# ارزیابی کاربرد معادله‌های برآورد بار رسوبی در رودخانه‌های خوزستان

مهدی قمشی و حسن ترابی پوده[۱]


## چکیده

*برای انتخاب مناسب‌ترین معادلهٔ برآورد رسوب نیاز به ارزیابی و واسنجی آنها برای رودخانه مورد نظر می‌باشد. در این پژوهش ارزیابی معادله‌های برآورد بار رسوب در ایستگاه‌های اهواز از رودخانه کارون، بامدژ از رودخانهٔ دز، پای پل از رودخانهٔ کرخه، و چم‌نظام از رودخانه مارون بررسی گردید. افزون بر معادله‌هایی که اخیراً ارائه شده، رایج‌ترین معادله‌های موجود در این پژوهش به کار رفت، که عبارتند از میر-پیتر و مولر، انیشتین، بگنولد، انگلاند و هانسن، توفالتی، ایکرز و وایت، یانگ، وان ریجن، وایف، ساماگا و همکاران، بگ، و فاضل. به منظور محاسبه سریع دبی رسوب، از روش‌های فوق یک مدل کامپیوتری تهیه گردید. در مرحله بعد، ۴۹۰ دوره داده اندازه‌گیری شده از این ایستگاه‌ها گردآوری شد. به دلیل هم‌زمان نبودن داده‌های دانه‌بندی بستر با داده‌های شرایط جریان در برخی از موارد، این داده‌ها با دبی که به‌صورت روزانه موجود بود، ارتباط داده شد و روابطی بین دانه‌بندی بستر و دبی به دست آمد.*

*نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی معادله‌هایی که مبتنی بر انرژی تبادلی جریان می‌باشند، با اصلاحاتی برای رودخانه‌های خوزستان مناسب‌ترند. از این معادلات، روش انگلاند و هانسن، جز برای ایستگاه چم‌نظام، در ایستگاه‌های دیگر تخمین‌های نسبتاً خوبی داشته است. میانگین نسبت بار رسوبی این روش برای رودخانه کارون ۱/۴۱، برای رودخانه کرخه ۲/۰۷ و برای رودخانه دز ۱/۸۵ است. هم‌چنین، انحراف از معیار نسبت مذکور برای این روش، در مقایسه با روش‌های دیگر، مقادیر بسیار کمتری می‌باشد. روش بگ نیز با کاربرد ضریب ۰/۱، جز برای ایستگاه چم‌نظام، در سه ایستگاه دیگر برآوردهای مناسبی داشته است. این روش نیز نتایجی مشابه روش انگلاند و هانسن داشته، و دارای میانگین نسبت بار رسوبی ۱/۳۲ برای رودخانه دز، ۰/۹۱ برای رودخانه کرخه و ۰/۷۳ برای رودخانه کارون می‌باشد.*


**واژه‌های کلیدی:** *رودخانه، نسبت بار رسوب، دبی رسوب*

---

۱. به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]

## مقدمه

جریان آب در بسترهای فرسایش‌پذیر شیب‌دار ممکن است سبب حرکت ذرات روی بستر یا دیواره‌های بستر جریان گردد، که این فرایند انتقال یا آورد رسوب گفته می‌شود. تخمین و محاسبه مقدار مواد رسوبی که جریان مشخصی قادر به حمل آن است، یکی از موضوع‌های اصلی پژوهش‌های رسوب می‌باشد، که در بسیاری از پروژه‌های مهندسی، مانند طراحی و برنامه‌ریزی برای منابع آب، مورفولوژی و تغییرات بستر رودخانه، برآورد رسوب انتقالی به آبگیرهای رودخانه، طراحی و نگهداری کانال‌های آبیاری، حفاظت سواحل، لایروبی کانال‌ها و غیره، حایز اهمیت است.

در مقایسه با شاخه‌های دیگر دانش هیدرولیک، پیشرفت در زمینهٔ انتقال رسوب بسیار کمتر بوده است. علت آن ارتباط پیچیده شمار زیادی از پارامترهای رسوب و جریان آب است، که تداخل و تأثیر متقابل آنها ارائه کمی پدیده انتقال رسوب را مشکل می‌سازد.

معرفی یک رابطهٔ ریاضی که همهٔ پارامترهای مؤثر به علاوه تغییراتشان را در جهت‌های طولی و عرضی رودخانه در برگیرد، کار بسیار مشکلی است. به همین دلیل، تقریباً همهٔ معادلات برآورد بار رسوب برای شرایط ساده جریان یکنواخت ماندگار و تعادل انتقال رسوب به دست آمده‌اند، که این شرایط در رودخانه‌های طبیعی به ندرت فراهم می‌شود. بنابراین، دبی رسوب برآورد شده، با توجه به فرضیات ساده شده مذکور دقیق نمی‌باشد. یکی دیگر از مشکلات گسترش در معادلات برآورد بار رسوب، بی‌دقتی در اندازه‌گیری‌ها و اطمینان نداشتن از داده‌های اندازه‌گیری شده انتقال رسوب است. این پیچیدگی‌ها به دلیل محدودیت ابزارهای اندازه‌گیری و محدود بودن شمار نمونه‌ها از دبی جریان انتقال رسوب می‌باشد.

هدف اصلی از پژوهش‌های انتقال رسوب، یافتن رابطه‌ای میان مقدار ذرات انتقال یافته از یک سو، و پارامترهای مربوط به هیدرولیک و مشخصات مواد بستر رودخانه از سوی دیگر است. دست‌یابی به این هدف، در چند دههٔ گذشته مورد توجه دانشمندان زیادی در سرتاسر جهان قرار گرفته، و در این مورد تئوری‌های زیادی ارائه شده است. ولی هیچ یک از این معادله‌ها قابل کاربرد در تمام رودخانه‌ها نیست، لذا از قبل هم نمی‌توان عملکرد این معادله‌ها را پیش‌بینی نمود، و هر معادله برای رودخانه‌های متفاوت دارای جواب‌های متفاوتی خواهد بود. ممکن است یک معادله برای یک رودخانه مناسب باشد، ولی همان معادله برای رودخانه دیگر جواب‌های خوبی نداشته باشد. بیشتر معادلات انتقال رسوب به صورت‌های کلی زیر می‌باشند :

$$Q_s = A_1 (Q - Q_c)^{B1} \quad [1]$$

$$Q_s = A_2 (V - V_c)^{B2} \quad [2]$$

$$Q_s = A_3 (S - S_c)^{B3} \quad [3]$$

$$Q_s = A_4 (\tau - \tau_c)^{B4} \quad [4]$$

$$Q_s = A_5 (\tau V - \tau V_c)^{B5} \quad [5]$$

$$Q_s = A_6 (VS - VS_c)^{B6} \quad [6]$$

که در آنها Q دبی آب، $Q_s$ دبی رسوب، S شیب بستر، V سرعت متوسط جریان، $\tau$ تنش برشی، $A_1$ ، $A_2$ ، ... $A_6$ ، $B_1$، $B_2$ ، ... $B_6$ پارامترهای مربوط به ویژگی‌های جریان و رسوب است، و زیرنویس C شرایط آستانه حرکت را بیان می‌کند.

بیش از یک صد سال پیش، نخستین معادله توسط دوبوی (۱٤) مطرح گردید. در پی کار وی، شمار بسیاری تئوری انتقال رسوب پدید آمد. در دهه‌های نخستین، بیشتر پژوهندگان روی تئوری‌های بار معلق کار می‌کردند. از سال ۱۹۳۸، با طرح تئوری تلاطم توسط پرانتل و وان‌کارمن در مکانیک سیالات، عمده تلاش‌ها معطوف به بار معلق و بار کل گردید.

دوبوی (۱٤)، اوبراین و ریندلاوب (۳۳)، استراب (٤٥)، شیلدز (٤٤)، یالین (٥۳)، کالینسکی (۲٦)، و چانگ و همکاران (۱۱) معادله‌هایی بر اساس تنش برشی بحرانی ارائه دادند.

رابی (۳٦) و کناپ (۲۸) نخستین کسانی بودند که رابطه انرژی مصرفی و میزان مواد انتقال یافته را مطرح ساختند. البته، پیش از آنها گیلبرت (۲۰) این فرضیه را داد که میزان هدر رفتن انرژی پتانسیل بین دو ایستگاه، صرف غلبه بر اصطکاک جریان



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]

و انتقال رسوب میان دو ایستگاه می‌گردد. بگنولد (٤) در سال ١٩٦٦ نظریهٔ قدرت جریان را به صورت جدی در مباحث رسوب مطرح نمود. ولیکانف (٥٠) با بررسی جزئیات روابط تئوریک مؤثر در انتقال در تئوری ثقلی خویش، تعادل انرژی در پدیده انتقال رسوب را بررسی نمود. انگلاند و هانسن (١٨) در سال ١٩٦٧، با استفاده از تئوری بگنولد رابطه جدیدی ارائه نمودند. یانگ (٥٥ و ٥٦) در سال‌های ١٩٧٢ و ١٩٧٣ با معرفی قدرت واحد جریان، پدیده انتقال رسوب را از نظر میزان انرژی پتانسیل معرف جریان مطالعه کرد. انگلاند و فردسو (١٧)، وایف (٥١)، و سلیک و رودی (١٠)، روابطی بر پایهٔ انرژی تبادلی جریان ارئه نمودند. انیشتین (١٥) از مفاهیم آماری و احتمالاتی براي برآورد بار بستر استفاده کرد. بعدها مدل آماری انیشتین توسط شماری از پژوهشگران رسوب اصلاح شد و مدل‌های مشابهی به وجود آمد. از میان آنها می‌توان ساتو و همکاران (٣٩)، هابل و سایر (٢٤)، سایر و هابل (٤١). سایر و کانوور (٤٠). یانگ (٥٤)، گریگ (٢١)، و شن و تودروپک (٤٣) را یاد کرد. راس، بویر و لارسن فرمول سال ١٩٤٢ انیشتین را اصلاح کردند، که حاصل کار آنها اکنون به انیشتین-براون معروف است (٩). کلبی و همبری (١٢)، بر اساس روش انیشتین، مدل اصلاح شده‌ای را ارائه کردند. بیشاب و همکاران (٨) پیتال (٣٤)، هولتراف (٢٣)، میسری و همکاران (٣٢)، ساماگا و همکاران (٣٧)، و اینگرام و همکاران (٢٥) روابطی را بر پایهٔ مفاهیم آماری و احتمالی ارائه دادند.

بار و هربرتسون (٥)، کوپر و پترسون (١٣)، ویلیس و کولمن (٥١)، شن و هانگ (٤٢)، پرافیت وساترلند (٣٥)، کریم و کندی (٢٧)، بچلر و وتر (٦)، لو و لی (٣٠)، بگ (٧) و فاضل (١٩) روابطی بر اساس مفاهیم رگرسیونی و آنالیز ابعادی پیشنهاد کردند. حبیبی و سیواکومار (٢٢) با پژوهشی در رودخانه‌های استرالیا، اعتقاد دارند که روش‌های متکی بر تئوری انرژی دقیق‌تر، منطقی‌تر و ساده‌تر از روش‌های دیگر است.

میربیگ سبزواری (٢) با برآورد رسوب برای ٥٠ دوره داده از ایستگاه اهواز از رودخانه کارون، با استفاده از روش‌های انیشتین (١٦)، توفالتی (٤٦)، لارسن (٢٩) و میر-پیتر و مولر (٣١) اظهار داشته که تنها رابطهٔ لارسن جواب‌های مناسبی داده است.

## مواد و روش‌ها

در این مقاله پدیده انتقال رسوب از نظر هیدرولیکی بررسی گردید. بنابراین، مؤلفه بار شسته، که دارای ارتباط کمتری با پارامترهای جریان رودخانه بوده و بیشتر در ارتباط با ویژگی‌های هیدرولوژی، خاک، پوشش گیاهی و وضعیت زمین‌شناسی سطح حوزه است،مورد توجه قرار نمی‌گیرد.

از آن‌جا که این پژوهش از نوع مشاهداتی بوده و از آمار اطلاعات موجود بهره می‌جوید، پس از بررسی از ایستگاه‌های آب‌سنجی موجود، ایستگاه‌های اهواز از رودخانه کارون، پای پل از رودخانه کرخه، چم‌نظام از رودخانه مارون و بامدژ از رودخانه دز، به دلیل برخورداری از جامعه آماری قابل قبول برگزیده شدند، و آمار و اطلاعات هیدرولیکی و رسوبی آنها از مراکز مربوط جمع‌آوری گردید. چون آزمون تمام فرمول‌های انتقال رسوب مقدور نبود، با استفاده از آخرین مقاله‌های منتشر شده فاضل (١٩) و بگ (٧)، رایج‌ترین روابط انتقال رسوب، و نیز فرمول‌هایی که در سال‌های اخیر توسط پژوهشگران ارائه گردیده است، انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفتند. این روابط عبارتند از: میر-پیتر و مولر (٣١)، انیشتین (١٦)، بگنولد (٤)، انگلاند-هانسن (١٨)، توفالتی (٤٦)، ایکرز و وایت (٣)، یانگ (٥٧)، وان ریجن (٤٧، ٤٨ و ٤٩)،وایف (٥٢)، ساماگا و همکاران (٣٨)، بگ (٧) و فاضل (١٩). جدول ١ خلاصه‌ای از داده‌های ورودی برای روابط انتخاب شده برآورد رسوب را نشان می‌دهد.

به منظور ارزیابی روابط انتخاب شده، عملکرد این روش‌ها با استفاده از ٤٩٠ دوره داده اندازه‌گیری شده مورد بررسی قرار گرفت. هر دوره شامل اطلاعات دانه‌بندی بستر، دبی جریان، شیب کف رودخانه، سطح مقطع جریان، محیط خیس شده، عرض مقطع رودخانه و درجه حرارت آب می‌باشد. نسبت بار



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]

جدول ۱. خلاصه‌ای از داده‌های ورودی برای روابط انتخاب شده برآورد رسوب

| معادله انتقال رسوب | ویژگی‌های رسوب | ویژگی‌های سیال | شرایط جریان | پارامتر مستقل |
|---|---|---|---|---|
| میر- پیتر و مولر | $d_{۹۰}, d_a, \gamma_s$ | $\gamma, v$ | D , S , V | $Q_b$ |
| انیشتین | $d_i, P_i, \gamma_s$ | $\gamma, v$ | B , D , S | $Q_b , Q_s$ |
| بگنولد | $d_i, P_i, \gamma_s, d_a$ | $\gamma, v$ | B , D , S , V | $Q_b , Q_s$ |
| انگلاند و هانسن | $\gamma_s , d_{۵۰}$ | $\gamma$ | B , S , V | $Q_t$ |
| توفالتی | $P_i , d_i , d_{۶۵} , \gamma_s$ | $\gamma, v$ | B , D , S , V | $Q_b , Q_s$ |
| ایکر و وایت | $d_{۳۵} , \gamma_s$ | $\gamma, v$ | B , D , S | $Q_t$ |
| یانگ | $\gamma_s , d_{۵۰}$ | $\gamma, v$ | Q , V , S , R | $Q_t$ |
| وان‌ریجن | $\gamma_s , d_{۵۰}, d_{۱۶}, d_{۹۰}$ | $\gamma, v$ | B , D , S , V | $Q_b , Q_s$ |
| ساماگا و همکاران | $P_i , d_i , d_a , d_{۶۵} , \gamma_s$ | $\gamma, v$ | V , R , S | $Q_b , Q_s$ |
| وایف | $\gamma_s , d_{۵۰}$ | $\gamma, v$ | B , S , Q | $Q_s$ |
| بگ | $d_{۵۰}$ | v | V , S | $Q_t$ |
| فاضل | $P_i , d_i , d_{۵۰} , \gamma_s$ | $\gamma, v$ | V , S | $Q_t$ |

$\gamma_s$ : وزن مخصوص ذرات رسوبی  $\gamma$ : وزن مخصوص آب  v : لزجت سینماتیک آب  V : سرعت آب  S : شیب سطح آب  D : عرض سطح آب
$Q_b$ : دبی بار بستر  $Q_s$ : دبی بار معلق  $Q_t$ : دبی بار کل  $d_s$ : قطر متوسط ذرات کف بستر  $d_{۹۰}$ : قطری از بستر که ۹۰ درصد ذرات از آن کوچک‌تر است
$d_{۶۵}$ : قطری ازبستر که ۶۵ درصد ذرات از آن کوچکتر است  $d_{۱۶}$ : قطری از بستر که ۱۶ درصد ذرات از آن کوچکتر است  $d_i$ : قطری از بستر که I درصد ذرات از آن کوچک‌تر است  $P_i$ : درصد ذرات کوچک‌تر از $d_I$

رسوب ($L_{sr}$)، که به صورت نسبت دبی رسوب محاسبه شده به دبی رسوب اندازه‌گیری شده تعریف می‌شود، به عنوان معیاری برای بررسی میزان دقت هر روش به کار برده شد. واضح است که هرچه $L_{sr}$ محاسبه شده به یک نزدیک‌تر باشد نشانهٔ دقت پیش‌بینی بیشتر می‌باشد.

به منظور محاسبه دبی رسوب، از روش‌های فوق یک مدل کامپیوتری تهیه شد. این مدل به زبان بیسیک تصویری بوده و در محیط ویندوز قابل اجراست. داده‌های اندازه‌گیری شده رسوب و داده‌های شرایط جریان و رسوب و دانه‌بندی بستر، فایل ورودی مدل را تشکیل می‌دهند. مدل با محاسبه شکل رسوب به روش‌های مختلف، نسبت اختلاف $L_{sr}$ را نیز برای هر روش محاسبه می‌کند، و نتایج را به صورت شکل و جدول ارائه می‌نماید.

داده‌های مورد نیاز به منظور تشکیل فایل ورودی مدل به ترتیب عبارتند از: دبی جریان (Q)، دبی رسوب اندازه‌گیری شده ($Q_s$)، شیب سطح آب یا شیب کف رودخانه (S)، سطح مقطع جریان (A)، محیط خیس شده (P)، عرض مقطع رودخانه (W)، درجه حرارت آب (T) و درصد ذرات عبوری به ترتیب از الک‌های ۳۲ ، ۱۶ ، ۸ ، ٤ ، ۲ ، ۱ ، ۰/۵ ، ۰/۲۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۶۲ میلی‌متر. تمام این داده‌ها، بجز محیط خیس شده، توسط سازمان آب و برق خوزستان در فرم‌های جداگانه‌ای برای ایستگاه‌های انتخاب شده برداشت شده است. ولی یکی از مشکلات، غلبه بر اشکال این اطلاعات با دبی جریان، که به صورت روزانه موجود بود، مرتبط گردید. سپس با استفاده از رگرسیون خطی، روابطی بین دبی و درصد ریزتر از الک‌های ۳۲ ، ۱۶ ، ۸ ، ٤ ، ۲ ، ۱ ، ۰/۵ ، ۰/۲۵ ، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۶۲ میلی‌متر برای چهار ایستگاه مذکور به دست آمده با استفاده از این روابط دانه‌بندی بستر، در مواردی که موجود



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]

نبود، استخراج گردید.

برای به دست آوردن محیط خیس شده مقطع جریان باید داده‌های مربوط به شکل مقطع عرضی رودخانه را داشت. با توجه به آمار برداشت شده در ایستگاه‌های مورد نظر، یک برنامه کامپیوتری نوشته شد. در این برنامه با وارد کردن داده‌های سطح مقطع و اشل سطح آب، محیط خیس شده را می‌توان محاسبه نمود.

روی هم رفته، تعداد ۱۰۳ دوره داده اندازه‌گیری شده از ایستگاه بامدژ، ۹۹ دوره از ایستگاه پای پل، ۱۰۳ دوره از ایستگاه اهواز و ۱۸۵ دوره از ایستگاه چم‌نظام جمع‌آوری گردید، که خلاصه وضعیت داده‌های موجود در هر ایستگاه در جدول ۲ نشان داده شده است.

معمولاً بار رسوب اندازه‌گیری شده، فقط بار معلق را شامل شده، و بار بستر به دلیل پاره‌ای از مشکلات اندازه‌گیری نمی‌گردد. بنابراین، بار بستر را در رودخانه‌ها، بسته به شرایط رودخانه مورد نظر(بجز رودخانه‌های کوهستانی)، بین ۵ تا ۲۵ درصد در نظر می‌گیرند. در این پژوهش، برای تعیین درصد بار بستر نسبت به بار معلق اندازه‌گیری شده در رودخانه‌های خوزستان نکات زیر مورد توجه قرار گرفت.

الف) مدل به ترتیب برای نسبت‌های بار بستر ۵ ، ۱۰ ، ۱۵ ، ۲۰ و ۲۵ درصد اجرا شد و نتایج حاصله بررسی گردید. مشاهده شد که نسبت اختلاف برای ایستگاه‌های مذکور تغییر محسوسی ندارد.

ب) استاد علی عسگری (۱) طی بررسی خود میانگین این درصد را برای رودخانه کارون در ایستگاه اهواز، و رودخانه کرخه در ایستگاه حمیدیه، حدود پنج درصد برآورد کرده است.

با توجه به دو نکته فوق، این نسبت بین ۵ تا ۱۰ درصد، بسته به شرایط چهار ایستگاه انتخاب شده مد نظر قرار گرفت. باید بر این نکته نیز تأکید ورزید که به دلیل ماهیت پیچیده فرایند انتقال رسوب و عدم اطمینان از پارامترهای اندازه‌گیری شده (خصوصاً در رودخانه‌های طبیعی، نمی‌توان دبی رسوب را دقیقاً محاسبه کرد. روابطی که حداقل ۶۰ درصد از تعداد نسبت‌های بار رسوب در محدوده ۵۰ تا ۲۰۰ درصد آن قرار گیرند، روش مطلوبی تلقی می‌شود (۲۲). همان طور که گفته شد، معیار ارزیابی نسبت بار رسوبی ($L_{sr}$)، نسبت دبی رسوب محاسباتی به مشاهداتی است. هرچه تعداد بیشتری از $L_{sr}$ در محدوده ۵۰ تا ۲۰۰ درصد از دبی رسوب مشاهداتی قرار گیرد، برآورد بهتری از بار رسوب انجام شده است.

## نتایج و بحث

در این پژوهش نسبت بار رسوبی برای مطالعه بهتر در محدوده‌های ۰/۵ -۲ ، ۰/۵ - ۱/۵ ، و ۰/۳۳ - ۳ بررسی شد. برای نتیجه‌گیری، فقط نسبت ۰/۵ - ۲ کافی است. این نسبت‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. هم‌چنین، نسبت بار رسوبی در برابر تعداد دوره داده برای چهار ایستگاه رسم گردید، که در نمودارهای ۱-۱ تا ۱-٤ آورده شده است. آشکار است که هر چه نقاط رسم شده به خط $L_{sr}$ =۱ نزدیک‌تر و در راستای این خط پراکنده شده باشند، دقت فرمول مربوطه بیشتر است. میانگین و انحراف از معیار نسبت بار رسوبی نیز محاسبه شد که در جدول ٤ نشان داده شده است. نمودارهای ۱-۱ تا ۱-٤ و جداول ۳ و ٤ نشان می‌دهد که روش انیشتین دارای روندی نامشخص و پراکندگی زیاد در برآورد رسوب می‌باشد. هم‌چنین، نسبت‌های بار رسوبی برای هر چهار ایستگاه حدود ۱۰ درصد است، که نشان دهندهٔ نتایج ضعیف این روش در محاسبه رسوب در چهار ایستگاه فوق می‌باشد. همین‌طور، می‌دانیم که در صورتی که نقاط رسم شده در نمودارها روی خطی به موازات خط $L_{sr}$ =۱ پراکنده شده باشند، می‌توان با استفاده از یک ضریب ثابت روش را اصلاح نمود، که نمودارهای روش انیشتین نشان می‌دهد که با هیچ یک از این روش‌ها قابل اصلاح نمی‌باشد. بنابراین، استفاده از این روش در مورد رودخانه‌های خوزستان توصیه نمی‌شود.

نمودارهای ۲-۱ تا ۲-٤ و جداول ۳ و ٤ نشان می‌دهند که روش بگنولد در هر چهار ایستگاه انتخاب شده، بار رسوب را کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد کرده است. ولی این

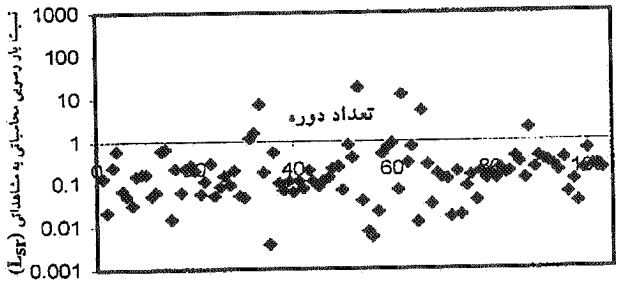


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

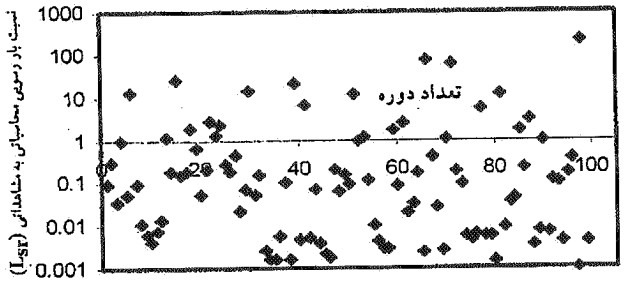
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]

جدول ۲. خلاصه وضعیت داده‌های موجود

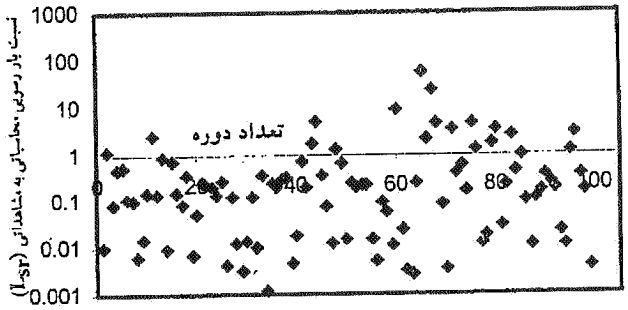
| | کارون | | | مارون | | | کرخه | | | دز | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | بیشینه | کمینه | میانگین | بیشینه | کمینه | میانگین | بیشینه | کمینه | میانگین | بیشینه | کمینه | میانگین |
| دبی | ۱۳۹۲ | ۸/۲ | ۱۱۳۳۶ | ۳۵٤٦ | ۱۸۸ | ۸٦۵/۹ | ۲۱۷۸/۵ | ۳۲/٦ | ۲٦۵/٦۷ | ۱۷۰٦ | ۷۹/۹ | ۳۱٦/۹ |
| قطر متوسط ذرات بستر (mm) | ۱۱/٦ | ۰/۲ | ۳/۸٤ | ۰/۷ | ۰/۱ | ۰/۱۱۹ | ۱/۲۵ | ۰/۱ | ۱۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱۹۸ |
| سرعت جریان (m/s) | ۳/۳۲ | ۰/۲۱ | ۰/۹۹ | ۱/۳۹ | ۰/۲٦ | ۰/۵۷ | ۲/۷٦ | ۰/۲۵ | ۱/۱۱ | ۱/۵۳ | ۰/۲۲ | ۰/۷ |
| عرض سطح آب (m) | ۱٤۰/۳ | ۱۳/۸ | ۸۳/۲۸ | ۲۷۳ | ۳۳۸ | ۳۹۹/۱۳ | ۲۱۳ | ۷۱/۵ | ۸۷/۰٦ | ۲۱۸/۵ | ۱۲۷ | ۱۷٤/۰۸ |
| عمق جریان (m) | ۳/۰۵ | ۰/۲٦ | ۰/۹۵ | ٦/٦۹ | ۱/۸۱ | ۳/۲٤ | ٤/۷۲ | ۰/٦۹ | ۱/۹۷ | ۵/۷۱ | ۰/۹ | ۲/۱۵ |
| درجه حرارت | ۳۲ | ۱۰ | ۱۹/۲۷ | ۸ | ۳۲ | ۲۰/۸۲ | ۳۳ | ۱۰ | ۲۰/۱٦ | ۳۱ | ۱۰ | ۱۹/۰۲ |
| شیب | ۰/۰۰۰۷ | ۰/۰۰۰٤ | ۰/۰۰۰۵۷۵ | ۰/۰۰۰۷ | ۰/۰۰۰٤ | ۰/۰۰۰۲۱۹ | ۰/۰۰۰۵۱۹ | ۰/۰۰۰٤ | ۰/۰۰۰۷ | ۰/۰۰۰٤ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۲۷٦ |



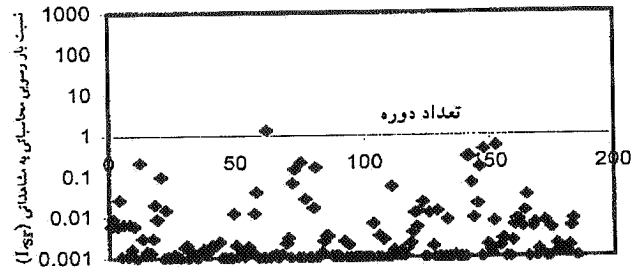

نمودار ۱-۱. روش انیشتین، رودخانه دز




نمودار ۱-۲. روش انیشتین، رودخانه کرخه




نمودار ۱-۳. روش انیشتین، رودخانه کارون




نمودار ۱-٤. روش انیشتین، رودخانه مارون

روش، همان گونه که در نمودارها دیده می‌شود، دارای پراکندگی کم می‌باشد، و نقاط رسم شده در نمودارها تقریباً به موازات $L_{sr}=1$ هستند، که نشان می‌دهد با یک ضریب ۱۰ این روش نتایج خوبی به دست می‌دهد (بدین معنی که هر عددی که از محاسبه به دست آمد در ۱۰ ضرب شود). نتایج به دست آمده در جداول ۵ تا ۷ نشان داده شده است، که در مقایسه با جواب‌های مشابه در جدول ۳ و ٤، نشان دهنده این است که این روش تا حدود زیادی اصلاح شده است. با مقایسه میانگین‌های نسبت بار رسوبی و انحراف از معیارهای نسبت بار رسوبی در جداول ٤ تا ۷، این موضوع به خوبی دیده می‌شود. بنابراین، استفاده از این روش با ضریب ۱۰ توصیه می‌گردد.

نمودارهای ۳-۱ تا ۳-٤ و جداول ۳ و ٤ نشان می‌دهد که روش ساماگا دبی رسوب را برای رودخانه مارون و کرخه زیادتر از حد برآورد کرده است. هم‌چنین، این روش دارای روندی نامشخص و پراکندگی زیاد در برآورد می‌باشد. ولی این روش در رودخانه دز و کارون پاسخ‌های نسبتاً بهتری نسبت به



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]

جدول ۳. مقادیر بار رسوب

| روش محاسبه | ۰/۵ < $L_{sr}$ < ۲ | | | | ۰/۵ < $L_{sr}$ < ۱/۵ | | | | ۰/۳۳ < $L_{sr}$ < ۳/۰ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | کارون | مارون | کرخه | دز | کارون | مارون | کرخه | دز | کارون | مارون | کرخه | دز |
| انیشتین (بارمعلق) | ۱۳ | ۱ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ | ۱ | ۸ | ۹ | ۲۶ | ۱ | ۱۷ | ۱۶ |
| انیشتین (بار بستر) | ۲۲ | ۱۸ | ۱۳ | ۳۱ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۰ | ۲۲ | ۳۶ | ۲۵ | ۲۰ | ۴۷ |
| انیشتین (بار کل) | ۱۵ | ۲ | ۱۷ | ۱۲ | ۱۲ | ۱ | ۱۶ | ۱۰ | ۲۶ | ۲ | ۲۵ | ۲۵ |
| بگنولد (بار معلق) | ۰ | ۰ | ۱ | ۲ | ۰ | ۰ | ۱ | ۲ | ۰ | ۱ | ۴ | ۱۰ |
| بگنولد (بار بستر) | ۶ | ۲۹ | ۳۹ | ۳۳ | ۵ | ۲۳ | ۳۱ | ۳۲ | ۱۳ | ۴۰ | ۵۲ | ۴۹ |
| بگنولد (بار کل) | ۰ | ۱۴ | ۹ | ۴ | ۰ | ۱۲ | ۹ | ۴ | ۰ | ۲۵ | ۱۹ | ۱۴ |
| ساماگا (بار معلق) | ۳۳ | ۹ | ۱۰ | ۳۳ | ۲۶ | ۵ | ۷ | ۲۸ | ۵۱ | ۱۲ | ۱۴ | ۵۷ |
| ساماگا (بار بستر) | ۰ | ۷ | ۱۰ | ۱۴ | ۰ | ۵ | ۶ | ۱۴ | ۰ | ۱۱ | ۱۷ | ۲۶ |
| ساماگا (بار کل) | ۳۳ | ۸ | ۹ | ۳۴ | ۲۵ | ۵ | ۷ | ۲۹ | ۵۱ | ۱۲ | ۱۴ | ۵۹ |
| توفالتی (بار معلق) | ۱۰ | ۲۴ | ۲۹ | ۳۲ | ۹ | ۲۰ | ۲۲ | ۳۰ | ۱۴ | ۳۸ | ۴۴ | ۴۰ |
| توفالتی (بار بستر) | ۰ | ۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۸ | ۱ | ۰ |
| توفالتی (بار کل) | ۱۰ | ۲۴ | ۳۰ | ۳۲ | ۱۰ | ۲۲ | ۲۲ | ۳۰ | ۱۳ | ۳۸ | ۴۴ | ۳۸ |
| وان‌ریجن (بار معلق) | ۰ | ۱۳ | ۳۰ | ۱ | ۰ | ۱۲ | ۱۶ | ۱ | ۰ | ۱۸ | ۴۵ | ۱۰ |
| وان‌ریجن (بار بستر) | ۰ | ۱۱ | ۱۷ | ۰ | ۰ | ۸ | ۱۵ | ۰ | ۱ | ۱۶ | ۳۰ | ۰ |
| وان‌ریجن (بار کل) | ۰ | ۱۳ | ۲۹ | ۱ | ۰ | ۹ | ۱۷ | ۱ | ۰ | ۲۴ | ۴۴ | ۱۰ |
| وایف (بار معلق) | ۲ | ۰ | ۳۳ | ۳ | ۱ | ۰ | ۲۲ | ۲ | ۸ | ۰ | ۵۱ | ۵ |
| میر، پیتر، مولر (بار کل) | ۲۵ | ۱۳ | ۱۵ | ۴۷ | ۲۴ | ۸ | ۱۱ | ۳۶ | ۴۵ | ۲۵ | ۲۵ | ۶۶ |
| ایکر و وایت (بار کل) | ۱ | ۱۵ | ۸ | ۰ | ۱ | ۱۴ | ۶ | ۰ | ۳ | ۲۷ | ۱۴ | ۰ |
| انگلاند و هانسن (بار کل) | ۶۳ | ۱۴ | ۳۹ | ۴۹ | ۴۱ | ۱۴ | ۲۷ | ۳۹ | ۷۲ | ۲۸ | ۵۶ | ۷۵ |
| یانگ (بار کل) | ۳۱ | ۶ | ۴۸ | ۱۴ | ۲۱ | ۵ | ۳۸ | ۹ | ۴۰ | ۷ | ۶۱ | ۲۷ |
| بگ (بار کل) | ۴۶ | ۰ | ۳۰ | ۵۸ | ۴۱ | ۰ | ۲۹ | ۴۷ | ۶۶ | ۰ | ۴۹ | ۸۵ |
| فاضل (بار کل) | ۰ | ۰ | ۴ | ۰ | ۰ | ۰ | ۴ | ۰ | ۲ | ۰ | ۶ | ۰ |

رودخانه‌های دیگر از خود نشان داده است، ولی در هر چهار ایستگاه مقادیر $L_{sr}$ کمتر از ۳۳ درصد بوده، که پاسخ‌های قابل قبولی نیست. این روش به علت پراکندگی زیاد، با استفاده از ضریب ثابت نیز اصلاح نمی‌شود. بنابراین، استفاده از این روش توصیه نمی‌گردد. متوسط نسبت بار رسوبی و انحراف از معیار این روش در جدول ۴ نشان داده شده است.

نمودارهای ۴-۱ تا ۴-۴ و جدول ۳ نشان می‌دهد که روش توفالتی نیز نتایج خوبی نداشته است، و تقریباً در تمام شرایط این روش میزان بار رسوب را در رودخانه کارون و دز کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد کرده، و در رودخانه کرخه و مارون برآوردها در دو طرف خط $L_{sr}$ =۱ دیده می‌شود. این روش نیز با استفاده از ضرایب ثابت اصلاح نشد، زیرا داده‌ها



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]

جدول ٤. میانگین نسبت بار رسوبی و انحراف از معیار آن در روش‌های برآورد بار رسوب

| روش | مارون | | کارون | | دز | | کرخه | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | میانگین نسبت بار رسوبی | انحراف از معیار | میانگین نسبت بار رسوبی | انحراف از معیار | میانگین نسبت بار رسوبی | انحراف از معیار | میانگین نسبت بار رسوبی | انحراف از معیار |
| انیشتین | ۰/۰۲٥٤ | ۰/۱۱۹۷ | ۱/۳۳۹ | ٥/۷۰۹۹ | ۰/٦۳ | ۲/۲۱ | ٤/۸۹ | ۲۳/۳٥ |
| بگنولد | ۰/۰۳۷٥ | ۰/۰٦۹۸ | ۰/۰٦٤٥ | ۰/۰٦۲٤٤ | ۰/۱٦۷ | ۰/۱٤ | ۰/۰٦۲۳ | ۰/۱۳۲ |
| ساماگا | ٤۳٦/٤٥ | ۷۳٦/٦۸۹ | ۲/۳۳ | ۳/۲۱ | ۲/٥۷ | ۳/۲۸ | ۱۲٥/۱٤ | ۲۰۱/۳ |
| توفالتی | ۳/۳۱۹ | ٥/۸۸ | ۰/۳۰۱ | ۰/۸٤۲ | ۰/٤٤ | ۰/٤۱ | ۱/۹۹ | ۲/٦٦ |
| وان ریجن | ۱۰۷/٦٥ | ۷۸٦ | ۰/۰۰٥٥٥ | ۰/۰۱٤ | ۰/۱۲۳ | ۰/۱٤٥ | ۱٥۷٥٥۷ | ۱٥٥۹٦٦ |
| وایت | ۰/۰٦٦۳۷ | ۰/٦۰۸٥ | ۲۲/٦ | ۲۱/٤۲ | ۱۸/٥ | ۱۷/۱٤ | ۷/۹۳٥ | ۲٦/٦٦ |
| ایکرز و وایت | ۰/۲۳۱۳ | ۰/٤۸۸٤ | ۰/۰۸ | ۰/۱٥ | ۰ | ۰ | ۲۹٥٦ | ۲۰۰٤٥ |
| انگلاند و هانسن | ۰/۲۸۲٥ | ۰/۳٦٤۱ | ۱/٤۱ | ۱/٤ | ۱/۸٥ | ۱/٥ | ۲/۰۷ | ۲/٥۲ |
| یانگ | ۱۳/٥۷ | ۹٤/۹۷ | ۲/۰٥ | ۳/۰۱۷ | ۳۹/۱۲ | ۱۰۲/٦۳ | ۲/۳۸ | ٦/٤٤ |
| بگ | ۰/۰۳٤۲ | ۰/۷٥٦ | ۰/۷۳۱۲٥ | ۰/٦٤ | ۱/۳۳ | ۱/۰۱۷ | ۰/۹۱ | ۱/۸۲ |
| فاضل | ۲/۰٤ | ٥/٤٦٦ | ۱۳۱۲/٥٦٤ | ۱٥٤٤/۲٤ | ۱۳٦/۳۸ | ۱۰٥/٥٥ | ۲۹۲۱ | ۱۱٥۱۳٦ |

جدول ٥. خلاصه نتایج حاصل از اعمال ضرایب اصلاحی در روابط برای رودخانه دز

| روش محاسبه | نسبت بار رسوبی | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ۱/٥ – ۰/٥ | ۲ – ۰/٥ | ۳ – ۰/۳۳ | میانگین $L_{sr}$ | انحراف معیار $L_{sr}$ |
| بگنولد با ضریب ۱۰ | ٤۳ | ٥٥ | ۷۹ | ۱/۷ | ۱/٤۲ |
| وایف با ضریب ۰/۱ | ۳٦ | ٥۱ | ۷۷ | ۱/۸٥ | ۱/۷۱ |
| انگلاند و هانسن با ضریب ۱ | ۳۹ | ٤۹ | ۷٥ | ۱/۸٥ | ۱/٥ |
| بگ با ضریب ۰/۱ | ٤۷ | ٥۸ | ۸٥ | ۱/۳۲ | ۱/۰۱ |
| فاضل با ضریب ۰/۰۱ | ٥۱ | ٦۲ | ۸۳ | ۱/۳٦ | ۱/۰٥ |

جدول ٦. خلاصه نتایج حاصل از اعمال ضرایب اصلاحی در روابط برای رودخانه کرخه

| روش محاسبه | نسبت بار رسوبی | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ۱/٥ – ۰/٥ | ۲ – ۰/٥ | ۳ – ۰/۳۳ | میانگین $L_{sr}$ | انحراف معیار $L_{sr}$ |
| بگنولد با ضریب ۱۰ | ۳٥ | ٤۱ | ٥٥ | ۱/۸٥ | ۲/۲٦ |
| وایف با ضریب ۰/۱ | ۲۲ | ۳۳ | ٥۱ | ۷/۹ | ۲٦/٦ |
| انگلاند و هانسن با ضریب ۱ | ۲۷ | ۳۹ | ٥٦ | ۲/۰۷ | ۲/٥۲ |
| بگ با ضریب ۰/۱ | ۲۹ | ۳۰ | ٤۹ | ۰/۹۱ | ۱/۸ |
| یانگ با ضریب ۱ | ۳۸ | ٤۸ | ٦۱ | ۲/۳۱ | ٦/٤۳ |
| فاضل با ضریب ۰/۰۱ | ۲۷ | ۳۸ | ٥۳ | ۲۹ | ۱٥۱/۳٤ |

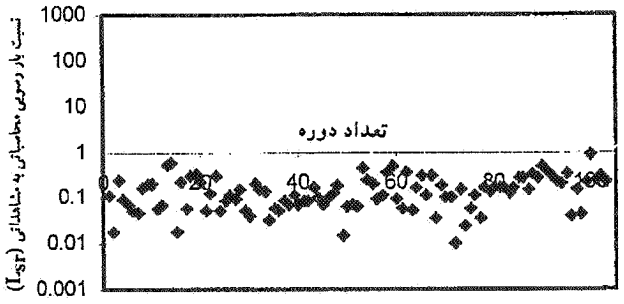


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

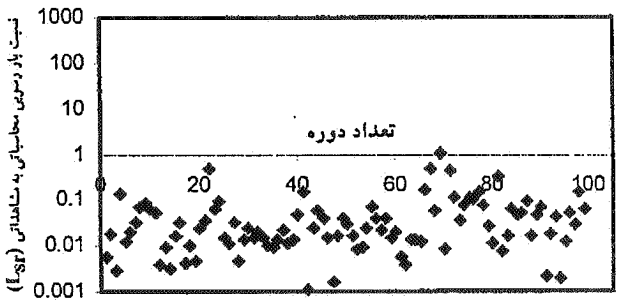
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]

جدول ۷. خلاصه نتایج حاصل از اعمال ضرایب اصلاحی در روابط برای رودخانه کارون

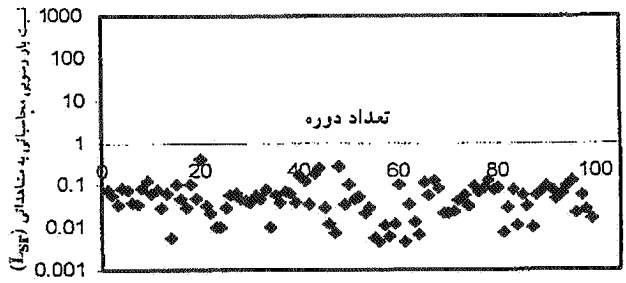
| روش محاسبه | نسبت بار رسوبی | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ۱/۵ – ۰/۵ | ۲ – ۰/۵ | ۳ – ۰/۳۳ | میانگین $L_{sr}$ | انحراف معیار $L_{sr}$ |
| بگنولد با ضریب ۱۰ | ٤٧ | ٥٠ | ٦٨ | ۱/۷ | ۱/٤۲ |
| وایف با ضریب ۰/۱ | ۲۹ | ۳۹ | ٦٦ | ۱/۸٥ | ۱/۷۱ |
| انگلاند و هانسن با ضریب ۱ | ٤۱ | ٦۳ | ۷۲ | ۱/٤۱ | ۱/٤ |
| بگ با ضریب ۰/۱ | ٤۱ | ٤٦ | ٦٦ | ۰/۷۳۱ | ۰/٦٤ |



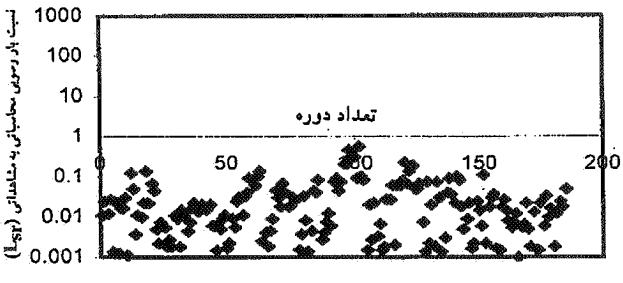

نمودار ۲-۱. روش بگنولد، رودخانه دز




نمودار ۲-۲. روش بگنولد، رودخانه کرخه




نمودار ۲-۳. روش بگنولد، رودخانه کارون




نمودار ۲-٤. روش بگنولد، رودخانه مارون

دارای پراکندگی زیاد بود. میانگین نسبت بار رسوبی و انحراف از معیار این روش در جدول ٤ دیده می‌شود.

با توجه به نمودارهای ٥-۱ تا ٥-٤ و جداول ۳ و ٤ می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر برآورد شده توسط روش وان‌ریجن به طور میانگین برای رودخانه‌های مارون و کرخه زیادتر از مقادیر اندازه‌گیری شده، و برای رودخانه‌های کارون و دز کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده است. این روش در روند برآورد رسوب دارای پراکندگی زیاد بوده و قابلیت اصلاح با ضریب ثابت را ندارد. بنابراین، استفاده از این روش توصیه نمی‌گردد.

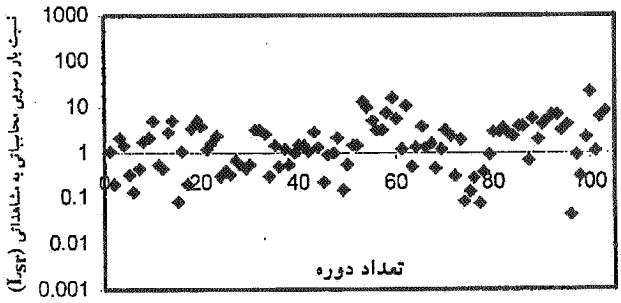
نمودارهای ٦-۱ تا ٦-٤ و جداول ۳ و ٤ نشان می‌دهد که روش وایف دارای روند برآورد رسوب بهتری نسبت به دیگر روش‌ها است. هم‌چنین، رسوب برآورد شده توسط این روش در رودخانه دز بیشتر از حد، و در رودخانه مارون کمتر از حد برآورد شده است. پاسخ‌های این روش در رودخانه کرخه نسبتاً مناسب بود، و در رودخانه‌های دز و کارون نیز با به کار بردن ضریب ثابت ۰/۱ اصلاح شد، که نتایج این اصلاح در جداول ٥ تا ۷ نشان داده شده است.

نمودارهای ۷-۱ تا ۷-٤ و جداول ۳ و ٤ نشان می‌دهد که روش انگلاند و هانسن در سه رودخانه دز، کرخه و کارون برآوردهای نسبتاً خوبی داشته است، ولی مقادیر اندازه‌گیری

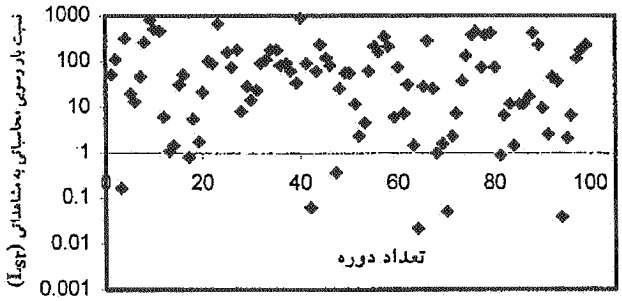


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

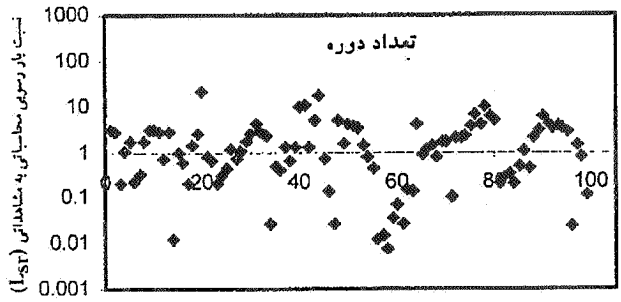
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]



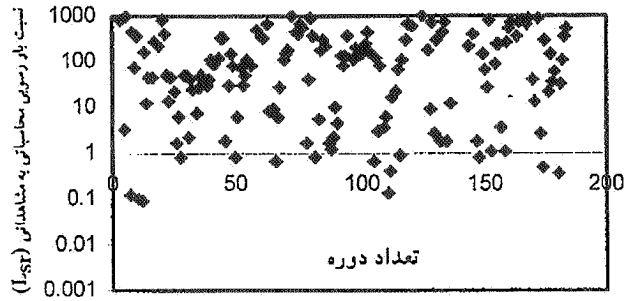

نمودار ۳-۱. روش ساماگا، رودخانه دز



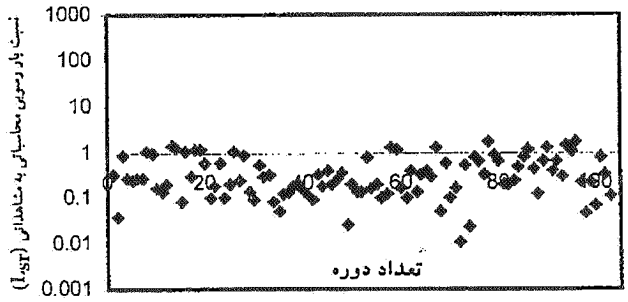

نمودار ۳-۲. روش ساماگا، رودخانه کرخه



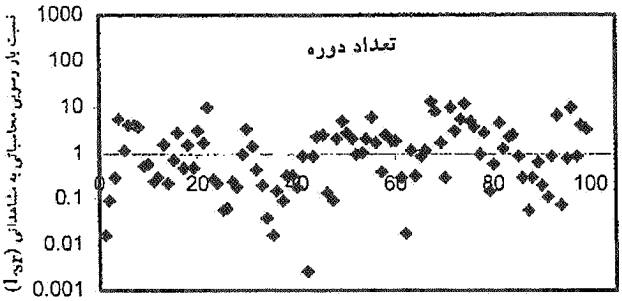

نمودار ۳-۳. روش ساماگا، رودخانه کارون



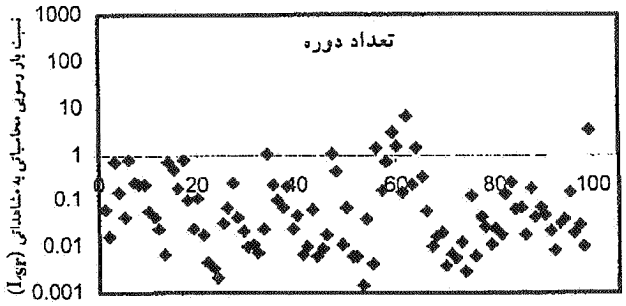

نمودار ۳-٤. روش ساماگا، رودخانه مارون



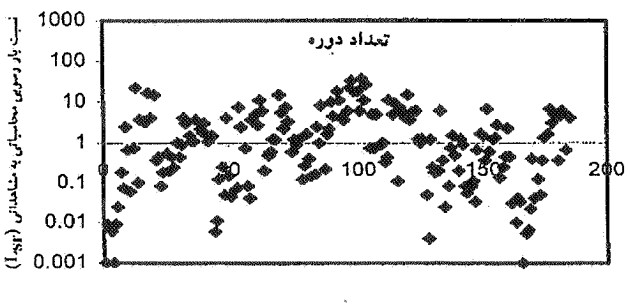

نمودار ٤-۱. روش توفالتی، رودخانه دز




نمودار ٤-۲. روش توفالتی، رودخانه کرخه




نمودار ٤-۳. روش توفالتی، رودخانه کارون




نمودار ٤-٤. روش توفالتی، رودخانه مارون

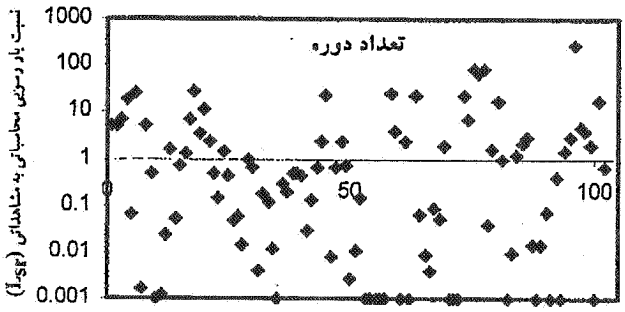
شده در رودخانه مارون کمتر از حد می‌باشد. در هر صورت این روش در مقایسه با روش‌های دیگر، پاسخ‌های خیلی خوبی از خود نشان داده است.

روش یانگ، با توجه به نمودارهای ۸-۱ تا ۸-٤ و جداول ۳ و ٤ پاسخ‌های خوبی را نشان نمی‌دهد. این روش دارای پراکندگی زیاد و روندی نامشخص در برآورد رسوب است. بنابراین، این روش را نمی‌توان با استفاده از ضرایب ثابت اصلاح نمود.

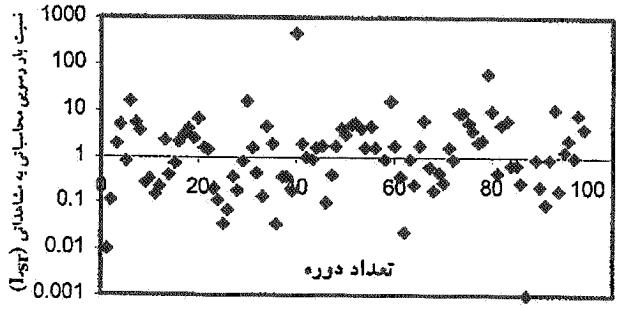


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

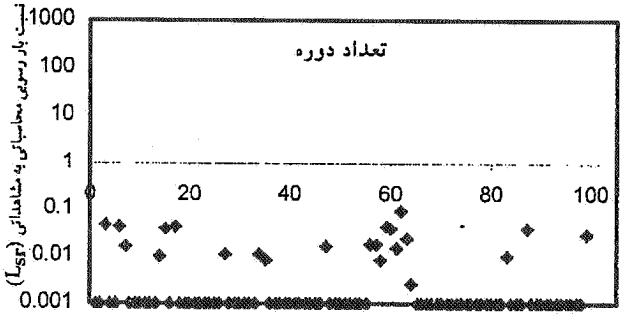
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]



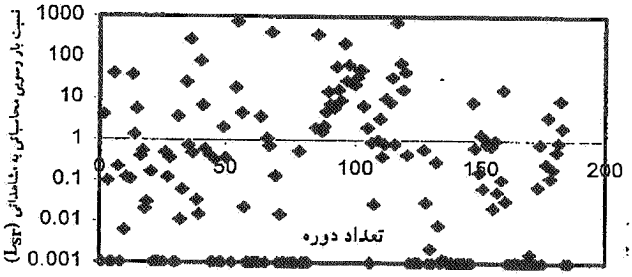

نمودار ۵-۱. روش وان‌ریجن، رودخانه دز



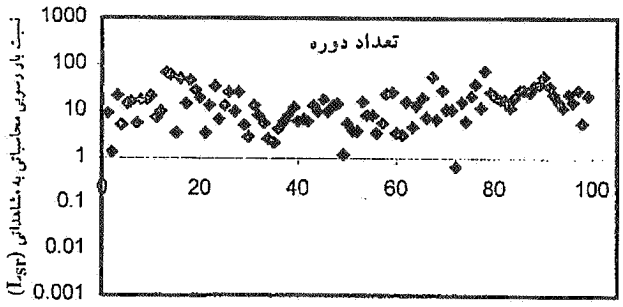

نمودار ۵-۲. روش وان‌ریجن، رودخانه کرخه



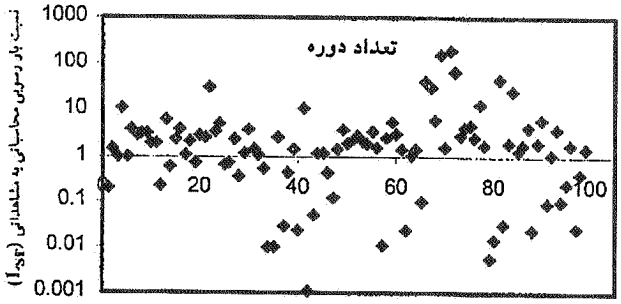

نمودار ۵-۳. روش وان‌ریجن، رودخانه کارون



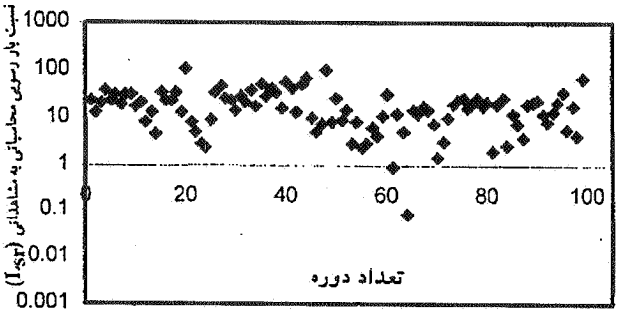

نمودار ۵-۴. روش وان‌ریجن، رودخانه مارون



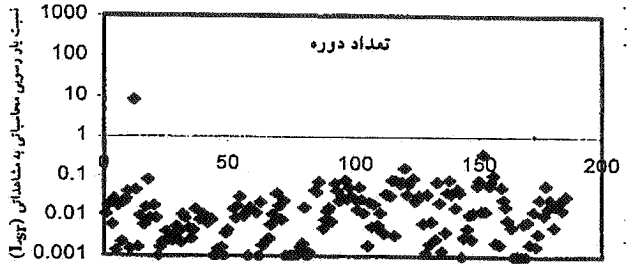

نمودار ٦-۱. روش وایف، رودخانه دز




نمودار ٦-۲. روش وایف، رودخانه کرخه




نمودار ٦-۳. روش وایف، رودخانه کارون



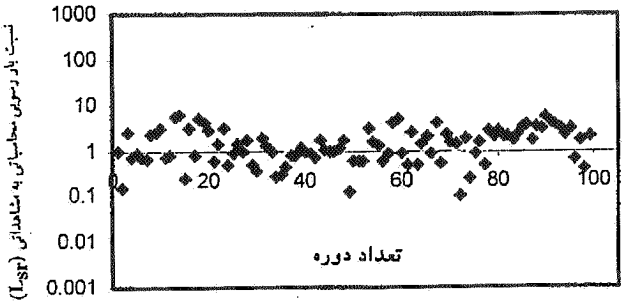

نمودار ٦-٤. روش وایف، رودخانه مارون

نمودارهای ۹-۱ تا ۹-٤ و جداول ۳ و ٤ نشان می‌دهد که روش بگ پاسخ‌های خوبی برای چهار ایستگاه نداده است. ولی داده‌ها به موازات خط ۱ = $L_{sr}$ پراکنده شده‌اند. بنابراین، این روش با ضریب ۰/۱ اصلاح شد و نتایج بسیار خوبی را نشان داد، که نتایج آن در جداول ۵ تا ۷ آورده شده است. هم‌چنین، نمودارهای ۱۱-۱ تا ۱۱-٤ حالت اصلاح شده این روش را

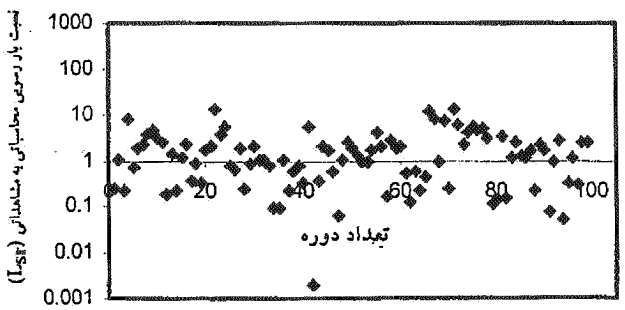


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

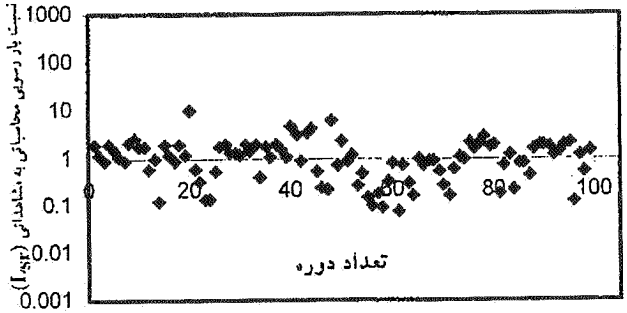
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]



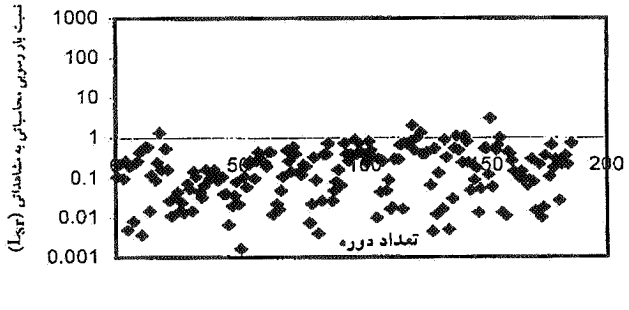

نمودار ۷-۱. روش انگلاند و هانسن، رودخانه دز



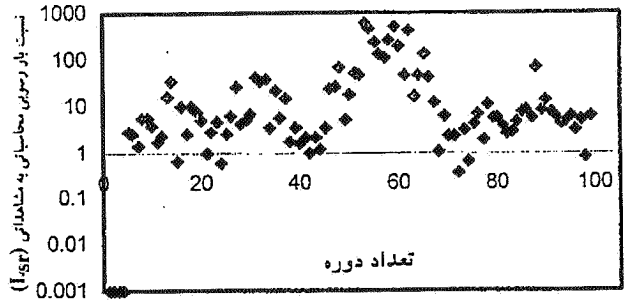

نمودار ۷-۲. روش انگلاند و هانسن، رودخانه کرخه



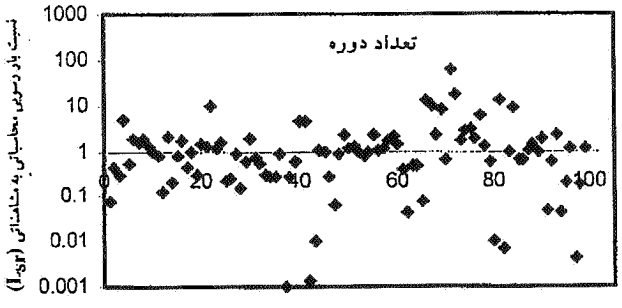

نمودار ۷-۳. روش انگلاند و هانسن، رودخانه کارون



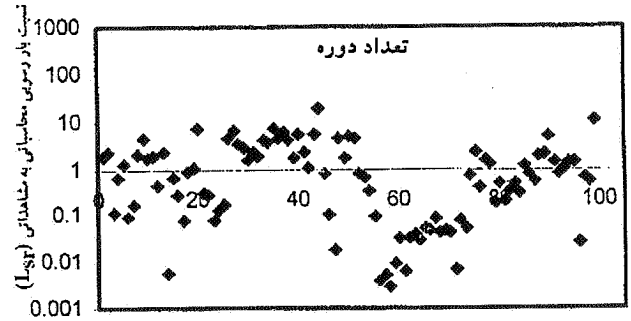

نمودار ۷-۴. روش انگلاند و هانسن، رودخانه مارون



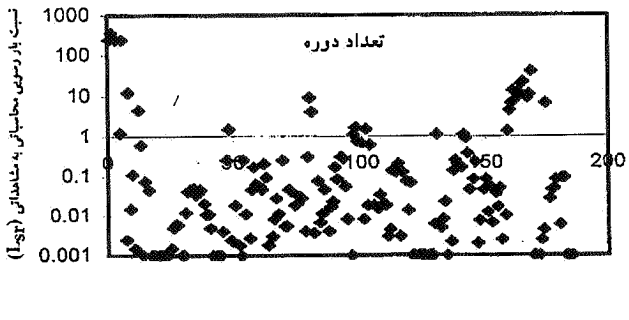

نمودار ۸-۱. روش یانگ، رودخانه دز




نمودار ۸-۲. روش یانگ، رودخانه کرخه




نمودار ۸-۳. روش یانگ، رودخانه کارون




نمودار ۸-۴. روش یانگ، رودخانه مارون

نشان می‌دهد.

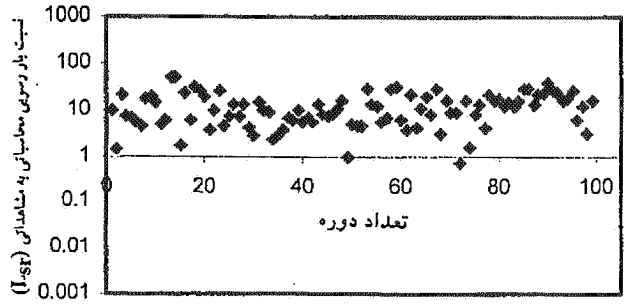
نمودارهای ۱۰-۱ تا ۱۰-۴ نشان می‌دهد که روش فاضل برآوردهای مناسبی نداشته، و قابلیت اصلاح را نیز ندارد.

همان گونه که پیش‌تر گفته شد، برنامه کامپیوتری نوشته شده می‌تواند روش‌ها را با تغییر ضرایب ثابت اصلاح نماید. با اجرای برنامه برای تمام روش‌ها، تنها برخی از روش‌ها با به کار

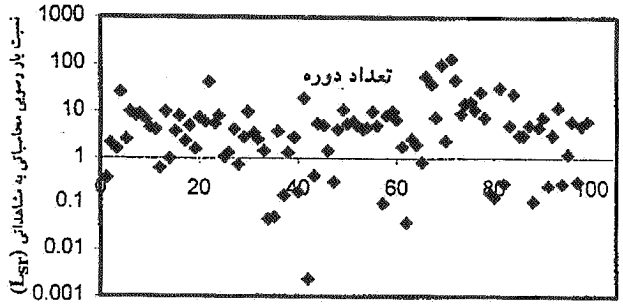


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

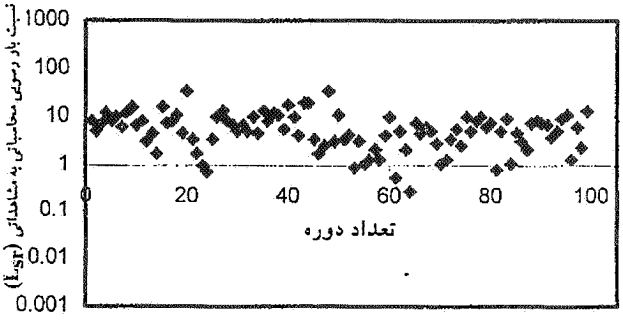
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]



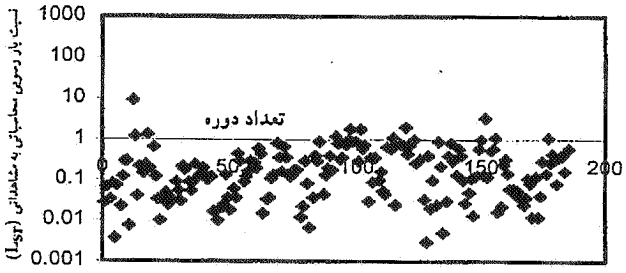

نمودار ۹-۱. روش بگ، رودخانه دز



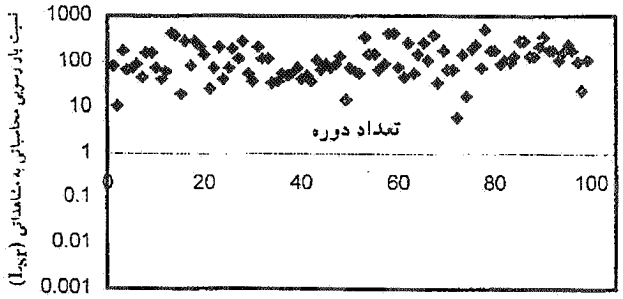

نمودار ۹-۲. روش بگ، رودخانه کرخه



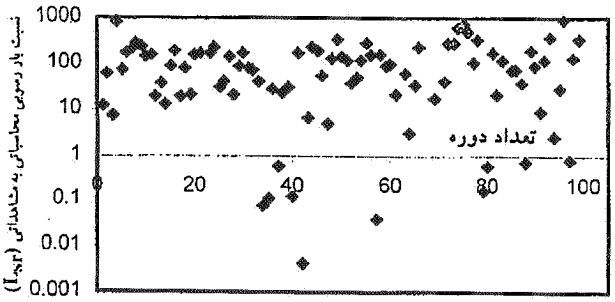

نمودار ۹-۳. روش بگ، رودخانه کارون



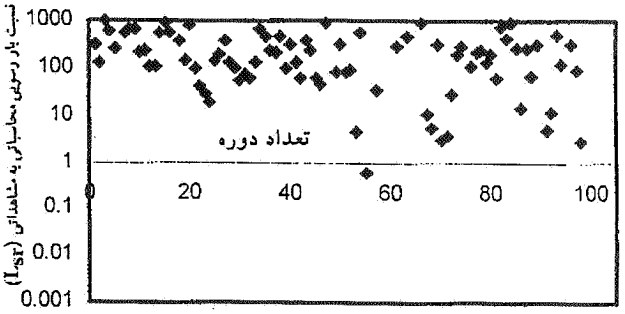

نمودار ۹-٤. روش بگ، رودخانه مارون



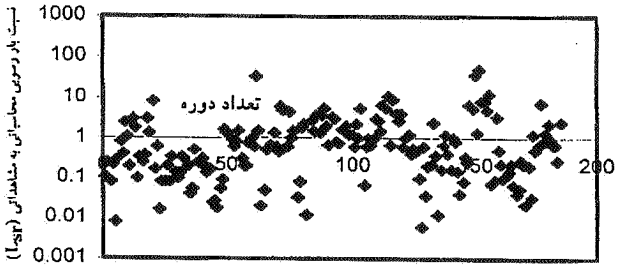

نمودار ۱۰-۱. روش فاضل، رودخانه دز




نمودار ۱۰-۲. روش فاضل، رودخانه کرخه




نمودار ۱۰-۳. روش فاضل، رودخانه کارون



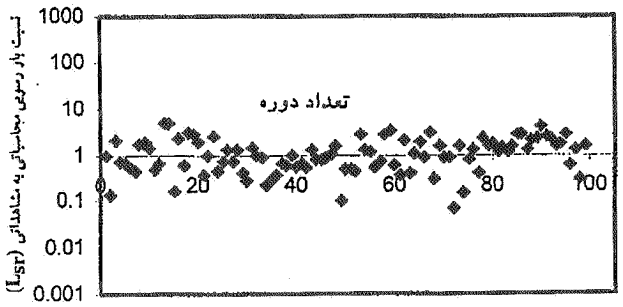

نمودار ۱۰-٤. روش فاضل، رودخانه مارون

بردن ضرایب ثابت برآوردهای بهتری داشتند، که این روش‌ها در جداول ۵ تا ۷ ارائه شده است. این جداول نشان می‌دهد که سه روش بگنولد، وایف و انگلاند و هانسن به ترتیب با ضرایب ۱۰ ، ۰/۱ و ۱(بدون اعمال ضریب) نتایج خوبی را داده‌اند، که این سه روش مبتنی بر انرژی تبادلی جریان می‌باشند. این نکته گویای آن است که روش‌هایی که مبتنی بر انرژی تبادلی جریان می‌باشند روند برآورد مناسبی دارند، ولی ممکن است به نسبتی ثابت بیشتر یا کمتر برآورد کنند، که این

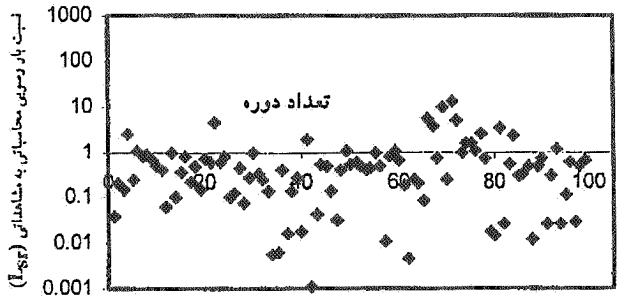


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

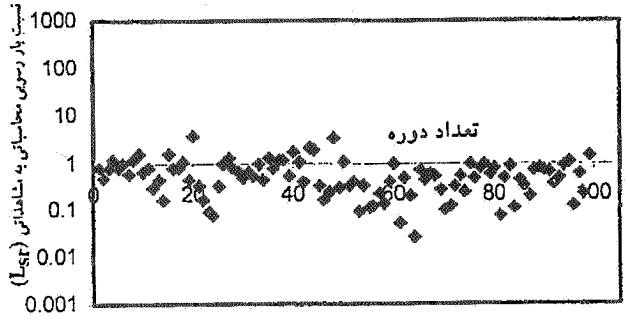
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]



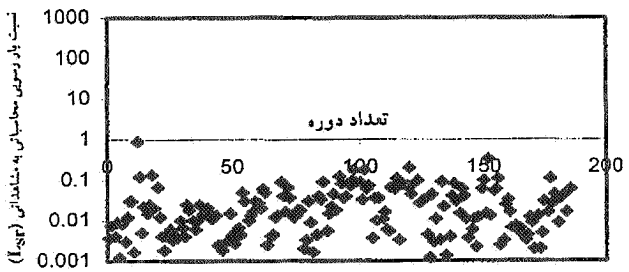

نمودار ۱۱-۱. روش بگ اصلاح شده، رودخانه دز




نمودار ۱۱-۲. روش بگ اصلاح شده، رودخانه کرخه




نمودار ۱۱-۳. روش بگ اصلاح شده، رودخانه کارون




نمودار ۱۱-٤. روش بگ اصلاح شده، رودخانه مارون

موضوع در روش‌های دیگر دیده نشد. به عنوان مثال، می‌توان نمودار ۱-۲ که روش انیشتین را برای رودخانه کرخه نشان می‌دهد، با نمودار ۲-۱ که روش بگنولد را برای رودخانه دز نشان می‌دهد، مقایسه نمود. در نمودار ۱-۲ نقاط دارای پراکندگی زیادی هستند، ولی در نمودار ۲-۱ نقاط دارای پراکندگی کم و به موازات خط $L_{sr}$ =۱ رسم شده‌اند. بنابراین، می‌توان به طور کلی نتیجه گرفت که عمدتاً روش‌هایی که مبتنی بر انرژی تبادلی جریان هستند، با اصلاحاتی، در برآورد بار رسوبی مناسب‌ترند.

## نتیجه‌گیری

۱. روش انگلاند- هانسن، بدون به کار بردن ضریب، در سه ایستگاه بامدژ از رودخانه دز، پای پل از رودخانه کرخه، و اهواز ار رودخانه کارون، پاسخ‌های نسبتاً خوبی را از خود نشان داده است.

۲. روش بگ با به کار بردن ضریب ۰/۱، پاسخ‌های خوبی در ایستگاه‌های بامدژ، پای پل و اهواز به دست داده است.

۳. با توجه به جداول ۵ تا ۷ می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های مبتنی بر انرژی تبادلی جریان، با اصلاحاتی برای رودخانه‌های خوزستان مناسب‌ترند.

## منابع مورد استفاده


۱. استاد علی عسکری، م. ۱۳۷٦. بررسی عملکرد روش اصلاح شده انیشتین در برآورد بار کل رسوبات رودخانه‌های کارون و کرخه در ایستگاه‌های اهواز و حمیدیه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲. میربیگ سبزواری، ن. ۱۳۷۱. بررسی روش‌های برآورد بار رسوب و محاسبه رسوبات رودخانه کارون در ایستگاه اهواز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.




[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]

3. Ackers, P. and W. R. White. 1973. Sediment transport : new approach and analysis. Hydraulic Eng. 99(11): 2041-2060
4. Bagnold, R. A. 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. US Geological Survey Professional Paper. 422- J.
5. Barr, D. H. I. and J. G. Herbertson. 1968. Similitude theory applied to correlation of flume sediment transport. Water Resour. Res. 4(2): 307–316.
6. Bechteler, W. and M. Vetter. 1989. The computation of total sediment transport in view of changed input parameters. Proc. Int. Symp. on Sediment Transport Modeling, 1989. USA.
7. Beg, M. 1995. The prediction of total bed material load transport in streams : management of sediment. Sixth lnetenational Symp. on River Sedimentation, New Delhi, lndia.
8. Bishop, A. A. , D. B. Simons and E. V. Richardson. 1965. Total bed material transport. Proc. ASCE 91(HY2): 175–191.
9. Brown, C. B. 1950. Engineering Hydraulics. H. Rouse (Ed.) John Wiley and Sons, Inc. , London.
10. Celik, I. and W. Rodi. 1991. Suspended sediment transport capacity for open channel flow. J. Hydr. Eng. ASCE 117(2): 191– 204.
11. Chang, F. M. , D. B. Simons and E. V. Richardson. 1967. Total bed–material discharge in alluvial channels. Proc. 12th Congress of IAGR, Fort Collins, Colorado, USA.
12. Colby, B. R. and C. H. Hmbree. 1955. Computations of bed material discharge. J. Hydr. , Niobrara River Near Cody, Nebraska, U. S. Geol. Survey, Water Supply Paper 1357.
13. Cooper, R. H. and A. W. Peterson. 1968. Analysis of comprehensive bed load transport data from flumes. ASCE Hydraulics Specialty Conference, Cambridge, Mass. , August, 21-23.
14. Du Boys, P. 1979. Le Rhone et les Rivieres a lit a ffouillable. Annales des Ponts et Chaussees, Series 5, 18: 141-195.
15. Einstein, H. A. 1942. Formulae for the transportation of bed load. Trans. , ASCE 107:
16. Einstein, H. A. 1950. The bed load function for sediment transportation in open channels. Technical Bulletin 1026, U. S. Dept. of Agric., Soil Conservation Service, Washington, D. C.
17. Engelund, F. and J. Frdsoe. 1976. A sediment transport model for straight alluvial channels. Nordic Hydrology 7: 293-306.
18. Engelund, F. and E. Hansen. 1967. A monograph on sediment transport in alluvial streams. Tednisk Vorlag, Copenhagen, Denmark.
19. Fazel, K. 1998. Bed material discharge prediction for monuniform bed sediments. Hydr. Eng. 124(6):
20. Gilbert, K. G. 1914. The transportation of debris by running water. U. S. Soil Survey Prof. , Paper 86.
21. Grigg, N. S. 1969. Motion of single particles in sand channels. U. S. Geological Survey, Water Resour. Div. , Open file report, Fort Collins, Colorado.
22. Habibi, M. and M. Sivakumar. 1993. Test on a new method of suspended load estimation. Proc. Int. Conf. on Environ. Manage., Geo-Water and Eng. Aspects, Univ. of Wollongong, Australia, 8-11 February.
23. Holtroff, G. 1983. Steady bed material transport in alluvial channels. J. Hydr. Eng. ASCE
24. Hubell, D. W. and W. W. Sayre. 1964. Sand transport studies with radioactive tracers. J. Hudr. Eng. ASCE 90(HY3):
25. Ingram, J. J., A. T. R. Steven and E. V. Richardson. 1991. Sediment discharge computation using point-sampled suspended sediment data. J. Hydr. Eng. ASCE 117(6): 758-773.
26. Kalinske, A. A. 1942. Criteria for determining sand-transport by surface-creep and salution. Trans. Am. Geophy. Union, 23: 2

[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]

27. Karim, M. F. and J. F. Kennedy. 1983. Computer-based predictors for sediment discharge and friction factors of alluvial streams. Proc. 2nd. Symp. on River Sediment., Najing, China, Water Resour. and Electric Power Press, Beijing-China.
28. Knapp, R. T. 1938. Energy balance in stream flows varying suspended load. Trans. Am. Geophy. Union :501-505.
29. Larson, E. M. 1958. The total sediment load of streams. J. Hydr. Division, ASCE 84(HY1).
30. LU, J. Y. and R. M. Li. 1986. Computation of sediment discharge. Proc. Third Int. Symp. on River Sediment. , The Univ. of Mississippi, March 31-April 4.
31. Meyer-Peter, E. and R. Muller. 1948. Formulas for bed-load transport. Report on Second Meeting of Int. Assoc. for Hudraulic Res. , Stockholm, Sweden.
32. Misri, R. L. , R. J. Garde and K. G. Ranga Raju. 1984. Bed load transport of coarse non-uniform sediment. J. Hydr. Eng. ASCE 115(3):
33. O,Brien, M. P. and B. D. Rindlaub. 1934. The transport of bed lead by streams. Trans. Am. Geophy. Sci. :87-119.
34. Paintal, A. S. 1971. A stochastic model of bed-load transport. J. Hydr. Res. , IAHR 9(4): 527-554.
35. Proffitt, G. J. and A. J. Sutherland. 1983. Transport of non-uniform sediment. J. Hydr. Res. , IAHR 21(1): 33-43.
36. Rubey, W. W. 1933. Equilibrium-conditions in debris-landen streams. Trans. Am. Geophy. Union
37. Samaga, R. B. , G. K. Ranga Raju and J. R. Garde. 1985. Concentration distribution of sediment mixtures in open channel flow. J. Hydr. Res. , IAHR 23(5): 467-483.
38. Samaga, B. R. , G. Ranga Raju and J. G. Ramchandra. 1986. Suspended load transport of sediment mixtures. Hydraulic Eng. 112(11):
39. Sato, S. , H. Kikkawa and K. Ashido. 1958. Research on the bed load transportation. J. Res. 28:
40. Sayre, W. W. and W. J. Conover. 1967. General two dimensional stochastic model for the transport and dispersion of bed material sediment particles. Proc 12th Congress of IAHR, Forth Collins, Colorado, USA.
41. Sayre, W. W. and D. W. Hubbell. 1965. Transport and dispersion of labeled bed material- North loup river, Nebraska. U. S. Geological Survey, Prof. Paper 433-C.
42. Shen, H. W. and C. S. Hung. 1971. An engineering approach to total bed material load. J. Hydr. Eng. ASCE 109(4): 565-578.
43. Shen, H. W. and P. Todorovic. 1971. A general stochastic model for the transport of sediment bed material. Int. Symp. on Stochastic Hydraulics, Univ. of Pitsburgh, Pennsylvania, May 31- Junes.
44. Shields, A. 1936. Anwendung der aehnlichkeits mechanik undder turbulens for schung auf die geschiebebewegung. Mitteilungen der Pruessischen ver Such Sanstalt Fur Wasser, Erd. Schiffsbau, Berlin, No.26.
45. Straub, L. G. 1935. Missouri river report. House Document 238, 73rd Congress, 2nd Session, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.
46. Toffaleti, F. B. 1969. Definitive computations of sand discharge in rivers. ASCE Hydraulics Divi. 95(10): 225-246.
47. Van Rijn, L. C. 1984 a. Sediment transport. Part I: Bed load transport. Hydraulic Eng. 110(10): 1413- 1456.
48. Van Rijn, L. C. 1984 b. Sediment transport, Part II: Suspended lond transport. Hydraulic Eng. 110(11): 1613-1641.
49. Van Rijn, L. C. 1984 c. Sediment transport. Part. III: Bed forms and alluvial roughness. Hydraulic Eng. 110(12): 1733-1754.
50. Velikanov, M. A. 1954. Principle of the gravitational theory of the movement of sediments. Acad. of Sci. Bull. , USSR Geophy. Series 4: 349-359.
51. Wills, J. C. and N. L. Coleman. 1969. Coordination of data on sediment transport in flumes by similitude principles. Water Resour. Res. 5(6): 1330-1336.
52. Wiuff, R. 1985. Transport of suspended materials in open submerged streams. J. Hydr. Eng. ASCE 111(5): 774-792.
53. Yalin, M. S. 1963. An expression for bed load transportation. J. Hydr. Eng. ASCE 89(HY3): 221-250.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]

54. Yang, C. T. 1968. Sand dispersion in a loboratory flume. Ph. D. Dissertation, Dept. of Civil Eng., Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado.
55. Yang, C. T. 1972. Unit stream power and sediment transport. J. Hydr. Eng. ASCE 98(HY10): 1805-1826.
56. Yang, C. T. 1973. Incipient motion and sediment transport. ASCE Hydraulics Div. 99(100): 1979-1704.
57. Yang, C. T. 1976. Unit stream power equation for total load. J. Hyd. 40(1/2): 123-138.
58. Yang, C. T. 1984. Unit stream power equation for gravel. Hydraulic Eng. 110(12): 1783-1797.

[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.1.18.5 ]