



دانشگاه گواران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

برآورد ظرفیت انتقال رسوب رودخانه‌ها با استفاده از مدل ریاضی شبه‌دوبعدی

بهروز دهانزاده^۱ و *عبدالرضا ظهیری^۲

^۱ استادیار واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران، آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۷

چکیده

سابقه و هدف: تخمین مناسب دبی جریان و رسوب در رودخانه‌ها به‌عنوان اطلاعات پایه برای بسیاری از طرح‌ها و پروژه‌های مهندسی رودخانه دارای اهمیت است. تاکنون از رابطه دبی-اشل و منحنی سنج رسوب به‌عنوان ابزار اصلی محاسبه این دو پارامتر استفاده شده است. با وجود اهمیت بسیار زیاد دبی جریان در محاسبات هیدرولیک رودخانه‌ها، تاکنون روش و مدل ریاضی خاصی منظور تعیین دبی ارائه نشده و کماکان مهم‌ترین روش محاسبه دبی جریان، اندازه‌گیری سرعت در عرض رودخانه و سپس انتگرال‌گیری از توزیع سرعت است. اندازه‌گیری میدانی توزیع سرعت در رودخانه‌ها کاری زمان‌بر و پرهزینه بوده و در شرایط وقوع سیلاب، بسیار خطرناک خواهد بود (۵). بر خلاف دبی جریان، برای محاسبه رسوب معلق و کل رودخانه‌ها، روش‌ها و مدل‌های ریاضی زیادی توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است (۴، ۸، ۲۶). اغلب مدل‌های ریاضی محاسبات رسوبی دارای تئوری و مبانی پیچیده‌ای بوده و به داده‌های ورودی زیادی نیز نیاز دارند. با توجه به شرایط خاص رودخانه‌های کشور و عدم وجود داده‌های هیدرولیکی و رسوبی مناسب، ضروری است راه‌حل‌ها و راهکارهای مناسبی پیشنهاد شوند. یکی از راهکارهای مناسب در این زمینه، استفاده از مدل‌های ریاضی شبه‌دوبعدی است (۹، ۱۰، ۱۱، ۲۸). شیونو و نایت (۱۹۹۱) با ارائه یک مدل شبه‌دوبعدی توزیع عرضی سرعت، محاسبه دبی جریان در رودخانه‌های سیلابی را با دقت قبولی امکان‌پذیر نمودند (۲۴).

مواد و روش‌ها: در این پژوهش برای استفاده کاربردی از مدل‌های ریاضی در محاسبات همزمان هیدرولیک جریان و رسوب، از یک مدل ریاضی شبه‌دوبعدی برای محاسبه دبی جریان و ظرفیت حمل رسوب استفاده شده و در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی در رودخانه کارون واسنجی و صحت‌سنجی شده است. برای شبیه‌سازی حمل رسوب در این رودخانه، از سه رابطه تجربی انتقال رسوب شامل انگلوند-هانسن (۱۹۶۷)، ایکرز-وایت (۱۹۷۳) و یانگ (۱۹۷۹) استفاده شده است. تعداد اندک داده‌های ورودی مدل پیشنهادی این پژوهش، مزیت مهم آن نسبت به مدل‌های ریاضی پیچیده دو و سه‌بعدی است.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه دبی-اشل به‌دست آمده از این مدل در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب دارای متوسط خطای نسبی حدود ۲/۴ و ۴ درصد است که برای رودخانه عریضی مثل کارون قابل قبول است.

* مسئول مکاتبه: zahiri_reza@yahoo.com

همچنین مشخص شد که از بین روابط تجربی مورد استفاده برای برآورد انتقال کل رسوب در این پژوهش، رابطه یانگ در محدوده دبی‌های پایین جریان (کوچک‌تر از ۸۰۰ مترمکعب بر ثانیه) دارای کارایی مناسب‌تری است. این در حالی است که روابط رسوبی انگلوند- هانسن و ایکرز- وایت در محدوده دبی‌های پایین جریان، برآورد کم‌تری از واقعیت ارائه کرده اما در دبی‌های بالا (بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه) نتایج بهتری نشان می‌دهند. **نتیجه‌گیری:** با توجه به اهمیت فراوان انتقال رسوب در شرایط سیلاب، استفاده از روابط انگلوند- هانسن و ایکرز- وایت در این شرایط در ایستگاه ملاتانی منطقی‌تر بوده و نتایج قابل قبول‌تری خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: رودخانه کارون، مدل ریاضی شبه‌دوبعدی، ظرفیت انتقال رسوب، روابط تجربی رسوبی

مقدمه

سرعت و تنش برشی را برای هر عمق دلخواه جریان محاسبه نمود. از مزایای این روش می‌توان به شرایط ویژه در هنگام وقوع سیلاب که اندازه‌گیری سرعت‌ها، کاری خطرناک و وقت‌گیر است، اشاره نمود. همچنین تعیین نقاط فرسایشی و رسوب‌گذار در عرض رودخانه، محاسبه دبی رسوب معلق و بار بستر، تعیین الگوی فرسایش یا رسوب‌گذاری در عرض رودخانه، طراحی مقاطع پایدار رودخانه، شبیه‌سازی انتقال مواد آلاینده و انجام عملیات لایروبی رودخانه‌ها امکان‌پذیر خواهد شد. مدل‌های شبه‌دوبعدی همخوانی خوبی با فرآیند محاسبات معمول دبی جریان در رودخانه‌ها داشته و در صورت واسنجی مناسب، نتایج کاربردی خوبی دارند. فرآیند اندازه‌گیری و تحلیل داده‌های سرعت جریان (به کمک دستگاه سرعت‌سنج مولینه) و غلظت رسوب (به کمک دستگاه‌های نمونه‌بردار) در رودخانه‌ها، تقریباً مشابه فرآیند تئوری حاکم بر مدل‌های ریاضی شبه‌دوبعدی است به طوری که هم در طبیعت و هم در مدل ریاضی، پارامترهای جریان و رسوب به صورت متوسط در عمق محاسبه شده و تغییرات آن‌ها در عرض رودخانه ارائه می‌شود.

تاکنون مطالعات کمی در زمینه محاسبه توزیع غلظت رسوب در عرض رودخانه‌ها صورت گرفته و اغلب مطالعات با استفاده از مدل‌های ریاضی یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی انجام شده است.

از سال ۱۹۸۶ تاکنون تلاش‌های بسیاری توسط پژوهشگران مختلف صورت گرفته است تا یک مدل ریاضی مناسب با حداقل پیچیدگی و داده‌های ورودی اندک برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و رسوب در رودخانه‌ها ارائه شود. با توجه به آشفته بودن جریان در رودخانه‌ها، تغییرات سرعت جریان در عمق قابل‌توجه نبوده و معمولاً از انتگرال‌گیری عمقی سرعت در رودخانه‌ها استفاده می‌شود. به عبارت بهتر به دلیل اختلاط جریان و تبادل مومنتوم بین ذرات آب با سرعت‌های مختلف، سرعت ذرات به همدیگر نزدیک شده و توزیع قائم سرعت تقریباً یکنواخت می‌شود. به این‌گونه مدل‌ها، مدل‌های شبه‌دوبعدی یا توزیع عرضی^۱ گفته می‌شود. بنابراین در این مدل‌ها، توزیع سرعت و پارامترهای دیگر جریان و رسوب در عرض رودخانه محاسبه می‌شوند. با محاسبه توزیع عرضی سرعت و غلظت رسوب در رودخانه‌ها می‌توان ظرفیت آبگذری رودخانه‌ها را در شرایط متفاوت دبی جریان (کم‌آبی تا سیلاب) برآورد نمود. نتایج ارائه شده توسط مدل‌های شبه‌دوبعدی مزیت عمده‌ای نسبت به نتایج نرم‌افزارهای یک‌بعدی دارند. در ضمن با واسنجی این مدل در مقاطع رودخانه‌ای دارای ایستگاه هیدرومتری، می‌توان توزیع عرضی

1- Lateral Division Method (LDM)

شده انیشتین قابلیت خوبی در تخمین بار بستر در ایستگاه اهواز دارد (۲۲). در این پژوهش، برای حل همزمان سرعت جریان و غلظت رسوب در عرض رودخانه کارون از تلفیق مدل ریاضی شبه‌دوبعدی شیونو و نایت (۱۹۹۱) و روابط تجربی رسوب ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است. با واسنجی و صحت‌سنجی این مدل ریاضی در محدوده وسیعی از دبی‌های جریان در رودخانه کارون در محل ایستگاه هیدرومتری ملاثانی، کارایی آن در تخمین دبی جریان و دبی کل رسوب رودخانه ارزیابی شده است.

مبانی مدل ریاضی شبه‌دوبعدی: تاکنون مدل‌های ریاضی دوبعدی زیادی توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است (۱۱، ۹، ۲۸). شیونو و نایت (۱۹۹۱) برای اولین بار مدلی ریاضی برای محاسبه توزیع عرضی سرعت در رودخانه‌ها ارائه نمودند (۲۴). در این مدل ساده که با انتگرال‌گیری عمقی از معادله ناویه-استوکس در شرایط جریان ماندگار و با دخالت اثر جریان‌های ثانویه حاصل شده است، تغییرات سرعت طولی جریان در عرض رودخانه به صورت زیر قابل مدل‌سازی است:

$$\rho g H S_0 - \rho \frac{f}{8} u_d^2 \sqrt{1 + \frac{1}{S^2}} + \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left\{ \rho \lambda H^2 \left(\frac{f}{8} \right)^{1/2} u_d \frac{\partial u_d}{\partial y} \right\} = \Gamma = \frac{\partial H(\rho \bar{U} \bar{V})_d}{\partial y}$$

که در آن، ρ جرم حجمی آب (kg/m^3)، g شتاب ثقل (m/s^2)، H عمق جریان (m)، S_0 شیب طولی بستر، f ضریب اصطکاک دارسی-ویسباخ، u_d سرعت متوسط در عمق (m/s)، S شیب جانبی کانال یا رودخانه، λ ضریب بدون بعد لزجت تلاطمی جریان،

ایوب‌زاده و ظهیری (۲۰۰۵) با استفاده از رابطه رسوبی ایگرز-وایت (۱۹۷۳) و حل تحلیلی مدل شیونو و نایت، رابطه سنجه کل رسوب را برای رودخانه میناب در استان هرمزگان شبیه‌سازی نمودند. به دلیل حل تحلیلی مدل ریاضی در این پژوهش، فرآیند انجام محاسبات رسوبی بسیار طولانی گزارش شده است (۵). هو و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از حل معادله پخشیدگی در عرض کانال مرکب، توزیع غلظت رسوب معلق در عرض یک کانال آزمایشگاهی را به خوبی شبیه‌سازی نمودند (۱۱). اغلب مطالعات پژوهشگران مختلف در زمینه انتقال رسوب رودخانه کارون به منظور شبیه‌سازی وضعیت رسوب‌گذاری یا فرسایش در طول رودخانه بوده است. در این ارتباط عباسی (۲۰۰۷) به کمک مدل شبکه عصبی مصنوعی، ظرفیت رسوب معلق عبوری از ایستگاه‌های هیدرومتری اهواز و فارسیات را محاسبه نموده و وضعیت رودخانه کارون در این فاصله را رسوب‌گذار عنوان نمود (۱). ظهیری و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مدل ریاضی GSTARS حمل و ته‌نشینی رسوب را در طول رودخانه کارون حدفاصل ایستگاه‌های هیدرومتری اهواز تا فارسیات را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که روابط رسوبی ایگرز-وایت، توفالتی و انگلوند-هانسن تغییرات پروفیل طولی بستر رودخانه را با دقت به نسبت خوبی برآورد می‌کنند (۲۹). ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر ضریب زبری متغیر بر صحت پیش‌بینی تراز سطح آب در رودخانه کارون را به کمک مدل ریاضی FASTER بررسی نمودند. نتایج نشان داد که انتخاب ضریب مانینگ ثابت، نمی‌تواند پروفیل سطح آب را به صورت مناسبی به‌زای تمامی دبی‌های مختلف جریان (از پایه تا سیلابی) شبیه‌سازی نماید (۶). شفافی‌بجستان و استادعسکری (۲۰۰۰) نشان دادند که رابطه تصحیح

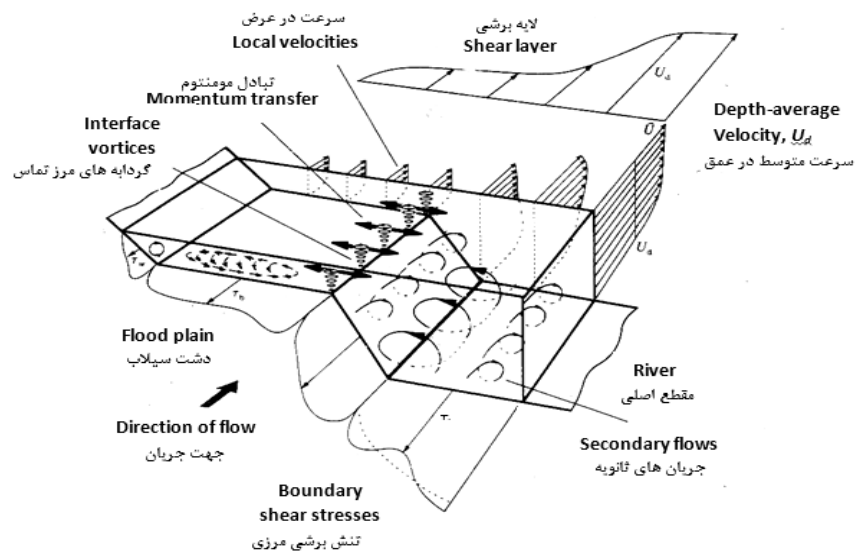
لزجت تلاطمی (λ) در محدوده ۰/۰۷ تا ۰/۵۰ متغیر بوده و به‌طور متوسط مقدار آن در رودخانه‌ها حدود ۰/۱۱ گزارش شده است (۱۹). از طرف دیگر، مطالعات مختلف نشان داده است که مدل‌های ریاضی، به این ضریب حساس نبوده و در نظر گرفتن یک ضریب ثابت در کل مقطع عرضی، نتایج رضایت‌بخشی را برای توزیع عرضی سرعت جریان ارائه می‌دهد (۱۵، ۱۶، ۳۰). همچنین جیسون (۲۰۱۱) بر اساس نتایج پژوهش‌های نزو و رودی (۱۹۸۶) و نیز شریفی (۲۰۰۹)، نتیجه‌گیری نمود که $\lambda = \frac{\kappa}{6} \cong 0.07$ (که κ ثابت فان‌کارمن بوده و حدود ۰/۴۱۹ می‌باشد) است (۱۲). آبریل و نایت (۲۰۰۴) از همین مقدار برای محاسبات خود در رودخانه سورن در انگلستان استفاده نمودند (۲). مطالعات لیائو و نایت (۲۰۰۷) نیز نشان داده است که در محاسبات مدل شیونو و نایت، ضریب لزجت تلاطمی تقریباً بی‌اهمیت بوده و می‌توان بدون از دست دادن دقت، از روابط کلاسیک استفاده نمود (۱۷). به همین دلیل در این پژوهش، برای ضریب لزجت جریان متلاطم مقدار ثابت ۰/۰۷ در نظر گرفته شده است. ضریب جریان ثانویه نیز به‌دلیل عرض زیاد رودخانه کارون در محل ایستگاه ملائانی و نیز بازه مستقیم آن، قابل صرف‌نظر کردن است. بنابراین برای واسنجی مدل ریاضی شیونو-نایت، فقط تعیین ضریب اصطکاک f لازم است.

روش‌های زیادی برای حل عددی رابطه دیفرانسیلی (۱) ارائه شده است. در این پژوهش از روش تفاضل‌های محدود استفاده شده است (۱۰).

Γ جمله یا عبارت جریان‌های ثانویه و γ موقعیتی از عرض مقطع می‌باشد که سرعت در آن نقطه باید به‌دست آید. اندیس d در رابطه بالا بیانگر حالت متوسط در عمق یا میانگین عمقی^۱ سرعت است.

مفهوم فیزیکی جمله‌های مختلف این رابطه با توجه به شکل ۱ و نیز در نظر گرفتن نیروهای وارد بر یک المان دلخواه در بدنه جریان، به این صورت قابل بیان است که جمله اول (از سمت چپ) مؤلفه وزن المان در جهت جریان را نشان می‌دهد ($w_x = \gamma H \sin \theta = \rho g H S_0$) که زاویه شیب طولی رودخانه است). جمله دوم، تنش برشی وارد شده بر کف رودخانه را نشان می‌دهد. جمله سوم تنش‌های رینولدزی یا تنش‌های ایجاد شده در اثر اختلاف سرعت‌ها در جهت عرض رودخانه را بیان می‌کند. این مؤلفه‌ها در نقاطی که تغییر یا گرادیان سرعت شدید است دارای اهمیت می‌باشد. عبارت سمت راست معادله دیفرانسیلی فوق مربوط به اثر جریان‌های ثانویه است که در آن \bar{U} و \bar{V} به ترتیب سرعت‌های متوسط در طول زمان در جهت‌های طولی و عرضی می‌باشند. این عبارت در بعضی از شرایط مانند قوس رودخانه، مقاطع مرکب و نیز محدوده سازه‌ها قابل توجه بوده و باید در نظر گرفته شود. مطالعات پژوهشگران نشان می‌دهد که جریان ثانویه در رودخانه‌های عریض و با مسیر مستقیم تقریباً ناچیز است چرا که قدرت و توان آن‌ها در عرض زیاد رودخانه مستهلک شده و اثر خود را تقریباً از دست می‌دهند (۷).

رابطه دیفرانسیلی (۱) دارای ۳ ضریب واسنجی می‌باشد (f ، λ و Γ) که باید با توجه به شرایط هندسی و هیدرولیکی رودخانه به‌دست آیند. ضریب



شکل ۱- مکانیسم جریان در یک رودخانه سیلابی و پارامترهای مهم هیدرولیکی آن (شیونو و نایت، ۱۹۹۱).

Figure 1. General scheme of flow mechanism in a compound river and its hydraulic parameters (after Shiono & Knight, 1991).

متوسط در کل مقطع در نظر می گیرند) به دست می آید، دقت نتایج محاسبات انتقال رسوب نیز افزایش یابد. رابطه رسوبی ایگرز- وایت (۱۹۷۳): روش ایگرز- وایت بر اساس تحلیل ابعادی و بر مبنای جمع آوری هزار داده آزمایشگاهی در شرایط جریان دارای عدد فرود کمتر از ۰/۸ بنا شده است. در این روش، دبی کل رسوب از رابطه زیر قابل محاسبه است (۲۱):

$$Q_t = QC \frac{d_{35}}{R} \left(\frac{V}{u_*} \right)^n \left(\frac{F_g}{A} - 1 \right)^m \quad (2)$$

که در آن، Q_t دبی کل رسوب (m^3/s)، Q دبی جریان (m^3/s)، u_* سرعت برشی، V سرعت متوسط جریان، R شعاع هیدرولیکی (یا عمق متوسط جریان برای رودخانه های عریض)، d_{35} قطری از ذرات بستر رودخانه که ۳۵ درصد ذرات از آن ریزتر هستند و F_g عدد حرکت رسوب است. ضرایب n ، A و m ضرایب روش ایگرز- وایت است که به صورت جدول زیر تعیین می شوند:

روابط محاسبه دبی رسوب کل در رودخانه ها: علاوه بر سرعت و دبی جریان، غلظت و دبی رسوب نیز در بسیاری از طرح های مهندسی رودخانه و ساماندهی آن اهمیت زیادی دارند. دبی رسوب تابع دبی جریان بوده و با افزایش سرعت جریان به صورت توانی افزایش می یابد. به عبارت بهتر، یکی از مهم ترین متغیرهای اثرگذار بر دبی رسوب، سرعت جریان است. اگر سرعت جریان با دقت مناسبی محاسبه شود، دبی رسوب و نیز حجم رسوبات انتقالی از یک ایستگاه هیدرومتری با دقت بهتری به دست خواهد آمد. به همین دلیل در این پژوهش از ایده جدیدی برای محاسبه دبی رسوب رودخانه ها استفاده شده است. در این ایده، بر اساس توزیع عرضی سرعت جریان در رودخانه و با استفاده از معادلات تجربی انتقال رسوب، توزیع دبی رسوب در عرض رودخانه محاسبه می شود. انتظار می رود با توجه به این که در این روش، سرعت جریان با دقت بهتری نسبت به مدل های یک بعدی (که سرعت را به صورت

جدول ۱- ضرایب روش ایگرز- وایت.

Table 1. Constant parameters of Ackers-White formulae.

1990	1973	d_{gr}
$n = 0.0$	$n = 0.0$	$d_{gr} \geq 60$
$A = 0.17$	$A = 0.17$	
$m = 1.78$	$m = 1.5$	
$C = 0.025$	$C = 0.025$	
$n = 1.0 - 0.56 \log d_{gr}$	$n = 1.0 - 0.56 \log d_{gr}$	$1 \leq d_{gr} \leq 60$
$A = 0.23d_{gr}^{-0.5} + 0.14$	$A = 0.23d_{gr}^{-0.5} + 0.14$	
$m = 6.83d_{gr}^{-1} + 1.67$	$m = 9.66d_{gr}^{-1} + 1.34$	
$\log C = -3.46 + 2.79 \log d_{gr} - 0.98(\log d_{gr})^2$	$\log C = -3.53 + 2.86 \log d_{gr} - (\log d_{gr})^2$	

(۲۷). رابطه ایگرز- وایت در بسیاری از نرم‌افزارهای رسوبی به‌عنوان پیش‌فرض محاسبات یا یکی از روابط قابل انتخاب پیش‌بینی شده است.

رابطه رسوبی انگلوند- هانسن (۱۹۶۷): در این روش دبی کل رسوب (بر حسب m^3/s) از رابطه زیر به‌دست می‌آید (۲۱):

$$Q_t = 0.05Q \frac{G_s}{G_s - 1} \frac{VS_0}{\sqrt{(G_s - 1)gd_{50}}} \frac{RS_0}{(G_s - 1)d_{50}} \quad (5)$$

رابطه رسوبی یانگ (۱۹۷۹): یانگ با فرض توان واحد جریان به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور در تخمین ظرفیت انتقال کل رسوب در رودخانه‌های آبرفتی، رابطه زیر را ارائه نمود (۱۳):

(۶)

$$\log C_t = I + J \log \left(\frac{VS_0}{w} \right)$$

$$I = 5.165 - 0.153 \log \frac{wd_{50}}{v} - 0.297 \log \frac{u_*}{w}$$

$$J = 1.780 - 0.360 \log \frac{wd_{50}}{v} - 0.480 \log \frac{u_*}{w}$$

که در آن، C_t غلظت رسوب (ppm) و w سرعت سقوط ذرات (m/s) است. در رابطه بالا، پارامترهای I و J بر اساس تعداد زیادی از داده‌های آزمایشگاهی و به کمک تحلیل رگرسیونی به‌دست آمده‌اند. همان‌طور

مطابق این جدول، ضرایب فوق تابع d_{gr} است که قطر بدون بعد ذره بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$d_{gr} = d_{35} \left[\frac{g(G_s - 1)}{v^2} \right]^{1/3} \quad (3)$$

که در آن، G_s چگالی ویژه رسوب و v لزجت سینماتیکی آب (m^2/s) می‌باشد. مقدار حرکت رسوب F_g از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F_g = \frac{u_*^n}{\sqrt{gd_{50}(G_s - 1)}} \left(\frac{V}{\sqrt{32 \log(\alpha R / d_{35})}} \right)^{1-n} \quad (4)$$

که در آن، α ضریبی است که برابر ۱۰ فرض می‌شود.

بر اساس آزمایش‌های پرافیت و ساترلند (۱۹۸۳)، این روش برای مطالعات آزمایشگاهی نتایج مناسبی ارائه داده است، اما برای آبراهه‌های طبیعی نتایج از دقت مناسب برخوردار نیست (۲۰). همچنین وو و همکاران (۲۰۰۰) دریافتند که این روش برای رسوبات بسیار ریزدانه مناسب نمی‌باشد (۲۵). به‌طور کلی این روش دارای کاربرد وسیعی بوده و برای رودخانه‌های آبرفتی با مصالح بستر ماسه‌ای و رسوبات یکنواخت جواب‌های مناسبی ارائه داده است

بیش از ۴۰۰ کیلومتر، باعث آبادی شهرها و روستاهای زیادی شده است. با توجه به اهمیت زیاد این رودخانه، ایستگاه‌های هیدرومتری متعددی در طول مسیر آن احداث شده است. ایستگاه هیدرومتری ملائانی یکی از این ایستگاه‌ها است که در فاصله حدود ۶۵ کیلومتری شمال اهواز قرار گرفته است. بخشی از رودخانه کارون در محدوده پایین‌دست این ایستگاه و نیز نمایی از ایستگاه در شکل ۲ نشان داده شده است. متوسط و حداکثر دبی جریان رودخانه کارون در محل این ایستگاه به ترتیب حدود ۷۵۰ و ۳۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه است. شیب طولی رودخانه در محل ایستگاه ۰/۰۰۱۲ برآورد شده است.

که مشاهده می‌شود در همه روابط رسوبی بالا، برای محاسبه دبی کل رسوب، پارامتر سرعت جریان یا دبی جریان نقش دارد. تاکنون در محاسبات رسوبی، از سرعت متوسط جریان یا دبی کل رودخانه استفاده شده است. در این پژوهش ابتدا مقطع عرضی رودخانه به چند بازه کوچک تقسیم شده و سپس توزیع عرضی سرعت محاسبه می‌شود. با استفاده از عمق جریان، سرعت جریان و سرعت برشی در هر بازه کوچک، دبی یا غلظت رسوب حمل شده در این بازه محاسبه و سپس از کل بازه‌ها در عرض رودخانه انتگرال‌گیری می‌شود.

منطقه مورد مطالعه: رودخانه کارون یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های کشور است که در یک مسیر طولانی



شکل ۲- نمایی از رودخانه کارون و ایستگاه هیدرومتری ملائانی.

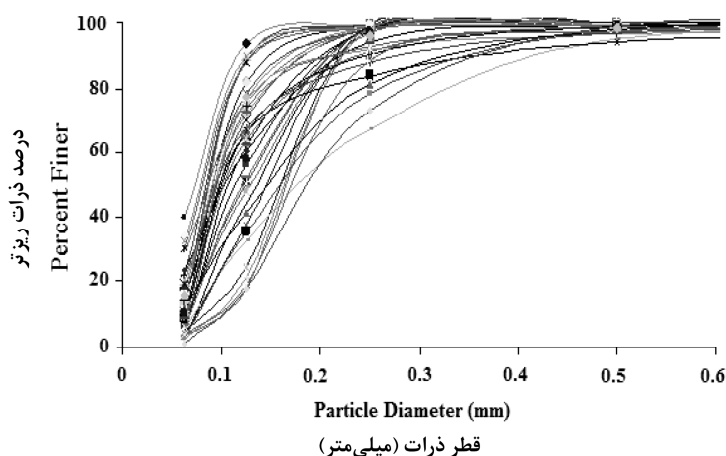
Figure 2. View of Karoun River and Molasany hydrometric station.

دبی‌های مختلف جریان در طول سال به‌ویژه وقوع سیلاب‌ها، باعث تغییر دانه‌بندی مصالح بستر رودخانه شده و منحنی‌های دانه‌بندی متفاوتی در دبی‌ها و

با توجه به اهمیت قابل توجه دانه‌بندی مصالح بستر رودخانه در نتایج محاسبات انتقال رسوب لازم است این پارامتر با دقت مناسبی برآورد شود. عبور

شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در طی این سال‌ها، قطر متوسط مصالح بستر رودخانه در محدوده ۰/۰۶-۰/۲ میلی‌متر متغیر می‌باشد. با بررسی این منحنی‌ها، می‌توان مقدار ۰/۱۲ میلی‌متر را به‌عنوان قطر میانه مصالح بستر رودخانه کارون در محل ایستگاه ملاثانی در نظر گرفت.

زمان‌های مختلف به‌دست می‌آید. در رودخانه کارون نیز که دارای تغییرات دبی جریان زیادی است، این وضعیت صادق است. در شکل ۳ منحنی‌های دانه‌بندی مصالح کف این رودخانه در محل ایستگاه ملاثانی که در زمان‌های مختلفی در طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱ و به کمک عملیات نمونه‌برداری به‌دست آمده، ارائه



شکل ۳- منحنی‌های دانه‌بندی مصالح بستر رودخانه کارون در محل ایستگاه ملاثانی در زمان‌های مختلف.

Figure 3. Sediment distribution curves of Karoun River bed at Molasany station in different times.

بهینه‌سازی ضریب زبری مانینگ به کمک معیار حداقل‌سازی مجموع مربعات خطا (RMSE) مدنظر قرار گرفت:

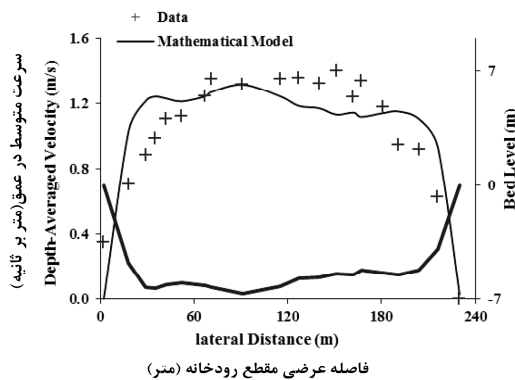
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (u_{obs} - u_{com})^2}{N}} \quad (7)$$

که در آن، u_{obs} سرعت نقطه‌ای حاصل از اندازه‌گیری با مولینه، u_{com} سرعت نقطه‌ای به‌دست آمده از مدل ریاضی و N تعداد داده‌های سرعت نقطه‌ای در عرض مقطع رودخانه است. در فرآیند بهینه‌سازی، هدف این است که RMSE تا حد امکان کوچک‌تر شود. برای رسیدن به این هدف، با تغییر ضریب مانینگ، سرعت در عرض رودخانه محاسبه شده و با محاسبه معیار RMSE سرعت‌های اندازه‌گیری شده مقایسه می‌شود.

نتایج و بحث

واسنجی و صحت‌سنجی مدل ریاضی: برای واسنجی مدل ریاضی شیونو و نایت، لازم است ضریب زبری مانینگ به‌ازای مقادیر مختلف تراز سطح آب و دبی جریان تعیین شود. به این منظور، چند نمونه از توزیع عرضی سرعت اندازه‌گیری شده در دبی‌های مختلف جریان در ایستگاه ملاثانی تهیه شد. داده‌های هندسه مقطع عرضی، تراز سطح آب (اشل)، توزیع عرضی سرعت و شیب کف رودخانه به‌عنوان ورودی‌های مدل ریاضی در نظر گرفته شد. ابتدا با انتخاب یک ضریب زبری فرضی، توزیع عرضی سرعت جریان با استفاده از مدل ریاضی محاسبه شده و توزیع سرعت به‌دست آمده با توزیع سرعت اندازه‌گیری شده در رودخانه مقایسه شد. برای تسریع در این مرحله،

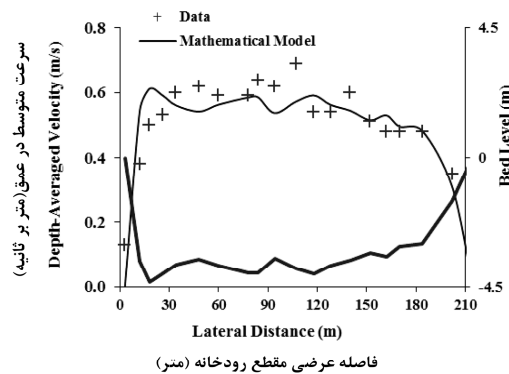
که مشاهده می‌شود توزیع سرعت محاسباتی انطباق مناسبی با واقعیت دارد. بخشی از خطای ایجاد شده در این محاسبات به فرض یک ضریب زبری برای کل عرض رودخانه است. با توجه به این که رودخانه کارون در محل ایستگاه ملاثانی دارای عرض حدود ۲۰۰ متر است، این فرض می‌تواند منطقی نباشد.



(ب)

این روند به طور مرتب تکرار شده تا کمترین مقدار RMSE به دست آید.

مرحله واسنجی مدل ریاضی با استفاده از ۶ توزیع سرعت اندازه‌گیری شده انجام شد. در شکل ۴ این مرحله برای ۲ دبی حداقل (۳۸۲ مترمکعب بر ثانیه) و حداکثر جریان (۱۴۰۱ مترمکعب بر ثانیه) در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی نشان داده شده است. همان‌طور



(الف)

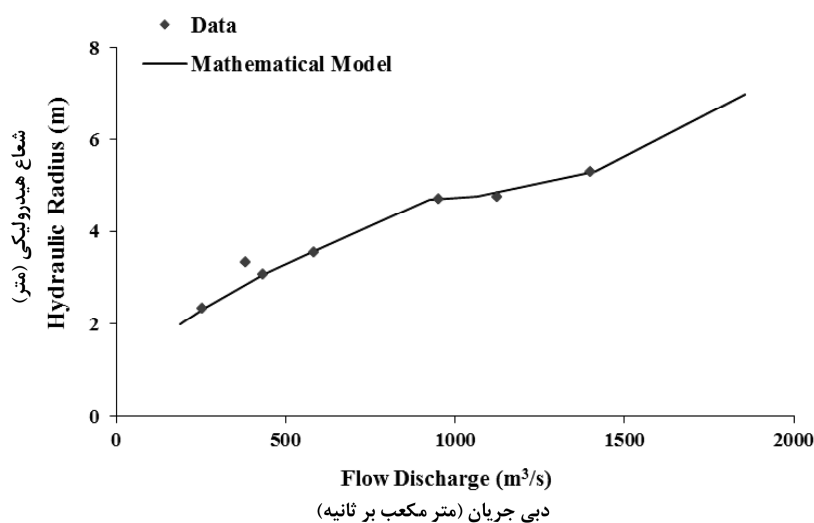
شکل ۴- نتایج واسنجی مدل ریاضی در ایستگاه ملاثانی برای دبی‌های جریان حداقل و حداکثر (الف- دبی ۳۸۲ مترمکعب بر ثانیه، ب- دبی ۱۴۰۱ مترمکعب بر ثانیه).

Figure 4. Calibration of mathematical model in Molasany station for minimum and maximum flow discharges (a. $Q=382 \text{ m}^3/\text{s}$, b. $Q=1401 \text{ m}^3/\text{s}$).

با انتگرال‌گیری عرضی از توزیع سرعت‌های به‌دست آمده از مدل ریاضی، دبی‌های جریان برای ۶ سری اندازه‌گیری مرحله واسنجی محاسبه شد. این نتایج در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود دبی‌های به‌دست آمده از مدل ریاضی انطباق مناسبی با مقادیر واقعی دارند. متوسط خطای نسبی در این مرحله برای تخمین دبی جریان حدود ۲/۴ درصد به‌دست آمده است. با توجه به این که عملیات اندازه‌گیری سرعت به کمک مولینه در رودخانه‌های عریض مثل رودخانه کارون به‌ویژه در شرایط سیلاب بسیار وقت‌گیر و حتی خطرناک است، این میزان خطا بیانگر کارایی مناسب مدل ریاضی است.

در مرحله واسنجی مشخص شد که ضریب زبری برای یک عمق و دبی جریان، ثابت نبوده و تقریباً با افزایش شعاع هیدرولیکی، کاهش می‌یابد. این نتیجه برای رودخانه‌های آبرفتی بدون پوشش گیاهی در بستر و سواحل رودخانه همخوانی دارد. محدوده تغییرات ضریب زبری در این مرحله از ۰/۰۲۹ تا حدود ۰/۰۴۹ به‌دست آمد. بر اساس این نتایج، منحنی رگرسیونی غیرخطی تغییرات ضریب زبری مانینگ بر حسب شعاع هیدرولیکی با ضریب تعیین ۰/۸۴ با رابطه زیر به‌دست آمده است:

$$n = 0.0734R^{-0.5509} \quad (۸)$$



شکل ۵- مقایسه منحنی‌های دبی- شعاع هیدرولیکی محاسباتی و اندازه‌گیری در ایستگاه ملاثانی.

Figure 5. Comparison of computed and measured curves of flow discharge vs hydraulic radius in Molasany station.

نمود. به این منظور، باید از روابط تجربی انتقال رسوب متفاوتی استفاده نمود و با مقایسه نتایج این روابط با مقادیر مشاهداتی دبی کل رسوب، رابطه برتر انتخاب شود.

در شکل‌های ۷ و ۸ نتایج توزیع عرضی دبی رسوب در رودخانه کارون در محل ایستگاه هیدرومتری با استفاده از ۳ رابطه رسوبی ایکرز- وایت، انگلوند- هانسن و یانگ به ترتیب برای ۲ دبی سیلابی ۱۱۲۳ و ۱۷۹۵ مترمکعب بر ثانیه ارائه شده است. متأسفانه به دلیل عدم دسترسی به توزیع دبی رسوب اندازه‌گیری شده در این ایستگاه، مقادیر اندازه‌گیری در این شکل‌ها قابل نمایش نیست. همان‌طور که از این شکل‌ها قابل مشاهده است، تغییرات دبی رسوب در عرض رودخانه بسیار غیریکنواخت است. تقریباً نتایج همه روابط به‌ازای یک دبی جریان مشخص، دارای روند یکسانی بوده اما مقادیر آن‌ها بسیار متفاوت است. روابط انگلوند- هانسن و یانگ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار دبی رسوب را به‌ازای هر دبی جریان برآورد نموده‌اند. رابطه ایکرز- وایت هم دبی رسوب را با اختلاف

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هر مدل ریاضی مناسب و قابل اعتماد، قابلیت آن در پیش‌بینی مناسب شرایط جریان بعد از مرحله واسنجی است. به این مرحله، صحت‌سنجی^۱ مدل ریاضی گفته می‌شود. به این منظور، با استفاده از منحنی رگرسیونی تغییرات ضریب زبری مانینگ نسبت به شعاع هیدرولیکی، ضریب زبری به‌ازای هر عمق جریان دلخواه تعیین می‌شود. با اجرای مدل ریاضی برای این عمق و ضریب زبری، توزیع عرضی سرعت و در نتیجه دبی کل جریان قابل محاسبه است. نتایج دو نمونه از محاسبات توزیع عرضی سرعت در این مرحله در شکل ۶ ارائه شده است. متوسط خطای نسبی مدل ریاضی در این مرحله برای تعیین دبی جریان حدود ۴ درصد به‌دست آمده است.

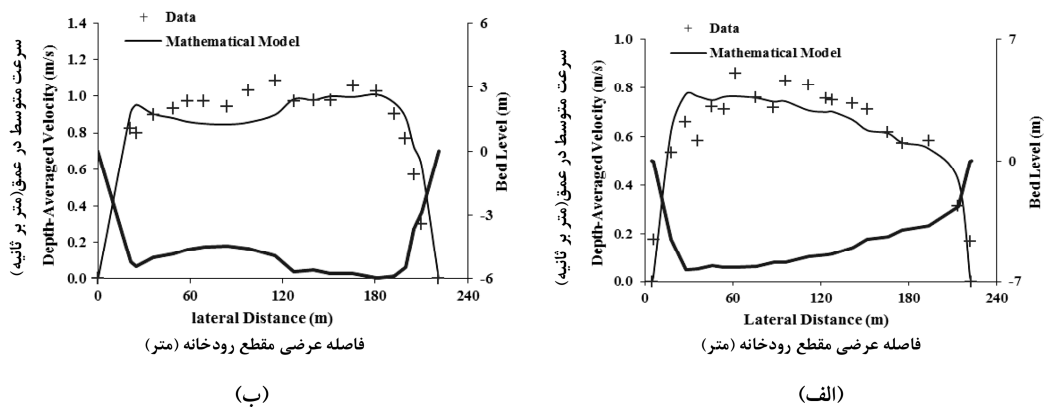
محاسبات انتقال کل رسوب در ایستگاه ملاثانی: بعد از واسنجی و صحت‌سنجی مدل ریاضی برای توزیع عرضی سرعت (و دبی جریان)، حال می‌توان این مدل را برای پیش‌بینی و محاسبه دبی کل رسوب انتقالی از رودخانه در محل ایستگاه ملاثانی استفاده

1- Verification

رودخانه قابل محاسبه است. در حقیقت با محاسبه مجموع دبی‌های رسوب انتقالی در هر بخش یا المان از عرض رودخانه، دبی کل رسوب انتقالی از ایستگاه در هر دبی جریان به دست می‌آید. نتایج این محاسبه برای ۵ دبی جریان به کمک ۳ رابطه رسوبی ایگرز-ایت، انگلوند-هانسن و یانگ در جدول ۲ ارائه شده است.

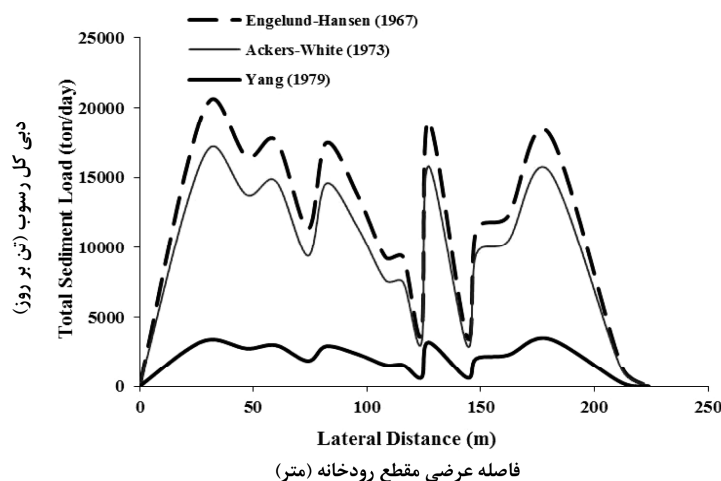
کمی نسبت به رابطه انگلوند-هانسن به دست می‌دهد. با مقایسه نتایج تغییرات سرعت جریان و رسوب در عرض رودخانه به ازای یک دبی معلوم، مشخص شد که این دو پارامتر ارتباط بسیار شدید و مستقیمی با یکدیگر داشته و در نقاط پرسرعت، دبی رسوب نیز بسیار زیادتر است.

با استفاده از توزیع عرضی دبی رسوب به دست آمده از روابط تجربی مختلف، دبی کل رسوب



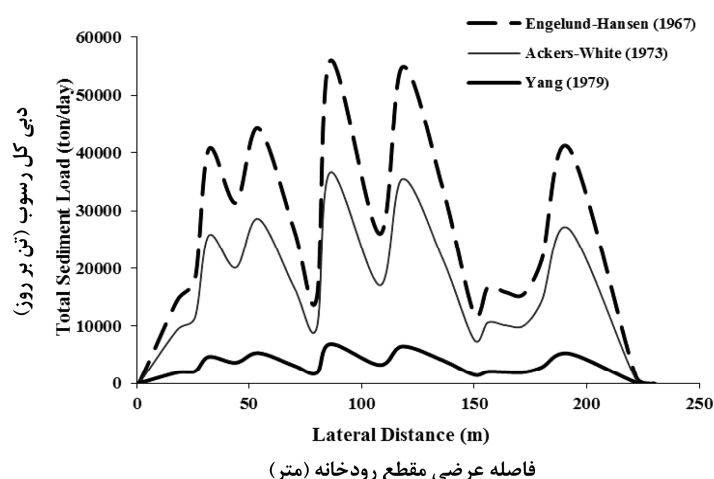
شکل ۶- نتایج صحت‌سنجی مدل ریاضی در ایستگاه ملاتانی برای ۲ دبی جریان (الف- دبی ۷۱۶ مترمکعب بر ثانیه، ب- دبی ۹۵۱ مترمکعب بر ثانیه).

Figure 6. Verification of mathematical model in Molasany station for two flow discharges (a. $Q=716 \text{ m}^3/\text{s}$, b. $Q=951 \text{ m}^3/\text{s}$).



شکل ۷- نتایج توزیع عرضی دبی کل رسوب به دست آمده از ۳ رابطه تجربی در ایستگاه ملاتانی (دبی ۱۱۲۳ مترمکعب بر ثانیه).

Figure 7. Model results for lateral distribution of total bed material load obtained by three empirical equations in Molasany station ($Q=1123 \text{ m}^3/\text{s}$).



شکل ۸- نتایج توزیع عرضی دبی کل رسوب به دست آمده از ۳ رابطه تجربی در ایستگاه ملاثانی (دبی ۱۷۹۵ مترمکعب بر ثانیه).

Figure 7. Model results for lateral distribution of total bed material load obtained by three empirical equations in Molasany station ($Q=1795 \text{ m}^3/\text{s}$).

جدول ۲- نتایج دبی رسوب (تن بر روز) به دست آمده از روابط انتقال رسوب در ایستگاه ملاثانی به ازای ۵ دبی جریان.

Table 2. Sediment discharge results of in Molasany station obtained by sediment transport equations for five flow discharges.

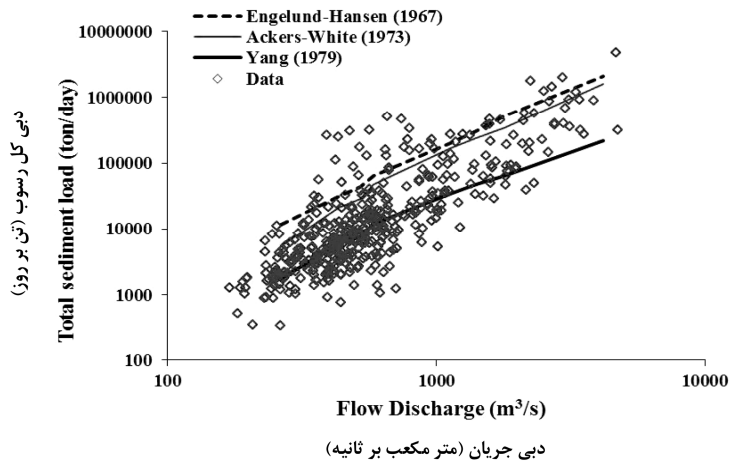
دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)					رابطه رسوبی Sediment Transport Eq.
Flow Discharge (m^3/s)					
1795	1123	583	519	434	
345000	168000	48000	28500	21256	Ackers-White (1973)
517000	200671	63505	43389	31830	Engelund-Hansen (1967)
65000	34400	12000	7500	5880	Yang (1979)

دبی‌های بالا (بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه) عملکرد بهتری دارند. با توجه به اهمیت فراوان انتقال رسوب در شرایط سیلابی، احتمالاً استفاده از روابط انگلوند- هانسن و ایگرز- وایت در این شرایط منطقی‌تر بوده و نتایج قابل قبول‌تری خواهند داشت. بنابراین در دبی‌های سیلاب، کاربرد آن‌ها توصیه می‌شود. این نتیجه با یافته‌های ظهیری و همکاران (۲۰۰۹) مبنی بر دقت بهتر روابط ایگرز- وایت و انگلوند- هانسن در شبیه‌سازی تغییرات پروفیل طولی بستر رودخانه کارون همخوانی دارد. با توجه به این‌که پروفیل طولی کف رودخانه‌های آبرفتی اغلب در اثر وقوع سیلاب دچار تغییرات قابل ملاحظه می‌شود، بنابراین کاربرد این دو رابطه در

مقادیر دبی کل رسوب به دست آمده از این محاسبات در مقایسه با نتایج اندازه‌گیری دبی کل رسوب در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل قابل مشاهده است، به دلیل پراکندگی زیاد دبی‌های رسوب اندازه‌گیری شده در این ایستگاه، هر سه رابطه در محدوده داده‌های اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند. به طور کلی می‌توان استنباط نمود که رابطه یانگ در محدوده دبی‌های پایین جریان (کوچک‌تر از ۸۰۰ مترمکعب بر ثانیه) دارای کارایی مناسب‌تری است. این در حالی است که روابط رسوبی انگلوند- هانسن و ایگرز- وایت در محدوده دبی‌های پایین جریان، برآورد کم‌تری از واقعیت ارائه کرده اما در

رسوبی در رودخانه‌های آبرفتی با بستر ماسه‌ای و شرایط جریان زیربحرانی (مشابه رودخانه کارون در ایستگاه ملاثانی) همخوانی دارد.

مسائل مهندسی رودخانه که با سیلاب مرتب هستند قابل تأیید است. همچنین این نتایج با نتایج مطالعات یانگ (۱۹۹۶) مبنی بر دقت مناسب این دو روابط



شکل ۹- منحنی سنجه کل رسوب ایستگاه ملاثانی به دست آمده از ۳ رابطه تجربی انتقال رسوب و داده‌های اندازه‌گیری.

Figure 7. Comparison of computed (by three sediment transport equations) and measured sediment rating curves in Molasany station.

رابطه رسوبی مورد استفاده در این پژوهش دارای عملکرد مناسبی بوده‌اند. روابط رسوبی یانگ (۱۹۷۹) و انگلوند- هانسن (۱۹۶۷) در تمامی محدوده دبی‌های جریان به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار را برای دبی کل رسوب برآورد می‌کنند. این روابط در دبی حداکثر جریان مورد بررسی در این ایستگاه (معادل ۱۷۹۵ مترمکعب بر ثانیه)، دبی کل رسوب انتقالی از ایستگاه را به ترتیب ۶۵۰۰۰ و ۵۱۷۰۰۰ تن بر روز تخمین زده‌اند. همچنین با مقایسه این نتایج با منحنی واقعی سنجه کل رسوب مشخص شد که رابطه یانگ در محدوده دبی‌های پایین جریان (کوچک‌تر از ۸۰۰ مترمکعب بر ثانیه) دارای عملکرد مناسب‌تری است. روابط رسوبی انگلوند- هانسن و ایکرز- وایت در دبی‌های سیلابی (بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه) عملکرد بهتری دارند. با توجه به اهمیت فراوان انتقال رسوب در شرایط سیلاب و نیز

نتیجه‌گیری

در این مقاله، کارایی مدل ریاضی شبه‌دوابعدی شیونو و نایت (۱۹۹۱) در برآورد توزیع عرضی سرعت جریان و نیز دبی رسوب در رودخانه کارون (در محل ایستگاه ملاثانی) مورد بررسی قرار گرفته است. با واسنجی مدل ریاضی در دبی‌های مختلف جریان مشخص شد که ضریب زبری مانینگ با شعاع هیدرولیکی نسبت عکس دارد. منحنی رگرسیون غیرخطی تغییرات این ضریب نسبت به شعاع هیدرولیکی استخراج شد و برای مرحله صحت‌سنجی مدل ریاضی مورد استفاده قرار گرفت. متوسط خطای مدل ریاضی برای تخمین دبی کل جریان در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب ۲/۴ و ۴ درصد به دست آمد. همچنین نتایج محاسبات انتقال رسوب در رودخانه کارون در ایستگاه ملاثانی نشان داد که به‌طور کلی هر سه

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب سپاسگزاری خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر به دلیل حمایت مالی از انجام این پژوهش اعلام می‌دارند.

صعوبت عملیات اندازه‌گیری سرعت جریان و دبی رسوب در این شرایط، کاربرد مدل ریاضی شیونو و نایت در ایستگاه ملاثانی قابل توصیه است. به این منظور توصیه می‌شود در شرایط سیلاب از روابط انگلوند- هانسن و ایکرز- وایت استفاده شود.

منابع

1. Abbasi, Sh. 2007. Prediction of suspended sediment of Karun river using artificial neural network. M.Sc. Thesis in Water Engineering, Shahid Chamran University. (In Persian)
2. Abril, J.B., and Knight, D.W. 2004. Stage-discharge prediction for rivers in flood applying a depth-averaged model. *J. Hydraul. Res.* 122: 6. 616-629.
3. Abril, J.B. 2002. Overbank flood routing analysis applying jointly variable parameter diffusion and depth-averaged flow finite element models. P 161-167, In: Int. Conference on Fluvial Hydraulics, Belgium.
4. Ackers, P., and white, W.R. 1973. Sediment transport: new Approach and analysis. *J. Hydraul. Div.* 99: 11. 2040-2060.
5. Ayyoubzadeh, S.A., and Zahiri, A. 2005. Development of sediment rating curves in compound river channels using enveloped section method. *J. Engin. Technol.* 21: 71-83. (In Persian)
6. Ebrahimi, N.Gh., Kashefipour, S.M., and Fathi Moghadam, M. 2012. Investigating effect of variable roughness coefficient on the predicted water level of rivers, Case Study: Karoun River. *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*. 95: 84-90.
7. Da Silva, A.M.F. 2006. On why and how do rivers meander?. *J. Hydraul. Res.* 44: 5. 579-590.
8. Engelund, F., and Hansen, E. 1967. A Monograph on sediment transport in alluvial streams. Teknisk Forlag, Copenhagen, Denmark.
9. Ervine, D.A., Babaeyan-Koopaei, K., and Sellin, R.H.J. 2000. Two-dimensional solution for straight and meandering overbank flows. *J. Hydraul. Eng.* 126: 9. 653-669.
10. Gholinejad, J., Zahiri, A., and Deghani, A.A. 2013. One and quasi two dimensional simulation of flood flows in rivers (Case study: Gorganrood River at Aq-Qalla hydrometric station). *J. Water Soil Cons.* 19: 4. 301-334. (In Persian)
11. Hu, C., Ju, Z., and Guo, Q. 2010. Flow movement and sediment transport in compound channels. *J. Hydraul. Res.* 48: 1. 23-32.
12. Jesson, M. 2011. The effect of heterogeneous roughness on conveyance and application to the shiono-knight method. Ph.D. Thesis, The University of Birmingham, 336p.
13. Karamisheva, R.D., Lyness, J.F., Myers, W.R.C., Cassells, J.B.C., and O'Sullivan, J. 2006. Sediment transport formulae for compound channel flows. *Proceedings of the ICE-Water Management.* 159: 3. 183-193.
14. Knight, D.W. 2003. Reducing uncertainty in river flood conveyance. Interim Report 2: Review of Methods for Estimating Conveyance, Environment Agency, UK, 73p.
15. Knight, D.W., Shiono, K., and Pirt, J. 1989. Prediction of depth mean velocity and discharge in natural rivers with overbank flow. P 419-428, In: Int. Conference on Hydraulics and Environmental Modeling of Coastal, Estuarine and River Waters, England.
16. Knight, D.W., and Abril, J.B. 1996. Refined calibration of a depth-averaged model for turbulent flow in a compound channel. *Proc. Instn. Civ. Engrs. Water, Maritime & Energy.* 118: 151-159.
17. Liao, H., and Knight, D.W. 2007. Analytic stage-discharge formulas for flow in straight prismatic channels. *J. Hydraul. Eng.* 133: 10. 1111-1122.

18. Nezu, I., and Rodi, W. 1986. Open-channel flow measurements with a laser doppler anemometer. *J. Hydraul. Eng.* 112: 5. 335-355.
19. Olsen, N.R.B. 1999. Computational fluid dynamics in hydraulic and sedimentation engineering. Class notes, Department of Hydraulic and Environmental Engineering, The Norwegian University of Science and Technology.
20. Proffitt, G.J., and Sutherland, A.J. 1983. Transport of non-uniform sediment. *J. Hydraul. Res.* 21: 1. 33-43.
21. Shafai Bajestan, M. 2008. Basic theory and practice of hydraulics of sediment transport. Shahid Chamran University's Publication, Second Edition, 549p. (In Persian)
22. Shafai Bajestan, M., and Ostad Asgari, M. 2000. A mathematical model to evaluate the bed and total load by the modified Einstein procedure. *JWSS-Isfahan University of Technology.* 4: 2. 29-41.
23. Sharifi, S. 2009. Application of evolutionary computation to open channel flow modeling. Ph.D. Thesis in Civil Engineering, University of Birmingham.
24. Shiono, K., and Knight, D.W. 1991. Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel. *J. Fluid Mech.* 222: 617-646.
25. Wu, W.M., Wang, S.S.Y., and Jia, Y.F. 2000. Non-uniform sediment transport in alluvial rivers. *J. Hydraul. Res.* 38: 6. 427-434.
26. Yang, C.T. 1979. Unit stream power equation for total load. *J. Hydrol.* 1: 123-138.
27. Yang, C.T. 1996. Sediment transport, theory and practice. Mc-Grow Hill Companies.
28. Yang, K., Nie, R., Liu, X., and Cao, S. 2013. Modeling of depth-averaged velocity and boundary shear stress in rectangular compound channels with secondary flows. *J. Hydraul. Eng.* 139: 1. 76-83.
29. Zahiri, A., Shahinejad, B., and Rostami, S. 2009. Simulation of Karoun River sedimentation using GSTARS 2.0 (a reach between Ahwaz and Farsiat hydrometric stations). *J. Water Soil Cons.* 16: 4. 25-42. (In Persian)
30. Zahiri, A., Abdolmajidi, H., Ghorbani, S., and Dehghani, A.A. 2012. Simulation of lateral velocity distribution in rivers using Finite Elements Method (Case study: Berentine hydrometric station in Minab River). *J. Water Soil Cons.* 19: 2. 63-79. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(2), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Sediment transport prediction in rivers using quasi-two dimensional model

B. Dahanzadeh¹ and *A.R. Zahiri²

¹Assistant Prof., Branch of Shooshtar, Islamic Azad University, Shooshtar, Iran, ²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 11/24/2013; Accepted: 12/08/2014

Abstract

Background and Objectives: Accurate prediction of flow and sediment discharges, as basic information, is important for many river engineering projects. Flow and sediment rating curves are the main tools for computation of these two parameters, respectively. In spite of great importance of flow discharge in river hydraulic computations, no specific approach or mathematical model has yet been presented and still the field measurement of lateral velocity and then its lateral integration are considered as the main solution. Field measurement of velocity across the river is a time consuming and costly work and during the river flooding, is very dangerous (5). Opposite to the flow discharge, plenty of relationships and mathematical models have been developed by the researchers for computing the suspended and total sediment load in rivers (4, 8, 26). These models have often complex theory and need large input parameters. Due to specific conditions of our countries' rivers and their lack of hydraulic and sediment transport data with good quality, it's necessary to propose suitable solutions. One of the key elements in this regards is use of quasi two-dimensional mathematical models (9, 10, 11, 28). Shiono and Knight (1991) by developing a quasi-two-dimensional model for lateral velocity distribution, presented a new method with suitable accuracy for computation of flow discharge in flooded rivers (24).

Materials and Methods: In this study, in order to mathematical models being applied for simultaneous computation of river flow hydraulics and sediment transport, a quasi-two dimensional mathematical model has been selected. This model has been calibrated and then verified in Karoun River at Molasani hydrometric station. For simulation of sediment transport in this river, three well known sediment transport equations including Engelund-Hansen (1967), Ackers-White (1973) and Yang (1979) have been used. Few input data needed is the main advantage of this model against the complicated two and three dimensional models.

Results: The results showed that calculated stage-discharge curves in calibration and validation phases have mean errors of 2.4 and 4.0 percent, respectively. Such accuracy is noticeable for a large river, such as Karoun River. Also, it's revealed that among the selected empirical equations for total sediment transport capacity, Yang formula gives good predictions in low flow discharges (less than 800 m³/s). On the other hands, Engelund-Hansen and Ackers-White formulas give better predictions of the sediment discharge for high flow discharges (more than 1000 m³/s).

Conclusion: Accordance to the high importance of sediment transport in flood condition, it seems that application of two sediment transport equations of Engelund-Hansen and Ackers-White give more reasonable results for Molasani hydrometric station and hence are recommended.

Keywords: Karoun River, Quasi-Two dimensional model, Sediment transport capacity, Empirical sediment transport formulae

* Corresponding Author; Email: zahiri_reza@yahoo.com