

کاربرد معادلات اولر در تعیین ضریب دبی سرریزهای تاج دایره‌ای

سارا باقری^۱ و منوچهر حیدرپور^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی و ^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

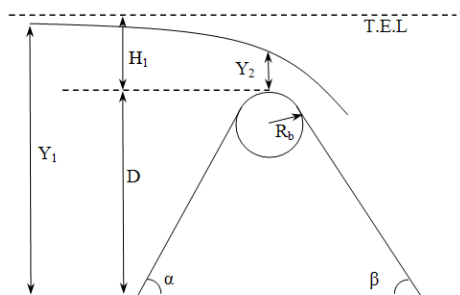
در سیستم‌های انتقال و توزیع آب، سرریزهای تاج دایره‌ای به دلیل اقتصادی بودن و سهولت ساخت در مقایسه با سایر سرریزها می‌توانند برای اندازه‌گیری شدت جریان، ساختمان‌های تخلیه آب و کنترل سطح آب در کانال‌ها و مخازن مورد استفاده قرار گیرند. در این مطالعه با به کارگیری معادلات اولر ساده شده رابطه‌ای به منظور تعیین ضریب دبی سرریزهای تاج دایره‌ای ارائه گردید. نیمرخ توزیع سرعت و مدل ریاضی ضریب دبی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده از مدل‌های سرریز تاج دایره‌ای فاقد دیواره و مدل‌های دارای دیواره‌های قائم، با ارتفاع و شعاع‌های متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج ارزیابی نشان داد که هم‌خوانی خوبی بین نیمرخ سرعت به دست آمده از مدل پیشنهادی و نیمرخ حاصل از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی وجود دارد. با محاسبه ضرایب دبی از رابطه پیشنهادی و نیز تعیین ضرایب دبی واقعی و مقایسه این دو مقدار، مشاهده شد که میزان خطای ناشی از این روش در برآورد ضریب دبی سرریزهای تاج دایره‌ای در حدود ۳ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سرریز تاج دایره‌ای، ضریب دبی، انحنای خطوط جریان، نیمرخ سرعت

به منظور تعیین ضریب دبی در این نوع از سرریزها مطالعاتی توسط محققین مختلف صورت گرفته است که از جمله می‌توان به تئوری Matthew (۱۹۶۳) اشاره کرد. وی تئوری ساده‌ای را ارائه نمود که در آن تأثیرات کشش سطحی، ویسکوزیته و شعاع انحنای خطوط جریان روی ضریب دبی بیان شده است. Cassidy (۱۹۶۵) مدل جریان سیال ایده‌آل را روی سرریزهای تاج دایره‌ای و سرریزهای استوانه‌ای (سرریزهای تاج دایره‌ای فاقد دیواره بالادست و پایین دست) مطالعه نمود. تأثیر کشش سطحی بر ضریب دبی توسط Sarginson (۱۹۷۲) مطالعه گردیده است. وی رابطه‌ای جهت تعیین ضریب دبی در محدوده $2 < H_1/R_b < 4$ بیان نمود. Bos (۱۹۸۹) با تحلیل داده‌های موجود از منابع مختلف نموداری بر اساس ضریب دبی و پارامتر H_1/R_b برای سرریزهای تاج دایره‌ای با زاویه پایین-دست $\beta = 45^\circ$ ارائه کرد. وی نشان داد که ضریب دبی از کمترین مقدار خود یعنی $C_d = 0.64$ برای $H_1/R_b = 0.05$ تا بیشترین مقدار خود یعنی $C_d = 1.48$ برای $H_1/R_b = 5.5$ متغیر است و ضریب دبی در محدوده $5.5 < H_1/R_b < 9.5$ تغییر چندانی نمی‌کند. Ramamurthy et al. (۱۹۹۲) با به کار بردن معادله اندازه حرکت، ضریب انحراف از فشار هیدرواستاتیک جریان را روی تاج یک سرریز تاج دایره‌ای به دست آوردند. Ramamurthy & Vo (۱۹۹۳a) با به کارگیری تئوری درسلر، توزیع سرعت روی سرریز تاج دایره‌ای را به دست آورده و رابطه بدون بعدی برای ضریب جریان ارائه دادند. تأثیر شیب بالادست و پایین دست بر ضریب دبی سرریزهای تاج

مقدمه

سرریزهای تاج دایره‌ای برای اندازه‌گیری جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند و کاربرد وسیعی در مهندسی هیدرولیک به عنوان ساختمان‌های تخلیه آب داشته و می‌توانند برای کنترل سطح آب در کانال‌ها و مخازن مورد استفاده قرار گیرند. برتری سرریزهای تاج دایره‌ای نسبت به بیشتر سازه‌های اندازه‌گیری و کنترل جریان، سادگی طراحی، زیاد بودن ضریب دبی، جریان پایدار و در مقیاس بزرگ هزینه کمتر آنها می‌باشد. به طور ساده یک سرریز تاج دایره‌ای عبارت است از تاجی به شکل دایره با شعاع R_b که دیواره‌های بالادست و پایین دست آن با افق زوایای α و β را تشکیل می‌دهند و به صورت عمود بر جهت جریان نصب می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱- مشخصات هیدرولیکی و هندسی سرریز تاج دایره‌ای

روی سطوح منحنی رابطه‌ای تئوری جهت تعیین ضریب دبی سرریزهای لبه‌گرد در حالتی که $H_1/H_D \geq 2$ می‌باشد، ارائه نمود. وی H_D را به عنوان هد طراحی سرریز مطرح نمود و مقدار $1.7R_b$ را برای آن در نظر گرفت. در جدول (۱) تعدادی از روابط موجود برای تعیین ضریب دبی سرریزهای تاج دایره‌ای ارائه گردیده است.

به طور کلی جریان منحنی الخط روی تاج این نوع سرریزها، پیچیدگی مسئله را برای مقاصد تئوری و عملی به دنبال خواهد داشت. در تئوری حاضر با استفاده از معادلات اولر ساده شده، رابطه‌ای جهت تعیین ضریب دبی سرریزهای تاج دایره‌ای ارائه می‌گردد.

دایره‌ای توسط Ramamurthy & Vo (۱۹۹۳b) بررسی گردید. Ramamurthy et al. (۱۹۹۴) میدان جریان را روی یک سرریز تاج دایره‌ای به دست آورده و با استفاده از این داده‌ها وجود جریان غیر چرخشی را روی تاج سرریز اثبات و الگو، شیب و انحنای خطوط جریان را ارائه کردند. Chanson & Montes (۱۹۹۸) با مطالعه تأثیر وضعیت جریان بالادست در سرریزهای استوانه‌ای معادلاتی را برای ضریب دبی جریان‌های کاملاً توسعه یافته و نیمه توسعه یافته ارائه کردند. Heidarpour & Chamani (۲۰۰۶) با به کارگیری تابع جریان در اطراف سیلندر دایره‌ای شکل، توزیع سرعت روی تاج را تعیین و یک مدل ریاضی برای تعیین ضریب جریان در سرریزهای تاج دایره‌ای ارائه نمودند. Orgaz (۲۰۰۸) با استفاده از معادلات جریان پتانسیل

جدول ۱- روابط تعیین ضریب دبی سرریزهای تاج دایره‌ای

رابطه ارائه شده	ملاحظات	نام محقق
$C_d = 0.552 + 0.177 \sqrt{30 - \left(5 - \frac{H_1}{R_b}\right)^2}$	داده‌های مدل در Sarginson (۱۹۷۲) ارائه شده است.	Rehbock (1929)
$C_d = \frac{3}{2} \left(\frac{R_b}{H_1} + \frac{4}{3} - \sqrt{\left(\frac{R_b}{H_1}\right)^2 + \frac{4}{3} \times \frac{R_b}{H_1}} \right)$	نتایج تئوری با داده‌های مدل	Jeager (1956)
$C_d = 1 + 0.23 \frac{H_1}{R_b} - 0.01 \left(\frac{H_1}{R_b}\right)^2 - 0.0154 \frac{R_b}{H_1}$	$\alpha = 90^\circ$, $R_b = 0.0254$ m, $0.1 < \frac{H_1}{R_b} < 1.0$	Matthew (1963)
$C_d = 1 + 0.24 \frac{H_1}{R_b} - 0.028 \left(\frac{H_1}{R_b}\right)^2 - 0.0184 \frac{R_b}{H_1}$	$\alpha = 45^\circ$, $R_b = 0.0254$ m, $0.1 < \frac{H_1}{R_b} < 1.0$	
$C_d = 1 + 0.24 \frac{H_1}{R_b} - 0.026 \left(\frac{H_1}{R_b}\right)^2 - 0.0151 \frac{R_b}{H_1}$	$\alpha = 45^\circ$, $R_b = 0.0254$ m, $0.1 < \frac{H_1}{R_b} < 1.0$, $-D = 2R_b$	
$C_d = 1.169 \left(\frac{H_1}{R_b}\right)^{0.8}$	$0.05 < \frac{H_1}{R_b} < 1.2$	Montes (1964)
$C_d = 0.9444 + 0.35497 \frac{H_1}{R_b} - 0.10791 \left(\frac{H_1}{R_b}\right)^2 + 0.010309 \left(\frac{H_1}{R_b}\right)^3$	داده‌های مدل نیم دایره‌ای شکل با هوادهی. $W = 0.599$ m. $0.0102 \leq R_b \leq 0.148$ m. $0.21 \leq D - R_b \leq 0.96$ m., $\frac{H_1}{R_b} < 4.0$	Rouve and Indlekofer (1974)
مقدار ثابت 1.299	$\frac{H_1}{R_b} > 4$	
$C_d = 1 + \frac{3(H_1/R_b)}{11 + \Omega(H_1/R_b)}$	$\Omega = 4.5$ $H_1/R_b < 5$	Hager (1985)
$C_d = \frac{3\sqrt{3} R_b V_b}{4 H_1 V_0} \left(\frac{2 + Y_2/R_b}{1 + R_b/Y_2} \right)$	مدل‌های نیم دایره‌ای با دیواره قائم و استوانه‌ای $V_0 = \sqrt{2gH_1}$	Heidarpour and Chamani (2006)

مواد و روش‌ها

الف- رابطه پیشنهادی

سیستم مختصاتی که برای توصیف خصوصیات جریان در یک نقطه مانند p از یک خط جریان استفاده می‌شود دارای سه راستای s ، n و m است (شکل ۲) که راستای s همان راستای بردار سرعت در نقطه p بوده و با این تعریف این بردار با خط مماس در نقطه p منطبق می‌باشد ($V_s = V$)، راستای n راستای عمود (نرمال) به سمت مرکز انحنای خط جریان در نقطه p و راستای m راستای عمود برصفحه مشترک n و s می‌باشد.

به منظور توسعه رابطه‌ای برای تعیین ضریب دبی سه فرض مد نظر قرار گرفتند، اول اینکه جریان در بالادست سرریز یکنواخت، دو بعدی و زیر بحرانی است. دوم، ضخامت لایه مرزی روی تاج سرریز (δ) در مقایسه با مقادیر H_1 و Y_2 ناچیز بوده و سوم اینکه اثر کشش سطحی و لزجت سیال بر خصوصیات جریان قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

خطوط جریان در راستای نرمال می‌باشد. با تعریف پارامتر $\lambda = \frac{R_s - R_b}{N}$ خواهیم داشت:

$$R = R_b + \lambda n \quad (۶)$$

و با جایگذاری رابطه (۶) در رابطه (۴) داریم:

$$\frac{\partial V}{\partial n} = \frac{V}{R_b + \lambda n} \quad (۷)$$

با انتگرال‌گیری از رابطه (۷) در بازه $[0 - n]$ رابطه زیر برای تعیین سرعت در هر نقطه از راستای نرمال به دست می‌آید:

$$V = V_b \left(1 + (r-1) \frac{n}{N} \right)^{\frac{1}{\lambda}} \quad (۸)$$

که در این رابطه V_b سرعت در نزدیکی بستر و $r = R_s / R_b$ می‌باشد.

هرچه میزان H_1 / R_b افزایش می‌یابد مرکز انحنا خطوط جریان در بالای نقطه C از مرکز سرریز دور می‌شود، به همین منظور تعیین پارامتر N برای محاسبه شعاع انحنا سطح آب ضروری می‌باشد. Hager & Hutter (۱۹۸۴) رابطه زیر را برای تعیین پارامتر N بر روی تاج سرریز ارائه کردند:

$$\frac{Y_2}{N} = 1 + \frac{h^2}{3} \quad (۹)$$

که در این رابطه h' مشتق اول عمق جریان (h) نسبت به فاصله افقی (x) و h عمق عمودی جریان در راستای بردار نرمال می‌باشد (شکل ۳).

Hager (۱۹۸۵) رابطه زیر را برای تخمین پارامتر h' در سرریزهای تاج دایره‌ای بیان نمود:

$$h' = \left(\frac{h}{3R_b} \right)^{1/2} \quad (۱۰)$$

از رابطه زیر برای تعیین h در سرریزهای تاج دایره‌ای می‌توان بهره جست (Hager, 1985):

$$H_1 = \frac{3h}{2} \left(1 - \frac{5h}{81R_b} \right) \quad (۱۱)$$

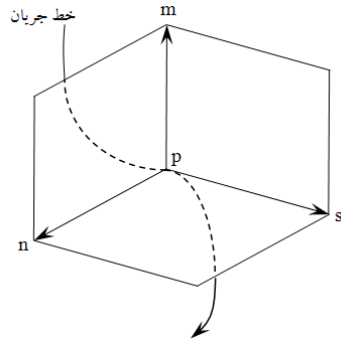
در مقادیر پایین هد می‌توان از ترم آخر رابطه (۱۱) صرف نظر نموده و در نتیجه خواهیم داشت:

$$\frac{N}{Y_2} = \frac{27R_b}{27R_b + 2H_1} \quad (۱۲)$$

با ترکیب روابط (۶) و (۱۲) رابطه زیر حاصل خواهد شد:

$$R_s = R_b + \left| \lambda Y_2 \left(\frac{27R_b}{27R_b + 2H_1} \right) \right| \quad (۱۳)$$

بنابر نظر Ramamurthy et al. (۱۹۹۴) جریان روی سرریز در ناحیه خارج از لایه مرزی غیرچرخشی بوده و به این ترتیب بار کل در طول AC ثابت می‌باشد (شکل ۳). در نقطه C' جایی که $y = \delta$ و $V = V_b$ است با استفاده از فرض (۳) و



شکل ۲- نمایی از یک خط جریان در سیستم مختصات سه بعدی

بر اساس روابط دینامیک سیالات غیر لزج، معادلات اولر

برای جریان منحنی الخط در راستای n و s به صورت زیر می‌باشد (Bos, 1989):

$$V \frac{\partial V}{\partial s} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial s} - g \frac{\partial z}{\partial s} \quad (۱)$$

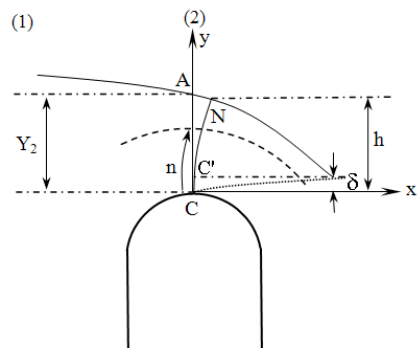
$$\frac{V^2}{R} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n} - g \frac{\partial z}{\partial n} \quad (۲)$$

که در این روابط V سرعت جریان، P فشار، R شعاع انحنا خطوط جریان، ρ چگالی، g شتاب ثقل و z موقعیت عمودی نقطه اندازه‌گیری شده از یک مبنای اختیاری ثابت است. با در نظر گرفتن $\gamma = \rho \times g$ و انتگرال‌گیری از رابطه (۱):

$$H_1 = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \quad (۳)$$

در این رابطه H_1 ارتفاع معادل انرژی کل می‌باشد. با حذف P از معادله (۲) و (۳) (Hager & Hutter, 1984):

$$\frac{\partial V}{\partial n} = \frac{V}{R} \quad (۴)$$



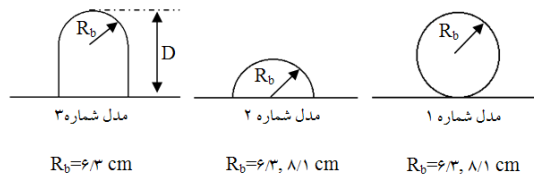
شکل ۳- مختصات جریان عبوری از روی یک سرریز تاج دایره‌ای

رابطه (۵) ارتباط شعاع انحنا خطوط جریان در هر نقطه واقع بر روی تاج سرریز و عمق نرمال در آن نقطه را نشان می‌دهد. در این رابطه R_b شعاع تاج سرریز و R_s شعاع انحنا سطح آب می‌باشد.

$$R = R_b + (R_s - R_b) \frac{n}{N} \quad (۵)$$

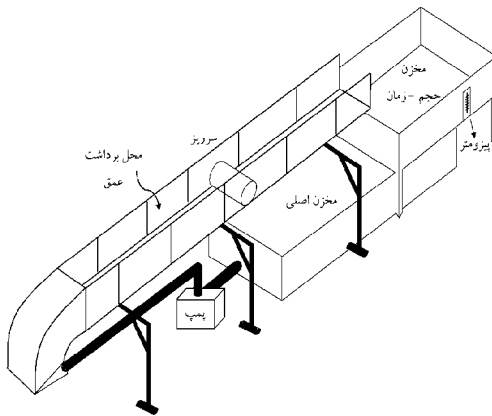
در رابطه (۵) نسبت n/N نشان‌دهنده مختصات بدون بعد

حداکثر تفاوت این دو روش نیز در حدود ۲ درصد به دست آمد. همچنین به منظور اطمینان از توسعه یافتگی جریان، پروفیل سرعت در بالادست مدل‌ها برداشته شد.



$D = 12.5, 15.7, 18.7 \text{ cm}$

شکل ۴- مشخصات هندسی مدل‌های مورد آزمایش



شکل ۵- نمای فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که مقدار ضریب λ در بازه $0.55 \leq H_1/R_b \leq 1.2$ از رابطه (۱۹) قابل محاسبه است (شکل ۶). دلیل منفی بودن این پارامتر وجود انحنای محدب واقع بر روی تاج سرریز می‌باشد چرا که بردار نرمال از خارج به سمت مرکز انحنای خطوط جریان و شعاع از مرکز انحنای به سمت خارج از انحنای خطوط جریان تعریف می‌شود و در نتیجه این دو پارامتر در جهت معکوس یکدیگر عمل نموده و سبب منفی شدن پارامتر λ که به صورت نسبت $(R_s - R_b)/N$ بیان شده است، می‌شوند.

$$\lambda = -5.875 \left(\frac{H_1}{R_b} \right)^{-1.69} \quad (19)$$

با محاسبه مقدار λ از رابطه (۱۹) و جایگذاری آن در رابطه (۱۸) جهت تخمین ضریب دبی، مشاهده شد که مقدار انحراف C_d محاسباتی از C_d واقعی در حدود ۳ درصد می‌باشد (شکل ۷).

شکل (۸) تغییرات ضریب دبی با نسبت H_1/R_b را نشان می‌دهد. در این شکل روابط Matthew (۱۹۶۳) و Rehbock (۱۹۲۹) و همچنین نتایج آزمایشگاهی Ramamurthy & Vo

به کار بردن معادله انرژی بین مقاطع (۱) و (۲) خواهیم داشت:

$$H_1 = \delta + \frac{V_b^2}{2g} + \left[\left(\frac{P}{\gamma} \right)_{\text{crest}} - \frac{dP}{\gamma dy} \delta \right] \approx \frac{V_b^2}{2g} + \left(\frac{P}{\gamma} \right)_{\text{crest}} \quad (14)$$

با توجه به رابطه فوق، V_b به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$V_b \approx \sqrt{2g \left(H_1 - \left(\frac{P}{\gamma} \right)_{\text{crest}} \right)} \quad (15)$$

با انتگرال‌گیری از رابطه (۸) در بازه $[0 - N]$ دبی در واحد عرض سرریز توسط رابطه (۱۶) برآورد می‌گردد.

$$q = \frac{V_b R_b}{1 + \lambda} \left(r^{1 + \frac{1}{\lambda}} - 1 \right) \quad (16)$$

همچنین رابطه عمومی سرریزها به شکل زیر می‌باشد (Bos, 1989):

$$q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g H_1^{1.5}} \quad (17)$$

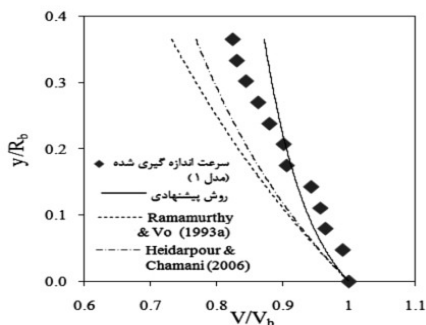
در رابطه فوق C_d ضریب شدت جریان و H_1 هد کل در بالادست تاج سرریز می‌باشد. با ترکیب روابط (۱۵)، (۱۶) و (۱۷)، رابطه بدون بعد ذیل برای محاسبه ضریب شدت جریان به دست می‌آید:

$$C_d = \frac{3\sqrt{3}}{2} \times \frac{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{P}{\gamma H_1} \right)_{\text{crest}} \right)}}{1 + \lambda} \times \frac{\left(r^{1 + \frac{1}{\lambda}} - 1 \right)}{\left[\frac{H_1}{R_b} \right]} \quad (18)$$

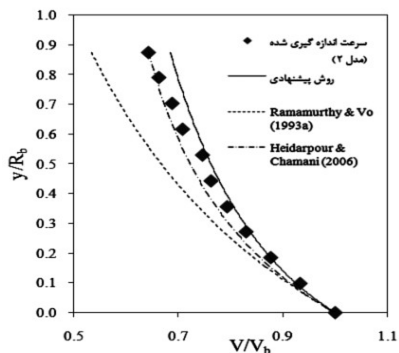
ب- شرح آزمایش

به منظور تعیین مقدار λ و ارزیابی رابطه ارائه شده، سه نوع مدل سرریز تاج دایره‌ای از جنس P.V.C با ارتفاع و شعاع‌های متفاوت انتخاب گردیدند (شکل ۴). مدل‌های هیدرولیکی در داخل یک کانال از جنس پلاکسی گلاس به طول ۷ متر، عرض ۰/۳۲ متر و ارتفاع ۰/۳۵ متر قرار می‌گرفتند. این کانال به وسیله یک پمپ با حداکثر دبی ۱۱/۵ لیتر در ثانیه تغذیه می‌شد. آب پس از عبور از کانال به داخل یک مخزن اندازه‌گیری دبی وارد شده که در آن ارتفاع آب توسط پیزومتر نصب شده مشخص و دبی به روش حجم-زمان اندازه‌گیری می‌گردید. خطای اندازه‌گیری دبی در حدود ۲ درصد برآورد گردید. اندازه‌گیری تراز سطح آب به وسیله یک عمق سنج با دقت اندازه‌گیری ۰/۵ میلی‌متر انجام گردید. پروفیل سرعت روی تاج سرریز با استفاده از یک لوله پیتو با قطر خارجی دو میلی‌متر اندازه‌گیری شد. کلیه برداشت‌های سرعت روی تاج با فاصله قائم ۲-۴ میلی‌متر صورت گرفته و نزدیک‌ترین اندازه‌گیری در فاصله یک میلی-متری از سطح تاج انجام شده است. برای بررسی دقت نیم‌رخ سرعت اندازه‌گیری شده، دبی جریان با استفاده از انتگرال‌گیری از پروفیل سرعت محاسبه و با روش حجم-زمان مقایسه گردید

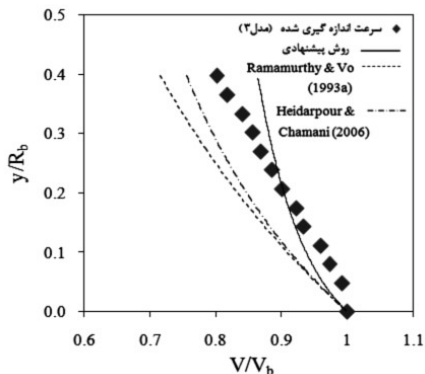
ترسیم شده از روش پیشنهادی هم‌خوانی خوبی با سرعت‌های اندازه‌گیری شده دارد. همان گونه که از اشکال مشخص است با افزایش مقدار H_1/R_b مرکز انحنای خطوط جریان واقع بین C' و A (شکل ۳) از مرکز سرریز فاصله می‌گیرند و در نتیجه فرمول توزیع سرعت در سُر که بر هم مرکز بودن خطوط انحنای جریان دلالت دارد از دقت کمتری برخوردار خواهد شد. لازم به ذکر است که به منظور ترسیم نیمرخ سرعت از رابطه (۸) تغییرات n/N متناسب با تغییرات y/Y_2 در نظر گرفته شد. همچنین برای حذف تأثیرات لایه مرزی سرعت اندازه‌گیری شده در فاصله ۱ میلیمتری از رأس تاج به عنوان سرعت در نزدیکی بستر (V_b) مد نظر قرار گرفت.



شکل ۹- نیمرخ بی بعد سرعت برای مدل ۱

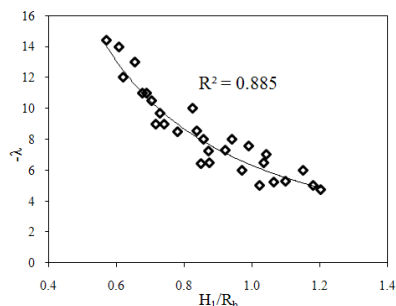


شکل ۱۰- نیمرخ بی بعد سرعت برای مدل ۲

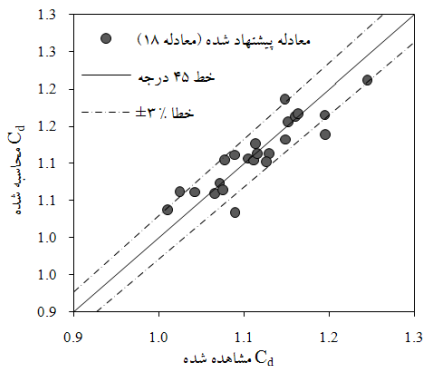


شکل ۱۱- نیمرخ بی بعد سرعت برای مدل ۳

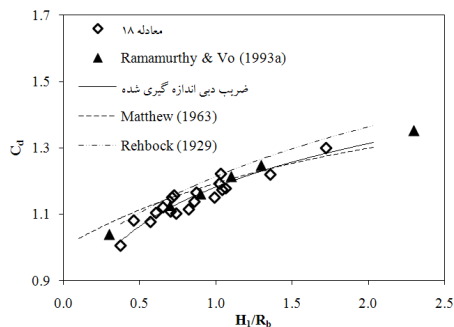
(۱۹۹۳a) به منظور مقایسه آورده شده‌اند.



شکل ۶- تغییرات ضریب λ با مقادیر H_1/R_b



شکل ۷- تغییرات ضریب دبی محاسب شده با ضریب دبی مشاهده شده



شکل ۸- تغییرات ضریب C_d با نسبت H_1/R_b

شکل‌های (۹)، (۱۰) و (۱۱) نیمرخ‌های سرعت اندازه‌گیری شده برای مدل‌های مورد بررسی و نیمرخ سرعت به دست آمده از روش پیشنهادی را نشان می‌دهند. در این شکل‌ها عمق جریان (y) و سرعت افقی (V) به ترتیب با شعاع تاج سرریز (R_b) و سرعت در روی تاج (V_b) بدون بعد شده‌اند. در این اشکال نیمرخ‌های سرعت به دست آمده توسط تئوری در سُر (Ramamurthy & Vo, 1993a) و رابطه ارائه شده توسط Heidarpour & Chamani به عنوان مقایسه آورده شده‌اند. همان‌گونه که از شکل‌های ترسیم شده مشخص است تمامی روش‌ها کاهش سرعت را از سطح سرریز به طرف سطح آب نشان می‌دهند. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که نیمرخ

نتیجه گیری

در این مطالعه با به کارگیری معادلات اولر ساده شده یک رابطه تئوری به منظور تعیین ضریب دبی سرریزهای تاج دایره‌ای ارائه گردید. نیمرخ توزیع سرعت و مدل ریاضی ضریب دبی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده از مدل‌های سرریز تاج دایره‌ای فاقد دیواره و مدل‌های دارای دیواره‌های قائم، با ارتفاع و شعاع‌های متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج ارزیابی نشان داد که هم‌خوانی خوبی بین نیمرخ سرعت به دست آمده از مدل پیشنهادی و نیمرخ حاصل از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی وجود دارد. همچنین نیمرخ به دست آمده از تئوری درس‌ساز همواره مقادیر کمتری را نسبت به اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی دارد. با محاسبه ضرایب دبی از رابطه پیشنهادی و نیز تعیین ضرایب دبی واقعی و مقایسه این دو مقدار، مشاهده شد که میزان خطای ناشی از این روش در حدود ۳ درصد می‌باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از جناب آقای اقبال خرمی که داده‌های این تحقیق حاصل زحمات ایشان می‌باشد، قدردانی می‌گردد.

نمادها

C_d : ضریب دبی سرریز

D : ارتفاع سرریز

g : شتاب ثقل

h : عمق جریان اندازه‌گیری شده از تاج سرریز
 H_1 : بار آبی کل اندازه‌گیری شده از تاج سرریز
 H_D : هد طراحی سرریز
 m : راستای عمود بر صفحه مشترک s و n
 N : ارتفاع آب بر روی تاج سرریز در راستای نرمال (n)
 n : راستای عمود به سمت مرکز انحنا خطوط جریان
 P : فشار
 q : دبی در واحد عرض سرریز
 R : شعاع انحنا خطوط جریان
 R_b : شعاع تاج سرریز
 R_s : شعاع انحنا سطح آب
 s : راستای بردار سرعت
 V : سرعت جریان
 V_b : سرعت ماکزیمم واقع در نزدیکی تاج سرریز
 W : عرض کانال
 Y_1 : عمق آب در بالادست سرریز
 Y_2 : عمق آب روی تاج سرریز
 Z : موقعیت عمودی نقطه اندازه‌گیری شده
 α : زاویه دیواره بالادست سرریز با افق
 β : زاویه دیواره پایین دست سرریز با افق
 γ : وزن مخصوص آب
 δ : ضخامت لایه مرزی
 λ : ضریب تصحیح شعاع انحنا خطوط جریان
 ρ : چگالی آب

REFERENCES

- Bos, M. G. (1989). *Discharge measurement structures*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Cassidy, J. J. (1965). Irrotational flow over spillways of finite height. *Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE*, 91(6), 155-173.
- Chanson, H. & Montes, J. S. (1998). Overflow characteristics of circular weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 124(3), 152-162.
- Hager, W. H. & Hutter, K. (1984). Approximate treatment of plane channel flow. *Acta Mech.*, 51, 31-48.
- Hager, W. H. (1985). Critical flow condition in open channel hydraulics. *Acta Mech.*, 54, 157-179.
- Heidarpour, M. & Chamani, M. R., (2006). Velocity distribution over cylindrical weir. *Journal of Hydraulic Research, IAHR*, 44(5), 708-711.
- Jaeger, C. (1956). *Engineering fluid mechanics*. Blackie & Son, Glasgow, UK.
- Matthew, G. D. (1963). On the influence of the curvature, surface tension and viscosity on flow over round crested weir. *Proc. Inst. Civil Engineering*, 25, 511-524.
- Montes, J. S. (1964). On the influence of curvature, surface tension and viscosity on flow over round-crested weirs. Discussion. *Proc. Inst. Civil Engrs., London*, 28, 562-563.
- Orgaz, O. C. (2008). Curvilinear flow over round-crested weirs. *Journal of Hydraulic Research, IAHR*, 46(4), 412-419.
- Ramamurthy, A. S. & Vo, N. D., (1993a). Application of Dressler theory to weir flow. *Journal of Applied Mechanics, ASCE*, 60, 163-166.
- Ramamurthy, A. S. & Vo, N. D. (1993b). Characteristic of circular crested weir. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 119(9), 1055-1063.
- Ramamurthy, A. S., Vo, N. D. & Balachandar, R. (1994). A note on irrotational curvilinear flow past a weir. *Journal of Fluid Engineering, ASME*, 116, 378-381.
- Ramamurthy, A. S., Vo, N. D. & Vera, G. (1992). Momentum model of flow past weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 118(6), 998-994.
- Rehbock, T. (1929). *The river hydraulic laboratory of the technical university of Karlsruhe*. In

Hydraulic Laboratory Practice, ASME, New York, USA, 111-242.

Rouve, G. & Indlekofer, H. (1974). Abfluss über geradlinige wehre mit halbkreisförmigem überfallprofil. (Discharge over straight weirs with

semi-cylindrical crest). *Der Bauingenieur*, 49(7), 250-256. (In German)

Sarginson, E. J. (1972). The influence of surface tension on weir flow. *Journal of Hydraulic Research, IAHR*, 10 (4), 431-446.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.