برآورد عمق بحراني در مقاطع مركب روباز با درنظر گرفتن اثر انتقال ممنتوم

*اسماعیل کردی'، سید علی ایوب زاده' میرخالق ضیاء تباراحمدی"، عبدالرضا ظهیری'

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشگاه مازندران، ^۲استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس، ^۳استاد گروه مهندسی آب دانشگاه مازندران، ^ئمدیر دفتر پژوهش و مطالعات رسوب سازمان آب و برق خوزستان تاریخ دریافت: ۸٤/۸/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۲/۲۱

چکیدہ

در تجزیه و تحلیل هیدرولیکی مقاطع مرکب روباز محاسبه عمق بحرانی اهمیت بسزایی دارد. روشهای متفاوتی از جمله مقطع واحد، روش سنتی یا تجزیه مقطع، روش اثرژی، روش ممنتوم و روش عدد فرود وزنی را می توان جهت بر آورد تعداد و مقدار این اعماق بکار گرفت. در کلیه این روشها اثر انتقال ممنتوم ناشی از وجود تغییرات عرضی سرعت بین مقطع اصلی و سیلاب دشتها در نظر گرفته نشده است. این پدیده که تحت عنوان اثر متقابل تشریح می گردد مبهم و پیچیده بوده و نتایج کار محققین تا به امروز منجر به معرفی و پیشنهاد یک روش جامع و کاربردی که قابلیت استفاده در طراحی و مطالعۀ مجاری با مقطع مرکب را داشته باشد، نشده است. این پدیده که تحت عنوان اثر متقابل تشریح می گردد مبهم و پیچیده بوده و نتایج کار مقطع مرکب را داشته باشد، نشده است. روش سنتی سرعت متوسط را در مقطع اصلی بیشتر از و در سیلاب دشتها کمتر از مقطع مرکب را داشته باشد، نشده است. روش سنتی سرعت متوسط را در مقطع اصلی بیشتر از و در سیلاب دشتها کمتر از ارائه شده است. در این مطالعه سرعت متوسط جریان در نواحی مقطع اصلی و دشت سیلابی و به تبع آن دبیهای جریی و کل با استفاده از روشی موسوم به کوهیرنس تصحیح گردیده است. نتایج نشان می دهد که روش سنتی یا تجزیه مقطع عمق بحرانی و انرژی مخصوص بیشتری را نسبت به سایر روشها ارائه میکند. این افزایش به شکل هندسی و شرایط هیدرولیکی جریان وابسته بوده و از چند میلی متر در مقیاسهای آزمایشگاهی کوچک، تا دهها سانتی متر در رودخانهها متغیر است. دامنه تغییرات در مقدار حداقل انرژی مخصوص نسبت به مقدار عمق بحرانی بیشتر است.

واژههای کلیدی: مقطع مرکب، عمق بحرانی، روش تجزیه مقطع، کوهیرنس، روش یک بعدی اصلاحی

*- مسئول مكاتبه: esmaeilkordi@gmail.com

$$F_r = \sqrt{\frac{Q^2 T}{g A^3}} = 1 \tag{(1)}$$

که T عرض سطح آزاد آب، Q دبی عبوری، A سطح مقطع، g شتاب ثقل و F_r عدد فرود میباشد. در این روش که به روش مقطع واحد^۲ نیز موسوم است مقدار ضریب تصحیح انرژی جنبشی α برابر واحد فرض شده است. این رابطه در مقاطع مرکب فقط قادر به تعیین یک عمق بحراني است كه با واقعيت منافات دارد زيرا بلالوک واستورم (۱۹۸۳ و ۱۹۸۱)، کونمان (۱۹۸۲)، پتریک وگرنت (۱۹۷۸) بهصورت تحلیلی و تجربی نشان دادند که در مقاطع مركب، امكان وقوع بيش از يك عمق بحراني وجود دارد. شول هامر و همکاران (۱۹۸۵)، امکان وجود عمق بحرانی را با استفاده از اعداد فرود مجزا برای کانال اصلی وسیلابدشتها مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند که در مقطع اصلی عدد فرود در دو عمق مختلف برابر واحد است. بلالوک واستورم (۱۹۸۱) مقدار ضریب تصحيح را با استفاده از تجزيه مقطع قائم، اصلاح نمودند که به روش مقطع واحد اصلاح شده معروف است. هیچ یک از روشهای مقطع واحد و واحد اصلاح شده در آبراهه مرکب، نتایج رضایتبخشی ارائه نمیکنند (بلالوک واستورم، ۱۹۸۱). پتریک وگرنت (۱۹۷۸)، اظهار داشتند که عمق بحرانی، در جایی رخ میدهد که عدد فرود وزنی برابر یک بوده و رابطههای ۳ و ٤ را برای محاسبه عدد فرود وزنی توسط دبی، پیشنهاد نمودند:

$$QF_{r} = Q_{1}F_{r1} + Q_{2}F_{r2} + \dots$$
 (r)

$$F_r = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i F_{ri}}{Q} \tag{(1)}$$

 F_{ri} که Q دبی کل جریان، Q_i دبی های مقاطع جزیی، F_{ri} عدد فرود معادل و N تعداد عدد فرود معادل و N تعداد مقاطع جزئی میباشند. بلالوک و استورم (۱۹۸۱) برای محاسبه عمق بحرانی در مقاطع مرکب براساس تعریف

3- Corrected single channel method

مقدمه

مطالعات در مقاطع مرکب در گذشته بر جریان یکنواخت متمرکز بوده و بررسیهای اندکی بر پیشبینی جریان بحرانی در این گونه مقاطع صورت گرفته است. بهطوركلي، عمق بحراني بهعنوان نقطه حداقل انرژي مخصوص یا حداقل نیروی مخصوص تعریف شده است. حد فاصل بین جریان فوق بحرانی و زیربحرانی که سرعت موج سطحي برابر با سرعت متوسط جريان است، نيز بهعنوان عمق بحراني در نظر گرفته شده است. روشهای معمول در برآورد عمق بحرانی که تا به امروز ارائه شدهاند اثر انتقال ممنتوم ناشی از اختلاف سرعت در مقاطع جزیی را در محاسبات خود در نظر نگرفتهاند. این پدیده را تداخل جریان یا اثر متقابل مینامند که به کمیت درآوردن آن بسیار پیچیده است. در این ارتباط محققین زیادی از دو دهه قبل مطالعاتی را انجام دادهاند که نتایج کار آنها تا به امروز منتج به معرفی و پیشنهاد یک روش جامع و کاربردی که قابلیت استفاده در طراحی و مطالعه مجاری با مقطع مرکب را داشته باشد، نشده است. وجود اثر متقابل باعث میگردد محاسبه مقادیر عمق بحرانی و حتی تعداد اعماق بحرانی ممکنه با خطا همراه باشد. در این تحقیق روشی کاربردی برای اصلاح روش سنتی بهمنظور در نظر گرفتن پدیده اثر متقابل، ارائه شده است. سابقه تحقيق: اولين بار بخمتف (۱۹۳۲) ايده انرژي مخصوص را مطرح نمود. این ایده نخست برای محاسبه عمق بحرانی در مقاطع واحد از طریق رابطه ۱ مورد استفاده قرار گرفت (رابطه ۱).

$$E = y + \frac{\alpha V^2}{2g} \tag{1}$$

در این رابطه E انرژی مخصوص، y عمق جریان، α و Vبهترتیب ضریب انرژی مخصوص و سرعت متوسط است. با اعمال شرط حداقل بودن انرژی مخصوص رابطه ۲ بهدست میآید:

²⁻ Single Channel method

¹⁻ Interaction

حداقل انرژی مخصوص ضریب تصحیح انرژی را به عنوان تابعی از عمق جریان در نظر گرفته و رابطه عمومی عدد فرود را به صورت رابطه های ۵، ۲، ۷ و ۸ بیان کردند:

$$F_r = \frac{Q^2}{2gK_T^3} \sqrt{\frac{\sigma_2 \sigma_3}{K_T} - \sigma_1}$$
 (o)

$$\sigma_1 = \sum_{i=1}^{3} \left(\left(\frac{K_i}{A_i} \right)^3 \left(3T_i - 2R_i \frac{dP_i}{dy} \right) \right)$$
(7)

$$\sigma_{2} = \sum_{i=1}^{3} \frac{K_{i}^{3}}{A_{i}^{2}}$$
(V)

$$\sigma_{3} = \sum_{i=1}^{3} \left(\left(\frac{K_{i}}{A_{i}} \right) \cdot \left(5T_{i} - 2R_{i} \frac{dP_{i}}{dy} \right) \right) \tag{A}$$

که Q دبی کل، T_i عرض فوقانی سطح آب در مقطع جزئی، R_i محیط خیسشده در مقطع جزئی، R_i شعاع هیدرولیکی مقاطع جزئی، K_T ضریب انتقال کل مقطع، K_i ضریب انتقال مقاطع جزئی، Ai سطح مقاطع جزیی و K_i ضریب انتقال مقاطع جزئی، Ai سطح مقاطع جزئی است. محاسبات محیط حیش شده فصل مشترک بین مقاطع محاسبات محیط خیس شده فصل مشترک بین مقاطع جزئی در نظر گرفته نشده است. چادری و بالامودی^۲ مرابر با (۱۹۸۸) جایی را که در آن سرعت آشفتگی سطحی (تعریف شده براساس روش خطوط مشخصه) برابر با سرعت متوسط افزوده شده (β V) باشد بهعنوان نقطه بحرانی تعریف نمودند (رابطه ۹):

$$F_r = \frac{\beta V}{\left[\frac{gA}{2} + V^2 \left(\beta^2 - \beta + \beta'\frac{A}{2}\right)\right]} \tag{4}$$

$$\sqrt{\frac{B}{B}} + V \left(p - p + p - \overline{B} \right)$$

$$\beta = \left(\frac{K_1^2}{4} + \frac{2K_2^2}{4} \right) \cdot \frac{A}{(K + 2K_1)^2}$$
(1.)

$$m = \frac{K_1}{K_1 + 2K_2} \tag{11}$$

2 - Chaudhry and Bhallamudi

مواد و روشها

روش کوهیرنس³: نتایج تحقیقات نشان داده است که روش کوهیرنس می تواند دبی واقعی را با اختلاف کمتر از ۱ درصد بر آورد نماید (آکرز، ۱۹۹۲و۱۹۹۳؛ سکین، ۲۰۰٤). در این روش ابتدا دبی جریان از روش سنتی (تجزیه مقطع) بر آورد شده و سپس به کمک چهار شرط منطقی، دبی مناست جریان تعیین می شود. روابط جریان در نواحی چهارگانه بشرح زیر است:

$$Q_{*2F} = -1.0H_* f_C / f_F$$
(17)
$$Q_{*2F} = -1.24 + 0.395 B/W_C + GH$$
(17)

$$\begin{bmatrix} G = 10.42 + 0.17 \cdot \left[\frac{f_F}{f_C} \right] & s_C > 1.0 \end{bmatrix}$$

$$(1 \epsilon)$$

$$\begin{bmatrix} G = 10.42 + 0.17s_c \begin{bmatrix} f_F \\ f_C \end{bmatrix} & s_C < 1.0 \end{bmatrix}$$

$$Q_{R1} = Q_{TB} - (Q_{*2C} + N_F Q_{*2F})$$

$$(V_C - V_F) Hh \times ARF$$
(10)

در روابط فوق، f_C و f_F بهترتیب ضرایب اصطکاک دارسی ویسباخ مقاطع اصلی و سیلابی، h عمق تراز لبریز، H عمق کل جریان در مقطع اصلی، B نیم عرض فوقانی

4 -Coherence

www.SID.ir

^{3 -} Momentum method

G سطح آب، w_c نیم عرض مقطع اصلی در رقوم لبریز، G پارامتر تخمین جریان در منطقه ۱، H^* عمق نسبی پارامتر تخمین جریان در منطقه ۱، Q_{RI} عمق نسبی (h - h / h)، ARF فاکتور نسبت شکل، Q_{RI} دبی جریان در ناحیه ۱، Q_B دبی کل جریان با روش سنتی، جریان در ناحیه ۵، مقاطع جزئی و s_c شیب جانبی مقطع اصلی است.

روابط جریان در ناحیه ۲: تابع یا رابطهٔ طراحی در این منطقه براساس تابع کوهیرنس بیان میشود. رابطهٔ مورد نظر را میتوان با محاسبهٔ مقدار کوهیرنس برای عمق جریانی بیش از مقدار واقعی، بهدست آورد. مقدار جابجایی' از رابطهٔ ۱٦ قابل محاسبه است: (۱٦)

 $shift = 0.05 + 0.05 N_E s_C \ge 1$ shift = $-0.01 + 0.05N_F + 0.06S_Cs_C < 1$ که N_F تعداد سیلابدشتهاست. ضریب تصحیح دبی برابر کوهیرنس محاسبه شده بر مبنای عمق اصلاح شده یا (H_{*} +shift) است. در نهایت رابطه ۱۷ حاصل می شود: $Q_{R2} = Q_{basic} \times \text{DISADF}_2$ (1V)که Q_{R2} دبی اصلاح شده در منطقه دو، Q_{Basic} دبی Q_{R2} کل جریان به روش سنتی و DISADF₂ ضریب اصلاحی منطقهٔ دو میباشند. روابط جريان در ناحيه ٣: اين منطقه، شامل محدودة کوچکی است که با تابعی از کوهیرنس بیان می شود: $DISADF_3 = 1.567 - 0.667COH$ (Λ) $Q_{R3} = Q_{basic} \times \text{DISADF}_3$ (19) که Q_{R3} و $DISADF_3$ بهترتیب دبی اصلاحی و ضریب اصلاح دبی منطقهٔ سه میباشند. روابط جریان در ناحیه ٤: مقدار کوهیرنس مقطع، بهگونهای است که میتوان آبراهه را بهصورت مقطع واحد

. فرض نمود. برای محاسبات کل مقطع رابطههای ۲۰ و ۲۱ به دست میآید:

$$DISADF_4 = COH \tag{(1.)}$$

1 -Shift

 $Q_{R4} = Q_{basic} \times \text{DISADF}_4$ (11)که Q_{R4} و DISADF4 به ترتیب دبی اصلاحی و ضریب اصلاح دبی منطقه چهار میباشند. انتخاب منطقه مناسب جریان برای یک عمق معین: برای انتخاب منطقه مناسب جریان و در نتیجه دبی جریان در مقطع، از چند شرط منطقی زیر استفاده می گردد: اگر $Q_{R1} > Q_{R1}$ آنگاه $Q_{R1} > Q_{R2}$ است. $Q = Q_{R2}$ $Q_{R2} \leq Q_{R3}$ $Q_{R1} < Q_{R2}$ $Q_{R2} = Q_{R3}$ مى باشد. $Q_{R3} \ge Q_{R4}$, $Q_{R2} > Q_{R3}$ اگ ر *Q*_{R1} <*Q*_{R2} و آنگاه $Q = Q_{R3}$ است. .نهایتاً اگر $Q_{R4} = Q_{R4}$ آنگاه $Q_{R3} < Q_{R4}$ است. $Q_{st 2F}$ و $Q_{st 2C}$ مقادیر $Q_{st 2}$ و و با توجه به مقادیر می توان دبی های جزیی را به صورت زیر محاسبه نمود: $Q_{CR1} = Q_{CB} - Q_{*2C} (V_C - V_F) Hh \times ARF (\gamma\gamma)$ $Q_{FR1} = Q_{FB} - Q_{*2F} (V_C - V_F) H h \times ARF (\gamma\gamma)$ و سیلابی در مقطع اصلی و سیلابی در $Q_{\scriptscriptstyle FR1}$ و $Q_{\scriptscriptstyle CR1}$ منطقه یک، $Q_{\scriptscriptstyle CB}$ و $Q_{\scriptscriptstyle FB}$ نیز دبیهای مقطع اصلی و سیلابی از روش سنتی میباشند. برای اعماق بالاتر جریان، ضرايب اصلاحي از رابطه ۲٤ بهدست مي آيند: $Q_{CR2,3,4} = Q_{CB} \times \text{DISADF}_{CR1}$ (7ξ) که *Q*CR2,3,4 دبی مقطع اصلی در مناطق دو، سه و چهار و $\frac{Q_{CR1}}{Q_{CR}}$ که بازاء افزایش تدریجی عمق محاسبه می شود. در تمام شرایط جریان از ضریب تصحیح مربوط به ناحیهٔ یک استفاده می شود. نتایج نشان داده است که در اعماق نسبی بیش از ۱ مقطع مرکب شبیه مقطع واحد عمل نموده و اثر متقابل اندک است (آکرز، ۱۹۹۲). در این حالت می توان از روابط

اندک است (آکرز، ۱۹۹۲). در این حالت می توان از روابط معمول استفاده نمود. البته گستره وسیعی از جریان در مقاطع مرکب در عمق نسبی کمتر از ۱ رخ می دهند. تئوری روش اصلاحی: در این تحقیق ابتدا با استفاده از مدل یک بعدی آکرز (۱۹۹۲) توزیع دبی جریان بین مقطع اصلی و دشتهای سیلابی محاسبه شده و سپس فاکتور

انتقال مقاطع جزیی تصحیح شده است. این تصحیح به صورت زیر انجام شده است:

$$K_c^* = \frac{Q_c^*}{Q_c} K_c \tag{Y0}$$

$$K_f^* = \frac{Q_f^*}{Q_f} K_f \tag{17}$$

که نشانه (*) بیانگر مقادیر اصلاح شده دبی و فاکتور انتقال در مقاطع جزیی است. با توجه به مقادیر اصلاحی فاکتور انتقال، ضریب تصحیح انرژی و شیب انرژی بهصورت زیر اصلاح شده است:

$$\alpha' = \frac{\sum_{i} \left(\frac{\left(K_{i}^{*}\right)^{3}}{A_{i}^{2}} \right) \times \sum_{i} A_{i}}{\left(\sum_{i} K_{i}^{*}\right)^{3}}$$
(YV)

$$S'_f = \left(\frac{Q}{K^*}\right)^2 \tag{7A}$$

 $E' = y + \frac{\alpha' \cdot V^2}{2.g} , \qquad F'r = \frac{V \cdot \sqrt{\alpha'}}{g \cdot y} (\Upsilon A)$

Q و *Q بهترتیب دبیهای بهدست آمده از روش تجزیه مقطع مرکب و مدل یک بعدی آکرز است. C و f بهترتیب بیانگر پارامتر مربوط به مقطع اصلی و دشتهای سیلابی است. مراحل محاسبات روش اصلاحی بشرح زیر میباشد (کردی و همکاران، ۲۰۰۶):

I - دبی کل و دبی های جزیی از روش معمول در عمق و هندسه مشخص از مقطع (بدون در نظر گرفتن اثر متقابل) محاسبه می شوند. پارامترهای معلوم عبارتند از: عمق تراز لبریز (h)، شیب کف (S_0) ، نسبت زبری سیلاب دشت به مقطع اصلی (n_r) ، عرض کف سیلابدشت (d) و نیم عرض کف مقطع اصلی (B) و عمق کل جریان (H)

۲- مطابق بند ۱ دبی کل و دبی های جزیی از روش کوهیرنس در همان عمق و هندسه مشخص از مقطع محاسبه می شود.

۳- نسبت دبی های محاسبه شده از روش معمول به روش کوهیرنس بازاء اعماق مختلف تعیین می شود.
٤- ضریب انتقال محاسبه شده با روش معمول در هر عمق با استفاده از نسبت به دست آمده از گام ۳ اصلاح می شود.
٥- عدد فرود و انرژی مخصوص اصلاح شده برای کل می شود.
٥- عدد فرود و انرژی مخصوص اصلاح شده برای کل مقطع در هر عمق محاسبه می شود.
۱صلاح انرژی مخصوص در یک دبی مشخص: ۲- با مشخص، عمق جریان و انرژی مخصوص واقعی، با تغییر استفاده از روش معمول در دبی ثابت فرضی و هندسه شیب مقطع محاسبه می شود (پارامترهای معلوم به جز شیب مقطع محاسبه می شود (پارامترهای معلوم به جز شیب م² منظیر بند ۱).

جریان محاسبه شده در گام ۷، انرژی مخصوص (بدون در نظر گرفتن اثر متقابل) محاسبه میشود (پارامترهای معلوم نظیر بند ۷).

۸- با استفاده از روش سعی وخطا در یک دبی ثابت، از
 گامهای ۷ و ۸ مقادیر عمق بحرانی محاسبه می شود. در
 نتیجه، مقدار عمق بحرانی محاسبه شده توسط گام ۸
 اصلاح شده است.

مدلهای آزمایشگاهی و فرضی مورد مطالعه: مشخصات مدلهای فرضی و آزمایشگاهی منتخب جهت بررسی نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. مدل فرضی آکرز (۱۹۹۱) و آزمایشگاهی استورم (۲۰۰۱)، توسط بسیاری از محققین مورد استفاده قرار گرفته است (پتریک و گرنت، ۱۹۷۵؛ بلالوک و استورم، ۱۹۸۰؛ استورم، ۲۰۰۱؛ و ایوبزاده و ظهیری، ۲۰۰٤). مدل آکرز در حالت همگن دارای ضریب زبری مانینگ ۲۰/۳ و در حالت غیر همگن، ضرایب ۲۰/۳ برای کانال اصلی و ۲۰/۰ برای سیلابدشتها در نظر گرفته شده است.

شيب جانبی سيلابدشت	شیب جانبی مقطع اصلی	عرض سيلابدشت	تراز لبريز	عرض كف	نوع مقطع	مقطع عرضي
•	•	•/\1	•/17٢	•/۲٩٧	مستطیلی با یک دشت سیلابی	استورم
١	١	۲.	1/0	10	ذوذنفه ای متقارن	آكرز
١	١	۲/۲٥	•/10	٣	ذوذنفه ای متقارن	مقطع ۲۰

جدول ۱- مشخصات مدل های فرضی و آزمایشگاهی.

* کلیه ابعاد به متر است.

در سال ۱۹۸۵ شورای تحقیقات علوم و مهندسی انگلستا ن^۱ بهمراه مؤسسه تحقیقات هیدرولیک در والیگنفورد^۲ تجهیزات آزمایشگاهی مجهزی شامل کانالی بهطول **۲۰** متر و عرض ۱۰ متر با ظرفیت جریان حداکثر ۱/۱ متر مکعب در ثانیه ساختند که در این تحقیق از مقطع نوع ۲۰ نیز استفاده شد.

نتايج و بحث

در این بخش روش های برآورد عمق بحرانی بلحاظ محاسبه مقدار و تعداد اعماق بحرانی مورد ارزیابی قرار گرقتهاند. مهمترین پارامترهای تأثیرگذار بر اثر انتقال ممنتوم و به تبع آن عدد فرود شامل عرض نسبی، عمق نسبی و زبری نسبی نیز بررسی شدهاند.

صحت برآورد مقدار اعماق بحرانی: مطابق شکل ۱ روش اصلاح شده نسبت به دادههای آزمایشگاهی ۰/۳ درصد اختلاف دارد. اختلاف در عمق بحرانی در روش سنتی در مقطع صاف و همگن بیش از ۳ درصد است. لازم به ذکر است که مقطع آزمایشگاهی حالت صاف و همگن داشته و دارای اثر متقابل کمی است. این همپوشانی با دادههای آزمایشگاهی، بر صحت روند اصلاح و انتخاب آن بهعنوان معیاری از واقعیت صحه می گذارد. شکل ۲ تغییرات انرژی مخصوص اصلاح شده

را در مقطع ۰۲ در دبی ۲۵/۰ مترمکعب و در حالت همگن نشان می دهد. متوسط اختلاف در انرژی مخصوص اصلاح شده حداکثر برابر ۳/٤۷۵ درصد بوده است. شکل ۳ انرژی مخصوص اصلاح شده و سنتی را در مقطع آکرز و در دبی ۱۰۳/٤٦ مترمکعب در ثانیه نشان می دهد. انرژی مخصوص اصلاح شده عمق بحرانی را در ۱/۷۱ متری برآورد می کند که با روش سنتی (۱/۸٤ متری) ۸ سانتی متر اختلاف دارد. متوسط اختلاف در انرژی مخصوص در مقطع آکرز در حالت بحرانی برابر ٤ درصد است. به عبارت دیگر، روش سنتی عمق بحرانی و انرژی مخصوص بیشتری را در شرایط هندسی و هیدرولیکی مشابه پیش بینی می کند.

صحت برآورد تعداد اعماق بحرانی و رژیم جریان: مطابق شکل ٤ در دبی ۲۶/۰ مترمکعب در ثانیه دادههای آزمایشگاهی عمق بحرانی برابر ۱۳۷/۰ متر را در بالای تراز لبریز پیشبینی میکند. ولی روش سنتی فقط یک عمق بحرانی را در مقطع اصلی و در تراز کمتر از لبریز پیشبینی مینماید. بهعبارت دیگر، روش سنتی قادر به پیشبینی این عمق نبوده و تعداد اعماق بحرانی را بهطور صحیحی برآورد نمیکند.

¹⁻ Science Engineering Research Couancil -Flood Channel Facility (SERC - FCF) 2- HR, Walingford

www.SID.ir



شکل ۳- تغییرات انرژی مخصوص برحسب عمق نسبی با استفاده از روشهای معمول و اصلاح شده (مقطع همگن).



شکل ٤- تغییرات انرژی مخصوص برحسب عمق نسبی در مقطع آزمایشگاهی FCF۰۲ (Q=0.24 m³/sec).

شکل ٦ تغییرات عدد فرود را برحسب عمق نسبی در مقطع فرضی آکرز در حالت همگن و در شیب طولی ۰/۰۰۵ با استفاده از روشهای معمول نشان میدهد. مطابق شکل روش سنتی عمق بحرانی بیشتری را برآورد میکند. لازم به ذکر است که در اصلاح عدد فرود به روش تجزیه مقطع با توجه به اینکه مقدار دبی تغییر میکند، از اصلاح ضریب تصحیح انرژی استفاده شده مطابق شکل ۵ روش سنتی، عمق بحرانی را در مقطع آکرز در دبی ۱۰۳/٤٦ مترمکعب در ثانیه، برابر ۱۸۶ متر برآورد میکند، جریان واقعی تحت این شرایط زیر بحرانی میباشد. روش اصلاح شده عدد فرود را برابر ۲/۹ برآورد مینماید. مطابق شکل تمامی روش ها در این دبی رژیم جریان را فوق بحرانی پیشبینی میکنند که با واقعیت منافات دارد.



شکل ۵- تغییرات عدد فرود برحسب عمق نسبی با استفاده از روش های معمول (مقطع همگن).



شکل ۲- تغییرات عدد فرود برحسب عمق نسبی با استفاده از روشهای معمول.

بررسی تأثیر عرض نسبی بر عدد فرود: با افزایش عرض نسبی در حالت همگن در شرایط بحرانی عمق بحرانی کاهش مییابد. در شرایط زیر بحرانی نیز با افزایش عرض نسبی عدد فرود کاهش مییابد. در مقطع آکرز در حالت همگن در زبری نسبی بالاتر از ۱۰ فقط ۲۰/۰ از عمق نسبی بحرانی کاسته خواهد شد. در همین شرایط کاهش برآورد شده توسط روش سنتی حدود ٥ برابر مقدار مذکور خواهد بود (شکل ۹). در حالت غیر همگن در زبری نسبی ۲/٦۷ این مقدار کاهش برابر ۲۰۱۶ است. افزایش عرض نسبی در رژیم زیر بحرانی باعث کاهش عدد فرود شده است (شکل ۱۰). بررسی تأثیر زبری نسبی بر عدد فرود: در حالت غیرهمگن عمق بحرانی در دبی بیشتری ایجاد می شود. خطا در محاسبه عمق بحرانی بوسیله روش سنتی نسبت نبه روش اصلاحی افرایش مییابد. به طور مثال، در مقطع فرضی آکرز با افزایش زبری نسبی به میزان ۲۰ درصد، میزان خطا در برآورد عمق نسبی بحرانی ۲۰ درصد افزایش مییابد (شکل ۷). میزان واقعی افزایش عمق نسبی بحرانی در این زبری نسبی برابر ۲۰/۰ است (شکل ۸). در رژیم فوق بحرانی با افزایش زبری نسبی عدد فرود افزایش مییابد. در استفاده از این روش در مقاطع آبراهههای طبیعی که زبری نسبی بالایی دارند، باید محتاط آبراهههای طبیعی که زبری نسبی بالایی دارند، باید محتاط



شکل ۷-تغییرات عدد فرود برحسب عمق نسبی با استفاده از روش های معمول در زبری نسبی ۱/٦۷.



شکل ۸- تغییرات عدد فرود برحسب عمق نسبی با استفاده از روش اصلاح شده در زبری نسبی متفاوت.



شکل ۹- تغییرات عدد فرود برحسب عمق نسبی با استفاده از روش اصلاح شده در عرض نسبی متفاوت (مقطع همگن).





هندسی و هیدرولیکی مشابه رژیم واقعی جریان را بدرستی پیشبینی نمیکنند. در اعماق نسبی بالا (بیش از ۱) مقطع مرکب به لحاظ هیدرولیکی مشابه مقطع واحد عمل نموده و از روش سنتی میتوان بهره برد. روش اصلاح شده میتواند معیاری از واقعیت باشد زیرا علاوهبر دادههای FCF در مقاطع آزمایشگاهی کوچک مقیاس نیز نتایج رضایتبخشی دارد.

نتيجه گيرى

انرژی مخصوص غیراصلاحی که در گذشته بهعنوان معیاری برای ارزیابی صحت سایر روش ها مورد استفاده قرار می گرفته است تعداد و مقدار عمق بحرانی را بیش از واقعیت برآورد می کند. نتایج حاصل از روش های مبتنی بر انرژی مخصوص و نیروی مخصوص شامل مقطع واحد، تجزیه مقطع، انرژی، ممنتوم و عدد فرود وزنی در مقاطع مرکب قابل اطمینان نیستند. این روش ها در شرایط

منابع

- Ackers, P. 1992. Hydraulic design of two-stage channel. Proc., Inst. Civ. Eng., Water, maritime and Energy, Vol. 96, 247-257.
- 2.Ackers, P. 1993. Stage-Discharge functions for two-stage channel. Water and Environmental Management, Vol. 7. pp. 52-61.
- 3.Ayyoub zadeh, S.A., and Zahiri, A. 2004. Numerical study of flood routing in compound channel, Int. Conference on Hydraulics of Dams and River Structures, Tehran, Iran, pp 353-358.
- 4.Bakhmeteff, B.A. 1932. Hydraulics of Open Channels. McGraw-Hill, New York.
- 5.Blalock, M.E., and Sturm, T.W. 1981. Minimum specific energy in compound channel. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 107, 699–717.
- 6.Blalock, M.E., and Sturm, T.W. 1983. Closure of minimum specific energy in compound channel. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 109, 483–486.
- 7.Chaudhry, M.H., and Bhallamudi, S.M. 1988. Computation of critical depth in symmetrical compound channels. Journal of Hydraulic Research, 26, No. 4, 377-396.
- 8.Konemann, N. 1982. Discussion of Blalock and Sturm. (1981), Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 108, 462–464.
- 9.Kordi, E., Ahmadi, M.Z., Ayyoub zadeh, S.A., and Zahiri, A. 2006. Prediction of critical depth in compound Channels. M.Sc. thesis, University of Mazandaran, PP: 141.
- 10.Lee, P.J., Lambert, M.F., and Simpson, A.R. 2002. Critical Depth prediction in straight compound channels. Water & Maritime Engineering, 154, Issue 4, pp. 317-332.
- 11.Petryk, S., and Grant, E.U. 1978. Critical flow in rivers with flood plains. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 104, No. HY5, May, 583–594.
- 12.Schoellhamer, D.H., Peters, J.C., and Larok, B.E. 1985. Subdivision Froude Number. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 111, No. 7, July, 1099–1104.
- 13.Seckin, G. 2004. A Comparison of one-dimensional methods for estimating discharge capacity of straight compound channels. Canadian Journal of civil Engineering, 31: 619–631.
- 14.Sturm, T.W. 2001. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Co., New York.

Calculation of critical depth in open compound cross sections considering Momentum transfer effect

E. Kordi¹, S.A. Ayyoubzaseh², M. Z. Ahmadi³ and A. Zahiri⁴

¹Former M.Sc. Student of Dept. of Water Engg. Mazandaran University, Iran, ²Assistant Prof. Dept. of Water Engg. of Trabiat Modarres University, Iran, ³Prof. of Dept. of Water Engg. Mazandaran University, Iran, ⁴Manager of Sediment Research office Khozestan Water and Power Authority (KWPF), Iran

Abstract

In hydraulic analysis of open compound cross sections, the calculation of the critical depth is very important. There are different methods for estimating the number and amount of critical depths such as unit cross section, the conventional method with separation of cross section, energy method, momentum method and weighted Froude Number method. In all these methods the momentum transfer effect resulting from occurrence of cross gradient of velocity between main cross section and flood plains are not considered. This phenomenon, which is described as interaction effect, is ambiguous and complicated and the results of the works of researchers have not ended to the introducing and proposing of a practical and comprehensive method for design and investigation about compound cross section yet. The conventional method calculates average velocities higher in main cross section and lower in flood plains than real values. In this paper, the corrected one-dimensional method for estimation of critical depth was introduced the interaction effect is considered. In this study, the average flow velocity in main cross section and flood plain and consequently partial and total discharge rates have been corrected using the coherence method. Results showed that the conventional method with separation of cross section gives higher critical depth and specific energy. This increase depends on geometry and hydraulic condition of flow, and varies from few millimeters in small scale laboratory to tens of centimeter in the rivers. The variation range in minimum specific energy is higher than in critical depth.

Keywords: Compound cross section; Critical depth; Cross section separation method; Coherence; Corrected one-dimensional method