزدیکتر است، در صورتی که انحراف معیار نشان دهنده دقت است که هر چه کمتر باشد، در نتیجه مشاهدات تکرار شده تقریباً با هم برابر می‌شوند و پراکندگی کمتری خواهند داشت. بهترین روش، روشی است که قدر مطلق خطا و انحراف معیار کمتری داشته و یا به عبارت دیگر صحت و دقت بالاتری داشته باشد.

نتایج

برآورد رسوب معلق واقعی از رابطه (۷) ۱۸،۹۰۸،۹۰۸ تن در طول دوره آماری به دست آمد که بقیه روش‌ها با این مقدار مقایسه شدند.

مقدار خطا و انحراف معیار ۱۸ روش برآورد بار معلق به طور خلاصه و به تفکیک طرح نمونه‌گیری و دسته‌بندی داده‌ها در جدول (۱) آمده است. تمام روش‌هایی که خطای آنها کمتر از ۵ درصد می‌باشد با رنگ خاکستری مشخص شده‌اند. همان طور که مشاهده می‌شود، در نمونه‌های با طبقه‌بندی جریان این موارد بیشتر بوده که مربوط به روش‌های حد وسط دسته‌ها- ماهانه و حد وسط دسته‌ها- روزانه می‌باشد. این گونه موارد در گروه بدون طبقه‌بندی جریان بسیار کمتر است که نشان دهنده اهمیت نمونه‌های اضافی می‌باشد. پراکندگی روش‌های با خطای کمتر از ۵ درصد در بدون طبقه‌بندی نیز قابلیت اعتماد به این روش‌ها را کاهش می‌دهد و ممکن است این موارد در اثر شانس و تصادف بوده باشند. از طرفی از ۱۰۸ گروه طبقه‌بندی شده، ۲۸ گروه دارای مجموع خطای کمتر از ۸۰ درصد (به‌طور متوسط ۲۰ درصد برای هر برآورد) می‌باشد که ۱۸ مورد با طبقه‌بندی جریان و ۱۰ مورد بدون طبقه‌بندی جریان هستند. ۱۰ مورد نیز دارای مجموع خطای گروهی کمتر از ۴۰ درصد (به‌طور متوسط ۱۰ درصد خطا در هر مورد) بودند که همگی جزء روش با طبقه‌بندی جریان می‌باشند. همچنین مقایسه انحراف معیار گروه‌های بدون طبقه‌بندی با گروه‌های با طبقه‌بندی جریان نشان می‌دهد که با اضافه کردن نمونه‌هایی از جریانات بالا انحراف معیار کاهش یافته است. از سوی دیگر مقایسه نمونه‌گیری بدون طبقه‌بندی جریان ـ سیستماتیک با نمونه‌گیری با طبقه‌بندی جریان ـ سیستماتیک حتی با تعداد نمونه برابر، تاثیر گرفتن نمونه‌های اضافی از جریانات بالا را بر مقدار انحراف معیار نشان می‌دهد. شکل‌های (۳) و (۴) تاثیر روش‌های مختلف نمونه‌گیری بر خطای برآورد رسوب را به ترتیب در دو روش بدون طبقه‌بندی و با طبقه‌بندی جریان نشان می‌دهند. همان طور که ملاحظه می‌شود طبقه‌بندی جریان حتی تا چند برابر خطای برآورد رسوب روش‌های متناظر را کاهش داده است.

در شکل (۳) تمام روش‌های برآورد رسوب بدون طبقه‌بندی جریان به تفکیک سه شیوه نمونه‌گیری حتی‌الامکان بر حسب مقدار خطا از کم به زیاد مرتب شده‌اند. ملاحظه می‌شود که کمترین خطاها مربوط به روش CF_1 و پس از آن حد وسط دسته‌ها با استفاده از روش‌های مختلف استفاده از دبی می‌باشند که مجموع خطاهای آنها تقریباً با هم برابر و در دامنه ۰/۶ تا ۱/۲ قرار می‌گیرد. برآورد رسوب توسط منحنی سنجه یک خطی دارای خطای قابل ملاحظه‌ای است که به‌طور متوسط ۶۵ درصد کمتر از مقدار واقعی می‌باشد. در صورتی که این روش، کمترین انحراف معیار را در بین روش‌های برآورد رسوب به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین دارای صحت پایین ولی دقت بالایی است. منحنی سنجه دو خطی (عبور بیش از یک خط) باعث بهبود برآوردها (در حدود $\frac{2}{3}$ بار

واقعی) نسبت به روش منحنی سنجه یک خطی شده است و با توجه به انحراف معیار آن، دقت قابل قبول است. روش‌های فائو و CF_2 دارای بیشترین خطا و انحراف معیار هستند بنابراین کمترین صحت و دقت را دارند.

در شکل (۴) که مربوط به روش‌های با طبقه‌بندی جریان است نیز خطای برآورد رسوب توسط منحنی سنجه یک خطی و دوخطی با شیوه‌های مختلف استفاده از دبی، تقریباً همانند نمونه‌گیری بدون طبقه‌بندی جریان می‌باشد. همانند روش بدون طبقه‌بندی جریان استفاده از منحنی سنجه با ضرایب اصلاحی فائو و CF_2 دارای بیشترین خطا و انحراف معیار در بین ۱۸ روش هستند. با اینکه طبقه‌بندی جریان باعث کاهش قابل ملاحظه انحراف معیار و کاهش مقدار خطا شده است، ولی باز هم این دو روش دارای کمترین صحت و دقت در بین روش‌های دیگر می‌باشند. کمترین خطاها مربوط به روش حد وسط ـ روزانه و حد وسط ـ ماهانه با مجموع خطای کمتر از ۲۰ درصد و پس از آن حد وسط ـ تداوم و ترکیبات سه‌گانه CF_1 با شیوه‌های مختلف جریان می‌باشد که مجموع خطایی معادل ۰/۴ تا ۰/۷ را نشان می‌دهند. به این ترتیب می‌توان گفت که روش استفاده از منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها در تمامی موارد برآوردهای بسیار مناسبی را با خطا و انحراف معیار بسیار پایین ارایه داده است که نشان دهنده صحت و دقت بالای این روش است و پس از آن روش CF_1 قرار دارد.

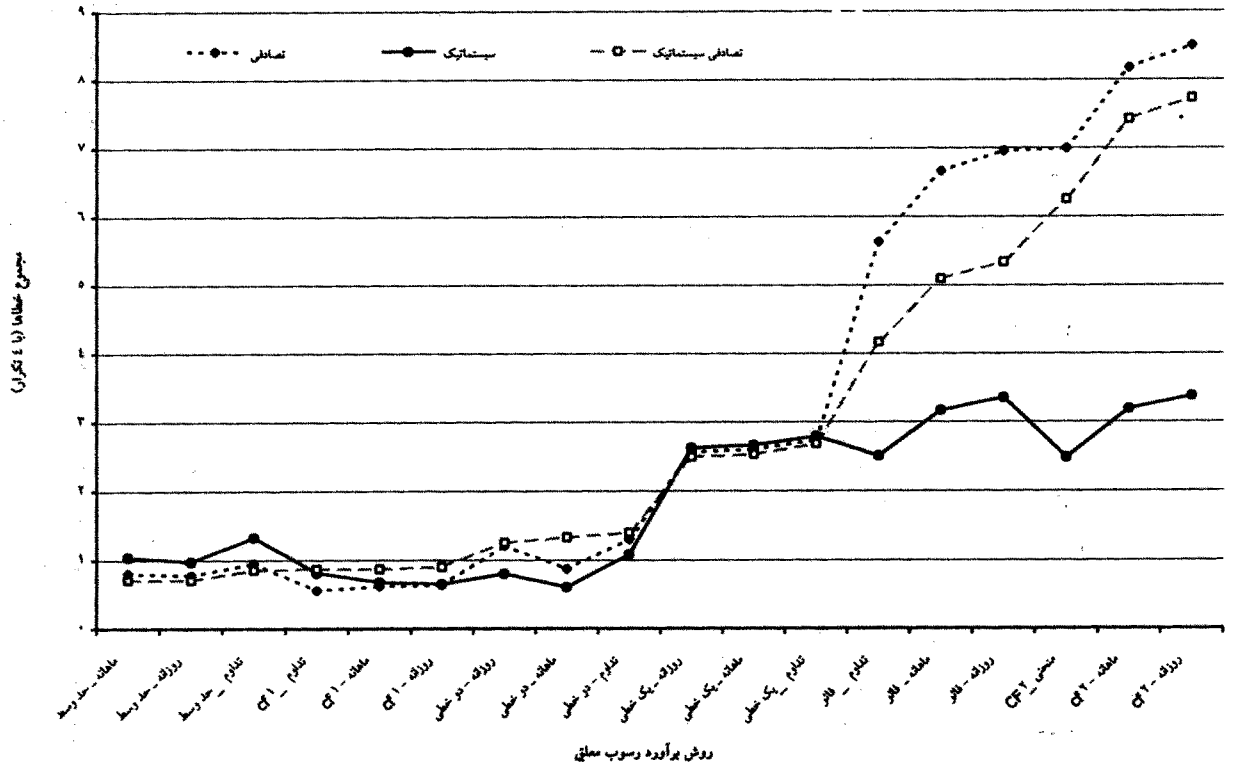
بررسی اثر شیوه استفاده از داده جریان در مقایسه با نوع منحنی سنجه بر مقدار خطای ایجاد شده از هر روش، نشان می‌دهد که اثر نوع منحنی سنجه بیشتر می‌باشد. زیرا در اغلب موارد سه نحوه استفاده از جریان در ترکیب با نوع خاصی از منحنی سنجه، مجموع خطای مشابهی را نشان داده‌اند که در شکل‌های (۳) و (۴) مشخص است. به طور کلی در اکثر موارد دبی روزانه و ماهانه نتایج نزدیکتری داشته‌اند. روش تداوم جریان در تلفیق با حد وسط دسته‌ها ضعیف‌ترین نتیجه را نسبت به ماهانه و روزانه و در تلفیق با CF_1 بهترین نتیجه را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

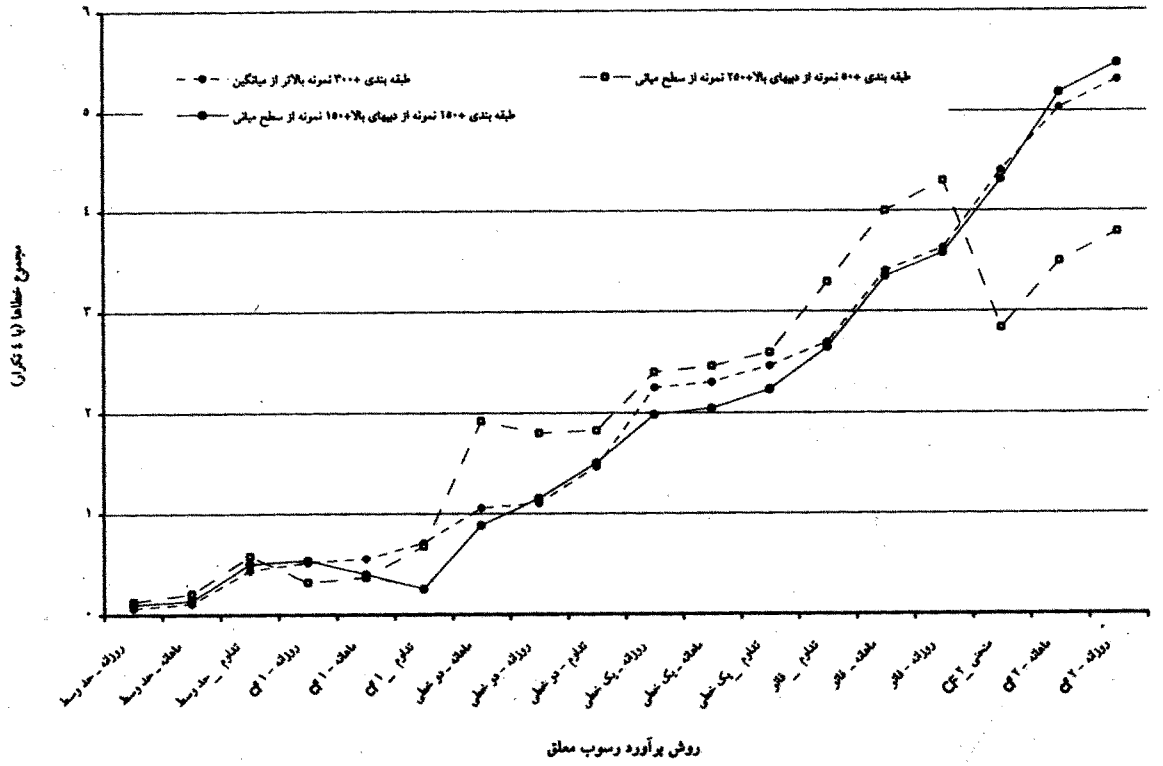
بهترین روش برآورد بار معلق، برآورد مستقیم است که نیاز به وجود آمار مفصلی از غلظت و دبی جریان دارد، اما اغلب موارد این آمار موجود نمی‌باشد. در این حالت از روش‌های برآورد غیر مستقیم استفاده می‌شود. در حال حاضر از روش منحنی سنجه رسوب به علت سادگی و نیاز به تعداد نمونه کمتر، به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. روش معمول برآورد رسوب معلق منحنی تداوم جریان ـ منحنی‌سنجه می‌باشد، اما طبق تحقیقات مشخص شده که این روش مقدار بار معلق را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند، به همین علت محققین و سازمان‌های مختلف، روش‌ها و ضرایب اصلاحی متفاوتی را پیشنهاد کرده‌اند. بعضی از آنها مانند جونز و همکاران (۱۹۸۱)، فرگوسن (۱۹۸۶) وکخ و اسمیلیه (۱۹۸۶) عامل اصلی برآورد کمتر روش مذکور را تبدیل لگاریتمی ذکر کرده و برای اصلاح آن ضرایبی پیشنهاد کرده‌اند که این سه ضریب در این مطالعه مورد مقایسه قرار گرفتند. جانسون (۱۹۹۶) عامل اصلی برآورد کمتر را تعداد زیاد نمونه‌های رسوبی در دبی‌های پایه ذکر کرده و روش همبستگی حد وسط دسته‌ها را پیشنهاد کرده است که در این روش ارزش بیشتری به دبی‌های بالا داده می‌شود و در ضمن چون در این روش تعداد نمونه‌ها به حداقل رسیده است، خطای ناشی از تبدیل لگاریتمی‌که به پراکنش و تعداد نقاط بستگی دارد نیز تا حدود زیادی کاهش می‌یابد. به‌طور کلی منابع خطا در برآورد رسوب معلق متفاوت می‌باشد که دو مورد بسیار مهم آن نوع روش برآورد بار معلق و برنامه نمونه‌برداری در این مطالعه مورد ملاحظه قرار گرفتند که نتایج آن به‌طور خلاصه به شرح زیر می‌باشد.

۱- استفاده از منحنی سنجه یک‌خطی و دوخطی به علت خطای قابل توجه در برآورد کمتر از مقدار واقعی و ضرایب اصلاحی CF_2 و فائو به علت خطای قابل توجه در برآورد بیش از مقدار واقعی و همچنین انحراف معیار بسیار بالا، روش‌های مناسبی برای برآورد بار معلق نمی‌باشند.

۲- روش معمول برآورد بار معلق یعنی استفاده از منحنی تداوم جریان ـ منحنی سنجه، برآوردی کمتر از مقدار



شکل ۳- تاثیر روش‌های مختلف نمونه‌گیری (بدون طبقه‌بندی جریان) در برآورد رسوب معلق با استفاده از روش‌های مختلف



شکل ۴- تاثیر روش‌های مختلف نمونه‌گیری (با طبقه‌بندی جریان) در برآورد رسوب معلق بااستفاده از روش‌های مختلف

واقعی ارایه می‌دهد و روش ماهانه ـ منحنی سنجه و حد وسط دسته‌ها ـ منحنی سنجه، جواب‌های نزدیک به هم می‌دهند که تقریباً در اغلب موارد روش حد وسط دسته‌ها ـ منحنی سنجه جواب مناسب‌تری داده است.

۳- در نمونه‌گیری بدون طبقه‌بندی جریان، ضریب حد وسط دسته‌ها و CF_1 و در جائی که نمونه‌گیری‌ها فشرده‌تر هستند (یعنی یک و یا دو نمونه در هفته) روش حد وسط دسته‌ها ـ روزانه جواب مناسب‌تری را نسبت به بقیه موارد نشان دادند. همچنین در نمونه‌گیری‌های هر دو هفته یک بار و یا ماهیانه، بخصوص با نمونه‌برداری تصادفی ـ سیستماتیک، روش منحنی سنجه با ضرایب اصلاحی CF_1 ـ روزانه بهترین جواب را می‌دهد.

۴- در نمونه‌گیری با طبقه‌بندی جریان، روش حد وسط دسته‌ها ـ روزانه بهترین جواب را ارایه می‌دهد.

۵- حدود ۵۵ درصد از بار رسوبی در کمتر از ۳ درصد زمانی حمل شده است که نشان دهنده اهمیت رویدادهای سیل و نمونه‌برداری از غلظت آنها می‌باشد. بیشترین مقدار رسوب در ماه فروردین انتقال می‌یابد.

۶- پیشنهاد می‌شود برنامه‌های خاصی برای نمونه‌گیری از سیلاب‌ها در وزارت نیرو تنظیم شود. در این ارتباط استفاده از دستگاه‌های نمونه‌برداری اتوماتیک و یا گل‌آلودگی‌سنج‌ها را می‌توان پیشنهاد نمود.

تقدیر و تشکر

اعتبار لازم برای اجرای این تحقیق از طریق پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در قالب طرح تحقیقاتی با عنوان "مقایسه چند روش آماری برآورد بارمعلق در یک حوزه با رژیم برفی- بارانی" با کد ۱۵-۰۵۰۰۰۳۵۰۰۰-۷۹ تامین شده است که به این وسیله از فرصت ایجاد شده سپاسگزاری می‌شود.

منابع

۱- مرکز تحقیقات و کاربرد مواد رادیواکتیو، ۱۳۵۴. گزارش یکساله از فعالیت‌های تحقیقاتی در مورد رسوبات سد وشمگیر(سال ۵۳-۱۳۵۲)، سازمان انرژی اتمی‌ایران، ۶۷ ص.

۲- جاماب (شرکت مهندسی مشاور)، ۱۳۶۸. طرح جامع آب کشور، گزارش حوزه آبریز دریاچه ارومیه، وزارت نیرو، ص ۳۲۸.

۳- سرایی، ح.، ۱۳۷۲. مقدمه‌ای بر نمونه‌گیری در تحقیق، انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها، ۲۵۶ ص.

۴- عرب خدری، م. ش. حکیم خانی و ع. ولی خوجینی ،۱۳۷۷. ضرورت تجدید نظر در روش متداول برآورد بار معلق رودخانه‌ها. مجموعه مقالات پنجمین سمینار مهندسی رودخانه، انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز، ص ۴۳۸-۴۲۹.

۵-عرب خدری ،م. و ح. عبداللهی، ۱۳۸۰. اثر به کارگیری آبنمود سیلاب‌ها در برآورد بار معلق، مجموعه مقالات همایش مدیریت اراضی ـ فرسایش خاک و توسعه پایدار، اراک، ص۲۱۸-۲۰۵.

۶-علیزاده، ا.، ۱۳۷۶. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، چاپ دوم، ص ۶۲۰.

7-Asselman, N.E.M., 2000. Fitting and Interpretation of Sediment Rating Curves, Journal of Hydrology, 234: 228 –248.

8-Chon, T.A, L.L. Delong, E.J. Gilroy, R.M. Hirsch, and D.K. Wells, 1989, Estimating Constituent Loads, Water Resources Research, 25(5), 937 -942.

9-Crawford, C.G, 1991. Estimation of Suspended Sediment Rating Curves and Mean Suspended Sediment Loads, Journal of Hydrology, 129: 331-348.

10-Dickinson.W.T., 1981. Accuracy and Precision of Suspended Sediment Loads, in: Erosion and Sediment Transport Measurement (Proc of Florence Symposium. June 1981) 195 -202, IAHS Public. No 133.

11-Jones, et al., 1981. Arid zone Hydrology For Agricultural Development. FAO, 153 -156
12-Ferguson, R.I., 1986. River Loads Underestimated by Rating Curves, Water Resources Research, 22(1) 74 -76.
13-Hadley, R.F., LAL, R. Onstad, C.A, D.E. Walling, & A. Yair, 1985. Recent Developments in Erosion And Sediment Yield Studies, UNESCO, Paris, 127p.
14-Hicks, D.M, B. Gomez & N.A. Trustrum, 2000. Erosion Thresholds and Suspended Sediment Yields, Waipaoa River Basin, New Zealand, Water Resources Research, 36(4) 1129 -1142.
15-Jansson, M.B., 1996. Estimating Sediment Rating Curves of the Reventazon River at Palomo Using Logged Mean Loads Within Discharge Classes, Journal of Hydrology, 183(4) 227 -241.
16-Koch, R.W., and G.M. Smillie, 1986. Comment on "River Loads Underestimated by Rating Curves" by R.I. Ferguson, Water Resources Research, 22(13) 2121 -2122.
17-Miller, C.R., 1951. Analysis of Flow Duration Sediment Rating Curve, Method of Computing Sediment Yield, Report, 55 pp., U.S. Bur. Of Reclam, Washington, D.C.
18-Olive, L.J. and W.A. Reiger, 1992. Stream Suspended Sediment Transport Monitoring – Why, How and What IS Being Measured? IAHS Public, No: 210.
19-Picouet. C., B. Hingray, J.C. Olivery, 2001. Empirical and Conceptual Modeling of the Suspended Sediment Dynamics in a Large Tropical African River: the Upper Niger River Basin, Journal of Hydrology, 250: 19 -39.
20-Richards, R.P., and J. Holloway, 1987. Monte Carlo Studies of Sampling Strategies for Estimating Tributary Loads. Water Resources Research, 23(10) 1939 - 1483.
21-Robertson. D.M. & E.D. Roerish, 1999,Influence of Various Water Quality Sampling Strategies on Load Estimates for Small Streams, Water Resources Research, 35(12) 3747-3759.
22-Syvitski, J.P., M.D. Morehead, D.B. Bahr & T. Mulder, 2000, Estimating Fluvial Sediment Transport: the Rating Curve Parameters, 36(9) 2747 – 2760.
23-Thomas, R.B., 1991. Systematic Sampling for Suspended Sediment, Fifth Federal Interagency Sedimentation Conference Advisory Committee on Water Data, Las Vegas, Federal Energy Regulatory Commission, 2-17 to 2 -24.
24-Thomas, R.B. 1985. Estimating Total Suspended Sediment Yield With Probability Sampling, Water Resources Research.21: 1381 -1388.
25-Thomas, R.B. and J. Lewis, 1993. A Comparison of Selection at List Time and Stratified Sampling for Estimating Suspended Sediment Loads. Water Resource Research, 19: 1247-1256.
26-Thomas, R.B. & J. Lewis, 1995. An Evaluation of Flow - Stratified Sampling for Estimating Suspended Sediment Loads, Journal of Hydrology, 170: 27 -45.
27-Walling, D.E., 1994. Measuring Sediment Yield From River Basins, in: R. Lal (Edd.), Soil Erosion Research Methods, Soil and Water Conservation Society. Pub 1,2nd edition, 39 -83.
28-Walling, D. E. and B. W. Webb, 1988. The Reliability of Rating Curve, Estimates of Suspended Sediment Yield: Some Further Comments, IAHS, Public, 174: 337 -350.
29-Walling, D.E., and B.W. Webb, 1981. The Reliability Of Suspended Sediment Load Data, In: Erosion and Sediment Transport (Proc. of Florence Symp. June 1981), IAHS. Public, 133: 177 - 194.

A Comparison of Methods of Estimation of Suspended Sediment in Rivers

M. R. Mirzaei[1] M. Arab-Khedri[2] S. Feiznia[3] H. Ahmadi[4]

Abstract

There presently exists a great need for information in regard to an understanding of why and the extent by which sediments are carried in water through rivers. This information is indispensable in an evaluation of: rate and pattern of erosion; physical and chemical weathering; sediment transport from the higher to lower slopes in a watershed; water pollution (particularly non local pollutions); sediment balance determination, and finaly proper management of catchment basins. Sediment discharge is many times a good criterion for evaluation of basin's yearly erosion.

Numerous methods have been presented for evaluation of suspended sediments but the results widely differ from each other. The most important impediment, however in all these methods of evaluation is a lack of dependable observational data. Availability of rather consolidated and consistent data in the hydrometric station of Gazogly located on the upper elevations of voshmgir Dam, Gorganrud catchment basin provided the means to determine the accuracy and precision of the evaluation methods in suspended sediment surveys. By use of different ways of "systematic, random-systematic and plain systematic" along with varied yearly frequencies (12, 26, 25, 104), and by taking into account flow classification, sampling was made from a population of observational data.

Suspended sediment was then determined for any one of the samples by 21 different methods (different with regard to rating curve and /or discharge). Finally, after calssification of the methods and by use of the two parameters of standard deviation of errors and evaluated error relative to consolidated observational data, the diffeent methods were compared. Results indicated that the method of "a combination of average daily discharge with the rated curve of calssess, (group's) median" was of more accuracy and precision, and therefore selected as the most proper method. Also in this method of sediment evaluation, randomized systematic sampling responded in a more appropriate way than the others. Altogether, the method of sampling from classified flow together with additional readings of high and medium flows reduces the error to and extent of 50% as compared to sampling method devoid of grouping (classification).

Keywords: Sediment Rating Curve, Mean load within discharge classes, Parametric correction factor, Sampling, Daily discharge .

[1] -*Senior Expert, Watershed management. (E_mail: mrmgh-Mirzaei@yahoo.com)*
[2] -*Research Instractor, soil conservation and Watershed Management Research Institute*
[3] -*Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran*
[4] -*Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran*