

## بررسی تاثیر شیب بر جریان‌های ثانویه در مقاطع مرکب با استفاده از مدل دو بعدی مومنتم در عرض

کاوه بیجاد<sup>1</sup>، صلاح کوچک‌زاده<sup>2\*</sup> و سیدعلی ایوب‌زاده<sup>3</sup>

<sup>1</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد تاسیسات آبیاری دانشگاه تربیت مدرس، <sup>2</sup> استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

<sup>3</sup> دانشیار گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: 1384/10/24 - تاریخ تصویب: 1389/1/24)

### چکیده

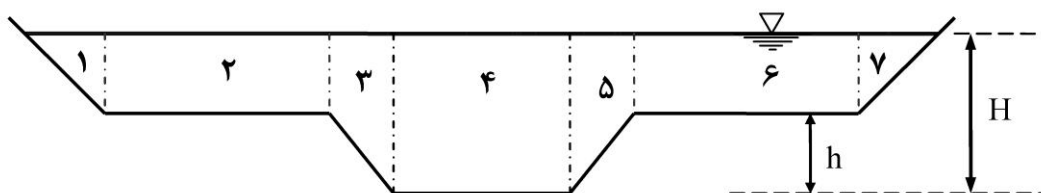
بررسی جریان‌های ثانویه به دلیل تأثیری که بر هیدرولیک جریان دارند، مهم هستند. علیرغم ناچیز بودن جریان‌های ثانویه نسبت به جریان‌های پایه به دلیل تأثیر بر مقاومت جریان به خصوص در مقاطع مرکب مطالعه آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. منشاء اصلی این جریان‌ها از تفاوت تنش برشی بین لایه‌های سیال است. در مقاطع مرکب به دلیل تفاوت سرعت جریان بین کانال اصلی و کرانه سیلابی، تنش برشی در داخل لایه‌های سیال به وجود می‌آید که باعث شکل‌گیری جریان‌های ثانویه‌ای در این ناحیه می‌شود. در مقاله حاضر با استفاده از اندازه‌گیری سرعت متوسط عمقی جریان در عرض‌های مختلف و همچنین تخمین سرعت متوسط عمقی با استفاده از یک مدل دو بعدی متوسط‌گیری شده در عمق، اقدام به واسنجی ضریب جریان‌های ثانویه شده است. نتایج نشان داد با تغییر شیب مقدار جریان‌های ثانویه در حدود 1/2 تا 1/8 ثابت است و لزوجت گردابی نیز تقریباً در محدوده 0/08 تا 0/18 ثابت است و شیب تأثیر قابل توجهی بر مقدار جریان‌های ثانویه ندارد.

**واژه‌های کلیدی:** تخمین دبی سیل، جریان‌های ثانویه، مهندسی رودخانه، مقاطع مرکب

### مقدمه

رودخانه‌ها به ویژه آن‌هایی که در مناطق آبرفتی جریان دارند. معمولاً شامل یک مجرای عمیق اصلی با جریان مداوم و یک یا دو پهنه سیلابی عرض هستند که غالباً خشک بوده و تنها در زمان وقوع سیل، در آنها آب جریان می‌یابد. چنین مقطعی مرکب نامیده می‌شوند. دشت‌های سیلابی معمولاً پوشیده از گیاه بوده و ضریب زبری بیشتری نسبت به مقطع اصلی دارند. به دلیل شیب کم رودخانه‌های آبرفتی، در شرایط جریان سیلابی، عرض وسیعی از دشتهای سیلابی را آب فرا می‌گیرد. مقطع مرکب

رودخانه‌ای به فرم ساده آن در شکل (1) نشان داده شده است. در این شکل می‌توان سه ناحیه جریان برای مقاطع مرکب برشمرد. کانال اصلی که در شکل با شماره 4 مشخص شده است، دشت‌های سیلابی که شامل نواحی 2 و 6 می‌شود و نواحی مابین سواحل دشت سیلابی و دشت سیلابی و کانال اصلی با دشت سیلابی که شامل نواحی 1 و 7 در سواحل دشت سیلابی و 3 و 5 در سواحل کانال اصلی را ذکر کرد. (Myers, and Lyness, 1997; Bousmar, and Zech, 1999; Ayyoubzadeh, 1997).



شکل 1- مقطع مرکب و اجزای آن

رودخانه بوده و در اغلب مدل‌های رودخانه‌ای جهت تجزیه و تحلیل جریان‌های سیلابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد محاسبه یا برآورد رابطه دبی-اشل برای یک ایستگاه خاص از رودخانه، کاری آسان باشد، اما وقتی جریان وارد مقاطع سیلابی می‌شود، نظیر حالتی که در اغلب سیل‌ها اتفاق می‌افتد،

یکی از موارد مهم و معمول در مهندسی رودخانه، تعیین رقم سطح آب به ازاء یک دبی جریان سیلابی می‌باشد. رابطه دبی-اشل یک ابزار مهم و اساسی در طرح‌های مهندسی

مدلها فیزیک جریان در حالت سیلابی را با دقت بیشتری ارائه می‌کنند. در روشهای دوبعدی بر خلاف روشهای یک بعدی که تنها با یک پارامتر ضریب زبری مانینگ ارتباط دارند، باید سه پارامتر مرتبط با تنش برشی بستر، تنش عرضی و جریان ثانویه واسنجی یا کالیبره شوند. یکی از مهمترین و کاربردی ترین این روشها، روش شیونو-نایت می باشد که قابلیت خوبی در برآورد این مقادیر در مقاطع مرکب منظم و رودخانه ای داشته است. در این مقاله با استفاده از این مدل حل معادله ناویر استوکس متوسط گیری شده در عمق، هیدرولیک مقاطع مرکب در یک مقطع خاص ارائه می‌شود. (Knight, and Abril, 1996; Shiono, and Knight, 1990)

## مواد و روشها

### الف- مدل ریاضی

معادله ناویر- استوکس حرکت عمومی جریان را بیان می‌کند. وقتی که جریان اصلی یا غالب در یک جهت باشد (نظیر جریان در رودخانه‌ها) معادله مومنتوم در جهت طولی جریان برای یک المان کوچک موجود در سطح مقطع یک کانال روباز با جریان ماندگار و یکنواخت و با اغماض از تغییرات تنش های برشی ناشی از لزجت سینماتیکی سیال، بصورت زیر بیان می‌شود:

$$\left[ \frac{\partial(\rho \bar{u} \bar{v})}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \bar{u} \bar{w})}{\partial z} \right] = \rho g \sin \theta + \quad (I) \quad (II) \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} (-\rho \bar{u}'v') + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \bar{u}'w') \quad (III) \quad (IV)$$

که  $x, y, z$  به ترتیب جهت جریان، جهت عرضی و جهت قائم  $u, v, w$  مقادیر متوسط زمانی مؤلفه‌های سرعت جریان در جهات  $x, y, z$  و  $u', v', w'$  نوسانات لحظه ای سرعت جریان در جهات سه گانه ناشی از متلاطم بودن جریان نسبت به سرعت متوسط  $\rho$ ، جرم حجمی آب،  $g$  شتاب ثقل و  $\theta = \sin \theta$  شیب طولی بستر می‌باشند. ضمناً فرض می‌شود بستر رودخانه در مقطع عرضی افقی بوده و تنها در جهت طولی، شیبی برابر با  $\theta$  دارد. علامت بار بر روی سرعتها و تنش های برشی نشان دهنده متوسط زمانی این کمیتها می باشد. مفهوم فیزیکی ترم‌های معادله (1) عبارتند از:

$$(I) = \text{ترم جریان ثانویه،}$$

$$(II) = \text{مؤلفه وزن سیال در جهت طولی جریان،}$$

محاسبه بده جریان کل مقطع، بده جریان مقطع اصلی و مقاطع سیلابی چالش جدی محسوب می‌شود. بررسی‌ها نشان داده که فرض یک بعدی بودن جریان در این حالت موجب تخمین نادرست دبی سیلابی در مقاطع مرکب می‌شود. (Haidera, and Valentine, 2002).

تا زمانی که جریان در مقطع اصلی جاری است و عمق آب از مقدار  $h$  در شکل 1 کمتر است، می توان پارامترهای جریان را با دقتی مناسب از طریق روابط مقاومت جریان نظیر شزی، هیزن ویلیام، مانینگ و... بپست آورد. با افزایش تدریجی عمق آب از مرز لبریزی و خیس شدن مقاطع کناری، دو ناحیه متمایز با اعماق و ضرایب زبری و نیز تغییر قابل ملاحظه شکل مقطع به وجود می‌آید. این اختلاف عمق آب و ضریب زبری باعث می‌شود که سرعت در مقطع اصلی بیشتر از مقاطع کناری باشد. این تفاوت منجر به ایجاد یک تنش برشی اضافی در ناحیه اتصال مقطع اصلی و سیلابی شده که مهمترین نتیجه آن کاهش قابل توجه دبی جریان در مقطع می باشد. این پدیده را تداخل جریان یا اثر متقابل می‌گویند. مطالعات صورت گرفته در این گونه مقاطع نشان می‌دهد که اثر متقابل مقطع اصلی با مقاطع سیلابی در حالتی که عمق آب در کرانه‌های مقطع سیلابی کم و ضریب زبری آن زیاد باشد، حداکثر میزان خود را داراست. تنش برشی اضافی باعث می‌شود تا تخمین ظرفیت جریان در مقاطع مرکب با خطا همراه باشد (Ackers, 1993; Ervine, et al. 2000)

مدلهای دو بعدی جریان در مقاطع مرکب در بعضی شرایط نظیر تعیین دبی‌های جزئی، توزیع سرعت و تنش برشی که تعیین آنها در مطالعات مربوط به احداث سازه‌های هیدرولیکی، پدیده‌های انتقال رسوب، فرسایش جداره ها و نیز موارد مربوط به طراحی کانالهای پایدار که از اهمیت خاصی برخوردار است، کارائی مطلوبی دارند. مدل‌های دوبعدی قادر به محاسبه توزیع عرضی سرعت و تنش برشی هستند. با استفاده از توزیع سرعت، دبی‌های جزئی و در نتیجه دبی کل جریان قابل محاسبه خواهند بود. مدل‌های دو بعدی مختلفی ارائه شده اند از جمله روش تحلیلی شیونو-نایت، روش وارک، روش لامبرت-سلین که اساس همه آنها متوسط گیری از عمق در معادله ناویر- استوکس به فرم متوسط در عمق می باشد. (Knight, et al. 1989; Lambert, and Sellin, 1996; Lambert, and Myers, 1998).

این مدلها که بر اساس معادلات ناویر- استوکس است قادر به برآورد تنش برشی بستر که معمولاً ترم مهم اغلب معادلات هیدرولیکی است و همچنین شامل تنش برشی عرضی (تنشهای رینولدز) و جریانهای ثانویه نیز می باشد. در نتیجه این

عمق ثابت ( $s = \infty$ )، منجر به حل ذیل برای تعیین سرعت جریان بصورت تابعی از موقعیت عرضی آن در کانال خواهد شد:

$$u_d = \left[ A_1 e^{\gamma y} + A_2 e^{-\gamma y} + \frac{8gS_0 H}{f} (1 - \beta_s) \right]^{1/2} \quad (4)$$

و برای نواحی با عمق یا شیب جانبی متغیر ( $0 < s < \infty$ ):

$$u_d = \left[ A_3 Y^{\alpha_1} + A_4 Y^{-\alpha_2} + \omega Y + \eta \right]^{1/2} \quad (5)$$

که:

(6)

$$\gamma = \left( \frac{2}{\lambda} \right)^{1/2} \left( \frac{f}{8} \right)^{1/4} \frac{1}{H}$$

$$\alpha_1 = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{s\sqrt{1+s^2}}{\lambda} \sqrt{8f} \right\}^{1/2}$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 1, \beta_s = \frac{\Gamma}{\rho g H S_0}$$

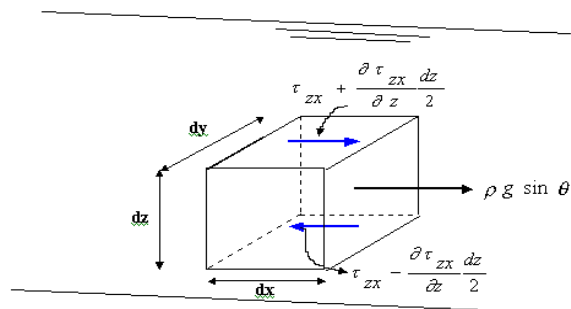
$$\eta = -\frac{\Gamma}{\frac{(1+s^2)}{s} \left( \frac{f}{8} \right) - \frac{\lambda}{s^2} \left( \frac{f}{8} \right)^{1/2}}$$

$$\omega = \frac{gS_0}{\frac{\sqrt{1+s^2}}{s} \frac{f}{8} - \frac{\lambda}{s^2} \sqrt{\frac{f}{8}}}$$

که ( $A_4, A_3, A_2, A_1$ ) مقادیر ثابت هستند و ( $\lambda$ ) ضریب

بدون بعد لزجت گردابی، ( $\Gamma$ ) ضریب بی‌بعد حاصل از جریان‌های ثانویه و مقدار  $Y$  تابع عمق جریان در نواحی با شیب جانبی است. این مقدار در ناحیه شیب جانبی مقطع اصلی بصورت زیر قابل محاسبه است:

$$Y = H - ((y - b)/s) \quad (7)$$



شکل 2- تنش‌های برشی رینولدز در جهت جریان

### ب - مدل آزمایشگاهی

مدل فیزیکی مورد استفاده فلوم آزمایشگاهی با مقطع مرکب که از نظر مقیاس و اندازه در محدوده فلوم‌های بزرگ مقیاس قرار می‌گیرد. (شکل 3) سکوی اصلی فلوم محلی برای استقرار کانال با مقطع مرکب و ملحقات آن است که در عین حال قابلیت تغییر شیب فلوم به صورت خودکار وجود دارد. سکوی سه

(III) = ترم گرادیان جانبی تنش برشی رینولدز بر سطح قائم و در جهت طولی جریان و

(IV) = ترم گرادیان قائم تنش برشی رینولدز بر سطح افقی.

بدلیل اینکه مهندسين هیدرولیک غالباً و در عمل با

اندازه‌گیری کمیت‌ها بصورت یک یا دوبعدی سروکار دارند بنابراین به دلیل اهمیت توزیع عرضی پارامترها در رودخانه‌ها که اندازه‌گیری‌های میدان سرعت و نمونه برداری سرعت بر اساس تقسیم قائم مقطع جریان و در اعماق مختلف برای رسیدن به یک متوسط عمقی صورت می‌گیرد، لذا انتگرال‌گیری نسبت به عمق مناسب‌تر بوده و بنابراین می‌توان به فرم دوبعدی متوسط در عمق (Depth-Averaged Equation) معادله (1) رسید.

در شرایط جریان ماندگار و یکنواخت در یک کانال مرکب که مقطع عرضی آن در شکل (1) نشان داده شده است و با صرفنظر کردن از اثر جریانهای ثانویه (ترم I در معادله (1))، معادله ناویر-استوکس برای یک ذره سیال درون کانال که در آن نیروهای برشی وارده به سطح ذره مایع به شکل مکعب مستطیل با نیروی وزن المان در جهت جریان در حال تعادل می‌باشند (شکل (2)) به شکل ساده شده ذیل در می‌آید: (Shiono, and Knight, 1990)

$$\rho g \sin \theta dx dy dz + \frac{\delta \tau_{zx}}{\delta z} dz dx dy + \frac{\delta \tau_{yx}}{\delta y} dy dx dz = 0 \quad (2)$$

تنش برشی رینولدز، در جهت  $z$  و بر صفحه‌ای عمود بر جهت  $x$  می‌باشد. این تنشها ناشی از نیروهای اصطکاکی بستر و جداره‌های کانال می‌باشند. البته لازم به ذکر است که در بعضی شرایط اثر جریانهای ثانویه مهم بوده و طرف راست معادله (2) برابر صفر نخواهد شد و برای وارد کردن این مقدار در روابط آنرا به صورت ضریبی از تنش نیروی اصطکاک بستر در نظر می‌گیرند (مقدار طرف راست رابطه ذیل). به منظور تعیین توزیع عرضی پارامترها، از معادله فوق نسبت به عمق  $H$  انتگرال گرفته و به معادله جریان موسوم به معادله متوسط در عمق خواهیم رسید.

$$\rho g H S_0 \tau_b \sqrt{1 + \frac{1}{s^2}} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{\lambda H^2}{2} \left( \frac{8}{f} \right)^{1/2} \frac{\partial \tau_b}{\partial y} \right\} = \beta_s \rho g H S_0 \quad (3)$$

که در آن  $H$  عمق جریان،  $f$  ضریب زبری دارسی-وایسباخ، تنش برشی بستر و ضریب بی‌بعد جریان ثانویه می‌باشد. در نهایت معادله (3) را می‌توان به کمک شرایط مرزی مناسب حل کرد. در این حالت، حل معادله دیفرانسیل مذکور برای نواحی با

### آزمایش‌ها و برداشت الگوهای سرعت

در مقاطع مرکب با توجه به شکل مقطع و نیز به دلیل تنشهای موجود در داخل جریان به خصوص در محل اتصال کانال اصلی به کرانه سیلابی، برای بررسی هیدرولیک جریان لازم است نحوه توزیع خطوط هم‌سرعت یا الگوهای جریان در این مقاطع مشخص شود لذا اقدام به اندازه‌گیری سرعت در مقطع عرضی شکل (4) شد. طرح انجام آزمایشها بر اساس افزایش عمق نسبی و کاهش شیب بستر کانال انجام شد. بر اساس این طرح آزمایش پنج شیب و سه عمق نسبی برای انجام آزمایشها در نظر گرفته شد. جدول (1) نشان دهنده طرح آزمایشها و مشخصات هر آزمایش می‌باشد در این جدول ستون اول نام آزمایش و ستون دوم شیب بستر است. پارامتر  $H$  برابر عمق انجام آزمایش و  $Dr$  عمق نسبی متناظر با عمق آزمایش است. سه ستون بعدی به ترتیب دبی قرائت شده روی سرریز، دبی محاسبه شده از سرعت و مقدار خطا دبی محاسبه شده به دبی قرائت شده می‌باشد. اندازه‌گیری سرعت با استفاده از یک میکرومولینه انجام شد. برای برداشت سرعت به دلیل تقارن عرضی مقطع مرکب اندازه‌گیری فقط در یک طرف خط تقارن مرکزی انجام شد. نمونه‌برداری از داده‌های سرعت براساس یک شبکه‌بندی از پیش تعیین شده صورت گرفت. در این شبکه فاصله عرضی نقاط از یکدیگر 5 سانتیمتر و ارتفاع آن 2 سانتیمتر بود. برای برداشت داده‌ها ابتدا عمق نرمال در مقطع مرکب ایجاد شده و سپس با استفاده از میکرومولینه و با مماس کردن انتهای آن با بستر کانال اولین داده سرعت قرائت شد سپس قرائتهای بعدی با افزایش ارتفاعی معادل 0/3، 0/4 و 0/6 سانتیمتر از ارتفاع قبلی برداشت شد. در مراحل بعدی قرائت سرعت در فاصله‌های 2 سانتیمتری صورت گرفت. این عمل تا مماس شدن لبه بالایی میکرومولینه با سطح آب انجام شد. بعد از برداشت یک پروفیل سرعت، با انتقال عرضی میکرومولینه به اندازه 5 سانتیمتر مراحل قبلی دوباره تکرار شد. این عمل تا آخرین مرحله نمونه‌برداری سرعت که در خط مرکزی جریان بود ادامه یافت. شکل‌های (5 تا 7) الگوی خطوط هم‌سرعت جریان در شیب 0/00028 و عمق‌های نسبی 0/15، 0/20 و 0/25 را نشان می‌دهد. با انتگرال‌گیری از رویه حاصل از پروفیل سرعت در فلوم مقدار دبی محاسباتی بدست آمد که در جدول (1) این مقادیر قید شده است.

### بررسی الگوهای سرعت

با بررسی الگو سرعت ترسیم شده در مقطع مرکب ابتداء در عمق نسبی 0/15 گسترش خطوط هم‌سرعت از داخل کانال اصلی به سمت کرانه سیلابی مشاهده می‌شود سپس با افزایش عمق و رسیدن به عمق نسبی 0/2 مانند حالت قبل گسترش خطوط جریان از سمت کانال اصلی به داخل کرانه سیلابی مانند حالت قبل مشاهده می‌شود با دقت بیشتر در خطوط هم‌سرعت جریان بویژه در محل اتصال کانال اصلی به کرانه سیلابی اندکی

تکیه‌گاه استوار شده که متشکل از یک تکیه‌گاه مفصلی در بالادست و دو تکیه‌گاه با قابلیت جابجایی در وسط و در انتهای سکو می‌باشد. تغییرات شیب سکو به گونه‌ای است که محدوده وسیعی از شیب‌های معکوس (شیب منفی) تا شیبهای مثبت را پوشش می‌دهد. تغییرات پایه انتهایی نسبت به تکیه‌گاه ثابت واقع در ابتدای فلوم از 0/18+ تا 0/45- متر است و فاصله دو تکیه‌گاه برابر 11/95 متر است. لذا محدوده شیب آزمایشهای قابل انجام با تغییر ارتفاع پایه‌ها در محدوده  $(\frac{0/18}{11/95} < s_0 < \frac{0/45}{11/95})$  مورد نظر امکان پذیر است.

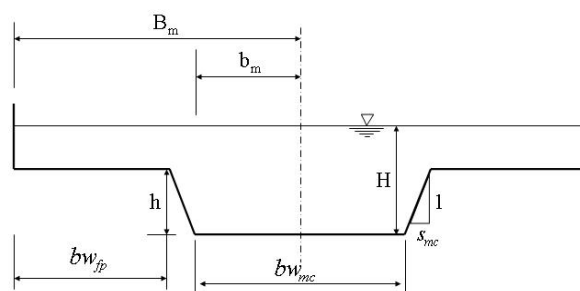
### مقطع مورد مطالعه

در این تحقیق از یک فلوم آزمایشگاهی با مقطع مرکب متقارن استفاده شده است. که شامل یک کانال اصلی و دو کرانه سیلابی است. مقطع عرضی مورد استفاده و پارامترهای هندسی آن در شکل (4) نشان داده شده است.

در این مقطع عرضی همان‌گونه که مشاهده می‌شود شیب جانبی دیواره کرانه سیلابی قائم است و شیب جانبی کانال اصلی (0/5 به 1) می‌باشد عرض بستر کرانه سیلابی  $(b_{w_{mc}})$ ، 0/45 متر و عرض کف کانال اصلی  $(b_{w_{fp}})$ ، 0/55 متر است. مقدار اختلاف ارتفاع کف کانال اصلی از کف بستر سیلابی  $(h)$ ، 0/2 متر و حداکثر ارتفاع  $(H)$  از کف برابر 0/4 متر می‌باشد. عرض کل فلوم برابر 1/85 متر است و فاصله کف از مرکز در کانال اصلی و مقطع سیلابی به ترتیب برابر 0/275 و 0/825 متر می‌باشد. مقدار عرض نسبی  $(\frac{B_m}{b_m})$  برابر 3 می‌باشد.



شکل 3- فلوم آزمایشگاهی



شکل 4- مقطع عرضی فلوم آزمایشگاهی

کانال اصلی به علت افزایش تنش در این ناحیه از جریان است. این افزایش تنش در این ناحیه باعث بوجود آمدن جریان‌هایی در این ناحیه می‌شوند که به نام جریان‌های ثانویه شناخته می‌شوند که بر روی خطوط جریان غالب (جهت جریان) تاثیر می‌گذارد.

کاهش سرعت دیده می‌شود که در عمق نسبی 0/25 این کاهش سرعت به نحو بارزی قابل تشخیص است به طوری که در این عمق در قسمتی از جریان در کرانه سیلابی خطوط جریان از جریان در کانال اصلی جدا شده و یک منحنی بسته جریان (کانال جریان) مستقل از کانال اصلی در کرانه سیلابی بوجود می‌آید. دلیل عمده آن کاهش سرعت در محل اتصال کرانه به

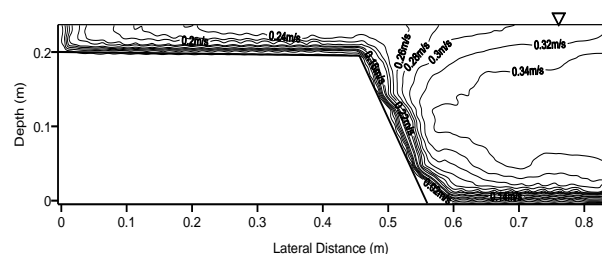
جدول 1- طرح انجام آزمایش‌ها و مقایسه دبی قرائت شده و دبی محاسبه شده از سرعت

| نام آزمایش | شیب     | عمق جریان | عمق نسبی | دبی مشاهده‌ای | دبی محاسباتی | طا    |
|------------|---------|-----------|----------|---------------|--------------|-------|
| T28B0903   | 0/00028 | 0/235     | 0/1489   | 0/054         | 0/0533       | 1/31% |
| T28C0908   | 0/00028 | 0/25      | 0/2      | 0/0627        | 0/0608       | 3/17% |
| T28D0911   | 0/00028 | 0/264     | 0/2424   | 0/0723        | 0/0716       | 0/98% |
| T23B0922   | 0/00023 | 0/238     | 0/1597   | 0/047         | 0/0522       | 9/95% |
| T23C0926   | 0/00023 | 0/25      | 0/2      | 0/0548        | 0/0554       | 1/08% |
| T23D0930   | 0/00023 | 0/27      | 0/2593   | 0/0786        | 0/0755       | 4/19% |
| T19B1007   | 0/00019 | 0/236     | 0/1525   | 0/047         | 0/048        | 2/00% |
| T19C1011   | 0/00019 | 0/25      | 0/2      | 0/0563        | 0/052        | 8/27% |
| T19D1014   | 0/00019 | 0/266     | 0/2481   | 0/075         | 0/0752       | 0/27% |
| T14B1021   | 0/00014 | 0/236     | 0/1525   | 0/0438        | 0/0479       | 8/56% |
| T14C1025   | 0/00014 | 0/25      | 0/2      | 0/0542        | 0/0519       | 4/55% |
| T14D1029   | 0/00014 | 0/272     | 0/2647   | 0/0699        | 0/071        | 1/57% |
| T10B1108   | 0/0001  | 0/235     | 0/1489   | 0/0315        | 0/032        | 1/62% |
| T10C1111   | 0/0001  | 0/25      | 0/2      | 0/0425        | 0/0434       | 2/00% |
| T10D1123   | 0/0001  | 0/266     | 0/2481   | 0/0602        | 0/0596       | 1/12% |

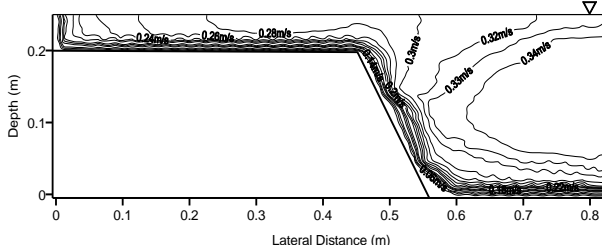
#### واسنجی مدل دو بعدی در مقطع مرکب:

از متوسط‌گیری سرعت‌های نقطه‌ای در هر عمق با توجه به مشخصات هندسی و هیدرولیکی مقطع مرکب که به آنها اشاره شد سرعت متوسط عمقی بدست آمد. همچنین با استفاده از مدل دو بعدی شیونو- نایت و با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای ترم جریان‌های ثانویه در مدل و با استفاده از روش حداقل مربعات، مقدار سرعت متوسط عمقی اندازه‌گیری شده با سرعت بدست آمده از روش دو بعدی شیونو- نایت برازش داده شد. سرعت متوسط در مدل عددی با مدل آزمایشگاهی واسنجی شد (Knight, et al. 1989).

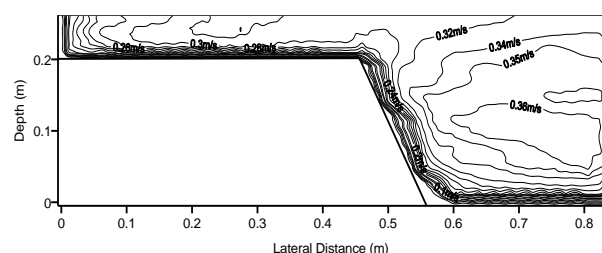
برای واسنجی مدل دو بعدی در مقطع لازم است که پارامترهای هیدرولیکی دیگری غیر از ضریب اصطکاک مورد استفاده قرار گیرند که عبارتند از ضریب زبری دارسی و ایسباخ، ضریب بدون بعد لزجت گردابی ( $\lambda$ ) و ضریب بی بعد حاصل از جریان‌های ثانویه ( $\Gamma$ ) است. بر اساس واسنجی آبریل بر داده‌های مرکز تحقیقات سیل انگلستان روابط زیر بدست آمد که در مدل مورد استفاده قرار گرفتند. این روابط عبارتند از (Shiono, and Knight, 1991; Abril, 2002)



شکل 5- توزیع خطوط هم‌سرعت در عمق نسبی 0/15



شکل 6- توزیع خطوط هم‌سرعت در عمق نسبی 0/20



شکل 7- توزیع خطوط هم‌سرعت در عمق نسبی 0/25

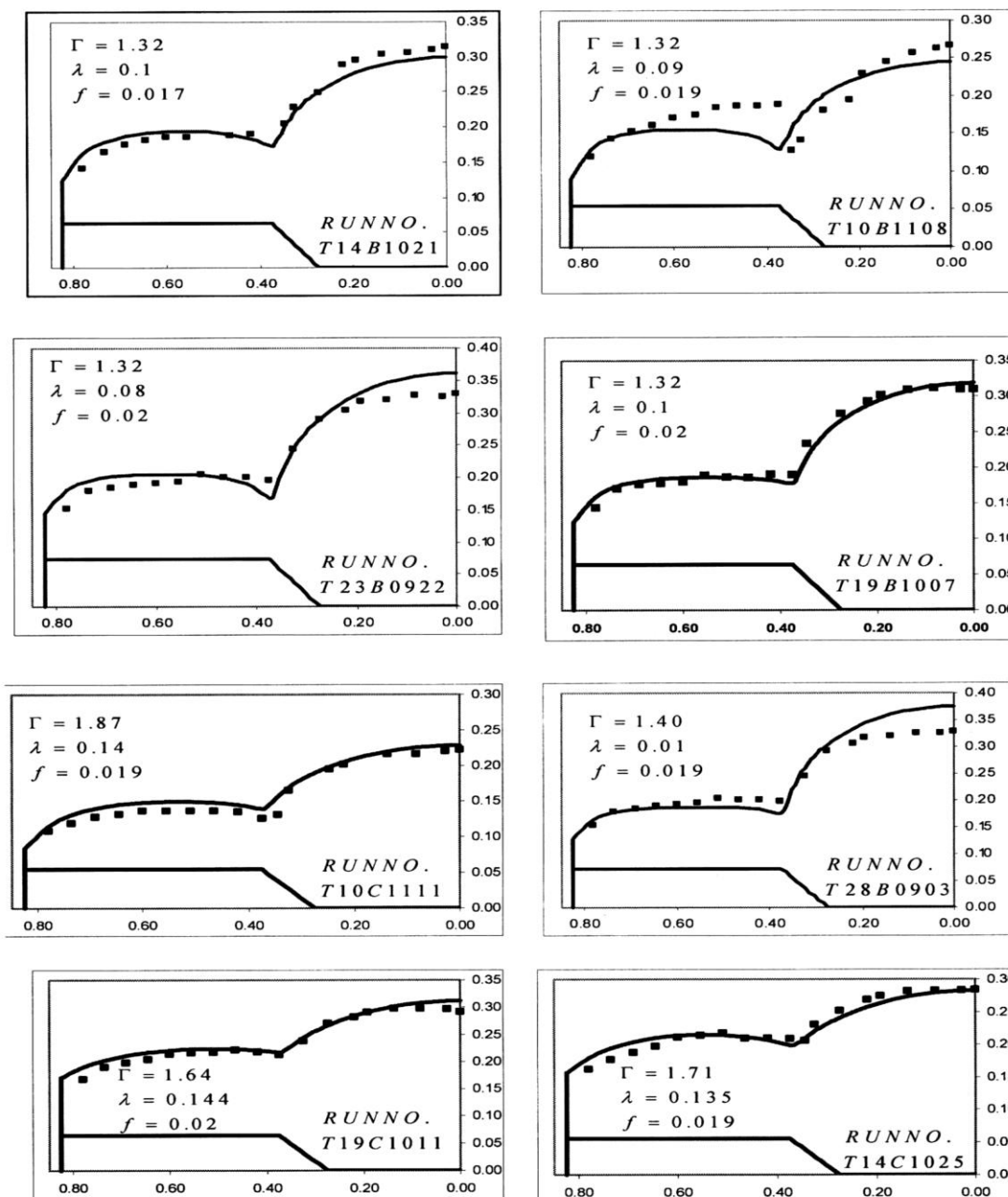
تعداد پارامترهای مورد استفاده در مقطع مرکب می‌شود. پس از اعمال ضرایب مورد نیاز برای مدل دو بعدی در مقطع با استفاده از روش حداقل مربعات مقادیر سرعت بدست آمده از مدل دو بعدی بوسیله تغییر کمیت جریان ثانویه مقطع اصلی برازش داده شد. حداکثر مقدار خطا در حد  $0/2$  درصد برای برازش مقدار سرعت بدست آمده از مدل و داده اندازه‌گیری شده پذیرفته شد. شکل 8 نشان‌دهنده مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده سرعت می‌باشد.

$$\text{and } f_f = f_c R_f \quad \lambda_f = \lambda_c R_\lambda \quad (8)$$

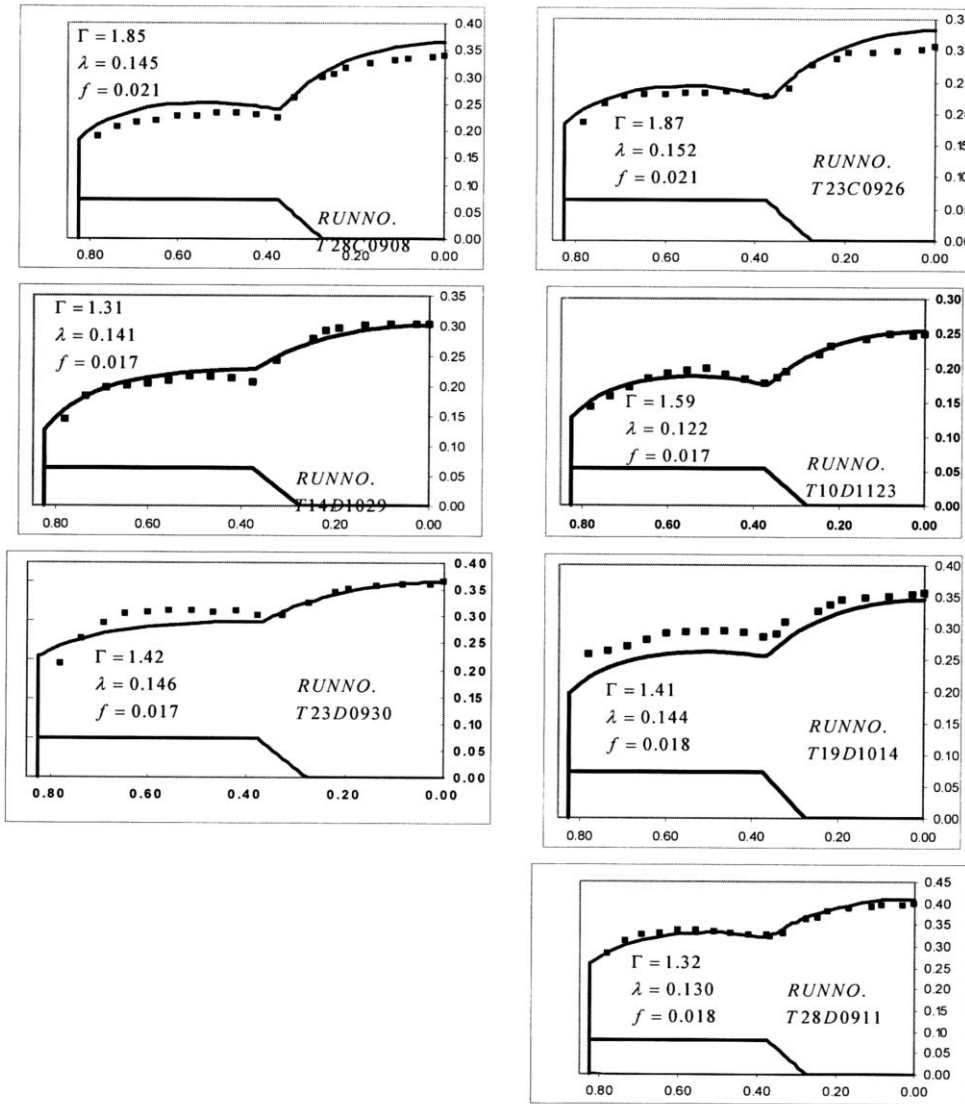
$$R_f = R_n^2 (0.669 + 0.331 D r^{-0.719}) \quad (9)$$

$$R_\lambda = -0.2 + 1.2 D r^{-1.44} \quad (10)$$

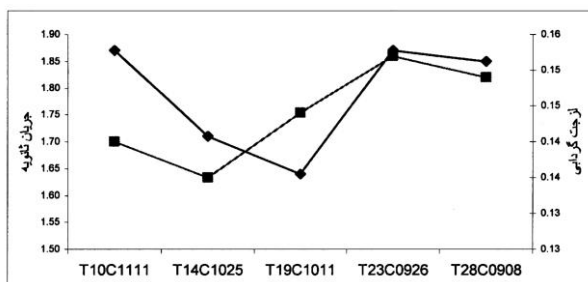
در روابط فوق  $R_f$  معرف ضریب تبدیل مقدار ضریب اصطکاک داری و ایسباخ کانال اصلی به کرانه سیلابی و  $R_\lambda$  بیانگر ضریب تبدیل لزوجت گردابی کانال اصلی به کرانه سیلابی است. استفاده از روابط ارائه شده توسط آبریل باعث کاهش



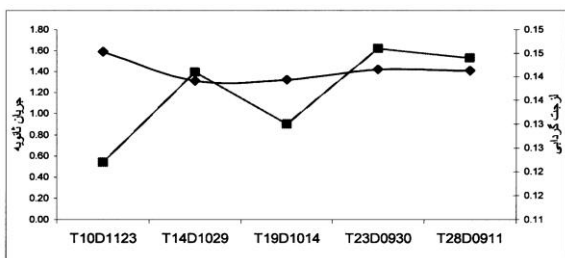
شکل 8- مقایسه توزیع سرعت متوسط عمقی و خروجی مدل دوبعدی شیونو- نایت



ادامه شکل 8- مقایسه توزیع سرعت متوسط عمقی و خروجی مدل دوبعدی شیونو- نایت

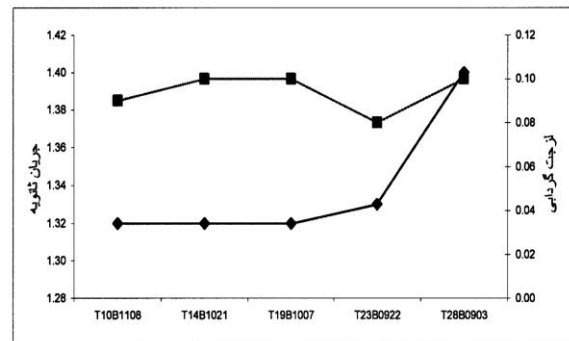


شکل 10- واسنجی لزجت گردابی ( $\lambda$ ) و جریانهای ثانویه ( $\Gamma$ ) در شیبهای مختلف در عمق نسبی 0/20



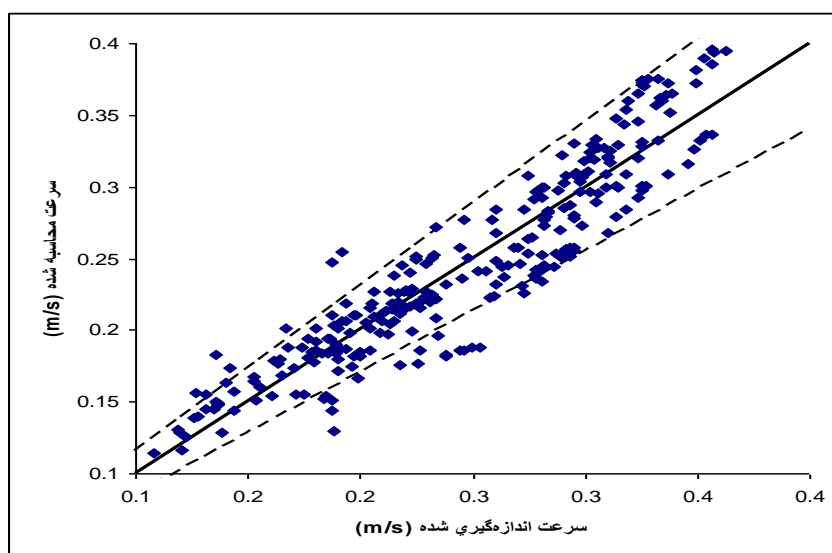
شکل 11- واسنجی لزجت گردابی ( $\lambda$ ) و جریانهای ثانویه ( $\Gamma$ ) در شیبهای مختلف در عمق نسبی 0/25

پس از برازش تمامی داده‌های سرعت با استفاده از سرعت‌های متوسط عمقی اندازه‌گیری شده و مدل مقدار جریان ثانویه و لزجت گردابی متناظر برای حداقل کردن مقدار خطا در هر آزمایش بدست آمد که متناظر با هر عمق نسبی در شکل‌های 9 تا 11 ترسیم گردید.



شکل 9- واسنجی لزجت گردابی ( $\lambda$ ) و جریانهای ثانویه ( $\Gamma$ ) در شیبهای مختلف در عمق نسبی 0/15

بیشتری بر پارامترهای جریان دارد و با تغییر عمق نسبی تفاوت مقادیر لزجت گردابی و جریان‌های ثانویه مشهودتر است. برای بررسی بیشتر داده‌های فوق یکی از آزمایشها در هر عمق نسبی حذف سپس از آزمایشهای دیگر میانگین گرفته شد و نهایتاً مقدار متوسط لزجت گردابی و جریان ثانویه برای محاسبه مورد استفاده قرار گرفت نتایج نشان داد که در عمق نسبی 0/15 مقدار خطا نسبت به مقدار بهینه سازی شده برابر 1 درصد و در عمق نسبی 0/20 مقدار خطا نسبت به مقدار بهینه سازی شده برابر 2/2 درصد که در عمق نسبی 0/25 مقدار خطا نسبت به مقدار بهینه سازی شده برابر 2/8 درصد می‌باشد که متضمن دقت مناسب مقادیر برآورد شده می‌باشد. همچنین برای نشان دادن دقت محاسبات نسبت به سرعت اندازه‌گیری شده مقدار سرعت اندازه‌گیری شده در محور x و مقدار سرعت محاسباتی در محور y ترسیم شده است خط بهترین انطباق و خطوط انحراف  $\pm 15\%$  نیز ارائه شده است.



شکل 12- مقایسه سرعت اندازه‌گیری شده و مشاهده شده

تکرار آزمایشها در اعماق نسبی متفاوت تحلیل دقیق تاثیر آن بر توزیع پارامترهای لزجت گردابی و جریانهای ثانویه و تعیین و تبیین روند تغییرات آن موکول به انجام آزمایشهای بیشتر است.

### سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته تاسیسات آبیاری دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد. تحقیق در آزمایشگاه مرکزی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران انجام شده است. بدینوسیله از دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه تهران که امکان انجام تحقیق را فراهم کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

در این شکلها محور عمودی لزجت گردابی حاصل از واسنجی مدل و داده‌های آزمایشگاهی است و محور افقی بیانگر نام آزمایش است. تاثیر شیب بر مقادیر لزجت گردابی در عمق‌های نسبی فوق تقریباً ثابت است از بررسی تاثیر تغییر عمق نسبی در محدوده آزمایشها این گونه استنباط می‌شود که ضریب لزجت گردابی با افزایش از عمق نسبی 0/15 تا 0/20 افزایش یافته است. سپس این ضریب تقریباً ثابت شده و لزجت گردابی در عمق 0/25 تغییر ناچیزی نسبت به عمق 0/20 دارد. متغیر دیگری که به همراه لزجت گردابی مورد بررسی قرار گرفت ضریب جریان‌های ثانویه جریان ( $\Gamma$ ) است. همانطور که در شکل‌های فوق مشخص است تغییرات جریان‌های ثانویه ( $\Gamma$ ) در مقابل تغییر شیب ثابت است و با تغییر شیب مقدار جریان ثانویه تغییرات ناچیزی دارد. از بررسی کلی تغییرات لزجت گردابی و جریان‌های ثانویه می‌توان این موضوع کلی را بیان کرد که تفاوت شیبها تاثیر چندانی بر پارامترهای فوق ندارند درحالی‌که عمق نسبی تاثیر

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بررسی مقاومت جریان با شیبهای مختلف در کانالهای با مقطع مرکب به علت شکل ویژه مقطع و تغییر مقاومت جریان دارای متغیرهای زیادی است که با استفاده از مدل‌های دوبعدی مومنتم در عرض می‌توان آن را تحلیل کرد. در تحقیق حاضر با استفاده از روابط مورد استفاده آبریل با ساده‌سازی کل مسئله محاسبه دو پارامتر لزجت گردابی و جریانهای ثانویه با استفاده از برازش مدل عددی و آزمایشگاهی انجام شد نتایج آزمایشها نشان داد در محدوده شیبهای انتخابی برای آزمایش توزیع این دو پارامتر مقدار ثابتی بوده و با تغییرات کم شیب در مقطع مرکب می‌توان یک مقدار ثابت برای آن را پذیرفت. به علت محدود بودن تعداد



## REFERENCES

- Abril, J. B. . (2002). Over bank flood routing analysis applying jointly variable parameter diffusion and depth averaged flow finite element models, Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Belgium, 4–6 September: 161–167.
- Ackers P., (1993). Flow Formulae for Straight Two-Stage Channels, Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 31, No. 4, pp 509-531.
- Ayyoubzadeh, S. A. (1997). "Hydraulic aspects of straight-compound channel flow and bed load sediment transport". PhD Thesis, The University of Birmingham, U.K
- Bousmar, D. and Zech, Y. (1999). Momentum transfer for practical flow computation in compound channels. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 125(7), 696–700.
- Ervine, D. A., Babaeyan-Koopaei, K. and Sellin, R. H. J. (2000). Two-Dimensional Solution for Straight and Meandering Overbank Flows. Journal of Hydraulic Engineering., ASCE, Vol. 126, No. 9, PP. 653–669.
- Haidera, M. A. and Valentine, E. M. (2002). A practical method for predicting the total discharge in mobile and rigid boundary compound channels. Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Belgium, 4–6 September: 153–160.
- Knight, D. W. , Shiono, K . and Pirt, J. (1989). "Prediction of depth mean velocity and discharge in natural rivers with overbank flow". International Conference Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine and River Waters. Bradford, England.
- 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, Paper 11017, Sep., Vol. 118: 151–159.
- Lambert, M.F. and Myers, R.C. 1998. Estimating the discharge capacity in straight compound channels. Engrs., Wat., Marit. and Energy, 130: 84–94.
- Lambert, M.F. and Sellin, R.H.J. 1996. Discharge Prediction in Straight Compound Channels Using The Mixing Length Concept. J. of Hydraulic Research, Vol. 34: 381–394.
- Myers, W.R.C. and Brennan E.K., 1990. "Flow Resistance in Compound Channels", Journal of Hydraulic Research, IAHR, 28, 141-155,
- Myers, W.R.C., and Lyness, J.F., (1997). "Discharge ratios in smooth and rough compound channels", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 123, HY3, No. 3, March, pp 182-188.
- Shiono, K. and Knight, D.W. (1988). "Two dimensional analytical solution for a compound channel". 3rd International Symposium on Refined Flow Modeling and Turbulence Measurements, 26-28 July .pp. 1-8.
- Shiono, K. and Knight, D.W. (1990). "Mathematical models of flow in two or multi stage straight channels". International Conferance on River Flood Hydraulics. 17-20 Sep.pp. 229-238.
- Shiono, K. and Knight, D.W., 1991. "Turbulent open channel flows with variable depth across the channel", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 222, pp 617-646