

اثر تعداد کلاس‌های رسوب بر روی بده‌های مواد بستر محاسبه شده با روش اینشتین (مطالعه موردی رودخانه تلوار در استان کردستان)

آزاد احمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه شهید باهنر کرمان، azryan.ahmadi@gmail.com

محمد جواد خانجانی

استاد گروه عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان، khangani@yahoo.com

چکیده

بده مواد بستر یکی از پارامترهای تعیین کننده در مورفولوژی رودخانه است. انتقال مواد بستر تابعی پیچیده از بده جریان، عرضه رسوب و مشخصات هندسی رودخانه است. روش اینشتین یکی از روش‌های محاسبه بده مواد بستر است. این روش را می‌توان برای طیف وسیعی از رودخانه‌ها به کار برد. در روش اینشتین، ابتدا مواد بستر به چند کلاس تقسیم می‌شود؛ سپس میزان انتقال برای هر کلاس محاسبه می‌شود. در نهایت، با جمع کردن بده کلاس‌های مختلف با هم، بده کل مواد بستر محاسبه می‌شود. در این مطالعه، ابتدا داده‌های میدانی مورد نیاز روش اینشتین از یک بازه از رودخانه جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از روش اینشتین، مقدار بده مواد بستر به ازای بده‌های مختلف جریان و با تعداد کلاس‌های مختلف محاسبه شد. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که تعداد کلاس‌های رسوب می‌تواند دقت روش اینشتین را به شدت تحت تاثیر قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: بده مواد بستر، روش اینشتین، رودخانه تلوار، تعداد کلاس‌های رسوب

مقدمه

در مدیریت رودخانه‌ها، پیش‌بینی فرسایش یا رسوب‌گذاری در بستر از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا پایداری یک رودخانه تا حد زیادی به مسئله رسوب وابسته است (شیمیزو و ایتاکورا^۱، ۱۹۸۹). اگر آبراهه‌ای در یک دره آبرفتی و بر روی بستری از ماسه یا شن ناهمجوش جریان داشته باشد، در این صورت مقدار جریان و مجرای آن اساساً در وضعیت تعادل خواهند بود. در چنین وضعیتی اندازه، شکل و شیب مجرا تابعی از مقدار و تغییرات بده و همچنین مقدار رسوبات عرضه شده از مواد تشکیل دهنده بستر خواهد بود. اگر تغییرات مصنوعی ایجاد شده در آبراهه باعث شود که مشخصات جریان از قبیل مقدار عرضه رسوب یا شکل و شیب آبراهه تغییر کند، در این صورت جریان و آبراهه تمایل به برقراری تعادل جدیدی خواهند داشت. این تعادل جدید به وسیله فرسایش بستر یا رسوب‌گذاری، عریض شدن یا تنگ‌شدن مجرا و کاهش یا افزایش شیب آبراهه برقرار می‌شود (اینشتین^۲، ۱۹۵۰).

1- Shimizu and Itakura
2- Einstein

به کلیه ذرات رسوب متحرک در رودخانه‌ها، بار رسوبی گفته می‌شود. مواد رسوبی رودخانه‌ها به دو صورت، بار بستر و بار معلق انتقال داده می‌شوند. بار بستر، ذراتی از بستر است که در لایه بستر در حال حرکت هستند. این حرکت به صورت غلطش، لغزش و بعضی اوقات جهش اتفاق می‌افتد. لایه بستر، یک لایه از جریان به ضخامت دو برابر قطر ذرات است که دقیقاً از بالای بستر اندازه‌گیری می‌شود. ضخامت لایه بستر برحسب اندازه ذرات بستر تغییر می‌کند. بار بستر خود به دو نوع، بار تماسی و بار جهشی تقسیم می‌شود ولی چون تفکیک این دو نوع بار در عمل امکان‌پذیر نیست بنابراین هر دو نوع بار را به عنوان بار بستر می‌شناسند. بار معلق، ذرات در حال حرکتی هستند که جزو لایه بستر محسوب نمی‌شوند. وزن ذرات معلق به صورت مدام توسط جریان تحمل می‌شود. بار معلق خود به دو بخش، بار شسته و بار معلق مواد بستر تقسیم می‌شود. بار شسته، بخشی از بار رسوب است که شامل دانه‌های ریزتر از ذرات بستر است. مجموع بار معلق مواد بستر و بار بستر را بار مواد بستر گویند (اینشتین، ۱۹۵۰؛ گارد^۱، ۲۰۰۶؛ کلبی و همبری^۲، ۱۹۵۵).

امروزه روش‌های زیادی برای محاسبه بار مواد بستر وجود دارد. برخی از این روش‌ها کاملاً تجربی بوده و بر اساس یک سری داده محدود به دست آمده‌اند. تعدادی از آن‌ها نیز بر پایه مفاهیم تئوریک استوار هستند؛ هر چند که هیچ یک از این روش‌ها کاملاً تئوری نیستند زیرا در آن‌ها از داده‌های آزمایشگاهی و میدانی برای تعیین ثابت‌های معادله استفاده شده است. روش‌های محاسبه بار مواد بستر را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. دسته اول شامل روش‌هایی است که در آن‌ها بار کل به دو بخش، بار معلق و بار بستر تقسیم می‌شود و سپس مقادیر بده رسوب برای هر بخش به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. بار کل مواد بستر از جمع کردن مقادیر این دو بخش به دست می‌آید. این روش‌ها به روش‌های میکروسکوپی (گارد و رانگا راجو^۳، ۲۰۰۰). از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های اینشتین (۱۹۵۰)، کلبی و همبری (۱۹۵۵) و سوامی و اوجا^۴ (۱۹۹۱) اشاره کرد. دسته دوم شامل روش‌هایی است که در آن‌ها هیچ تمایزی بین بار معلق و بار بستر در نظر گرفته نشده است و بار مواد بستر مستقیماً به صورت تابعی از تنش برشی ارائه شده است. این روش‌ها به روش‌های ماکروسکوپی معروفند. روش‌های باگنولد^۵ (۱۹۵۶)، کلبی (۱۹۶۴)، انگلند و هانسن^۶ (۱۹۶۷) و یانگ^۷ (۱۹۷۳ و ۱۹۸۴) جزو این دسته از روش‌ها می‌باشند (گارد و رانگا راجو، ۲۰۰۰).

مواد و روش‌ها

روش اینشتین

اینشتین اولین کسی بود که یک روش نیمه تئوریک را برای محاسبه بده مواد بستر ارائه کرد. روش او بر پایه اصول آماری و قوانین مکانیک سیالات استوار است. اینشتین در سال ۱۹۴۲ معادله‌ای را برای محاسبه بار بستر ارائه کرد که در آن اثر نامنظمی‌های بستر بر روی انتقال مواد بستر در نظر گرفته نشده بود. بنابراین او در سال ۱۹۵۰، با در نظر گرفتن این اثر، روش خود را تصحیح کرد (گارد و رانگا راجو، ۲۰۰۰). اینشتین معتقد بود که اصول حاکم بر حرکت ذرات معلق و بار بستر کاملاً با هم متفاوت هستند. بنابراین او در روش خود، بار معلق و بار بستر را به صورت جداگانه مورد مطالعه قرار داد. او نوسانات سرعت لحظه‌ای را عامل معلق‌سازی ذرات و نوسانات نیروی بالابرنده^۸ را عامل حرکت بار بستر معرفی کرد. اینشتین با انتگرال‌گیری از $c_y u_y$ در امتداد عمق جریان، معادله‌ای را برای محاسبه بار معلق به دست آورد. c_y معادله توزیع غلظت راس و u_y معادله توزیع سرعت کولیگان است. سپس با برابر قرار دادن نرخ ته‌نشینی و نرخ فرسایش و استفاده از قوانین آماری، معادله دیگری را برای محاسبه بار بستر ارائه کرد. او در نهایت با برابر قرار دادن غلظت در لبه بالایی لایه بستر و لبه پایین لایه تعلیق، معادلات بار معلق و بار بستر را به هم پیوند داد و معادله زیر را برای محاسبه بار کل ارائه کرد:

-
- 1- Garde
 - 2- Colby and Hembree
 - 3- Ranga Raju
 - 4- Swamee and Ojha
 - 5- Bagnold
 - 6- Engelund and Hansen
 - 7- Yang
 - 8- Lift Force

$$i_T q_T = i_B q_B + i_S q_S = i_B q_B (PI_1 + I_2 + 1) \quad (1)$$

که در آن

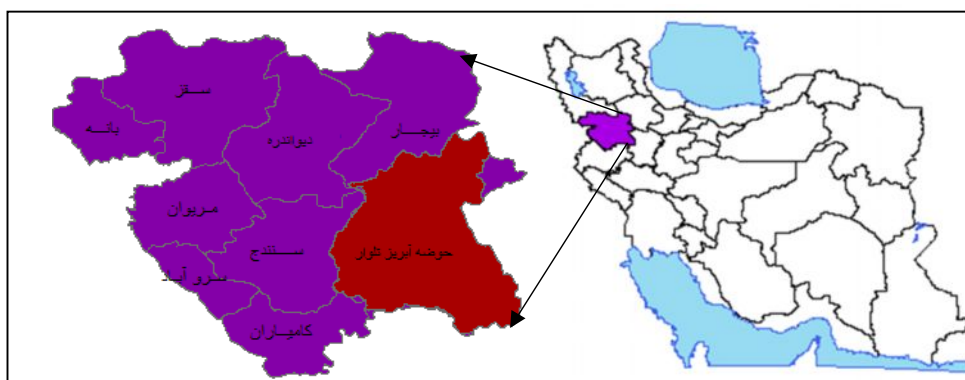
$$P = \left[\frac{1}{0.434} \log \left(\frac{30.2x}{k_s/d} \right) \right] \quad (2)$$

در معادلات بالا $i_T q_T$ ، $i_B q_B$ و $i_S q_S$ به ترتیب بار کل، بار بستر و بار معلق در واحد زمان و واحد عرض آبراهه برای یک کلاس رسوب معین، I_1 و I_2 انتگرال‌های اینشتین، d : عمق جریان، k_s : زبری بستر و x : پارامتر اصلاحی است که در معادلات لگاریتمی توزیع سرعت به کار می‌رود (اینشتین، ۱۹۵۰).

برای محاسبه بده مواد بستر با روش اینشتین، ابتدا بازه‌ای از رودخانه انتخاب می‌شود. طول این بازه باید به اندازه‌ای باشد که امکان تعریف مناسب شیب متوسط وجود داشته باشد. در این بازه، رودخانه باید تا حدودی از نظر شکل، ترکیب رسوب، شیب و عوامل خارجی از قبیل پوشش گیاهی روی ساحل یکنواخت باشد. در این صورت می‌توان رودخانه را به صورت یک آبراهه یکنواخت در نظر گرفت و آن را به وسیله یک شیب متوسط و یک سطح مقطع متوسط توصیف کرد. در گام بعدی چند مقطع عرضی از رودخانه تهیه می‌شود. این مقاطع باید به خوبی در کل بازه توزیع شده باشند. برای تعیین مقطع متوسط، هریک از مقاطع برداشت شده در امتداد شیب متوسط به سمت پایین‌دست‌ترین مقطع لغزانده می‌شوند و سپس بر روی صفحه این مقطع تصویر می‌شوند. در موقعیت جدید برای هر کدام از این مقاطع‌ها منحنی‌های سطح مقطع-اشل و محیط خیس شده-اشل رسم می‌شود و سپس با میانگین‌گیری از این منحنی‌ها برای هر اشل، مقطع متوسط به دست می‌آید. در مرحله بعد مواد بستر رودخانه دانه‌بندی می‌شود. برای این کار باید از نقاط مختلفی از بازه نمونه رسوب تهیه شود. بعد از جمع‌آوری داده‌های بالا، ابتدا مواد بستر به چند کلاس تقسیم می‌شود. سپس بده مواد بستر برای هر کلاس محاسبه می‌شود. با جمع کردن بده کلاس‌های مختلف با هم، بده کل مواد بستر به دست می‌آید (همان منبع).

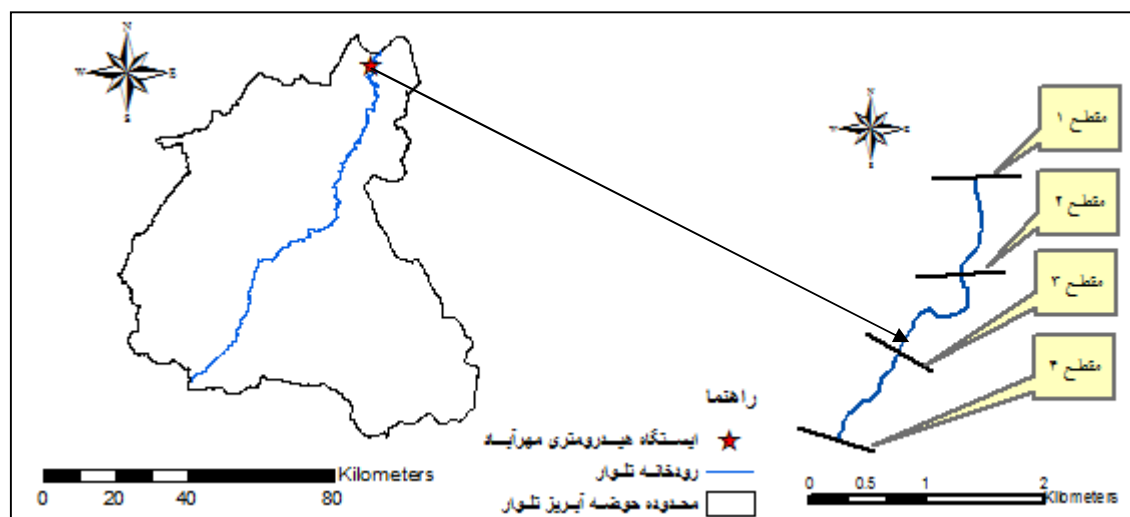
محدوده مورد مطالعه

رودخانه تلوار در استان کردستان و در شهرستان‌های قروه، دهگلان و بیجار واقع شده است. این رودخانه از روستاهای بلبان آباد و سلسله، که از توابع شهرستان دهگلان هستند، سرچشمه می‌گیرد. رودخانه تلوار با عبور از شهرستان بیجار، از استان کردستان خارج شده و وارد استان زنجان می‌شود. این رودخانه در استان زنجان به رودخانه قزل‌اوزن، که از سرشاخه‌های اصلی سفید رود است، می‌پیوندد (سالنامه آماری استان کردستان، ۱۳۸۷). بخشی از حوضه آبریز رودخانه تلوار که در استان کردستان قرار دارد، در حد فاصل طول‌های شرقی $42^{\circ} 6'$ و 47° تا $40^{\circ} 11'$ و 48° و عرض‌های شمالی 34° و $36^{\circ} 56'$ تا $38^{\circ} 56'$ واقع شده است. مساحت این حوضه 6490 کیلومتر مربع و محیط آن 470 کیلومتر می‌باشد. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز تلوار در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز تلوار در ایران و استان کردستان

در این مطالعه، بازه‌ای از رودخانه تلوار به طول سه کیلومتر انتخاب شد. بر روی بازه انتخاب شده، چهار مقطع عرضی از رودخانه تهیه شد. موقعیت بازه انتخاب شده در حوضه آبریز تلوار و موقعیت مقطع‌های نقشه‌برداری شده، در شکل (۲) نشان داده شده است.



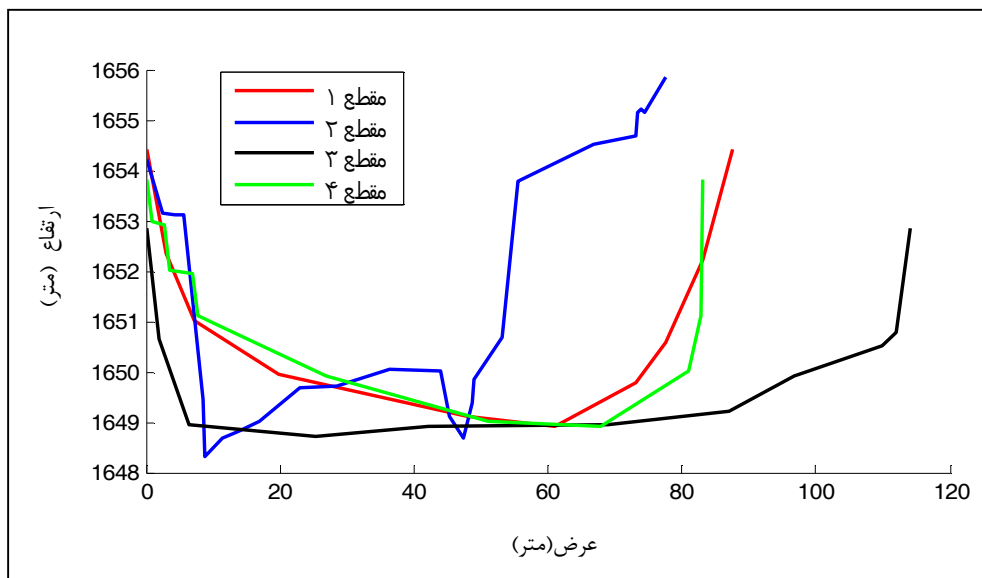
شکل (۲): موقعیت بازه انتخاب شده در حوضه آبریز تلوار و موقعیت مقطع‌های نقشه‌برداری شده در بازه انتخاب شده

در بازه انتخاب شده یک ایستگاه هیدرومتری وجود دارد. نام این ایستگاه مهرآباد بوده و بر روی مقطع شماره (۳) قرار دارد. در این ایستگاه علاوه بر بده جریان، غلظت رسوب معلق نیز به طور منظم اندازه‌گیری می‌شود. داده‌های این ایستگاه توسط شرکت آب منطقه‌ای استان زنجان جمع‌آوری می‌شود. این ایستگاه در سال ۱۳۷۸ تاسیس شده است. حداکثر بده جریان اندازه‌گیری شده در این ایستگاه ۲۹۵ متر مکعب است که مربوط به تاریخ ۱۳۷۹/۱/۶ می‌باشد. لازم به ذکر است که در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ در این ایستگاه به ازای تعدادی بده جریان، بار بستر اندازه‌گیری شده است. ارتفاع پایین‌ترین نقطه در مقاطع نقشه‌برداری شده و فاصله بین مقاطع در جدول (۱) ارائه شده است. ارتفاع مقاطع بر مبنای ارتفاع ایستگاه مهرآباد تعیین شده است.

جدول (۱): مشخصات مقاطع عرضی نقشه‌برداری شده

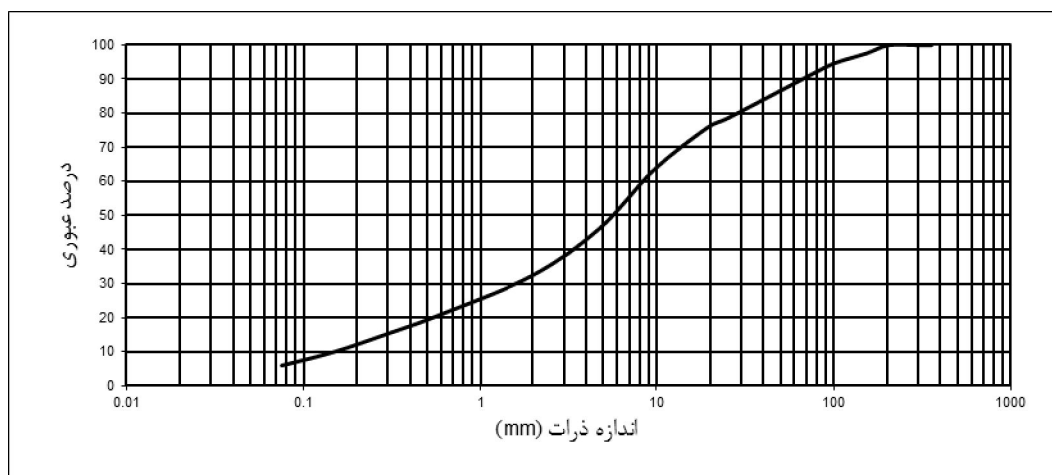
شماره مقطع	ارتفاع پایین‌ترین نقطه‌ی مقطع (متر از سطح دریا)	فاصله مقطع از پایین‌دست‌ترین مقطع (متر)
۱	۱۶۴۸/۹	۰
۲	۱۶۵۰	۹۸۲
۳	۱۶۵۲/۲	۲۰۱۲
۴	۱۶۵۴	۳۰۰۰

با توجه به جدول بالا، شیب متوسط رودخانه در بازه انتخاب شده برابر ۰/۰۱۷ است. برای تعیین مقطع متوسط، مقاطع ۲، ۳ و ۴ در موقعیت اولیه خود و در راستای خط شیب متوسط به سمت مقطع شماره (۱) لغزانده شدند؛ سپس بر روی صفحه این مقطع تصویر شدند. در شکل (۳)، تصویر هر چهار مقطع بر روی صفحه مقطع شماره (۱) نشان داده شده است. در مرحله بعد، برای هر چهار مقطع در موقعیت جدیدشان، منحنی‌های سطح مقطع-اشل و محیط خیس شده-اشل رسم شد. سپس با میانگین‌گیری از این منحنی‌ها، منحنی سطح مقطع-اشل و محیط خیس شده-اشل برای مقطع متوسط محاسبه شد. با تقسیم سطح مقطع بر محیط خیس شده برای هر اشل، منحنی شعاع هیدرولیکی-اشل برای مقطع متوسط به دست می‌آید.



شکل (۳): تصویر مقطع‌های عرضی بر روی صفحه مقطع شماره (۱)

دانه‌بندی مواد بستر در این بازه به صورت زیر انجام شد: ابتدا حداکثر اندازه دانه مواد بستر (D_{max}) تعیین شد. با توجه به D_{max} و بر اساس استاندارد AASHTO T 27، وزن مورد نیاز برای دانه‌بندی محاسبه شد. سپس از هر چهار مقطع نقشه‌برداری شده به اندازه مورد نیاز رسوب برداشت شد. دانه‌بندی مواد درشت‌تر از ۳ اینچ به وسیله الک‌های تک چشمه و دانه‌بندی مواد ریزتر به وسیله الک‌های چند چشمه انجام شد. برای دانه‌بندی مواد درشت‌تر از ۳ اینچ، از کل نمونه‌ی تهیه شده استفاده شد، در حالی که برای دانه‌بندی مواد ریزتر از ۳ اینچ، ۶۰ کیلوگرم از نمونه مورد استفاده قرار گرفت. برای دانه‌بندی مواد ریزتر از ۳/۱۶ اینچ، نمونه‌ای با وزن ۰/۵ کیلوگرم انتخاب شد. D_{max} مواد بستر در این بازه، بین ۶ و ۸ اینچ است. وزن نمونه انتخاب شده برای دانه‌بندی ۲۹۱ کیلوگرم بود. برای دانه‌بندی از ۱۴ الک استفاده شد. نمودار دانه‌بندی مواد بستر در شکل (۴) نشان داده شده است. چگالی دانه‌های رسوب در این بازه در حدود ۲/۶۵ است. مقادیر D_{20} و D_{60} برای بازه انتخاب شده به ترتیب برابر ۲/۳۹ و ۱۰/۰۳ میلی‌متر است.



شکل (۴): منحنی دانه‌بندی مواد بستر در بازه انتخاب شده

برای بررسی اثر تعداد کلاس‌های رسوب بر روی نتایج حاصل از روش اینشتین، برای بازه مورد مطالعه هفت سری محاسبات با تعداد کلاس‌های رسوب مختلف انجام شد. تعداد و مشخصات این کلاس‌ها برای هر سری محاسبه، در جدول (۲) ارائه شده است. اندازه دانه نماینده برای هر کلاس برابر میانگین هندسی کران‌های بالا و پایین آن کلاس است. لازم به ذکر است که ۹۱/۶ درصد از ذرات بستر، اندازه‌ای بین ۰/۰۷۵ تا ۱۵۲/۴ میلی‌متر دارند.

جدول (۲): تعداد و مشخصات کلاس‌های رسوب در هر سری محاسبات

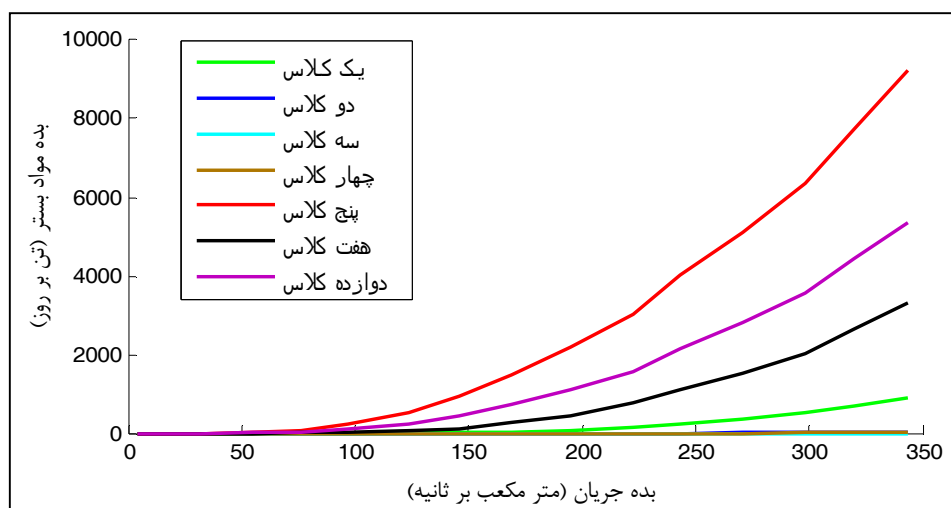
شماره محاسبات	تعداد کلاس‌ها	محدوده اندازه دانه (میلی متر)	متوسط اندازه دانه (میلی متر)	درصد کلاس
۱	۱	$0.075 < D < 0.152/4$	۳/۳۸	۹۱/۶
۲	۲	$0.075 < D < 0.152/4$	۱۰۷/۷۶	۵/۹
		$0.075 < D < 0.25/2$	۲/۳۹	۸۵/۷
۳	۳	$0.075 < D < 0.152/4$	۱۲۴/۴۳	۲/۸
		$0.075 < D < 0.25/2$	۷۱/۸۴	۷/۹
		$0.075 < D < 0.425/8$	۱/۹۵	۸۰/۹
۴	۴	$0.075 < D < 0.152/4$	۱۲۴/۴۳	۲/۸
		$0.075 < D < 0.25/2$	۷۱/۸۴	۷/۹
		$0.075 < D < 0.425/8$	۳۵/۹۲	۸/۲
		$0.075 < D < 0.75/4$	۱/۳۸	۷۲/۷
۵	۵	$0.075 < D < 0.152/4$	۱۲۴/۴۳	۲/۸
		$0.075 < D < 0.25/2$	۷۱/۸۴	۷/۹
		$0.075 < D < 0.425/8$	۳۵/۹۲	۸/۲
		$0.075 < D < 0.75/4$	۷/۱۳	۴۶/۱
		$0.075 < D < 2$	۰/۳۹	۲۶/۶
۶	۷	$0.075 < D < 0.152/4$	۱۲۴/۴۳	۲/۸
		$0.075 < D < 0.25/2$	۷۱/۸۴	۷/۹
		$0.075 < D < 0.425/8$	۳۵/۹۲	۸/۲
		$0.075 < D < 0.75/4$	۱۵/۵۶	۱۵/۵
		$0.075 < D < 0.425/8$	۴/۳۷	۳۰/۶
		$0.075 < D < 2$	۰/۷۷	۱۷/۲
		$0.075 < D < 0.3$	۰/۱۵	۹/۴
۷	۱۲	$0.075 < D < 0.152/4$	۱۲۴/۴۳	۲/۸
		$0.075 < D < 0.25/2$	۸۷/۹۹	۳/۱
		$0.075 < D < 0.425/8$	۶۲/۲۲	۴/۸
		$0.075 < D < 0.425/8$	۳۵/۹۲	۸/۲
		$0.075 < D < 0.75/4$	۲۲/۰۰	۳/۱
		$0.075 < D < 0.425/8$	۱۳/۴۷	۱۲/۴
		$0.075 < D < 0.425/8$	۶/۷۴	۱۶/۹
		$0.075 < D < 0.425/8$	۳/۰۹	۱۳/۷
		$0.075 < D < 2$	۱/۰۹	۱۱/۶
		$0.075 < D < 0.425/8$	۰/۴۲	۵/۵
		$0.075 < D < 0.3$	۰/۲۱	۵/۴
		$0.075 < D < 0.425/8$	۰/۱۱	۴/۱

نتایج و بحث

به ازای بده‌های مختلف جریان، مقدار بده مواد بستر با روش اینشتین و با تعداد کلاس‌های مختلف برای بازه مورد مطالعه محاسبه شد. این محاسبات برای بده‌هایی انجام شد که احتمال وقوع آن‌ها در رودخانه مورد مطالعه وجود دارد. لازم به ذکر است که به دلیل محدود بودن تعداد صفحات مقاله، از آوردن کلیه محاسبات در این جا خودداری شده است. محاسبات نشان می‌دهد که در بازه مورد مطالعه، بده ذرات با قطر $6/7$ میلی‌متر بیش‌تر از سایر ذرات بستر است. نتایج نهایی محاسبات در جدول (۳) آورده شده است. این نتایج به صورت گرافیکی در شکل (۵) مقایسه شده‌اند.

جدول (۳): بده مواد بستر محاسبه شده با تعداد کلاس‌های مختلف (تن بر روز)

بده جریان (متر مکعب بر ثانیه)	یک کلاس	دو کلاس	سه کلاس	چهار کلاس	پنج کلاس	هفت کلاس	دوازده کلاس
۴/۴۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۷/۳۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۱/۹۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۴/۴۲	۰	۰	۰	۰	۱۰	۰	۵
۷۶/۰۳	۰	۰	۰	۰	۸۰	۱	۳۴
۹۶/۶۹	۰	۰	۰	۰	۲۴۷	۱۱	۱۰۴
۱۲۳/۳۹	۲	۰	۰	۰	۵۳۲	۴۸	۲۳۵
۱۴۵/۷۹	۹	۰	۰	۰	۹۴۱	۱۲۳	۴۳۹
۱۶۸/۷۱	۳۶	۰	۰	۰	۱۴۸۷	۲۵۲	۷۲۵
۱۹۵/۰۸	۸۰	۰	۰	۰	۲۱۸۴	۴۴۰	۱۱۰۵
۲۲۲/۴۹	۱۴۶	۰	۰	۰	۳۰۳۴	۷۵۹	۱۵۸۳
۲۴۳/۲۵	۲۳۸	۰	۰	۰	۴۰۰۴	۱۱۰۵	۲۱۴۵
۲۷۰/۹۷	۳۵۷	۱	۰	۰	۵۱۲۱	۱۵۳۰	۲۸۰۹
۲۹۷/۹۹	۵۰۵	۴	۰	۲	۶۳۷۰	۲۰۴۰	۳۵۷۱
۳۱۹/۶۳	۶۸۲	۸	۰	۸	۷۷۳۰	۲۶۳۲	۴۴۲۳
۳۴۳/۲۶	۸۹۲	۱۵	۰	۱۸	۹۲۰۹	۳۳۱۶	۵۳۷۳



شکل (۵): مقایسه بده‌های مواد بستر محاسبه شده با تعداد کلاس‌های مختلف

جدول (۳) و شکل (۵) نشان می‌دهند که تعداد کلاس‌های رسوب می‌تواند نتایج حاصل از روش اینشتین را به شدت تحت تاثیر قرار دهد. این اثر برای بده‌های زیاد جریان چشم‌گیرتر است. زمانی که تعداد کلاس‌ها برابر دو، سه و چهار است، بده مواد بستر به ازای بده‌های مختلف جریان، صفر یا خیلی ناچیز است. با توجه به جدول (۲) در این حالت‌ها، تعدادی از کلاس‌ها دارای اندازه دانه نماینده بزرگ و بقیه کلاس‌ها دارای اندازه دانه نماینده کوچک هستند. زمانی که اندازه دانه نماینده بزرگ است، به دلیل بزرگ بودن تابع جریان ذره، مقدار بده مواد بستر ناچیز می‌شود. در حالی که ناچیز شدن بده ذرات کوچک، به دلیل بزرگ بودن ضریب نهانی ذره است. زمانی که تعداد کلاس‌ها برابر پنج است، بده مواد بستر حداکثر می‌شود. زیرا در این حالت، کلاسی با اندازه متوسط ۷/۱۳ میلی‌متر وجود دارد که درصد آن در ترکیب رسوب خیلی بالا است. از طرفی این اندازه خیلی نزدیک به ۶/۷ میلی‌متر است. لازم به ذکر است که در این بازه، بده ذرات با قطر ۶/۷ میلی‌متر حداکثر است. زمانی که تعداد کلاس‌ها برابر ۱۲ است، کلاسی با متوسط اندازه ۶/۷۴ میلی‌متر وجود دارد ولی درصد آن در ترکیب نسبتاً کم است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه برای یک بازه از رودخانه تلوار به ازای بده‌های مختلف جریان، مقدار بده مواد بستر با روش اینشتین و با تعداد کلاس‌های رسوب مختلف محاسبه شد. در این بازه، بده ذرات با قطر $6/7$ میلی‌متر بیش‌تر از سایر ذرات است. اختلاف بین بار بستر و بار مواد بستر در این بازه خیلی کم است، بنابراین بار مواد بستر در این رودخانه غالباً به صورت بار بستر انتقال داده می‌شود. محاسبات نشان می‌دهد که تعداد کلاس‌های رسوب، نتایج حاصل از روش اینشتین را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. زمانی که تعداد کلاس‌ها برابر دو، سه و چهار است، بده مواد بستر صفر یا خیلی ناچیز است. برای بده‌های جریان کمتر از 32 متر مکعب بر ثانیه، بده مواد بستر محاسبه شده با تعداد کلاس‌های مختلف برابر صفر است، بنابراین به ازای این بده‌های جریان، کل بار رسوبی رودخانه (در صورت وجود) به صورت بار شسته انتقال داده می‌شود. زمانی که تعداد کلاس‌ها برابر پنج است، بده مواد بستر حداکثر می‌شود. زیرا در این حالت، کلاسی با اندازه متوسط $7/13$ میلی‌متر وجود دارد که درصد آن در ترکیب رسوب خیلی بالا است. از طرفی این اندازه خیلی نزدیک به $6/7$ میلی‌متر است. در حالتی که تعداد کلاس‌ها برابر 12 است، کلاسی با متوسط اندازه $6/74$ میلی‌متر وجود دارد ولی درصد آن در ترکیب نسبتاً کم است. محاسبات انجام شده منجر به نتیجه زیر شد: برای افزایش دقت محاسبات در روش اینشتین، ابتدا باید ذره‌ای را که دارای بیش‌ترین بده است، مشخص شود و سپس دانه‌بندی ذرات در محدوده این اندازه دانه با دقت بیش‌تری انجام شود. در تحقیقات آینده می‌توان با به کار بردن الگ‌های بیش‌تر برای دانه‌بندی مواد بستر، اثر تعداد کلاس‌های رسوب را به صورت دقیق‌تری مورد مطالعه قرار داد.

منابع

- 1- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کردستان. ۱۳۸۷. سالنامه آماری استان کردستان سال ۱۳۸۶. کردستان، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کردستان، ۳ ص.
- 2- Colby, B. R. and Hembree, C.H. 1955. Computations of total sediment discharge, Niobrara River near Cody, Nebraska. Washington, DC: US Geological Survey.
- 3- Einstein, H.A. 1950. The bed-load function for sediment transportation in open channel flows. US Department of Agriculture, Soil Conservation Serv, Tech. Bull, 1026.
- 4- Garde, R.J. 2006. River morphology. New Age International, xiii p.
- 5- Garde, R.J. and Raju, K.R. 2000. Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems. Taylor & Francis US, pp 180-205.
- 6- Shimizu, Y. and Itakura, T. 1989. Calculation of bed variation in alluvial channels. Journal of Hydraulic Engineering, 115(3), 367-384.
- 7- Swamee, P.K. and Ojha, C.S.P. 1991. Bed-load and suspended-load transport of nonuniform sediments. Journal of Hydraulic Engineering, 117(6), 774-787.