

برآورد بار بستر و بار کل رسوب با روش تصحیح شده اینشتین

ارائه مدل ریاضی

محمود شفاعی بجستان^۱ و منصور استاد عسگری^۲

چکیده

کاربرد روش تصحیح شده اینشتین، توسط دفتر استانداردهای صنعت آب ایران، وابسته به دفتر فنی وزارت نیرو توصیه شده است. این روش در رودخانه‌های کم عمق نیراسکا (آمریکا) کالیبره شده و ضریب ϕ به طور مصنوعی به نصف کاهش داده شده است. از طرفی، این روش به صورت ترسیمی و وقت گیر می‌باشد، به طوری که کاربرد آن را غیرممکن نموده است. از این رو، در این مطالعه به منظور سهولت و تسريع محاسبات، یک مدل ریاضی تهیه گردیده است. در این مدل کلیه متغیرها به معادلات جبری تبدیل، و انتگرال‌های پیچیده با روش تحلیلی و عددی حل شده است. هم چنین، به منظور تعیین دقیقیت کاربرد و واسنجی روش در رودخانه‌های کارون و کرخه، داده‌های رسوب و هیدرولوژی ایستگاه‌های اهواز و حمیدیه به مدت ۷ سال جمع‌آوری، و میزان بار رسوب با مدل محاسبه و با نتایج اندازه‌گیری شده مقایسه گردید.

میزان تأثیر تعدادی از متغیرهای مهم، از جمله مقدار ϕ ، در برآورد بار رسوب مورد مطالعه قرار گرفت. از آن جاکه روش تصحیح شده اینشتین، میزان بار بستر را نیز جداگانه محاسبه می‌کند، سعی گردید تا با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده قبلی از رودخانه‌های آمریکا، دقیقیت روش در برآورد میزان بار بستر مورد ارزیابی قرار گیرد. در این مقاله نحوه مدل کردن روش، داده‌های جمع‌آوری شده، تجزیه و تحلیل حساسیت روش و دقیقیت روش در برآورد بار بستر و بار کل رسوب ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: رسوب، بار بستر، بار معلق، کارون، کرخه

مقدمه

به کلیه ذرات سنگی و معدنی، که در اثر جریان آب از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر منتقل می‌شوند، رسوب اطلاق می‌شود. مواد در حال حرکت را بار رسوبی، و حرکت این مواد در آبراهه را انتقال رسوب گویند. انتقال رسوب ممکن است به دو صورت انجام

۱. استاد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. کارشناس ارشد آبیاری، امور مهندسی رودخانه، شرکت مهندسین مشاور دزآب، اهواز

$$Q'_{si} = i_s \gamma C'_s Q \left[(1 - E') - \frac{E' \log E'}{P_m - 1} \right] \quad [2]$$

در روابطه فوق، C' مقدار غلظت مواد معلق اندازه گیری شده، γ وزن واحد حجم آب، Q دبی جریان، i درصد اندازه ذرات رسوب معلق به اندازه D_i و E' برابر a'/d است، که a' فاصله نمونه بردار معلق تا بستر رودخانه، و d عمق رودخانه می باشد، و مقدار P_m از رابطه ۳ به دست می آید:

$$P_m = 2/3 \log \frac{30/2xd}{D_{65}} \quad [3]$$

که در آن D_{65} اندازه ذره رسوبی که ۶۵ درصد ذرات کوچکتر از آن می باشند، و x متغیری است که در روابطه توزیع لگاریتمی سرعت اینشتین (۷) می باشد و با سعی و خطوا با داشتن لزجی مایع به دست می آید. مقدار x برای جریان های با بستر زیر برابر واحد است.

مقدار بار بستر $[q_0]$ را نیز می توان از رابطه ۴ به صورت زیر محاسبه کرد:

$$i_b q_b = \frac{1}{3} \phi i_b \gamma s \sqrt{\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1} \sqrt{g D_i^3} \quad [4]$$

که در آن ϕ درصد ذرات رسوب بستر به اندازه D_i وزن واحد حجم ذرات رسوب، g شتاب ثقل و ϕ شدت بار بستر است که بر حسب ψ (شدت تنفس)، از منحنی که توسط اینشتین ارائه شده (۷)، به دست می آید. مقدار ψ بزرگ ترین مقداری است که از یکی از روابط ۵ حاصل می شود (۷):

$$\psi = \frac{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) D_{35}}{R's} \quad [5]$$

$$\psi = \frac{0.4 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) D_m}{R's}$$

که در آن D_m اندازه میانه ذرات رسوب، R' شعاع هیدرولیکی ذره و S شیب خط انژی یا شیب سطح آب می باشد. مقدار بار

امضواعات مهم و مطرح در علم هیدرولیک است. در دهه های اخیر، رابطه های متعددی در این زمینه ارائه شده است. تعدادی از این روش ها فقط بار بستر، تعدادی فقط بار معلق، و تعدادی نیز مجموع بار بستر و بار معلق را، که بار مواد بستر نامیده می شود، برآورد می کنند. عمدتاً این روش ها براساس کارهای آزمایشگاهی بنا گردیده و کاربرد آنها همیشه در عمل مورد سؤال بوده است.

یکی از روش های برآورد بار کل رسوب، روش تصحیح شده اینشتین است، که توسط کلبی و همبری (۵)، براساس روش اصلی اینشتین (۷) ارائه گردیده و عملکرد آن در رودخانه های نبراسکا در کشور آمریکا، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این روش، برای نزدیک کردن داده های به دست آمده و اندازه گیری شده، ضریب ϕ روش اینشتین به طور مصنوعی به نصف کاهش یافته است.

از آن جا که این روش اخیراً توسط دفتر فنی وزارت نیرو مورد توصیه قرار گرفته (۳)، و با توجه به وقت گیر بودن روش، به خاطر استفاده از متغیرهای متعدد، و از آن جا که عملکرد این روش در هیچ یک از رودخانه های کشور مورد ارزیابی قرار نگرفته، این پژوهش انجام گردید. در این مطالعه، ابتدا برای سهولت، دقت و سرعت محاسبات، یک مدل ریاضی ارائه شد. سپس داده های بار معلق رودخانه های کارون و کرخه در ایستگاه های اهواز و خمیده، و داده های بار بستر رودخانه ایست فورک آمریکا، با روش تصحیح شده اینشتین ارزیابی و دقت روش بررسی گردید.

روش تصحیح شده اینشتین

در روش تصحیح شده اینشتین، مقدار دبی رسوب معلق در واحد عرض رودخانه در منطقه نمونه برداری شده (Q'_s) از رابطه ۱ به دست می آید (۵ و ۶):

$$Q'_s = \sum Q'_{si} = C'_s \gamma Q \quad [6]$$

که در آن Q'_{si} دبی رسوب معلق برای ذرات رسوبی به اندازه i می باشد، که از رابطه ۲ استخراج می شود:

به علت محدودیت جا، از گنجاندن منحنی‌های متعدد صرف نظر شده است. خوانندگان می‌توانند به یکی از منابع^{۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۰} و یا ۱۱ مراجعه نمایند.

مواد و روش‌ها مدل ریاضی

استفاده از نمودارها و معادلات متعدد در روش تصحیح شده اینشتین بسیار وقت‌گیر است و محاسبات از دقت لازم برخوردار نخواهد بود. از این رو، یک مدل ریاضی ارائه شده است که ضمن تسريع در محاسبات، دقت لازم را نیز دارد. در این مدل، به جای استفاده از نمودارها، از معادلات جبری استفاده شده، که توضیح داده شده است. اندازه D_{۲۵} و D_{۶۵} با فرض توزیع نیمه لگاریتمی دانه‌بندی ذرات رسوب، از روابط زیر استخراج می‌گردد:

$$D_{25} = \text{EXP} \left[D_1 D_2 - \frac{(B_{i2} - 0/25) (LnD_2 - LnD_1)}{B_{i2} - B_{i1}} \right] \quad [12]$$

$$D_{65} = \text{EXP} \left[D_1 D_2 - \frac{(B_{i2} - 0/65) (LnD_2 - LnD_1)}{B_{i2} - B_{i1}} \right] \quad [14]$$

که در آن B_{i1} و B_{i2} درصد مواد بستر کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از D₂₅ یا D₆₅ و D₁ و D₂ اندازه ذرات کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از D₂₅ یا D₆₅ می‌باشد. مقدار لزجی سینماتیکی براساس درجه حرارت آب، به صورت رابطه زیر است:

$$\nu = 8/5194 \times 10^{-8} (\ln T_e) + 1/7 \times 10^{-6} \quad [15]$$

که در آن T_e درجه حرارت آب بر حسب سانتی‌گراد، و لزجی سینماتیکی بر حسب مترمربع در ثانیه می‌باشد. \times متغیری است در رابطه توزیع لگاریتمی اینشتین بر حسب M=D₆₅/δ (δ ضخامت زیرلایه ورقه‌ای است)، و از منحنی ارائه شده توسط اینشتین به دست می‌آید. در مطالعه حاضر، معادلات زیر

کل رسوب Q_T نیز از یکی از روابط ۶ یا ۷ محاسبه می‌شود:

$$Q_T = Q'_{si} \frac{P_m J_1 + J_2}{P_m J'_1 + J'_2} \quad [6]$$

$$Q_T = i_b Q_b (P_m J'_1 + J'_2 + 1) \quad [7]$$

که در آن Q_b=Bq_b، B عرض رودخانه و qb دبی بار بستر در واحد عرض رودخانه است. J₁، J₂ و J₁ دارای معادلات انتگرال به صورت زیر می‌باشند:

$$J_1 = 0/216 \frac{E^{z'-1}}{(1-E)^{z'}} \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^{z'} dy \quad [8]$$

$$J_2 = 0/216 \frac{E^{z'-1}}{(1-E)^{z'}} \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^{z'} Lny dy \quad [9]$$

$$J_1 = \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^{z'} dy \quad [10]$$

$$J_2 = \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^{z'} Lny dy \quad [11]$$

در این روابط، E برابر a/d و a ضخامت بار بستر است، که معمولاً برابر ۲D می‌باشد. عبارت است از توان توزیع غلظت در رابطه رأس، که برابر است با $\frac{\omega}{\sqrt{4u_*}}$ ، ω سرعت سقوط ذرات رسوب و u_{*} سرعت برشی ذره و برابر است با J'_1 و J'_2 نیز از روابط ۱۰ و ۱۱ به دست می‌آیند، با این تفاوت که E'=a/d جای گزین E می‌شود. معادلات ۸ الی ۱۱ توسط اینشتین (۷) و کلبه و همبیری (۵)، به صورت ترسیمی حل، و منحنی‌هایی ارائه شده است که از این منحنی‌ها بر حسب E' و z' می‌توان مقادیر انتگرال‌ها را به دست آورد. E' و z' می‌توان توزیع غلظت (z') به روش آزمون و خط‌محاسبه می‌شود، بدین ترتیب که با انتخاب مقادیر متفاوت z' سعی می‌گردد تا تساوی رابطه زیر برقرار باشد:

$$\frac{Q'_{si}}{i_b Q_b} = \frac{I_1}{J_1} \left(P_m J'_1 + J'_2 \right) \quad [12]$$

که در اینجا، ϵ یک کمیت بزرگتر از E است. عبارت اول

سمت راست رابطه ۱۸ را می‌توان به صورت سری زیر جای

گزین کرد:

$$\int_E^\epsilon \left(\frac{1-y}{y}\right)^{z'} dy = \int_E^\epsilon y^{-z'} (1-y)^{z'} dy = [19]$$

$$\int_E^\epsilon y^{-z'} \left[1 - z'y + \frac{z'(z'-1)}{2} y^2 + \dots \right] dy$$

سمت راست رابطه ۱۹ را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از

انتگرال‌ها نوشت که به روش‌های تحلیلی قابل حل هستند. با حذف ترم‌های چهارم به بعد، و قرار دادن در رابطه ۸، مقدار I_1

برابر خواهد بود با:

$$I_1 = \frac{E^{z'-1}}{(1-E)^{z'}} \left[F_1 + F_2 + F_3 + \int_\epsilon^1 \left(\frac{1-y}{y} \right) dy \right] [20]$$

که در آن:

$$F_1 = \int_E^\epsilon y^{-z'} dy = \begin{cases} \frac{1}{1-z'} \left(\epsilon^{1-z'} - E^{1-z'} \right) & z' \neq 1 \\ \ln \epsilon - \ln E & z' = 1 \end{cases}$$

$$F_2 = \int_E^\epsilon y^{1-z'} dy = \begin{cases} \frac{z'}{z'-2} \left(\epsilon^{z'-z} - E^{z'-z} \right) & z' \neq 2 \\ -\frac{1}{2} (\ln \epsilon - \ln E) & z' = 2 \end{cases}$$

$$F_3 = \frac{z'(z'-1)}{2} \int_E^\epsilon y^{z'-z} dy = \begin{cases} \frac{z'(z'-1)}{2(z'-3)} \left(\epsilon^{z'-z} - E^{z'-z} \right) & z' \neq 3 \\ \frac{1}{3} (\ln \epsilon - \ln E) & z' = 3 \end{cases}$$

به همین ترتیب مقدار I_2 نیز محاسبه می‌شود، که می‌توان نوشت:

$$I_2 = \frac{E^{z'-1}}{(1-E)^{z'}} \left[G_1 + G_2 + G_3 + \int_\epsilon^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^{z'} \ln y dy \right] [21]$$

$$G_1 = \begin{cases} \frac{\epsilon^{1-z'}}{1-z'} \left(\ln E - \frac{1}{1-z'} \right) - \frac{E^{1-z'}}{1-z'} \left(\ln E - \frac{1}{1-z'} \right) & z' \neq 1 \\ \frac{1}{2} \left[(\ln \epsilon)^2 - (\ln E)^2 \right] & z' = 1 \end{cases}$$

جایگزین این منحنی شده است:

$$x = \frac{1}{0.374} (\ln M)^2 + \frac{1}{0.045} \ln M + \frac{1}{0.577} \quad M \leq 0.56$$

$$x = \frac{0.92 \ln \left(\frac{M}{0.145} \right)}{0.56} \quad 0.56 < M \leq 0.76$$

$$x = \frac{0.292 \ln \left(\frac{M}{2.9 \times 10^{-6}} \right)}{0.76} \quad 0.76 < M \leq 0.96$$

$$x = \frac{0.277 \ln \left(\frac{632000}{M} \right)}{0.96} \quad 0.96 < M \leq 1.35$$

$$x = \frac{0.175 (\ln M)^2 - 0.752 \ln M + 1.812}{1.35} \quad 1.35 < M \leq 1.0$$

$$x = 1.0 \quad M > 1.0$$

[16]

رابطه شدت بار بستر ϕ و شدت تنش (ψ) که توسط اینشتبین به صورت منحنی ارائه شده (۷)، نیز به وسیله معادله ۱۷

جایگزین شده است:

$$\phi = \text{EXP} \left[-1/0.71 (\ln \psi)^2 + 0.569 (\ln \psi) + 1/836 \right] \quad 0.9 \leq \psi \leq 27 [17]$$

محاسبه z' در مدل با دو روش، یکی روش آزمون و خطأ و دیگری روش کلبی، امکان پذیر می‌باشد. در روش آزمون و خطأ، مقدار z' طوری باید تعیین شود که تساوی رابطه ۱۲ برقرار گردد. بدین ترتیب ابتدا می‌بایستی مقادیر I_1, I_2, J_1, J_2 را تعیین کرد. این مقادیر به صورت انتگرال‌هایی هستند که در مدل ریاضی باید با یکی از روش‌های عددی حل گردند. از طرفی، در رودخانه‌های عمیق و با بستر ماسه‌ای نظری کارون و کرخه، $E = \frac{a}{d} = \frac{2D_i}{d}$ عدد بسیار کوچکی نزدیک به صفر می‌شود، در نتیجه در زمان محاسبه مقدار انتگرال $E = y \Rightarrow y = \frac{1-y}{E}$ به سمت بی‌نهایت میل خواهد کرد، که حل عددی انتگرال‌ها غیرممکن می‌باشد. به منظور رفع این مشکل، انتگرال‌های فوق به صورت زیر نوشته می‌شود (۲) و

: (۹)

$$\int_E^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^{z'} = \int_E^\epsilon \left(\frac{1-y}{y} \right)^{z'} dy + \int_\epsilon^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^{z'} dy [18]$$

داده‌های استفاده شده

برای بررسی دقت روش تصحیح شده اینشتین، داده‌های سه رودخانه به شرح زیر جمع آوری و مورد استفاده قرار گرفت.

الف) ایستگاه اهواز - رودخانه کارون. تعداد ۸۰ نمونه داده‌های رسوب مواد معلق، که به مدت هفت سال، در سال‌های ۱۳۶۷ الی ۱۳۷۴ برداشت شده است. نمونه‌هایی انتخاب شده‌اند که هم‌زمان با دبی جریان، مشخصات رسوب بستر و معلق، و هم‌چنین شبی سطح آب اندازه‌گیری شده است.

ب) ایستگاه حمیدیه - رودخانه کرخه. تعداد ۸۶ نمونه رسوب مواد معلق با مشخصاتی که اشاره شد، در سال‌های ۱۳۶۷ الی ۱۳۷۴ برداشت شده است.

ج) داده‌های بار بستر رودخانه ایست فورک در آمریکا، که توسط لئوپولد و امت (۸) اندازه‌گیری شده است. توضیح این که، داده‌های الف و ب توسط اداره کل امور آب، سازمان آب و برق استان خوزستان برداشت شده و در اختیار نویسنده‌گان قرار گرفته است. جزئیات بیشتر، و کلیه داده‌های مورد استفاده را می‌توان از پایان نامه استاد عسگری (۱) استخراج کرد.

نتایج و بحث

از آن جاکه روش تصحیح شده اینشتین نیاز به داده‌های متعددی دارد که همه آنها به طور هم زمان در ایستگاه‌های هیدرومتری اندازه‌گیری نمی‌شود، لذا ابتدا میزان حساسیت برآورد بار رسوب در میزان خطای ناشی از هر یک از متغیرها مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی تعداد ۲۰ نمونه از ایستگاه اهواز، که تقریباً به طور هم زمان اندازه‌گیری شده بودند، و شامل دبی‌های کم تا حد اکثر می‌شدند، انتخاب گردید. نتیجه این بررسی‌ها نشان داد که ۱۰ درصد خطای ناشی از متغیرهایی چون درجه حرارت، D_{25} و D_5 ، عمق متوسط و سرعت جریان، تأثیر ناچیزی روی بار کل رسوب دارد. تغییر ضریب ϕ به اندازه $1/15 \pm 0$ ، تنها باعث تغییر سه درصد در میزان بار کل رسوب گردید. هم‌چنین، خطای

$$G_2 = \begin{cases} \frac{z' \varepsilon^{2-z'}}{z'-2} \left[\ln \varepsilon - \frac{1}{2-z'} \right] - \frac{z' E^{2-z'}}{z'-2} \left[\ln E - \frac{1}{2-z'} \right] & z' \neq 2 \\ - \left[(\ln \varepsilon)^2 - (\ln E)^2 \right] & z' = 2 \end{cases}$$

$$G_3 = \begin{cases} \frac{z'(z'-1)\varepsilon^{3-z'}}{2(3-z')} \left[\ln \varepsilon - \frac{1}{3-z'} \right] - \frac{z'(z'-1)E^{3-z'}}{2(3-z')} \left[\ln E - \frac{1}{3-z'} \right] & z' \neq 3 \\ \frac{3}{2} \left[(\ln \varepsilon)^2 - (\ln E)^2 \right] & z' = 3 \end{cases}$$

مقدار J_1 , J_2 , J'_1 و J'_2 با استفاده از روابط ۲۰ و ۲۱ به دست می‌آیند.

در روش کلیبی، مقدار z' براساس سرعت سقوط محاسبه می‌شود. بدین ترتیب که، ابتدا از روش آزمون و خطای مقدار z' برای اندازه ذره مبتنا، یعنی اندازه ذره‌ای که بیشترین بار معلق و بار بستر متعلق به آن است، تعیین می‌گردد و سپس از رابطه ۲۲:

$$\frac{z'_i}{z'} = \left(\frac{\omega_i}{\omega} \right)^{1/7} \quad [22]$$

مقدار z'_i برای سایر اندازه ذرات محاسبه می‌شود. در این رابطه، ω سرعت سقوط، به ترتیب برای اندازه ذره A و اندازه ذره مبتنا می‌باشد. در مدل، مقدار ω یا سرعت سقوط، از رابطه روبی (۴) به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$\omega = \frac{(10/79)D_i^3 + 3672}{D_i}^{1/5} - 67 \quad [23]$$

که D_i اندازه ذره برحسب متر، m^2/sec ، و ω سرعت سقوط ذره i برحسب متر در ثانیه است. رابطه ۲۳ برای ذرات با چگالی $2/65$ و $g = 9/81$ در سیستم متریک می‌باشد.

مقدار بار کل رسوب برای یک اندازه مشخص در مدل، از یکی از روابط ۶ یا ۷، برحسب این که مقدار بار معلق یا بار بستر برای آن اندازه ذره بزرگ‌تر باشد، محاسبه می‌شود.

مقادیر در محدوده دقت خوبی هستند (۱۲). شکل ۱ داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده را در مقابل دبی جریان نشان می‌دهد.

بار کل رسوب

مقدار بار کل رسوب در روش تصحیح شده اینشتین و بر مبنای بار معلق Q' از رابطه ۶ محاسبه می‌شود، که $Q' = Q$ مطابق رابطه ۲، مستقیماً به غلظت مواد معلق و دبی جریان بستگی دارد. با استفاده از ۸۰ نمونه ایستگاه اهواز و ۸۶ نمونه داده ایستگاه حمیدیه، میزان بار کل رسوب با روش تصحیح شده اینشتین محاسبه گردید. از آن جا که در این روش میزان بار بستر به طور جداگانه نیز محاسبه می‌شود، سعی شده تا نسبت بار بستر محاسبه شده به بار معلق محاسبه گردد. این نسبت برای رودخانه کارون بین حداقل صفر تا حداکثر ۱۱ درصد، و برای رودخانه کرخه بین حداقل دو تا حداکثر هشت درصد به دست آمد. نتایج در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

با استفاده از نتایج مدل، روابطی بین بار بستر، بار معلق و بار کل رسوب، و دبی جریان در ایستگاه‌های اهواز و حمیدیه استخراج گردید، که در جدول ۴ ارائه شده است. شکل‌های ۲ و ۳ بار معلق اندازه‌گیری شده رودخانه کارون و کرخه را در مقابل دبی جریان نشان می‌دهند.

نتیجه گیری

استفاده از روش تصحیح شده اینشتین که توسط دفترنی وزارت نیرو توصیه شده است، نیاز به صرف وقت زیادی دارد، که در این مطالعه برای سهولت، تسریع و دقت محاسبات یک مدل ریاضی ارائه گردید. برای کاربرد مدل در کلیه رودخانه‌ها، از جمله رودخانه‌های عمیق و با بستر ریزدانه، مقادیر انتگرال‌های این روش با ترکیب روش تحلیلی و عددی حل گردیده است. در این مطالعه داده‌های سه رودخانه مورد استفاده قرار گرفت و نتایج ذیل حاصل شد:

۱. روش تصحیح شده اینشتین با دقت خوبی مقدار بار بستر را

$10 \pm$ درصد در میزان Z' ، تنها $1/10 \pm$ درصد در میزان بار کل رسوب تغییر ایجاد می‌کند. به ازای ۵۰ درصد تغییر در فاصله تمونه گیر از کف بستر (۲)، میزان تغییر در بار کل رسوب تنها $1/2$ درصد بوده است، و خطای ۵۰ درصد در میزان ضریب α تنها $3/5$ درصد در بار بستر و $1/0$ درصد در بار کل رسوب خطای ایجاد می‌کند. نتایج فوق برای رودخانه کرخه نیز صادق است. دلیل این امر، عمیق بودن رودخانه و ریزدانه بودن رسوبات می‌باشد.

از طرفی، ملاحظه گردید که برای رودخانه‌هایی چون کارون و کرخه، که بار رسوبی آنها ریزدانه (ماسه و سیلت) است، نمی‌توان از روش کلی و همبُری (رابطه ۱۵) برای تعیین Z' استفاده کرد، زیرا α مربوط به اندازه معرف رسوبات بسیار کوچک، و در نتیجه به استناد رابطه ۱۵، مقدار Z' برای ذرات بار بستر خیلی زیاد به دست می‌آید، که منجر به خطای زیاد در محاسبه بار کل رسوب خواهد شد.

بار بستر

به منظور مقایسه نتایج حاصله از مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده بار بستر، تعداد ۴۵ نمونه داده‌های بار بستر رودخانه ایست فورک آمریکا استفاده شد. نتایج مدل با انتخاب درصدهای مختلفی از ϕ مورد بررسی قرار گرفت، که در این جا نتایج حاصل از به کار بردن 2ϕ ، و 5ϕ نشان داده می‌شود. این نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. بار بستر محاسبه شده در مقابل دبی جریان روی کاغذ لگاریتمی رسم، و ملاحظه گردید که برای دبی‌های کمتر از ۱۱ مترمکعب در ثانیه 2ϕ ، و برای دبی‌های بالاتر از ۱۱ مترمکعب در ثانیه 5ϕ مناسب است. به منظور نشان دادن میزان دقت روش به صورت کمی، از روش یانگ (۱۲) استفاده گردید. بدین ترتیب که نسبت بار بستر محاسبه شده به بار بستر اندازه‌گیری شده محاسبه می‌گردد. بدیهی است هرچه این نسبت به یک نزدیک‌تر باشد، دقت برآورد روش بیشتر خواهد بود. میانگین و انحراف معیار این نسبت‌ها نیز محاسبه شد، که به ترتیب برابر $88/0$ و $85/0$ به دست آمد. این

جدول ۱. داده‌های رودخانه ایست فورک و محاسبه بار بستر با روش اصلاح شده اینشتین

شماره	دبی	مساحت مقطع	عمق	سرعت	بار بستر اندازه‌گیری شده	بار بستر محاسبه شده	نسبت بار بستر اندازه‌گیری
		نمونه (مترمکعب در ثانیه)	(مترمربع)	(متر)	(متربرثانیه)	(تن در روز)	شده به محاسبه شده
		ضریب ۰/۵	۰/۲	ضریب ۰/۵	۰/۳	۰/۶	۰/۴۲
۰/۴۲	۱	۰/۴۲	۰/۳	۰/۶	۰/۶۱	۰/۲۸	۴/۰۳
۰/۳۹	۲	۰/۳۹	۱۸/۰	۷/۱	۰/۷۶	۰/۴۸	۶/۹۹
۳/۴۳	۳	۳/۴۳	۱۷/۸	۶۱/۲	۰/۷۸	۰/۵۱	۷/۴۲
۰/۷۱	۴	۰/۷۱	۸/۴	۶/۰	۰/۸۳	۰/۵۸	۸/۴۵
۰/۴۰	۵	۰/۴۰	۱۰/۰	۴/۰	۰/۸۴	۰/۵۹	۸/۶۴
۰/۶۳	۶	۰/۶۳	۱۲/۳	۷/۸	۰/۸۷	۰/۶۵	۹/۴۷
۳/۱۷	۷	۳/۱۷	۳۱/۵	۹۹/۹	۰/۹۰	۰/۷۰	۱۰/۲۰
۲/۵۷	۸	۲/۵۷	۴۰/۴	۱۰۳/۹	۰/۹۲	۰/۷۴	۱۰/۸۰
۲/۳۲	۹	۲/۳۲	۴۲/۲	۱۰۲/۸	۰/۹۲	۰/۷۴	۱۰/۹۰
۰/۷۰	۱۰	۰/۷۰	۱۹/۹	۱۳/۹	۰/۹۲	۰/۷۵	۱۰/۹۰
۰/۸۲	۱۱	۰/۸۲	۱۲/۹	۱۲/۲	۰/۹۲	۰/۷۵	۱۰/۹۰
۲/۴۸	۱۲	۲/۴۸	۴۹/۵	۱۲۲/۷	۰/۹۴	۰/۷۸	۱۱/۴۰
۱/۱۳	۱۳	۱/۱۳	۲۱/۸	۲۴/۵	۰/۹۴	۰/۷۸	۱۱/۵۰
۰/۲۲	۱۴	۰/۲۲	۷۶/۴	۱۶/۸	۰/۹۶	۰/۸۱	۱۱/۸۰
۰/۳۶	۱۵	۰/۳۶	۳۷/۶	۱۳/۵	۰/۹۹	۰/۸۸	۱۲/۹۰
۰/۷۱	۱۶	۰/۷۱	۷۰/۰	۵۰/۱	۱/۰۰	۰/۹۰	۱۳/۱۰
۰/۵۱	۱۷	۰/۵۱	۸۵/۰	۴۴/۰	۱/۰۳	۰/۹۶	۱۴/۰۰
۰/۷۲	۱۸	۰/۷۲	۴۸/۴	۳۴/۹	۱/۰۶	۱/۰۲	۱۵/۰۰
۰/۲۵	۱۹	۰/۲۵	۱۳۰/۰	۳۲/۹	۱/۰۶	۱/۰۳	۱۵/۰۰
۰/۳۸	۲۰	۰/۳۸	۶۲/۰	۲۴/۰	۱/۰۶	۱/۰۴	۱۵/۲۰
۰/۱۹	۲۱	۰/۱۹	۱۲۲/۲	۲۴/۸	۱/۰۶	۱/۰۴	۱۵/۲۰
۰/۲۰	۲۲	۰/۲۰	۱۵۱/۴	۳۰/۴	۱/۰۷	۱/۰۶	۱۵/۵۰
۰/۲۶	۲۳	۰/۲۶	۱۱۲/۰	۲۹/۷	۱/۰۹	۱/۱۱	۱۶/۳۰
۰/۱۱	۲۴	۰/۱۱	۲۵۶/۲	۲۷/۶	۱/۱۹	۱/۱۷	۱۷/۱۰
۲/۸۲	۲۵	۲/۸۲	۱۳۹/۹	۳۹۳/۹	۱/۱۳	۱/۲۱	۱۷/۷۰
۰/۳۶	۲۶	۰/۳۶	۱۱۲/۰	۴۰/۱	۱/۱۶	۱/۲۷	۱۸/۶۰
۱/۱۳	۲۷	۱/۱۳	۱۹۶/۳	۲۲۱/۹	۱/۱۵	۱/۲۷	۱۸/۶۰
۰/۸۰	۲۸	۰/۸۰	۱۳۱/۵	۱۰۵/۸	۱/۱۶	۱/۲۸	۱۸/۷۰
۰/۶۳	۲۹	۰/۶۳	۱۵۸/۹	۱۰۰/۵	۱/۱۷	۱/۳۰	۱۹/۰۰
۰/۴۰	۳۰	۰/۴۰	۲۰۴/۹	۸۱/۷	۱/۱۸	۱/۳۳	۱۹/۴۰
۱/۰۴	۳۱	۱/۰۴	۱۷۷/۰	۲۷۳/۲	۱/۱۸	۱/۳۴	۱۹/۰۰
۰/۱۱	۳۲	۰/۱۱	۲۲۷/۷	۲۶/۱	۱/۲۰	۱/۳۸	۲۰/۲۰
۰/۶۲	۳۳	۰/۶۲	۱۷۱/۱	۱۰۵/۸	۱/۲۰	۱/۳۸	۲۰/۲۰
۱/۰۵	۳۴	۱/۰۵	۱۶۹/۶	۲۶۲/۱	۱/۲۱	۱/۴۰	۲۰/۵۰
۰/۰۷	۳۵	۰/۰۷	۲۱۶/۶	۱۶/۴	۱/۲۲	۱/۴۴	۲۰/۹۰
۱/۱۵	۳۶	۱/۱۵	۱۸۹/۸	۲۱۶/۱	۱/۲۲	۱/۴۴	۲۱/۰۰
۰/۶۸	۳۷	۰/۶۸	۱۷۲/۳	۱۱۶/۹	۱/۲۲	۱/۴۴	۲۱/۱۰
۰/۱۷	۳۸	۰/۱۷	۲۲۸/۴	۳۸/۶	۱/۲۳	۱/۴۷	۲۱/۵۰
۰/۱۴	۳۹	۰/۱۴	۲۵۴/۱	۳۶/۲	۱/۲۵	۱/۵۲	۲۲/۳۰
۰/۸۵	۴۰	۰/۸۵	۱۷۷/۰	۱۴۹/۸	۱/۲۷	۱/۵۷	۲۲/۹۰
۰/۰۹	۴۱	۰/۰۹	۲۴۰/۹	۲۱/۸	۱/۲۷	۱/۵۹	۲۲/۳۰
۰/۸۶	۴۲	۰/۸۶	۳۳۲/۰	۲۸۴/۳	۱/۲۸	۱/۶۰	۲۲/۴۰
۰/۷۶	۴۳	۰/۷۶	۱۹۸/۲	۱۴۹/۸	۱/۲۸	۱/۶۲	۲۲/۶۰
۰/۳۲	۴۴	۰/۳۲	۳۱۲/۴	۹۹/۳	۱/۳۱	۱/۶۸	۲۴/۶۰
۱/۱۵	۴۵	۱/۱۵	۳۲۰/۰	۳۶۷/۵	۱/۴۱	۲/۰۱	۲۹/۵۰
۰/۸۷		میانگین					۴۱/۵
۰/۸۵		انحراف استاندارد					۴۵
۰/۹۷		ضریب تغییرات					

جدول ۲. داده‌های ایستگاه اهواز بر روی رودخانه کارون و محاسبه بار رسوب آن

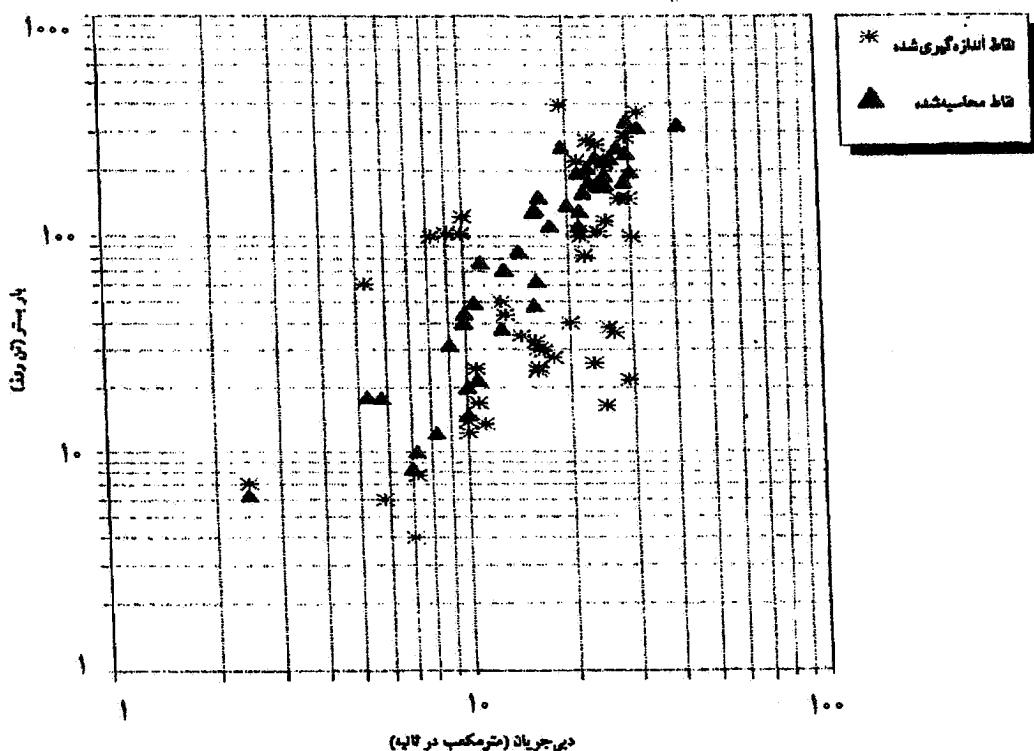
محاسبه شده		اندازه گیری شده		محاسبه شده		اندازه گیری شده				
Q_t	Q_b	Q_s	Q	شماره نمونه	(مترمکعب در ثانیه) (تن در روز)	Q_t	Q_b	Q_s	Q	شماره نمونه
(تن در روز)					(تن در روز)	(تن در روز)		(تن در روز)		(تن در روز)
۱۷۱۸۹۲	۳۶۱۹	۱۰۴۹۴۲	۳۴۶۲	۴۱	۸۴۲۳۸	۸۸۰	۷۶۴۸۹	۱۲۳۳	۱	
۶۸۱۰۸	۱۸۶۴	۰۹۶۳۰	۱۸۲۱	۴۲	۵۵۰۴	۱۰۸	۴۹۳۶	۴۱۴	۲	
۹۸۴۶۸	۱۷۸۶	۸۹۳۱۷	۱۹۸۸	۴۳	۴۰۴۲	۲۱۵	۳۷۲۹	۴۱۹	۳	
۲۰۹۲۹۴	۳۰۰۷	۲۳۰۶۰۲	۲۷۸۰	۴۴	۰۶۰۱	۱۶۰	۴۹۶۱	۴۹۰	۴	
۸۷۲۷۸	۱۲۱۷	۷۹۰۷۵	۹۸۲	۴۵	۱۰۱۵۴	۳۷۰	۸۶۳۲	۶۸۹	۵	
۲۸۰۵۹	۶۹۰	۲۰۴۰۴	۷۸۲	۴۶	۱۹۰۰۰	۱۲۴۹	۷۸۹۰۵	۱۲۰۴	۶	
۹۱۸۹۳	۸۲۱	۸۰۴۶۴	۹۰۵	۴۷	۲۰۱۹۵	۳۵۱	۱۷۹۰۴	۶۷۵	۷	
۸۰۲۱۰۱	۵۷۹	۸۴۷۰۳۵	۷۶۴	۴۸	۰۳۶۱۰	۱۲۶۴	۴۷۱۷۱	۱۲۳۸	۸	
۲۹۴۳	۱۰۰	۲۴۰۷	۳۹۸	۴۹	۳۵۲۴۷	۶۳۱	۳۱۱۹۰	۸۹۸	۹	
۹۳۷۳	۱۰۰	۸۰۳۴	۴۱۵	۵۰	۱۱۲۶۸۴	۶۰۴	۱۰۶۷۳۲	۹۰۵	۱۰	
۳۷۹۸	۶۴	۳۴۷۲	۲۸۵	۵۱	۱۱۹۴۰	۵۱۱	۱۱۴۳۴۰	۸۵۶	۱۱	
۳۰۴۷	۴۳	۳۲۹۶	۲۵۶	۵۲	۴۰۶۰	۱۴۰	۳۴۹۹	۴۰۰	۱۲	
۳۶۴۰	۱۷۴	۲۹۹۲	۳۹۸	۵۳	۱۳۱۶۸	۳۲۶	۱۱۶۰۵	۵۷۴	۱۳	
۹۰۹۱	۱۱۳	۸۸۹۴	۳۸۷	۵۴	۷۲۲۸	۱۲۱	۸۰۹۹	۴۰۲	۱۴	
۲۱۴۸۷	۲۲۸	۲۰۰۶۸	۳۵۹	۵۵	۴۹۵۲	۱۱۹	۴۴۰۳	۳۹۲	۱۵	
۹۷۵	۸۲	۷۸۰	۱۸۸	۵۶	۹۳۲۱	۲۰۷	۸۲۹۷	۴۹۰	۱۶	
۳۸۱۵	۲۱۷	۲۸۰۱	۳۳۰	۵۷	۸۳۹۸	۱۶۱	۷۴۳۲	۵۰۹	۱۷	
۱۰۰۷۴	۱۳۸	۱۴۶۰۱	۳۹۹	۵۸	۹۷۰۶	۲۸۸	۸۴۳۱	۶۷۳	۱۸	
۱۹۱۷	۴۱	۱۷۷۱	۲۰۵	۵۹	۴۹۶۷	۱۴۰	۴۴۰۸	۴۰۱	۱۹	
۳۸۸۰	۱۰۷	۳۳۷۰	۳۷۲	۶۰	۱۱۱۸۲	۲۳۸	۹۸۰۴	۵۵۹	۲۰	
۱۸۶۱	۸۱	۱۰۰۸	۳۱۱	۶۱	۹۰۲۹	۴۸۱	۷۰۹۰	۵۹۹	۲۱	
۲۴۳۴	۹۱	۲۰۸۱	۳۴۹	۶۲	۱۴۲۹۸	۵۴۰	۱۲۰۶۲	۸۷۸	۲۲	
۱۷۱۱۴	۲۱۲	۱۰۷۷۶	۴۷۸	۶۳	۱۲۰۶۶۵	۲۷۱۴	۱۱۲۸۸۹	۳۱۰۶	۲۳	
۳۹۱۲۲	۸۹۳	۳۳۷۶۰	۸۰۵	۶۴	۷۲۷۱۴۴	۲۶۴۶	۶۹۴۱۴۲	۲۷۰۸	۲۴	
۲۰۶۱۰	۵۰۴	۲۲۵۱۰	۶۰۶	۶۵	۱۲۲۷۵۳	۲۲۷۵	۱۱۲۴۶۹	۲۰۱۳	۲۵	
۸۶۶۰۲	۹۱۵	۷۹۸۰۲	۸۹۵	۶۶	۱۷۷۳۳۶۴	۲۴۳۶	۱۷۲۶۴۲۰	۳۰۴۶	۲۶	
۷۳۳۷۵	۱۱۳۳	۶۴۸۲۳	۱۰۱۸	۶۷	۸۳۴۵۳۶	۲۳۰۳	۷۹۸۲۰۳	۳۴۰۴	۲۷	
۱۶۸۳۳۴۰۹	۳۵۴۱	۱۶۲۲۰۰۹	۲۴۸۲	۶۸	۱۲۵۸۲۲۸	۲۵۰۷	۱۲۱۸۷۶	۳۰۵۹	۲۸	
۱۲۵۸۷	۱۸۱	۱۱۰۴۹	۴۳۴	۶۹	۱۱۶۸۱	۲۱۴	۱۰۳۰۷	۵۱۲	۲۹	
۹۸۱۳	۷۶	۹۳۲۲	۳۲۴	۷۰	۰۴۱۶	۳۵	۰۱۹۲	۲۹۶	۳۰	
۷۳۹۰	۷۶	۶۹۳۸	۳۳۶	۷۱	۹۱۴۵	۱۲۸	۸۴۰۰	۳۴۶	۳۱	
۱۱۰۴	۷۷	۱۰۰۱۹	۳۴۲	۷۲	۳۵۸۷۱	۸۰۴	۳۱۳۸۴	۱۰۰۹	۳۲	
۱۷۰۸۱	۱۹۰	۱۶۳۸۴	۴۳۴	۷۳	۶۳۷۰۰	۵۷۳	۰۹۲۲۱	۷۷۴	۳۳	
۲۸۹۲۵	۳۰۷	۲۶۲۷۹	۵۰۱	۷۴	۲۱۹۵	۴۷	۱۹۶۲	۷۷۷	۳۴	
۰۳۰۰۸	۹۶۲	۴۷۴۱۰	۹۳۸	۷۵	۱۶۶۲	۹۱	۱۳۴۷	۳۴۶	۳۵	
۲۸۰۷۹	۴۴۸	۲۰۰۹۳	۶۲۱	۷۶	۲۴۰۶	۵۹	۲۱۸۵	۲۹۴	۳۶	
۳۴۶۱۶	۴۹۱	۳۱۳۱۹	۶۴۵	۷۷	۱۴۶۶	۵۷	۱۲۵۸	۲۸۰	۳۷	
۶۷۰۳۴	۲۰۶	۶۴۹۳۱	۴۸۸	۷۸	۳۶۲۹	۸۶	۳۲۰۱	۳۹۰	۳۸	
۱۹۸۲۱	۱۰۴	۱۸۸۰۴	۳۹۵	۷۹	۲۰۴۰	۳۲	۱۸۷۲	۲۵۸	۳۹	
۱۷۷۱۶	۱۸۸	۱۶۰۳۳	۴۸۲	۸۰	۱۰۰۰۷۱	۱۲۲۲	۹۴۸۱۷	۱۶۲۱	۴۰	

جدول ۳. داده های ایستگاه حمیدیه بر روی رودخانه کرخه و محاسبه بار رسوب آن

محاسبه شده		اندازه گیری شده		محاسبه شده		اندازه گیری شده	
Q_t	Q_b	Q_s	Q	شماره نمونه	Q_t	Q_b	Q_s
(تن در روز)	(تن در روز)	(تن در روز)	(تن در روز)	(مترا مکعب در ثانیه)	(تن در روز)	(تن در روز)	(تن در روز)
۷۷۲۹	۰۲	۷۰۰۸	۷۵	۴۴	۳۷۶	۲	۳۵۱
۱۹۷	۰	۱۶۰	۳۱	۴۵	۲۷۴	۰	۴۶۱
۶۷۲	۸	۵۸۶	۴۲	۴۶	۸۳۷	۲	۷۹۰
۲۷۷	۰	۲۵۸	۲۸	۴۷	۲۸۷۹۴	۷۱	۲۷۳۴۲
۳۶۳	۱	۲۲۱	۲۶	۴۸	۸۶۱۶۳	۲۴۱	۸۲۲۷۹
۱۱۰	۱	۹۶	۲۴	۴۹	۱۴۴۱۰۱	۴۰۳	۱۳۷۲۶۷
۱۰۹	۰	۱۰۰	۲۱	۵۰	۱۷۹۳۳	۲۲۸	۱۶۰۴۳
۰۸۴۸	۱۱۸	۴۹۱۴	۱۳۹	۵۱	۲۹۳۹۹	۱۸۴	۱۸۰۸۳
۲۱۷۰۳	۲۹۱	۱۸۱۵۸	۲۵۳	۵۲	۶۱۲۱۵	۲۱۴	۵۸۰۷۵
۷۱۸۱۴	۴۷۵	۶۴۴۹۶	۲۷۲	۵۳	۸۰۱۱۸	۹۲	۸۳۰۶۳
۱۹۰۰۲۶	۰۲۹	۱۷۷۰۶۱	۳۶۹	۵۴	۱۰۱۰۱۰	۶۹	۹۹۶۱۰
۸۲۲	۳۷	۶۰۰	۸۳	۵۵	۵۸۷	۲۷	۵۰۳
۱۸۹۸	۰۵	۱۰۶۴	۷۷	۵۶	۲۲۷	۱۰	۱۷۸
۴۹۹۰۹	۰۰۹	۴۳۶۴۹	۲۰۰	۵۷	۲۰۰	۰	۱۷۱
۶۲۴۳۶۲	۱۴۱۸	۵۸۱۷۳۷	۵۴۸	۵۸	۱۶۴	۰	۱۰۰
۶۳۱	۱۲	۵۴۸	۶۴	۵۹	۱۷۹	۳	۱۶۱
۳۸۲	۰	۳۴۳	۵۴	۶۰	۲۲۶۲۹	۲۰۵	۲۰۳۲۲
۹۶۰	۶	۸۸۵	۵۳	۶۱	۳۷۶۰۵	۲۵۸	۳۷۳۸۹
۰۲۷۰	۹	۴۹۷۷	۶۵	۶۲	۵۵۲۰۸	۵۴۸	۴۹۲۱۴
۴۸۷	۱	۴۰۶	۴۱	۶۳	۳۷۷۸	۷۸	۳۲۵۰
۱۱۳	۰	۱۰۴	۳۲	۶۴	۵۸۸۹	۵۴	۵۳۴۹
۱۰۶۸	۰	۱۰۰۴	۳۱	۶۵	۵۷۰	۱۱	۴۸۷
۱۱۴۶	۲	۱۰۷۱	۴۳	۶۶	۲۱۴	۷	۱۷۴
۸۳۶	۳	۷۷۸	۵۰	۶۷	۲۱۴	۲	۱۹۱
۸۶۷۹	۶۹	۷۸۷۸	۱۴۴	۶۸	۶۴۳	۱۱	۰۹۳
۳۵۰۷۳	۱۱۳	۳۳۴۲۰	۲۳۰	۶۹	۸۶۹	۲۳	۷۳۵
۱۰۱۹۴۸	۴۳۷	۱۴۴۳۸۷	۴۸۱	۷۰	۳۳۵۳۰	۲۷۸	۳۰۱۶۳
۶۱۲۶	۶۶	۵۴۸۹	۱۳۷	۷۱	۱۰۷۰۵۶	۴۸۰	۹۹۸۲۹
۶۷۰۰	۳۰	۶۱۸۴	۱۲۴	۷۲	۲۷۱۱۰۲	۷۶۶	۲۵۰۹۹۱
۴۴۵۰۵	۱۴۱	۴۱۸۲۲	۲۴۱	۷۳	۱۷۴۱۱۲۵	۲۳۰۸	۱۶۶۸۱۸۴
۱۲۳۲۶۲	۶۱	۱۱۰۱۶۳	۸۷	۷۴	۳۳۷۶۴۰	۸۴۰	۳۲۱۶۷۳
۷۸۰	۷	۶۸۹	۴۲	۷۵	۱۳۷۳۲	۸۶	۱۲۰۷۸
۱۷۲۰	۹	۱۰۷۰	۴۴	۷۶	۲۸۰۳۹	۲۰۴	۲۲۹۱۲
۱۰۲۷	۵	۱۳۸۳	۳۸	۷۷	۱۱۰۷۰	۳۵۸	۱۰۹۳
۱۰۱۸	۳	۱۳۸۱	۳۵	۷۸	۴۴۵	۲۱	۳۲۰
۱۴۴۵	۰	۱۳۱۰	۳۹	۷۹	۳۵۵	۲۰	۴۰۲
۱۷۷۱	۸	۱۶۱۰	۵۲	۸۰	۹۱۰	۲۵	۵۶۲
۳۱۹۹	۲۳	۲۸۸۷	۸۸	۸۱	۲۷۵۳	۱۳۷	۲۰۰۲
۰۵۷۱۹	۰۹۹	۵۱۶۰۷	۴۸۷	۸۲	۱۹۳۶۶	۲۰۵	۱۶۸۲۸
۶۰۶۴	۲۲۳	۵۰۱۴	۱۱۹	۸۳	۱۱۴۹۰۶۶	۱۸۷۸	۱۱۰۳۷۴۳
۹۲۹۸	۲۲۳	۷۷۷۳	۱۴۴	۸۴	۲۱۶۱۹۸	۸۱۳	۲۰۳۸۹۸
۴۰۱۹	۲۴۱	۲۹۴۲	۹۱	۸۵	۹۰۹۷۸۷	۲۰۳۰	۹۰۶۰۸۳
۱۹۱۰	۷۸	۱۲۲۹	۶۲	۸۶	۵۴۲۸	۷۳	۴۷۰۹

جدول ۴. روابط بار رسوبی و دبی جریان در ایستگاه‌های اهواز و حمیدیه			
نام ایستگاه	بار بستر و دبی جریان	بار معلق و دبی جریان	بار کل و دبی جریان
اهواز، بر روی رودخانه کارون	$Q_b = 0.06 Q^{1/68}$	$Q_s = 0.017 Q^{2/15}$	$Q_t = 0.021 Q^{2/14}$
(نمونه ۸۰)	$R^* = 0.82$	$R^* = 0.88$	$R^* = 0.79$
حمیدیه، بر روی رودخانه کرخه	$Q_b = 0.001 Q^{2/21}$	$Q_s = 0.09 Q^{2/32}$	$Q_t = 0.10 Q^{2/30}$
(نمونه ۸۶)	$R^* = 0.73$	$R^* = 0.95$	$R^* = 0.90$

$Q = \text{دبی جریان (مترمکعب در ثانیه)}$, $Q_b = \text{بار بستر (تن در روز)}$, $Q_s = \text{بار معلق (تن در روز)}$ و $Q_t = \text{بار کل (تن در روز)}$



شکل ۱. بار بستر (اندازه‌گیری شده و محاسبه شده) در مقابل دبی جریان رودخانه ایست فورک

حمدیدیه نشان داد که نسبت بار بستر به بار معلق ثابت نبوده و مقدار آن بین صفر تا حداقل ۱۱ درصد متغیر است.

پیش بینی می‌کند.

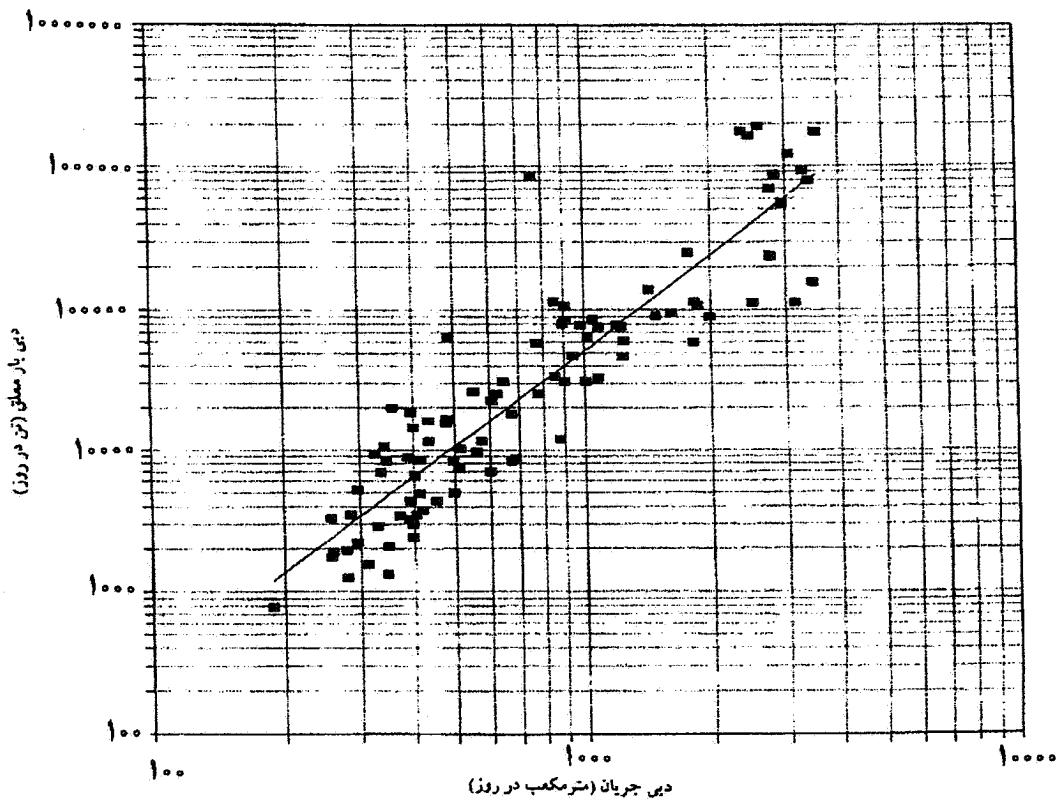
۲. ضریب ϕ که توسط کلبی و همبری برابر $5/0$ و ثابت در نظر گرفته شده است، در همه رودخانه‌ها ثابت نبوده و به دبی جریان بستگی دارد.

۳. مقدار Z در رودخانه‌های عمیق با بستر رسوبی ریزدانه را نمی‌توان از رابطه نسبت سرعت سقوط، که توسط کلبی و همبری ارائه شده است، به دست آورد.

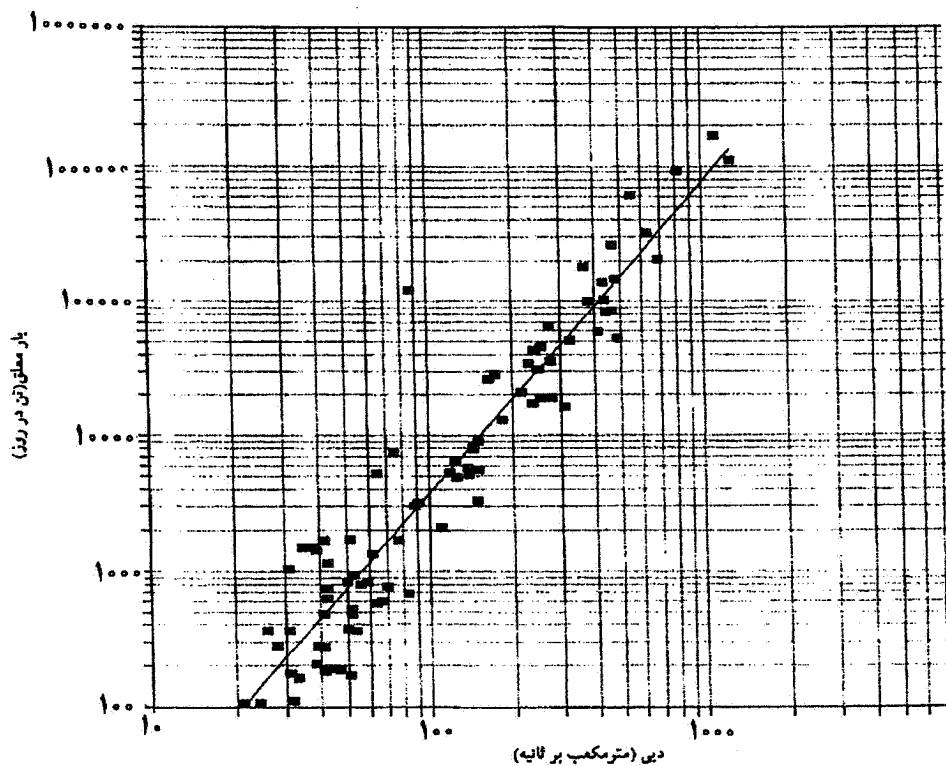
۴. کاربرد روش تصحیح شده اینشتین در ایستگاه‌های اهواز و

سپاسگزاری

از اداره کل امور آب استان خوزستان به خاطر در اختیار دادن داده‌های آب‌سنگی مورد نیاز، و از شرکت مهندسین مشاور دزآب به خاطر تأمین بخشی از کمک‌های مالی این مطالعه تشکر و قدردانی می‌شود.



شکل ۲. رابطه دبی مواد رسوبی معلق با دبی جریان رودخانه کارون در ایستگاه اهواز



شکل ۳. رابطه دبی مواد رسوبی معلق با دبی جریان رودخانه کرخه در ایستگاه حمیدیه

منابع مورد استفاده

۱. استاد عسگری، م. ۱۳۷۶. بررسی عملکرد روش تصحیح شده اینشتین در برآورد بار کل رسوب رودخانه‌های کارون و کرخه در ایستگاه‌های اهواز و حمیدیه. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته تأسیسات آبیاری، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲. حبیبی، م. ۱۳۷۳. پیشنهاد یک روش عددی مرکب برای محاسبه انتگرال‌های اینشتین. سومین سمینار مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳. دفتر فنی امور آب. ۱۳۷۶. محاسبه بار کل رسوب با استفاده از روش تصحیح شده اینشتین (موسوم به روش Step Method). استاندارد آب، شماره .۵۶
۴. شفاعی بجستان، م. ۱۳۷۸. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۴۹۰ صفحه.
5. Colby, B. R. and C. H. Hemleer. 1955. Computation of total sediment discharge, Niobana River near Cody, Nebraska. USGS, Water Supply Paper No. 1357.
6. Colby, B. R. and D. W. Hulbell. 1961. Simplified methods for computation of total sediment discharge with the modified Einstein procedure. USGS. Water Supply Paper 1593.
7. Einstein H. A. 1950. The bed load function for sediment transportation in open channel flows. Technical Buletin 1926, USDA, SCS, Washington, D. C.
8. Leopold, L. B. and W. W. Emnet. 1976. Bed load measurements, East Fork River, Wyoming, Department of Geology and Geophysics, University of California, Berkley, USA.
9. Nakato, T. 1994. Numerical integration of Einstein's integrals, I_1 and I_2 . J. Hyd. Engin. 110(12): 1863-1868.
10. Simons, D. B. and E. Sentra. 1992. Sediment Transport Technology. Book Craters Inc., Chelsea, Michigan, U.S.A.
11. Yang, C. T. 1996. Sediment Transport: Theory and Practice. McGraw-Hill, New York, U.S.A.
12. Yang, C. T. and S. Wan. 1991. Comparison of selected bed material load formula. J. Hyd. Engin. 117(8): 973-989.