

بررسی پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز مرکب قوس دایره‌ای - مستطیلی

سید نصراله موسوی^{1*} - داود فرسادی زاده² - هادی ارونقی³ - اکرم عباسپور⁴

تاریخ دریافت: 1392/06/20

تاریخ پذیرش: 1394/03/03

چکیده

سرریزهای لبه تیز مرکب اغلب به منظور اندازه‌گیری دامنه وسیعی از جریان با دقت مناسب در کانال‌های روباز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق آزمایش‌هایی به منظور بررسی میزان تأثیر عرض دهانه مستطیلی، ارتفاع تاج سرریز و ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای بر ضریب دبی جریان آزاد بر روی سرریزهای مرکب قوس دایره‌ای - مستطیلی در فلوم آزمایشگاهی انجام گرفت. مشخصات سرریزهای مرکب مورد استفاده شامل عرض دهانه مستطیلی 15، 20 و 25 سانتی‌متر، ارتفاع تاج سرریز 15، 20 و 25 سانتی‌متر و ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای 5، 7/5، 10 و 12/50 سانتی‌متر می‌باشند. نتایج نشان داد بر اساس داده‌های آزمایشگاهی، تغییرات ضریب دبی جریان در سرریزهای مرکب مذکور در محدوده 0/54 تا 0/89 می‌باشد. به ازای بار آبی معین با افزایش عرض دهانه مستطیلی، ضریب دبی جریان در حدود 2 تا 10 درصد افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع تاج سرریز، میزان کاهش ضریب دبی جریان در حدود 1 تا 5 درصد می‌باشد. به ازای بار آبی معین با تغییر ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای، ضریب دبی جریان سرریزهای مرکب نسبت به سرریزهای مستطیلی ساده در حدود 35 درصد افزایش می‌یابد. مقادیر محاسباتی و مشاهداتی ضریب دبی جریان بر اساس معیارهای ارزیابی ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) که به ترتیب برابر با 0/630 و 0/061 محاسبه گردیدند، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از ترکیب خطی روابط جریان در سرریزهای لبه تیز دایره‌ای و مستطیلی شکل، با دقت قابل قبولی قادر به برآورد ضریب دبی جریان سرریزهای مرکب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌گیری جریان، بار آبی، سرریز مرکب، سرریز مستطیلی، فلوم آزمایشگاهی

مقدمه

لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی با زاویه رأس 90 درجه پرداخت. در این تحقیق رابطه‌ای برای محاسبه دبی جریان آزاد بر روی سرریز مرکب مذکور ارائه گردید. مارتینز و همکاران (9) با بررسی سرریز لبه تیز مرکب متشکل از دو دهانه مثلثی، رابطه تئوری دبی جریان در سرریز مرکب را با ترکیب خطی روابط دبی جریان در سرریزهای مثلثی ارائه دادند. جان و همکاران (6) چهار نوع دیگر از سرریزهای لبه تیز مرکب را به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داده و روش ترکیب خطی را برای استخراج رابطه دبی جریان در سرریزهای مرکب مورد تأیید قرار دادند. با این وجود هنگامی که دبی جریان بیش از ظرفیت دهانه پایین سرریز می‌شود خطوط جریان آب از روی تاج‌های افقی عرضی سرریز، ریزش نموده و این جریان‌های روگذر باعث بروز ناپیوستگی در روی نمودارهای دبی جریان - بار آبی می‌گردند (4). ارونقی و همکاران (2) با بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی جریان در سرریز لبه تیز مرکب نیم‌دایره‌ای - دوزنقه‌ای نشان دادند که با ترکیب سرریزهای نیم‌دایره‌ای و دوزنقه‌ای، ضریب دبی جریان به میزان 15 درصد افزایش می‌یابد. لی و همکاران (8) با انجام آزمایش‌هایی به

سرریزهای لبه تیز مرکب برای اندازه‌گیری دبی جریان با دقت و حساسیت معقول در طیف گسترده‌ای از جریان‌ها، به عنوان یک راه حل مناسب می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. سرریزهای لبه تیز مرکب از چندین دهانه تشکیل شده و به شکل‌های مختلف طراحی می‌شوند. یکی از مزایای هیدرولیکی سرریزهای مرکب این است که در شدت جریان‌های کم، دهانه پایین به صورت سرریز ساده عمل نموده و با ایجاد بار هیدرولیکی بیشتر از بالادست آن، اندازه‌گیری دبی جریان را با توجه به شکل دهانه، با دقت و حساسیت مناسبی انجام می‌دهد. در جریان‌های زیاد، دهانه بالایی مانع از افزایش زیاد سطح آب بالادست و برگشت آب گردیده و اندازه‌گیری دبی جریان با دقت قابل قبولی امکان‌پذیر می‌گردد. عباسپور (1) به ارزیابی جریان آزاد بر روی سرریز

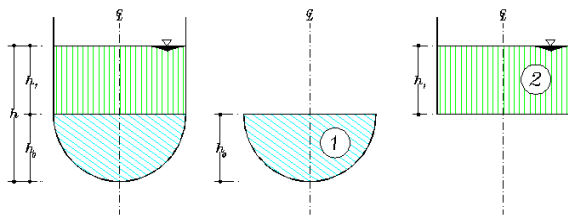
1، 2، 3 و 4 - به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیاران سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* - نویسنده مسئول: (Email: s.n.mousavi@tabrizu.ac.ir)

مرکب از ترکیب خطی روابط جریان در سرریزهای دایره‌ای و مستطیلی طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$Q = C_{d1} \cdot 2 \cdot \sqrt{2g} \cdot \phi(\eta) \cdot D \cdot h_0^{\frac{3}{2}} + C_{d2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot b_e \cdot h_{1e}^{\frac{3}{2}} \quad \frac{h}{h_0} > 1 \quad (3)$$

که در آن C_{d1} و C_{d2} به ترتیب ضریب دبی جریان در دهانه قوس دایره‌ای (12) و دهانه مستطیلی (11) می‌باشند. b_e و h_{1e} به ترتیب عرض مؤثر و بار آبی مؤثر می‌باشند (5 و 7). با توجه به وضعیت عبور جریان از دهانه بالایی مستطیلی شکل، مقدار ضریب دبی جریان جزء مربوطه افزایش یافته و به یک نزدیک می‌شود. با اندازه‌گیری داده‌های مورد نیاز ضریب دبی جریان کلی اندازه‌گیری شده (مشاهداتی) از رابطه 4 تعیین می‌گردد.



شکل 2- اجزاء سرریز لبه تیز مرکب به کار رفته در تحقیق
Figure 2- Compound sharp-crested weir components used in research

$$Q = C_{dm} [2 \sqrt{2g} \cdot \phi(\eta) \cdot D \cdot h_0^{\frac{3}{2}} + \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot b_e \cdot h_{1e}^{\frac{3}{2}}] \quad (4)$$

با ترکیب روابط 3 و 4، ضریب دبی جریان کلی محاسباتی از رابطه 5 محاسبه می‌گردد.

$$C_{dc} = \frac{C_{d1} \cdot 3 \phi(\eta) \cdot D \cdot h_0^{\frac{3}{2}} + C_{d2} \cdot b_e \cdot h_{1e}^{\frac{3}{2}}}{3 \phi(\eta) \cdot D \cdot h_0^{\frac{3}{2}} + b_e \cdot h_{1e}^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

تحلیل ابعادی

با در نظر گرفتن متغیرهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی مؤثر بر جریان آزاد بر روی سرریزهای لبه تیز، تابع جریان را به صورت رابطه زیر می‌توان نوشت (10):

$$f_1(h, h_0, P, R, b, B, Q, \rho, \sigma, \mu, g) = 0 \quad (6)$$

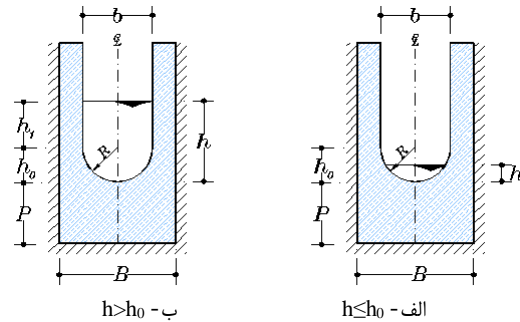
در رابطه فوق تعداد 11 متغیر مستقل با سه کمیت اصلی (طول، جرم و زمان) وجود دارد (μ لزوجت دینامیکی و σ کشش سطحی). با استفاده از تحلیل ابعادی به روش π -باکینگهام، رابطه بدون بعد زیر

بررسی روابط هیدرولیکی جریان بر روی سرریز لبه‌تیز مرکب متشکل از دو دهانه دوزنقه‌ای و یک دهانه مستطیلی شکل پرداخته و روابط تئوری دبی جریان را در این سرریزها استخراج نمودند. روابط استخراج شده برای این نوع از سرریزها با رعایت معیارهای طراحی و استانداردهای ساخت آنها دارای دقت کافی می‌باشند. هدف از این تحقیق بررسی آزمایشگاهی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز مرکب قوس دایره‌ای - مستطیلی (در دو حالت هم عرض کانال و نسبتاً فشرده) و مقایسه مقادیر ضریب دبی جریان در سرریزهای مرکب و مستطیلی ساده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تحلیل ریاضی

در سرریز لبه‌تیز مرکب مورد استفاده در این تحقیق (در دو وضعیت هم عرض کانال و نسبتاً فشرده)، مطابق شکل 1 دو حالت زیر برای تحلیل جریان بررسی می‌گردد.



شکل 1- حالت‌های مختلف عبور جریان از سرریز مرکب
Figure 1- Different modes of compound weir flow

مطابق شکل 1-الف در حالت $(h \leq h_0)$ ، رابطه جریان در سرریز دایره‌ای ساده به صورت زیر می‌باشد (12).

$$Q = C_d \cdot 2 \sqrt{2g} \cdot \phi(\eta) \cdot D \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad \frac{h}{h_0} \leq 1 \quad (1)$$

که در آن ضریب اصلاحی جریان (C_d) برای در نظر گرفتن عواملی نظیر سرعت و فشار، فشرده‌گی تیغه جریان بر روی سرریز، افت انرژی و نیز عوامل نامعین دیگر می‌باشد. پارامتر $\eta = \frac{h}{D}$ نسبت پر شدگی یا عمق نسبی، D قطر سرریز، R شعاع سرریز بوده و تابع $\phi(\eta)$ به صورت زیر تعریف شده است (12).

$$\phi(\eta) = 0.1963 \sqrt{\eta} (\sqrt{1 - 0.220\eta} + \sqrt{1 - 0.773\eta}) \quad (2)$$

با توجه به شکل‌های 1-ب و 2، در حالت $(h > h_0)$ دبی جریان سرریز

$$C_d = \frac{Q}{2\sqrt{2g} \cdot \phi(\eta) \cdot D \cdot h^{\frac{3}{2}}} \quad \frac{h}{h_0} \leq 1 \quad (11)$$

$$C_d = \frac{Q}{2\sqrt{2g} \cdot \phi(\eta) \cdot D \cdot h_0^{\frac{3}{2}} + \frac{2}{3}\sqrt{2g} \cdot b_e \cdot h_{1e}^{\frac{3}{2}}} \quad \frac{h}{h_0} > 1 \quad (12)$$

$$C_d = F\left(\frac{h}{P}, \frac{h}{h_0}, \frac{h}{D}, \frac{h}{B}\right) \quad (13)$$

با استفاده از تابع ابعادی فوق، ضریب دبی جریان آزاد بر حسب پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی معین در آن و نیز تأثیر عوامل نامعین پنهان و یا نامعین (نظیر لزوجت، کشش سطحی، توزیع غیر هیدروستاتیکی فشار بر روی سرریز و غیره) مستقیماً و به صورت تجربی قابل ارزیابی می‌باشد.

تجهیزات آزمایشگاهی و نحوه انجام آزمایش

آزمایش‌ها در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز در فلوم شیشه‌ای - فلزی به طول 9 متر، عرض 25 و ارتفاع 50 سانتی‌متر انجام شده است. به منظور اندازه‌گیری دبی جریان، سرریز لبه تیز مثلثی با زاویه رأس 53 درجه واسنجی شده در انتهای فلوم تعبیه شده است (10). در شکل 3 نمای شماتیک سیستم تأمین آب نشان داده شده است.

حاصل می‌شود.

$$f_2\left(\frac{h}{P}, \frac{h}{h_0}, \frac{h}{D}, \frac{h}{B}, \frac{Q}{g^{\frac{1}{2}}Dh^{\frac{3}{2}}}, \frac{Q}{g^{\frac{1}{2}}bh^{\frac{3}{2}}}, \frac{\rho g^{\frac{1}{2}}h^{\frac{3}{2}}}{\mu}, \frac{\rho^{\frac{1}{2}}g^{\frac{1}{2}}h}{\sigma^{\frac{1}{2}}}\right) = 0 \quad (7)$$

با صرف نظر کردن از تأثیر نیروهای لزوجت و کشش سطحی می‌توان نوشت:

$$f_3\left(\frac{h}{P}, \frac{h}{h_0}, \frac{h}{D}, \frac{h}{B}, \frac{Q}{g^{\frac{1}{2}}Dh^{\frac{3}{2}}}, \frac{Q}{g^{\frac{1}{2}}bh^{\frac{3}{2}}}\right) = 0 \quad (8)$$

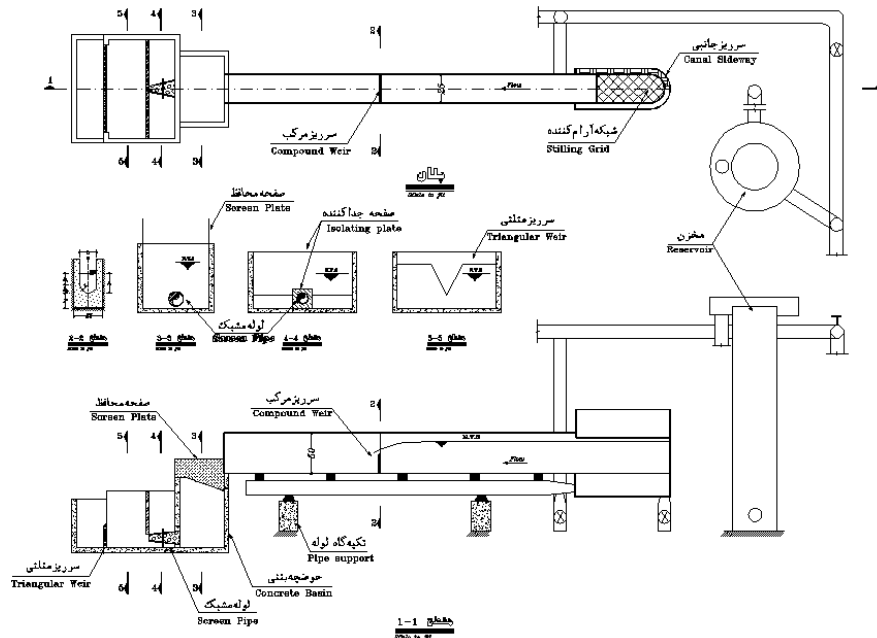
برای شرایط جریان آزاد بر روی سرریز مرکب، روابط ابعادی به فرم زیر نوشته می‌شود.

$$\frac{Q}{g^{\frac{1}{2}}Dh^{\frac{3}{2}}} = f_4\left(\frac{h}{P}, \frac{h}{h_0}, \frac{h}{D}, \frac{h}{B}\right) \quad \frac{h}{h_0} \leq 1 \quad (9)$$

$$\frac{Q}{g^{\frac{1}{2}}Dh^{\frac{3}{2}} + g^{\frac{1}{2}}bh^{\frac{3}{2}}} = f_5\left(\frac{h}{P}, \frac{h}{h_0}, \frac{h}{D}, \frac{h}{B}\right) \quad \frac{h}{h_0} > 1 \quad (10)$$

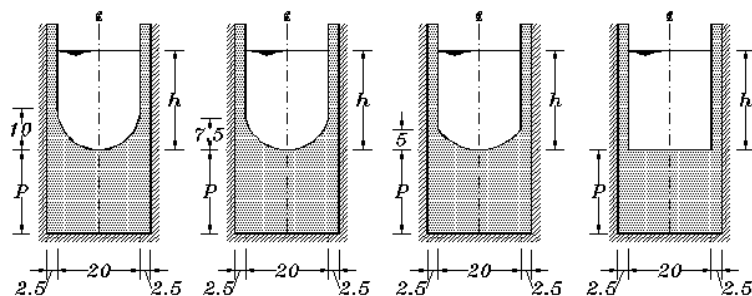
تحلیل ترکیبی

با مقایسه و ترکیب روابط 1 و 4 در روش تحلیل ریاضی و روابط 9 و 10 در روش تحلیل ابعادی، رابطه جریان آزاد بر روی سرریزهای لبه تیز مرکب قوس دایره‌ای - مستطیلی به صورت زیر ارائه می‌گردد.



شکل 3- نمای شماتیک سیستم تأمین آب

Figure 3- Schematic view of the water supply system



شکل 4- تعدادی از مقاطع سرریزهای مرکب و ساده (b=20 cm)
Figure 4- Number of compound and simple weirs sections (b=20 cm)



شکل 5- نمایی از سرریز لبه تیز مرکب نصب شده در فلوم آزمایشگاهی
Figure 5- View of compound sharp-crested weir set up in the laboratory flume

جدول 1- پارامترهای هندسی و هیدرولیکی سرریزهای به کار رفته در تحقیق
Table 1- Geometrical and hydraulic parameters of used weirs in research

ردیف (Row)	پارامتر (Parameter)	نماد (Symbol)	مقدار (Value)	واحد (Unit)
1	عرض دهانه مستطیلی (Width of rectangular notch)	b	15-20-25	سانتی متر (cm)
2	ارتفاع تاج سرریز (Height of weir crest)	P	15-20-25	سانتی متر (cm)
3	ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای با b=25 cm (Height of circular arch notch with b=25 cm)	h ₀	0-5-7.5-10-12.5	سانتی متر (cm)
4	ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای با b=20 cm (Height of circular arch notch with b=20 cm)	h ₀	0-5-7.5-10	سانتی متر (cm)
5	ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای با b=15 cm (Height of circular arch notch with b=15 cm)	h ₀	0-5-7.5	سانتی متر (cm)
6	شعاع قوس دایره‌ای متناظر با b=25 cm (Corresponding circular arc radius with b=25 cm)	R	12.5-12.81-14.17-18.125	سانتی متر (cm)
7	شعاع قوس دایره‌ای متناظر با b=20 cm (Corresponding circular arc radius with b=20 cm)	R	10-10.42-12.5	سانتی متر (cm)
8	شعاع قوس دایره‌ای متناظر با b=15 cm (Corresponding circular arc radius with b=15 cm)	R	7.5-8.125	سانتی متر (cm)
9	بار آبی نسبت به تاج سرریز (Hydraulic head respect to weir crest)	h	3.76~17.38	سانتی متر (cm)
10	دبی جریان عبوری از سرریز (Discharge through the weir)	Q	1.02~23.39	لیتر در ثانیه (lit/se)

پایدار، آزمایش‌ها در وضعیت جریان آزاد بر روی 36 مدل از سرریزها

پس از نصب سرریزها در محل مناسبی از فلوم و برقراری جریان

جریان افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهد به ازای بار آبی معین روی سرریز با افزایش عرض دهانه مستطیلی سرریز، ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز مرکب و مستطیلی ساده حدود 2 تا 10 درصد افزایش می‌یابد.

تأثیر ارتفاع تاج سرریز بر ضریب دبی جریان

با توجه به شکل‌های 8 و 9 به ازای نسبت معینی از $\frac{h}{h_0}$ و $\frac{h}{B}$ سرریز با ارتفاع کمتر، دارای ضریب دبی جریان بیشتری می‌باشد. با کاهش ارتفاع سرریز، ممانعت در برابر جریان کاهش یافته و مطابقت دبی تئوری و اندازه‌گیری شده افزایش می‌یابد. بر طبق نتایج، به ازای بار آبی معین روی سرریز با افزایش ارتفاع سرریزهای لبه تیز مرکب و ساده، ضریب دبی جریان حدود 1 تا 5 درصد کاهش می‌یابد.

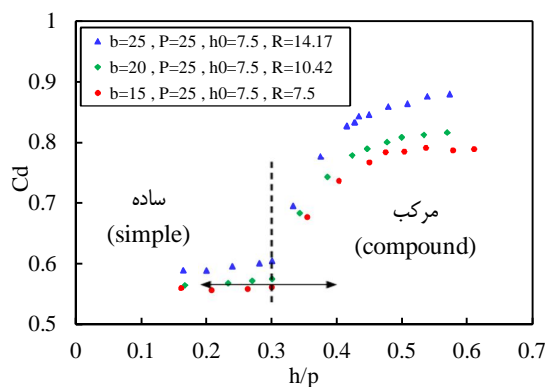
انجام می‌گرفت. تعدادی از مقاطع سرریزها و نمایی از سرریز نصب شده در فلوم در شکل‌های 4 و 5 نشان داده شده است. پارامترهای به کار رفته در سرریزها در جدول 1 ارائه شده است.

نتایج و بحث

در این تحقیق تأثیر پارامترهای عرض دهانه مستطیلی، ارتفاع تاج سرریز، ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای به ازای تغییرات بار آبی با نسبت‌های $\frac{h}{B}$ ، $\frac{h}{h_0}$ ، $\frac{h}{R}$ ، $\frac{h}{P}$ بر روی ضریب دبی جریان مورد بررسی قرار گرفته است.

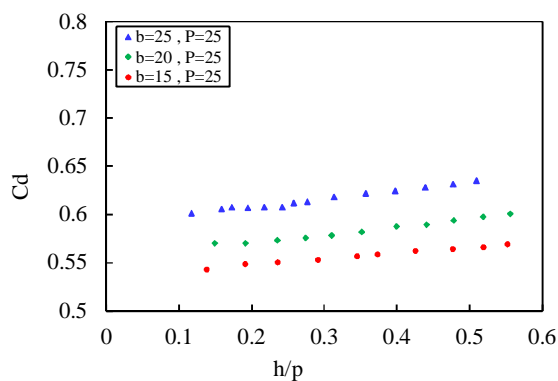
تأثیر عرض دهانه مستطیلی سرریز بر ضریب دبی جریان

مطابق شکل‌های 6 و 7 با افزایش نسبت $\frac{h}{p}$ مقدار ضریب دبی



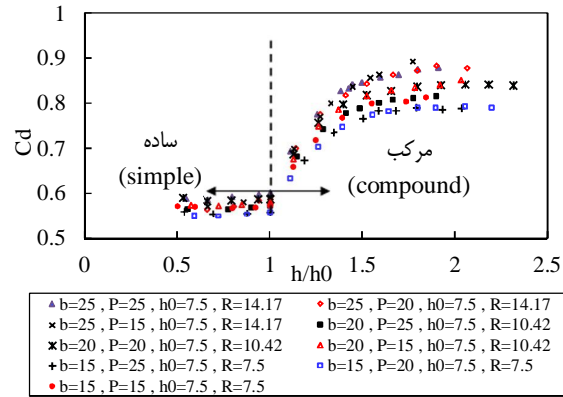
شکل 6- مقادیر C_d نسبت به $\frac{h}{p}$ در سرریزهای مرکب

Figure 6- C_d versus $\frac{h}{p}$ values of compound weirs

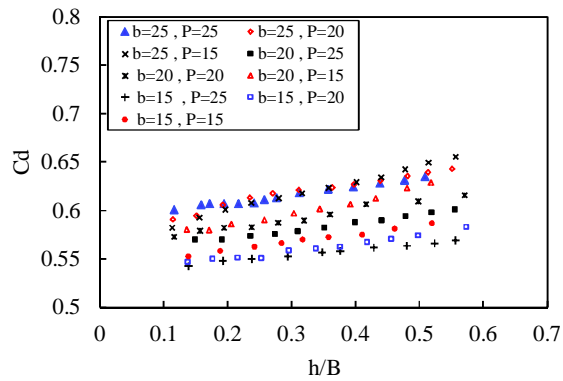


شکل 7- مقادیر C_d نسبت به $\frac{h}{p}$ در سرریزهای مستطیلی ساده

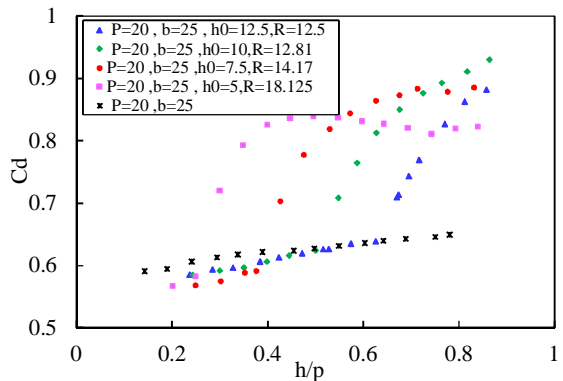
Figure 7- C_d versus $\frac{h}{p}$ values of simple rectangular weirs



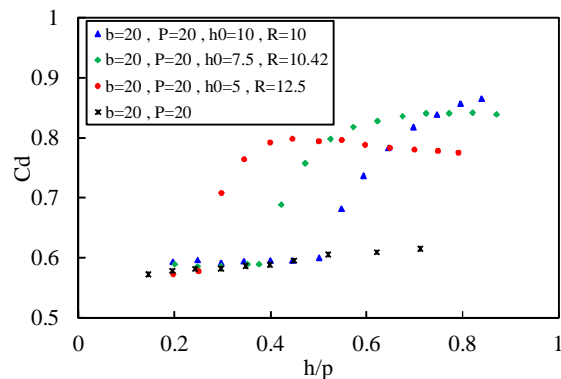
شکل 8- مقادیر C_d نسبت به $\frac{h}{h_0}$ در سرریزهای مرکب
 Figure 8- C_d versus $\frac{h}{h_0}$ values of compound weirs



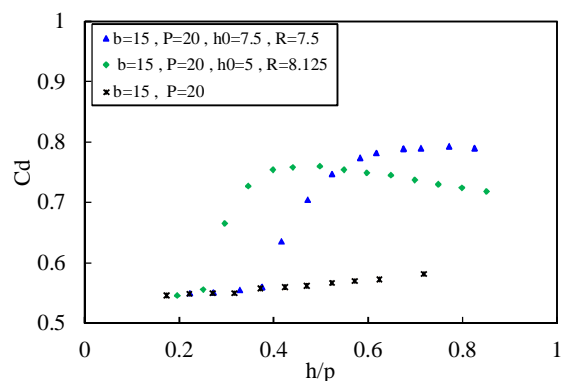
شکل 9- مقادیر C_d نسبت به $\frac{h}{B}$ در سرریزهای مستطیلی ساده
 Figure 9- C_d versus $\frac{h}{B}$ values of simple rectangular weirs



شکل 10- مقادیر C_d نسبت به $\frac{h}{p}$ در سرریزهای مرکب (b = 25 cm)
 Figure 10- C_d versus $\frac{h}{p}$ values of compound weirs (b = 25 cm)



شکل 11- مقادیر C_d نسبت به $\frac{h}{p}$ در سرریزهای مرکب ($b = 20$ cm)
Figure 11- C_d versus $\frac{h}{p}$ values of compound weirs ($b = 20$ cm)



شکل 12- مقادیر C_d نسبت به $\frac{h}{p}$ در سرریزهای مرکب ($b = 15$ cm)
Figure 12- C_d versus $\frac{h}{p}$ values of compound weirs ($b = 15$ cm)

سرریزهای مرکب ($h > h_0$) در محدوده بین 0/636 تا 0/894، در سرریزهای ساده با دهانه قوس دایره‌ای ($h \leq h_0$) در محدوده بین 0/547 تا 0/645 و در سرریزهای ساده با دهانه مستطیلی در محدوده بین 0/543 تا 0/656 می‌باشد. محدوده مقادیر ضریب دبی جریان اندازه‌گیری شده (مشاهداتی) سرریزها در جدول 2 و مقادیر ضریب دبی جریان در انواع مختلف سرریزهای لبه‌تیز مرکب در جدول 3 ارائه شده است.

مقایسه ضریب دبی جریان محاسباتی و مشاهداتی

مطابق شکل‌های 13 تا 16 و بر اساس شاخص‌های آماری ارائه شده در جدول 2، مقادیر ضریب دبی جریان محاسباتی (C_{dc}) و ضریب دبی جریان مشاهداتی (C_{dm}) در اکثر سرریزهای مرکب و ساده، انطباق قابل قبولی با هم دارند.

تأثیر ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای بر ضریب دبی جریان

با توجه به شکل‌های 10 تا 12 با افزایش $\frac{h}{p}$ ضریب دبی جریان ابتدا روند افزایشی و سپس نسبتاً ثابت نشان می‌دهد. به ازای بار آبی معین روی سرریز در مقادیر بار آبی کم، با کاهش ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای، ضریب دبی جریان در سرریزهای مرکب نسبت به سرریزهای مستطیلی ساده تا حدود 35 درصد افزایش می‌یابد. با توجه به نمودارهای ارائه شده در شکل‌های 6 تا 12 مشاهده می‌شود که مقادیر ضریب دبی جریان نسبت به هر یک از پارامترهای بار آبی بی‌بعد، در سرریزهای ساده با دهانه قوس دایره‌ای و نیز در سرریزهای مستطیلی ساده، کمتر از دهانه مرکب بوده و تغییرات آن دارای شیب ملایم‌تری نسبت به محدوده ابتدایی دهانه مرکب سرریزها می‌باشد. با افزایش بیشتر بار آبی در سرریزهای مرکب، مقادیر ضریب دبی جریان نسبتاً ثابت می‌گردند. بر اساس نتایج نمودارهای استخراج شده، تغییرات مقادیر ضریب دبی جریان در

جدول 2- محدوده مقادیر ضریب دبی جریان و شاخص‌های آماری در سرریزهای مرکب

ضریب دبی (C_d)	مشخصات سرریز (Weir Characteristics)	R^2			RMSE		
		P=15 cm	P=20 cm	P=25 cm	P=15 cm	P=20 cm	P=25 cm
0.583-0.828	b=25, h_0 =12.5, R=12.5 cm	0.290	0.302	0.336	0.085	0.081	0.078
0.569-0.893	b=25, h_0 =10, R=12.81 cm	0.534	0.671	0.657	0.086	0.101	0.087
0.568-0.894	b=25, h_0 =7.5, R=14.17 cm	0.820	0.856	0.833	0.079	0.063	0.074
0.567-0.846	b=25, h_0 =5, R=18.125 cm	0.772	0.676	0.624	0.050	0.067	0.061
0.583-0.656	b=25 cm	0.939	0.928	0.960	0.032	0.022	0.017
0.573-0.863	b=20, h_0 =10, R=10 cm	0.736	0.799	0.743	0.071	0.072	0.065
0.565-0.852	b=20, h_0 =7.5, R=10.42 cm	0.873	0.853	0.874	0.048	0.045	0.045
0.563-0.866	b=20, h_0 =5, R=12.5 cm	0.377	0.353	0.360	0.074	0.094	0.076
0.570-0.629	b=20 cm	0.700	0.703	0.672	0.018	0.02	0.027
0.550-0.813	b=15, h_0 =7.5, R=7.5 cm	0.872	0.867	0.880	0.039	0.040	0.036
0.547-0.738	b=15, h_0 =5, R=8.125 cm	0.389	0.320	0.331	0.107	0.130	0.119
0.543-0.587	b=15 cm	0.138	0.106	0.116	0.027	0.034	0.038

جدول 3- مقایسه مقادیر ضریب دبی جریان در انواع مختلف سرریزهای لبه تیز مرکب

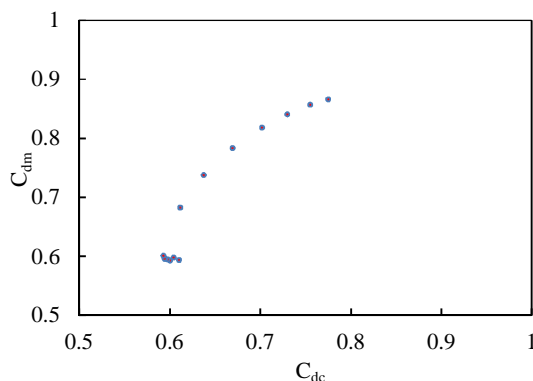
ردیف (Row)	محقق (Researcher)	مقطع سرریز لبه تیز مرکب (Cross-section of compound sharp-crested weir)	ضریب دبی جریان (Discharge Coefficient)
1	عباسپور Abbaspour (1)	مثلثی - مستطیلی (Triangular- Rectangular)	0.550-0.820
2	مارتینز و همکاران Martinez et al.(9)	مثلثی - مثلثی (Triangular- Triangular)	0.570-0.600
3	جان و همکاران Jan et al.(6)	مستطیلی - مستطیلی (Rectangular- Rectangular)	0.594-0.686
4	جان و همکاران Jan et al.(6)	مستطیلی - دوزنقه‌ای (Rectangular- Trapezoidal)	0.594-0.634
5	جان و همکاران Jan et al.(6)	مثلثی - مستطیلی (Triangular- Rectangular)	0.647-0.671
6	جان و همکاران Jan et al.(6)	مثلثی - دوزنقه‌ای (Triangular- Trapezoidal)	0.644-0.673
7	ارونقی و همکاران Arvanaghi et al. (2)	نیم‌دایره‌ای - دوزنقه‌ای (Semicircular- Trapezoidal)	0.510-0.789
8	لی و همکاران Lee et al.(8)	دوزنقه‌ای - دوزنقه‌ای - مستطیلی (Trapezoidal- Trapezoidal- Rectangular)	0.520-0.780
10	تحقیق حاضر Present research	قوس دایره‌ای - مستطیلی (Arched Circular-Rectangular)	0.543-0.894

شکل استخراج شده است. متوسط مقادیر ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) به ترتیب 0/630 و 0/061 می‌باشند. از جمله عوامل مؤثر در بروز اختلاف می‌توان به رابطه تئوری ضریب دبی جریان در حالت مرکب اشاره نمود که با فرض ترکیب خطی روابط جریان در سرریزهای ساده به دست آمده است. تأثیر دیواره‌های جانبی فلوم، دقت اندازه‌گیری بار آبی و دبی جریان، شرایط ورودی جریان در فلوم، گسترش محدوده روابط تجربی ارائه شده در منابع

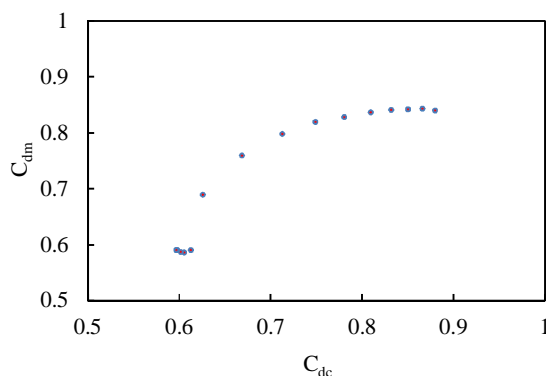
همانطور که در بخش مواد و روش‌ها بیان شد ضریب دبی جریان مشاهداتی یا اندازه‌گیری شده (C_{dm})، از رابطه 4 بدست می‌آید که در آن Q دبی جریان اندازه‌گیری شده با استفاده از سرریز لبه تیز مثلثی و اسنجی شده در انتهای فلوم، h_0 و h_{1e} مقادیر بار آبی اندازه‌گیری شده به وسیله سطح سنج می‌باشند. ضریب دبی جریان محاسباتی یا برآورد شده (C_{dc})، از رابطه 5 بدست می‌آید. رابطه مذکور از ترکیب خطی روابط دبی جریان در سرریزهای لبه تیز مستطیلی و دایره‌ای

بدست آمده در مطالعات اخیر با هیچ یک از روابط موجود برای ضریب دبی جریان، نمی‌توانند به صورت کامل بیان شود. در تحقیق ایشان به جای استفاده از ضریب دبی جریان که خطای آزمایشی را با تغییر انحنای بزرگ‌نمایی می‌کند، پارامتر سرعت جریان متوسط در مقطع سرریز را که دارای توزیع کلی ساده و منحنی‌های با انحنای منحصر به فرد بوده پیشنهاد نمودند (3).

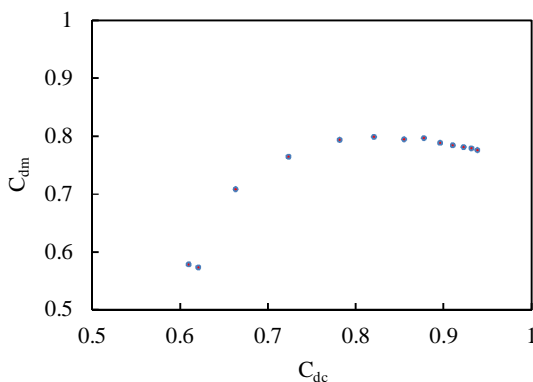
علمی برای ضریب دبی جریان در سرریزهای ساده از دیگر عوامل بروز اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی ضریب دبی جریان می‌باشند. مطابق نتایج مطالعات آیدین و همکاران (3)، روابط موجود در منابع علمی برای جریان در سرریزهای لبه تیز مستطیلی راه‌حل منحصر به فردی را ارائه نمی‌دهند. لذا اختلاف معناداری مابین روابط پیشنهاد شده توسط محققین مختلف وجود دارد به نحوی که داده‌های



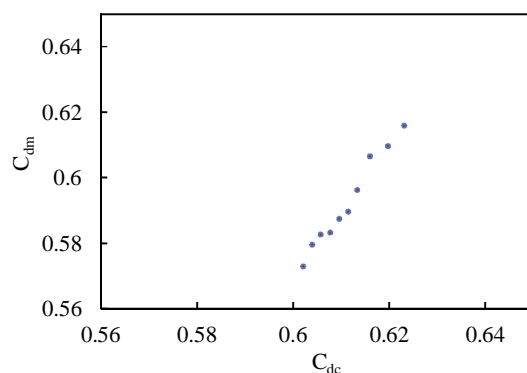
شکل 13 - مقایسه مقادیر ضریب دبی جریان ($P=20, b=20, h_0=10, R=10$ cm)
Figure 13-Comparison of C_d values ($P=20, b=20, h_0=10, R=10$ cm)



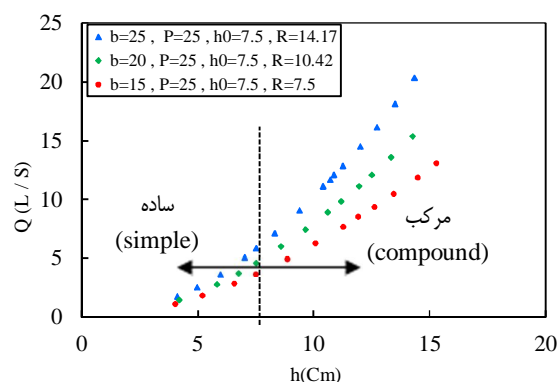
شکل 14 - مقایسه مقادیر ضریب دبی جریان ($P=20, b=20, h_0=7.5, R=10.42$ cm)
Figure 14-Comparison of C_d values ($P=20, b=20, h_0=7.5, R=10.42$ cm)



شکل 15 - مقایسه مقادیر ضریب دبی جریان ($P=20, b=20, h_0=5, R=12.5$ cm)
Figure 15-Comparison of C_d values ($P=20, b=20, h_0=5, R=12.5$ cm)



شکل 16- مقایسه مقادیر ضریب دبی جریان (P=20, b=20 cm)
Figure 16-Comparison of C_d values (P=20, b=20 cm)



شکل 17- نمودار دبی جریان - بار آبی
Figure 17-Head-flow diagram

بررسی نتایج تجربی، نکات زیر را می‌توان بیان نمود.

- با توجه به پارامترهای مؤثر بر سرریز، ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز مرکب در محدوده 0/54 تا 0/89 و در سرریزهای مستطیلی ساده در محدوده 0/55 تا 0/66 تغییر کرده است. با تغییر مشخصات سرریز، ضریب دبی جریان نسبت به سرریزهای مستطیلی ساده تا حدود 35 درصد افزایش نشان می‌دهد.

- به ازای تغییرات بار آبی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، پیوستگی جریان در این نوع از سرریزها به مراتب بیشتر از سرریزهای مرکب با تاج‌های افقی یا مایل می‌باشد.

- بر اساس معیارهای ارزیابی، استفاده از ترکیب خطی روابط جریان در سرریزهای لبه تیز دایره‌ای و مستطیلی شکل، با دقت قابل قبولی قادر به برآورد ضریب دبی جریان سرریزهای مرکب می‌باشد.

نمودار دبی جریان - بار آبی

در سرریزهای مرکب احتمال وجود ناپیوستگی در رابطه دبی جریان - بار آبی در منطقه تبدیل حالت ساده به مرکب سرریز وجود دارد. مطابق شکل 17 در این نوع از سرریزها، حداقل میزان ناپیوستگی در محدوده وسیع از دبی‌های جریان در مقایسه با انواع دیگر سرریزهای مرکب با تاج‌های افقی و یا شیب‌دار مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق مجموعه‌ای از آزمایش‌ها به منظور بررسی ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز مرکب قوس دایره‌ای - مستطیلی در دو حالت هم عرض کانال و نسبتاً فشرده انجام یافته است. مزیت این سرریزها در اندازه‌گیری طیف گسترده‌ای از جریان‌ها می‌باشد. از

منابع

- 1- Abbaspour A. 2001. Investigation of flow over truncated-triangular weirs. The Thesis of Master of Science Degree in Hydraulic Structure. Urmia University. (in Persian with English abstract).

- 2- Arvanaghi H., Mahtabi G., Valinia M., Ghavidel Z., and Azimi V. 2011. Investigation of flow discharge coefficient over semi circular-trapezoidal weir. P. 1-7. 10th Iranian Hydraulic Confrence, 8 Nov. 2011. The University of Guilan. (in Persian).
- 3- Aydin I., Altan-Sakarya A.B., and Sisman C. 2011. Discharge formula for rectangular sharp-crested weirs. ELSEVIER, Flow Measurement and Insrumentation, 22(1):144-151.
- 4- Bergmann J.M. 1963. Compound weir study. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, United States.
- 5- Bos M.G. 1989. Discharge measurement structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Publication 20, Wageningen, the Netherlands.
- 6- Jan C.D., Chang C.J., and Lee M.H. 2006. Discussion of "Design and calibration of compound sharp-crested weir, Martinez J., Reca J., Morillas M.T., and Lopez J.G. 2005". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 132(8): 868-872.
- 7- Kindsvater C.E., and Carter R.W. 1959. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs. Transactions of the American Society of Civil Engineers, ASCE, 124:772-822.
- 8- Lee J.T., Chan H.C., Huang C.K., and Leu J.M. 2012. Experiments on hydraulic relations for flow over a compound sharp-crested weir. International Journal of Physical Sciences, 7(14): 2229 – 2237.
- 9- Martinez J., Reca J., Morillas, M.T., and Lopez J.G. 2005. Design and calibration of a compound sharp-crested weir. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 131(2):112-116.
- 10- Mousavi S.N. 2013. Investigation of discharge coefficient over arched trapezoidal and rectangular sharp-crested weirs. The Thesis of Master of Science Degree in Hydraulic Structure. The University of Tabriz. (in Persian with English abstract).
- 11- Swamee P.K. 1988. Generalized rectangular weir equation. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 114(8): 945-949.
- 12- Vatankhah A.R. 2010. Flow measurement using circlular sharp-crested weirs. ELSEVIER, Flow Measurement and Insrumentation, 21(1):118-122.



Investigation of Effective Parameters on Discharge Coefficient of Compound Arched Circular-Rectangular Sharp-Crested Weirs

S.N. Mousavi^{1*} - D. Farsadizadeh² - H. Arvanaghi³ - A. Abbaspour⁴

Received: 11-09-2013

Accepted: 24-05-2015

Introduction: The compound sharp-crested weirs are composed from several notches and those are designed in different shapes. One of the hydraulic advantages of compound weirs is that at low flow rate, the bottom notch acts as simple weir and with the creation of more hydraulic head on its upstream, due to the shape of the notch, make discharge measurement with appropriate sensitivity. In high flow rates, the upper notch prevents of increasing upstream water level and backwater and discharge measurement is possible with acceptable accuracy. The compound sharp-crested weirs can be used as an appropriate solution for discharge measurement with reasonable accuracy and sensitivity of the extensive range of flows. Relations are derived from this kind of weirs has sufficient accuracy with observation of design criteria and construction standards. The purpose of this research was a laboratory investigation of geometric and hydraulic effective parameters on discharge coefficient of compound arched circular- rectangular sharp-crested weirs in two cases of full width of channel and partially contracted weirs and compare the values of the discharge coefficient of compound and simple rectangular weirs.

Materials and Methods: Considering the geometric, kinematic and dynamic variables affecting the free flow of sharp-crested weirs, there are 11 independent variables with three main quantities (length, mass and time). Using dimensional analysis with π -Buckingham method, it can be derived the dimensionless relationship. In order to assess the effect of various parameters on the coefficient of C_d , the dimensionless diagrams are used. In the state of ($h \leq h_0$), discharge relationship used in simple circular weir. In the state of ($h > h_0$), discharge of compound weir is computed from the linear combination of discharge relationships in circular and rectangular weirs. Experiments are conducted in the hydraulic engineering models laboratory, Department of Water Engineering, University of Tabriz, in a rectangular glass-metal flume of 9 m length, 25 cm width and 50 cm height. After setting up the weirs in a relevant place of flume and establish the steady flow, experiments were performed in the free flow on 36 models of weirs.

Results and Discussion: In this research, the effects of rectangular notch width, the height of weir crest, the height of circular arch notch were investigated for changes of head with dimensionless ratios of $\frac{h}{P}$, $\frac{h}{R}$, $\frac{h}{h_0}$, $\frac{h}{B}$ on discharge coefficient. The results show that for a known head over the weir, discharge coefficient increase about 2 to 10 percent with the development of the rectangular notch width of compound and simple rectangular sharp-crested weirs. For a given head over the weir, discharge coefficient decrease approximately 1 to 5 percent by increasing the height of the weir crest of compound and simple sharp-crested weirs. For a given head over weir in low head values, discharge coefficient increase approximately 35 percent by reducing the height of circular arch notch in the compound weirs than simple rectangular weirs. Based on statistical indicators, computational and observation discharge coefficient values in most compound and simple weirs, acceptable coincidence with each other. The mean values of the coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RMSE) are 0.630 and 0.061, respectively. Among the effective factors that indicate the difference, it can be referred to the theoretical equation in the compound state that is obtained by assuming a linear combination of simple weirs. The effect of the lateral walls of the flume, the measurement accuracy of hydraulic head and discharge, the conditions of flow entrance, the extension of the range of empirical equations proposed in literature for discharge coefficient of simple weirs, Other factors contributing to the difference between the estimated and observed values of discharge coefficient. In this type of weirs, the least amount of discontinuity in the transition region of simple to compound state in head-discharge relationship can be seen in the wide range of discharges compared with other kinds of compound weirs with horizontal or sloping crests.

Conclusion: In this research, a series of experiments conducted to investigate C_d of the compound arched circular-rectangular sharp-crested weirs in both full width of the channel and partially contracted. The advantage of these weirs is discharge measurement in a wide range. According to the parameters affecting the weir, C_d has

1,2,3,4- PhD Student of Water Structures, Professor and Assistant Professors, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Respectively

(* - Corresponding Author Email: s.n.mousavi@tabrizu.ac.ir)

changed from 0.54 to 0.89 range in the compound weirs and 0.55 to 0.66 range in the simple rectangular weirs. By changing the weir specifications, C_d increase about 35 percent than the simple rectangular weir. For changes of the head by using the experimental data, the discharge continuity of this type of weir is far more than the compound weirs with horizontal or inclined crests. Based on the evaluation criteria, using a linear combination of the discharge relationship of circular and rectangular sharp-crested weirs, be able to estimate C_d of the compound weirs with acceptable accuracy.

Keywords: Compound Weir, Discharge Measurement, Hydraulic Head, Laboratory Flume, Rectangular Weir