

## تخمین تراز سطح آب در کانال‌های مرکب با سیلابدشت‌های واگرا و همگرا

حجت الله یونسی<sup>۱</sup>، علی صمدی رحیم<sup>۲</sup>، حسن ترابی پوده<sup>۳</sup>، بابک شاهی نژاد<sup>۴</sup>

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۳/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳

مقاله پژوهشی

### چکیده

پیش‌بینی تراز سطح آب در مقاطع مرکب غیرمنشوری در تعیین حریم دشت‌های سیلابی در محدوده بازشدگی و یا تنگ‌شدگی و همچنین تعیین روابط دبی-اشل جریان رودخانه در طول سیلاب ضروری می‌باشد. در این تحقیق، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی برداشت شده از سه کانال مرکب با سیلابدشت‌های واگرا و همگرا در زوایای مختلف واگرایی و همگرایی، اعماق نسبی و نسبت‌های زبری متفاوت، به بررسی روابطی جهت برآورد تراز سطح آب در اینگونه مقاطع پرداخته شده است. حداکثر خطای نسبی روابط پیشنهادی برای اعماق نسبی کمتر از ۰/۴ در شرایط واگرایی و همگرایی ۱۳/۲۹ درصد و در اعماق نسبی بزرگتر از ۰/۴ و سیلابدشت‌های واگرا و همگرا در حدود ۱/۹۸ درصد می‌باشد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که تراز سطح آب در طول یک کانال مرکب غیرمنشوری واگرا با زوایای واگرایی متفاوت، با افزایش عمق نسبی افزایش یافته و در امتداد طول‌های همگرایی سیلابدشت این تراز کاهش می‌یابد. همچنین در محدوده آزمایشات انجام شده، تراز سطح آب در محدوده واگرایی (همگرایی) سیلابدشت تحت تأثیر عواملی همچون عمق نسبی و فاصله نسبی بوده و کمتر از زبری نسبی و زاویه واگرایی (همگرایی) تبعیت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تراز سطح آب، زوایای واگرایی و همگرایی، زبری نسبی، عمق نسبی، مقاطع مرکب غیرمنشوری.

<sup>۱</sup> استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. yonesi.h@lu.ac.ir (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری سازهای آبی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. alisamadirahim@yahoo.com

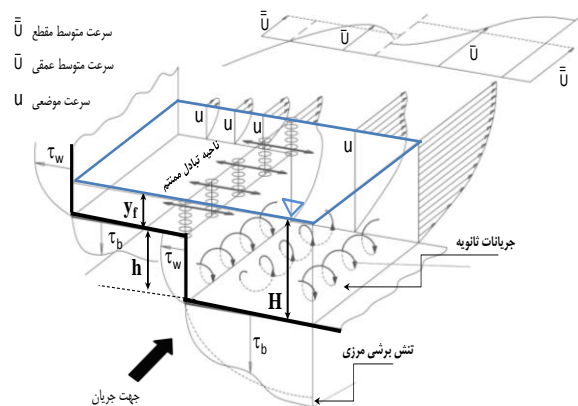
<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. torabi1976@gmail.com

<sup>۴</sup> استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. shahinejad.ba@lu.ac.ir



## مقدمه

کانال مرکب متشکل از یک کانال اصلی به همراه یک یا دو سیلابدشت است. کانال اصلی جریان‌های معمول و دبی پایه رودخانه را عبور داده و سیلابدشت‌ها نیز در مواقع سیلابی شدن رودخانه، جریان‌های لبریزی را انتقال می‌دهد. بررسی هیدرولیک جریان در کانال‌های مرکب به دلیل اندرکنش قوی بین جریان در کانال اصلی و سیلابدشت در نزدیکی منطقه اتصال<sup>۱</sup> که ناشی از اختلاف سرعت جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت است بسیار متفاوت‌تر از هیدرولیک جریان در مقاطع ساده می‌باشد. در این حالت، جریان‌های ثانویه به دلیل اختلاف سرعت جریان در کانال اصلی و سیلابدشت در سطح مشترک کانال اصلی و سیلابدشت تولید می‌شوند، که بخش زیادی از ممنتم جریان در این نواحی مصرف می‌شود (شکل ۱).



شکل (۱): وضعیت هیدرولیک جریان و انتقال ممنتم در کانال‌های مرکب

بسیاری از محققان هیدرولیک مقاطع منشوری شامل توزیع تنش برشی مرزی، نیروی برشی و نیروی برشی ظاهری و همبستگی بین عمق جریان با سرعت و دبی را مورد مطالعه قرار داده‌اند (Knight and Demetriou, 1983; Knight and Hamed, 1983; Myers, 1987). جریان ثانویه تولید شده در کانال مرکب توسط Shiono and Knight (1991) با فرض تغییر خطی سرعت در جهت عرضی<sup>۲</sup> (SKM) مدل‌سازی شده است.

$$\rho g H S_0 - \frac{1}{8} \rho f U_d^2 \left( 1 + \frac{I}{s^2} \right)^{1/2} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho \lambda H^2 \left( \frac{f}{8} \right)^{1/2} U_d \frac{\partial U_d}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left( H ( \rho \overline{UV} )_d \right) \quad (1)$$

که در آن:  $x, y$  به ترتیب جهت طولی و عرضی جریان،  $\rho$  چگالی سیال،  $g$  شتاب ثقل،  $H$  عمق جریان در کانال اصلی (متر)،  $S_0$  شیب کف کانال (متر به متر)،  $f$  ضریب زبری داری - ویسباخ (بدون بُعد)،  $U_d$  سرعت متوسط گیری شده در عمق (متر بر ثانیه)،  $s$  شیب دیواره جانبی کانال (متر به متر)،  $\lambda$  ضریب لزجت گردابه ای بدون بُعد،  $U, V$  سرعت جریان به ترتیب در راستای  $x, y$  (متر بر ثانیه) و  $T$  ترم جریان ثانویه می‌باشد.

Tominaga and Nezu (1991) ساختار سه بعدی آشفتگی را در زبری‌های بستر و هندسه‌های متفاوت کانال بررسی کردند. Cao et al. (2006) با استفاده از داده‌های کانال آزمایشگاهی در انگلستان<sup>۳</sup> (FCF)، رابطه‌ای را برای شار ممنتم و مقاومت جریان در کانال مرکب ارائه دادند، و با استفاده از فرضیات بوزینسک و داده‌های FCF، وابستگی ضریب انتقال ممنتم به نسبت عرض سیلابدشت به عرض کانال اصلی و عمق نسبی (نسبت عمق جریان بر روی سیلابدشت  $y_f$ ، به عمق کانال اصلی  $H$ ) را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به تغییرات سطح مقطع رودخانه‌ها (که اکثراً در سیلابدشت‌ها اتفاق می‌افتد) و اصطلاحاً غیرمنشوری بودن آنها، پیچیدگی تحلیل هیدرولیکی جریان‌های عبوری بیشتر خواهد شد. تغییر مقطع سیلابدشت سبب تغییر حالت جریان از یکنواخت به غیریکنواخت و در نتیجه تبادل ممنتم اضافی و تبادل آشفتگی بین کانال اصلی و سیلابدشت‌ها می‌شود.

Bousmar et al. و Bousmar and Zech (2004) (2006) با فرض جریان یکنواخت ماندگار، مدل توزیع عرضی<sup>۴</sup> را توسعه داده و آن را برای جریان غیریکنواخت بسط دادند. علاوه بر این، همچنین ایشان پیشنهاد دادند که ترم ثانویه به دو بخش ترم پراکندگی در جریان یکنواخت به علت جریان‌های ثانویه مارپیچ و ترم همرفت عرضی مربوط به انتقال جرم به علت غیرمنشوری بودن مقطع

۳ - Flood Channel Facility (FCF)

۴ - Lateral Distribution Method (LDM)

۱ - Junction region

۲ - Shiono and Knight Method (SKM)

لبریزی ( $\delta=b/h$ )، دو رابطه تجربی زیر را جهت برای پیش-بینی پروفیل سطح آب ارائه دادند.

(۳)

$$WSE = 0.25e^{-0.57X_r} \quad (Dr = 0.2, 0.25, 0.3)$$

(۴)

$$WSE = 0.40e^{-0.22X_r} \quad (Dr = 0.4, 0.5)$$

که در این روابط  $WSE$  تراز سطح آب (متر)،  $X_r$  طول نسبی واگرایی یا همگرایی است (بدون بُعد). این پارامتر عبارت است از نسبت فاصله از ابتدای محدوده واگرایی یا همگرایی ( $X$ ) به کل طول محدوده ( $L$ ) می‌باشد.

با توجه به لزوم تعیین تراز سطح آب در مقاطع مرکب غیرمنشوری به منظور برآورد تراز سطح آب و همچنین پهنه بندی سیلاب، در این تحقیق با استفاده از نتایج آزمایشگاهی Yonesi et al. (2013)، یونسی و همکاران (۱۳۹۴)، Naik and Khatua (2015) and Rezaei (2006) به بررسی اثرات پارامترهای فیزیکی همانند زبری، زوایای واگرایی و همگرایی سیلابدشت‌ها، عمق نسبی و ... بر تراز سطح آب در یک کانال مرکب با دو سیلابدشت پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

#### تشریح مدل‌های آزمایشگاهی

Naik and Khatua (2015) آزمایشات خود را در آزمایشگاه مکانیک سیالات و هیدرولیک دانشکده مهندسی عمران از موسسه ملی فناوری، رورکلا، هند انجام دادند. زبری سیلابدشت و کانال اصلی یکسان بوده مقدار ضریب زبری مانینگ این فلوم برابر  $0/11$  می‌باشد (شکل ۲-الف). Rezaei and Knight (2009) آزمایشاتی را در یک کانال مرکب از جنس پلکسی گلاس در دانشگاه بیرمنگهام انجام دادند. زبری کانال اصلی و سیلابدشت نیز یکسان بوده که مقدار زبری مانینگ آن  $0/10$  می‌باشد (شکل ۲-ب).

Yonesi et al. (2013) آزمایشات تحقیق خود را در یک فلوم بتنی با طول تقریبی ۱۵ متر و عرض ۱/۲ متر و شیب کف  $0/0088$  با عمق لبریزی  $0/18$  متر در مرکز تحقیقات هیدرولیک دانشگاه تهران انجام دادند. ایشان از سه نسبت زبری و سه عمق نسبی برای سه زاویه واگرایی در آزمایشات

تقسیم گردد. از مهمترین نتایج ایشان می‌توان به جهت انتقال ممتنم از کانال اصلی به سمت سیلابدشت‌ها اشاره نمود.

$$\rho g H S_0 - \frac{1}{8} \rho f U_d^2 \left( 1 + \frac{1}{S^2} \right)^{1/2} + \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \rho \lambda H^2 \left( \frac{f}{8} \right)^{1/2} U_d \frac{\partial U_d}{\partial y} \right) = \Gamma + \rho \kappa H U \frac{\partial U}{\partial y}$$

که در آن:  $\kappa$  نسبت سرعت عرضی جریان می‌باشد. Proust et al. (2010)، با بکارگیری قانون اول ترمودینامیک، افت انرژی را در کانال‌های مرکب مستقیم، مورب، واگرا و همگرا برآورد کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که شیب خط انرژی جریان با شیب خط انرژی در کانال اصلی برابر بوده ولی این مقدار با شیب خط انرژی در سیلابدشت‌ها تفاوت دارد. Rezaei and Knight (2009) روش SKM را برای کانال‌های مرکب با سیلابدشت‌های غیرمنشوری توسعه دادند. با جایگزینی شیب خط انرژی ( $S_e$ ) با شیب بستر کانال ( $S_0$ )، اثرات همگرایی را تبیین کردند. همچنین، نتایج تحقیق ایشان نشان داد که سرعت جریان در نیمه دوم ناحیه همگرایی به طور قابل توجهی افزایش یافته است (Rezaei and Knight, 2011).

Yonesi et al. (2013) و یونسی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی اثرات زبری سیلابدشت بر هیدرولیک جریان لبریزی در کانال‌های مرکب با سیلابدشت غیرمنشوری (واگرا) پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که با افزایش زبری سیلابدشت، نسبت سرعت متوسط جریان در مقایسه با کانال اصلی در حدود ۳۱ درصد کاهش می‌یابد و در همین حالت میزان تنش برشی در محدوده منطقه واگرایی از ۲۶ درصد به ۴۸ درصد افزایش می‌یابد.

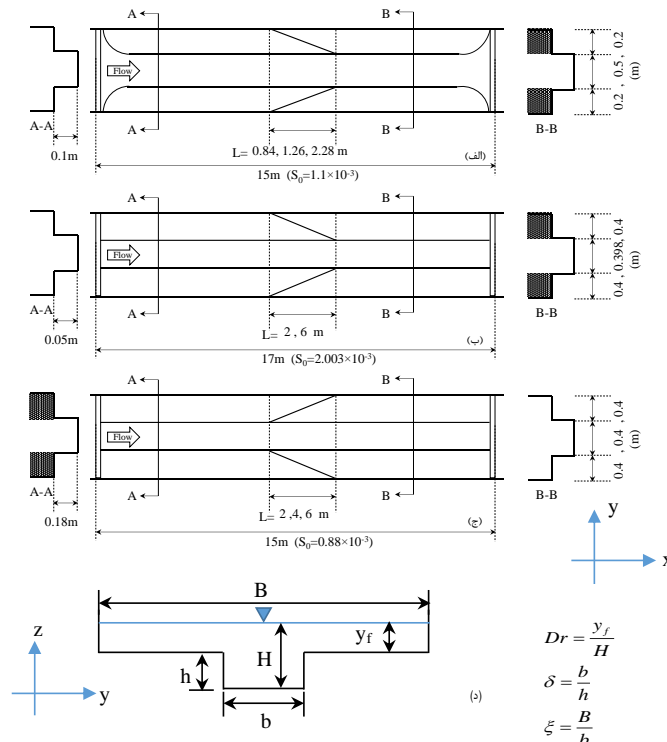
Mohanta et al. (2014) با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت به بررسی پروفیل‌های سرعت برای بخش منشوری و غیرمنشوری یک کانال مرکب همگرا پرداختند. نتایج محاسبات آن‌ها تطابق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی نشان داد. Naik and Khatua (2015) به محاسبه پروفیل سطح آب<sup>۱</sup> در کانال مرکب غیرمنشوری با زوایای همگرایی متفاوت پرداختند و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی کانال‌های همگرا و تعریف نسبت عرض کانال اصلی به عمق

۱- Water Surface Elevation(WSE)

خود استفاده نمودند (شکل ۲-ج). سایر اطلاعات این آزمایشات در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول (۱): پارامترهای هیدرولیکی برای مجموعه داده‌های کانال مرکب غیر منشوری با سیلابدشت‌های همگرا و واگرا

محقق	نوع کانال	زاویه واگرایی ( $\theta^0$ )	نسبت ضریب زبری ( $n_r$ )	عمق نسبی ( $Dr=y_f/H$ )	عرض کل کانال (متر) (B)	عرض کانال اصلی (متر) (b)	عمق لبریزی (متر) (h)	نسبت عرض ( $\xi=B/b$ )	نسبت طول همگرایی / واگرایی (L)	نسبت تصویر ( $\delta=b/h$ )
Naik and Khatua (2015)	همگرا	۵.۹	۱	۰.۲۵، ۰.۲، ۰.۳	۰.۹	۰.۵	۰.۱	۱/۸	۰.۲/۲۸، ۰.۱/۲۶، ۰.۱/۸۴	۵
Rezaei and Knight (2009)	همگرا	۳/۸	۱	۰.۳، ۰.۲، ۰.۵، ۰.۴	۱/۲	۰.۴	۰.۰۵	۳	۲.۶	۷/۹۶
Yonesi et al. (2013)	واگرا	۳/۸	۱، ۱/۱۳، ۱/۱۹	۰.۱۵، ۰.۳۵، ۰.۲۵، ۰.۵	۱/۲	۰.۴	۰.۱۸	۳	۲.۴۶	۲/۲۲



شکل (۲): پلان مقاطع مرکب با سیلابدشت‌های غیر منشوری مورد استفاده محققین، الف و ب: همگرا ج: واگرا د: مقطع عرضی کانال مرکب

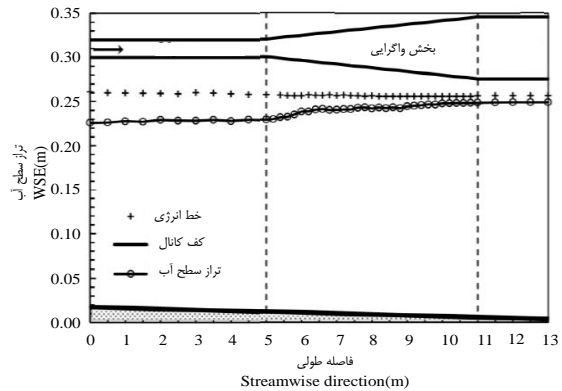
افت ناشی از غیر منشوری بودن سیلابدشت‌ها را تخمین زد. در شکل (۳) تغییرات شیب خط انرژی و تراز سطح آب در

محاسبات شیب خط انرژی با استفاده از تراز سطح آب ( $H$ ) و محاسبه ضریب تصحیح انرژی جنبشی ( $\alpha$ ) می‌توان تراز خط انرژی ( $H_e$ ) و میزان

که در آن:  $\alpha$  ضریب تصحیح انرژی جنبشی و  $Z_b$  تراز کف کانال می‌باشد

آزمایش واگرایی با عمق نسبی ۰/۲۵ و زاویه ۳/۸ درجه با زبری نسبی ۱/۱۹ نشان داده شده است.

$$H_e = Z_b + H + \alpha \frac{U^2}{2g} \quad (5)$$



شکل (۳): پروفیل سطح آب و تراز انرژی در کانال مرکب با سیلابدشت غیرمنشوری، زاویه واگرایی ۳/۸۱ درجه و عمق نسبی ۰/۲۵ (Yonesi et al., 2013)

که در آن:  $n_r$  نسبت ضریب زبری مانینگ سیلابدشت به کانال اصلی ( $n_{fp}/n_{mc}$ ) می‌باشد.

در یک کانال مرکب منشوری تراز سطح آب تابعی از عوامل زیر است:

### نتایج و بحث

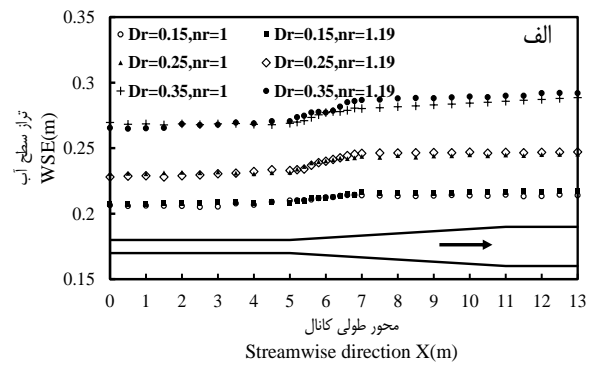
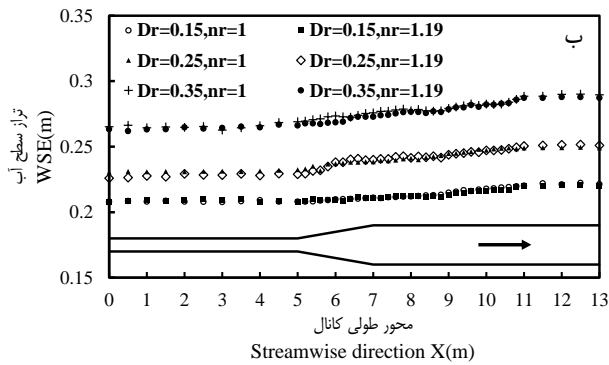
$$WSE = \phi(\xi, Dr, \delta) \quad (6)$$

#### تحلیل نتایج

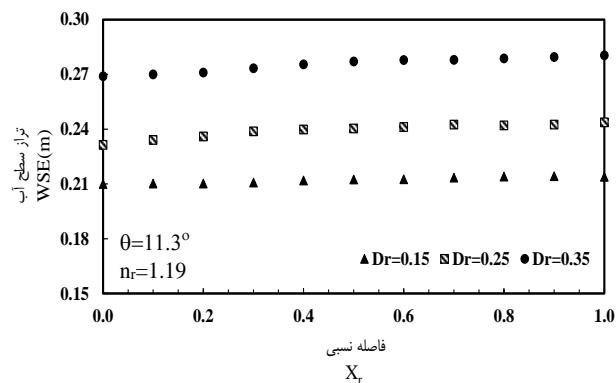
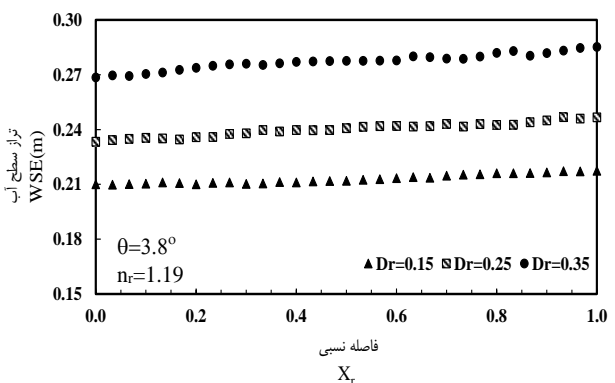
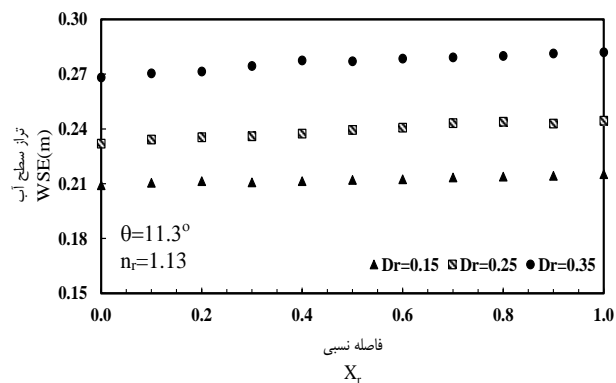
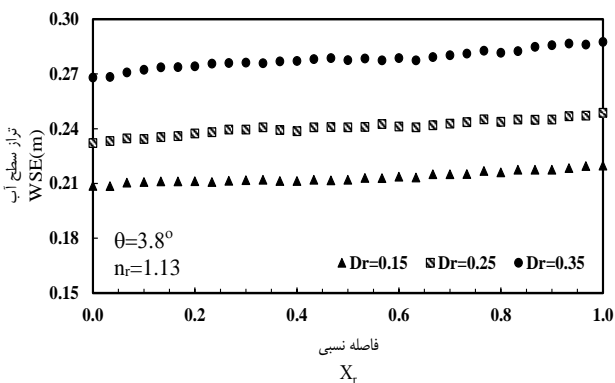
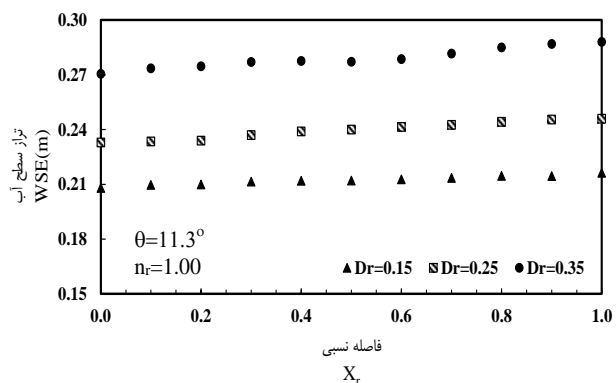
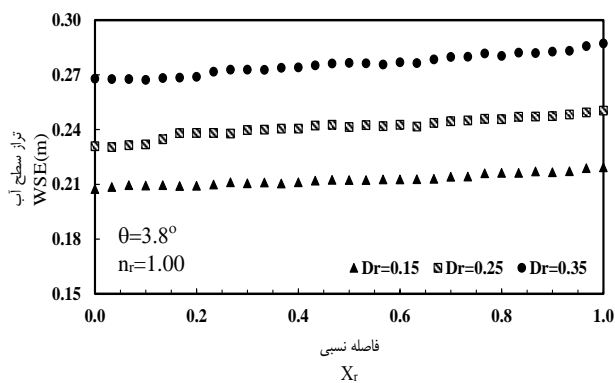
اما هنگامی که معادلات حاصل از معادله فوق برای کانال‌های مرکب غیرمنشوری استفاده می‌شود، خطاهای قابل توجهی به علت تغییر در هندسه کانال‌ها ایجاد می‌شود. بنابراین در تحقیق تلاش شده است تا تغییرات پروفیل سطح آب کانال مرکب غیرمنشوری نسبت به پارامترهای مستقل متفاوت بررسی شده و در نهایت بهترین معادله جهت تخمین تراز سطح آب در اینگونه مقاطع معرفی گردد. به همین منظور یک مدل رگرسیونی چند متغیره با در نظر گرفتن شش پارامتر مستقل بدون بعد مهم توسعه یافته است (رابطه ۷).

تغییرات پروفیل سطح آب ( $WSE$ ) در ۲۷ آزمایش در کانال مرکب با سیلابدشت واگرا، نسبت به عمق نسبی ( $Dr$ ) در طول کانال مورد آزمایش و فاصله نسبی ( $X_r$ ) برای زوایای واگرایی و نسبت‌های زبری متفاوت ترسیم شده است. همانطور که در اشکال (۴) و (۵) نشان داده شده است که تراز سطح آب در طول قسمت واگرایی وابسته به تغییرات عمق نسبی بوده و تاثیرات ناچیزی در برابر زبری نسبی و زاویه واگرایی (در محدوده آزمایشات انجام شده) دارد. لازم به ذکر است که پارامتر طول نسبی در واقع بیانگر اثر زاویه واگرایی یا همگرایی در تخمین تراز سطح آب می‌باشد.

$$WSE = F(\xi, Dr, \delta, \theta, X_r, n_r) \quad (7)$$



شکل (۴): تراز سطح آب در امتداد طولی کانال الف:  $\theta = 3/81^\circ$  ب:  $\theta = 11/3^\circ$



شکل (۵): تراز سطح آب در امتداد طول واگرایی در دو زاویه واگرایی و سه مقدار زبری نسبی

در اعماق نسبی کمتر از ۰/۴ و بیشتر از آن رفتار معادله متغیر بوده و لذا جهت تعیین یک رابطه کاربردی جهت تخمین تراز سطح آب دو معادله زیر پیشنهاد می شود:

با تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آزمایشات توسط نرم افزار SPSS و مقایسه آنها با نتایج آزمایشات مشاهده گردید که

بررسی نتایج به دست آمده برای کانال‌های مرکب  
همگرا

با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی کانال مرکب با سیلابدشت همگرا (Naik and Khatua (2015) و Rezaei (2006) تراز سطح آب به دست آمده برای بخشی از این داده‌های آزمایشگاهی در شکل (۶) ایشان نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است در اعماق نسبی مختلف تراز سطح آب در طول زاویه همگرایی به دلیل وجود جریان دائمی (دبی ثابت)، کاهش سطح مقطع و افزایش سرعت جریان کاهش می‌یابد.

(۸)

$$WSE = 0.371e^{0.053X_r} Dr^{0.313}, \quad Dr < 0.4$$

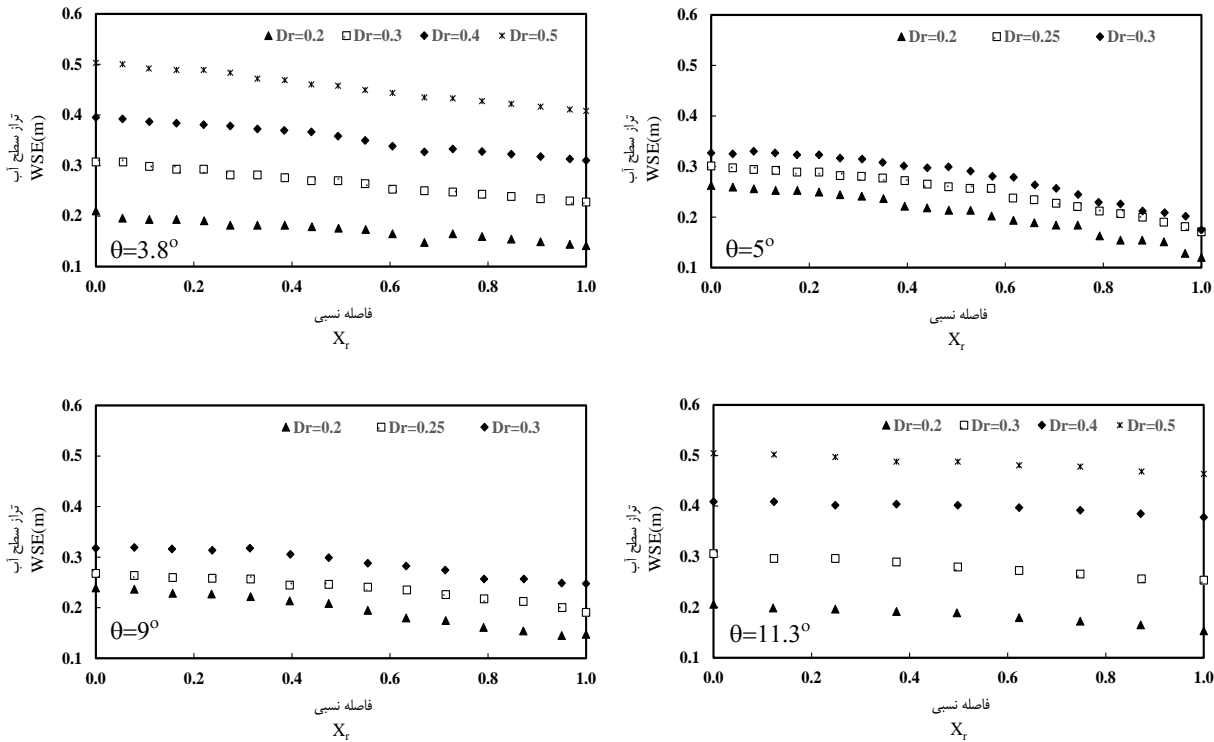
$$(R^2 = 0.969)$$

(۹)

$$WSE = 1.0641e^{-0.123X_r} Dr^{1.08}, \quad Dr \geq 0.4$$

$$(R^2 = 0.930)$$

معادلات فوق می‌تواند برای محاسبه پروفیل سطح آب جریان در کانال مرکب واگرا با زوایای واگرایی مختلف و در نواحی متفاوت برحسب فاصله نسبی از بخش شروع ناحیه غیرمنشوری به کار برده شود.



شکل (۶): تراز سطح آب در امتداد طول همگرایی در زوایای مختلف ( $n_r=1.0$ )

(۱۱)

$$WSE = 1.0641e^{-0.123X_r} Dr^{1.08}, \quad Dr \geq 0.4$$

$$(R^2 = 0.930)$$

در شکل (۷) مقایسه بین نتایج حاصل از روابط ارائه شده توسط (Naik and Khatua (2015) و روابط ارائه شده در این تحقیق نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نیز مشخص است، میزان خطای برآورد تراز سطح آب در این تحقیق به مراتب کمتر از روابط (۳) و (۴) می‌باشد. در

با بررسی نمودارهای نشان داده شده در شکل (۶)، رابطه تجربی تعیین تراز سطح آب با استفاده از پارامترهای مختلف بدون بُعد هندسی و هیدرولیکی برای اعماق نسبی کمتر از ۰/۴ و برای اعماق نسبی بزرگتر یا مساوی ۰/۴ در کانال‌های مرکب همگرا بصورت زیر خواهد شد.

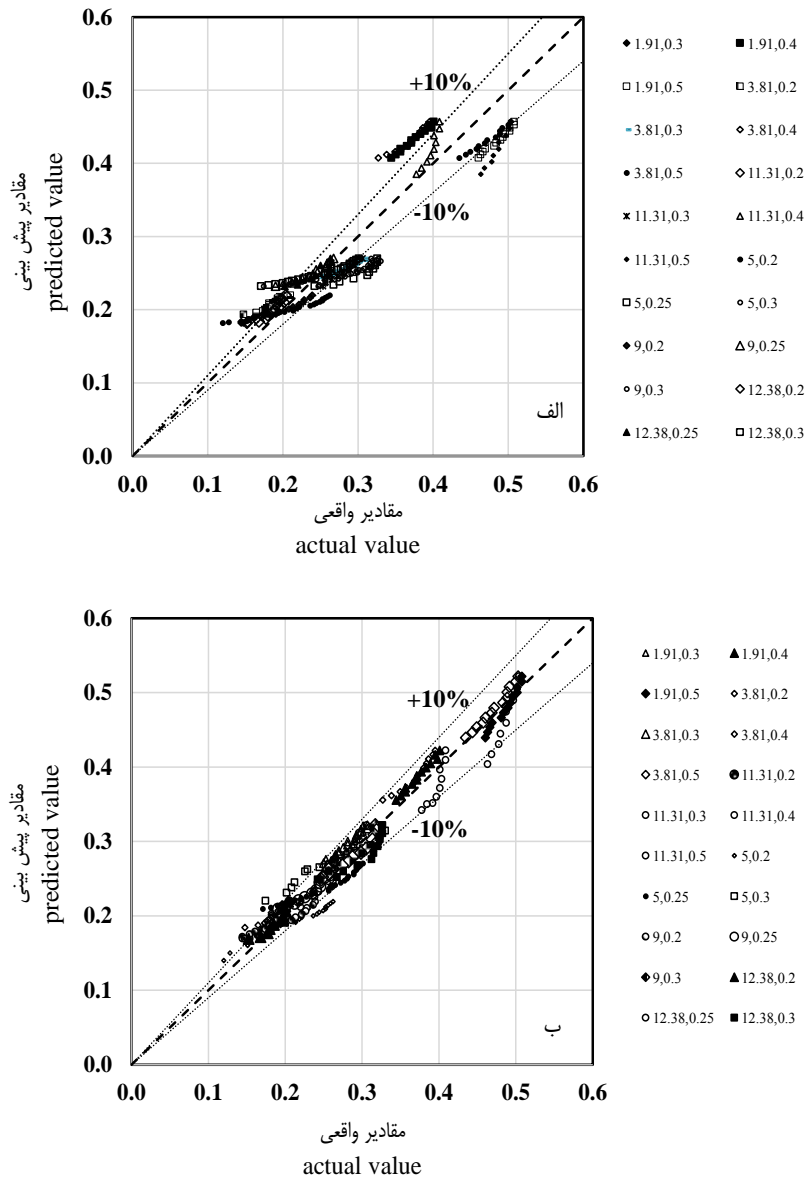
$$WSE = 0.371e^{-0.053X_r} Dr^{0.313}, \quad Dr < 0.4$$

$$(R^2 = 0.969)$$

(۱۰)

می‌دهد که با افزایش عمق نسبی، خطای ناشی از برآورد تراز سطح آب کاسته شده که این نیز خود به دلیل کاهش اثرات جریانات ثانویه در اعماق نسبی بزرگتر از ۰/۵ می‌باشد

جداول (۲) و (۳) مقادیر متوسط درصد خطای مطلق<sup>۱</sup>، خطای مطلق<sup>۲</sup> و خطای نسبی<sup>۳</sup> برای روابط (۳) و (۴) و همچنین روابط پیشنهادی در این تحقیق نشان داده شده است. بررسی نتایج میزان خطای حاصل از این تحقیق نشان



شکل (۷): ارتباط بین تراز سطح آب واقعی با نتایج حاصل از معادلات الف: (۳) و (۴) ب: روابط ارائه شده در این تحقیق



جدول ۲: مقادیر خطای نتایج حاصل از روابط (۳) و (۴)

<i>Dr</i>	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۴۰	۰/۵۰
<i>MAPE</i>	۱۹/۱۱	۹/۲۲	۱۲/۵۱	۲۹/۶۴	۱۴/۷۲	۱۳/۲۲	۲۳/۱۳
<i>AE</i>	۶/۱۰	۴/۷۵	۵/۳۶	۸/۸۷	۷/۱۹	۱/۴۸	۱۱/۳۵
<i>RE</i>	۱۱/۷۲	۹/۰۹	۲۲/۴۲	۳۱/۳۴	۱۷/۴۲	۶/۸۱	۲۳/۸۶

جدول ۳: مقادیر خطای نتایج حاصل از روابط ارائه شده در این تحقیق

<i>Dr</i>	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۴۰	۰/۵۰
<i>MAPE</i>	۱۰/۲۱	۸/۴۰	۴/۹۸	۴/۷۷	۵/۹۱	۵/۱۲	۳/۳۰
<i>AE</i>	۴/۰۱	۳/۴۱	۲/۶۳	۳/۹۱	۲/۹۳	۱/۴۸	۰/۹۳
<i>RE</i>	۹/۳۱	۱۰/۷۲	۷/۴۵	۱۳/۲۹	۷/۲۴	۳/۹۵	۱/۹۸

فاصله نسبی بوده و در محدوده آزمایشات انجام شده، کمتر از زبری نسبی و زاویه واگرایی (همگرایی) تبعیت می‌کند.

- حداکثر مقدار خطا در پیش بینی تراز سطح آب در اعماق نسبی کم اتفاق می‌افتد در حالی که حداکثر این مقادیر خطا در روابط (۱) و (۲) در اعماق نسبی بالا رخ می‌دهد (جاییکه کانال مرکب را می‌توان یک کانال ساده فرض نمود) که این نتیجه به سهم خود بیانگر تکمیل تحقیقات قبلی می‌باشد.

## نتیجه گیری

با بررسی نتایج آزمایشگاهی و مقایسه نتایج این تحقیق می‌توان دریافت که:

- تراز سطح آب در طول یک کانال مرکب غیر منشوری واگرا با زوایای واگرایی متفاوت، با افزایش عمق نسبی افزایش یافته و در امتداد طول‌های همگرایی سیلابدشت این تراز کاهش می‌یابد.
- تراز سطح آب در محدوده واگرایی (همگرایی) سیلابدشت تحت تاثیر عواملی همچون عمق نسبی و

## منابع

- یونسی، ح، امید، م.ح، ایوب زاده، س.ع. ۱۳۹۴. اثر زبری سیلابدشت بر هیدرولیک جریان در مقاطع مرکب با سیلابدشت غیرمنشوری. مجله پژوهش آب ایران، جلد ۹، شماره ۲، پیاپی ۱۷، ص ۶۳-۷۲.
- Bousmar, D. and Zech, Y. 2004. Velocity distribution in non-prismatic compound channels. *Water Management*, 157(WM2): 99-108.
- Bousmar, D., Prout, S. and Zech, Y. 2006. Experiments on the flow in a enlarging compound channel. *Proceeding River Flow*, Lisbon, Portugal, (1): 323-332.
- Cao, Z., Meng, J., Pender, G. and Wallis, S. 2006. Flow Resistance and Momentum Flux in Compound Open Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(12): 1272-1282.
- Knight, D.W. and Demetriou, J.D. 1983. Flood plain and main channel flow interaction. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(8): 1073-1092.
- Knight, D.W. and Hamed, M.E. 1983. Boundary shear in symmetrical compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(10): 1412-1430.
- Mohanta, A., Naik, B., Patra, K.C. and Khatua, K.K. 2014. Experimental and numerical study of flow in prismatic and non-prismatic section of a converging compound channel. *International Journal of Civil Engineering Research*, 5(3): 203-210.
- Myers, W.R.C. 1987. Velocity and discharge in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 113(6): 753-766.



Naik, B. and Khatua, K.K. 2015. Water surface profile computation in non-prismatic compound channels. International conference on water resources, coastal and ocean engineering, Published by Elsevier B.V., 4:1500-1507.

Proust, S., Bousmar, D., Rivière, N., Paquier, A. and Zech, Y. 2010. Energy losses in compound open channels. *Advances in Water Resources*, 33: 1-16.

Rezaei, B. 2006. Overbank flow in compound channels with prismatic and non-prismatic floodplains. PhD Thesis, Univ. of Birmingham, U.K.

Rezaei, B. and Knight, D.W. 2009. Application of the Shiono and Knight Method in compound channels with non-prismatic floodplains. *Journal of Hydraulic Research*, 47(6): 716-726.

Rezaei, B. and Knight, D.W. 2011. Overbank Flow in Compound Channels with Non-prismatic Floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(8): 815-824.

Shiono, K. and Knight, D.W. 1991. Turbulent Open channel flows with variable depth across the channel. *Journal of Fluid Mechanics*, 222: 617-646.

Tominaga, A. and Nezu, I. 1991. Turbulent structure in compound open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(1): 21-41.

Yonesi, H.A., Omid, M.H. and Ayyoubzadeh, S.A. 2013. The Hydraulics of flow in non-prismatic compound channels. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 3(6): 342-356.



## Evaluation of Water Surface Elevation in Non-Prismatic Compound Channels

Hojjat Allah Yonesi<sup>۱</sup>, Ali samadi Rahim<sup>۲</sup>, Hassan Torabi Poudeh<sup>۳</sup>, Babak Shahinejad<sup>۴</sup>

### Abstract:

Predicting the water level in non-prismatic compound channels is necessary to determine the boundaries of floodplains in the range of converging or diverging and also to determine the stage-discharge curves of river flow during floods. In this study, using laboratory data taken from three compound channels with divergent and convergent floodplains at different angles of divergence and convergence, depth ratios and different roughness ratios, the relationships for estimating the water level in such sections have been investigated. The maximum relative error of the proposed relationships for depth ratios is less than 0.4 in divergence and convergence conditions is 13.29% and in depth ratios is greater than 0.4 and in divergence and convergence floodplains is about 1.98%. The results show that the water surface level along a diverging and converging range in non-prismatic compound channel with different divergence angles respectively increases and decreases with increasing depth ratios. Also, in this experimental conditions, the water level in the divergence (convergence) range of floodplain is affected by factors such as depth ratio and relative distance and follows less than relative roughness and divergence (convergence) angle.

**Keywords:** Water surface elevation, diverging and converging angles, relative roughness, depth ratio, Non-prismatic compound channel sections.

---

<sup>۱</sup> Assistance Professor Department of Water Eng., Agricultural of faculty, Lorestan University, Khorramabad, Iran, [yonesi.h@lu.ac.ir](mailto:yonesi.h@lu.ac.ir) (Corresponding Author)

<sup>۲</sup> Phd. Candidate Hydraulic Structures, Department of Water Eng., Agricultural of faculty, Lorestan University, Khorramabad, Iran, [alisamadirahim@yahoo.com](mailto:alisamadirahim@yahoo.com)

<sup>۳</sup> Associate Professor, Department of Water Eng., Agricultural of faculty, Lorestan University, Khorramabad, Iran, [torabi1976@gmail.com](mailto:torabi1976@gmail.com)

<sup>۴</sup> Assistance Professor Department of Water Eng., Agricultural of faculty, Lorestan University, Khorramabad, Iran, [shahinejad.ba@lu.ac.ir](mailto:shahinejad.ba@lu.ac.ir)



## Evaluation of Water Surface Elevation in Non-Prismatic Compound Channels

Hojjat Allah Yonesi<sup>۱</sup>, Ali samadi Rahim<sup>۲</sup>, Hassan Torabi Poudeh<sup>۳</sup>, Babak Shahinejad<sup>۴</sup>

### Introduction:

Compound channel consists of a main channel and one or two floodplains. In hydraulic studying of compound channels the complexity of analyzing is more, when the compound channel become non-prismatic. The interaction between the flow in main channel and floodplain and momentum exchange in non-prismatic compound channel increases. This additional exchange should also be taken into account in the modeling flow. Water surface elevation is a series of transition curve from the normal depth in one sub reach to the normal depth in the adjacent sub reach. Water surface elevation prediction is a vital issue in flood risk management and also in the assessing ecological effects of bridge construction or changing the cross section geometry of channels, which is less considered in relation to non-prismatic compound channels. In this study, the effects of divergence and the convergence of the water level in the canal combined with two floodplain has been investigated with using experimental data of Yonesi et al (2013) and Naik and Khatua (2015) and Rezai (2006).

### Methodology:

Water surface elevation in prismatic compound channel is a function of the width ratio, aspect ratio and depth ratio. In non-prismatic compound channel due to changes in channel geometry the water surface elevation is different from the prismatic compound channel. In this research an attempt has been made to see the variation of water surface elevation in non-prismatic compound channels with respect to different independent parameters. Water surface elevation in non-prismatic compound channels has been derived from a wide range of experimental data sets from diverging compound channels with three different diverging angle, relative depth and roughness ratio, then compared with the experimental data sets of converging compound channel. A multiple-variable regression model is developed by taking six important dimensionless independent parameters. Dimensionless water surface elevation in non-prismatic compound channels obtained as a non-linear function of width, aspect and depth ratio, diverging or converging angle, relative roughness and relative distance.

### Discussion and Conclusion:

The variation of water surface elevation for diverging compound channels in terms of depth ratio and relative distance are plotted for different diverging angle and roughness ratio. The water surface elevation along a non-prismatic compound channel are found to increase with increase of relative depth for diverging compound channels of different diverging angles and also increases along the diverging lengths of the channel under sub-critical flow conditions. By analyzing this plots, the best functional relationships of dimensionless water surface elevation with different non-dimensional geometric and

---

<sup>۱</sup> Assistance Professor Department of Water Eng., Agricultural of faculty, Lorestan University, Khorramabad, Iran, [yonesi.h@lu.ac.ir](mailto:yonesi.h@lu.ac.ir) (Corresponding Author)

<sup>۲</sup> Phd. Candidate Hydraulic Structures, Department of Water Eng., Agricultural of faculty, Lorestan University, Khorramabad, Iran, [alisamadirahim@yahoo.com](mailto:alisamadirahim@yahoo.com)

<sup>۳</sup> Associate Professor, Department of Water Eng., Agricultural of faculty, Lorestan University, Khorramabad, Iran, [torabi1976@gmail.com](mailto:torabi1976@gmail.com)

<sup>۴</sup> Assistance Professor Department of Water Eng., Agricultural of faculty, Lorestan University, Khorramabad, Iran, [shahinejad.ba@lu.ac.ir](mailto:shahinejad.ba@lu.ac.ir)



hydraulic parameters for the ranges of overbank flow depth in diverging compound channel obtained. The obtained relationship is a function of the relative distance and depth ratio, and the parameters of diverging angle and roughness ratio are neglected, because they had little impact. To check that obtained equation for converging compound channel is established or not, used from a series of experimental data of converging compound channel, and compared with results and models obtained by other researchers. Percentage error of obtained function for computing water surface elevation of converging compound channel is less than that could prove the effects of the equation. By using nonlinear regression and SPSS software, the water surface slope along the diverging area obtained, as a nonlinear function of diverging angle, roughness ratio and depth ratio for diverging compound channel.

### Conclusions:

By analyzing experimental data and compare results, It can be concluded that: Water surface elevation increased with increasing depth ratio in the divergence non-prismatic compound channel with different divergence angles, and reduced With a long of convergency of floodplains.

- Water surface elevation in the range of divergence (convergence) floodplain influenced by factors such as the depth ratio and relative distance and the range of tests, the less than the relative roughness and the angle of divergence (convergence)
- The maximum of error was happen in predicting the water surface elevation at low depths ratio while maximum of error in (1) and (2) occurs at the depths ratio.

**Keywords:** Water surface elevation, diverging and converging angles, relative roughness, depth ratio, Non-prismatic compound channel sections.

### The most important references:

- Bousmar, D. and Zech, Y. 2004. Velocity distribution in non-prismatic compound channels. *Water Management*, 157(WM2): 99-108.
- Knight, D.W. and Demetriou, J.D. 1983. Flood plain and main channel flow interaction. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(8): 1073-1092.
- Mohanta, A., Naik, B., Patra, K.C. and Khatua, K.K. 2014. Experimental and numerical study of flow in prismatic and non-prismatic section of a converging compound channel. *International Journal of Civil Engineering Research*, 5(3): 203-210.
- Naik, B. and Khatua, K.K. 2015. Water surface profile computation in non-prismatic compound channels. *International conference on water resources, coastal and ocean engineering*, Published by Elsevier B.V., 4:1500-1507.
- Proust, S., Bousmar, D., Rivière, N., Paquier, A. and Zech, Y. 2010. Energy losses in compound open channels. *Advances in Water Resources*, 33: 1-16.
- Rezaei, B. and Knight, D.W. 2009. Application of the Shiono and Knight Method in compound channels with non-prismatic floodplains. *Journal of Hydraulic Research*, 47(6): 716-726.
- Rezaei, B. and Knight, D.W. 2011. Overbank Flow in Compound Channels with Non-prismatic Floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(8): 815-824.
- Shiono, K. and Knight, D.W. 1991. Turbulent Open channel flows with variable depth across the channel. *Journal of Fluid Mechanics*, 222: 617-646.
- Yonesi, H.A., Omid, M.H. and Ayyoubzadeh, S.A. 2013. The Hydraulics of flow in non-prismatic compound channels. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 3(6): 342-356.