

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرایش‌های مختلف شمع بر عملکرد هیدرولیکی و ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای تک‌سیکل

سیما صمدی قره‌ورن<sup>۱\*</sup>، داود فرسادی‌زاده<sup>۲</sup> و علی حسین‌زاده دلیر<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی دکترای سازه‌های آبی؛ و استادان گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۲

### چکیده

سرریزهای جانبی سازه‌هایی هیدرولیکی هستند که در دیواره جانبی کانال نصب می‌شوند و جریان مازاد بر دبی طراحی را از کانال خارج می‌کنند. سرریزهای کنگره‌ای در پلان دارای شکستگی‌اند و در نتیجه طول موثر و در برخی موارد ضریب دبی بیشتری نسبت به سرریزهای ساده دارند. در تحقیق حاضر، تأثیر استفاده از شمع‌ها با آرایش‌های مختلف بر ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای تک‌سیکل بررسی شده است. آزمایش‌ها در کانال مستطیلی و شرایط زیر بحرانی و محدوده عدد فرود  $0.37-1.0$  اجرا شده‌اند. سه قطر مختلف برای سرریزهای جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای با ارتفاع ثابت در نظر گرفته شد. شمع‌های مورد استفاده استوانه‌ای و هم‌ارتفاع با سرریز جانبی هستند. تعداد شمع‌ها از ۱ تا ۳ و در کل ۱۴ آرایش برای آنها در نظر گرفته شد. ابتدا تأثیر پارامترهای بی‌بعد استخراج شده از روش باکینگهام بر ضریب دبی سرریز جانبی بررسی و پس از آن رابطه‌ای برای محاسبه ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای همراه با شمع‌ها با دقت قابل قبول استخراج شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای در حالتی که شمع وجود دارد بیشتر از حالت بدون شمع است. در واقع وجود شمع باعث بهبود عملکرد هیدرولیکی سرریزهای جانبی نیم‌دایره‌ای می‌شود به طوری که در محدوده عدد فرود مورد مطالعه، ضریب دبی سرریزها تا ۱۵ درصد افزایش و تغییرات انرژی مخصوص در طول سرریزها تا ۳۴ درصد کاهش می‌یابد. بیشترین افزایش در ضریب دبی و بیشترین کاهش در تغییرات انرژی مخصوص مربوط به آرایشی است که سه شمع در لبه پایین دست سرریز قرار گیرند.

### واژه‌های کلیدی

انرژی مخصوص، جریان زیر بحرانی، روش باکینگهام، کانال مستطیلی

### مقدمه

می‌گردد و در صورتی که جریان در کانال از حد مورد نیاز فراتر رود، جریان مازاد را به کانال جانبی انتقال می‌دهد. جریان عبوری از روی سرریزهای جانبی از نوع متغیر مکانی با کاهش دبی است زیرا جریان مازاد به صورت فرعی از کانال اصلی خارج می‌شود و مقدار دبی کانال اصلی کاهش می‌یابد. نحوه عملکرد سرریزهای جانبی، انواع و نیز روش‌های افزایش راندمان آنها موضوعات مورد علاقه

سرریزها از سازه‌های هیدرولیکی پرکاربرد هستند که برای اهداف مختلف استفاده می‌شوند از جمله برای کنترل و تنظیم سطح آب، انحراف آب از مسیر اصلی و اندازه‌گیری جریان عبوری از یک مقطع کانال. یکی از کاربردهای سرریز، استفاده از آن به صورت جانبی است بدین معنی که سرریز در دیواره جانبی کانال نصب

محققان هستند و در این باره تاکنون مطالعات فراوانی شده است. اولین مطالعات در زمینه سرریز جانبی را دی‌مارچی (De Marchi, 1934) انجام داده است و در واقع مطالعات وی پایه تحقیق‌های بعدی در مورد جریان متغیر مکانی با کاهش دبی در سرریزهای جانبی است.

دی‌مارچی (De Marchi, 1934) روابط ۱ و ۲ را با در نظر گرفتن فرضیاتی مانند ثابت بودن ضریب تصحیح انرژی جنبشی، برای محاسبه ضریب دبی سرریز جانبی به میان آورد که با وجود گذشت سال‌های زیاد از ارائه آن، این رابطه امروزه نیز بسیار پرکاربرد است:

$$C_M = \frac{3B}{2L} (\phi_2 - \phi_1) \quad (1)$$

$$\phi(y, E, W) = \frac{2E - 3w}{E - w} \sqrt{\frac{E - y}{y - w}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E - y}{E - w}} \quad (2)$$

که در آنها،

$y$  و  $E$  = به ترتیب عمق جریان، ارتفاع سرریز و انرژی مخصوص جریان در مقطع مورد نظر.

بعد از دی‌مارچی، مطالعه روی سرریزهای جانبی وسعت بیشتری پیدا کرد و تعداد زیادی از محققان به مطالعه و بررسی این موضوع پرداختند. آکرز (Ackers, 1957) جزء اولین پژوهشگرانی است که ضریب دبی سرریز جانبی را مطالعه و مقدار آن را ارائه کرد. طبق نتایجی که وی به دست آورد، برای محاسبه عمق جریان ( $y$ )، مقدار ضریب در صفحه سرریز ۰/۷۲۵ و در فاصله دورتر از سرریز برابر ۰/۶۲۵ است. کومار و پاتاک (Kumar & Pathak, 1987) سه رابطه متفاوت برای سه زاویه راس متفاوت سرریز جانبی مثلثی پیشنهاد داده‌اند. برقعی و همکاران (Borghei et al., 1999) با بررسی آزمایشگاهی سرریز جانبی لبه‌تیز، رابطه تجربی محاسبه ضریب دبی این سرریزها را ارائه دادند. کوشار و آقاجی‌اغلو (Cosar &

## مواد و روش‌ها

### تحلیل ابعادی

پارامترهای موثر بر ضریب دبی سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای تک‌سیکل با وجود شمع به صورت رابطه ۳ است:

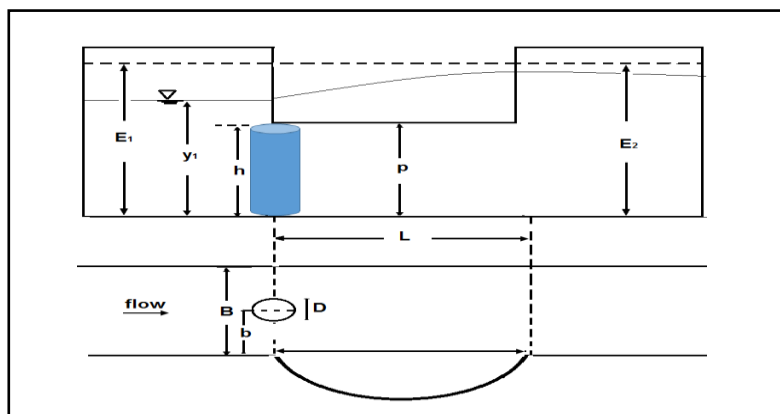
$$C_M = f \left( \begin{matrix} y_1, v_1, B, l_e, L, d, s_0, g, \mu, \rho, \\ n, \sigma, \Psi, p, a, h, N, x, b \end{matrix} \right) \quad (3)$$

که در آن،

$y_1$  = عمق جریان آب ابتدای سرریز در محور کانال؛  
 $v_1$  = سرعت جریان در ابتدای سرریز؛  $B$  = عرض کانال اصلی؛  
 $l_e$  = طول موثر سرریز؛  $L$  = طول بازشدگی دهانه سرریز؛  
 $d$  = قطر سرریز؛  $s_0$  = شیب کف کانال؛  $g$  = شتاب ثقل؛  
 $\mu$  = ویسکوزیته سیال؛  $\rho$  = دانسیته؛  $n$  = تعداد سیکل‌ها؛  
 $\sigma$  = کشش سطحی؛  $\Psi$  = زاویه انحراف جریان؛  
 $N$  = تعداد شمع‌ها؛  $p$  = ارتفاع سرریز جانبی؛  $x$  = فاصله شمع‌ها از ابتدای سرریز؛  
 $b$  = فاصله عرضی شمع‌ها از دیواره کانال؛  $h$  = ارتفاع شمع؛ و  $a$  = مساحت تصویر شمع‌ها (شکل ۱).

آزمایش‌ها متغیر بود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ضریب دبی در سرریز نامتقارن ۱/۶ برابر ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای متقارن و ۲/۳۵ برابر سرریز جانبی مستطیلی است. اسماعیل‌پور (Esmailpour, 2014) در آزمایشگاه ضریب دبی جریان را در سرریزهای جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای بررسی کرده است؛ مقایسه ضریب‌های دبی حاصل از آزمایش‌ها با ضریب‌های دبی سرریز نیم‌دایره‌ای تک سیکل نشان می‌دهد که با افزایش تعداد سیکل‌ها و شعاع سرریز، ضریب دبی افزایش می‌یابد به طوری که در سرریزهای سه، چهار و پنج سیکل ضریب دبی به ترتیب ۲۵/۵، ۳۰/۳ و ۳۲/۲ درصد بیشتر از حالت دو سیکل است و این مقادیر در حالت‌های دوطرفه برابر ۲۰/۶، ۲۶/۳ و ۲۷/۲ درصد است.

هدف از تحقیق حاضر، بررسی رفتار هیدرولیکی جریان عبوری از روی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای تک‌سیکل، تعیین ضریب دبی این سرریز و تأثیر شمع‌های نصب شده در کانال در افزایش ضریب دبی این سرریزهاست.



شکل ۱- پارامترهای هندسی موثر بر ضریب دبی سرریز نیم‌دایره‌ای با شمع

محاسبه ضریب دبی، رابطه ۴ به صورت زیر درمی‌آید:

با استفاده از روش  $\pi$  باکینگهام و با انتخاب پارامترهای  $v_1$  و  $\rho$  به عنوان متغیرهای تکراری در

$$C_M = f\left(\frac{gy_1}{V_1^2}, \frac{\sigma}{y_1 V_1^2 \rho}, \frac{\mu}{\rho V_1 y_1}, \frac{p}{y_1}, \frac{L}{B}, \frac{L}{y_1}, \frac{l_g}{L}, \frac{h}{p}, \frac{d}{B}, \frac{x}{L}, \frac{a}{By_1}, N, s_0, \Psi, n, \frac{b}{B}\right) \quad (4)$$

تجهیزات آزمایشگاهی و روش اجرای آزمایش‌ها  
 آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تبریز اجرا شد. فلوم آزمایشگاه دارای طول ۸/۴ متر، عرض ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و شیب طولی کانال صفر است. عرض شاخه فرعی نیز ۴۰ سانتی‌متر است که سرریزها در دهانه ورودی آن نصب می‌شوند. آب مخزن زیرزمینی با یک پمپ شناور با قدرت ۱۰۰ اسب بخار به مخزن هوایی فرستاده و وارد فلوم آزمایشگاه می‌شود. در ابتدای فلوم، یک سرریز مستطیلی لبه‌پهن با فشردگی جانبی کالیبره شده برای اندازه‌گیری دبی جریان ورودی قرار دارد. جریان اندازه‌گیری شده با سرریز مستطیلی وارد فلوم اصلی می‌شود. سطح آب با یک سطح‌سنج ریلی با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری می‌شود. دبی جریان خروجی از فلوم اصلی با یک سرریز مستطیلی لبه‌پهن کالیبره شده اندازه‌گیری شده است که این سرریز علاوه بر اندازه‌گیری دبی جریان خروجی سطح آب بالادست را نیز کنترل می‌کند. جریان عبوری از سرریز انتهای فلوم اصلی به مخزن زیرزمینی برمی‌گردد.

طبق مطالعات امیراغلو و همکاران (Emiroglu *et al.*, 2010)، اگر عمق آب روی سرریز بیشتر از ۲ سانتی‌متر باشد، کشش سطحی (عدد ویر) بی‌تأثیر خواهد بود که در کل آزمایش‌های صورت گرفته، این مقدار حداقل رعایت شده است. به علت متلاطم بودن جریان (عدد رینولدز بیشتر از ۲۰۰۰) در طول آزمایش‌ها از عدد رینولدز صرف‌نظر شده است (Hosseini & Abrishami, 2010). میزان انحراف تیغه آب به سمت سرریز جانبی، به‌عنوان زاویه انحراف تیغه آب ( $\Psi$ ) مطرح می‌شود که طبق مطالعات الخشاب و اسمیت (El-Khashab & Smith, 1972)، در پارامتر بی‌بعد ( $\frac{l_g}{B}$ ) خود را نشان می‌دهد و در مطالعه فعلی نیز به دلیل وجود پارامتر ( $\frac{l_g}{B}$ ) نیازی به بررسی جداگانه زاویه انحراف نیست. در مطالعه حاضر، با حذف پارامترهای غیرموثر و با استفاده از روش باکینگهام، رابطه نهایی ضریب دبی به صورت رابطه ۵ به دست آمد:

$$C_M = f\left(Fr_1, \frac{y_1}{p}, \frac{L}{B}, \frac{l_g}{B}, N, \frac{a}{By_1}, \frac{x}{L}\right) \quad (5)$$



شکل ۲- الف) فلوم مورد استفاده در آزمایش‌ها و ب) نمونه‌ای از سرریز در حین آزمایش

مدل‌های مورد استفاده شامل سه سرریز نیم‌دایره‌ای به قطرهای ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر و شمعه‌است که ارتفاع سرریزها و شمعه‌ها برابر ۱۵ سانتی‌متر است. قطر شمعه‌ها در مجموع از  $\frac{1}{6}$  عرض کانال کمتر باید باشد تا باعث برگشت آب نگردد (Kabiri-Samani *et al.*, 2011). بر همین اساس، قطر هر شمعه برابر ۲ سانتی‌متر و در

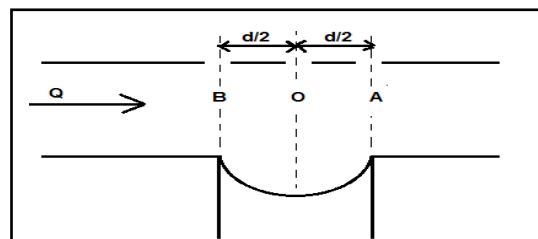
مدل‌های مورد استفاده شامل سه سرریز نیم‌دایره‌ای به قطرهای ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر و شمعه‌است که ارتفاع سرریزها و شمعه‌ها برابر ۱۵ سانتی‌متر است. قطر

مجموع با نصب حداکثر سه شمع ۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که در ۱۴ آرایش متفاوت در کانال نصب شدند. با نصب شمع‌ها با چینش متفاوت، خصوصیات هیدرولیکی جریان مانند میزان تغییرات انرژی و ضریب دبی بررسی شد. با سطح‌سنج اشاره شده، عمق جریان آب در همه آزمایش‌ها در ابتدا و انتهای سرریز جانبی اندازه‌گیری و

ضریب دبی سرریز جانبی با استفاده از رابطه دی‌مارچی محاسبه شده است. ۱۴ حالت قرارگیری شمع‌ها در جدول ۱ و نحوه نام‌گذاری آرایش‌ها در شکل ۳ به صورت شماتیک آورده شده است. این آرایش‌ها از مطالعات کبیری‌سامانی و همکاران (Kabiri-Samani *et al.*, 2011) استخراج شده است.

جدول ۱- حالت قرار گیری شمع‌ها

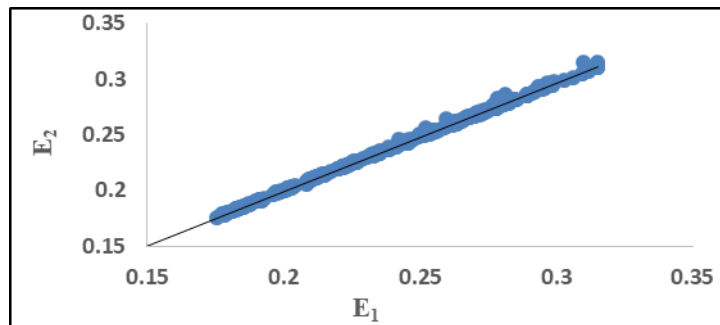
نام آرایش	آرایش شمع‌های استوانه‌ای	نام آرایش	آرایش شمع‌های استوانه‌ای	نام آرایش	آرایش شمع‌های استوانه‌ای
C2BO		C3AOB		C3AAA	
C1A		C2OA		C30AA	
C1O		C2OO		C300A	
C1B		C2BA		C3BOO	
		C2AA		C3BAA	



شکل ۳- نحوه نام‌گذاری آرایش‌ها

نتایج و بحث  
تغییرات انرژی مخصوص  
با توجه به اینکه رابطه دی‌مارچی (De Marchi, 1934) برای محاسبه ضریب دبی سرریز جانبی انتخاب شده است، ابتدا باید نشان داده شود که در تحقیق حاضر شرط اعتبار این رابطه، یعنی ثابت بودن انرژی مخصوص در طول سرریز جانبی، برقرار است. بنابراین، ابتدا تغییرات انرژی مخصوص در محور مرکزی کانال در طول سرریز جانبی بررسی شده است. نمودار مقایسه انرژی در مقاطع ابتدا و انتهای سرریز (شکل ۴) نشان می‌دهد که اختلاف  $E_1$  و  $E_2$  بسیار ناچیز است.

در طول سرریز جانبی، برقرار است. بنابراین، ابتدا تغییرات انرژی مخصوص در محور مرکزی کانال در طول سرریز جانبی بررسی شده است. نمودار مقایسه انرژی در مقاطع ابتدا و انتهای سرریز (شکل ۴) نشان می‌دهد که اختلاف  $E_1$  و  $E_2$  بسیار ناچیز است.



شکل ۴- مقایسه مقادیر E1 و E2

قرارگیری شمع‌ها در شکل ۵ رسم شده است. لازم به ذکر است که حالت SW بیانگر سرریز بدون شمع می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود این تغییرات همه کمتر از ۱ درصد است. شکل ۵ همچنین نشان می‌دهد که وجود شمع‌ها باعث کاهش تغییرات انرژی نسبت به حالت بدون شمع شده است.

بر اساس محاسبات، میزان کاهش تغییرات انرژی در طول سرریز با وجود شمع‌ها نسبت به حالت بدون شمع حدود ۳۴ درصد است. اما بیشترین کاهش در تغییرات انرژی مربوط به حالت‌هایی است که شمع‌ها در انتهای سرریز جانبی نصب شده‌اند.

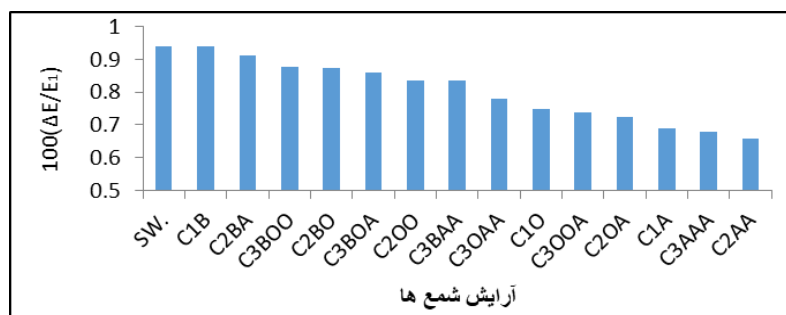
میانگین تغییرات انرژی مخصوص محاسبه شده با رابطه ۶، در طول سرریز برابر ۱ درصد است.

$$\Delta E\% = 100 \left[ \frac{1}{n} \left( \sum \frac{|\Delta E|}{E_1} \right) \right] \quad (6)$$

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در تحقیق حاضر فرض ثابت بودن انرژی مخصوص در طول سرریز صادق است و می‌توان برای تجزیه و تحلیل نتایج از رابطه دی‌مارچی (De Marchi, 1934) استفاده کرد.

تأثیر نحوه آرایش شمع‌ها بر مقدار تغییرات انرژی مخصوص

درصد تغییرات انرژی مخصوص برای همه حالت‌های



شکل ۵- درصد تغییرات انرژی مخصوص برای آرایش‌ها مختلف شمع‌ها

جانبی نسبت به عمق نسبی جریان آب در بالادست سرریز است. دیده می‌شود که در هر سه قطر سرریز جانبی، با افزایش عمق جریان آب در بالادست نسبت به ارتفاع سرریز  $(y_1/p)$ ، مقدار دبی جریان و در

تأثیر پارامترهای بی‌بعد بر ضریب دبی سرریز جانبی

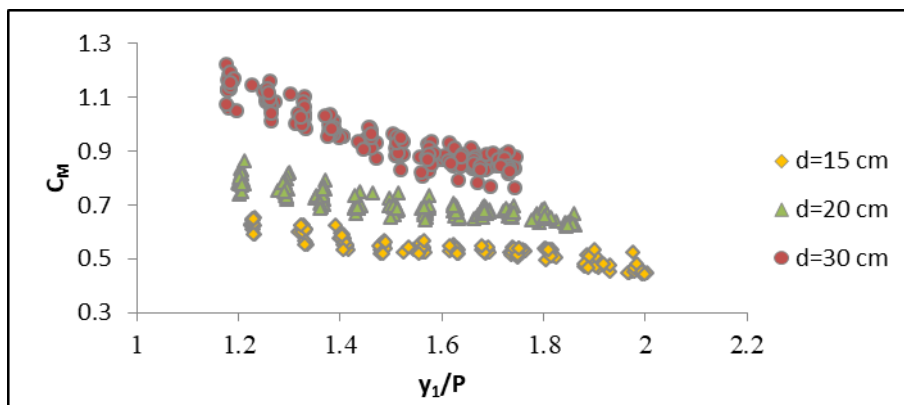
عمق نسبی جریان آب در بالادست سرریز  $(y_1/p)$

شکل ۶ نشان‌دهنده تغییرات ضریب دبی سرریز

بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرایش‌های مختلف شمع...

در واقع با افزایش دبی جریان ورودی به کانال اصلی و در نتیجه افزایش عمق جریان آب، تأثیر جریان‌های ثانویه بر مقدار دبی جریان عبوری از روی سرریز جانبی بیشتر و ضریب دبی سرریز جانبی کمتر می‌شود.

نتیجه ضریب دبی سرریز جانبی کاهش می‌یابد. با توجه به ثابت بودن ارتفاع سرریز جانبی در کل آزمایش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش عمق جریان آب در لبه بالادست سرریز جانبی، ضریب دبی کاهش می‌یابد.

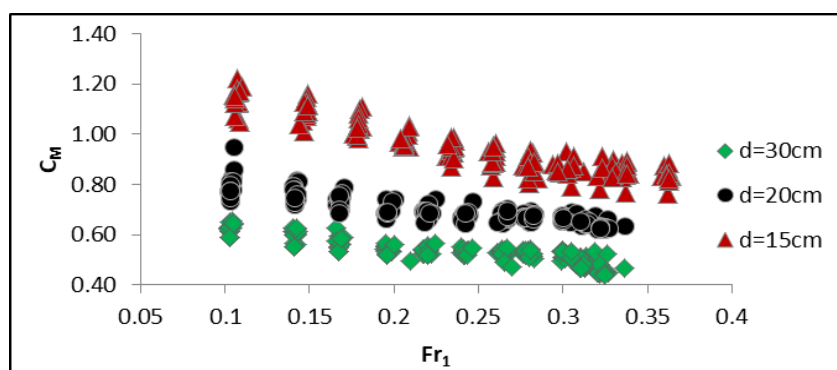


شکل ۶- تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی نسبت به عمق نسبی جریان آب در بالادست

محدوده اعداد فرود مورد بررسی، باعث کاهش ضریب دبی می‌شود. دلیل کاهش ضریب دبی با افزایش عدد فرود جریان در بالادست سرریز، افزایش تلاطم و جریان‌های گردابی در محل ورود آب به سرریز جانبی است.

عدد فرود بالادست ( $Fr_1$ )

شکل ۷ تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی را نسبت به عدد فرود بالادست سرریز نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، در هر سه قطر سرریز جانبی، افزایش عدد فرود در

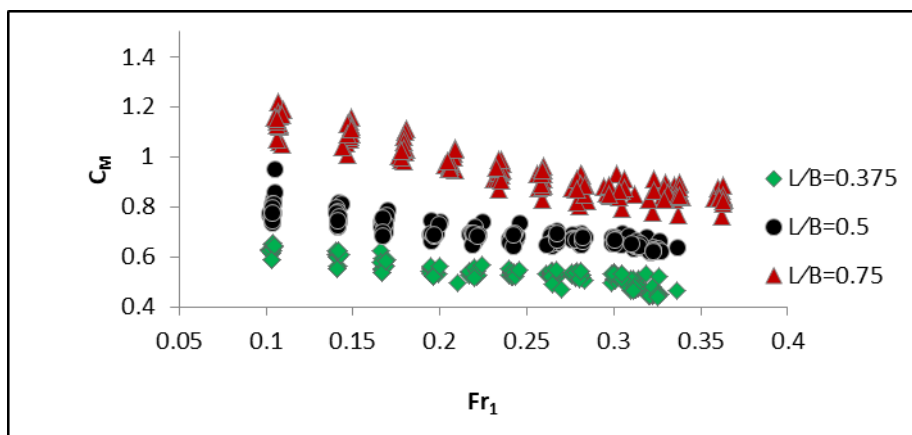


شکل ۷- تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی نسبت به عدد فرود بالادست

افزایش می‌یابد. افزایش طول بازشدگی سرریز باعث کاهش تلاطم در ورودی کانال فرعی و اطراف سرریز جانبی و در نتیجه باعث افزایش جریان عبوری از روی سرریز جانبی می‌شود.

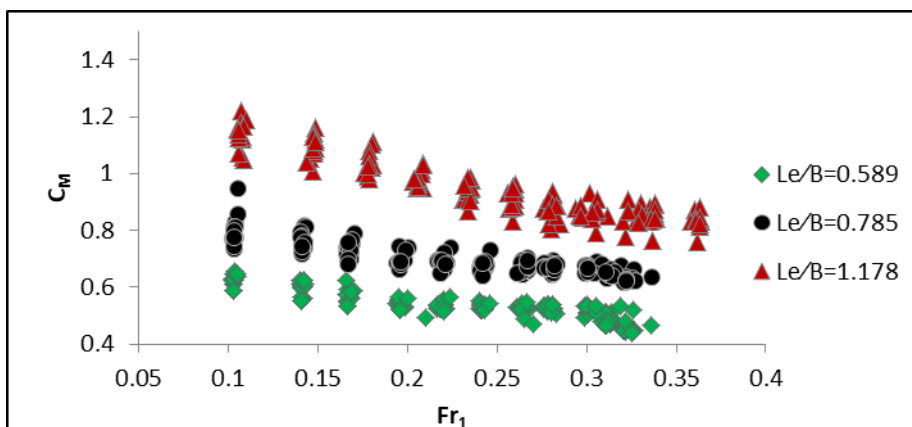
طول بازشدگی نسبی سرریز ( $L/B$ )

با توجه به شکل ۸، مشاهده می‌شود که در هر سه سرریز در محدوده عدد فرود مطالعه شده، با افزایش طول بازشدگی سرریز نسبت به عرض کانال، ضریب دبی نیز



شکل ۸- تغییرات ضریب دبی نسبت به طول بازشدگی نسبی سرریز جانبی

طول موثر نسبی سرریز  $(\frac{L_e}{B})$  دبی نیز افزایش می‌یابد زیرا افزایش طول موثر سرریز موجب کاهش تأثیر جریان‌های ثانویه و افزایش ضریب دبی سرریز جانبی می‌شود. با توجه به شکل ۹، مشخص می‌شود که با بیشتر شدن طول موثر سرریز نسبت به عرض کانال  $(\frac{L_e}{B})$ ، ضریب



شکل ۹- تغییرات ضریب دبی نسبت به طول موثر نسبی سرریز جانبی

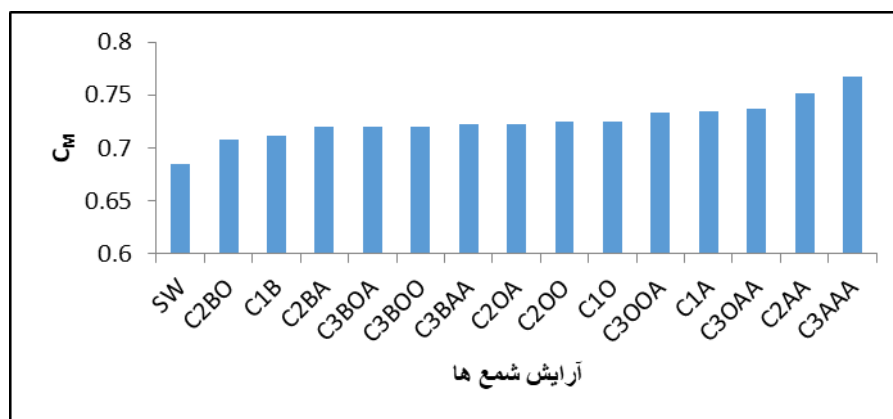
کمترین و بیشترین افزایش ضریب دبی در حالت‌هایی دیده می‌شود که شمع‌ها به ترتیب در ابتدا (موقعیت B) و انتهای سرریز (موقعیت A) نصب شده‌اند. در آرایش‌هایی که شمع‌ها در انتهای پایین دست سرریز جانبی نصب می‌شوند، نقش هدایتی شمع‌ها و همچنین تأثیر آنها روی کاهش تلاطم و جریان‌های ثانویه بیشتر است. میزان تأثیر شمع‌ها در افزایش ضریب دبی سرریز جانبی با افزایش قطر سرریز جانبی افزایش می‌یابد

تأثیر تعداد و نحوه آرایش شمع‌ها بر ضریب دبی سرریز جانبی طبق محاسبات، ضریب دبی سرریز جانبی در همه حالت‌های قرارگیری شمع‌ها، نسبت به حالت بدون شمع، بیشتر است. در واقع، شمع‌ها نقش هادی جریان را بازی می‌کنند که باعث کاهش تأثیر جریان‌های ثانویه و هدایت بیشتر جریان به سمت سرریز جانبی و در نتیجه افزایش ضریب دبی می‌شوند. بر اساس نتایج به دست آمده،



۳۰ سانتی‌متری برابر ۱۵ درصد است. شکل ۱۰، نمودار تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی را در مقابل نوع آرایش به صورت میانگین کل آزمایش‌های نشان می‌دهد.

به طوری که بیشترین افزایش ضریب دبی سرریز در حالت C3AAA است. این افزایش نسبت به سرریز نیم‌دایره‌ای بدون شمع در سرریز به قطر ۱۵ سانتی‌متر برابر ۹ درصد، در قطر ۲۰ سانتی‌متر برابر ۱۱ درصد و در قطر



شکل ۱۰- تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی در مقابل نحوه آرایش شمع‌ها

جدول، نسبت فاصله شمع‌ها از ابتدای سرریز به طول بازشدگی ( $x/L$ ) و ستون سوم آن نسبت ضریب دبی هر حالت به ضریب دبی حالت ساده بدون شمع ( $C_M/C_{M0}$ ) را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، با افزایش فاصله شمع‌ها از ابتدای سرریز، ضریب دبی افزایش می‌یابد.

جدول ۲ مقادیر ضریب دبی سرریز جانبی با شمع، نسبت به حالت بدون شمع، را در سه حالت قرارگیری شمع‌ها یعنی C1A، C1B و C1O، نشان می‌دهد. علت ارائه فقط سه حالت در جدول این است که محل قرارگیری شمع‌ها در این سه حالت متفاوت اما تعداد آنها ثابت است و مقایسه فاصله آنها بهتر صورت می‌گیرد. ستون دوم این

جدول ۲- نسبت ضریب دبی سرریز جانبی با شمع به حالت بدون شمع در فواصل مختلف قرارگیری شمع‌ها

$C_M/C_{M0}$	$x/L$	حالت قرارگیری شمع تکی
۱/۰۳۳	۰	C1B
۱/۰۵۲	۰/۵	C1O
۱/۰۶۵	۱	C1A

سه حالت، محل استقرار شمع‌ها ثابت اما تعدادشان متغیر است. در این جدول مشاهده می‌شود که افزایش تعداد شمع موجب افزایش ضریب دبی سرریز جانبی شده است.

جدول ۳ تغییرات نسبت ضریب دبی سرریز جانبی با شمع به حالت بدون شمع در مقابل تعداد شمع را نشان می‌دهد. برای بررسی اثر تعداد شمع، سه حالت C3AAA، C2AA و C1A با هم مقایسه شده اند؛ در این

جدول ۳- نسبت ضریب دبی سرریز جانبی با شمع به حالت بدون شمع با تغییر تعداد شمع

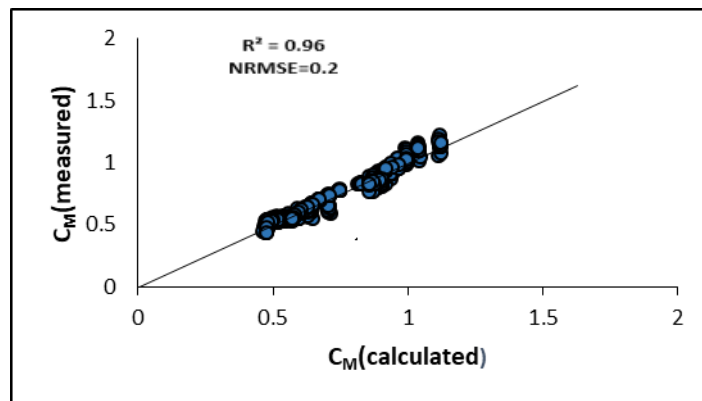
$C_M/C_{M0}$	N	حالت قرارگیری شمع تکی
۱/۰۶۵	۱	C1A
۱/۰۹۱	۲	C2AA
۱/۱۱۲	۳	C3AAA

ضرایب دبی محاسبه شده از روابط استخراجی را با مقادیر اندازه‌گیری شده در مرحله صحت‌سنجی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقدار خطای حاصل از هر دو رابطه ناچیز است و این دو رابطه دقت قابل قبولی دارند.

$$C_M = 0.478Fr_1^{-0.294} - 0.269\left(\frac{p}{y_1}\right)^{0.164} + 1.185\left(\frac{L}{B}\right)^{1.442} - 0.305\left(\frac{l_g}{B}\right)^{0.338} \quad (7)$$

### رابطه محاسبه ضریب دبی سرریز جانبی

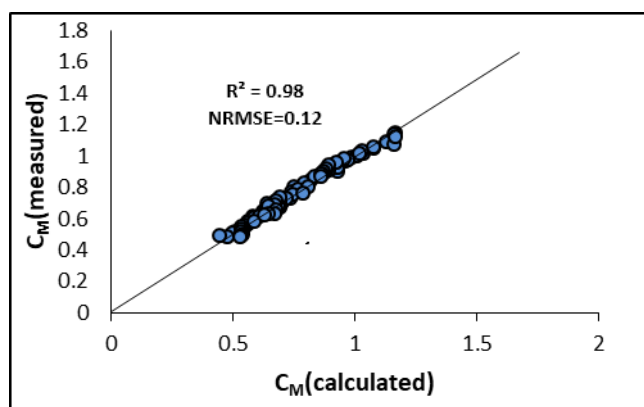
از ۷۰ درصد داده‌های اندازه‌گیری شده، برای استخراج روابط و از ۳۰ درصد باقیمانده برای صحت‌سنجی آنها استفاده شد. دو رابطه برای محاسبه ضریب دبی سرریزهای جانبی نیم‌دایره‌ای تک‌سیکل همراه با شمع، با استفاده از نرم‌افزار SPSS استخراج شد. رابطه ۷ برای همه حالت‌های قرارگیری شمع‌ها و رابطه ۸ فقط برای سرریزهای با شمع انتهایی یا حالت‌هایی ارائه شده است که همه شمع‌ها در انتهای سرریز قرار بگیرند. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نیز مقایسه



شکل ۱۱- مقایسه ضریب‌های دبی اندازه‌گیری و محاسبه شده از رابطه ۷ در مرحله صحت‌سنجی

$$C_M = -1.493Fr_1^{0.254} + 0.02\left(\frac{p}{y_1}\right)^{-2.684} - 0.99\left(\frac{L}{B}\right)^{2.12} + 1.666\left(\frac{l_g}{B}\right)^{0.867} + 0.663\left(\frac{Na}{By_1}\right)^{0.053} \quad (8)$$

بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرایش‌های مختلف شمع...



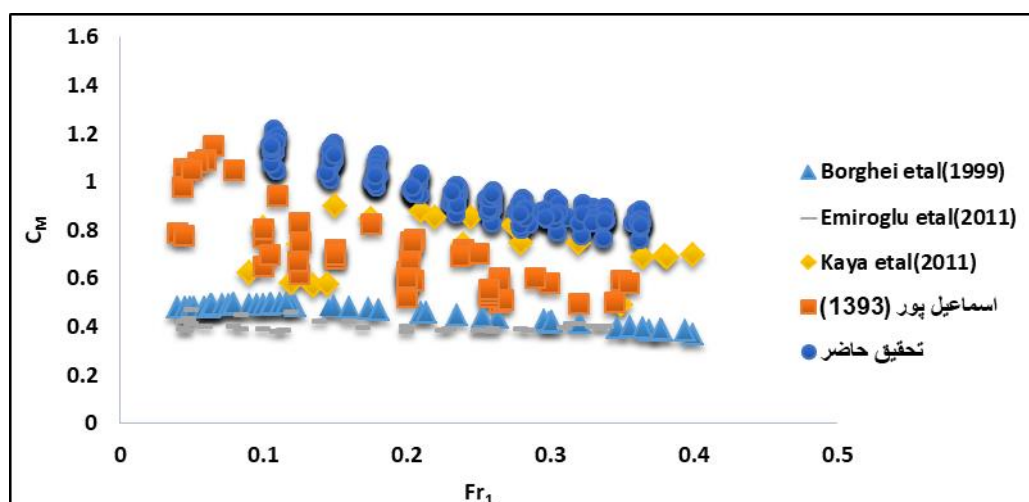
شکل ۱۲- مقایسه ضریب‌های دبی اندازه‌گیری و محاسبه شده از رابطه ۸ در مرحله صحت‌سنجی

مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات دیگر محققان

شکل ۱۳ مقایسه ضریب دبی سرریزهای جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای مورد مطالعه در تحقیق حاضر را با نتایج روابط ارائه شده توسط سایر محققان نشان می‌دهد. سرریزهای جانبی مورد مطالعه برقی و همکاران (Borghei *et al.*, 1999) و امیرآغلو و همکاران (Emiroglu *et al.*, 2011) مستطیلی، سرریزهای جانبی مورد مطالعه کایا و همکاران (Kaya *et al.*, 2011) نیمه‌بیضی و سرریزهای جانبی مورد مطالعه اسماعیل‌پور (Esmailpour, 2014) کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای بوده‌اند. شکل ۱۳ نشان می‌دهد که ضریب دبی در سرریزهای کنگره‌ای بیشتر از ضریب دبی در سرریزهای مستطیلی است. مقایسه نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات سایر محققان نشان می‌دهد که روند تغییرات ضریب دبی در سرریزهای جانبی شبیه به هم است. روند تغییرات ضریب دبی و مقادیر آن در تحقیق حاضر به نتایج تحقیق اسماعیل‌پور (Esmailpour, 2014) و کایا و همکاران (Kaya *et al.*, 2011) نزدیک‌تر است.

شکل ۱۳- مقایسه ضریب‌های دبی سرریزهای جانبی در تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات دیگر محققان

شکل ۱۳ مقایسه ضریب دبی سرریزهای جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای مورد مطالعه در تحقیق حاضر را با نتایج روابط ارائه شده توسط سایر محققان نشان می‌دهد. سرریزهای جانبی مورد مطالعه برقی و همکاران (Borghei *et al.*, 1999) و امیرآغلو و همکاران (Emiroglu *et al.*, 2011) مستطیلی، سرریزهای جانبی مورد مطالعه کایا و همکاران (Kaya *et al.*, 2011) نیمه‌بیضی و سرریزهای جانبی مورد مطالعه اسماعیل‌پور (Esmailpour, 2014) کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای بوده‌اند. شکل ۱۳ نشان می‌دهد که ضریب دبی در سرریزهای کنگره‌ای بیشتر از ضریب دبی در سرریزهای مستطیلی است. مقایسه نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات سایر محققان نشان می‌دهد که روند تغییرات ضریب دبی در سرریزهای جانبی شبیه به هم است. روند تغییرات ضریب دبی و مقادیر آن در تحقیق حاضر به نتایج تحقیق اسماعیل‌پور (Esmailpour, 2014) و کایا و همکاران (Kaya *et al.*, 2011) نزدیک‌تر است.



شکل ۱۳- مقایسه ضریب‌های دبی سرریزهای جانبی در تحقیق حاضر با ضریب‌های دبی سایر محققان

## نتیجه‌گیری

حالتی که هر سه شمع در لبه بالادست سرریز قرار داده شوند؛ شمع‌ها باعث کاهش جریان‌های ثانویه در محل سرریز جانبی و هدایت بیشتر جریان به سمت سرریز جانبی می‌شود.

- با بیشتر شدن عمق جریان آب در لبه بالادست سرریز جانبی، ضریب دبی کاهش می‌یابد.

- افزایش عدد فرود در محدوده فرود ۰/۳۷-۰/۱، به دلیل افزایش گرداب‌ها در ورودی کانال فرعی، باعث کاهش ضریب دبی می‌گردد.

- با افزایش طول بازشدگی و طول موثر سرریز جانبی، به دلیل کاهش تلاطم در ورودی کانال فرعی، ضریب دبی جریان بیشتر می‌شود.

- سرریزهای جانبی نیم‌دایره‌ای کنگره‌ای همراه با شمع، نسبت به حالت بدون شمع، تغییرات انرژی کمتری دارد و بیشترین کاهش در تغییرات انرژی مربوط به آرایشی است که در آن هر سه شمع لبه بالادست سرریز جانبی نصب شوند به طوری که با آرایشی که هر سه شمع در لبه بالادست سرریز قرار می‌گیرد مقدار تغییرات انرژی تا ۳۴ درصد کاهش می‌یابد.

- وجود شمع‌ها باعث افزایش ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای از ۲/۶ تا ۱۵ درصد می‌شود که شعاع سرریز و نحوه و محل قرارگیری شمع‌ها در میزان این افزایش موثر است و بیشترین افزایش مربوط است به

## مراجع

- Ackers, P. 1957. A theoretical consideration of side-weirs as storm water overflows. ICE Proceeding. ICE. 6, 250-269.
- Borghei, S. M., Jalili, M. R. and Ghodsian, M. 1999. Discharge coefficient for sharp crested side weirs in subcritical flow. J. Hydraul. Eng. ASCE. 125(10): 1051-1056.
- Cosar, A. and Agaccioglu, H. 2004. Discharge coefficient of a triangular side weir located on a curved channel. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE. 130(5): 416-423.
- De Marchi, G. 1934. Essay on the performance of lateral weirs. L'Energia Ellectrica. 11(11): 849-860.
- El-Khashab, A. M. M. and Smith, K. V. H. 1972. Experimental investigation of flow over side weirs. J. Hydraul. Div. ASCE. 102, 1255-1268.
- Emiroglu, M. E., Agaccioglu, H. and Kaya, N. 2011. Discharge capacity of rectangular side weir in straight open channels. J. Flow Meas. Instrum. 22, 319-330.
- Emiroglu, M. E., Kaya, N. and Agaccioglu, H. 2010. Discharge capacity of labyrinth side-weir located on a straight channel. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE. 136(1): 37-46.
- Esmailpour, L. 2014. Experimental investigation of discharge coefficient of semi-circular labyrinth side weirs, M. Sc. Thesis. Department of Water Engineering. Faculty of Agriculture. University of Tabriz. Tabriz, Iran. (in Persian)
- Hosseini, S. M. and Abrishami, J. 2010. Open-Channel Hydraulics. Iran. Mashhad. (in Persian)
- Kabiri-Samani, A., Borghei, S. M. and Esmaili, H. 2011. Hydraulic performance of labyrinth side weirs using vanes or piles. J. Water Manage. ICE. 164(5): 229-241.
- Kaya, N., Emiroglu, M. E. and Agaccioglu, H. 2011. Discharge coefficient of a semi-elliptical side weir in subcritical flow. J. Flow Meas. Instrum. 22(1): 25-32.

بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرایش‌های مختلف شمع...

Kumar, C. P. and Pathak, S. K., 1987, Triangular side weirs. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE. 113(1): 98-105.

Parvaneh, A., Borghei, S. M. and Jalili-Ghazizadeh, M. R. 2012. Hydraulic performance of asymmetric labyrinth side weirs located on straight channel. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE. 112(1): 130-138.

## **Experimental Investigation of Effects of Piles on Hydraulic Performance and Discharge Coefficient of Semi Circular Labyrinth Side Weir with One Cycle**

**S. Samadi-Garehveran\*, D. Farsadizadeh and A. Hosseinzadeh-Dalir**

\* Corresponding Author: Ph. D. Student, Water Engineering Faculty, University of Tabriz, Tabriz, Iran.  
Email: samadisima134770@gmail.com

Received: 10 February 2017, Accepted: 3 September 2017

### **Abstract**

Side weirs are hydraulic structures installing on the side walls of the channels to divert excess water of main channel. Labyrinth weirs are broken in their plans; so, they have more effective length and in some conditions have more discharge coefficient than that of simple ones. In this research, the effects of piles with different arrangements on discharge coefficient of semi-circular labyrinth side weir have been studied. The experiments were carried out in a rectangular channel with subcritical flow with Froude number range equal to 0.1-0.37. Three diameters were considered for semi-circular labyrinth side weirs with constant height. The piles used in the study were cylindrical and the same height of the side weir. The number of piles varied from 1 to 3, and fourteen arrangements were considered for them. First of all, the effects of dimensionless parameters, obtained from the Buckingham method, on side weir discharge coefficient were studied and then a relationship, with acceptable accuracy, between these parameters was obtained to predict the discharge coefficient of semi-circular labyrinth side weir with piles.. The results, compared with semi-circular labyrinth side weir without piles, showed that semi-circular labyrinth side weir with arrangements of piles have higher discharge coefficient. In fact, piles proved an improvement in the performance of semi-circular side weirs, so that within the range of the studied Froude number, the discharge coefficient faced an increase up to 15% and specific energy changes faced a decrease up to 34%. The most increase in discharge coefficient and the most decrease in specific energy changes occurred when three piles were installed at the downstream end of weirs.

**Keywords:** Buckingham Method, Rectangular Channel, Specific Energy, Subcritical Flow