



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و سوم، شماره ششم، ۱۳۹۵  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

گزارش کوتاه علمی

## حل عددی توزیع عرضی رسوب معلق در قوس رودخانه‌ها

حسین شریفان<sup>۱</sup>، بهروز دهانزاده<sup>۲</sup>، \*عبدالرضا ظهیری<sup>۱</sup> و هرمز شیاربهداری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادپار واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران،

<sup>۲</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۱

### چکیده

**سابقه و هدف:** تغییرات سرعت جریان و به‌ویژه غلظت رسوب معلق در عرض رودخانه‌ها در محل قوس از توزیع بسیار غیریکنواختی برخوردار است. برای مدیریت بهتر سازه‌های هیدرولیکی واقع در قوس رودخانه، آگاهی از تغییرات غلظت رسوب معلق در عرض رودخانه لازم است. تاکنون مدل‌های ریاضی دوبعدی و شبه‌دوبعدی زیادی برای حل توزیع عرضی سرعت در رودخانه‌ها توسط پژوهشگران مختلف توسعه داده شده است که در اغلب این مدل‌ها، مسیر رودخانه به‌صورت مستقیم فرض شده است. همچنین توزیع غلظت رسوب در عرض رودخانه و به‌ویژه در محل قوس تاکنون فقط با مدل‌های پیچیده دوبعدی و سه‌بعدی شبیه‌سازی شده است. با توجه به لزوم سادگی در مطالعات کاربردی مهندسی هیدرولیک جریان و رسوب رودخانه‌ها، استفاده از مدل‌های ریاضی ساده شبه‌دوبعدی اخیراً مورد توجه و استقبال قرار گرفته است. هدف این مقاله، مدل‌سازی شبه‌دوبعدی توزیع عرضی سرعت جریان و غلظت رسوب معلق در محل قوس رودخانه‌ها می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** برای شبیه‌سازی توزیع عرضی سرعت و رسوب در محل قوس رودخانه‌ها، از حل عددی مدل ریاضی شیونو و نایت استفاده شد. برای واسنجی ضریب زبری مانینگ در این مدل از داده‌های توزیع عرضی سرعت اندازه‌گیری در محل یکی از قوس‌های رودخانه کارون در مجاورت ایستگاه هیدرومتری اهواز استفاده گردید. همچنین با انتخاب ۳ رابطه تجربی انتقال کل رسوب (معادلات آکرز- وایت، انگلوند- هانسن و یانگ)، بخش رسوبی این مدل نیز به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده توزیع عرضی غلظت رسوب در محل قوس واسنجی شد.

**یافته‌ها:** نتایج حل عددی مدل ریاضی شیونو و نایت به روش تفاضل‌های محدود نشان داد که از میان روابط رسوبی مورد استفاده، رابطه رسوبی یانگ مطابقت خوبی با مقادیر غلظت رسوب اندازه‌گیری شده در عرض رودخانه داشته و نسبت به روابط رسوبی آکرز- وایت و انگلوند- هانسن، از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. دو رابطه اخیر، مقادیر انتقال رسوب را بسیار بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری برآورد می‌کنند. با انتگرال‌گیری عرضی از نتایج توزیع غلظت رسوب در عرض رودخانه، بار کل رسوب رودخانه واقعی و محاسباتی در محل قوس مورد مطالعه به ترتیب ۲۶۵۰۰ و ۱۶۰۰۰ تن بر روز به دست آمد که بیانگر خطای حدود ۴۰ درصد می‌باشد. این در حالی است که روش‌های آکرز- وایت و انگلوند- هانسن به ترتیب با خطای نسبی حدود ۲۶۵ و ۳۲۵ درصد، برآوردهایی بسیار بالاتر از واقعیت داشتند.

\* مسئول مکاتبه: zahiri@gau.ac.ir

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، می‌توان به کمک مدل ریاضی پیشنهادی، توزیع عرضی رسوب در هر دبی جریان به‌ویژه در دبی‌های سیلابی را محاسبه نموده و برای طراحی آبگیرهای جانبی در قوس خارجی، از نتایج مدل استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** قوس رودخانه، مدل‌سازی ریاضی، مدل شیونو و نایت، رسوب معلق

## مقدمه

مطالعه هیدرولیک جریان و رسوب معلق در رودخانه‌ها همواره مورد توجه پژوهشگران بوده و بررسی‌های زیادی در زمینه مکانیک جریان در قوس رودخانه، تغییرات زمانی خم رودخانه، شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و تغییرات بستر رودخانه‌های پیچانرود انجام شده است (۳). در محل قوس، تغییرات عمق جریان، سرعت و تنش برشی در جهت عرض رودخانه شدید بوده و باعث ایجاد جریان حلزونی و فرسایش قوس خارجی و رسوبگذاری در قوس داخلی می‌شود. حل توزیع عرضی سرعت جریان و رسوب معلق در قوس رودخانه‌ها می‌تواند به مدیریت مناسب طرح‌های حفاظت از سواحل رودخانه و نیز طراحی آبگیرهای جانبی کمک نماید.

اگرچه تاکنون بررسی‌های زیادی به موضوع هیدرولیک جریان در قوس رودخانه‌ها اختصاص داده شده است اما هیدرولیک رسوب بار معلق و تغییرات آن در عرض رودخانه در محل قوس به‌صورت بسیار محدود مورد توجه بوده است. همچنین اغلب این مطالعات به کمک نرم‌افزارهای ریاضی دوبعدی و سه‌بعدی انجام شده که اجرای آن‌ها برای رودخانه‌های طبیعی و بزرگ بسیار زمان‌بر می‌باشد. در این زمینه مطالعات کالکویچک و دی‌ورین (۱۹۸۰)، کروساتو (۲۰۰۸) و دوان و جولین (۲۰۰۹) قابل اشاره است. اسپونر و شیونو (۲۰۰۳)، یک مدل ریاضی دوبعدی تحلیلی برای پیش‌بینی توزیع عرضی سرعت در مقاطع مرکب پیچانرود ارائه دادند. رامش‌واران و

شیونو (۲۰۰۴) مدل مذکور را به‌صورت عددی حل نمودند. رامش‌واران و همکاران (۲۰۰۸) با مدل‌سازی فیزیکی چند قوس از رودخانه بلک‌واتر، رفتار هیدرودینامیکی و توزیع عرضی سرعت و تنش برشی بستر آن را در چند درجه انحناء مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج فیزیکی با نتایج مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی مقایسه شد و مشخص شد که نتایج مدل ریاضی سه‌بعدی PHOENICS دارای دقت بالاتری نسبت به مدل ریاضی دوبعدی TELEMAC است.

با توجه به این‌که اغلب بررسی‌ها در زمینه رودخانه‌های پیچانرود به‌صورت آزمایشگاهی و یا با استفاده از نرم‌افزار بوده است، لازم است تلاش‌های بیش‌تری به‌صورت صحرایی صورت گیرد. در این پژوهش، به کمک داده‌های سرعت و غلظت رسوب معلق برداشت شده از یک قوس از رودخانه کارون، هیدرولیک جریان و رسوب در محل قوس با استفاده از حل عددی معادلات حاکم به روش تفاضل‌های محدود مدل‌سازی شده است.

## مواد و روش‌ها

**مدل ریاضی شبه‌دوبعدی توزیع عرضی سرعت در رودخانه‌های پیچانرود:** شیونو و نایت (۱۹۹۱) مدلی شبه‌دوبعدی را برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در رودخانه‌ها و محاسبه توزیع عرضی سرعت متوسط در عمق ارائه نمودند. این مدل ریاضی به فرم متوسط در عمق و از معادلات ناویر-استوکس استخراج شده است:

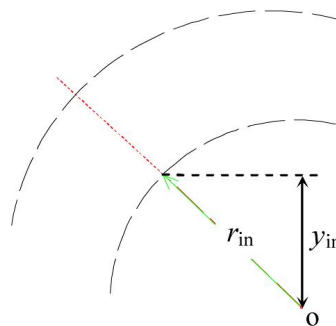
برای مدل‌سازی و دخالت جریان‌های ثانویه، فرضیات مختلفی ارائه شده است (۱). کردی (۱۳۹۰) با تلفیق فرضیات شیونو و نایت (۱۹۹۱) و اروین و همکاران (۲۰۰۰)، رابطه زیر را ارائه نمود:

$$\Gamma = \beta(\rho g H S_0) + \left[ \frac{\partial(Hku_d^2)}{\partial y} + \frac{2}{r_{in} + y_{in}} Hku_d^2 \right] \quad (2)$$

که در آن،  $\Gamma$  بیانگر جمله جریان ثانویه،  $\beta$  ضریب جریان ثانویه شیونو و نایت و  $k$  ضریب اروین و همکاران است که تابع عمق جریان، ضریب زبری و درجه پیچان رودی رودخانه است. این معادله برای رودخانه‌های مستقیم و پیچان‌رود قابل استفاده است. پارامترهای  $r_{in}$  و  $y_{in}$  در شکل ۱ نشان داده شده است.

$$\rho g H S_0 - \rho \frac{f}{8} u_d^2 \sqrt{1 + \frac{1}{s^2}} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \rho \lambda H^2 \left( \frac{f}{8} \right)^{1/2} u_d \frac{\partial u_d}{\partial y} \right\} = \frac{\partial H(\rho \bar{U} \bar{V})_d}{\partial y} \quad (1)$$

که در آن،  $\rho$  جرم حجمی آب ( $kg/m^3$ )،  $g$  شتاب ثقل ( $m/s^2$ )،  $H$  عمق جریان ( $m$ )،  $S_0$  شیب طولی بستر،  $f$  ضریب اصطکاک داریسی-ویسباخ،  $u_d$  سرعت متوسط در عمق ( $m/s$ )،  $s$  شیب جانبی رودخانه،  $\lambda$  ضریب بدون بعد لزجت جریان متلاطم و  $y$  جهت عرضی را نشان می‌دهد. عبارت سمت راست معادله (۱) نماینده جریان‌های ثانویه که در آن،  $\bar{U}$  و  $\bar{V}$  به ترتیب سرعت‌های متوسط در طول زمان در جهت‌های طولی و عرضی رودخانه می‌باشند. در رودخانه‌های پیچان‌رود، جریان‌های ثانویه اهمیت زیادی داشته و باعث تغییر هیدرولیک جریان و مورفولوژی رودخانه می‌شوند.



شکل ۱- نمایش پارامترهای معادله (۴).

Figure 1. Definition of river bend parameters in Eq. 4.

سه ناحیه تقسیم می‌شود. دو ناحیه ۱ و ۳ در قسمت سواحل جانبی رودخانه و به ترتیب در قوس‌های خارجی و داخلی در نظر گرفته می‌شوند. ناحیه ۲ نیز ناحیه مرکزی است. روابط پیشنهادی ضرایب  $\beta$  به صورت زیر می‌باشند:

شیار بهادری (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های توزیع عرضی سرعت در رودخانه‌های پیچان‌رود در دبی‌های مختلف جریان، روابط ساده‌ای را برای محاسبه دو ضریب  $\beta$  و  $k$  (ضرائب رابطه ۲) ارائه نمود. به این منظور، ابتدا مقطع عرضی رودخانه مطابق شکل ۲ به

که در آن،  $S_i$  درجه انحناء رودخانه،  $R_r$  شعاع نسبی،  $L$  عرض ناحیه و  $l$  فاصله از مبدا مختصات تا هر نقطه است. مقادیر  $k$  در ناحیه‌های ۱ تا ۳ به ترتیب از روابط

$$k_1 = 0.0012 \left( R_r \frac{H}{L_1} \right), \quad k_2 = 0.006 \left( R_r \frac{H}{L_2} \right) \quad \text{و}$$

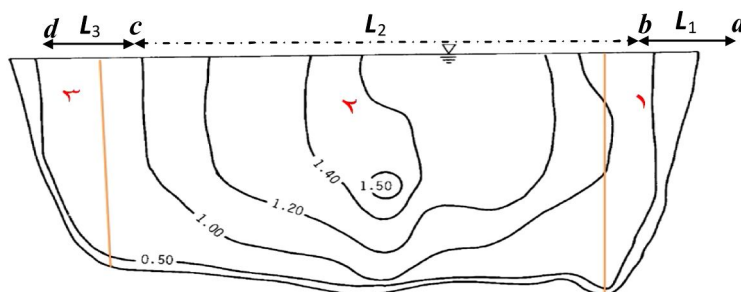
$$k_3 = 0.06 \left( R_r \frac{H}{L_3} \right) \quad \text{به دست می‌آید.}$$

$$\beta_a = 0.0263 \left[ S_i^{1.377} \left( \frac{y_a}{y_a + L_1} \right)^{2.174} R_r^{6.312} \right] \quad (۳)$$

$$\beta_b = 0.1234 \left[ S_i^{1.283} \left( \frac{y_b}{y_b + L_1} \right)^{6.595} R_r^{0.586} \right] \quad (۴)$$

$$\beta_c = 0.0174 \left[ S_i^{1.311} \left( \frac{y_c}{y_c + L_3} \right)^{6.409} R_r^{1.643} \right] \quad (۵)$$

$$\beta_d = 0.0266 \left[ S_i^{1.397} \left( \frac{y_d}{y_d + L_3} \right)^{21.19} R_r^{0.004} \right] \quad (۶)$$



شکل ۲- تقسیم‌بندی مقطع عرضی رودخانه در محل قوس برای محاسبه ضرایب  $\beta$  و  $k$  (۱۲).

Figure 2. Splitting of river cross section at the bend for computation of  $\beta$  and  $k$  paramerts (12).

غلظت رسوب حمل شده در این بازه محاسبه و سپس از کل بازه‌ها در عرض رودخانه انتگرال‌گیری می‌شود. معرفی منطقه مورد مطالعه: در این پژوهش یک قوس از رودخانه کارون در محدوده ایستگاه هیدرومتری اهواز به نام جنگیه انتخاب شد. با توجه به این‌که در محل قوس، ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد بنابراین، برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل ریاضی پیشنهادی، داده‌های توزیع عرضی سرعت جریان، هندسه مقطع عرضی رودخانه در محل قوس، دانه‌بندی رسوبات معلق رودخانه و مصالح کف و نیز توزیع غلظت عرضی رسوب معلق در چند دبی جریان توسط پژوهشگران اندازه‌گیری شد. توزیع عرضی سرعت به کمک مولینه OTT و توزیع عرضی غلظت رسوب معلق با استفاده از نمونه‌برداری تجمعی اندازه‌گیری شده است. تعداد نقاط اندازه‌گیری سرعت در عرض و

روابط تجربی انتقال رسوب: روابط رسوبی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در این روابط  $Q_t$  دبی کل رسوب ( $m^3/s$ )،  $Q$  دبی جریان ( $m^3/s$ )،  $u_*$  سرعت برشی،  $V$  سرعت متوسط جریان،  $R$  شعاع هیدرولیکی،  $d_{50}$  قطر میانه رسوبات،  $F_g$  عدد حرکت رسوب،  $m$ ،  $A$ ،  $n$  و  $C$  ضرایب روش اکرز-وایت،  $C_t$  غلظت رسوب (ppm) و  $w$  سرعت سقوط ذرات ( $m/s$ ) است. پارامترهای  $I$  و  $J$  در رابطه یانگ بر اساس تعداد زیادی از داده‌های آزمایشگاهی و به کمک تحلیل رگرسیون به دست آمده‌اند (۸).

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

نکته‌ای که قابل اشاره است این‌که طبق نتایج اندازه‌گیری بار بستر رودخانه کارون در ایستگاه‌های اهواز و ملائانی، درصد بار بستر نسبت به بار معلق در این ایستگاه‌ها در حالت حداکثر حدود ۳ تا ۷ درصد است که به‌طورکلی درصد ناچیزی است و می‌توان از بار بستر صرف‌نظر نمود (۶). به همین دلیل در این پژوهش، از روابط تجربی تعیین بار کل رسوب برای محاسبه بار معلق رودخانه کارون استفاده شده است.

عمق رودخانه به‌ترتیب ۱۴ و ۲ نقطه است. برای غلظت رسوب نیز سه نقطه (ساحل چپ، مرکز رودخانه و ساحل راست) در نظر گرفته شد. در شکل ۳ نمایی از قوس جنگیه نشان داده شده است. در این شکل، محل مقطع عرضی مورد نظر برای عملیات اندازه‌گیری و نیز شعاع داخلی و خارجی قوس نیز مشخص شده است. شیب رودخانه در این محدوده حدود ۰/۰۰۰۱ می‌باشد. برای این قوس، شعاع داخلی و خارجی به‌ترتیب ۵۵۵ و ۷۴۷ متر و درجه انحناء (سینوسیته) حدود ۲/۳۳ به‌دست آمده است.

جدول ۱- روابط تجربی انتقال رسوب مورد استفاده در این پژوهش.

Table 1. Sediment transport relationships selected for this study.

رابطه	نام پژوهشگر/ پژوهشگران
$Q_t = QC \frac{d_{50}}{R} \left( \frac{V}{u_*} \right)^n \left( \frac{F_g}{A} - 1 \right)^m$	ایکرز- وایت (۱۹۷۳) Ackers-White (1973)
$Q_t = 0.05Q \frac{G_s}{G_s - 1} \frac{VS_0}{\sqrt{(G_s - 1)gd_{50}}} \frac{RS_0}{(G_s - 1)d_{50}}$	انگلوند- هانسن (۱۹۶۷) Engelund-Hansen(1973)
$\log C_t = I + J \log \left( \frac{VS_0}{w} \right)$	
$I = 5.165 - 0.153 \log \frac{wd_{50}}{v} - 0.297 \log \frac{u_*}{w}$	یانگ (۱۹۷۹) Yang (1979)
$J = 1.780 - 0.360 \log \frac{wd_{50}}{v} - 0.480 \log \frac{u_*}{w}$	



شکل ۳- موقعیت قوس انتخاب شده برای عملیات اندازه‌گیری توزیع عرضی سرعت و غلظت رسوب معلق.

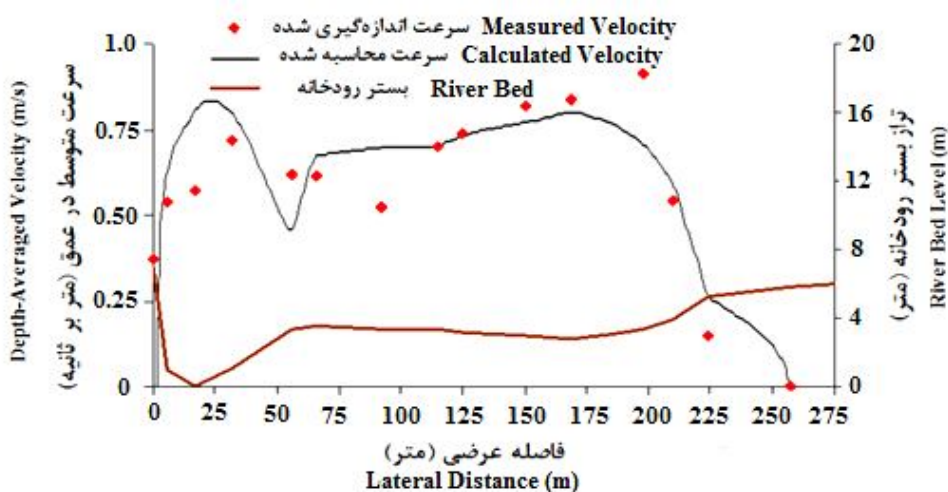
Figure 3. Location of selected river bend for measuring lateral flow velocity and sediment concentration distribution.

این قوس، اندازه قطر میانه مصالح بستر ( $d_{50}$ ) حدود ۰/۱ میلی‌متر و اندازه  $d_{30}$  نیز ۰/۰۹ میلی‌متر به‌دست آمد.

در شکل ۵ نتایج توزیع عرضی غلظت رسوب محاسباتی برای سه روش تجربی انتقال رسوب در محل قوس جنگیه نشان داده شده است. با مقایسه نتایج محاسباتی و مقادیر اندازه‌گیری شده مشخص می‌شود که از میان سه روش تجربی انتقال رسوب مورد استفاده، رابطه یانگ انطباق خوبی با مقادیر واقعی غلظت رسوب در عرض رودخانه دارد. روش‌های اکرز- وایت و انگلوند- هانسن دارای برآوردهایی بسیار بزرگ‌تر از مقادیر واقعی می‌باشند. متوسط خطای مطلق نسبی نتایج روش یانگ حدود ۱۹ درصد به‌دست آمده است. این میزان خطا برای روش‌های آکرز- وایت و انگلوند- هانسن به‌ترتیب حدود ۱۹۰ و ۳۱۰ درصد می‌باشد.

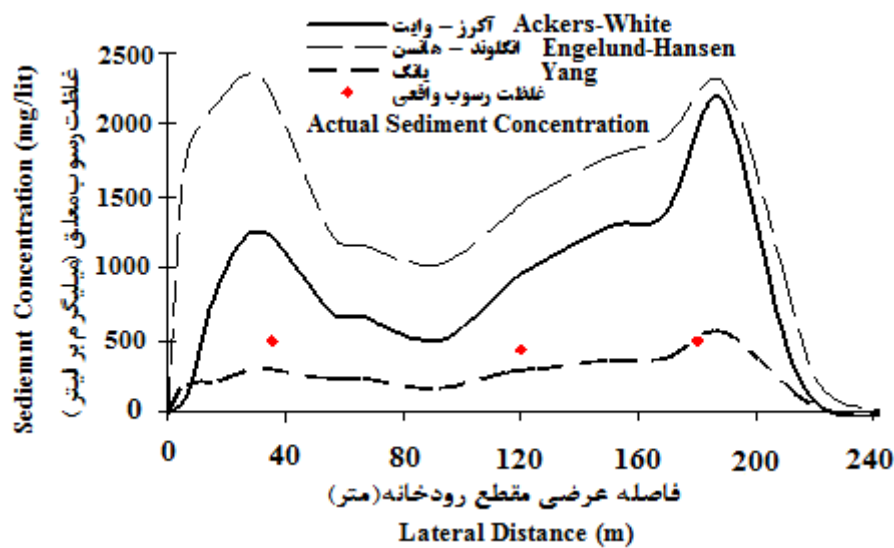
واسنجی مدل ریاضی توزیع عرضی سرعت: برای انجام محاسبات رسوبی، ابتدا باید مقادیر سرعت جریان در عرض رودخانه در محل قوس به‌دست آید. نتایج محاسباتی مدل شیونو و نایت به همراه مقادیر مشاهداتی سرعت جریان برای قوس جنگیه در شکل ۴ ارائه شده است. این نتایج به‌ازای ضریب زبری مانینگ ۰/۰۳ به‌دست آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود انطباق خوبی بین مقادیر سرعت محاسباتی و مشاهداتی وجود دارد. دبی جریان واقعی و محاسباتی در این قوس به‌ترتیب ۶۳۸ و ۶۴۴ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمد که خطایی حدود یک درصد را برای مدل ریاضی نشان می‌دهد. همچنین میانگین خطای نسبی مطلق توزیع عرضی سرعت به‌دست آمده از مدل ریاضی حدود ۱۱/۸ درصد محاسبه شد. میانگین خطای نسبی نیز حدود ۳ درصد به‌دست آمد.

انتقال رسوب در محل قوس رودخانه: برای بررسی کارایی روش‌های تجربی انتقال رسوب در محل قوس جنگیه، پارامترهای رسوبی اندازه‌گیری شدند. در محل



شکل ۴- مقایسه نتایج مدل ریاضی و مقادیر واقعی توزیع عرضی سرعت در قوس جنگیه.

Figure 4. Comparison of computed and measured lateral distribution of flow velocity in Jangieh bend.



شکل ۵- مقایسه توزیع عرضی غلظت رسوب به دست آمده از ۳ رابطه تجربی رسوب در قوس جنگیه با مقادیر اندازه گیری شده.

Figure 5. Comparison of lateral distribution of sediment concentration obtained by three empirical sediment transport equations in Jangieh bend with measured values.

نتایج نشان داد که رابطه رسوبی یانگ انطباق مناسبی با مقادیر مشاهداتی غلظت رسوب دارد. با انتگرال گیری عرضی از نتایج توزیع غلظت رسوب در عرض رودخانه، بار کل رسوب رودخانه واقعی و محاسباتی در محل قوس جنگیه به ترتیب ۲۶۵۰۰ و ۱۶۰۰۰ تن بر روز به دست آمد که حدود ۴۰ درصد خطا را نشان می دهد. مقادیر بار کل رسوب به دست آمده از روابط اکرز- وایت و انگلوند- هانسن به ترتیب حدود ۹۸۰۰۰ و ۱۱۳۰۰۰ تن بر روز محاسبه شده است که بیانگر خطایی بیش از ۲۶۵ و ۳۲۵ درصد می باشد.

### نتیجه گیری کلی

در این پژوهش از یک مدل ریاضی شبه دویبعی برای محاسبه توزیع عرضی پارامترهای هیدرولیک جریان و رسوب (سرعت جریان و غلظت رسوبات معلق) در قوس رودخانه استفاده شده است. نتایج واسنجی هیدرولیکی مدل ریاضی نشان داد که برای شبیه سازی توزیع عرضی سرعت در محل قوس رودخانه، انتخاب یک ضریب زبری مانینگ مناسب کافی می باشد. با تلفیق نتایج توزیع عرضی سرعت محاسبه شده از مدل ریاضی شیونو و نایت با معادلات تجربی انتقال رسوب، توزیع غلظت رسوب در عرض رودخانه در محل قوس پیشنهادی به دست آمده است.

### منابع

1. Abril, J.B., and Knight, D.W. 2004. Stage-discharge prediction for rivers in flood applying a depth-averaged model. J. Hydraul. Res. IAHR. 42: 6. 616-629.
2. Crosato, A. 2008. Analysis and modelling of river meandering. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, IOS Press, Amsterdam, 251p.
3. Da Silva, A.M.F. 2006. On why and how do rivers meander? J. Hydraul. Res. 44: 5. 579-590.
4. Duan, J.G., and Julien, P. 2009. Numerical simulation of the inception of channel meandering. Earth Surface Processes and Landforms. 30: 1093-1110.

5. Ervine, D.A., Babaeyan-Koopaei, K., and Sellin, R.H.J. 2000. Two-dimensional solution for straight and meandering overbank flows. *J. Hydraul. Eng. ASCE*. 126: 9. 653-669.
6. Hosseini Zare, N., and Saadati, N. 2005. Erosion and sedimentation estimation using sediment measurement in Khozestan watersheds. 3<sup>rd</sup> National Conf. Of Erosion and Sediment, Tehran. (In Persian)
7. Kalkwijk, J.P.T., and De Vriend, H.J. 1980. Computation of the flow in Shallow River bends. *J. Hydraul. Res. IAHR*. 18: 4. 327-342.
8. Karamisheva, R.D., Lyness, J.F., Myers, W.R.C., Cassells, J.B.C., and O'Sullivan, J.J. 2006. Sediment transport formulae for compound channel flows. *Proceedings of the ICE, Water Management*. 159: 3. 183-193.
9. Kordi, H. 2011. Numerical simulation of lateral velocity distribution in meandering rivers. MSc. Thesis, Civil Engineering, Shahroud University. (In Persian)
10. Rameshwaran, P., and Shiono, K. 2004. Modelling of overbank flow structures in meandering channels. *Maritime Engineering*. 156: 3. 225-233.
11. Rameshwaran, P., Sun, X., Shiono, K., Chandler, J.H., and Sellin, R.H.J. 2008. The modelling of compound channel flow: physical model of river Blackwater. *River Flow 2008*, Turkey, Pp: 555-564.
12. Shiar Bahadori, H. 2012. Numerical simulation of lateral velocity distribution in river bends. MSc. Thesis, Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
13. Shiono, K., and Knight, D.W. 1991. Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel. *J. Fluid Mechanics*. 222: 617-646.
14. Shiono, K., Chan, T.L., Spooner, J., Rameshwaran, P., and Chandler, J. H. 2009. The effect of floodplain roughness on flow structures, bedforms and sediment transport rates in meandering channels with overbank flows. *J. Hydraul. Res. IAHR*. 47: 1. 20-28.
15. Spooner, J., and Shiono, K. 2003. Compound meandering channels with overbank flow. *Water & Maritime Engineering*. 156: 3. 225-233.





### Short Technical Report

## Numerical solution of lateral distribution of suspended sediment in river bends

**H. Sharifan<sup>1</sup>, B. Dahanzadeh<sup>2</sup>, \*A.R. Zahiri<sup>1</sup> and H. Shiar Bahadori<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Assistant Prof., Shooshtar Branch, Islamic Azad University, Shooshtar, Iran, <sup>3</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 03/28/2015; Accepted: 03/11/2017

### Abstract

**Background and Objectives:** Distribution of lateral velocity and especially suspended sediment concentration in river bends are extremely non-uniform. For better management of hydraulic structures located on river bends, the lateral variation of sediment concentration has high importance. Several two-dimensional and quasi two-dimensional mathematical models have been developed by many researchers which in most of them, the river has been assumed as a straight reach. Also, sediment concentration variations across the river and especially in the case of river bends have been simulated just by complicated two and three dimensional mathematical models. Due to the essence of simplicity for applied studies in flow and sediment transport hydraulics, the simple quasi two-dimensional models have attracted much attention, recently. The aim of this paper is to investigate the quasi-two dimensional modeling of lateral flow velocity and suspended sediment concentration in river bends.

**Material and Methods:** For lateral distribution of flow velocity and sediment transport at the river bends, the Shiono and Knight method has been numerically solved in this paper using the finite difference method. For calibration of Manning roughness coefficient in this model, the field data of lateral velocity distribution at the one of bends in Karoun river at the vicinity of Ahwas hydrometric station have been used. Furthermore, by selecting three empirical sediment transport equations of Ackers-White, Engelund-Hansen and Yang, the sediment transport module of this model has been calibrated with field data of lateral distribution of sediment concentration at the bend.

**Results:** The results of numerical solution of Shiono and Knight model showed that the among the selected sediment transport equations, the Yang equation has very well agreement with the measured lateral suspended sediment concentration, in comparison to the Ackers-White and Engelund-Hanssen equations. The former two equations predict the sediment transport much larger than the measured value. Due to this fact that the unit stream power is the basis of Yang equation derivation and in this theory, the transport of each sediment particle mainly depends to its flow velocity, hence the Yang sediment transport equation has higher accuracy. With lateral integration of sediment concentration across the river bend, the total load has been computed as 16000 tons per day against the measured value of 26500 tons per day which shows nearly 40 percent error. These errors for Ackers-White and Engelund-Hansen equations are 265 and 325 percent, respectively, which are very high predictions compared with the actual value.

**Conclusion:** According to the results obtained in this paper, the sediment concentration distribution in any flow discharge and especially in flood conditions may be computed and used for designing lateral intakes on outer bank of the river bend.

**Keywords:** River bend, Numerical modeling, Shiono and Knight model, Suspended Sediment

---

\* Corresponding Author; Email: [zahiri@gau.ac.ir](mailto:zahiri@gau.ac.ir)

