



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و یکم، شماره پنجم، ۱۳۹۳  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

گزارش کوتاه علمی

## مقایسه روش‌های بر آورد توزیع تنش برشی در عرض مجاری روباز

فاطمه هوشمندی<sup>۱</sup>، \* عبدالرضا ظهیری<sup>۲</sup>، امیراحمد دهقانی<sup>۲</sup> و مهدی مفتاح‌هلقی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستاندیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۱

### چکیده

تنش برشی در بسیاری از معادله‌های هیدرولیکی انتقال رسوب، مدل‌های آشفتگی، تعیین بازه‌های پایدار، فرسایش دیواره‌ها و کف کانال و نیز برای شبیه‌سازی تغییرات هندسه رودخانه‌ها کاربرد دارد. با وجود اهمیت زیاد تنش برشی، متأسفانه اندازه‌گیری مستقیم تنش برشی در رودخانه‌ها به‌ویژه در هنگام وقوع سیل بسیار دشوار است. از این رو پژوهشگران روش‌هایی را برای محاسبه غیرمستقیم تنش برشی ارائه داده‌اند. در این مقاله از سه روش برای بر آورد توزیع تنش برشی مرزی در عرض کانال‌های روباز استفاده و نتایج آن‌ها با داده‌های آزمایشگاهی کانال‌های ساده و مرکب مقایسه شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که مدل شبه‌دوبعدی شیونو و نایت (SKM) با توجه به در نظر گرفتن اثر جریان‌های ثانویه، دارای دقت بهتری نسبت به روش‌های عمودهای به هم پیوسته (MPM) و عمق قائم (VDM) می‌باشد. متوسط خطای نسبی این سه روش برای محاسبه تنش برشی در کانال‌های آزمایشگاهی ساده و مرکب مورد مطالعه در این پژوهش به ترتیب ۸، ۱۴ و ۱۸ درصد محاسبه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** تنش برشی مرزی، مدل ریاضی شبه‌دوبعدی، مقاطع مرکب، جریان‌های ثانویه

\* مسئول مکاتبه: [f\\_houshmandi@yahoo.com](mailto:f_houshmandi@yahoo.com)

## مقدمه

تنش برشی وارد بر کف و جداره‌های رودخانه یکی از مهم‌ترین پارامترهای جریان در رودخانه‌ها و کانال‌های روباز بوده و در بسیاری از معادله‌های مهم هیدرولیک و انتقال رسوب مانند محاسبه‌های انتقال بار معلق و بستر، محاسبه‌های طراحی کانال‌ها و رودخانه‌های پایدار، انتخاب محل مناسب آبگیر، محاسبه‌های طراحی سازه‌های کنترل فرسایش دیواره‌ها و ... کاربرد دارد. همچنین آگاهی از توزیع تنش برشی در عرض رودخانه برای پیش‌بینی تغییرات هندسه مقطع عرضی رودخانه به‌ویژه در اثر عبور سیلاب‌ها ضروری است. در این حالت، استفاده از فرمول عمومی تنش برشی وارده بر کف رودخانه ( $\tau_b = \rho g R S$ ) که تنش برشی متوسط را با فرض جریان یکنواخت محاسبه می‌نماید، جواب‌گو نیست.

با توجه به اهمیت تنش برشی در مسایل هیدرولیک جریان و رسوب رودخانه‌ها و وابستگی آن به پارامترهایی مانند شکل مقطع عرضی، شرایط هیدرولیکی به‌خصوص نیمرخ لگاریتمی سرعت، توزیع طولی و عرضی زبری در مرزها، جریان‌های ثانویه و نرخ انتقال رسوب، اندازه‌گیری مستقیم تنش برشی در عرض رودخانه‌ها نیاز به دستگاه‌های پیشرفته و دقت زیاد دارد. از این رو پژوهشگران روش‌های غیرمستقیم زیادی را برای تعیین مقدار تقریبی تنش برشی در کف و دیواره‌های رودخانه ارائه داده‌اند. در این روش‌ها، تنش برشی براساس پارامترهای اصلی هندسی و هیدرولیک جریان رودخانه شامل عمق جریان، سرعت طولی، شیب طولی و ضریب زبری محاسبه می‌شود. نایت و همکاران (۱۹۸۴) روشی تجربی برای محاسبه تنش برشی متوسط در بستر و دیواره کانال‌های مستقیم مستطیلی ارائه نمودند. شیونو و نایت (۱۹۸۸) مدلی تحلیلی-دوبعدهی براساس معادله ناویه-استوکس برای حل توزیع عرضی سرعت و تنش برشی در مقاطع ساده و مرکب ارائه کردند. سپس در سال ۱۹۹۱ با اصلاح این مدل، اثر جریان‌های ثانویه نیز در نظر گرفته شد. خداشناس و پاکویر (۱۹۹۹) رابطه‌ای هندسی برای پیش‌بینی توزیع تنش برشی در عرض کانال‌هایی با مقطع عرضی نامنظم به‌نام عمودهای به‌هم پیوسته<sup>۱</sup> ارائه نمودند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که به غیر از گوشه‌های کانال و محل اتصال کانال اصلی با دشت سیلابی، این روش تنش برشی را به خوبی پیش‌بینی می‌کند. یانگ و لیم (۲۰۰۲) یک روش تحلیلی برای محاسبه توزیع تنش برشی در کانال‌های منشوری با زبری غیریکنواخت ارائه کردند. این روش براساس انتقال انرژی مازاد به کوتاه‌ترین فاصله نسبی به سمت

1- Merged Perpendicular Method (MPM)

دیواره در جریان دائمی، یکنواخت و آشفته توسعه یافته پایه ریزی شده است. بابائیان کوپایی و همکاران (۲۰۰۲) با اندازه گیری شدت تلاطم جریان (نوسانات سرعت در جهت های طولی و عرضی)، تنش برشی در عرض یک رودخانه پیچان رود را مورد مطالعه قرار دادند. جیو و جولین (۲۰۰۵) روشی را برای تعیین تنش برشی متوسط وارده بر بستر و دیواره کانال های مستطیلی با سطح صاف ارائه کردند. کین و همکاران (۲۰۰۹) مدل ریاضی ساده ای را برای محاسبه توزیع تنش برشی در عرض یک کانال با مقطع مرکب در حالت زبری زیاد در دشت های سیلابی ارائه نمودند.

در این مقاله از سه روش عمق قائم (VDM)، MPM (خداشناس و پاکویر، ۱۹۹۹) و SKM (مدل شیونو و نایت، ۱۹۹۱) برای پیش بینی توزیع تنش برشی مرزی در عرض کانال استفاده شده است. برای ارزیابی دقت این روش ها، نتایج آزمایشگاهی تنش برشی در چند کانال ساده و مرکب مورد استفاده قرار گرفته و با نتایج محاسباتی این سه روش مقایسه شده است.

### مواد و روش ها

**روش عمق قائم (VDM):** در روش عمق قائم ابتدا مقطع عرضی کانال یا رودخانه به چند زیربازه یا المان کوچک تقسیم می شود. سپس تنش برشی در هر نقطه از پیرامون مرطوب کانال از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\tau_i = \rho g h_i S \quad (1)$$

که در آن،  $i$ : موقعیت هر نقطه در عرض کانال،  $\tau_i$ : تنش برشی در هر نقطه  $i$ ،  $h_i$ : عمق جریان در هر نقطه  $i$ ،  $\rho$ : چگالی سیال،  $g$ : شتاب ثقل و  $S$ : شیب کف کانال (یا شیب خط انرژی) است.

**روش عمودهای به هم پیوسته (MPM):** خداشناس و پاکویر (۱۹۹۹)، با تکیه بر روش مساحت قائم (VAM)، رابطه ای هندسی برای پیش بینی توزیع تنش برشی در عرض کانال های نامنظم ارائه نمودند. روند محاسبه ها در این روش به این صورت است که ابتدا محیط مرطوب کانال به اجزا یا المان های کوچک تر تقسیم شده و سپس عمود منصف هر المان رسم می شود. هر عمود منصف که با عمود منصف قبلی خود تلاقی کند با آن ترکیب شده و به یک خط تبدیل می شود. زاویه و جهت خط جدید با استفاده از میانگین وزنی زوایای خطوط قبلی محاسبه می شود. خط جدید می تواند با خطوط دیگر

1- Vertical Depth Method

2- Vertical Area Method

تلاقی کند و خطی از درجه بالاتر را به وجود آورد. این روند تا رسیدن به تراز سطح آب ادامه می‌یابد. با محاسبه مساحت ایجاد شده بین خطوط نهایی و تعیین شعاع هیدرولیکی، تنش برشی از رابطه عمومی ( $\tau_b = \rho gRS$ ) برای هر قسمت به دست می‌آید. در روش MPM فرض می‌شود که جریان یکنواخت، زبری دیواره‌ها همگن و اثر جریان‌های ثانویه و نیز انتقال مومنتوم بین المان‌ها در عرض کانال ناچیز است.

**مدل شیونو و نایت (SKM):** شیونو و نایت برای محاسبه توزیع عرضی سرعت و تنش برشی در کانال‌ها و رودخانه‌ها، به کمک انتگرال‌گیری در عمق از معادله ناویه-استوکس، روش ساده و با دقت مناسبی را ارائه نمودند. در این روش مشابه روش‌های بالا، جریان به صورت یکنواخت و ماندگار فرض می‌شود، اما بر خلاف دو روش قبلی، اثر جریان‌های ثانویه و نیز انتقال مومنتوم بین المان‌ها در عرض رودخانه در نظر گرفته شده است. معادله دیفرانسیل زیر توسط شیونو و نایت (۱۹۹۱) ارائه شده است:

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

که در آن،  $H$ : عمق جریان،  $f$ : ضریب اصطکاک داریسی-ویسباخ،  $U_d$ : سرعت متوسط در عمق،  $s$ : شیب جانبی کانال،  $\lambda$ : ضریب بدون بعد لزجت جریان متلاطم می‌باشند. لا نیز موقعیتی از عرض کانال است که سرعت و تنش برشی در آن نقطه باید به دست آید. طبق مطالعات پژوهشگران مختلف (نایت و همکاران، ۱۹۸۹؛ آپریل و نایت، ۲۰۰۴) ضریب  $\lambda$  در نتایج محاسبه‌ها حساسیت زیادی نداشته و در نظر گرفتن یک مقدار ثابت در عرض کانال کفایت می‌کند. معمولاً مقدار این ضریب  $0/07$  فرض می‌شود. در معادله دیفرانسیل بالا، عبارت سمت راست بیانگر اثر جریان‌های ثانویه است که معمولاً تحت تأثیر نوسانات سرعت در جهت‌های مختلف قرار گرفته و ممکن است به میزان قابل ملاحظه‌ای مقادیر تنش برشی را تغییر دهد. در این عبارت،  $\bar{U}$  و  $\bar{V}$  به ترتیب سرعت متوسط جریان در جهت طولی و عرضی را نشان می‌دهد. با توجه به دشوار بودن اندازه‌گیری مستقیم سرعت متوسط در جهت عرضی، شیونو و نایت (۱۹۹۱) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مقاطع ساده و مرکب مستقیم، اثر جریان‌های ثانویه ( $\Gamma$ ) را به صورت تابع ساده‌ای از تنش برشی متوسط وارده بر بستر کانال ارائه نمودند:

$$\Gamma = \frac{\partial H(\rho \bar{U} \bar{V})_d}{\partial y} = \beta \rho g S H \quad (3)$$

که در آن،  $\beta$ : ضریب واسنجی جریان‌های ثانویه بوده و دارای مقادیر مشخصی برای کانال‌های ساده (۰/۰۵) و کانال‌های مرکب (۰/۱۵) برای مجرای اصلی و ۰/۲۵- برای دشت‌های سیلابی) است. جواب‌های تحلیلی زیر برای رابطه ۲ ارائه شده‌اند (شیونو و نایت، ۱۹۹۱):  
برای نواحی با عمق جریان ثابت:

$$U_d = \left[ A_1 e^{\gamma y} + A_2 e^{-\gamma y} + \frac{\lambda g S H (1 - \beta)}{f} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (4)$$

برای نواحی با عمق جریان متغیر یا شیب جانبی متغیر:

$$U_d = \left[ A_3 Y^{\alpha_1} + A_4 Y^{-\alpha_2} + \omega Y + \eta \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (5)$$

که در آن،

$$\alpha_1 = -\frac{1}{\gamma} + \frac{1}{\gamma} \left\{ 1 + \frac{s \sqrt{1+s^2}}{\lambda} \sqrt{\lambda f} \right\}^{\frac{1}{\gamma}} \quad \alpha_2 = \alpha_1 + 1 \quad \gamma = \left( \frac{\gamma}{\lambda} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \left( \frac{f}{\lambda} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \frac{1}{H} \quad (6)$$

$$Y = H - \left( \frac{y-b}{s} \right) \quad \eta = \frac{-\Gamma}{\frac{\sqrt{1+s^2}}{s} \rho \frac{f}{\lambda}} \quad \omega = \frac{gS}{\sqrt{\frac{1+s^2}{s} \frac{f}{\lambda} - \frac{\lambda}{s^2} \sqrt{\frac{f}{\lambda}}}}$$

که در آن،  $Y$ : عمق محلی آب می‌باشد. به دلیل شرط عدم لغزش، سرعت جریان در ابتدا و انتهای مقطع عرضی (لبه آب) صفر بوده و به عنوان شرط مرزی معلوم وارد محاسبات خواهند شد.  $A$ : مجهولات معادله بوده و به کمک شرایط مرزی مناسب به دست می‌آیند. بعد از محاسبه توزیع سرعت در عرض کانال، تنش برشی مرزی در هر نقطه از رابطه ۷ قابل تعیین است:

$$\tau_b = \frac{\rho f U_d^2}{\lambda} \quad (7)$$

### نتایج و بحث

در این پژوهش برای مقایسه روش‌های مختلف و ارزیابی دقت نتایج آن‌ها، داده‌های آزمایشگاهی چند کانال با شرایط هندسی و هیدرولیکی متنوع مورد استفاده قرار گرفته است که مشخصات در جدول ۱ آورده شده است.

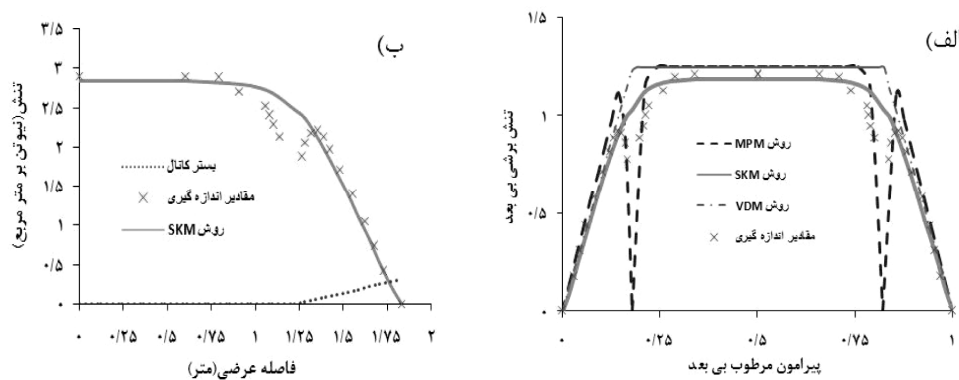
جدول ۱- مشخصات کانال‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش.

عمق	شیب کف	دبی	عرض کانال		عمق لیریز	شیب جانبی
H (متر)	S	Q (مترمکعب بر ثانیه)	B <sub>c</sub> (متر)	B <sub>f</sub> (متر)	h (متر)	S <sub>c</sub>
۰/۳۰۴۸	۰/۰۰۱	۰/۳	۲/۴۴	-	-	۲ افق: قائم
۰/۳۰۹۳	۰/۰۰۱۰۲۷	۰/۶۵	۱/۵	-	-	۱ افق: قائم
۰/۲۴۸۴	۰/۰۰۱۰۲۷	۰/۵۶	۱/۵	۰/۷۵	۰/۱۵	۱ افق: قائم

با توجه به مشخصات کانال‌های ذکر شده و روش‌های بالا، در شکل‌های ۱ تا ۳ توزیع عرضی تنش برشی با استفاده از روش‌های VDM، MPM و SKM ترسیم شده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. محورهای افقی و عمودی، به ترتیب با کل پیرامون خیس شده و تنش برشی به دست آمده از رابطه معمول ( $\tau_b = \rho g R S$ )، بی‌بعد شده‌اند. نمودارهای (ب) در هر شکل، نتایج تنش برشی به دست آمده از حل تحلیلی مدل SKM را در نیمی از عرض کانال آزمایشگاهی نشان می‌دهد.

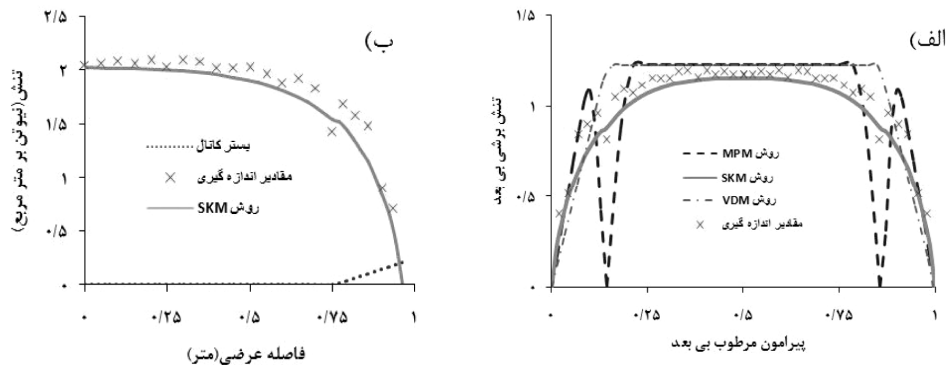
در شکل ۱ همان‌گونه که مشاهده می‌شود در کف کانال تقریباً همه روش‌ها، مقادیر تنش برشی را نزدیک به مقادیر واقعی برآورد نموده‌اند. در گوشه‌های کانال، به دلیل تشکیل جریان‌های ثانویه قوی، همه روش‌های محاسباتی دارای خطا می‌باشند اما روش SKM دارای خطای کم‌تری است. روش MPM مقادیر تنش در گوشه‌ها را بسیار کم و در حد صفر برآورد کرده است که با واقعیت فاصله بسیاری دارد ولی در دیواره کانال عملکرد بهتری نسبت به روش VDM دارد. به‌طور کلی، روش‌های

SKM و VDM به ترتیب با خطای نسبی (مقادیر محاسباتی - مشاهداتی / مقادیر مشاهداتی) متوسط ۸ و ۱۴ درصد، بهترین و نامناسب‌ترین روش محاسباتی برای کانال دوزنقه‌ای مطالعاتی لین می‌باشند. البته این نکته نیز قابل اشاره است که اندازه‌گیری مستقیم تنش برشی در مجاری روباز به‌ویژه در گوشه‌های کانال که جریان تلاطم بیشتری دارد، از پیچیدگی بیشتری برخوردار بوده و با توجه به قدیمی بودن مطالعات آزمایشگاهی لین، ممکن است داده‌های آزمایشگاهی این پژوهشگر دارای دقت زیادی نباشد.



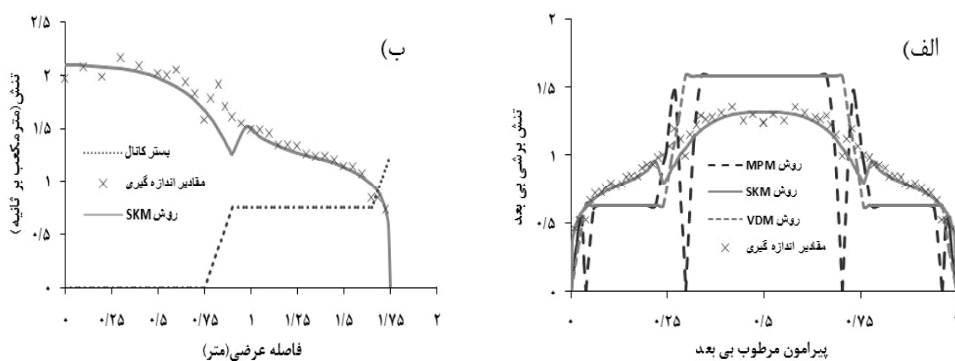
شکل ۱- مقایسه توزیع عرضی تنش برشی در کانال دوزنقه‌ای مطالعاتی لین (۱۹۵۳).

در شکل ۲ نتایج محاسباتی و آزمایشگاهی مقادیر تنش برشی در عرض کانال آزمایشگاهی FCF-04 با هم مقایسه شده است. داده‌های آزمایشگاهی FCF از دقت بسیار بالایی برخوردار بوده و اساس بسیاری از پژوهش‌ها و یافته‌های پژوهشگران معتبر بوده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، نتایج روش SKM مطابقت بسیار بهتری با داده‌های آزمایشگاهی داشته و حتی در گوشه‌های کانال نیز از دقت خوبی برخوردار بوده است. روش MPM نیز هم‌چنان در گوشه‌های کانال دارای خطای بسیار زیادی است. به‌طورکلی، روش‌های SKM و VDM به ترتیب با خطای نسبی متوسط ۷/۷ و ۱۳/۵ درصد، بهترین و نامناسب‌ترین روش محاسباتی برای کانال آزمایشگاهی FCF-04 می‌باشند.



شکل ۲- مقایسه توزیع عرضی تنش برشی در کانال آزمایشگاهی FCF-04.

در شکل ۳ به وضوح قابلیت و کارایی روش SKM در تخمین تنش برشی در عرض مقاطع مرکب آشکار می‌شود. در مقاطع مرکب به دلیل اختلاف سرعت جریان در مقطع اصلی و دشت‌های سیلابی، جریان‌های ثانویه در کل عرض کانال و به‌ویژه در مرز تماس این دو بخش توسعه یافته و هیدرولیک جریان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. با توجه به این که در روش SKM، جریان ثانویه در نظر گرفته می‌شود، نتایج این روش نسبت به مقادیر آزمایشگاهی دارای تطابق بسیار خوبی است. این در حالی است که روش‌های MPM و VDM به دلیل عدم در نظر گرفتن جریان‌های ثانویه دارای عملکرد مناسبی در کانال مرکب نبوده‌اند. به‌طور کلی، روش‌های SKM و VDM به ترتیب با خطای نسبی متوسط ۸/۲ و ۲۵/۶ درصد، بهترین و نامناسب‌ترین روش محاسباتی برای کانال آزمایشگاهی FCF-03 می‌باشند.



شکل ۳- مقایسه پیش‌بینی توزیع عرضی تنش برشی در کانال آزمایشگاهی FCF-03.



## نتیجه‌گیری

در این مقاله براساس نتایج به‌دست آمده مشخص می‌شود که تقریباً هر دو روش MPM و VDM دارای عملکرد مشابهی در برآورد تنش برشی کف کانال می‌باشند، در حالی که معمولاً در دیواره کانال، روش MPM بهتر از VDM تنش برشی را برآورد می‌کند. از ویژگی‌های روش MPM، پیش‌بینی تنش صفر در گوشه کانال می‌باشد. در این روش برای نمونه در کانال آزمایشگاهی FCF-04 خطا در دیواره ۴۴ درصد بیشتر از بستر کانال می‌باشد و در نزدیکی گوشه‌ها بیش‌ترین اختلاف مشاهده می‌شود که به‌دلیل در نظر نگرفتن جریان‌های ثانویه می‌باشد. همچنین مقایسه نتایج توزیع عرضی تنش برشی به‌دست آمده از روش SKM و مقادیر آزمایشگاهی نشان می‌دهد که اگر دو پارامتر  $f$  و  $\Gamma$  صحیح انتخاب شوند، SKM می‌تواند توزیع تنش برشی را به درستی تخمین بزند. به‌طور کلی، متوسط خطای نسبی روش‌های SKM، MPM و VDM برای محاسبه تنش برشی در کانال‌های آزمایشگاهی مورد مطالعه در این پژوهش به ترتیب ۸، ۱۴ و ۱۸ درصد محاسبه شد. این نتایج تأیید می‌کند که در نظر گرفتن اثر جریان‌های ثانویه ضروری است.

## منابع

1. Abril, J.B., and Knight, D.W. 2004. Stage-discharge prediction for rives in flood applying a depth-averaged model. J. Hydr. Res. 42: 6. 616-629.
2. Babaeyan-Koopaei, K., Ervine, D.A., and Pender, G. 2002. Field measurements and flow modeling of overbank flows in River Severn, U.K. J. Environ. Inf. 1: 1. 28-36.
3. Guo, J., and Julien, P.Y. 2005. Shear stress in smooth rectangular open channel flow. J. Hydraul. Eng. ASCE. 131: 1. 30-37.
4. Kean, J.W., Kuhnle, R.A., Smith, J.D., Alonso, C.V., and Langendoen, E.J. 2009. Test of a method to calculate near-bank velocity and boundary shear stress. J. Hydr. Eng. ASCE. 135: 7. 588-601.
5. Khodashenas, S.R., and Paquier, A. 1999. A geometrical method for computing the distribution of boundary shear stress across irregular straight open channel. J. Hydr. Res. 37: 3. 381-388.
6. Knight, D.W., Demetriou, J.D., and Hamed, M.E. 1984. Boundary shear in smooth rectangular channels. Agric. Water Manage. 11: 4. 405-422.
7. 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.

8. Lane, E.W. 1953. Progress report on studies on the design of stable channels by the bureau of reclamation. Proc. ASCE. 280: 79. 1-30.
9. Shiono, K., and Knight, D.W. 1988. Two dimensional analytical solution for a compound channel, P 503-510. 3<sup>rd</sup> International symposium on refined flow modeling and turbulence measurements. Japan.
10. Shiono, K., and Knight, D.W. 1991. Turbulent open channel flows with variable depth across the channel. J. Fluid Mech. 222: 617-646.
11. Yang, S.Q., and Lim, S.Y. 2002. A geometrical method for computing the distribution of boundary shear stress across irregular straight open channels. J. Hydr. Res. 40: 3. 535-542.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(5), 2015*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

### Short Technical Report

## Comparison of methods for estimating shear stress distribution in width of open channels

**F. Houshmandi<sup>1</sup>, \*A.R. Zahiri<sup>2</sup>, A.A. Deghani<sup>2</sup> and M. Meftah Halaghi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Water Structure, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 08/13/2013; Accepted: 06/01/2014

### Abstract

The shear stress is used in many sediment transport equations, turbulence models, identification of stable river reaches, river bed and bank erosion and river morphology studies. Furthermore, shear stress distribution along river bed and banks is essential for forecasting changes of river geometry. Unfortunately, in spite of great importance of shear stress, direct measurement of this parameter in the rivers is very difficult, especially during flood, hence researchers have proposed indirect methods to calculate the shear stress. In this study, three methods have been used for predicting lateral distribution of boundary shear stress in open channels and their results were compared with experimental data in the cases of simple and compound channels. The results show that the quasi-two dimensional model of Shiono and Knight (SKM) by considering the secondary flow effect is more accurate than the merged perpendicular method (MPM) and vertical depth method (VDM). The average relative errors of the SKM, MPM and VDM for prediction of the shear stress in laboratory simple and compound channels are calculated as 8, 14 and 18 percent, respectively.

**Keywords:** Boundary shear stress, Quasi-two dimensional mathematical model, Compound channels, Secondary flow

---

\* Corresponding Author; Email: [f\\_houshmandi@yahoo.com](mailto:f_houshmandi@yahoo.com)

