مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هجدهم، شماره سوم، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

ارزیابی معادلات تجربی برآورد دبی بار بستر در رودخانه کوهستانی با بستر شنی (مطالعه‌ی موردی: رودخانه چهل‌چای در استان گلستان)

***آرمان حدادچی[۱]، محمدحسین امید[۲] و امیراحمد دهقانی[۳]**

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی دانشگاه تهران، [۲]دانشیار گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران،
[۳]استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۹/٦/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/٤

چکیده

تخمین دقیق بار بستر رودخانه‌ها از جمله مسائلی است که مورد توجه محققان قرار دارد. در این پژوهش میزان بار بستر در رودخانه چهل‌چای با بستر شنی مسلح و شیب تند اندازه‌گیری و دقت برآورد ۱۳ معادله تجربی موجود برآورد بار کف مورد ارزیابی قرار گرفته است. همه معادلات به شیوه‌ای که نویسندگان آن‌ها شرح داده‌اند به‌کار رفته است. ارزیابی براساس نسبت ناجوری که نسبت نرخ حمل پیش‌بینی شده به اندازه‌گیری شده است انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که معادله ایکرز و وایت بهترین نتایج را با ٦٤/۳ درصد نرخ حمل پیش‌بینی شده در رنج نسبت ناجوری بین ۰/۵ تا ۲ ارائه می‌دهد. معادلات میبر- پیتر و مولر و ون راین نیز نتایج خوبی را به‌ترتیب با ٤۳ درصد و ۳٦درصد نرخ حمل پیش بینی شده ارایه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: حمل رسوب، بار کف، بستر شنی، چهل‌چای

* مسئول مکاتبه: arman.haddadchi@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

یکی از مسائل و مشکلاتی که در رابطه با بهره‌برداری از منابع آبی اهمیت خاصی پیدا نموده مساله رسوب می‌باشد. حرکت رسوبات از حوزه آبریز علاوه بر این‌که منابع با ارزش خاک را از بین می‌برد در پائین‌دست نیز موجب کاهش ظرفیت ذخیره سدها، فرسوده شدن توربین‌ها، پر شدن کانال‌های آبیاری، مدفون نمودن تأسیسات انحراف آب و گاهی ایجاد اختلال در نفوذپذیری زمین‌های زراعی می‌گردد.

رسوب[1] ذرات تکه‌تکه شده‌ای است که به‌وسیله تجزیه فیزیکی و شیمیایی سنگ‌ها به‌وجود می‌آیند. دامنه تغییرات اندازه آن‌ها از ذرات کلوئیدی تا قلوه سنگ‌های بزرگ می‌باشد و از نظر شکل ظاهری از کاملا گرد تا تیز گوشه تغییر می‌کنند. رسوبات در ترکیبات معدنی و وزن مخصوص نیز با هم متفاوتند، اما مواد غالب در آن‌ها کوارتز می‌باشد. به‌طور معمول سه نوع حرکت برای رسوب وجود دارد:

- حرکت ذرات به‌صورت چرخشی[2] یا غلتشی[3]
- حرکت ذرات به‌صورت جهشی[4]
- حرکت ذرات به‌صورت معلق[5]

زمانی‌که مقدار سرعت برشی کف کمی از مقدار بحرانی برای شروع حرکت تجاوز کند، حرکت ذرات مواد کف به‌صورت چرخشی یا غلتشی و در تماس پیوسته با کف خواهد بود. با افزایش مقدار سرعت برشی کف ذرات در طول کف با پرش‌های کوچکی حرکت می‌کنند که حرکت جهشی نام می‌گیرد. به‌طور معمول، حمل ذرات به‌وسیله چرخش، غلتش و جهش حمل بار کف[6] و ذراتی که به‌صورت معلق در می‌آیند حمل بار معلق[7] نام دارند.

محققان زیادی در خصوص برآورد بار بستر مطالعاتی را انجام داده‌اند و معادلات انتقال رسوب در بیشتر موارد توسط داده‌های محدود گردآوری شده در شرایط آزمایشگاهی دقیق به‌دست آمده‌اند. به‌سبب عمومیت نداشتن فرضیات به‌کار رفته سازگاری این معادلات برای شرایط دیگری از جریان

1- Sediment
2- Rolling
3- Sliding
4- Saltating
5- Suspended
6- Bed – Load Transport
7- Suspended Load Transport

www.SID.ir

اغلب ضعیف می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از معادلات مختلف انتقال رسوب، اغلب با یکدیگر و با اندازه‌گیری‌ها تفاوت زیادی دارند. مقایسات گسترده‌ای در مورد دقت معادلات گوناگون انتقال توسط محققان مختلف انجام شده است.

مقایسه‌ای توسط انجمن آلمانی منابع آب و اصلاح اراضی[1] و وتر[2] (۱۹۸۸) بر روی داده‌های هفت رودخانه برای ارزیابی دقت ۱۹ فرمول انتقال انجام گرفت. مقایسه‌های انجام شده نشان داد، که با در نظر گرفتن تمام داده‌ها، فرمول رگرسیونی پیشنهاد شده توسط کریم[3] و کریم و کندی[4] (۱۹٦٦) به‌طور کلی دارای بهترین مطابقت با اندازه‌گیری‌ها است. این امر تا حدی معلول دامنه وسیع داده‌های به‌کار رفته در تحلیل رگرسیونی کریم وکندی می‌باشد. برطبق نظر این انجمن اگر مقایسه به‌دامنه اندازه ذرات ماسه محدود شود، فرمول بگنولد و یانگ بهترین مطابقت با نتایج اندازه‌گیری‌ها را ارائه می‌دهد. فرمول‌هایی که بر اساس روش تنش برشی استوار شده‌اند، کمترین قابلیت اعتماد را دارند. این نتایج نشان می‌دهند که اگر چه روش رگرسیونی صرف، بر اساس فرآیندهای فیزیکی انتقال رسوب پایه‌ریزی نشده است، ولی چنانچه داده‌های کافی با شرایط هیدرولیکی و رسوبی مناسب در این روش به‌کار روند، تحلیل رگرسیونی می‌تواند به ارائه فرمول‌های مفیدی منجر شود.

دی ورایس[5] (۱۹۹۳) مطالعه‌ای بر روی صحت بعضی از معادلات پیش‌بینی بار کف، با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده حمل رسوب با استفاده از اطلاعات پترسون و هاولز[6] که در سال ۱۹۷۳ جمع‌آوری شده بودند انجام دادند. نتایج برای نسبت ناجوری در فاصله ۰/۵ تا ۲ نشان می‌دهد که معادلات ساده‌ای مانند انگلاند و هانسن و ون راین نرخ حمل رسوب را به‌خوبی و یا حتی بهتر از معادلات پیچیده‌ای مانند وایت و همکاران و کریم و کندی برآورد می‌کنند.

1- German Association for Water Resources and Land Improvement
2- Vetter
3- Karim
4- Karim and Kennedy
5- De Vries
6- Peterson and Howells

www.SID.ir

وو و یو[1] (۲۰۰۱) مقایسه‌ای بین ۱۶ معادله به‌نام‌های اینشتین (۱۹۵۰)، لارسن (۱۹۵۸)، کلبی، بیشاپ و همکاران (۱۹٦۵)، انگلاند و هانسن(۱۹٦۷)، گراف و همکاران (۱۹۷۷)، مدوک[2]، توفالتی (۱۹٦۹)، شن و هانگ (۱۹۷۲)، ایکرز و وایت(۱۹۷۳)، یانگ (۱۹۸٤)، برووونلی، رانگا راجو، کریم و همکاران و ون راین با استفاده از ۱۷ سری از اطلاعات آزمایشگاهی انجام داد. برطبق مطالعات‌شان، معادلات یانگ، انگلاند و هانسن و ایکرز و وایت بهترین معادلات هستند درحالی‌که معادلات اینشتین، بگنولد (۱۹٦٦) و لارسن بدترین‌ها می‌باشند و بقیه معادلات در این بین قرار می‌گیرند.

لارون و هابرساک[3] در سال ۲۰۰٤ اندازه‌گیری بار بستر بر روی رودخانه دراو واقع در اتریش که دارای کف شنی و شیب حدود ۰/۲ درصد است، را با استفاده از نمونه‌بردار هلی اسمیت انجام دادند، از ۱۳ معادله بررسی شده معادلات زانک، اینشتین، مییر- پیتر،شوکلیچ ۱۹٤۳ و شوکلیچ ۱۹۳٤ با درصد نسبت ناجوری بین نیم تا دو ۷۵، ٦۷، ٦۷، ٦۷ و ۵۸ بهترین جواب‌ها را داده‌اند.

در این پژوهش انجام اندازه‌گیری‌های میدانی، دقت نتایج حاصل از کاربرد ۱۳ معادله‌ی تجربی تخمین‌گر بار کف برای رودخانه چهل‌چای در استان گلستان مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. به‌این منظور در ابتدا اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی و رسوبی رودخانه مورد پژوهش که دارای بستر شنی است، صورت گرفت و سپس با معادلات برآورد بار بستری که در تحقیقات قبلی جواب‌های منطقی دادند، مقایسه انجام شد.

مواد و روش‌ها

معادلات حمل بار کف: روابط زیادی برای پیش‌بینی نرخ حمل بار کف ارائه شده‌است، که قدیمی‌ترین آن‌ها توسط دو بویز[4] (۱۸۷۹) ارائه شده است، کسی که حرکت ذرات رسوب در طول کف رودخانه را به‌صورت لایه‌هایی با سرعت کاهشی در جهت عمود به‌سمت پائین‌دست فرض نمود. گراف (۱۹۷۱) در کتاب هیدرولیک رسوب خود معادلات بار کف را به‌صورت زیر تقسیم‌بندی کرد.

- معادلات نوع دو بوی: که رابطه آن‌ها بر اساس تنش برشی است، مانند معادله میر- پیتر و مولر

1- Wu and Yu
2- Maddock
3- Laronne and Habersack
4- Du Boys

www.SID.ir

- معادلات نوع شوکلیچ (۱۹۵۰): که رابطه آن‌ها بر اساس دبی بنا نهاده شده است، که بهترین نماینده برای این گروه همان سری معادلات شوکلیچ می‌باشد.
- معادلات نوع اینشتین (۱۹۵۰): که براساس ملاحظات آماری می‌باشند.

البته گومز و چرچ[1] (۱۹۸۹) معادلات نوع بگنولد را نیز به این تقسیم‌بندی اضافه کردند. این معادلات بر اساس توان جریان می‌باشند، مانند معادله یالین (۱۹٦٤)

۱۳ معادله بار کف به‌کار رفته در این پژوهش به‌قرار زیرند:

- معادله شیلدز[2] (۱۹۳٦) براساس اندازه رسوب ۱/۵٦ تا ۲/٤۷ میلی‌متر است. تحقیقات نشان می‌دهد که این معادله تا ۲۰۰ درصد خطا در محاسبات بار کف دارد، که البته این خطاها در کارهای رسوبی معمول است.
- معادله میبر- پیتر و مولر (۱۹٤۸)، این دو دانشمند کارهای آزمایشگاهی گسترده‌ای در سوئیس در مرکز ETH[3] انجام داده‌اند. آزمایش‌ها در یک فلوم آزمایشگاهی با سطح مقطع ۲×۲ و طول ۵۰ متر انجام شد. البته نینگ چاین[4] (۱۹۵٤) معادله میبر- پیتر و مولر را اصلاح کرد و به فرم رابطه دو بویز در آورد. در این معادله تنش برشی بحرانی بدون بعد برابر ۰/۰٤۷ در نظر گرفته شده است. لازم به یادآوری است که در این پژوهش تنش برشی بحرانی بدون بعد به‌جای عدد ثابت ۰/۰٤۷ در معادله قرار گرفت.
- معادله شوکلیچ[5] (۱۹۵۰)، ایشان استفاده از عمق آب برای تعیین شروع حرکت در کانال‌های طبیعی با شیب نسبتا تند را مناسب ندانست و نتایج بهتری را با استفاده از دبی در واحد عرض (q) برحسب متر ($m^3m^{-1}S^{-1}$) به‌دست آورد. او اولین معادله خود را در سال ۱۹۳٤ با استفاده از اطلاعات گیلبرت ارائه نمود. در سال ۱۹۵۰ اصلاحاتی را بر روی معادله قبلی اعمال نمود.
- معادله اینشتین (۱۹۵۰)، توصیف آماری پیچیده‌ای از فرآیند حمل دانه که در آن احتمال حرکت دانه مرتبط با شرایط جریان‌است را توصیف نمود. اینشتین با این ایده که شرایط بحرانی مشخصی برای

1- Gomez and Church
2- Shields
3- Eidgenossische Technische Hochschule
4- Ning Chien
5- Schoklitsch

www.SID.ir

حرکت رسوب وجود دارد موافق نبود. براون[1] در سال ۱۹۵۰ براساس فرمول اینشتین تابعی برای انتقال بار بستر ارائه داد.

- معادله فرایلینک (۱۹۵۲)، که تقریبی از معادله میر- پیتر و مولر و اینشتین می‌باشد.
- معادله یالین[2] (یالین۱۹٦۳)، با استفاده از داده‌های گیلبرت و داده‌های آزمایشگاه زوریخ مقدار C (ضریب تجربی معادله) برابر ۰/٦۳۵ به‌دست آمد.
- معادله انگلاند و هانسن [3](۱۹٦۷)، روش انگلاند و هانسن که برای بار کل نیز به‌کار می‌رود، بر اساس مفهوم توازن انرژی بنا شده است.
- معادله بایکر[4] (۱۹۷۱) بر اساس مفهوم اینشتین بنا شده است.
- معادله ایکرز و وایت[5] (۱۹۷۳)، ایشان براساس تحلیل ۹۲۵ سری از اطلاعات آزمایشگاهی و صحرایی، فرمول تجربی خود را پیشنهاد نمودند. این معادله براساس سه گروه بدون بعد، اندازه ذره بدون بعد (D_*)، نرخ حمل رسوب بدون بعد (G_{gr}) و عدد حرکتی ذره (F_{gr}) استوار است.
- معادله بگنولد (۱۹٦٦)، او معتقد است، دانه‌های رسوب فقط به‌وسیله تنش برشی سیال به‌حرکت در می‌آیند و لایه‌های زیادی از ذرات بار کف مورد نیاز است تا تنش برشی سیال در کف‌های غیرمتحرک را پائین‌تر از تنش برشی کف بحرانی برای شروع حرکت نگه دارد.
- معادله ون راین (۱۹۸٤a) با پیروی از روش بگنولد و درنظر گرفتن این نکته که حرکت ذره‌بار کف به‌وسیله‌ی جهش‌های ذره تحت تاثیر نیروهای سیال هیدرودینامیک و نیروهای ثقل انجام می‌شود ارائه شده است.
- معادله ون راین احتمالاتی (۱۹۸٤a) و (۱۹۹۳)، بر خلاف روش قطعی ون راین روش احتمالاتی باید نتایج واقع گرایانه‌تری به‌علت طبیعت احتمالاتی نیروهای سیال به‌دست آورد.
- معادله چنگ[6] (۲۰۰۲)، فرمول نمایی ارائه شده توسط او مفهوم تنش برشی بحرانی را در بر نمی‌گیرد. این معادله یک فرمول نمایی ساده است که تنش‌های برشی کم تا زیاد را در بر می‌گیرد. در

1- Brown
2- Yalin
3- Engelund and Hansen
4- Bijker
5- Ackers and White
6- Cheng

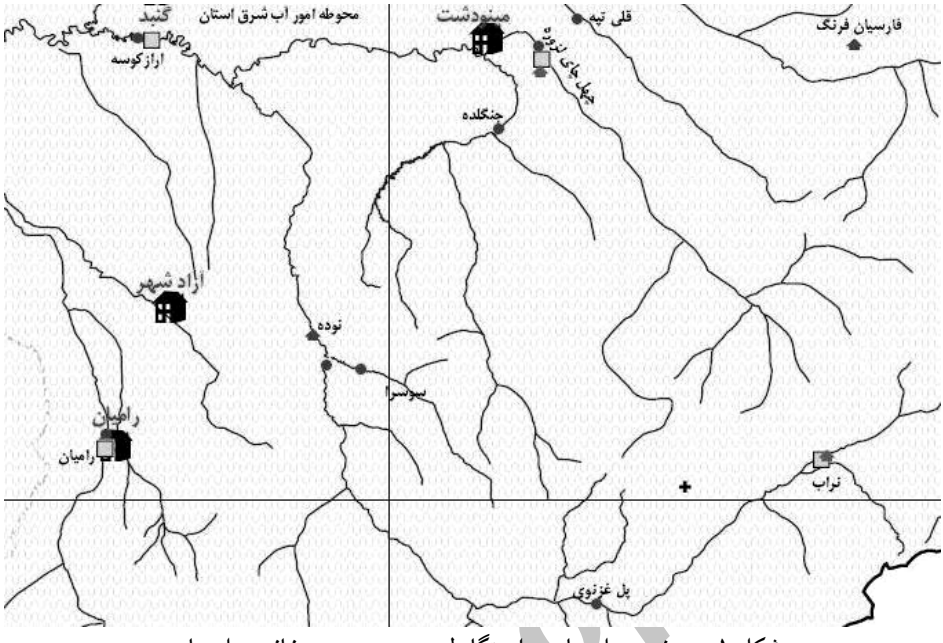
www.SID.ir

این پژوهش از اطلاعات تجربی مشهوری شامل گیلبرت[1] (۱۹۱٤)، میر- پیتر و مولر(۱۹٤۸)، ویلسون[2] (۱۹٦٦) و پینتل (۱۹۷۱) استفاده شد.

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه این پژوهش رودخانه چهل‌چای واقع در شمال شرق ایران می‌باشد. سرشاخه‌های چهل‌چای در بخش میانی حوزه آبریز رودخانه گرگان رود و جنوب شهرستان مینودشت قرار دارد. رودخانه چهل‌چای از شاخه‌های مهم رودخانه گرگان‌رود بوده و از دامنه‌های کوه نرمدار واقع در ۲۷ کیلومتری جنوب شرقی مینودشت سرچشمه گرفته و شاخه‌های متعدد آن در حوالی روستای دروک به‌هم پیوسته و سپس به شمال غربی تغییر مسیر می‌دهد. این رودخانه در مسیر خود تا رسیدن به مینودشت، روستاهای دروک، عروسک، حسن کل، لف افرا وآرام را مشروب می‌سازد و تا محل تفرجگاه شهر مینودشت به‌نام تنگه، مسیر آن کاملاً کوهستانی است. مساحت حوزه بالادست این رودخانه ۲۷۲ کیلومترمربع است. ایستگاه آب سنجی واقع بر روی این رود لزوره نام دارد. ایستگاه هیدرومتری لزوره دارای پل ساختمانی با لمینوگراف از نوع دیجیتال می‌باشد. محل ایستگاه نزدیک به شهر مینودشت است و بعد از ایستگاه، رودخانه نرماب به چهل‌چای می‌پیوندد. رودخانه دارای کف شنی و شیب حدود ۱/۷ درصد می‌باشد. از ویژگی‌های مهم این رود شیب بسیار بالای آن است که در نتیجه تنش برشی زیادی را به‌وجود می‌آورد (شکل ۱).

1- Gilbert
2- Wilson

www.SID.ir



شکل ۱- حوضه چهل چای و ایستگاه لزوره بر روی رودخانه چهل چای.

نمونه‌برداری: برای اندازه‌گیری‌های صحرایی بار کف از نمونه‌بردار هلی‌اسمیت دستی[1] (BLSH) استفاده شده است (شکل ۲). تفاوت عمده این نمونه‌بردار با مدل‌های بزرگ آن قابلیت حمل آن به درون رودخانه با دست می‌باشد. نمونه‌بردار دستی دارای یک دسته بلند دو متری است که متصدی رسوب‌برداری با ورود به‌داخل رودخانه اقدام به جمع‌آوری بار کف می‌کند. برای اندازه‌گیری سرعت نیز از سرعت سنج آت[2] استفاده شد. ۱۶ سری نمونه‌برداری‌های ایستگاه لزوره از تاریخ ششم مهرماه تا بیست و دوم اردیبهشت ماه سال بعد انجام گرفت. برخی از مشخصات هیدرولیکی این ایستگاه در جدول ۱ آورده شده است.

برای نمونه‌برداری عرض بستر رودخانه متناسب با اندازه آن به‌سه قسمت مساوی یا بیشتر ازنظر میزان دبی تقسیم شود. از میان هر قسمت پس از تعیین فاصله آن نسبت به مبدا شاخص در ساحل، دو بار نمونه‌بار کف گرفته شده و درصورت وجود اختلاف زیاد بین مقدار نمونه‌ها نمونه‌برداری

1- Hand-held Bed Load Sampler
2- Ott

www.SID.ir

تکرارگردد. مدت زمان قرار گرفتن نمونه‌بردار در بستر رودخانه متناسب با میزان بار کف خواهد بود و زمان لازم به‌صورت تجربی به‌دست می‌آید. اما زمان تقریبی برای بیرون کشیدن نمونه‌بردار پر شدن ۳۰ درصد حجم نمونه‌بردار است.

شکل ۲- نمونه‌بردار هلی اسمیت دستی.

جدول ۱- حداکثر و حداقل اطلاعات هیدرولیکی استفاده شده برای ارزیابی فرمول‌ها، رودخانه چهل‌چای.

سرعت جریان (متر بر ثانیه)	شعاع هیدرولیکی (متر)	دبی واحد عرض (متر مکعب بر ثانیه بر متر)	عرض سطح آزاد آب (متر)	دبی رسوب (متر مکعب بر ثانیه)	دما (سانتی‌گراد)	شیب
بیشینه						۰/۰۱۷۵
۱/۱٤	۰/۳۲	۰/۳	۲۱	$۱/۱ \times ۱۰^{-۶}$	۲۱	
کمینه						
۰/٤	۰/۱٤۸	۰/۰۵۸	۸/۵	$٤/۳ \times ۱۰^{-۹}$	٦/۵	

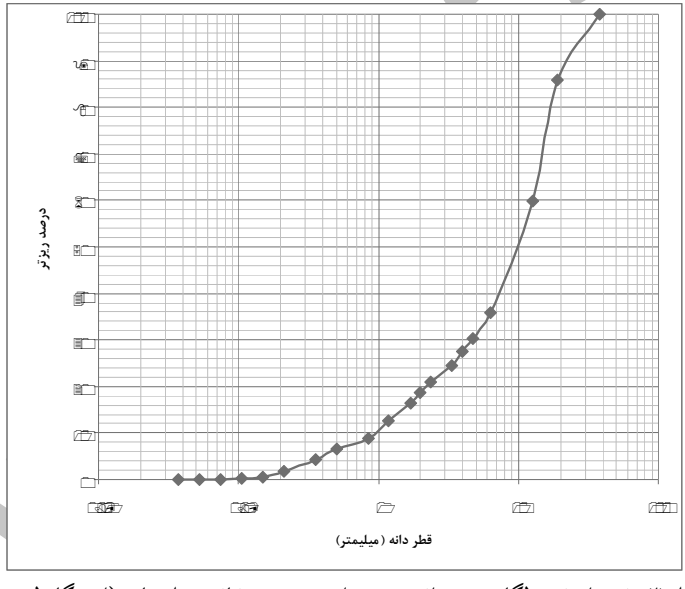
علاوه بر اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی، پارامترهای رسوبی (مانند قطر میانه، قطر میانگین حسابی، انحراف معیار هندسی، ضریب جوری و سرعت سقوط) نیز مورد اندازه‌گیری قرار گرفت، در شکل ۳ نمودار دانه‌بندی مواد بستر نشان داده شده است، که در آن محور عمودی نشانگر درصد مواد عبور کرده از الک و محور افقی نشانگر قطر دانه‌ها به میلی‌متر می‌باشد و در جدول ۲ پارامترهای دانه‌بندی مربوط به‌نمودار دانه‌بندی مواد بستر رودخانه چهل‌چای به‌قرار زیر نشان داده شده است:

www.SID.ir

قطر میانه (d_{50}) که برابر است با قطر مربوط به کسر وزنی ۵۰ درصد ریزتر دانه‌ها.
قطر میانگین حسابی (d_a) که عبارت‌است از فاصله محور عمودی از مرکز ثقل مساحت زیرمنحنی فراوانی.
انحراف معیار هندسی (G) که از تقسیم و میانگین‌گیری $d_{84.1}$، d_{50} و $d_{15.9}$ که عبارتند از: قطر مربوط به ۸٤ ۵۰ و ۱۵/۹ درصد ریزتر می‌باشند، استفاده شد.
ضریب جوری (S_0) که از مزایای این ضریب بدون بعد بودن آن است.برای مواد کاملا یکنواخت این ضریب برابر یک است و در رسوبات طبیعی بین ۲ تا ٤/۵ تغییر می‌کند.

جدول ۲- مشخصات دانه‌بندی مواد بستر ایستگاه لزوره.

قطر میانه (d_{50}) میلی‌متر	انحراف معیار هندسی (G)	ضریب دسته‌بندی(S_0)	قطر میانگین (d_a) میلی‌متر	سرعت سقوط (W_S) متر بر ثانیه	پارامتر اندازه (D_*)
۹/۸	۳/۹۱	۲/۲۲	۸/۳	۰/٤۳۸	۲۲۷



شکل ۳- نمودار نیمه لگاریتمی دانه‌بندی مواد بستر رودخانه چهل‌چای (ایستگاه لزوره).

به‌منظور ارزیابی دقت برآورد معادلات تجربی تخمینگر بار کف از ترسیم نمودار تغییرات مقادیر محاسبه شده بار کف بر حسب مقادیر اندازه‌گیری شده و پراکندگی نتایج حول خط ٤۵ درجه و همچنین میانگین نسبت ناجوری که از رابطه زیر به‌دست می‌آید، استفاده شده است.

www.SID.ir

نسبت ناجوری[1] (R) عبارت است از :

$$R = \frac{q_c}{q_m} \qquad (۸)$$

که در آن، q_c دبی بار کف محاسبه شده (برحسب مترمکعب بر ثانیه) و q_m دبی بار کف اندازه‌گیری شده (بر حسب مترمکعب برثانیه) است.

نتایج و بحث

ارزیابی بر اساس مقادیر دبی بار کف: در شکل ٤ تغییرات مقادیر بار کف اندازه‌گیری شده بر حسب بار کف محاسبه شده در محور عمودی بر اساس معادلات تخمین‌گر بار کف مختلف نشان داده شده است.

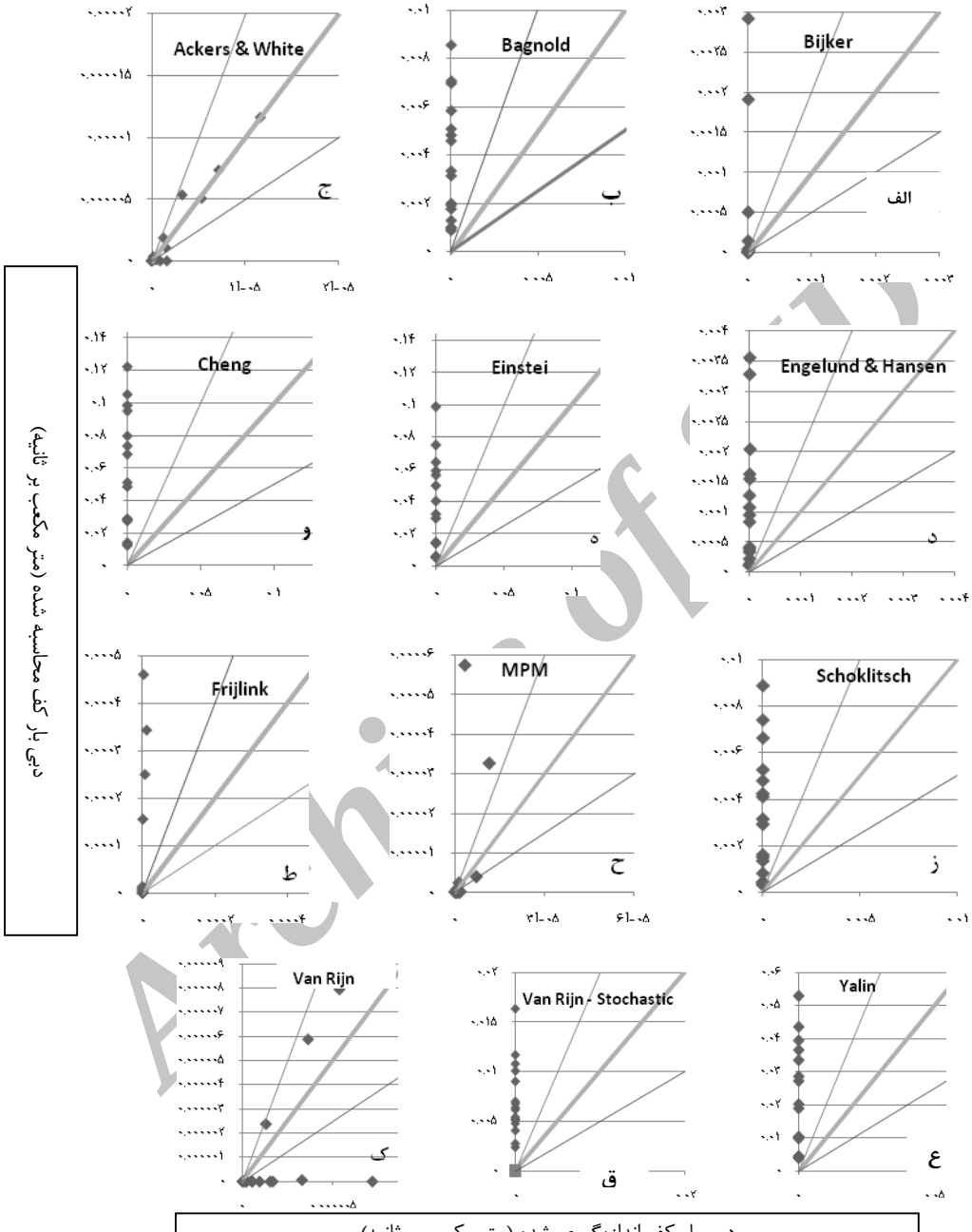
هر چه نقاط به خط میانی که ضخیم‌تر است (نسبت ناجوری برابر یک) نزدیک‌تر باشد، آن معادله برآورد خوبی از دبی بار کف داشته است. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، فقط معادلات ایکرز و وایت، مییر- پیتر و مولر، ون راین و فرایلینک نقاطی بین خط نسبت ناجوری ۰/۵ و ۲ دارند. اما معادلاتی مانند اینشتین، ون راین احتمالاتی و شوکلیچ به محور عمودی که بیانگر دبی بار کف محاسبه شده است، نزدیک‌تر است، در نتیجه این معادلات برآوردشان بسیار بیشتر از بار کف اندازه‌گیری شده است. یکی از دلایلی که بیشتر معادلات در این رودخانه جواب قاب قبولی نمی‌دهند، شیب بسیار بالای (حدود ۲ درصدی) این رودخانه است. در معادلات ایکرز و وایت (شکل ٤-ج) و مییر- پیتر و مولر (شکل ٤-ح) و ون راین (شکل ٤-ک) شیب به‌طور مستقیم در مقدار دبی بار کف تاثیری ندارد و همین دلیل برای برآورد دقیق‌تر دبی بار کف موثر می‌باشد.

ارزیابی براساس فراوانی مقادیر نسبت ناجوری: برای بیان بهتر دقت معادلات از فراوانی نسبت ناجوری استفاده می‌شود. در شکل ۵ بازه‌های نسبت ناجوری در محور افقی و درصد فراوانی آن در محور عمودی نشان داده شده است.

معادله مییر- پیتر و مولر فراوانی نسبت ناجوری کمتر از ۲ را حدود ۷۲ درصد، ایکرز و وایت نیز حدود ۸٦ درصد محاسبه می‌کند. این مقدار فراوانی را معادله بایکر حدود ۳٦ درصد برآورد می‌کند. در جدول۳ مقادیر میانگین نسبت ناجوری، نسبت ناجوری فاکتور دو ($0.5 < R < 2$) و نسبت ناجوری بین ۰/۳۳ تا ۳ برای ۱۳ معادله ارائه شده است.

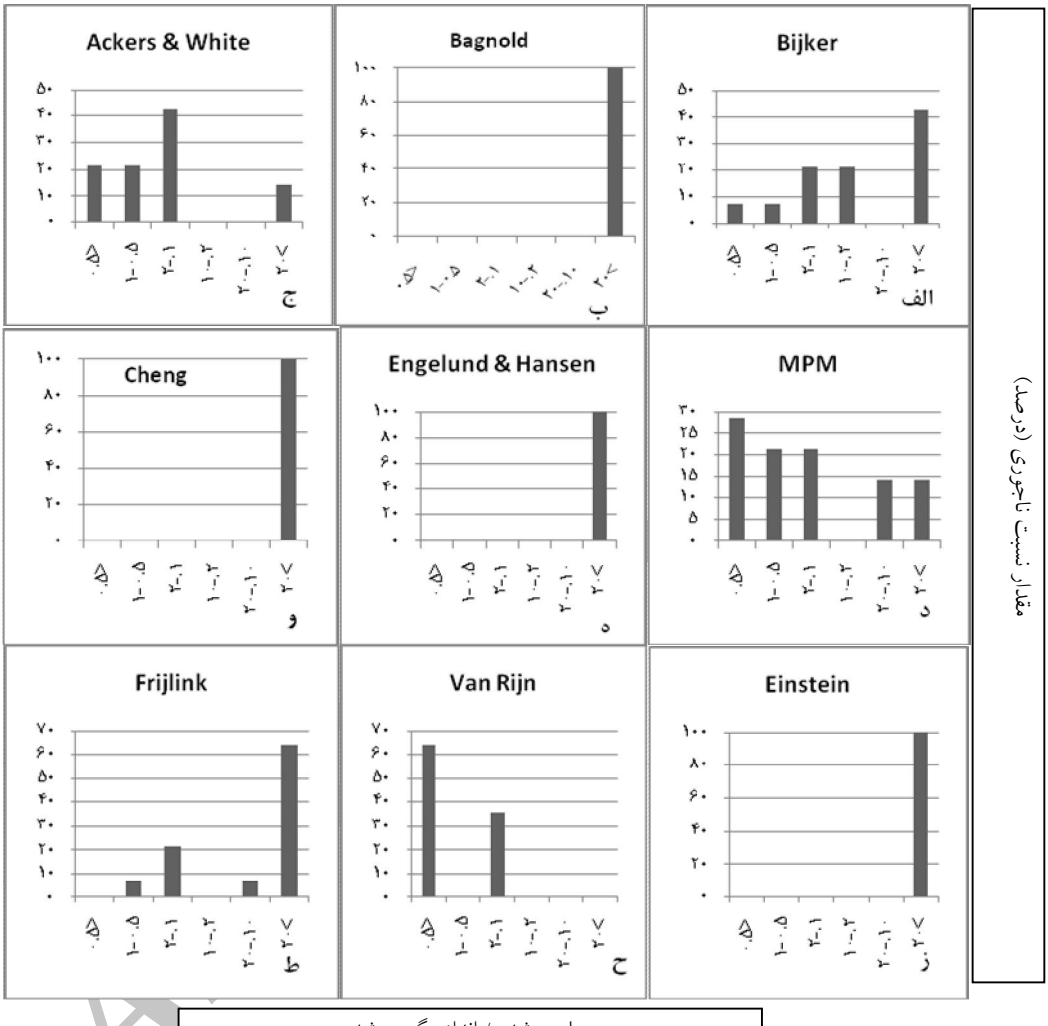
1- Discrepancy Ratio

www.SID.ir



شکل ٤- مقایسه بین بار کف محاسبه شده و اندازه‌گیری شده رودخانه چهل‌چای، ایستگاه لزوره.

www.SID.ir



شکل ۵- تغییرات بازه‌های نسبت ناجوری بر حسب درصد فراوانی برای برآورد بار بستر براساس فرمول‌های مختلف.

www.SID.ir

جدول ۳- نسبت ناجوری معادلات بار کف با دانه‌بندی مواد بستر برای رودخانه چهل‌چای (ایستگاه لزوره).

معادلات	$0.5 < R < 2$	$(0.33 < R < 3)$	میانگین R
ایکرز و وایت	٦٤/٣	٦٤/٣	۰/۷۳
میر- پیتر و مولر	٤٣	٤٣	۳۸
ون راین	٣٦	٣٦	۰/٤۹
فرایلینک	٢٨/٦	٣٦	۱۰۷/۲
بایکر	٢٨/٦	٢٨/٦	۲۸/۵
انگلاند و هانسن	۰	۰	٤١٦۰/۷
اینشتین و براون	۰	۰	۷۷۷۲٤
چنگ	۰	۰	٦٢٣٨٢
یالین	۰	۰	٥٢٤٧٧
شوکلیچ	۰	۰	٥٣٢۹
ون راین (احتمالاتی)	۰	۰	٤۰٦۷٥
یالین	۰	۰	٥٢٤٧٧
بگنولد	۰	۰	۱۸٤۹۸

همان‌طور که در جدول۳ نشان داده شده است دقت معادلات در ارزیابی دبی بار بستر با استفاده از دانه‌بندی بار بستر برای رودخانه چهل‌چای به‌ترتیب نزولی و از قرار زیر است: ایکرز و وایت (۱۹۷۳)، میر-پیتر و مولر (۱۹٤۸)، ون راین (۱۹۸٤)، فرایلینک (۱۹۵۱)، بایکر (۱۹۷۱)، انگلاند و هانسن (۱۹٦۷)، براون (۱۹۵۰)، چنگ (۲۰۰۲)، یالین (۱۹٦۳)، شوکلیچ (۱۹۵۰)، ون راین (احتمالاتی)، یالین، بگنولد. نتایج این پژوهش با نتایج به‌دست آمده از تحقیق دی ورایس، ۱۹۹۳ و وو و یو (۲۰۰۱) هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری

۱- پنج معادله ایکرز و وایت، میر- پیتر و مولر، ون راین، فرایلینک و بایکر نتایج خوبی با استفاده از دانه‌بندی مواد بستر برای رودخانه چهل‌چای می‌دهند. در این پژوهش معادله ایکرز و وایت با نسبت ناجوری بین ۰/۵ تا ۲، ٦٤/۳ درصد و فاصله زیادی از دیگر معادلات بهترین جواب را می‌دهد.

Archive of SID
www.SID.ir

۲- ضعیف‌ترین نتایج را معادلات اینشتین، بگنولد و یالین می‌دهند، که مقادیر میانگین نسبت ناجوری آن‌ها بسیار بالا می‌باشد.

۳- نتیجه‌گیری‌های ذکر شده محدود به یک رودخانه است و برای عمومیت دادن این نتایج و صحت سنجی آن‌ها نیاز به پژوهش در رودخانه‌های بیشتر است. به‌عنوان مثال در دشت گرگان بیش از ۵۰ ایستگاه با فاصله زیاد موجود است که پژوهش مشابه در مورد آن نیز می‌تواند صورت گیرد.

٤- بهتر است دبی بار رسوب کل نیز در این ایستگاه‌ها با اندازه‌گیری دبی بار معلق به‌طور هم‌زمان اندازه‌گیری شود. زیرا بار رسوب معلق و بار کف (با در نظر نگرفتن بار شسته) بخش اعظمی از رسوب‌گذاری‌ها در پشت سازه‌ها را تشکیل می‌دهند.

منابع

1.Ackers, P. and White, W.R. 1973. Sediment Transport: New Approach and Analysis. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, No. HY 11, USA.

2.Bagnold, R.A. 1966, An Approach to the Sediment Transport Problem from General Physics. Geological Survey Prof. Paper 422-1, Washington.

3.Bijker, E.W. 1971. Longshore Transport Computations. Journal of the Water Ways, Harbours and Coastal Engineering Division, 97: No. WW4.

4.Brown, C.B. 1950. Sediment transportation, Engineering hydraulic, ed. H. Rouse, John Wiley, NewYork, 1950.

5.Chien, Ning 1954. Meyer-peter formula for bed load transport and Einstein bed load function. IER. MRD Series No. 7.

7.De Vries 1993. Assessment of bed load formulas. IAHR Congress proceeding. China.

6.Einstein, H.A. 1950. The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flow. Technical Bulletin No. 1026, U.S. Dep. of Agriculture, Washington, D.C.

7.Emmett, W.W. 1980, A field calibration of the sediment-trapping characteristics of the Helley–Smith bed load sampler. U.S. Geol.Survey Prof. Paper No. 1139.

8.Engelund, F. and Hansen, E., 1967. A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Teknisk Forlag, Copenhagen, Denmark.

9.Frijlink, H.C., 1952. Discussion of Bed Load Movement Formulas. Report No. X2344/LV, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

10.Garde, R.J., and Ranga Raju, K.G. 2000. Mechanics of sediment transport, New Age International, New Delhi.

11.Gomez, B., and Church, M. 1989. An assessment of bed load sediment transport formulae for gravel Bed Rivers. Water Resources Research, 25: 6, 1161-1186.

Archive of SID
www.SID.ir

12.Graf, W.H. 1971. Hydraulics of sediment transport, McGraw-Hill, New York.
13.Habersack H.M., and Laronne J.B. 2002. Evaluation and improvement of bed load discharge formulas based on Helley-Smith sampling in an alpine gravel bed river. Journal of Hydraulic Engineering, 128: 5. 484-499.
14.Meyer-Peter, E., and Mueller, R. 1948. ‘‘Formulas for bed-load transport.’’ Int. Assoc. Hydraulic Research, 2nd Mtg., Stockholm, 39–64.
15.Parker, G. 1982. Surface-based bed load transport relation for gravel rivers. J. Hydraul. Res., 28: 4. 417–543.
16.Schoklitsch, A. 1950. Handbuch des wasserbaues [Handbook of hydraulic engineering], 2nd Ed., Springer, New York.
17.Schields A., 1936. Anwndung der Ahnlichketsmechnik und der Turbulenz Forschung auf die Geschiebewegung Mitt. Der Preuss. Versuchsamst. Fur Wasserbau and Schiffbau, Heft 26, Berlin, Deutschland.
18.Van Rijn, L.C., 1984a. Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 110: 10.
19.Van Rijn, L.C. 1993. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas, Aqua publication, Netherland.
20.Vetter, M. 1988. “Total Sediment Transport in Open Channels,” Report no. 26 of the Institute of Hydrology, University of the German Federal Army (translated from German by the U.S. Bureau of Reclamation, May 1989).
21.Yalin, M.S. 1963. An expression for bed load transportation. J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng., 89 (HY3), 221–250.
22.Woo, H. and Yu, K. 2001. Reassessment of Selected Sediment Discharge Formulas. XXIX IAHR Congress Proceeding, China.
23.Wu B., Molinas A., and Jullien, P.Y. 2004. Bed-material load computations for non uniform sediments. Journal of Hydraulic Engineering, 130: 10, 1002-1012.

Archive of SID

www.SID.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(3), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Evaluation of Bed Load Discharge Formulas in Alpine Gravel Bed Rivers (Case study: Chehel Chai river in Golestan province)

***A. Haddadchi[1], M. Omid[2] and A.A. Dehghani[3]**

[1]M.Sc student of University of Tehran, [2]Associate Prof., Dept. of Irrigation and Reclamation Engraining, University of Tehran, [3]Assistant Prof. Dept. of water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 2010-8-31; Accepted: 2011-3-15

Abstract

Determining the exact value of bed load is concerned with investigators. In this study the performance of 13 bed load sediment transport formula developed for use in steep gravel-bedded armored ChehelChay River, Iran is tested. The formulas are applied in the manner intended by the original authors. The results have been expressed in terms of a discrepancy ratio (r) defined as the ratio of the predicted and measured transport rate. The method of Ackers and White yields the best results for field data with 64% of the predicted transport rates in the range of $0.5 \leq r \leq 2$. The Meyer-Peter and Mueller and Van Rijn equations yields approximately good results with 43%, and 36% of the predicted transport rates within a factor 2 of the measured values, respectively.

***Keywords*:** Sediment transport; Bed Load; Gravel Bed; Chehelchay.

*Corresponding Author; Email: arman.haddadchi@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir