

## مدل ریاضی یک بعدی هیدرولیک سرریزهای جانبی در شرایط وقوع پرش هیدرولیکی

حسین محمد ولی سامانی

گروه عمران - دانشگاه شهید چمران اهواز

پست الکترونیکی: [hossein\\_samani@hotmail.com](mailto:hossein_samani@hotmail.com)

### چکیده

در این مقاله معادلات حاکم بر جریان یک بعدی متغیر مکانی با کاهش دبی با استفاده از روش عددی رانج-کوتا مرتبه چهارم حل شده است. یکی از حالات محتمل که تحلیل آن از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار است حالتی است که در آن پرش هیدرولیکی در محدوده سرریز جانبی اتفاق می‌افتد. در این حالت بر خلاف حالات دیگر که یک شرط مرزی در بالادست برای جریان فوق بحرانی یا در پایین دست برای جریان زیر بحرانی لازم است، دو شرط مرزی مورد نیاز است یکی در بالا دست و دیگری در پایین دست زیرا جریان در بالادست پرش فوق بحرانی و در پایین دست زیر بحرانی است. از مجهولات مهم در تحلیل مسئله تعیین محل پرش هیدرولیکی و میزان دبی خروجی از سرریز جانبی می‌باشد. در این تحقیق نیمرخ طولی سطح آب در بالادست و پایین دست محل پرش هیدرولیکی با حل معادلات دیفرانسیلی جریان متغیر مکانی با کاهش دبی با استفاده از روش عددی رانج-کوتا مرتبه چهارم به دست آمده است. نیمرخ طولی خود پرش هیدرولیکی خطی فرض شده است. محل پرش هیدرولیکی بر اساس تعادل مومنتم قبل و بعد از پرش هیدرولیکی با ارائه یک شیوه عددی مبتنی بر تکرار تعیین گردیده است. یک مثال مربوط به مجرای مستطیلی شکل که در آن پرش هیدرولیکی به وقوع می‌پیوندد برای نشان دادن توان مدل ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: مدل ریاضی، جریان متغیر مکانی، پرش هیدرولیکی، روش رانج-کوتا مرتبه چهارم و نیروی مخصوص.

### مقدمه

معادلات دیفرانسیل پیوستگی و انرژی حاکم بر جریان متغیر مکانی با کاهش دبی قابل حل به صورت تحلیلی نمی‌باشد مگر این که از بعضی از جملات آنها صرفنظر شود. دیمارچی در سال ۱۹۳۴ از افت انرژی در طول سرریز و شیب بستر صرفنظر نمود و حل تحلیلی معادلات مذکور را ارائه کرد. فریزر (۱۹۵۷) تئوری شبیه تئوری دیمارچی ارائه نمود. ایکرز (۱۹۵۷) اصلاحاتی در معادله انرژی منظور کرد که در آن توزیع فشار را در نزدیکی سرریز غیر هیدرواستاتیکی در نظر گرفت. کلینج (۱۹۵۷) نتایج دیمارچی را با یک سری آزمایش بررسی نمود و به این نتیجه رسید که در حالت جریان فوق بحرانی تفاوت قابل توجهی بین تئوری و آزمایش وجود دارد. همچنین او این تفاوت‌ها را ناشی از در نظر نگرفتن افت انرژی و تغییرات ضریب تخلیه سرریز در طول آن بیان نمود.

نظر به این که افت انرژی از موارد مهم به حساب می‌آید، محققین مختلف دیگر نظیر اسمیت (۱۹۷۳)، الخشاب و اسمیت (۱۹۷۶)، رانگا راجو و همکاران (۱۹۷۹) و هیگر (۱۹۸۷) آن را مورد توجه قرار دادند. سبرامانیا و اواستی (۱۹۷۲)، اسوامی و پاتاک (۱۹۹۴)، سینگ و همکاران و شفافی و ایزدجو (۱۹۹۶)، در تحقیقات خود برای ضریب تخلیه سرریز روابط ریاضی پیشنهاد کردند. داس (۱۹۹۷) در تحقیقات خود ضریب سرریز را ثابت در نظر گرفت. رابینسون و مک‌گی (۱۹۹۳) معادلات جریان متغیر مکانی در سرریز جانبی را با در نظر گرفتن افت انرژی برای حالات بدون پرش هیدرولیکی به صورت عددی حل نمود. در این مقاله حل عددی کامل معادلات پیوستگی، انرژی و اندازه حرکت در کانال‌های منشوری همراه سرریز جانبی با و بدون در نظر گرفتن پرش هیدرولیکی ارائه شده است.

### تئوری

در این تحقیق مجرای اصلی مستطیلی در نظر گرفته شده است. معادلات دیفرانسیلی یک بعدی حاکم بر جریان متغیر مکانی با کاهش دبی به صورت ذیل است: (هندرسون، ۱۹۶۱)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - \frac{n^2 Q^2}{R^{4/3} A^2} - \frac{\alpha Q}{g A^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - \frac{Q^2 B}{g A^3}} = f(y, Q) \quad (1)$$

$$\frac{dQ}{dx} = -\frac{2}{3} C \sqrt{2g} (y-w)^{1.5} = g(y) \quad (2)$$

که در آن:

$x$  = فاصله از مبدأ در طول کانال (متر)

$y$  = عمق جریان در کانال (متر)

$S_0$  = شیب بستر کانال

$n$  = ضریب مانینگ بستر و دیواره کانال

$Q$  = دبی جریان در مجرای اصلی (متر مکعب در ثانیه)

$R$  = شعاع هیدرولیکی مقطع جریان در کانال (متر)

$A$  = سطح مقطع جریان در کانال (مترمربع)

$g$  = شتاب ثقل زمین (متر در مجذور ثانیه)

$\alpha$  = ضریب تصحیح انرژی جنبشی

$B$  = عرض سطح آب در مقطع کانال (متر)

$C$  = ضریب تخلیه سرریز جانبی

$w$  = ارتفاع دیواره سرریز از بستر کانال (متر)

برای حل دستگاه معادلات فوق از روش رانج-کوتا مرتبه چهارم (فوکس و مایر،

۱۹۶۸) استفاده می‌شود. بنابراین:

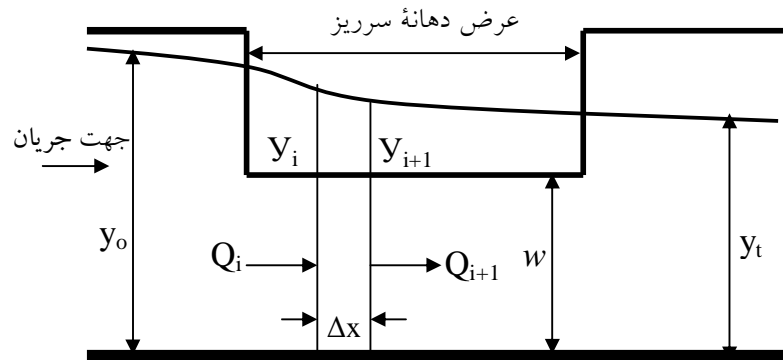
$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6} (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4) \quad (3)$$

$$Q_{i+1} = Q_i + \frac{1}{6} (L_1 + 2L_2 + 2L_3 + L_4) \quad (4)$$

که در آن  $y_i, y_{i+1}, Q_i$  و  $Q_{i+1}$  به ترتیب عمقها و دبی‌های جریان در ابتدا و انتهای جزء ۱ (به شکل ۱ توجّه شود) و ضرایب  $K_1, K_2, K_3, K_4, L_1, L_2, L_3, L_4$  ضرایب رانج-کوتا هستند که از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\begin{aligned} K_1 &= \Delta x f(y_i, Q_i) \\ L_1 &= \Delta x g(y_i) \\ K_2 &= \Delta x f\left(y_i + \frac{K_1}{2}, Q_i + \frac{L_1}{2}\right) \\ L_2 &= \Delta x g\left(y_i + \frac{K_1}{2}\right) \\ K_3 &= \Delta x f\left(y_i + \frac{K_2}{2}, Q_i + \frac{L_2}{2}\right) \\ L_3 &= \Delta x g\left(y_i + \frac{K_2}{2}\right) \\ K_4 &= \Delta x f(y_i + K_3, Q_i + L_3) \\ K_2 &= \Delta x g(y_i + K_3) \end{aligned} \quad (5)$$

$\Delta x =$  طول هر جزء



شکل ۱- نمایش یک جزء به طول  $\Delta x$  در یک سرریز جانبی و متغیرهای مربوطه

با تقسیم کردن طول سرریز به مجموعه از اجزاء که طول هر کدام برابر  $\Delta x$  است، عمق و دبی جریان با استفاده از روابط (۳)، (۴) و (۵) جزء به جزء محاسبه می‌شود. حل معادلات جریان ذکر شده برای حالتی که در سراسر سرریز جریان زیر بحرانی برقرار باشد، به علت این که کنترل جریان در پائین دست است، شرایط مرزی در پایین دست لازم بوده و از آنجا محاسبات شروع می‌شود. نکته حائز اهمیت در شروع محاسبات این است که دبی جریان در پایین دست سرریز معلوم نیست زیرا دبی انحرافی از روی سرریز جانبی نیز مجهول می‌باشد. بنابراین محاسبات توسط روش عددی ارائه شده با استفاده از معادلات مذکور با یک دبی حدسی از پائین دست شروع و به سمت بالا دست ادامه پیدا می‌کند تا به ابتدای سرریز برسد. دبی محاسبه شده در ابتدای سرریز بایستی برابر با دبی کانال بالا دست باشد. در غیر این صورت با یک دبی فرضی دیگر محاسبات مجدداً از پایین دست شروع می‌شود. این روال آنقدر تکرار می‌گردد تا دبی ابتدای سرریز برابر یا نزدیک به دبی کانال در بالا دست شود. لازم به ذکر است که محاسبات مذکور از دبی‌های کم شروع می‌شود تا جهت تصحیح در مراحل محاسباتی بعدی مشخص باشد به عبارت دیگر دبی اصلاحی مثبت خواهد بود.

برای حالتی که در سراسر سرریز جریان فوق بحرانی باشد، مقطع کنترل در بالادست خواهد بود یعنی محاسبات باید از ابتدای سرریز شروع شود. این حالت مانند حالت قبلی نیاز به تکرار ندارد زیرا در بالا دست سرریز، دبی و عمق جریان هر دو معلوم می‌باشند. بنابراین محاسبات جزء به جزء از بالا دست به سمت پایین دست بر اساس معادلات (۳)، (۴) و (۵) به راحتی تا انتهای سرریز ادامه پیدا می‌کند.

### الگوریتم محاسبات برای حالتی که پرش هیدرولیکی اتفاق می‌افتد

شرایطی که در آن پرش هیدرولیکی اتفاق می‌افتد عبارتند از:

الف) شیب کف کانال ملایم باشد.

ب) ارتفاع دیواره سرریز از بستر کانال  $w$  بایستی کوچک‌تر از عمق بحرانی  $y_c$  باشد.

ج) بسته به ارتفاع پایاب  $y_i$ ، پرش ممکن است در محدوده عرض سرریز یا در بیرون محدوده سرریز در پایین دست واقع شود. لازم به ذکر است که اگر ارتفاع پایاب به اندازه قابل توجه بزرگ باشد و طول سرریز به اندازه کافی طولانی باشد ممکن است عمق بحرانی  $y_c$  در ابتدای سرریز تشکیل نشود و در این صورت پرش هیدرولیکی اتفاق نخواهد افتاد.

در صورت برقرار شدن شرایط پرش هیدرولیکی تشریح شده در فوق جریان در ابتدای سرریز بحرانی خواهد بود. بنابراین در ابتدای سرریز جانبی عمق بحرانی به عنوان شرط مرزی بالا دست در نظر گرفته می‌شود. در پایین دست سرریز جانبی جریان زیر بحرانی خواهد بود اما مقدار دبی آن مجهول است. بنابراین استفاده از شرط مرزی پایین دست همراه با آزمون و خطا و تکرار در حل معادلات دینامیکی مربوطه خواهد بود. به طور کلی روش محاسبات مانند ذیل است:

۱-  $\Delta x$  به طور دلخواه انتخاب شود. هر چه کوچک‌تر انتخاب شود دقت نتایج بیشتر خواهد بود. به هر حال مقدار  $\Delta x$  آنقدر کوچک انتخاب شود که کوچک‌تر از آن تأثیر قابل توجهی بر دقت محاسبات نداشته باشد.

۲- عمق بحرانی در ابتدای سرریز جانبی با داشتن دبی ابتدای سرریز و ابعاد مجرای اصلی محاسبه شود.

۳- مقادیر ضرایب روابط (۵) برای اولین نقطه بالا دست سرریز که در آن  $y_i$  و  $Q_i$  معلوم است محاسبه شود.

۴-  $y_{i+1}$  و  $Q_{i+1}$  انتهای جزء اول از روابط (۳) و (۴) محاسبه گردد.

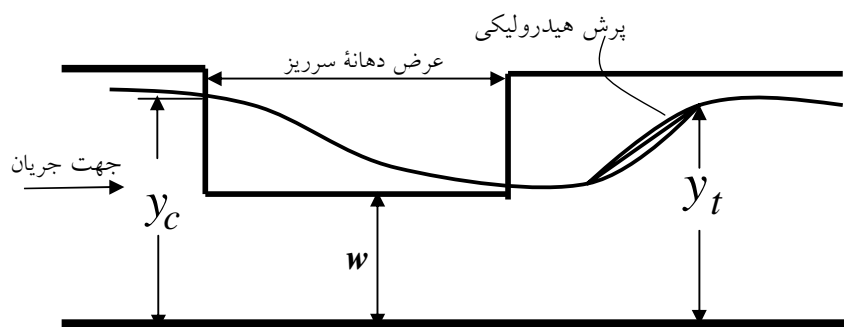
۵-  $y_{i+1}$  و  $Q_{i+1}$  محاسبه شده در انتهای جزء اول به عنوان عمق ودبی جریان در ابتدای جزء بعدی در نظر گرفته می‌شود و محاسبات عمق و دبی جریان برای عناصر بعدی به همین ترتیب تا انتهای سرریز ادامه پیدا می‌کند.

۶- به منظور تعیین این که آیا پرش هیدرولیکی در محدوده سرریز جانبی یا بیرون آن اتفاق می‌افتد به صورت ذیل عمل می‌شود.

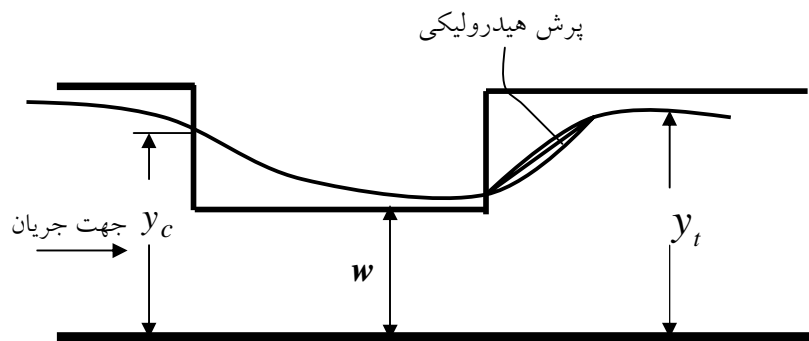
با توجه به عمق و دبی محاسبه شده در انتهای پایین دست سرریز، عمق ثانویه<sup>۱</sup> پرش هیدرولیکی  $y_2$  بر اساس رابطه معمولی پرش هیدرولیکی و همچنین عمق متناظر با دبی پایاب  $y_1$  از رابطه مانینگ یا رابطه دبی-اشل در دسترس محاسبه می‌شود. در این صورت حالات ذیل ممکن است پیش آید:

الف- اگر  $y_2 > y_1$  باشد، پرش هیدرولیکی در بیرون محدوده سرریز جانبی بوده و در نتیجه محاسبات در اینجا خاتمه یافته تلقی می‌شود (شکل ۲).

ب- اگر  $y_2 = y_1$  باشد، پرش هیدرولیکی درست در انتهای سرریز جانبی بوده و بنابراین محاسبات خاتمه یافته تلقی می‌شود (شکل ۳).

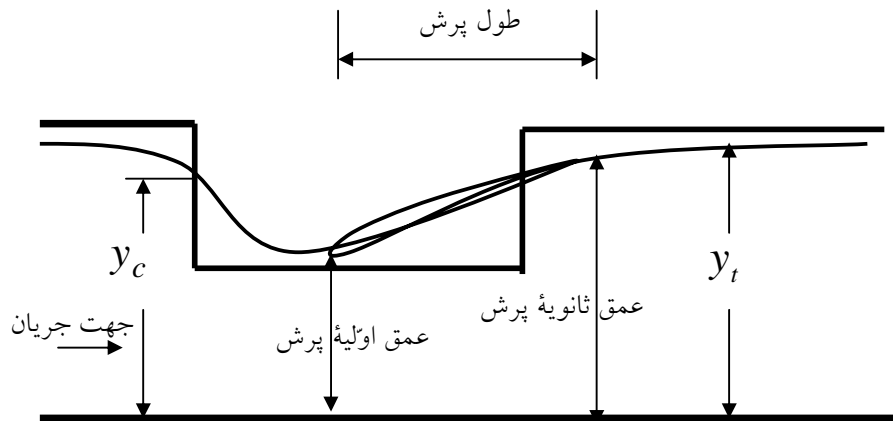


شکل ۲- نمایش حالت الف، پرش هیدرولیکی در پائین دست محدوده سرریز است.



شکل ۳- نمایش حالت ب، پرش هیدرولیکی درست در انتهای سرریز است.

ج- اگر  $y_2 < y_1$  باشد، پرش هیدرولیکی در محدوده سرریز جانبی بوده (شکل ۴) و در این صورت گام بعدی دنبال می‌شود.



شکل ۴- نمایش حالت ج، پرش هیدرولیکی در محدوده سرریز است.

۷- یک گام به اندازه  $\Delta x$  به سمت بالا دست در محدوده سرریز جانبی بر می‌گردیم. حال باید بررسی شود که آیا پرش هیدرولیکی در همین نقطه اتفاق می‌افتد یا خیر. برای این منظور گام‌های بعدی دنبال می‌شود.

۸- عمق ثانویه پرش هیدرولیکی در این محل  $y_2$  حدس زده می‌شود (معمولاً  $y_2$  حدود  $y_1$  مرحله قبلی به عنوان حدس اولیه در نظر گرفته می‌شود). لازم به ذکر است که عمق اولیه پرش هیدرولیکی در این محل از معادله (۳) در گام‌های قبلی محاسبه شده است.

۹- طول پرش هیدرولیکی از رابطه  $L_j = \lambda y_2$  محاسبه می‌شود ( $\lambda$  ضریب طول پرش هیدرولیکی می‌باشد که توسط کاربر داده می‌شود).

۱۰- شیب منحنی پرش هیدرولیکی با فرض این که نیمرخ پرش خطی باشد از رابطه

$$m = \frac{y_2 - y_1}{L_j} \text{ ح تعیین می‌شود.}$$



۱۱- دبی خروجی از سرریز جانبی در محدوده پرش هیدرولیکی با در نظر گرفتن عمق میانگین  $y_m$  جریان ابتدای پرش  $y_1$  و انتهای آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta Q = \frac{2}{3} C \sqrt{2g} N \Delta x (y_m - w)^{1.5}$$

که در آن  $N$  تعداد گام‌هایی که از انتهای سرریز به سمت بالا دست بر گشته‌ایم و در اولین گام برابر واحد می‌باشد.

۱۲- مقدار دبی در انتهای سرریز  $Q_2$  از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$Q_2 = Q_1 - \Delta Q$$

که در آن  $Q_1$  دبی جریان محاسبه شده در محل ابتدای پرش هیدرولیکی می‌باشد.

۱۳- نیروی مخصوص<sup>۱</sup> در مقطع اول  $F_{s1}$  با داشتن  $y_1$  و  $Q_1$  و نیروی مخصوص در مقطع دوم  $F_{s2}$  با داشتن  $y_2$  و  $Q_2$  از رابطه:

$$F_s = \bar{y}A + \frac{Q^2}{gA}$$

محاسبه می‌شوند که در آن  $\bar{y}$  فاصله مرکز ثقل سطح مقطع کانال از سطح آب می‌باشد.

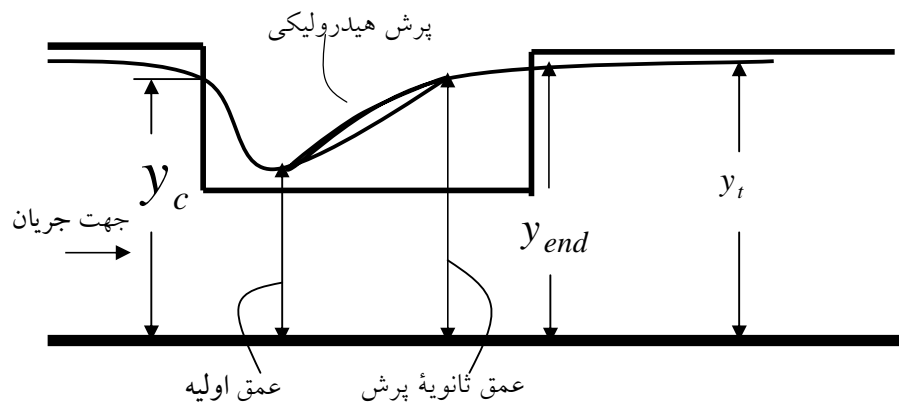
۱۴-  $F_{s1}$  با  $F_{s2}$  مقایسه شود، چنانچه مساوی باشند،  $y_2$  حدس زده شده صحیح است، در غیر این صورت  $y_2$  دیگری حدس زده شود. جهت حدس باید در جهت کاهش باشد زیرا حدس قبلی بزرگ بوده است. بنابراین با حدس  $y_2$  کوچکتر مجدداً مراحل ۹ تا ۱۴ تکرار می‌شود. این عمل آنقدر تکرار می‌شود تا همگرایی حاصل شود.

۱۵- پس از همگرایی و به دست آمدن مجهولات که از جمله آنها  $Q_2$  است، مقدار عمق

$$\text{جریان پایاب } y_f \text{ از رابطه مانینگ } (Q = \frac{1}{n} R^{2/3} AS_o^{1/2}) \text{ محاسبه می‌شود.}$$

۱۶- چنانچه  $y_f$  محاسبه شده برابر با عمق جریان پس از پرش هیدرولیکی  $y_2$  باشد محاسبات خاتمه یافته تلقی شده و محل تعیین شده پرش هیدرولیکی صحیح است. اگر  $y_2 < y_f$  باشد یک گام  $\Delta x$  دیگر به عقب برگشته و مجدداً مراحل ۹ تا ۱۶ تکرار می‌شود. تکرار این روال آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا همگرایی حاصل شود.

انتخاب معیار همگرایی بستگی به دقت مورد نظر دارد. دقت تا یک میلی متر مناسب به حساب می آید به عبارت دیگر در انجام تکرار محاسبات هرگاه قدر مطلق تفاوت  $y_2$  و  $y_1$  از یک میلی متر کمتر گردید محاسبات پایان یافته تلقی می شود. در حالتی که پرش هیدرولیکی در محدوده سرریز جانبی اتفاق می افتد، یک حالت ممکن دیگر بر خلاف حالات تشریح شده فوق، این است که انتهای پرش در محدوده سرریز قرار گیرد (شکل ۵). در این صورت شیوه محاسبات تغییر نکرده و فقط در محاسبه عمق میانگین قبل و بعد از پرش مطرح شده در گام ۱۱ ( $y_m$ ) از عمق انتهای پرش  $y_2$  به جای عمق جریان در انتهای سرریز جانبی استفاده می شود. سپس نیمرخ سطح آب بر اساس روابط (۳) و (۴) تا انتهای سرریز ادامه پیدا کرده و عمق جریان در انتهای سرریز جانبی  $y_{end}$  تعیین می شود.



شکل ۵- نمایش حالتی که انتهای پرش هیدرولیکی در محدوده سرریز است

۱۷- بر اساس  $Q$  انتهای سرریز محاسبه شده در گام قبلی، با به کار بردن رابطه مانینگ عمق پایاب  $y_t$  محاسبه می شود.

۱۸- چنانچه  $y_t$  محاسبه شده در گام قبلی برابر با عمق جریان در انتهای سرریز جانبی  $y_{end}$  باشد محاسبات خاتمه یافته تلقی می شود. اگر  $y_t > y_{end}$  باشد، در این

صورت یک گام  $\Delta x$  به بالا دست برمی گردیم و مراحل ۹ تا ۱۸ مجدداً تکرار می شود. چنانچه اگر در برگشت به بالادست به ابتدای سرریز برسیم، این بدین معنی خواهد بود که شرایط پرش هیدرولیکی برقرار نیست و نیمرخ طولی محاسبه شده معمولی و بدون پرش می باشد.

### ارزیابی مدل

اطلاعات ذیل در مورد یک سرریز جانبی با مجرای اصلی مستطیلی داده شده است:

$L_s = 2 \text{ m}$	(طول سرریز)
$Q = 5 \text{ m}^3 / \text{s}$	(دبی جریان)
$w = 0.4 \text{ m}$	(ارتفاع تاج سرریز)
$B = 3 \text{ m}$	(عرض مجرای اصلی)
$S_o = 0.001$	(شیب کف مجرای اصلی)
$C = 0.6$	(ضریب تخلیه سرریز)
$n = 0.03$	(ضریب زبری مانینگ در مجرای اصلی)

با استفاده از برنامه کامپیوتری تهیه شده بر اساس الگوریتم تشریح شده نتایج محاسبات با در نظر گرفتن  $\Delta x = 0.1 \text{ m}$  مانند ذیل به دست می آید:

$y_c = 0.657 \text{ m}$	(عمق بحرانی جریان در ابتدای سرریز جانبی)
$Q_{div} = 0.54 \text{ m}^3 / \text{s}$	(دبی جریان انحرافی از روی سرریز جانبی)

نتایج مربوط به تغییرات عمق جریان و توزیع دبی در طول سرریز جانبی در جدول ۱ ارائه شده است. پرش هیدرولیکی در محدوده سرریز قرار گرفته و محل وقوع آن در فاصله یک متری از ابتدای سرریز می باشد.

جدول ۱- تغییرات عمق جریان و دبی در طول سرریز جانبی

فاصله از ابتدای سرریز (متر)	عمق جریان (متر)	دبی (متر مکعب در ثانیه)
۰/۰	۰/۶۵۷	۵/۰۰۰
۰/۱	۰/۶۳۳	۴/۹۷۹
۰/۲	۰/۶۲۵	۴/۹۵۹
۰/۳	۰/۶۱۹	۴/۹۴۱
۰/۴	۰/۶۱۴	۴/۹۲۳
۰/۵	۰/۶۱۱	۴/۹۰۶
۰/۶	۰/۶۰۷	۴/۸۹
۰/۷	۰/۶۰۵	۴/۸۷۲
۰/۸	۰/۶۰۲	۴/۸۵۶
۰/۹	۰/۶۰۰	۴/۸۴۰
۱/۰	۰/۵۹۸	۴/۸۲۴
۱/۱	۰/۶۴۹	۴/۸۰۶
۱/۲	۰/۷۰۰	۴/۷۸۰
۱/۳	۰/۷۵۲	۴/۷۴۷
۱/۴	۰/۷۵۸	۴/۷۰۴
۱/۵	۰/۷۶۵	۴/۶۶۶
۱/۶	۰/۷۷۰	۴/۶۲۷
۱/۷	۰/۷۷۶	۴/۵۸۷
۱/۸	۰/۷۸۲	۴/۵۴۶
۱/۹	۰/۷۸۷	۴/۵۰۵
۲/۰	۰/۷۹۳	۴/۴۶۱

### خلاصه و نتیجه گیری

حالت جریان متغیر مکانی با کاهش دبی به همراه پرش هیدرولیکی برای سرریزهای جانبی یک حالت ممکن می‌باشد. این شرایط موقعی ممکن است رخ دهد که جریان در مجرای اصلی زیر بحرانی، شیب کف ملایم و ارتفاع تاج سرریز کمتر از عمق بحرانی در ابتدای سرریز باشد. بنابراین حالت مذکور باید در محاسبات در نظر گرفته شود. در این تحقیق مدل ریاضی هیدرولیک سرریز جانبی در وضعیت پرش هیدرولیکی تهیه شد. تحلیل هیدرولیکی این حالت از پیچیدگی خاصی برخوردار است. پیچیدگی از این جهت است که محل پرش هیدرولیکی مشخص نمی‌باشد و همچنین پرش مذکور پرش هیدرولیکی معمولی با دبی ثابت نیست بلکه دبی در طول پرش به علت عبور جریان از روی سرریز جانبی مرتباً کاهش می‌یابد. در این مقاله طی یک الگوریتم منطقی معادلات دیفرانسیلی پیوستگی و انرژی (به صورت یک بعدی) همراه با معادلات اندازه حرکت (یک بعدی با کاهش دبی برای پرش هیدرولیکی) از روش رانج-کوتا مرتبه چهارم و با استفاده از تکرار حل گردیدند. با این روش دبی انحرافی از روی سرریز جانبی قابل محاسبه و نیمرخ سطح آب در مسیر سرریز جانبی قابل تعیین می‌باشد. از روی نتایج حاصله نیمرخ طولی سطح آب محل و نوع پرش هیدرولیکی قابل تشخیص می‌باشد. چنان چه شرایط پرش هیدرولیکی برقرار نباشد خود به خود معادلات تعادل نیروی مخصوص ارضا نخواهد شد و در نتیجه برای چنین حالتی نیمرخ طولی سطح آب بدون پرش خواهد بود.

### مراجع

- [1] Ackers, P., "A theoretical Consideration of Side Weirs as Storm Water Flows" Proceedings of the Institution of Civil Engineers, London, England, 6 (1957) 250-269.

- [2] Collinge, V.K., "The Discharge Capacity of the Side Weirs" Proceedings of the Institution of Civil Engineers, London, England, 6 (1957) 288-304.
- [3] DeMarchi, G., "Essay on the Performance of Lateral Weirs" L. Energia Elettrica, Millan, Italy, 11 (1934) 849-860.
- [4] El-Khashab, A.M.M. and Smith, K.V.H., "Experimental Investigation of Flow Over Side Weirs" Journal of Hydraulics Engineering, ASCE, 102, 9 (1976) 1255-1268.
- [5] Fox, L. and Mayers, D.F., "Computing Methods for Scientists and Engineers" Oxford University Press. (1968).
- [6] Frazer, W., "The Behavior of Side Weirs in Prismatic Rectangular Channels" Proceedings of the Institution of Civil Engineers, London, England, 6 (1957) 305-327.
- [7] Hager, W.H., "Lateral Outflow Over Side Weirs" Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 4, 3 (1987) 491-504.
- [8] Henderson, F.M., "Open Channel Flow" McMillan Series in Civil Engineering, New York. (1961).
- [9] Ranga Raju, K.G., Prasad, B. and Gupta, S.K., "Side Weir in Rectangular Channel" Journal of Hydraulics Engineering, ASCE, 105, 5 (1979) 547-554.
- [10] Robinson, D.I. and McGhee, T.J., "Computer Modelling of Side Weirs" Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 119, 6 (1993) 989-1005.
- [11] Shafaei Bajestan, M. and Izadjoo, F., "A computer Model for Design of Side Weirs" Journal of Engineering Faculty, Tabriz University, 10 (1996) 1-12.

- [12] Singh, R., Manivannan, D. and Satyanarayana, T., “Discharge Coefficient of Rectangular Side Weirs” Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 120, 4 (1994) 814-819.
- [13] Smith, K.V.H., “Computer Programming for Flow Over Side Weirs” Journal of Hydraulics Engineering, ASCE, 99, 3 (1973) 499-508.
- [14] Subramanya, K. and Awasthy, S.C., “Spatially Varied Flow Over Side Weirs” Journal of Hydraulics Engineering, ASCE, 98, 1 (1972) 1-10.
- [15] Swamee, P.K., Pathak, S.K., Mohan, M., Agrawal, S.K. and Ali, M.S., “Subcritical Flow Over Rectangular Side Weir” Journal of Irrigation and drainage Engineering, ASCE, 120, 1 (1994) 212- 217.