

مناسب ترین روش آماری برآورد رسوب معلق رودخانه جاجرود (مطالعه موردی: ایستگاه رودک حوزه آبخیز جاجرود)

حسن احمدی^۱، آرش ملکیان^۲، رقیه عابدی^{۳*}

چکیده

مواد رسوبی که توسط رودخانه‌ها حمل می‌شوند مشکلات بسیاری را بوجود می‌آورند مانند: رسوبگذاری در مخازن و کاهش ظرفیت مخزن، ایجاد جزایر رسوبی در مسیر رودخانه‌ها، تخریب سازه‌های رودخانه‌ای، انتقال آلودگی، لذا برآورد دقیق میزان رسوب در مسائلی نظیر امور مهندسی رودخانه، طراحی مخازن، انتقال رسوب، تعیین خسارتهای ناشی از رسوبگذاری به محیط زیست و تعیین تأثیرات مدیریت آبخیز کاملاً ضروری است. با توجه به اینکه اندازه گیری رسوب رودخانه‌ها به طور محدود و معدود انجام می‌شود و فقدان آمار مشاهده‌ای قابل اعتماد در حوضه‌ها، جهت برآورد بار رسوب رودخانه‌ها در مواقع نیاز از معادلات تجربی استفاده می‌شود. در ایستگاه رودک به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش آماری برآورد رسوب معلق (روشهای آماری از روشهای تجربی محسوب می‌شوند) داده های متناظر دبی جریان-دبی رسوب در طی دوره آماری ۱۳۵۱-۱۳۸۷ جمع آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با برقراری رابطه بین مقادیر دبی آب و دبی رسوب بر اساس ۶ روش آماری برآورد رسوب معلق، اقدام به انتخاب مناسب ترین روش برآورد رسوب معلق گردید و همچنین برای مقایسه این روشها و دقت و صحت آنها از شاخصهای آماری **RME** و **MAE** و انحراف معیار خطاها استفاده شد. نتایج نشان داد که روش دوخطی، دقیق تر و صحیح تر از سایر روشها بود و به عنوان مناسب ترین روش آماری برآورد رسوب معلق در ایستگاه رودک انتخاب گردید.

واژه های کلیدی

ایستگاه رودک، رسوب معلق، منحنی سنج رسوب، **MAE**، **RME**.

۱. استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران و Email:ahmadi@ut.ac.ir
۲. استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران و Email:malekian@ut.ac.ir
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران Email:rezabedi@gmail.com

The most Appropriate Statistical Method for Suspended Sediment Estimation of Rivers (Case Study: Roodak Station of the Jajrood Basin)

Ahmadi H¹, Malekian A², Abedi R³

Abstract

The sediment load that is transported by rivers can create numerous problems such as sedimentation in the reservoir and storage capacity reduction, developed load in the rivers, destruction of structures along the river and transfer of pollution. Therefore, an accurate estimate of the sediment load in rivers is absolutely essential for river engineering, reservoir design, sediment transportation, measures of environmental damage caused by deposition. Due to the fact sediment load is measured at different times in addition to the lack of reliable observational data in the watershed, empirical equations are used to estimate the sediment load. In this study, to determine the most suitable method for estimating the suspended sediment in Roodak Hydrological Station, we have collected and analyzed data from flow and sediment discharge during the years 1972-2008. By the correlation between flow and sediment discharge on this station of six statistical methods, we chose the best method to estimate suspended load. In a comparison of the accuracy of these methods, we used the statistical indices, RME, MAE and standard deviation. The results showed that the multi-linear (two curves) method was the most accurate method. Therefore it was selected as the most appropriate method for estimating suspended load in Roodak Station.

Keywords: : Rodak Station, Suspended Sediment, Sediment Rating Curve, MAE, RME.

1. [Email:ahmadi@ut.ac.ir](mailto:ahmadi@ut.ac.ir).
2. [Email:malekian@ut.ac.ir](mailto:malekian@ut.ac.ir).
3. [Email:rezabedi@gmail.com](mailto:rezabedi@gmail.com)

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آبی در طبیعت، توزیع زمانی و مکانی غیر یکنواخت منابع آبی، افزایش آلودگی‌ها، تخریب منابع طبیعی و همچنین افزایش جمعیت، رشد و توسعه جوامع شهری و فعالیت های کشاورزی و صنعتی، ضرورت برنامه ریزی و مدیریت صحیح منابع آبی اجتناب ناپذیر است. شبیه سازی و ارزیابی آورد رسوب رودخانه نیز از جمله مسائل مهم و کاربردی در مدیریت منابع آب می باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۷). متأسفانه بسیاری از فعالیتهای بشری سبب تشدید فرآیندهای فرسایش، انتقال و رسوبگذاری می‌گردد، بطور مثال با از بین بردن پوشش گیاهی فرسایش اراضی تشدید و حجم زیادی از مواد رسوبی وارد رودخانه می‌شود. هرساله بالغ بر ۲۰ تا ۵۲ میلیارد تن رسوب توسط رودخانه‌های جهان انتقال می‌یابد و در آبهای ساکن ته‌نشین می‌شود (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۱) رودخانه‌های ایران در مقایسه با رودخانه‌های جهان بدلیل شرایط آب و هوایی، هیدرولوژیکی، زمین شناسی و فشار بیش از حد به اراضی حوزه‌های آبخیز، رسوبات بالاتری را حمل می‌کنند که همواره آسیب‌ها و خسارت‌های زیادی را به دنبال دارند. از آنجا که خسارات وارده توسط رسوبات رودخانه‌ای به طبیعت، کشاورزی، سازه های آبی ساخته شده بر روی یا در رودخانه‌ها بسیار گسترده و وسیع و زیان آور است، شناخت دقیق آن از اهداف مهم محققین و مهندسان در این رابطه می باشد. فرسایش، انتقال رسوب، رسوبگذاری و کفیت آب از مسائل بسیار مهم در مدیریت حوزه‌های آبخیز می‌باشند. این مسائل را می‌توان با برقراری و توسعه برنامه‌های اندازه گیری مقدار رسوب انتقالی در رودخانه‌ها مورد بررسی قرار داد (عرب خدری، ۱۳۸۴). در گذشته داده‌های رسوب معلق معمولاً فقط در مطالعه‌ها و پژوهش های مرتبط با فرسایش و رسوب، مدیریت منابع آب و مهندسی منابع آب مورد استفاده قرار می‌گرفتند ولی اخیراً از دیدگاه زیست محیطی، نقش رسوبات معلق در انتقال عناصر غذایی، سموم و همچنین منشاء یابی رسوبات و آلاینده های غیر نقطه‌ای مورد توجه بیشتری قرار گرفته و ارزش و اهمیت این داده ها را دو چندان کرده است.

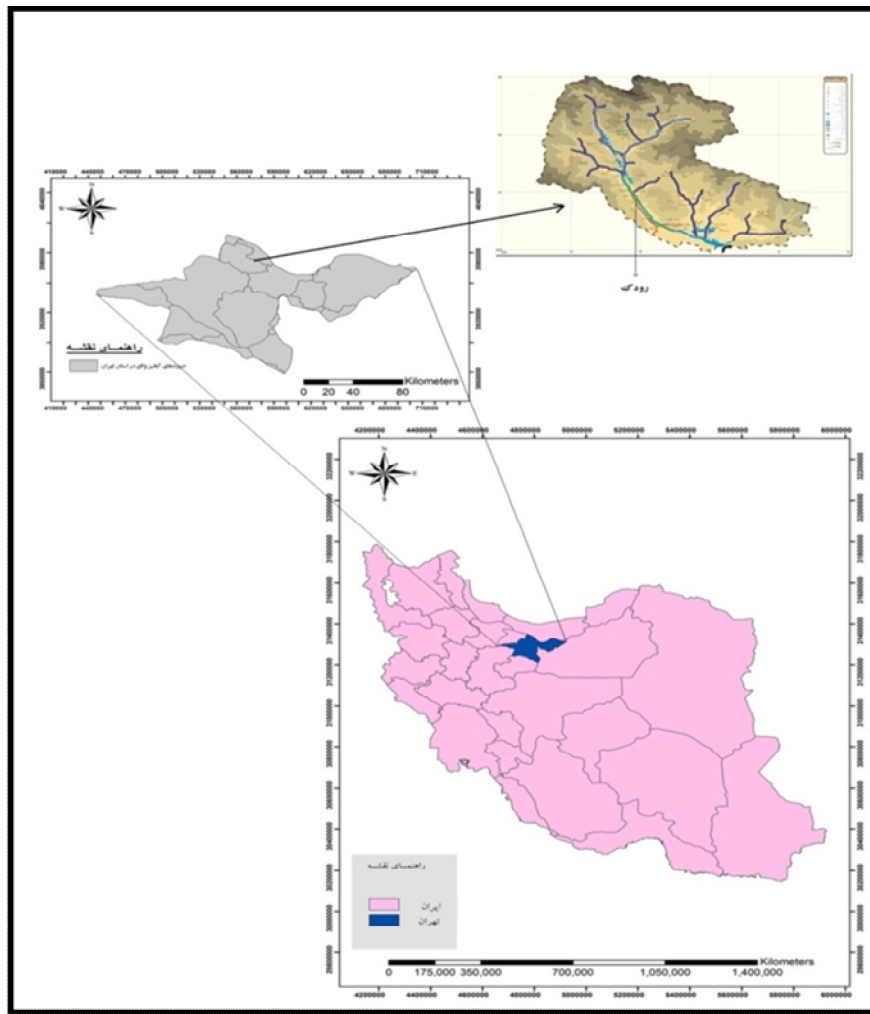
رسوبات رودخانه ای به دو صورت منتقل می‌شوند: با این مواد درون جریان آب غوطه‌ور هستند و همراه با آب در حرکت می‌باشند که به آنها مواد رسوبی معلق گفته می‌شود و میزان مواد رسوبی معلق را که در واحد زمان از یک مقطع رودخانه عبور کند، بار معلق می‌نامند، یا اینکه به یکی از صور لغزش، غلتیدن، پرش حرکت می‌نمایند که به آنها بار بستر می‌گویند (شفاعی بجستان، ۱۳۷۳) روش اندازه گیری بار معلق که بر پایه اندازه گیری غلظت رسوب معلق و دبی جریان استوار است، روشی مطمئن ولی مستلزم اندازه‌گیری پیوسته می باشد که معمولاً تنها برای رودخانه‌های مهم و دائمی مقدور می‌باشد (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۸) از آنجائیکه بسیاری از حوزه‌های آبخیز در اکثر کشورها از جمله ایران فاقد ایستگاه رسوب سنجی هستند، استفاده از مدل‌های تجربی و روش‌های آماری برآورد رسوب معلق انتقالی رودخانه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. روش های منحنی سنجه که روش برون‌یابی تلقی می‌شوند از روش‌های آماری برآورد رسوب معلق محسوب می‌شود. در روشهای منحنی سنجه ارقام محدود مربوط به اندازه‌گیری‌های غلظت رسوب در طول دوره زمانی مورد دلخواه از طریق ایجاد رابطه مابین دبی رسوب و دبی رودخانه و تعمیم این رابطه به آمار جریان رودخانه برون یابی می‌گردد. در عین حال برآورد رسوب از طریق این معادله همواره با مقداری خطا همراه می باشد (محمودزاده، ۱۳۸۴) سابقه بررسی علمی در مورد رسوب معلق رودخانه‌ها بیش از ۱۰۰ سال است (Web & Walling, ۱۹۸۱) به طوری که نخستین نمونه‌برداری از بار معلق رودخانه‌ها در سال ۱۸۴۵ میلادی در رودخانه می‌سی‌سی‌پی انجام شد (میرابوالقاسمی و مرید ۱۹۹۷). فرگوسن (۱۹۸۷) در تحقیقات خود نشان داده است که روش منحنی سنجه لگاریتمی و استفاده از منحنی تداوم جریان، بار معلق را حدود ۵۰ درصد کمتر از مقدار واقعی آن برآورد میکند که یکی از دلایل اصلی آن را می‌توان به خطای حاصل از تبدیل لگاریتمی داده‌ها اشاره کرد. فرگوسن فاکتور تصحیح $(\exp(2/65S^2))$ را برای از بین بردن خطاهای مذکور معرفی می‌کند که در آن S انحراف معیار داده‌هاست. این فاکتور باعث بهبود دقت دربرآورد بار معلق می‌شود. Horowitz (۲۰۰۲) با همکاری U.S.G.S در بررسی‌های خود در امتداد رودخانه می‌سی‌سی‌پی به نتیجه رسید که استفاده از رگرسیون خطی و غیرخطی تخمین رسوبدهی را کمتر از میزان واقعی نشان می‌دهد و مشخص شد که هرچه طول دوره آماربرداری بیشتر و فواصل بین اندازه‌گیریها کمتر باشد مقادیر بیش برآورد و

کم برآورد کمتر خواهد شد. **Achite** و **Ouillon** (۲۰۰۷) نشان دادند که مقادیر پیش بینی شده با استفاده از روابط رگرسیونی اولاً ۲۰ تا ۲۵ درصد بیشتر از مقادیر واقعی است ثانیاً طبق سری های زمانی موجود، برآورد دقیقتر نیاز به دوره های طولانی مدت دارد و پیشنهادی مبنی بر در نظر داشتن تغییرات آب و هوایی را در این تحقیقات دارند. **Rodriguez- Belanco** و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات زمانی انتقال رسوب معلق در حوزه آبخیز آتلانتیک واقع در شمال غرب اسپانیا بررسی کردند و از داده های رسوب معلق و دبی جریان در طی مدت ۳ سال (۲۰۰۴-۲۰۰۷) در مقیاس های زمانی مختلف (فصلی، ماهانه، سالانه) استفاده نمودند، نتایج تحقیقشان حاکی از این بود که: تغییر در مقدار تولید رسوب معلق با تعداد و شدت وقایع رواناب رابطه معنی داری دارد، آنها همچنین به نقش رسوب در انتقال مواد مغذی و آلاینده ها به مناطق ساحلی منطقه مورد مطالعه تاکید داشتند. بنگگی هو و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق خود با عنوان تغییرات زمانی و مکانی منحنی سنج رسوب در حوضه چانگ چیان رودخانه یانگ تسه، غلظت رسوب معلق را در ۳ بازه از رودخانه شامل: بالادست، میانه و پایین دست حوضه را در دوره های متفاوت زمانی از سال ۱۹۵۵ تا ۲۰۰۷ محاسبه کردند و تغییرات زمانی و مکانی منحنی سنج رسوب را نسبت به تأثیر فعالیت های انسانی و ویژگی های آبخیز آنالیز کردند نتایج نشان داد که تعرضات و فعالیتهای انسانی به طبیعت تأثیر اصلی را بر روی پارامترهای منحنی سنج رسوب دارد. رستمی ۱۳۸۰ در تحقیق خود بر روی رودخانه های قزل اوزن و شاهرود روش تلفیق منحنی سنج رسوب حدوسط دسته ها و دبی متوسط روزانه را به عنوان روش مناسب برآورد بار معلق پیشنهاد داد. بررسی های پوراغنیائی و همکاران (۱۳۸۶) در حوزه آبخیز صیدون نشان داده است که روشهای مختلف برآورد بار رسوب معلق نتایج نسبتاً متفاوت و گاهاً پرت ارائه می نمایند که نشان دهنده نقش کارشناس و ارزیابی کارائی این روشها و تصمیم گیری برای استفاده از روش مناسب می باشد، لذا با توجه به شرایط منطقه روش تعدیل بار رسوبی بعنوان روش مناسب برای منطقه مورد نظر توصیه کردند. سبهانی (۱۳۸۹) نیز روشهای آماری برآورد رسوب معلق رودخانه ها را در حوضه حبله رود بررسی و ارزیابی کرد که در نهایت به این نتیجه رسید که روش آماری حدوسط داده ها و دوخطی در بین روش های آماری مورد آزمون دارای کمترین میزان مربعات خطا بوده و بهترین قابلیت پیشگویی را در برآورد رسوب معلق در حوزه آبخیز ذکر شده را دارد. بدلیل بودن روشهای متعدد برآورد رسوب معلق، بررسی این روشها در هر منطقه ای به سبب متفاوت بودن شرایط و مشخصات مناطق با یکدیگر ضروری می باشد. با توجه به اینکه رودخانه جاجرود تأمین کننده بخشی از آب شرب و نیروی برق تهران است، مطالعه رسوب و اندازه گیری رسوب آن اهمیت خاصی دارد. هدف از این تحقیق بررسی روشهای آماری برآورد رسوب معلق در ایستگاه رودک و انتخاب مناسب ترین روش آماری می باشد.

موادها و روشها

منطقه مطالعاتی

رودخانه جاجرود از ارتفاعات شمالی و شمال شرقی دشت تهران سرچشمه می گیرد. چشمه های اصلی آن از گرمابدر در شمال، گردنه شمشک در غرب و افجه در شرق است. رودخانه جاجرود پس از طی ۱۴۰ کیلومتر در کویر مرکزی ایران در ارتفاع ۷۹۵ متری، گودترین جای استان تهران وارد دریاچه نمک می گردد. حوزه آبخیز رودک واقع در شمال شرقی تهران با وسعتی معادل ۴۲۰ کیلومترمربع یکی از مهمترین منابع تأمین کننده آب سد لتیان می باشد ایستگاه رودک که در موقعیت جغرافیایی طول ۳۳° ۵۱' و عرض ۳۵° ۵۱' قرار دارد بر روی رودخانه جاجرود واقع شده است. ارتفاع ایستگاه رودک از سطح دریا ۱۶۹۰ متر است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه مورد مطالعه در ایران و تهران

داده ها و روش تحقیق

در تحقیق حاضر داده های متناظر دبی جریان و دبی رسوب ایستگاه رودک در طول دوره آماری سالهای ۱۳۵۱ تا ۱۳۸۷ جمع آوری گردید. کنترل و صحت داده ها با آزمونهای آماری: آزمون کفایت داده ها، آزمون داده های پرت، آزمون همگنی و آزمون نرمالیتیه در نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت و پس از آنکه از کافی بودن تعداد داده ها و همگن بودن آنها اطمینان حاصل شد داده ها به صورت دو مدل طبقه بندی شدند و با ۶ روش آماری برآورد رسوب معلق مورد ارزیابی قرار گرفته و کارایی و دقت این روشهای آماری در این ایستگاه مشخص شد.

طبقه بندی داده ها

طبقه بندی داده ها بر اساس در نظر نگرفتن زمان وقوع: در این طبقه بندی، پس از تصحیح انجام گرفته دبی رسوب، جهت برآورد رسوب معلق از کل آمار موجود استفاده شده است.

طبقه بندی داده ها بر اساس در نظر گرفتن زمان وقوع: ۱- روش فصلی: در این روش آمار دبی جریان و دبی رسوب بر اساس

فصول چهارگانه به چهار دسته تقسیم می شود. ۲- روش ماهانه: در این روش آمار دبی جریان و دبی رسوب بر اساس ماههای سال به دوازده دسته تقسیم می شود.

مدل منحنی سنجه یک خطی

در این روش معمولاً داده‌های غلظت یا دبی رسوب با دبی جریان متناظر آنها به یک محور تمام لگاریتمی منتقل شده و بهترین خط برازش با استفاده از روش حداقل مربعات از میان نقاط عبور داده می‌شود. معادله این خط به صورت زیر است:

$$Q_s = aQ_w^b \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه a فاصله از مبدا و b شیب خط می‌باشد. ضریب a دارای محدوده خاصی نیست، در مقابل ضریب b محدوده نسبتاً کوچکی دارد. $b = 1$ به معنی آن است که غلظت c ثابت و مستقل از Q_w می‌باشد و اگر b از یک تجاوز کند به معنی افزایش c ثابت و مستقل از Q_w است.

مدل منحنی سنجه چندخطی

اگر وضعیت پراکنش نقاط اجازه دهد، می‌توان بجای یک خط، دو یا سه خط از میان نقاط عبور داد. در این حالت بیش از یک معادله برای منحنی سنجه رسوب وجود خواهد داشت. روش کار بصورت یک خطی می‌باشد با این تفاوت که گذراندن بیش از یک خط (دو یا سه خط) برازش مناسب‌تری را ایجاد می‌کند.

روش حدوسط داده‌ها (روش همبستگی بین متوسط دسته‌ها)

در این روش برای هر Q_w یا برای هر گذر حجمی متوسط هر دسته بارمعلق 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 بر اساس حجم جریان (بصورت صعودی) مرتب می‌کنند سپس این آمارها به دسته‌هایی تقسیم می‌شوند و در این مرحله سعی می‌شود به دبی‌های بالا ارزش بیشتری داده شود. در مرحله بعد بین این دو سری غلظت و جریان رابطه رگرسیونی توانی برقرار می‌شود که دارای ضریب همبستگی بالایی (نسبت به ضریب همبستگی معادله اولیه) است. روش حد وسط توسط جانسون (۱۹۹۶) تشریح گردیده است: خطی که بر تمام نقاط میانگین برازش یافته باشد خط رگرسیون y به ازاء نامیده می‌شود. بنابراین خط رگرسیونی بایستی از میانگین بار معلق در هر دبی معین عبور کند.

روش فائو

فائو پیشنهاد می‌کند که از رگرسیون منحنی سنجه رسوبی $Q_s = aQ_w^b$ که با بکاربردن لگاریتم اعداد بدست می‌آید و از نقطه (X, Y) عبور می‌کند، استفاده نشود (X میانگین لگاریتم دبی‌های رسوب مشاهده شده و Y میانگین لگاریتم دبی‌های جریان در طول دوره آماری است)، بلکه از یک خط موازی با آن که از نقطه Q_w, Q_s عبور می‌کند استفاده شود. Q_w میانگین حقیقی دبی جریان مشاهده‌ای و Q_s میانگین حقیقی دبی‌های رسوب معلق مشاهده‌ای در طول دوره آماری است، فائو بجای ضریب a در رابطه فوق ضریب \hat{a} را بشرح زیر توصیه کرده است:

$$R = R_R / R_R^R \quad \text{رابطه (۲)}$$

منحنی سنجه رسوب با اصلاح خطای ناشی از تبدیل لگاریتمی (CF2, CF1)

فرگوسن (۱۹۸۶) و Koch و Smillie (۱۹۸۶) تبدیل لگاریتمی را عامل اصلی تخمین کمتر از مقدار واقعی معرفی کرده‌اند. اثر پراکندگی داده‌ها و خطای تبدیل لگاریتمی را می‌توان به این گونه بیان کرد که رابطه بین دبی و رسوب به صورت خطی نیست ولی می‌توان آن را به مدل خطی تبدیل کرد. فرگوسن، (۱۹۸۶) علت عمده برآورد کمتر روش‌های منحنی سنجه رسوب را همین خطای تبدیل لگاریتمی بیان کرده و یک ضریب اصلاحی برای حذف این خطای آماری پیشنهاد می‌کند.

$$CF_1 = \text{EXP}[2/65S^2] = 10^{1/153S^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

S^2 : اشتباه استاندارد برآورد منحنی سنجه رسوب در لگاریتم پایه ۱۰ بوده و برابر است با:

$$R^R = \frac{\sum (RRR_{RRR} - \overline{RRR}_{RRR})^R}{(RRR)} \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه n تعداد نمونه‌های غلظت، $\log Q_{sooi}$ لگاریتم مقدار مشاهده‌ای غلظت، $\log Q_{sei}$ لگاریتم مقدار برآوردی غلظت، $CF1$ ضریب اصلاحی توزیع پارامتری.

Koch و **Smillie** (۱۹۸۶) با رد توزیع نرمال خطای باقیمانده ϵ ضریب اصلاحی غیر پارامتری را که در سال ۱۹۸۳ توسط **Duan** پیشنهاد شده بود، برای حذف خطای آماری ناشی از تبدیل لگاریتمی توصیه کردند که عبارتست از:

$$RR_R = \frac{R}{R} \sum RR^{RR} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$RR = \overline{RRR}_{RRR} - \overline{RRR}_{RRR} \quad \text{رابطه (۶)}$$

ضریب اصلاحی پارامتری و غیر پارامتری نیز به صورت ضریبی افزاینده برای معادله سنجه رسوب خطی به کار می‌رود.

ارزیابی و مقایسه دقت و صحت روشهای آماری برآورد رسوب معلق

جهت مقایسه صحت معادلات برآورد رسوب با میزان رسوب مشاهده شده از میانگین درصد خطای نسبی (RME) و میانگین درصد خطای مطلق (MAE) استفاده شد. همچنین جهت بررسی دقت روشها از انحراف معیار استفاده شد.

$$RRR = \frac{\sum RRR_{RRR}}{R} \quad \text{و} \quad RR_R = \frac{R}{RRR} \frac{\sum RRR_{RRR}}{RRR} \quad \text{رابطه (۷) و رابطه (۸)}$$

$$RRR = \frac{R}{R} \sum_{RRR} |RRR_{RRR} - \overline{RRR}_{RRR}| \quad \text{رابطه ۹}$$

در رابطه های ۷، ۸، ۹:

RME میانگین درصد خطای نسبی، RE_i خطای نسبی هر برآورد، RR_{RRR} میزان واقعی رسوب معلق، RR_{est} میزان برآوردی بار معلق، MAE میانگین خطای مطلق و n تعداد دفعات مقادیر برآورد رسوب معلق می‌باشند.

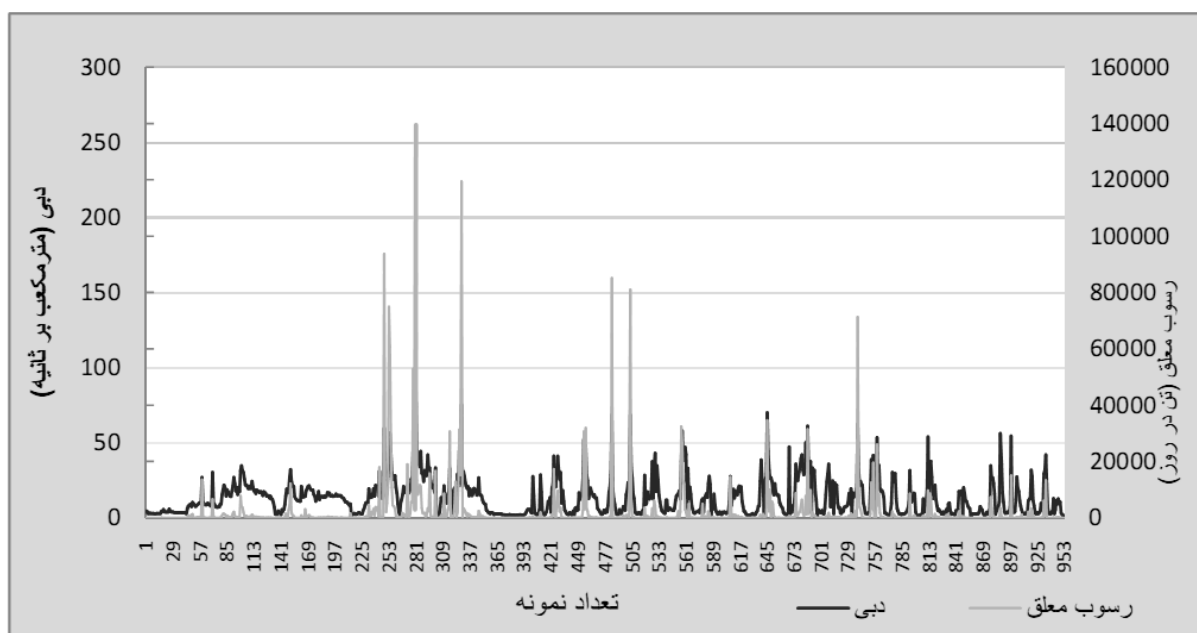
$$RRRR = \frac{\sum_{RRR} (RRR_{RRR})^R}{RRR} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

در این رابطه: $STDVE$ انحراف معیار، x_i میزان برآوردی رسوب معلق، R میانگین میزان رسوب معلق برآوردی، n تعداد دفعات مقادیر برآورد رسوب معلق می‌باشند.

نتایج

در این تحقیق از طول دوره آماری سالهای ۱۳۵۱ تا ۱۳۸۷ استفاده شد. شکل (۲) نشان می‌دهد که تغییرات میزان دبی با تغییرات میزان رسوب معلق همزمان و یکسان نیست، با بررسی منطقه مورد نظر می‌توان گفت: فعالیتهای انسانی و تعرضات انسانی یکی از اصلی ترین سبب این تغییرات است، چرا که در شکل دیده می‌شود با تغییر اندکی در میزان دبی، میزان رسوب معلق به شدت افزایش یافته است.

با طبقه بندی داده ها به دسته های ماهانه و فصلی تشخیص داده شد که ماه اردیبهشت بیشترین سهم را در میزان رسوب معلق در بین ماهها دارد و ماه شهریور کمترین درصد از میزان رسوب را، و در بین فصلها، فصل بهار با ۹۴/۶ درصد از میزان رسوب معلق مهمترین فصل انتقال رسوب معلق است.



شکل ۲- رژیم دبی جریان و رسوبدهی رودخانه جاجرود در ایستگاه رودک

نتایج حاصل از اندازه گیری میانگین خطای مطلق (جدول ۱) حاکی از این بود که تقسیم بندی داده ها بر حسب زمان وقوع تأثیر فراوانی در کاهش خطا دارد، در مدل بدون تقسیم بندی داده ها روش دو خطی با میانگین خطای مطلق ۱۳۲۹ مناسب ترین روش آماری برآورد رسوب معلق است و در ماه فروردین روش دو خطی با خطای ۲۴۱۵ تن در روز، در ماه اردیبهشت روش دو خطی با ۳۰۷۵، در ماه خرداد روش دوخطی با ۶۷۳، در ماه تیر روش دوخطی با ۷۶، در ماه مرداد روش دو خطی با ۵۵/۲۶، در ماه شهریور روش دوخطی با ۱۰/۶، در ماه مهر روش CFI با ۱۴/۷، در ماه آبان روش حدوسط دسته‌ها با ۱۰۳/۸، در ماه آذر با روش یک خطی با ۱۹/۰۷، در ماه دی روش دوخطی با ۱۳/۵، در ماه بهمن روش دوخطی با ۹۴/۵، در ماه اسفند روش دوخطی با ۴۳۴/۷ تن در روز میانگین خطای مطلق، مناسب ترین روش آماری برآورد رسوب معلق است. با تقسیم بندی داده ها بر حسب فصل وقوع در فصل بهار روش دوخطی با ۲۲۸۴، در فصل تابستان روش دوخطی با ۵۷، در فصل پاییز روش دوخطی با ۳۷/۶ و در فصل زمستان نیز روش دوخطی با ۲۴۱/۹ تن در روز میانگین خطای مطلق مناسب ترین روش آماری برآورد رسوب معلق در ایستگاه رودک است. همچنین در همه ماهها بجز ماه مهر و ماه دی که روش حدوسط نامناسبترین روش است و در ۴ فصل، روش فائو بالاترین میزان خطای را دارد و نامناسب ترین روش آماری است. بررسی نتایج میانگین خطای نسبی (RME) (جدول ۲) روشهای آماری برآورد رسوب معلق نشان می‌دهد که دسته بندی داده ها به داده های ماهانه و فصلی در کاهش میانگین خطای نسبی تأثیر بسزایی دارد و در داده ها بدون در نظر گرفتن زمان وقوع آنها روش دو خطی با میانگین خطای ۱۱۹ مناسب ترین روش آماری برآورد رسوب معلق در ایستگاه رودک است و در ماهها به ترتیب، در ماه فروردین، اردیبهشت، خرداد، روش دوخطی و در ماههای تیر و مرداد روش یک خطی و در ماه شهریور روش دوخطی، در ماه مهر روش یک خطی و روش دوخطی، در ماه آبان روش حدوسط دسته ها، در ماه آذر روش یک خطی، در ماه دی روش دوخطی، در بهمن ماه روش حدوسط دسته ها، در ماه اسفند روش یک خطی بدلیل پایین تر بودن میانگین خطای نسبی در بین روشهای آماری برآورد رسوب معلق، مناسبترین روش هستند. در فصل بهار نیز روش دوخطی، در تابستان روش یک خطی، در پاییز روش حدوسط دسته‌ها و در زمستان روش دوخطی مناسبترین روش تشخیص داده شد و نیز مشخص شد که در تمامی ماهها بجز ماههای مهر و آذر و دی روش فائو نامناسبترین روش برآورد رسوب معلق است و در همه فصلها نیز روش فائو نامناسبترین روش آماری برآورد رسوب معلق در ایستگاه رودک است.

جدول ۱- مقادیر میانگین خطای مطلق روشهای آماری برآورد رسوب معلق در ایستگاه رودک
(مقادیر میانگین خطای مطلق بر حسب تن در روز می باشند)

روشهای آماری برآورد رسوب معلق						
فائو	CF2	CF1	حد وسط	دوخطی	یک خطی	طبقه بندی داده ها
۴۸۶۶/۵۹	۲۵۴۴/۲	۲۵۴۶	۲۵۱۷/۱	۲۴۱۵/۳	۲۵۳۹	فروردین
۵۳۵۴/۳۱	۳۵۳۱/۹	۳۴۶۳/۶	۳۵۶۰/۶	۳۰۷۵/۵۷	۳۸۳۹/۲	اردیبهشت
۱۱۵۴/۲۹	۷۷۹/۵	۷۶۵/۵۲	۸۲۱/۱۶	۶۷۳/۲۳	۷۴۱/۲۵	خرداد
۱۱۲/۴	۸۴/۳۸	۸۰/۴۳	۸۲/۴۴	۷۶/۴۱	۷۸/۸۶	تیر
۸۴/۸۲	۶۲/۸۷	۶۰/۵۴	۵۵/۵۶	۵۵/۲۶	۶۱/۹۸	مرداد
۱۶/۵۴	۱۴/۸۶	۱۴/۷۸	۱۴/۵۱	۱۰/۶۲	۱۴/۱۳	شهریور
۱۷/۹۸	۱۴/۹	۱۴/۷۳	۱۸/۳۵	۱۷/۵	۱۵/۹	مهر
۲۱۱۴/۶۳	۲۱۸/۲۴	۱۹۵/۳۹	۱۰۳/۸۷	۱۶۲/۲۷	۱۱۴/۲۸	آبان
۲۳/۴۳	۲۲/۰۷	۲۱/۲	۲۴/۴	۱۹/۷	۱۹/۰۷	آذر
۱۵/۸۸	۱۶/۳۳	۱۶/۳۱	۱۶/۰۳	۱۳/۵۸	۱۴/۱۹	دی
۱۲۸/۲۵	۱۰۲/۶	۱۰۲/۹	۱۱۶/۹۱	۹۴/۵۴	۱۲۳/۲۳	بهمن
۷۳۴/۸۷	۴۵۷/۱۷	۴۴۷/۸	۴۸۱/۶	۴۳۴/۷	۴۵۰/۹۷	اسفند
۵۶۶۸/۶۷	۲۵۶۹/۸	۲۵۲۰	۲۶۰۴/۶	۲۲۸۴/۵	۲۶۸۲/۸	بهار
۸۳/۱	۶۴/۴۱	۶۰/۶۱	۶۱/۳۷	۵۷/۵۵	۵۹/۰۳	تابستان
۱۸۱/۵۱	۹۶/۹۶	۹۸/۰۵	۵۶/۱۵	۳۷/۶	۱۱۴/۵۲	پاییز
۴۰۴/۸۴	۲۵۸/۰۸	۲۵۹/۵۳	۲۶۸/۶۳	۲۴۱/۹	۲۶۴/۵۹	زمستان
۲۹۰۹/۱۹	۱۶۴۷/۵	۱۶۴۵/۵	۱۵۳۶/۴	۱۳۲۹	۱۷۲۰	کل داده ها
۱۴۰۴/۱۳	۷۳۴/۴۵	۷۲۴/۳	۷۲۵/۸۶	۶۴۷	۷۵۶	میانگین
۲۰۳۱/۲۲	۱۱۱۹/۷۷	۱۱۰۵/۲۷	۱۱۲۴/۲۲	۹۹۷/۲۴	۱۱۸۵/۹۶	انحراف از معیار

جدول ۲- مقادیر میانگین خطای نسبی روشهای آماری برآورد رسوب معلق در ایستگاه رودک

روشهای آماری برآورد رسوب معلق						
طبقه بندی داده ها	یک خطی	دوخطی	حد وسط	CF1	CF2	فائو
ماهانه	فروردین	۱/۳۵	۱/۳	۲/۵۸	۲/۶۶	۶/۸۹
	اردیبهشت	۱/۴	۱/۲۰	۳/۸	۳/۹۹	۸/۱۹
	خرداد	۱/۱۱	۰/۸۳	۳/۳۲	۲/۵۲	۷/۵
	تیر	۰/۹۴	۰/۹۸	۱/۶۹	۱/۷۹	۲/۸۴
	مرداد	۰/۸۴	۰/۹۳	۱/۸۲	۲/۱	۴/۸۶
	شهریور	۰/۷۲	۰/۷۱	۱/۲	۱/۱۴	۱/۵۱
	مهر	۰/۷	۰/۷	۱/۴۷	۰/۹۲	۱/۲۷
	آبان	۱/۱	۱/۱۱	۰/۷۷	۲/۰۵	۱/۰۷
	آذر	۰/۶۹	۰/۷	۱/۳	۱/۱۷	۱/۳۳
	دی	۱/۰۸	۱/۰۸	۲/۰۴	۱/۹۷	۱/۸۷
	بهمن	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۷۶	۱/۸۱	۳/۶۲
	اسفند	۱/۰۳	۱/۰۴۸	۲/۳۱	۱/۹۱	۶/۲۹
	فصلی	بهار	۱/۳۷	۱/۲۸	۳/۶۴	۳/۴۷
تابستان		۰/۹۴	۱/۰۴	۱/۷۴	۲/۰۱	۳/۳۸
پاییز		۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۷۴	۹/۱۱
زمستان		۱/۱۹	۱/۱۳	۲/۲۳	۲/۴۷	۸/۱۱
کل داده ها	۱/۳۸	۱/۱۹	۲/۷۸	۲/۹۵	۳/۰۶	۱۱/۹۲
میانگین	۱/۰۵	۱/۰۱	۲/۰۳	۱/۹۹	۲/۱۵	۵/۲۶
انحراف معیار	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۹۵	۰/۷۱	۰/۸۱	۳/۴۶

بحث و نتیجه گیری

با بررسی نتایج مقادیر میانگین خطای مطلق و میانگین خطای نسبی به این نتیجه می رسیم، در ایستگاه رودک، روش منحنی سنج رسوب دوخطی مناسب ترین روش آماری برآورد رسوب معلق است، همانطور که در جدول ۱ و ۲ مشاهده می شود میزان خطای مطلق و خطاب نسبی روش دوخطی، پایین تر از سایر روشهاست و همچنین انحراف معیار این روش نسبت به دیگر روشها میزان کمتری دارد که نشان دهنده صحت بالای این روش نسبت به دیگر روشهاست. نامناسب ترین روش آماری برآورد رسوب معلق در ایستگاه رودک، روش فائو است که دقت و صحت پایین تری نسبت به دیگر روشهای آماری دارد. با بررسی میزان خطاهای روشها در هر ماه و فصلها، به این نتیجه می رسیم که دسته بندی داده ها بر حسب زمان وقوع، بخصوص دسته بندی به صورت ماهانه در افزایش دقت و صحت موثر است و خطای روشها را به طور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد و نسبت به دیگر دسته بندی داده ها (داده های کلی، فصلی) کمترین متوسط خطا و انحراف معیار را دارد. حوزه آبخیز جاجرود به دلیل داشتن آب و هوای معتدل و خوب تفرجگاه بسیاری خوبی برای مردم منطقه محسوب میشود و ساخت و سازهای بسیاری در این منطقه در کنار رودخانه صورت می گیرد که در سالهای اخیر این فعالیتها و تعرضات انسانی رو به افزایش است و همین از دلایل اصلی افزایش رسوب معلق رودخانه بدون اینکه دبی رودخانه افزایش یابد، است. با توجه به عبور بخش زیادی از رسوبات در مواقع سیلابی و عدم نمونه برداری های

بموقع در زمانهای سیلابی و تأثیر بسیار تعداد نمونه ها در برآورد صحیح رسوب عبوری از رودخانه‌ها، پیشنهاد می‌گردد وزارت نیرو تا حد ممکن نمونه برداری‌هایی با فاصله‌های زمانی کوتاه از رودخانه‌ها داشته باشد و یا اینکه از نمونه بردارهای اتوماتیک استفاده نماید تا بتوان تغییرات دقیق دبی-رسوب را در زمان کوتاهی در دسترس داشته و در نهایت مقدار صحیح رسوب عبوری از رودخانه برآورد گردد. مقدار خطای برآوردی از منحنی‌های سنجه رسوب از یک حوضه به حوضه دیگر یکسان نیست در نتیجه نتایج حاصل از این تحقیق قابل تعمیم به حوضه‌ها و مناطق دیگر نیست.

منابع

- ۱- احمدی، ح.، طهمورث، م.، محمدعسگری، ح.، ۱۳۸۷. استفاده از نظام استنتاج فازی در برآورد رسوب معلق. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۵.
- ۲- پوراغنیایی، م.، دومیری گنجی، م.، یوسف پور، ا.، قرمز چشمه، ب.، ۱۳۸۶. مروری بر روشهای برآورد بارمعلق حوزه آبخیز صیدون، مجله تحقیقات منابع آب، سال سوم، شماره ۳.
- ۳- دهقانی، ا.، زنگانه، م.، مساعدی، ا.، کوهستانی، ن.، ۱۳۸۸. مقایسه تخمین بارمعلق به دو روش منحنی سنجه رسوب و شبکه عصبی مصنوعی (رودخانه دوغ استان گلستان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد شانزدهم.
- ۴- لال، ر.، ۱۳۸۴. روش‌های تحقیق در فرسایش خاک، ترجمه محمودزاده، انتشارات دانشگاه ارومیه، ۶۸۸ ص.
- ۵- رستمی، م.، ۱۳۸۰. ارائه روشی به منظور بهبود برآورد بار رسوب معلق رودخانه، سومین کنفرانس هیدرولیک ایران.
- ۶- سیهانی، ه.، ۱۳۸۹. کاربرد و مقایسه روشهای آماری برای برآورد بار رسوبی معلق (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله رود). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کویر شناسی، دانشگاه سمنان.
- ۷- شفاعی بجستان، م.، ۱۳۷۳. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۴۸۳ ص.
- ۸- عرب خدری، م.، ۱۳۸۴. بررسی رسوبدهی معلق حوزه‌های آبخیز ایران، مجله تحقیقات منابع آب. شماره ۲.
- ۹- فیض نیاس، مجدآبادی فراهانی، ف.، محسنی ساروی، م.، عرب خدری، م.، ۱۳۸۱. طول دوره آماری مناسب برای برآورد میانگین رسوب سالانه و روابط آن با مساحت، تغییرات رسوبدهی سالانه، خصوصیات اقلیمی، زمین شناسی و پوشش گیاهی حوزه آبخیز. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

10-Achite, M., and Ouillon, S. 2007. Suspended load in Iran's watershed basin. Iranian J. Water Resour, Res. 51-60

11-Ferguson, R.I. 1987. Accuracy and precision of methods for estimating river loads, Earth Surface processes and land forms, 12.95-104.

12-Hu, B. Wang TH. Yang, Z. Sun, X. 2011. Temporal and Spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications. Quaternary International; Volume 230, pages 34-43.

13-Horowitz, A. JT 2002, The use of rating (Transport) curves to predict suspended sediment concentration: ammeter of temporal resolution, Turbidity and other sediment surrogates workshope. April 30- May 2, Reno, NV.

14-Mirabolghasemi, H. and Morid, S. 1997. Investigation of hydrological methods for estimating suspended load of rivers. Journal of water and Development, 35:95-110.

15-Rodriguez-blanco, M.L., M.M. Taboada - Castro, L. Palleiro, M.T. taboada-castro, 2010, Temporal changes in suspended sediment transport in an Atlantic catchment, NW Spain, Geomorphology, In Press, Corrected Proof.

16-Walling, D.E., and Webb, B.W. 1981, The reliability of suspended sediment load data, In: Erosion and sediment transport, Proceeding of Florence Congress, IAHS Pub. 133: 177-194.