دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

محاسبه ظرفیت انتقال رسوب در رودخانه‌ها به کمک مدل ریاضی شبه دوبعدی

عبدالرضا ظهیری[۱]، جواد قلی‌نژاد[۲] و امیراحمد دهقانی[۳]

۱و ۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (نویسنده مسوول: zahiri.areza@gmail.com)
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد واحد تهران- مرکز

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۵
صفحه ۱۴۲ تا ۱۵۳

چکیده

منحنی سنجه رسوب رودخانه‌ها برای بسیاری از مباحث و محاسبات مهندسی رودخانه مثل لایروبی، طراحی مخازن سدها، طراحی آبگیرهای جانبی و مدیریت برداشت مصالح رودخانه‌ای یک فاکتور اساسی است. اگرچه این منحنی به‌کمک داده‌های اندازه‌گیری شده همزمان دبی جریان و دبی رسوب توسعه داده می‌شود اما به‌دلیل تعداد کم داده‌های اندازه‌گیری در زمان وقوع سیل، اعتبار این منحنی در شرایط سیلاب کم است. این خلاء را می‌توان به کمک یک ابزار ساده و کاربردی مثل مدل‌های ریاضی شبه‌دوبعدی تا حدودی برطرف نمود. این مدل‌ها هم‌اکنون به عنوان یک راه‌حل بهینه و کارآمد، کاربرد گسترده‌ای در مباحث هیدرولیک جریان و رسوب رودخانه‌ها یافته‌اند. در این مدل‌ها، تغییرات سرعت در عرض رودخانه‌ها به‌کمک حل عددی معادلات دیفرانسیل ناویر-استوکس و در شرایط جریان ماندگار و یکنواخت شبیه‌سازی می‌شود. در پژوهش حاضر با استفاده از مدل ریاضی شبه دوبعدی شیونو و نایت، توزیع عرضی سرعت جریان در رودخانه قره‌سو در حل ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب محاسبه شده و سپس به‌کمک این نتایج و تلفیق آنها با روابط تجربی انتقال رسوب، توزیع عرضی رسوب کل و ظرفیت انتقال رسوب رودخانه تعیین شد. نتایج حاصله نشان دهنده عملکرد مناسب مدل شبه دوبعدی در برآورد توزیع عرضی سرعت جریان با خطای متوسط ۸/۷ درصد می‌باشد. همچنین از میان روابط مختلف انتقال رسوب، رابطه انگلوند- هانسن با خطای متوسط ۳٤ درصد، بهترین دقت را در تخمین دبی رسوب رودخانه و استخراج منحنی سنجه رسوب داشته است. روابط تجربی یانگ و ایکرز-وایت به‌ترتیب با متوسط خطای نسبی ٤٦ و ٦٤ درصد، در رده‌های بعد قرار دارند. رابطه لارسن نیز با متوسط خطای نسبی ۲۵۸ درصد، دارای دقت بسیار کمی است.

واژه‌های کلیدی: توزیع عرضی سرعت، توزیع عرضی رسوب کل، مدل ریاضی شبه دوبعدی، معادلات انتقال رسوب، رودخانه قره‌سو

مقدمه

رودخانه‌ها به‌دلیل ماهیت دینامیکی خود و نیز اقدامات بشر دائماً در حال تغییر هستند. شناخت این تغییرات برای ساماندهی رودخانه و نیز احیاء آن لازم و ضروری است. به این منظور معمولاً از مدل‌های ریاضی استفاده می‌شود. امروزه مدل‌های یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی زیادی برای حل مسایل مرتبط با مهندسی رودخانه وجود دارد. مدل‌های یک بعدی اگرچه دارای فرضیات ساده کننده بیشتری بوده و معادلات آنها برای تعریف فرآیندها و مکانیزم‌های پیچیده موجود در رودخانه‌ها کافی نیست ولی در صورت واسنجی مناسب، با وجود سادگی می‌توانند نتایج مفیدی را در اختیار کاربران قرار دهند (۳۰).

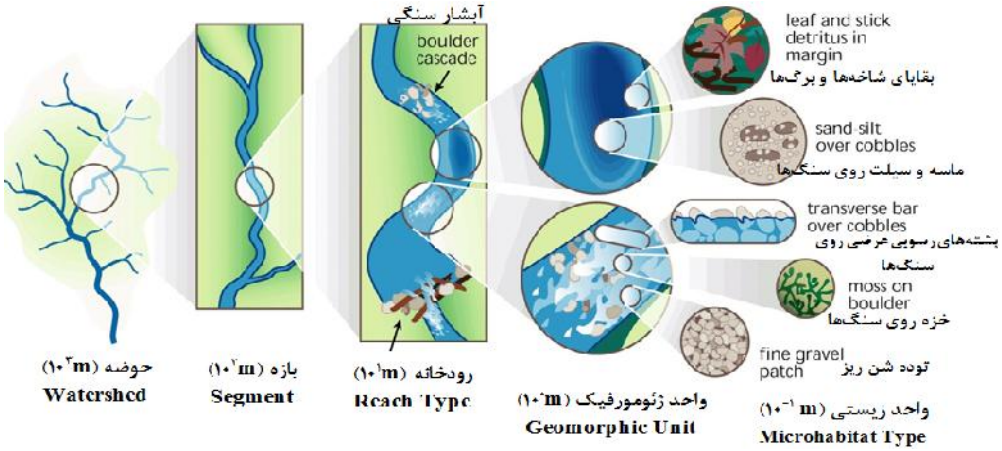
امروزه علم مهندسی رودخانه همگام با سایر علوم مهندسی با پیشرفت‌های مهمی همراه بوده است. با توجه به اهمیت محیط زیست و نیز چرخه زیستی سیستم رودخانه، طرح‌های مهندسی رودخانه با مباحث زیست‌محیطی عجین شده‌اند به‌طوری‌که مطابق شکل ۱، این طرح‌ها از نظر مقیاس ابعاد و وسعت به پنج گروه تقسیم می‌شوند (۱۲). به‌طور مثال، طرح‌های معمول مهندسی رودخانه در بازه‌های چند کیلومتری تعریف و اجرا می‌شوند که به این پروژه‌ها، طرح‌های نوع اول گفته می‌شود. اغلب طرح‌های مهندسی رودخانه در کشورمان از قبیل ساماندهی رودخانه، روندیابی سیل، تعیین حد بستر و حریم رودخانه و ... جزء این نوع طرح‌ها است. در این طرح‌ها، محاسبه مقادیر متوسط پارامترهای هیدرولیکی مقطع رودخانه (مثل سرعت جریان، عمق آب، تنش برشی) کفایت می‌کند که این نتایج با استفاده از مدل‌های ریاضی یک‌بعدی نظیر HEC-RAS، MIKE-11، ISIS و HEMET قابل استخراج می‌باشد. پروژه‌های نوع دوم در بازه‌هایی به طول چند صد متر اجرا می‌شوند (مثل مطالعات انتقال رسوب، تعیین بازه‌های فرسایشی و رسوب‌گذار در طول و عرض رودخانه). پروژه‌های نوع سوم و چهارم نیز به ترتیب در بازه‌هایی از رودخانه به طول چند ده متر و چند متر طراحی و اجرا می‌شوند (مثل تعیین موقعیت آبگیرهای جانبی در قوس رودخانه، کنترل فرسایش سواحل، بررسی هیدرولیکی استخرها و سرسره‌ها[1]، مطالعه میکروارگانیزم‌ها در بستر آبرفتی رودخانه). پروژه‌های نوع پنجم در ابعادی کمتر از یک متر مورد بررسی قرار می‌گیرند و مطالعه میکروارگانیزم‌ها و واحدهای زیستی در بستر آبرفتی رودخانه مدنظر است. در هر چهار نوع پروژه آخر، کاربرد مدل‌های یک‌بعدی با محدودیت‌های ویژه‌ای همراه است. محدودیت اصلی این مدل‌ها این است که متغیرهای هیدرولیکی را فقط در جهت طولی محاسبه کرده و توزیع عرضی و عمقی متغیرها را درنظر نمی‌گیرند (۱۲). این در حالی است که مثلاً برای تعیین موقعیت آبگیر، توزیع سرعت جریان، تنش برشی بستر و نیز غلظت رسوب معلق در عرض رودخانه مهم است. همچنین برای مطالعه وضعیت زیست‌محیطی میکروارگانیزم‌ها در بستر رودخانه، آگاهی از

1- Pools and Riffles

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]

توزیع عرضی و عمقی پارامترهای هیدرولیکی و رسوبی رودخانه مهم است. به این منظور در این طرح‌ها، استفاده از مدل‌های ریاضی دوبعدی و یا سه‌بعدی اجتناب‌ناپذیر است. متاسفانه تاکنون کاربرد مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی فقط برای بازه‌های رودخانه‌ای کوتاه و در مجاورت سازه‌های هیدرولیکی (نظیر آبگیرها، ایستگاه‌های پمپاژ، سرریزها، آب‌شکن‌ها، پایه‌های پل و غیره) توصیه شده است (۲۵). این مدل‌ها به حجم بالایی از حافظه رایانه‌ها نیاز دارند به طوریکه حتی برای کاربردهای دانشگاهی و تحقیقاتی (مثل کانال‌های آزمایشگاهی) به چند روز شبیه‌سازی نیاز دارند.

به همین دلیل در سال‌های اخیر توجه محققان به مدل‌های ریاضی شبه‌دوبعدی معطوف شده است. این مدل‌ها حدوسط مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی هستند. از یک طرف، مشابه مدل‌های یک‌بعدی از سادگی و سهولت کاربرد خاصی برخوردار هستند و از طرف دیگر مشابه مدل‌های دوبعدی، بر اساس معادلات ناویر–استوکس پایه‌گذاری شده‌اند و به همین دلیل جزئیات مناسبی از شرایط جریان را شبیه‌سازی می‌نمایند. پارامترهای هیدرولیک جریان (مثل سرعت و تنش برشی) در این مدل‌ها عموماً به صورت پروفیل عرضی و به فرم متوسط در عمق محاسبه می‌شوند (۲۳).



شکل ۱– چارچوب طبقه‌بندی سلسله مراتبی زیست‌بوم رودخانه‌ها در فعالیت‌های مهندسی رودخانه (۱۲)
Figure 1. A hierarchical framework for stream habitat classification in river engineering projects (12)

در اغلب طرح‌های مهندسی رودخانه علاوه بر مطالعه هیدرولیک جریان، بررسی رفتار رسوبات رودخانه‌ای نیز بسیار مهم و تاثیرگذار است. مثلاً احداث سدها، پل‌ها، آبگیرهای جانبی و بندهای انحرافی و نیز عملیات لایروبی رودخانه‌ها کاملاً با خصوصیات جریان و رسوب رودخانه مرتبط است. برای بررسی رفتار و حرکت رسوبات، مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی زیادی توسط محققین انجام شده و از نتایج تحلیل آنها، روابط و معادلات فراوانی برای محاسبه نرخ انتقال رسوب در رودخانه‌ها استخراج ارائه شده است. همچنین مدل‌های ریاضی زیادی به منظور بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها ارائه شده است. اخیراً نیز برای تخمین دبی رسوب معلق در رودخانه‌ها، استفاده از مدل‌های هوشمند مثل روش کنترل گروهی داده‌ها (۸)، سیستم استنتاج فازی- عصبی (۱۶) و ماشین‌های بردار پشتیبان (۱۱) مورد توجه قرار گرفته است. نکته مهم در کاربرد روش‌های هوشمند این است که معمولاً اغلب آنها قادر به ارائه یک رابطه صریح برای محاسبه متغیر خروجی نیستند (۱۳). در ضمن تعمیم آنها به شرایطی خارج از محدوده داده‌های مدل‌سازی بسیار مشکل است (۳). به همین دلیل کماکان روابط هیدرولیکی انتقال رسوب دارای کاربرد و اعتبار می‌باشند (۱۸،۱۷).

تاکنون مطالعات کمی در زمینه مدل‌سازی توزیع غلظت رسوب در عرض رودخانه‌ها صورت گرفته است. هو و همکاران (۱۴) با استفاده از حل معادله دیفیوژن در عرض کانال، توزیع غلظت رسوب معلق در عرض یک کانال آزمایشگاهی را شبیه‌سازی نمودند. چوی و لی (۶،۵) با استفاده از یک مدل توزیع عرضی سرعت، بار کل رسوب را در رودخانه‌های شنی و ماسه‌ای برآورد نمودند. نتایج نشان داد که محاسبات مدل شبه‌دوبعدی دارای دقت بیشتری نسبت به معادلات تجربی انتقال رسوب است. ظهیری و دهان‌زاده (۳۱) با کاربرد یک مدل شبه‌دوبعدی در رودخانه کارون، ظرفیت انتقال رسوب را در این رودخانه محاسبه نمودند. در این مطالعه، به‌دلیل عدم دسترسی به داده‌های توزیع عرضی غلظت رسوبات رودخانه، نتایج به‌دست امده از مدل ریاضی با دقت مناسبی قابل ارزیابی نبود و فقط دبی کل رسوبات رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به بررسی منابع به‌نظر می‌رسد که در مورد برآورد توزیع عرضی بار رسوب کل در رودخانه‌های طبیعی تحقیقات کمی صورت گرفته باشد. به همین منظور در این پژوهش، یک مدل ریاضی شبه‌دوبعدی برای حل همزمان سرعت جریان و غلظت رسوب کل در عرض رودخانه ارائه شده است. اساس این مدل، معادله

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]

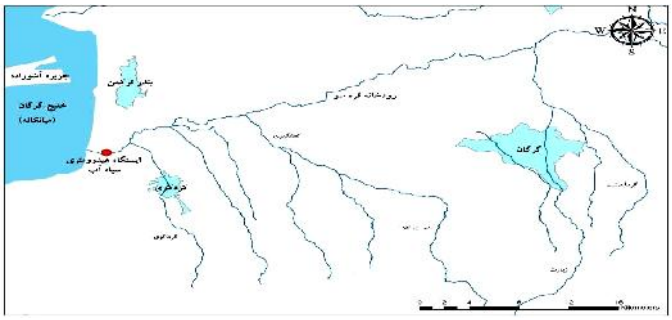
ناویر–استوکس می‌باشد که توسط شیونو و نایت (۲۳) به‌صورت متوسط در عمق تبدیل شده و برای حل توزیع سرعت در عرض رودخانه کاربردی شده است. همچنین برای محاسبه غلظت رسوب در عرض رودخانه، از تلفیق روابط تجربی محققان مختلف و نتایج توزیع عرضی سرعت به‌دست آمده از مدل شیونو و نایت (۲۳) استفاده شد. مزیت مهم این مطالعه، ارزیابی دقت نتایج هیدرولیکی و رسوبی مدل با استفاده از داده‌های صحرایی توزیع سرعت جریان و غلظت رسوب کل در عرض رودخانه قره‌سو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه قره‌سو با مساحت ۱۶۱۰ کیلومتر مربع حدود ۸ درصد از مساحت کل استان گلستان و نیز حدود ۸ درصد منابع آب‌های سطحی این استان را تشکیل می‌دهد. طول این رودخانه ۵۰ کیلومتر و متوسط آبدهی سالانه آن حدود ۱/۹۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (۲۲). شیب کف این رودخانه در محل ایستگاه قره‌سو حدود ۰/۰۰۰۵ و عرض مقطع رودخانه در شرایط جریان پایه حدود ۶ متر است که در شرایط سیلاب تا ۲۵ متر نیز افزایش می‌یابد. بیشینه دبی جریان به ثبت رسیده در این رودخانه، ۴۷/۶ مترمکعب بر ثانیه بوده که در سیل تیرماه ۱۳۷۷ اتفاق افتاده است. این رودخانه زیستگاه چندین گونه از ماهیان بوده و به‌همین دلیل جایگاه ویژه‌ای در اکوتوریسم خلیج گرگان دارد (۲۲). در شکل ۲ موقعیت رودخانه قره‌سو در استان گلستان و نیز موقعیت ایستگاه سیاه‌آب در این رودخانه نشان داده شده است. در شکل ۳ نیز نمایی از وضعیت رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری قره‌سو که حاکی از وضعیت پوشش گیاهی در مقطع اصلی جریان می‌باشد ارائه شده است. مصالح بستر این رودخانه عموماً ماسه ریز تا متوسط بوده و قطر میانه این رسوبات حدود ۰/۴ میلی‌متر برآورد شده است.

به‌منظور واسنجی مدل ریاضی، توزیع عرضی سرعت جریان و نیز دبی رسوب در چند دبی جریان مورد نیاز است. اندازه‌گیری سرعت جریان در این ایستگاه به‌کمک سرعت‌سنج (مولینه) OTT آلمانی مدل C31 انجام شده است. برای عمق‌های کمتر از یک متر، سرعت در ۰/۶ عمق جریان (از سطح آب) و برای عمق‌های بیش از یک متر، سرعت‌های نقاط ۰/۲ و ۰/۸ عمق جریان اندازه‌گیری شده است. با توجه به عرض کم رودخانه در محل ایستگاه، اندازه‌گیری سرعت در فواصل یک متری در عرض رودخانه انجام شده است. همچنین از نمونه‌بردارهای تجمعی (depth integrated) مدل DH-48 برای نمونه‌گیری از آب و رسوب رودخانه استفاده شده است. نمونه‌برداری غلظت رسوب در سه نقطه از عرض رودخانه شامل ساحل سمت چپ، بخش میانی رودخانه و ساحل خارجی انجام شده است.



شکل ۲– موقعیت ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب در انتهای رودخانه قره‌سو (۲۲)
Figure 2. Location of SiahAb station in downstream of Gharesoo River (22)



شکل ۳– وضعیت پوشش گیاهی در بازه‌های میانی رودخانه قره‌سو
Figure 3. Downstream view of Gharesoo River and its vegetation in middle reaches

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]

[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]

مبانی هیدرولیکی مدل ریاضی

معادلات ناویر–استوکس برای بیان تغییرات سرعت متوسط زمانی در جهت جریان، u، در یک آبراهه مستقیم به‌صورت زیر خلاصه می‌شوند (۱۰):

$$gS_0 - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \varepsilon\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) = \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}\right) \quad (۱)$$

که در آن u، v و w به‌ترتیب سرعت‌های متوسط زمانی در جهت طولی، عرضی و قائم، t زمان، x جهت طولی، y جهت عرضی، z جهت قائم، p فشار، ρ جرم حجمی سیال، S_0 شیب طولی بستر آبراهه، ε لزجت گردابه‌ای یا دیفیوژن تلاطمی جریان و g شتاب ثقل می‌باشند. در این معادله، لزجت گردابه‌ای به‌منظور دخالت اثر تبادل مومنتوم ناشی از نوسانات سرعت (مازاد بر سرعت متوسط جریان) به‌علت تلاطم جریان به‌کار رفته است. شیونو و نایت (۲۳) با فرض جریان ماندگار و یکنواخت و نیز انتگرال‌گیری عمقی از معادله (۱)، معادله دیفرانسیلی زیر را برای حل توزیع عرضی سرعت جریان در رودخانه‌ها ارائه نمودند (۲۳):

$$gHS_0 - \frac{f}{8}u_d^2\sqrt{\left(1+\frac{1}{s^2}\right)} + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda H^2\sqrt{\frac{f}{8}}u_d\frac{\partial u_d}{\partial y}\right) = \frac{\partial}{\partial y}\left[H(uv)_d\right] \quad (۲)$$

که u_d سرعت متوسط در عمق، H عمق جریان در هر نقطه از رودخانه، s شیب جانبی رودخانه، f ضریب اصطکاک دارسی–ویسباخ و λ ضریب بدون‌بعد لزجت جریان آشفته است. سه جمله سمت راست معادله فوق به‌ترتیب مؤلفه وزن سیال در جهت جریان، مؤلفه تنش برشی بستر و مؤلفه تنش برشی رینولدزی است. عبارت سمت راست این معادله نیز اثر جریان‌های ثانویه را نشان می‌دهد. جریان‌های ثانویه در عرض کانال توسعه می‌یابند. طبق مطالعات انجام شده، اثر جریان‌های ثانویه در قوس رودخانه‌ها دارای اهمیت بوده و باید درنظر گرفته شود (۹). با توجه به عمق کم جریان در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب و نیز مستقیم بودن مسیر رودخانه، در این مطالعه از اثر جریان‌های ثانویه صرف‌نظر شده است.

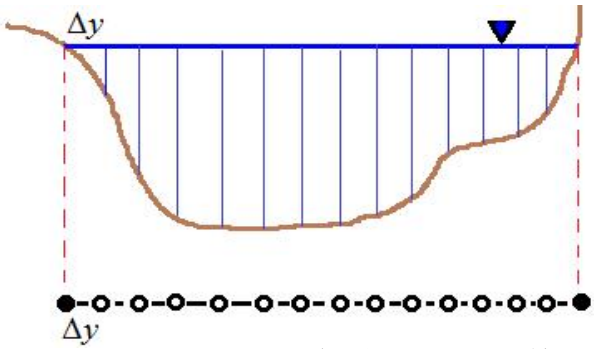
معادله (۲) یک معادله دیفرانسیل معمولی غیرخطی از نوع مقادیر مرزی است که در آن فقط u_d مجهول است. این معادله حل تحلیلی دارد، اما این حل فقط برای کانال‌های با مقطع منظم قابل استفاده است. برای رودخانه‌های طبیعی با هندسه نامنظم، روش‌های عددی تفاضل‌های محدود، اجزاء محدود و حجم محدود قابل استفاده است که در این مقاله از حل تفاضل محدود استفاده شده است. برای این حل باید توزیع عرضی ضریب اصطکاک دارسی–ویسباخ و نیز ضریب بدون بعد لزجت جریان آشفته معلوم باشند. مقادیر ضریب اصطکاک با واسنجی مدل ریاضی بر اساس تغییر ضریب زبری رودخانه به‌دست می‌آیند. ضریب بدون بعد لزجت جریان تلاطمی (λ) در مسائل مهندسی رودخانه معمولاً طبق توصیه محققان مختلف برابر ۰/۰۷ درنظر گرفته می‌شود (۲۰،۱۹).

حل عددی مدل ریاضی شیونو و نایت

قبل از حل عددی مدل، بهتر است ابتدا معادله دیفرانسیلی (۲) خطی شود. این کار به‌سادگی و با فرض $V = u_d^2$ قابل انجام است. فرم خطی معادله فوق به‌صورت زیر خواهد بود:

$$gHS_0 - \frac{f}{8}V\sqrt{\left(1+\frac{1}{s^2}\right)} + \frac{d}{dy}\left(\lambda H^2\sqrt{\frac{f}{8}}\frac{dV}{dy}\right) = 0 \quad (۳)$$

در گام بعدی باید فضای حل، شبکه‌بندی یا گره‌بندی شود. در شکل ۲، نحوه گره‌بندی میدان حل در عرض رودخانه نشان داده شده است. در این شکل نحوه ساده‌سازی فضای دوبعدی (مقطع عرضی رودخانه) به فضای یک‌بعدی نشان داده شده است. در این شکل گره‌های محاسباتی هم نشان داده شده است. گره‌های توپر همان شرایط مرزی مسئله است (سرعت‌های صفر برای دو گره ابتدا و انتهای محاسبات) و گره‌های توخالی، مجهولات مسئله بوده و مقادیر سرعت جریان در آنها باید محاسبه شود. با معلوم بودن هندسه مقطع عرضی، تراز سطح آب، شیب کف رودخانه و نیز فرض مقادیری برای ضریب زبری مانینگ و ضریب لزجت تلاطمی حدود ۰/۰۷ (ورودی‌های مدل ریاضی)، مدل ریاضی به‌صورت عددی حل شده و برای هر گره، سرعت متوسط در عمق محاسبه می‌شود. در این مدل مقادیر سرعت در گره‌های محاسباتی به‌صورت هم‌زمان و با حل یک ماتریس به‌دست می‌آیند.



شکل ۴- گره‌های محاسباتی برای محاسبه توزیع عرضی سرعت
Figure 4. Computation nodes for lateral velocity distribution

کاربرد مدل ریاضی در محاسبات انتقال رسوب

اگرچه روابط تجربی انتقال رسوب فراوانی توسط محققان برای شرایط مختلف رودخانه‌ها ارائه شده است، اما با توجه به پیچیدگی فرآیندهای هیدرولیک جریان و انتقال رسوب در رودخانه‌ها، هیچ کدام از این معادلات تجربی قادر به محاسبه دقیق ظرفیت انتقال رسوب در رودخانه‌های مختلف و یا حتی بازه‌های مختلف یک رودخانه نیستند (۲۹،۲۶). با توجه به یک‌بعدی بودن معادلات تجربی انتقال رسوب، پارامترهای هیدرولیکی مثل عمق و سرعت جریان باید به‌صورت متوسط محاسبه شده و در روابط به‌کار روند. این در حالی است که در عرض رودخانه‌ها و به‌ویژه در شرایط سیلاب، مقادیر عمق و سرعت در عرض رودخانه ممکن است بسیار متفاوت باشند. به‌همین دلیل استفاده از مقادیر متوسط آنها با خطا همراه خواهد بود. در حقیقت در مقطع عرضی از رودخانه، هر ذره آب با سرعت خاص خود حرکت نموده و ظرفیت انتقال رسوب خاصی خواهد داشت. همچنین بسیاری از محققین، ارتباط شدید بین سرعت جریان و انتقال رسوب معلق را اثبات نموده‌اند (۲۷). بنابراین برای کاهش خطای محاسبات انتقال رسوب، بهتر است معادلات تجربی را برای هر سلول جریان بکار برد. این کار نیازمند مدل‌سازی میدان سرعت در رودخانه است که مدل‌های موجود در این زمینه از قبیل تئوری احتمالاتی چیو (۴)، انتگرال‌گیری مغربی و بال (۲۱)، معادله دیفرانسیل جزئی کین و همکاران (۱۵) و قانون توانی توزیع سرعت سینگ و همکاران (۲۴) قابل استفاده است. متأسفانه کاربرد این روش‌ها برای رودخانه‌های طبیعی همراه با پیچیدگی‌های خاصی است (۳۲). به‌همین دلیل در این پژوهش از مدل ساده‌تر شیونو و نایت (۲۳) که به راحتی برای انواع رودخانه‌ها قابل کاربرد است استفاده شده است. این مدل برای حل توزیع عرضی سرعت پیشنهاد شده است و با تلفیق توزیع عرضی سرعت به‌دست آمده از این مدل با معادلات تجربی انتقال رسوب، می‌توان ظرفیت حمل رسوب در رودخانه‌ها را با دقت بیشتری برآورد نمود.

اگرچه معادلات تجربی زیادی توسط محققان برای محاسبه نرخ انتقال رسوب ارائه شده است اما در اینجا فقط از ۴ معادله استفاده شده است. دلیل این انتخاب، کارایی مناسب آنها در بسیاری از رودخانه‌ها است (۲۳،۲۴). این معادلات در جدول ۱ و محدوده کاربرد آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]

جدول ۱- روابط تجربی انتقال رسوب مورد استفاده در این تحقیق

Table 1. The empirical sediment transport equations selected in this study

نام محقق/ محققان	رابطه
ایکرز-وایت (۱۹۷۳) (۲)	$Q_t = Q\,C\,\frac{d_{50}}{R}\left(\frac{U}{u_*}\right)^n\left(\frac{F_g}{A}-1\right)^m$
انگلوند-هانسن (۱۹۶۷) (۹)	$Q_t = 0.05Q\frac{G_s}{G_s-1}\frac{US_0}{\sqrt{(G_s-1)gd_{50}}}\times\frac{RS_0}{(G_s-1)d_{50}}$
یانگ (۱۹۷۳) (۲۸)	$\log C_t = I + J\log\left(\frac{US_0}{w'}\right)$ $I = 5.165 - 0.153\log\frac{w'd_{50}}{\neg} - 0.297\log\frac{u_*}{w'}$ $J = 1.780 - 0.360\log\frac{w'd_{50}}{\neg} - 0.480\log\frac{u_*}{w'}$
لارسن (۱۹۷۵) (۷)	$Q_t = 0.084¥_w Q\left(\frac{d_{50}}{R}\right)^{1.167}\left(\frac{^2{}'_b}{^2_{cr}}-1\right)\Psi$

درجدول فوق Q_t دبی کل رسوب، Q دبی جریان، u_* سرعت برشی، U سرعت متوسط جریان، R شعاع هیدرولیکی، d_{50} قطر میانه رسویات، F_g عدد حرکت رسوب، ضرایب n، A، m و C ضرایب روش ایکرز-وایت، C_t غلظت رسوب (ppm)، w' سرعت سقوط ذرات، $\neg$ لزجت سینماتیکی آب، $¥_w$ وزن مخصوص آب، G_s چگالی ویژه رسوب، $^2{}'_b$ وابستگی دانه‌بندی به تنش برشی بستر، $^2{}_{cr}$ تنش برشی بحرانی، Ψ پارامتر نسبت سرعت ذرات، $¥_s$ وزن مخصوص رسوب، D عمق جریان، S_0 شیب طولی رودخانه، B عرض رودخانه و f' ضریب اصطکاک دارسی-ویسباخ می‌باشند.

جدول ۲- دامنه تغییرات پارامترهای هیدرولیکی و رسوبی در روابط تجربی انتقال رسوب

Table 2. The range of hydraulic and sediment data application in empirical sediment transport equations

رابطه رسوبی	قطر میانه ذرات (میلی‌متر)	عمق جریان (متر)	سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)
ایکرز-وایت (۱۹۷۳) (۱)	۰/۰۴ -۲/۸	۰/۰۳ -۰/۴۲	۰/۰۲ -۲/۱۶
انگلوند-هانسن (۱۹۶۷) (۸)	۰/۱۹ -۰/۹۳	۰/۰۶ -۰/۴	۰/۲ -۱/۹۳
یانگ (۱۹۹۶) (۲۴)	۰/۰۲ -۰/۸۶	۰/۱۲ -۱/۵۲	۰/۲۴ -۱/۹۴
لارسن (۱۹۷۵) (۶)	۰/۰۴ -۲/۸۳	۰/۰۸ -۱۶/۴	۰/۲۶ -۲/۳۵

شاخص‌های ارزیابی دقت مدل ریاضی

برای ارزیابی دقت نتایج مدل ریاضی هیدرولیک جریان و نیز محاسبات انتقال رسوب، از شاخص‌های آماری معتبر متوسط خطای مطلق (*MAE*) و میانگین جذر مربعات خطا (*RMSE*) استفاده شد. این معیارها از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$MAE = \frac{\sum\frac{|X-Y|}{X}\times 100}{N} \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(X-Y)^2}{N}} \quad (۵)$$

که X و Y به‌ترتیب مقادیر اندازه‌گیری و محاسباتی و N تعداد نمونه‌های ارزیابی می‌باشد. همچنین برای نتایج انتقال رسوب از شاخص دیگری به‌نام نسبت ناجوری[۱] (*DR*) استفاده شده است:

$$DR = \frac{X}{Y} \quad (۶)$$

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]

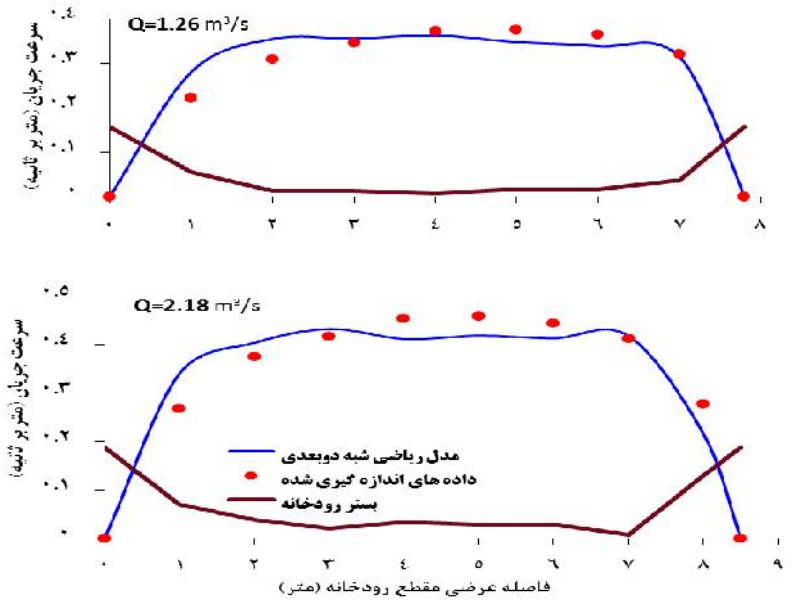
معمولاً به دلیل پراکندگی نتایج انتقال رسوب، نسبت ناجوری در محدوده ۲-۰/۵ را به‌عنوان محدوده مناسب و قابل قبول درنظر می‌گیرند.

نتایج و بحث

واسنجی و صحت‌سنجی مدل ریاضی

برای کاربرد مدل ریاضی شیونو و نایت در رودخانه‌ها، کافی است فقط ضریب زبری مانینگ بستر رودخانه بر اساس یک یا چند سری از داده‌های اندازه‌گیری توزیع عرضی سرعت در دبی‌های مختلف واسنجی شود. این قابلیت یکی از مهمترین مزایای این مدل ریاضی است که کاربرد عملی آن را در حد یک مدل ریاضی یک‌بعدی تسهیل نموده است. نحوه انجام کار به این صورت است که ابتدا با توجه به وضعیت ظاهری رودخانه در محل ایستگاه از نظر جنس مصالح بستر رودخانه، تراکم پوشش گیاهی، درجه انحناء و غیره، یک ضریب زبری مانینگ فرضی انتخاب می‌شود. سپس با محاسبه ضرایب اصطکاک دارسی (f) در عرض رودخانه، توزیع عرضی سرعت جریان به کمک مدل ریاضی محاسبه می‌شود. توزیع عرضی سرعت به‌دست آمده از مدل ریاضی با توزیع عرضی سرعت اندازه‌گیری شده در رودخانه مقایسه شده و بر اساس میزان مطابقت این دو توزیع، ضریب زبری اصلاح می‌شود. این کار تا حصول همگرایی (رسیدن به حداقل مجذور مربعات خطای مدل ریاضی) ادامه می‌یابد. در شکل ۵ نتایج واسنجی مدل شبه‌دوبعدی شیونو و نایت برای ۲ دبی مختلف جریان در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب (۱/۲۶ و ۲/۱۸ مترمکعب بر ثانیه) نشان داده شده است. این نتایج بر اساس ضریب زبری مانینگ بهینه رودخانه (حدود ۰/۰۷۵) به‌دست آمده است. با توجه به پوشش گیاهی در بستر رودخانه، مقدار بالای ضریب زبری مانینگ قابل توجیه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو دبی، میزان مطابقت نتایج محاسباتی و مشاهداتی قابل قبول می‌باشد. با مقایسه آماری نتایج به‌دست آمده از مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده سرعت نقطه‌ای جریان، مشخص شد که متوسط خطای مطلق و میانگین جذر مربعات خطا در این مرحله به‌ترتیب حدود ۹/۶ درصد و ۰/۰۵ متر بر ثانیه می‌باشد.

برای اطمینان از دقت مدل‌ریاضی شبه‌دوبعدی در شرایطی غیر از محدوده واسنجی، باید صحت‌سنجی (اعتبارسنجی) مدل نیز انجام شود. در شکل ۶ نتایج محاسبات توزیع عرضی سرعت به‌ترتیب برای دبی‌های جریان ۱/۴۳ و ۲/۳۷ مترمکعب بر ثانیه نشان داده شده است. در این مرحله، ضریب زبری مانینگ برای کل مقطع عرضی ۰/۰۷۵ در نظر گرفته شد. حداکثر خطای نسبی، متوسط خطای مطلق و میانگین جذر مربعات خطای مدل ریاضی برای محاسبه توزیع عرضی سرعت در این مرحله به‌ترتیب حدود ۹ درصد، ۷/۸ درصد و ۰/۰۳۴ متر بر ثانیه به‌دست آمد. خطای متوسط مدل شبه‌دوبعدی برای محاسبه دبی جریان حدود ۲/۴ درصد به‌دست آمد.

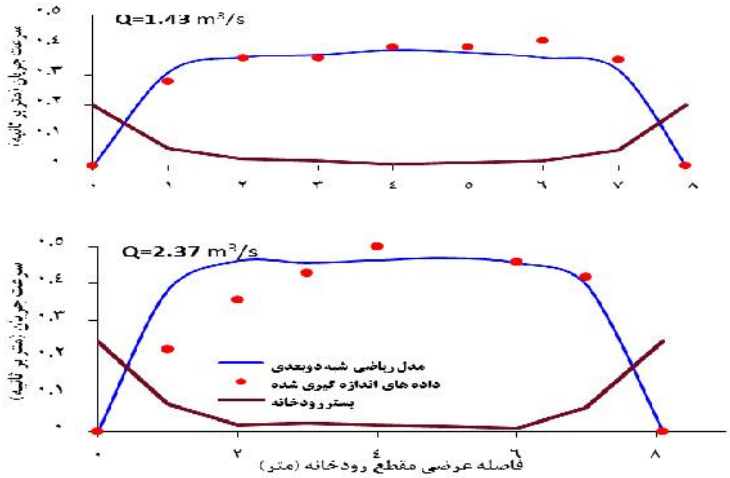


شکل ۵- نتایج واسنجی هیدرولیکی مدل ریاضی شیونو و نایت با استفاده از داده‌های توزیع عرضی سرعت اندازه‌گیری شده در رودخانه قره‌سو در دو دبی مختلف جریان

Figure 5. Hydraulic calibration of mathematical model of Shiono and Knight using field data of lateral velocity distribution in Gharesoo River in two flow discharges

1- Discrepancy Ratio

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]



شکل ۶- نتایج صحت‌سنجی مدل ریاضی شیونو و نایت با استفاده از داده‌های توزیع عرضی سرعت اندازه‌گیری شده در رودخانه قره‌سو در دو دبی مختلف جریان

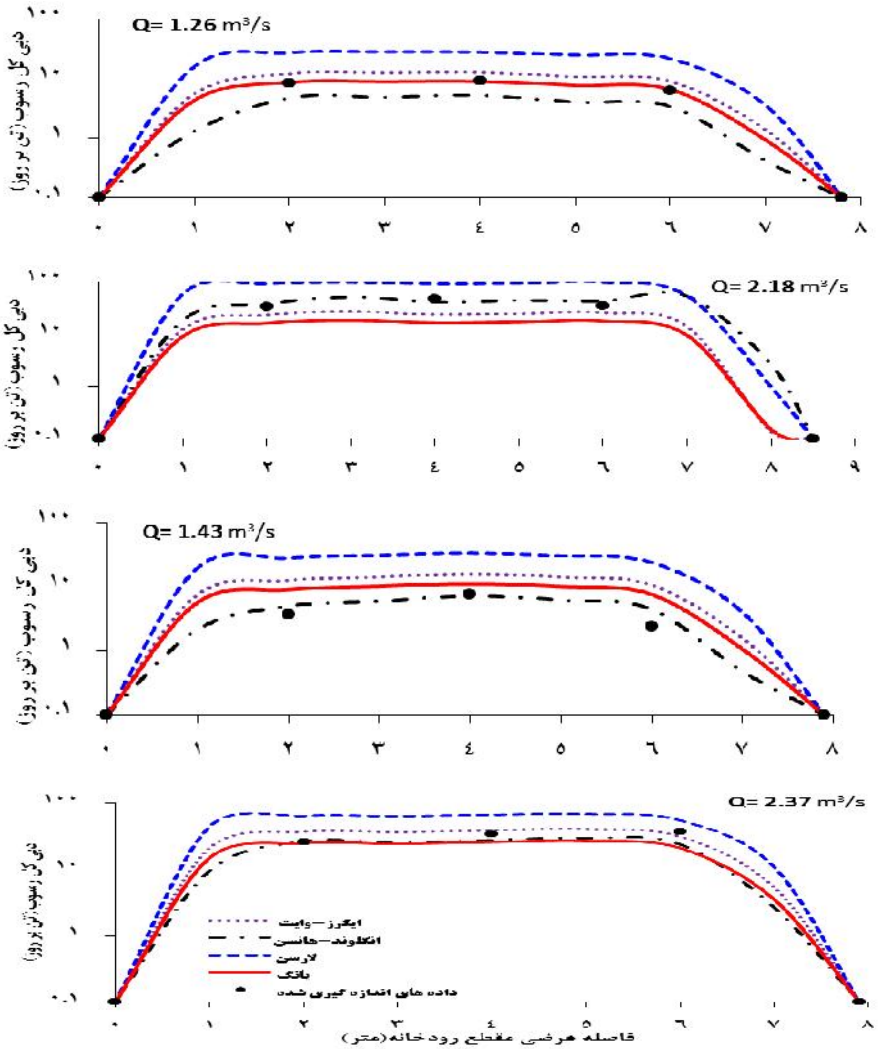
Figure 6. Hydraulic validation of mathematical model of Shiono and Knight using field data of lateral velocity distribution in Gharesoo River in two flow discharges

مدل‌سازی انتقال رسوب در رودخانه

بعد از محاسبه توزیع عرضی سرعت در رودخانه به ازاء هر عمق یا دبی جریان، حال مقادیر این سرعت‌ها در روابط تجربی انتقال رسوب به صورت المانی (برش) وارد می‌شود. نتایج محاسبات توزیع عرضی رسوب برای چند دبی جریان در رودخانه قره‌سو در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مشابه با سایر رودخانه‌های آبرفتی دنیا، تقریباً هر سه رابطه رسوبی پرکاربرد در رودخانه‌های آبرفتی (روابط یانگ، ایکرز-وایت و انگلوند-هانسن) دارای بهترین مطابقت با داده‌های دبی رسوب اندازه‌گیری شده رودخانه قره‌سو در ایستگاه سیاه‌آب می‌باشند. این مطابقت به‌ویژه برای رابطه انگلوند-هانسن بسیار خوب است به‌طوری‌که در سه نمونه از موارد مورد بررسی، توزیع عرضی رسوب تقریباً منطبق بر توزیع مشاهداتی است. با توجه به پیچیدگی مکانیسم انتقال رسوب در رودخانه‌های آبرفتی، انطباق مناسب این رابطه و نیز حتی رابطه تجربی یانگ جالب توجه است. در میان روابط مورد بررسی، رابطه لارسن کمترین دقت را نسبت به داده‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد. با انتگرال‌گیری از نتایج توزیع عرضی دبی رسوبات، دبی کل رسوب رودخانه و در نتیجه منحنی سنجه رسوب محاسبه شده است. نتایج منحنی‌های سنجه رسوب محاسباتی در مقایسه با منحنی مشاهداتی در شکل ۸ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که در دبی‌های پایین، منحنی به‌دست آمده از رابطه یانگ نتایج بهتری ارائه نموده است در حالی‌که در دبی‌های بالاتر جریان، منحنی مربوط به رابطه ایکرز-وایت دقت بیشتری داشته است. منحنی سنجه رسوب به‌دست آمده از رابطه انگلوند-هانسن تقریباً در تمامی دبی‌های جریان، کارایی مناسبی داشته است. این رابطه با میانگین خطای مطلق ۳۴ درصد، بهترین رابطه برای استخراج منحنی دبی سنجه رسوب و تخمین دبی کل رسوبات رودخانه قره‌سو در محل ایستگاه سیاه‌آب است. روابط رسوبی یانگ و ایکرز-وایت هم با متوسط خطای ۴۶ و ۶۴ درصد، در رده‌های بعد قرار دارند. رابطه لارسن با میانگین خطای مطلق ۲۵۸ درصد، کمترین دقت را در استخراج منحنی سنجه رسوب دارا می‌باشد.

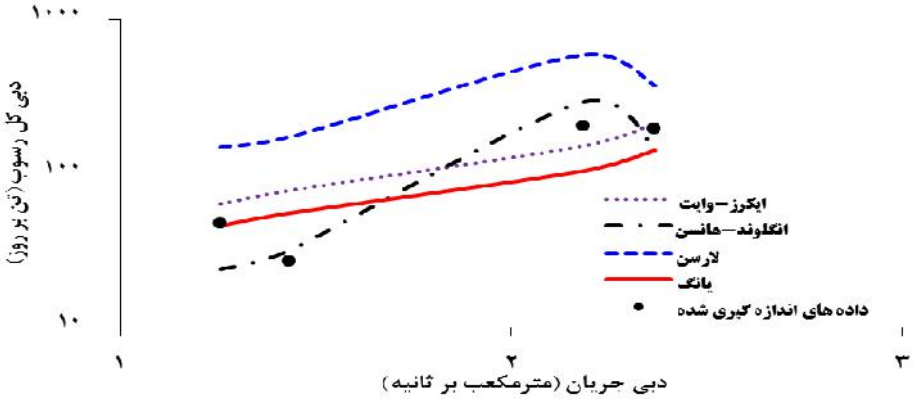
برای ارزیابی بهتر نتایج محاسبات انتقال رسوب، شاخص ناجوری برای تمامی روابط رسوبی مورد استفاده محاسبه شده است. طبق این محاسبات، مشخص شد که رابطه لارسن برای بیش از ۸۳ درصد موارد، دبی رسوب را بسیار فراتر از واقع (بیش از ۲ برابر) پیش‌بینی نموده است همچنین روابط یانگ و ایکرز-وایت به‌ترتیب در ۸۴ و ۷۵ درصد موارد، دبی رسوب را در محدوده ۲-۰/۵ دبی رسوب واقعی تخمین زده‌اند که از نظر مباحث رسوبی، بیانگر قابلیت مناسب آنها است. دقیق‌ترین رابطه رسوبی این پژوهش یعنی رابطه انگلوند- هانسن در ۱۰۰ درصد موارد، دبی رسوب را در محدوده قابل قبول مطالعات رسوبی (۲-۰/۵) برآورد نموده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]



شکل ۷- نتایج توزیع عرضی دبی رسوب محاسباتی از روابط مختلف انتقال رسوب در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده رودخانه قره‌سو در ایستگاه سیاه‌آب در دبی‌های مختلف جریان

Figure 7. Comparison of measured and calculated lateral sediment discharge distributions predicted by different sediment transport formulas for Gharesoo River in different flow discharges



شکل ۸- منحنی‌های دبی سنجه رسوب محاسباتی و مشاهداتی رودخانه قره‌سو در ایستگاه سیاه‌آب

Figure 8. Comparison of measured and calculated sediment rating curves for Gharesoo River at Siah Ab station

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]

در این مقاله، کارایی مدل ریاضی شبه‌دوبعدی شیونو و نایت در برآورد توزیع عرضی سرعت جریان و نیز دبی کل رسوب در رودخانه قره‌سو (در محل ایستگاه سیاه‌آب) مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا با واسنجی و صحت‌سنجی هیدرولیکی مدل ریاضی در دبی‌های مختلف جریان مشخص شد که ضریب زبری مانینگ ۰/۰۷۵ برای بستر رودخانه به ازاء تمامی دبی‌ها، نتایج رضایت‌بخشی را برای این ایستگاه ارائه می‌نماید. با توجه به وجود پوشش گیاهی در مقطع اصلی این رودخانه، این مقدار ضریب زبری قابل توجیه است. در بخش محاسبات انتقال رسوب در رودخانه قره‌سو، نتایج محاسبات استخراج منحنی‌های سنجه رسوب به کمک مدل ریاضی شیونو و نایت نشان داد که رابطه انگلوند–هانسن تقریباً در تمامی دبی‌های جریان، کارایی مناسبی دارد. این رابطه با میانگین خطای مطلق ۳۴ درصد، بهترین رابطه برای تخمین دبی کل رسوبات این رودخانه است. نکته مهم این بود که رابطه مذکور بر اساس نتایج نسبت ناجوری، این قابلیت را داشته است که در ۱۰۰ درصد موارد، دبی رسوب را در محدوده مورد تایید مطالعات رسوبی و مهندسی رودخانه یعنی محدوده ۲–۰/۵ برابر مقدار واقعی برآورد نماید. با توجه به کارایی و قابلیت مناسب مدل ریاضی شیونو و نایت در برآورد توزیع عرضی سرعت جریان، می‌توان از توزیع سرعت‌ها، تنش‌های برشی بستر در عرض رودخانه را محاسبه نمود و به صورت المانی در روابط تجربی انتقال بار بستر وارد کرد. با توجه به تغییرات زیاد انتقال رسوب در عرض رودخانه‌ها، احتمالاً این ایده، محاسبات بار بستر را با دقت بیشتری توام خواهد نمود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان مقاله از شرکت آب‌منطقه‌ای استان گلستان که از این مطالعه تحت عنوان طرح تحقیقاتی حمایت مالی نموده‌اند، کمال تشکر را دارند.

منابع

1. Abril, J.B. and D.W. Knight. 2004. Stage-discharge prediction for rivers in flood applying a depth-averaged model. Journal of Hydraulic Research, 122(6): 616-629.
2. Ackers, P. and W.R. White. 1973. Sediment transport: new approach and analysis. Journal of Hydraulics Division, ASCE, 99(11): 2040-2060.
3. Azamathulla, H.Md. and A. Zahiri. 2012. Flow discharge prediction in compound channels using linear genetic programming. Journal of Hydrology, 454: 203-207.
4. Chiu, C.L. 1987. Entropy and probability concepts in hydraulics. Journal of Hydraulic Engineering, 113(5): 583-600.
5. Choi, S.U. and J. Lee. 2014. Assessment of total sediment load in rivers using lateral distribution method. Journal of Hydro-environment Research, 9(3): 381-387.
6. Choi, S.U. and J. Lee. 2014. Prediction of Total Sediment Load in Sand-Bed Rivers in Korea Using Lateral Distribution Method. Journal of the American Water Resources Association, 51(1): 214-225.
7. Copeland, R. and W. Thomas. 1989. Corte Maddera creek sedimentation study: Numerical model investigation. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, 89 pp.
8. Eivani, Z., M.M. Ahmadi and K. Qaderi. 2016. Estimation of suspended sediment load concentration in river system using Group Method of Data Handling (GMDH). Journal of Watershed Management Research, 7(13): 218-229 (In Persian).
9. Engelund, F. and E. Hansen. 1967. A monograph on sediment transport in alluvial streams. Tekniks Forlag, Copenhagen, Denmark, 62 pp.
10. Ervine, D.A., K. Babaeyan-Koopaei and R.H.J Sellin. 2000. Two-dimensional solution for straight and meandering overbank flows. Journal Hydraulic Engineering, ASCE, 126(9): 653-669.
11. Eshghi, P., J. Farzadmehr, M.T. Dastorani and Z. Arabasadi. 2016. The effectiveness of intelligent models in estimating the river suspended sediments (Case Study: Babaaman Basin, Northern Khorasan). Journal of Watershed Management Research, 7(14): 88-95 (In Persian).
12. Frissell, C.A., W.J. Liss, C.E. Warren, and M.D. Hurley. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. Environmental Management, 10: 199-214.
13. Harris, E.L., V. Babovic and R.A. Falconer. 2003. Velocity predictions in compound channels with vegetated floodplains using genetic programming. International Journal of River Basin Management, 1(2): 117-123.
14. Hu, C., Z. Ju and Q. Guo. 2010. Flow movement and sediment transport in compound channels. Journal of Hydraulic Research, 48(1): 23-32.
15. Kean, JW, R.A. Kuhnle, J.D. Smith, C.V. Alonso, J. Longendoen. 2009. Test of a method to calculate near-bank velocity and boundary shear stress. Journal of Hydraulic Engineering, 2: 135(7): 588-601.
16. Kia, E., A. Emadi and R. Fazlola. 2015. Investigation for application of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) in Babolroud suspended sediment load estimation. Journal of Watershed Management Research, 6(11): 15-23 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]

17. Kitsikoudis, V. and V. Hrissanthou. 2013. Derivation of sediment transport models for sand bed rivers from data-driven techniques. InTech-Open, Chapter 11: 277-308.
18. Kitsikoudis, V., E. Sidiropoulos and V. Hrissanthou. 2015. Assessment of sediment transport approaches for sand-bed Rivers by means of machine learning. Hydrological Sciences Journal, 60(9): 1566-1586.
19. Knight, D.W. 2003. Reducing uncertainty in river flood conveyance. Interim report: review of methods for estimating conveyance. Environment Agency, UK, 73 pp.
20. Knight, D.W. and J.B. Abril. 1996. Refined calibration of a depth-averaged model for turbulent flow in a compound channel. Proceeding of Civil Engineering, Water, Maritime & Energy, 118: 151-159.
21. Maghrebi, M.F., J.E. Ball. 2006. New Method for Estimation of Discharge. Journal of Hydraulic Engineering, 132(10): 1044-1051.
22. Naderi, M.H. 2017. Evaluation of environmental flow of river using hydrological and habitat simulation methods (Case Study: Gharesoo river, Species C. Capoeta). M.Sc. Thesis in Water Resources Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 167 pp (In Persian).
23. Shiono, K. and D.W. Knight. 1991. Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel. Journal of Fluid Mechanics, 222: 617-646.
24. Singh, V.P., G. Marini and N. Fontana. 2013. Derivation of 2D power-law velocity distribution using entropy theory. Entropy, 25: 1221-1231.
25. Thomas, W.A., R.R. Copeland and D.N. McComas. 2002. SAM hydraulics design package for channels: User's Manual, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, 226 pp.
26. Van Rijn, L. 1989. Handbook sediment transport by current and waves. Delft Hydraulics, Netherlands, Rep. H461.
27. Vanoni, V.A. 1975. Sedimentation Engineering. ASCE, 745 pp.
28. Yang, C.T. 1973. Incipient motion and sediment transport. Journal of Hydraulics Division, 99(10): 1679-1704.
29. Yang, C.T. 1996. Sediment transport: theory and practice. Mc-Grow Hill companies, 396 pp.
30. Yang, C.T., M.A. Treviño and F.J.M. Simões. 1998. User's manual for GSTARS2.0. USBR, Technical Service Center, Denver, 225 pp.
31. Zahiri, A. and B. Dahanzadeh. 2015. Sediment transport prediction in rivers using quasi-two dimensional model. Journal of Water and Soil Conservation, 22(2): 143-158 (In Persian).
32. Zahiri, A., F. Hashemi and I. Yousefabadi. 2016. Simulation of two-dimensional velocity distributions in rivers based on Chiu's theory (Case Study: Gorganrood River). Iranian Journal of Eco-Hydrology, 4(3): 791-802 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]

Prediction of Sediment Transport Capacity in Rivers using Quasi Two-Dimensional Mathematical Model

Abdolreza Zahiri[1], Javad Gholinejad[2] and Amir Ahmad Dehghani[3]

1and 3- Associate Professor, in Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (Corresponding author: zahiri.areza@gmail.com)
2- Graduated M.Sc. Student, in Civil Engineering, Azad University, Tehran-Central Branch
Received: April 29, 2017 Accepted: August 29, 2018

Abstract

Sediment rating curve is an essential factor for many river engineering subjects and computations such as dredging, design of storage dams, river intakes design and sand mining management. Although, this curve is established using simultaneous measurement of flow and sediment transport discharges, however, due to lack of reliable data during flood events, it has limited reliability in flood conditions. This limitation may be coped with using a simple and practical tool like a semi two dimensional mathematical model. As an efficient and practical solution, these kinds of models currently have widespread applications in hydraulics of flow and sediment transport subjects. In this study, using the semi 2-D mathematical model of Shiono and Knight, the transverse distribution of flow velocities were computed and then with combining these results with some empirical sediment transport formulas, the lateral profiles of sediment transport and total sediment discharges were predicted across Gharesoo river at the SiahAb station. The results indicated the suitable capability of Shiono and Knight model in computation of lateral distribution of flow velocity with about mean error of 8.7 percent. Also, among the selected sediment transport formulas, the Engelund-Hansen (1967) equation with mean error of 34 percent had a highest accuracy in prediction of river sediment transport discharges and sediment rating curve. The Yang (1996) and Ackers-White (1973) equations with mean errors of 48 and 64 percent, respectively attained the second and third places. Laursen equation with mean error of 258% corresponds to very low accuracy.

Keywords: Velocity Lateral Distribution, Total Load Lateral Distribution, Quasi 2-D Mathematical Model, Sediment Transport Equations, Gharesoo River

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.8.1]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.142]