

Evaluation of a New Method for Calculating Discharge in Oblique Linear Weirs

KAZEM ALLAHDAI¹, MOHAMMAD ANSARI GHOJGHAR², EHSAN PARSI^{1*}, MEHDI BEHDARVANDI ASKAR³

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University Ahwaz, Ahwaz, Iran.

2. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3. Department of Offshore Structures, Faculty of Marine Engineering, University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

(Received: Nov. 1, 2020- Revised: Dec. 7, 2020- Accepted: Dec. 14, 2020)

ABSTRACT

Sharp crested weirs are one of the most important structures in the river intake and are the most common instruments for measuring the intensity of flow in open channels, which are widely used in water transmission systems and irrigation and drainage canals to regulate water levels and floods. One of the types of sharp crested weirs is angular weir, in which by increasing the effective length of the crown, more discharge is allowed to pass with less head, resulting a higher efficiency and consequently a reduction in irrigation system costs. In this study, 165 existing laboratory data obtained from two flumes with widths of 0.5 and 0.52 m and with seven ratios of weir length to flume width (L/B) of 1.14 and 3.86 and six weir crown heights of 0.10 m to 0.506 m were used in free flow conditions. In this study, the critical depth of flow passage over the weir crown was used to calculate the flow rate. Also, a new function was developed to calculate the flow rate directly and without the need for flow coefficient by presenting the geometric coefficient of the weir, including all the geometric characteristics of the structure. The results of this study showed that by increasing the height of the crown, the flow head and the weir angle relative to the flow horizon increase. The results also showed that the new relationship with $R^2 = 0.9984$ has high accuracy for measuring critical depth and flow rate.

Keywords: Critical Depth, Discharge Coefficient, Oblique Weirs.

ارزیابی روشی جدید جهت محاسبه دبی عبوری در سرریزهای خطی مورب

کاظم اله دادی^۱، محمد انصاری قوجقار^۲، احسان پارسی^{۱*}، مهدی بهداروندی عسکر^۲

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز.

۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران،

کرج، ایران

۳. گروه سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۱۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۲۴)

چکیده

سرریزهای لبه تیز یکی از سازه‌های مهم در آبیاری از رودخانه‌ها و از رایج‌ترین ابزار اندازه‌گیری شدت جریان در مجاری روباز هستند که جهت تنظیم سطح آب و عبور سیلاب به طور گسترده در سیستم‌های انتقال آب و کانال‌های آبیاری و زهکشی استفاده می‌شوند. یکی از انواع سرریزهای لبه تیز، سرریز زاویه‌دار است که با افزایش طول موثر تاج، امکان عبور دبی بیشتر با هد کمتر و در نتیجه راندمان بالاتر و به تبع آن کاهش هزینه‌های سیستم آبیاری را فراهم می‌نماید. در این تحقیق از ۱۶۵ داده آزمایشگاهی موجود که از دو فلوم به عرض‌های ۰/۵ و ۰/۵۲ متر و با هفت نسبت طول سرریز به عرض فلوم (L/B) از ۱/۱۴ تا ۳/۸۶ و شش ارتفاع تاج سرریز از ۰/۱۰ تا ۰/۵۰۶ متر و در شرایط جریان آزاد بدست آمد، استفاده شد. در این پژوهش، از عمق بحرانی عبوری روی تاج سرریز جهت محاسبه دبی عبوری استفاده شد و با ارائه ضریب هندسی سرریز که کلیه مشخصات هندسی این سازه را در بر می‌گیرد، رابطه‌ای جدید جهت محاسبه دبی عبوری به طور مستقیم و بدون نیاز به ضریب دبی ارائه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش ارتفاع تاج، هد جریان و زاویه سرریز نسبت به افق، دبی عبوری افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که رابطه جدید با $R^2 = 0.9984$ از دقت بالایی جهت اندازه‌گیری و عمق بحرانی و دبی جریان برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: سرریز زاویه‌دار، ضریب تخلیه، عمق بحرانی.

مقدمه

بوده و اطلاعات وسیعی در مورد نحوه عملکرد این نوع سازه‌ها در دسترس نیست. رابطه عمومی سرریزها به صورت معادله ۱ نوشته می‌شود (Brater and King, 1976).

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2gH}^{1.5} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن C_d ضریب دبی می‌باشد که موضوع تحقیق همه محققین می‌باشد. H هد عبوری جریان روی تاج سرریز، L طول تاج سرریز، g شتاب ثقل و Q دبی عبوری از تاج سرریز می‌باشد. ایده اولیه سرریزهای زاویه‌دار را می‌توان به (Aichel 1953) نسبت داد. وی تحقیقات گسترده‌ای بر روی سرریز زاویه‌دار در کانال انجام داده و معادله (۲) را ارائه کرد.

$$\frac{q}{q_n} = 1 - \frac{H}{P} \beta \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن q دبی در واحد عرض سرریز زاویه‌دار، q_n دبی عبوری سرریز عمود بر جریان و β ضریبی است که به زاویه سرریز بستگی دارد. او همچنین رابطه (۳) را جهت محاسبه دبی سرریزهای مورب ارائه کرد:

سرریزها همواره یکی از اجزای مهم شبکه‌های انتقال و توزیع آب محسوب می‌شوند که با وجود ساده بودن ساختار و عملکرد آن، نقش مهمی در این شبکه‌ها ایفا می‌کنند. از این سازه‌ها به عنوان کنترل کننده تراز سطح آب و همچنین به عنوان وسایل اندازه‌گیری دبی عبوری استفاده می‌شود (Borghai et al., 2003). یکی دیگر از کاربردهای مهم سرریزها، عبور مطمئن سیلاب پشت سدها است که همواره یکی از نگرانی‌های مهم طراحان این سازه‌ها محسوب می‌شود (Ramamurthy et al., 1987). تحقیقات نشان داده است که هرچه طول موثر سرریز افزایش یابد، دبی عبوری از آن افزایش می‌یابد. به همین دلیل سعی در ابداع سرریزهای جدید و غیر خطی نمودند (Tullis et al., 1995). یکی از انواع سرریزهای غیر خطی با طول موثر زیاد سرریزهای مورب هستند (Tullis et al., 1995; Hager, 1994). مطالعات و تحقیقات گسترده‌ای بر روی انواع مختلف سرریز صورت گرفته است. با این حال، مطالعات صورت گرفته بر روی سرریز مورب در پلان تاکنون بسیار محدود

$$C_d = \left(0.701 - 0.121 \frac{B}{L}\right) + \left(2.229 \frac{B}{L} - 1.663\right) \frac{H}{P} \quad (\text{رابطه ۴})$$

Mansoor (1999) پژوهش خود را در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه رورکی هندوستان و در یک فلوم به عرض ۰/۵۰ متر و طول ۹ متر و به با پنج زاویه انحراف سرریز ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و L/B برابر ۱/۰۳۶، ۱/۱۱۵، ۱/۴۱، ۲/۰۰، ۳/۸۶ و محدوده دبی ۳ تا ۹۰ لیتر در ثانیه و ارتفاع سرریز از ۱/۰۰ تا ۲۰/۰۰ سانتیمتر انجام شده که منجر به روابط (۵) گشته است. در این روابط θ زاویه انحراف سرریز نسبت به افق یا نسبت به جهت جریان و C_e ضریبی است که به H، P وابستگی دارد.

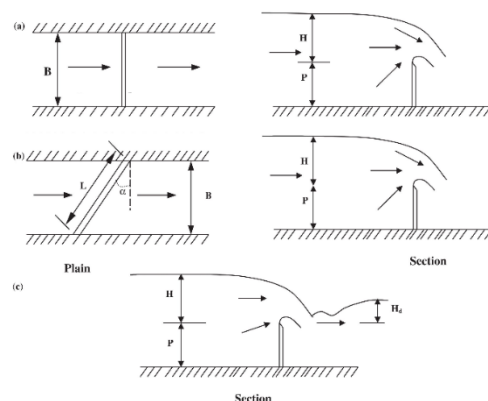
$$\frac{dQ_x}{dx} = \frac{2}{3} C_e \sqrt{2g} (y-p)^{1.5} \operatorname{cosec} \theta \quad (\text{رابطه ۵})$$

$C_e = k_0 \left[\left(\frac{k_1}{k_2 + \phi_w} \right)^{10} + \left(\frac{\phi_w}{1 + \phi_w} \right)^{k_3} \right]^{-0.10}$
 که در آن K_0 تا K_3 به θ (زاویه انحراف سرریز نسبت به افق یا نسبت به جهت جریان) وابسته می‌باشند. همچنین در رابطه (۵)، $\phi_w = H/P$ خواهد بود.

Tuyen (2006) با مطالعه بر روی سرریزهای زاویه‌دار، رابطه‌ای را برای محاسبه ضریب دبی در این نوع سرریزها ارائه داد. Swamee et al., (2011) در تحقیقات خود رابطه‌ای برای دبی سرریزهای مورب ارائه دادند که این رابطه به ارتفاع سرریز، هد روی سرریز و زاویه سرریز نسبت به محور کانال وابسته می‌باشد. Muhammad et al., (2015) با استفاده از رگرسیون داده‌های آزمایشگاهی برای سرریزهای مورب با تاج مرکب رابطه‌ای ارائه داد که بوسیله آن، ضریب تخلیه محاسبه می‌گردد. Zaji et al., (2016) در مطالعات خود با استفاده از مقایسه دو روش رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)، SVR-rbf و SVR-poly معادله-ای جهت محاسبه ضریب تخلیه سرریزهای مورب ارائه دادند. Mohammed and Sharifi (2020) با استفاده از مقایسه روش‌های رگرسیون خطی چندگانه (MLR) و الگوریتم برنامه‌سازی بیان ژنی (GEP) رابطه‌ای را برای محاسبه ضریب تخلیه سرریزهای مورب بیان کردند. Aya and Mansour (2018) در پژوهشی از دو مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) جهت پیش‌بینی ضریب تخلیه سرریزهای مورب در حالت آزاد و مستغرق استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در هر دو مدل بیشترین حساسیت مربوط به پارامتر طول سرریز می‌باشد. Mohammed (2020) and Golijanek-Jendrzeczyk با استفاده از روش‌های مونت کارلو و عدم قطعیت در اندازه‌گیری، ضریب تخلیه سرریزهای زاویه دار را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که

$$Q = \frac{2}{3} C_d B H \sqrt{2gH} \operatorname{cosec} \theta \quad (\text{رابطه ۳})$$

Vries (1959) با مطالعه سرریزهای زاویه‌دار دارای مقطع دوزنقه‌ای، تأثیر زاویه را بر روی ضریب دبی و میزان آبگذری این سرریزها مورد بررسی قرار داد. Bos (1979) انواع مختلف سرریزهای لبه‌تیز و لبه‌پهن را با شرایط هیدرولیکی حاکم بر آن‌ها مورد مطالعه گسترده‌ای قرار داده و روابط مربوط به هر یک را ارائه نمود. سرریزهای خطی به سه صورت مسطح در پلان، مایل یا شیب‌دار^۲ و مورب^۳ نامگذاری می‌شوند. سرریزهای مورب بعلت اینکه در یک عرض معین طول بیشتری دارند دبی بیشتری را منتقل می‌کنند. از جمله تحقیقاتی که در زمینه ضریب دبی سرریزهای مورب صورت گرفته است مطالعات Borghei et al., (2006) می‌باشند که تحقیقات آن‌ها در یک فلوم به عرض ۰/۵۲ ارتفاع ۰/۸۰ و طول ۶/۶۰ متر، دبی در محدوده ۸/۴۵ تا ۳۷ لیتر در ثانیه و ارتفاع تاج ۰/۵۰۶، ۰/۵۰۵، ۰/۵۰۳ و ۰/۴۶۰ متر و نسبت‌های طول سرریز به عرض فلوم (L/B) برابر ۲/۲۶، ۱/۹۸، ۱/۶۸، ۱/۵۴، ۱/۴۰، ۱/۲۹، ۱/۱۴ انجام پذیرفته است. نتایج این تحقیقات نشان داد که ضریب دبی برای هر زاویه انحراف تاج سرریز به صورت روابطی تقریباً خطی بدست می‌آید که مقدار پیشنهادی ضریب تخلیه توسط آن‌ها با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود. در نتیجه این پژوهش، با توجه به نسبت H/P و هر زاویه انحراف سرریز، یک ضریب دبی به‌دست می‌آید که این موضوع جهت طراحی سازه، باعث افزایش محاسبات می‌شود. همچنین ممکن است که زاویه انحراف سرریز مورد نظر طراح در این محدوده نباشد. در این صورت نیاز به درونیابی است که احتمال ایجاد خطا در محاسبات وجود خواهد داشت. شکل (۱) شماتیک سرریزهای لبه‌تیز را نشان می‌دهد.



شکل ۱- شماتیک سرریزهای لبه‌تیز: a: مسطح، b: مورب، c: جریان مستغرق (Borghei et al., 2006)

$$q_w = \frac{Q}{L} \rightarrow Q = q_w L \quad (\text{رابطه ۷})$$

در صورت داشتن عمق بحرانی روی تاج سرریز (y_{cw}) میتوان از رابطه (۶) دبی در عرض طول سرریز (q_w) و از رابطه (۷) دبی عبوری از سرریز (Q) را بدون نیاز به روابط با محاسبات طولانی، به صورت مستقیم محاسبه کرد.

تحلیل ابعادی

دبی عبوری سرریزهای مورب تابعی از موارد زیر است:

الف: ویژگی‌های فیزیکی سیال: جرم مخصوص (ρ)، لزجت دینامیکی (μ)

ب: ویژگی‌های هیدرولیکی جریان: عمق آب روی سرریز (H)، شتاب ثقل (g)

ج: ویژگی‌های هندسی: ارتفاع تاج سرریز (P)، عرض سرریز (B)

رابطه ۳ متغیرهای این تحقیق را نشان می‌دهد.

$$f(Q, P, H, B, \rho, g, \mu) = 0 \quad (\text{رابطه ۸})$$

بنابر نظریه باکینگهام، هفت متغیر وجود دارد و با در نظر گرفتن ارتفاع تاج سرریز، جرم مخصوص و شتاب ثقل به عنوان متغیرهای تکراری، چهار پارامتر بی بعد حاصل می‌شود (Shafai Bajestan, 2011). رابطه (۹) پارامترهای بی بعد حاصل از نظریه باکینگهام را نشان می‌دهد.

$$\alpha = \left(\frac{(L-B)P}{BH} \right) \quad (\text{رابطه ۹})$$

در رابطه (۹) تمامی پارامترهای هندسی سرریز و یک مشخصه هیدرولیکی H وجود دارد.

نتایج و بحث

از شکل (۳) می‌توان نتیجه گرفت که برای یک نسبت L/B مشخص، با افزایش ضریب هندسی سرریز α ، مقدار نسبت عمق بحرانی به ارتفاع سرریز y_{cw}/P کاهش می‌یابد که علت آن افزایش هد عبوری از روی تاج سرریز H می‌باشد و با افزایش آن تا حدودی دبی جریان زیاد می‌گردد. با افزایش بیشتر هد عبوری، به علت تداخل لایه‌های جریان، آشفتگی زیادی در روی تاج سرریز خصوصاً در ناحیه انتهایی سرریز و قسمت‌های یک سوم میانی سرریز پدید می‌آید. این امر باعث ایجاد جریان‌های چرخشی در پشت سرریز می‌گردد و باعث کاهش دبی عبوری سرریز می‌شود. به عبارت دیگر سرریز تمایل به رژیم استغراق دارد. در شکل (۲) برای نسبت‌های مختلف L/B ، یک رابطه نمایی محاسبه شده که دارای ضریب رگرسیون بسیار بالایی نیز می‌باشد. ضریب نسبت هندسی α نیز رابطه (۹) به دست خواهد آمد و برای هر نسبت

خطای روش عدم قطعیت در اندازه‌گیری کمتر از ۲ درصد می‌باشد. (Zakwan and Iqbal Khan (2020) در تحقیقات خود با استفاده از روش کاهش گرادیان تعمیم یافته (GRG)، روشی جهت محاسبه ضریب تخلیه سرریزهای زاویه‌دار ارائه دادند.

بیشتر مطالعات صورت گرفته بر روی دبی عبوری سرریزهای مورب، در خصوص ارائه رابطه‌ای برای محاسبه ضریب دبی می‌باشد. در مطالعه حاضر، موضوع دبی عبوری سرریزهای مورب از منظر عمق بحرانی جریان بررسی شده است. نوآوری این تحقیق نسبت به مطالعات گذشته، در محاسبه مستقیم دبی بوسیله رابطه ارائه شده می‌باشد که با استفاده از این رابطه، بدون نیاز به محاسبات طولانی در تحقیقات گذشته، مستقیماً بوسیله پارامتر عمق بحرانی جریان، دبی عبوری محاسبه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از دو سری داده آزمایشگاهی استفاده شد که سری اول شامل ۸۳ داده آزمایشگاهی (Borghei et al., 2003) که در یک فلوم به عرض ۰/۵۲ ارتفاع ۰/۸۰ و طول ۶/۶۰ متر، دبی از حدود ۸/۴۵ تا ۳۷ لیتر در ثانیه و ارتفاع تاج ۰/۵۰۶، ۰/۵۰۵، ۰/۵۰۳ و ۰/۴۶۰ متر و طول‌های مورب ۱/۱۷۵، ۱/۰۳۰، ۰/۸۷۶، ۰/۸۰۱، ۰/۷۲۸، ۰/۶۷۲ و ۰/۵۹۵ متر و نسبت طول سرریز به عرض فلوم (L/B) برابر ۲/۲۶، ۱/۹۸، ۱/۶۸، ۱/۵۴، ۱/۴۰، ۱/۲۹، ۱/۱۴ و سری دوم شامل ۸۲ داده آزمایشگاهی (Mansoor (1999) که در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه رورکی هندوستان و در یک فلوم به عرض ۰/۵۰ متر و طول ۹ متر و به پنج زاویه انحراف سرریز ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و (L/B) برابر ۲/۲۶، ۱/۹۸، ۱/۶۸، ۱/۵۴، ۱/۴۰، ۱/۲۹، ۱/۱۴ و محدوده دبی ۳ تا ۹۰ لیتر در ثانیه و ارتفاع سرریز از ۱/۰۰ تا ۲۰ سانتیمتر انجام شده است، می‌باشد. خلاصه داده‌های استفاده شده در جدول (۱) ارائه شده است. در این تحقیق جهت محاسبه دبی عبوری بصورت مستقیم از عمق بحرانی روی تاج سرریز استفاده شده است. عمق بحرانی به علت وابستگی به مشخصات هندسی سرریز مانند عرض کانال و طول سرریز و مشخصات هیدرولیکی جریان مثل دبی و دارا بودن بعد طول، میتواند با پارامتر ارتفاع تاج سرریز تشکیل عددی بی بعد دهد. مقدار عمق بحرانی از رابطه (۶) بر حسب دبی در عرض طول سرریز محاسبه می‌شود و دبی جریان از رابطه (۷) بر حسب عمق بحرانی به دست خواهد آمد.

$$y_{cw} = \left(\frac{q_w^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow q_w = (gy_c^3)^{0.50} \quad (\text{رابطه ۶})$$

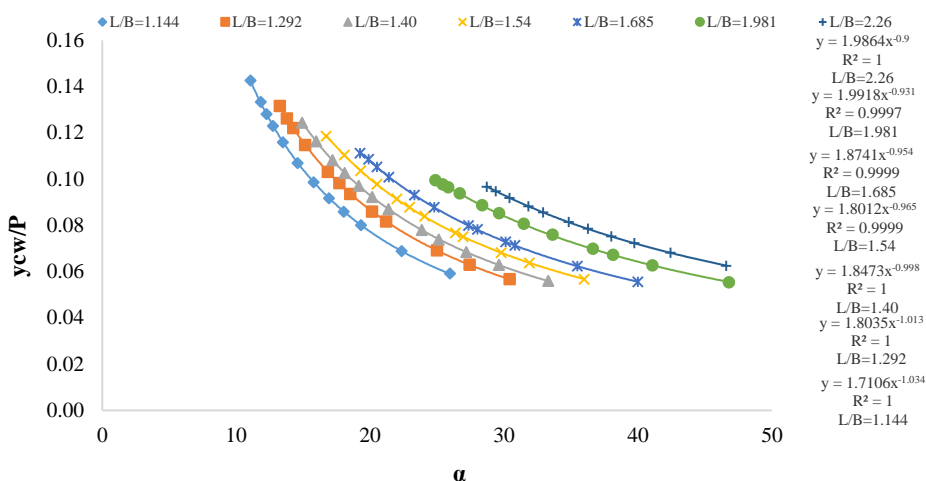
که

کمتری اتفاق می‌افتد و دبی بیشتری از سرریز عبور داده می‌شود. در شکل (۳) این مقایسه برای نسبت انحراف $L/B=3/86$ و $L/B=1/29$ انجام شده و مشخص است که در نسبت انحراف $3/86$ در هدهای بالا دبی عبوری سرریز خطی با عرضی برابر با طول مورب سرریز، بیشتر از دبی عبوری سرریز مورب می‌باشد که علت آن وجود نواحی چرخشی جریان و ناحیه جدایی جریان در پشت این نوع سرریزها می‌باشد. اما در نسبت‌های انحراف کمتر یا به عبارتی بیشتر شدن زاویه انحراف و تمایل به سمت عمود (90° درجه) در هدهای کم و زیاد دبی عبوری سرریزهای مورب بیشتر است. زیرا در نسبت انحراف کم نواحی چرخشی و جدایی جریان یا نواحی سطح موجی جریان که در پایین دست سرریز اتفاق می‌افتد کمتر خواهد شد.

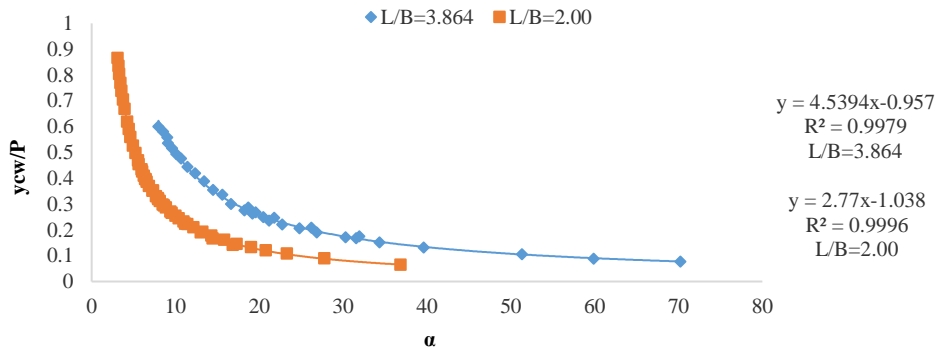
L/B مقدار عمق بحرانی روی تاج سرریز y_{cw} را محاسبه و سپس با کمک رابطه (۶) دبی در عرض واحد طول سرریز q_w بدست آید و با رابطه (۷) دبی کل عبوری Q محاسبه گردد. استفاده از عمق بحرانی بسیار ساده و نیاز به محاسبات طولانی نیست. با افزایش نسبت L/B برای یک ضریب هندسی مشخص، عمق بحرانی و به تبع آن دبی عبوری افزایش داده می‌شود که علت آن افزایش طول تاج می‌باشد. افزایش طول تاج برای زوایای انحراف کم تأثیر زیادی نخواهد داشت که علت آن جریان چرخشی شدید پشت سرریز و ناحیه جدایی جریان در انتهای سرریز می‌باشد. به عبارت دیگر، یک سرریز خطی مستقیم با همان طول تاج سرریز مورب می‌تواند دبی بیشتری را انتقال دهد. زیرا خطوط جریان در سرریز مستقیم بصورت عمود بر تاج سرریز قرار دارند و جدایی جریان یا ناحیه چرخشی و در نتیجه افت جریان

جدول ۱- خلاصه داده‌های اندازه گیری شده

ردیف	عرض فلوم B(m)	طول سرریز L(m)	ارتفاع سرریز P(m)	هد اب روی تاج H(m)	دبی عبوری Qw(m ³ /sec)	عمق جریان قبل از سرریز P+H (m)	(P+H)/P
۱	۰/۵۲۰	۰/۵۹۵	۰/۵۰۵	۰/۱۰۰	۰/۰۳۶	۰/۶۰۵	۱/۱۹۸
۲	۰/۵۲۰	۰/۵۹۵	۰/۵۰۵	۰/۰۹۴	۰/۰۳۲	۰/۵۹۸	۱/۱۸۶
۳	۰/۵۲۰	۰/۵۹۵	۰/۵۰۵	۰/۰۹۱	۰/۰۳۱	۰/۵۹۵	۱/۱۷۹
۴	۰/۵۲۰	۰/۵۹۵	۰/۵۰۵	۰/۰۸۷	۰/۰۲۹	۰/۵۹۲	۱/۱۷۲
۵	۰/۵۲۰	۰/۵۹۵	۰/۵۰۵	۰/۰۸۲	۰/۰۲۶	۰/۵۸۷	۱/۱۶۳
۶	۰/۵۲۰	۰/۶۷۲	۰/۵۰۶	۰/۰۶۲	۰/۰۱۹	۰/۵۶۸	۱/۱۲۳
۷	۰/۵۲۰	۰/۶۷۲	۰/۵۰۶	۰/۰۵۹	۰/۰۱۷	۰/۵۶۵	۱/۱۱۷
۸	۰/۵۲۰	۰/۶۷۲	۰/۵۰۶	۰/۰۵۰	۰/۰۱۴	۰/۵۵۶	۱/۰۹۹
۹	۰/۵۲۰	۰/۶۷۲	۰/۵۰۶	۰/۰۴۶	۰/۰۱۲	۰/۵۵۲	۱/۰۹۰
۱۰	۰/۵۲۰	۰/۶۷۲	۰/۵۰۶	۰/۰۴۲	۰/۰۱۰	۰/۵۴۷	۱/۰۸۱
۱۱	۰/۵۲۰	۰/۷۲۸	۰/۵۰۶	۰/۰۵۷	۰/۰۱۸	۰/۵۶۳	۱/۱۱۲
۱۲	۰/۵۲۰	۰/۷۲۸	۰/۵۰۶	۰/۰۵۴	۰/۰۱۶	۰/۵۶۰	۱/۱۰۷
۱۳	۰/۵۲۰	۰/۷۲۸	۰/۵۰۶	۰/۰۵۰	۰/۰۱۵	۰/۵۵۶	۱/۰۹۹
۱۴	۰/۵۲۰	۰/۷۲۸	۰/۵۰۶	۰/۰۴۶	۰/۰۱۳	۰/۵۵۲	۱/۰۹۰
۱۵	۰/۵۲۰	۰/۷۲۸	۰/۵۰۶	۰/۰۴۱	۰/۰۱۱	۰/۵۴۷	۱/۰۸۰
۱۶	۰/۵۲۰	۰/۸۰۱	۰/۵۰۳	۰/۰۸۹	۰/۰۳۶	۰/۵۹۱	۱/۱۷۷
۱۷	۰/۵۲۰	۰/۸۰۱	۰/۵۰۳	۰/۰۸۲	۰/۰۳۳	۰/۵۸۵	۱/۱۶۳
۱۸	۰/۵۰۰	۱/۹۳۲	۰/۲۰۰	۰/۰۲۲	۰/۰۱۱	۰/۲۲۲	۱/۱۱۰
۱۹	۰/۵۰۰	۱/۹۳۲	۰/۲۰۰	۰/۰۲۶	۰/۰۱۴	۰/۲۲۵	۱/۱۲۹
۲۰	۰/۵۰۰	۱/۹۳۲	۰/۲۰۰	۰/۰۴۹	۰/۰۳۷	۰/۲۴۹	۱/۲۴۵
۲۱	۰/۵۰۰	۱/۹۳۲	۰/۲۰۰	۰/۰۴۵	۰/۰۳۲	۰/۲۴۵	۱/۲۲۵
۲۲	۰/۵۰۰	۱/۹۳۲	۰/۲۰۰	۰/۰۳۹	۰/۰۲۶	۰/۲۳۹	۱/۱۹۵
۲۳	۰/۵۰۰	۱/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۲۴	۰/۰۰۵	۰/۱۲۳	۱/۲۳۷
۲۴	۰/۵۰۰	۱/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۲۸	۰/۰۰۶	۰/۱۲۷	۱/۲۷۷
۲۵	۰/۵۰۰	۱/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۸	۰/۱۳۱	۱/۳۰۷
۲۶	۰/۵۰۰	۱/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۳۶	۰/۰۱۰	۰/۱۳۶	۱/۳۵۸
۲۷	۰/۵۰۰	۱/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۱۳	۰/۱۴۲	۱/۴۱۸

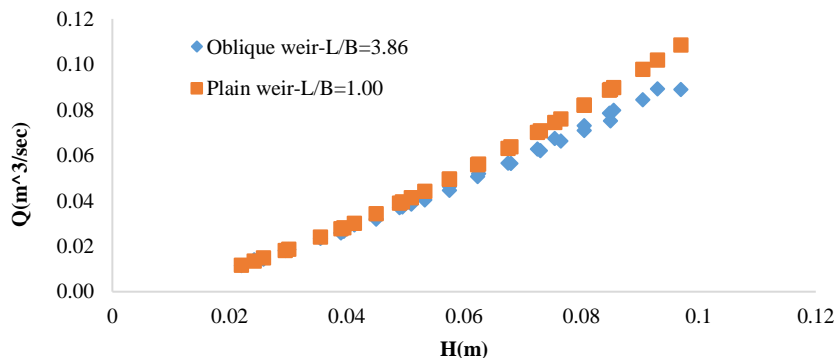


الف: نسبت L/B (۱/۹۸۱، ۱/۶۸۵، ۱/۵۴، ۱/۴۰، ۱/۲۹۲، ۱/۱۴۴)

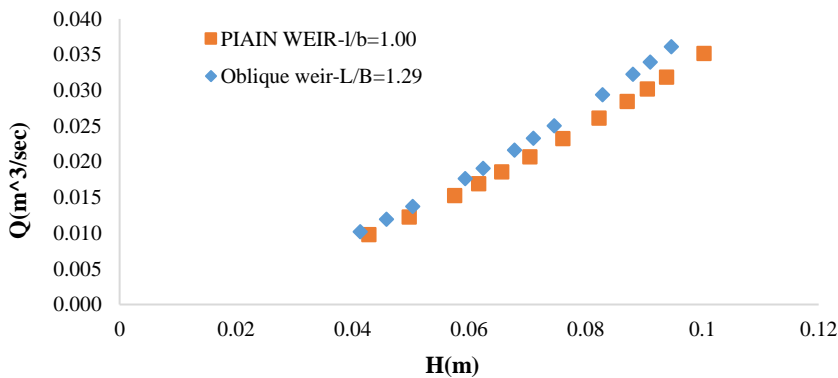


ب: نسبت L/B (۳/۸۶۴، ۲/۰۰۰)

شکل ۲- ارتباط عمق بحرانی با ضریب هندسی سرریز α



الف: سرریزهای مورب



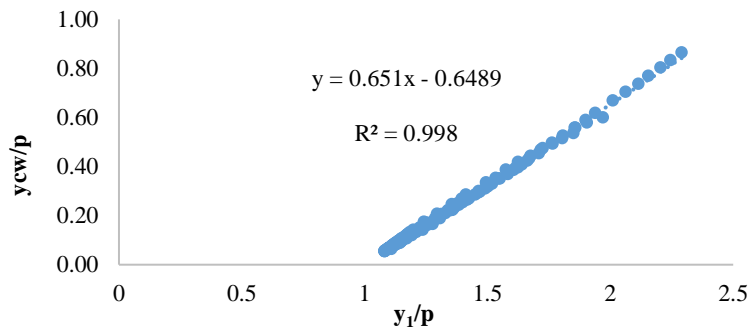
ب: سرریزهای خطی

شکل ۳- مقایسه منحنی دبی- اشل سرریزهای خطی و مورب

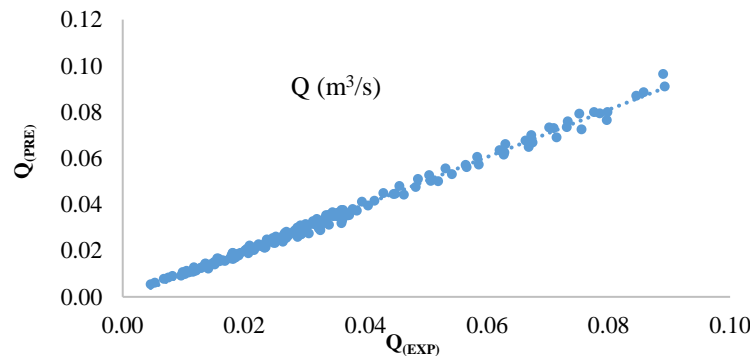
شکل (۴) نشان می‌دهد که با افزایش عمق جریان روی تاج سرریز، دبی جریان افزایش می‌یابد. تا زمانی که جریان به حالت رژیم استغراق نرسد و در صورت افزایش هد جریان و تمایل سرریز به استغراق دبی افت پیدا می‌کند. جهت اعتبار سنجی رابطه (۱۰)، مقادیر محاسباتی با این رابطه دبی محاسباتی^۱ با دبی آزمایشگاهی^۲ در شکل (۵) با هم مقایسه شده اند. شکل (۵) پیوست ارتباط بسیار نزدیکی بین مقادیر محاسباتی رابطه (۱۰) و مقادیر آزمایشگاهی دارد و تقریباً روی خط $y=x$ و دارای خطای حداکثری ۲/۳۰ درصدی می‌باشد که هیچ کدام از روابط پیشنهادی قبلی دارای چنین دقتی نمی‌باشند. همچنین با توجه به استفاده از دو سری داده آزمایشگاهی و نسبت‌های مختلف طول سرریز به عرض فلوم L/B از ۱/۱۴ تا ۳/۸۶ و محدوده دبی جریان از ۳ تا ۹۰ لیتر در ثانیه، اعتبار رابطه بدست آمده مشخص می‌شود و جهت طراحی سازه سرریز مورب، کاربرد خواهد داشت.

شکل (۳) نیز دارای محدودیت نسبت طول سرریز به عرض فلوم است. به عبارت دیگر، برای استفاده از این شکل برای مقاصد عملی، سرریز مورد نظر طراحی باید دارای همین نسبت‌ها باشد تا بتوان از آن استفاده کرد. در ادامه این تحقیق جهت یافتن رابطه‌ای که بتواند بدون هیچ محدودیت هندسی و هیدرولیکی و فقط برای شرایط جریان آزاد بعد از سرریز، و برای هر نسبت انحراف و هر زاویه انحراف، دبی عبوری بدون واسطه ضریب دبی و با کمک عمق بحرانی روی تاج سرریز، به دست آید، شکل (۴) که بر اساس نسبت عمق جریان قبل از سرریز به ارتفاع تاج سرریز $(P+H)/P$ در مقابل عمق بحرانی روی تاج سرریز به ارتفاع تاج سرریز y_{cw} ترسیم شده و محاسبه شده است، به دست آمده که بصورت رابطه خطی و بسیار ساده در رابطه (۱۰) ارائه شده که با کمک این رابطه و روابط ۶ و ۷ می‌توان دبی کل عبوری را بدون واسطه ضریب دبی محاسبه کرد.

$$\frac{y_{cw}}{P} = 0.651 \frac{P+H}{P} - 0.6489 \quad (\text{رابطه } 10)$$



شکل ۴- ارتباط عمق بحرانی روی تاج سرریز با نسبت هد جریان به ارتفاع تاج سرریز در حالت جریان آزاد



شکل ۵- مقایسه دبی محاسباتی رابطه (۱۰) با دبی آزمایشگاهی در حالت جریان آزاد

۱۰، ۱۵، ۲۵، ۴۵ و ۶۰ درجه و سه ارتفاع تاج سرریز (P) ۸، ۱۰ و ۱۲ اینچ انجام شده، مقایسه شده‌اند.

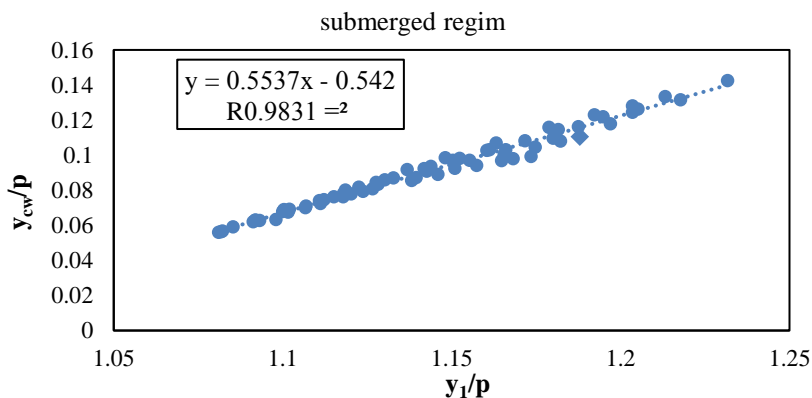
برای صحت‌سنجی رابطه (۱۰) مقادیر بدست آمده از این رابطه با داده‌های (Swamee et al., 2011) که در دانشگاه یوتا^۳ که در یک فلوم به عرض ۲/۰۰ فوت و پنج زاویه انحراف (θ) برابر

جدول ۲- مقایسه دبی آزمایشگاهی دانشگاه یوتا با داده‌های محاسباتی رابطه (۱۰)

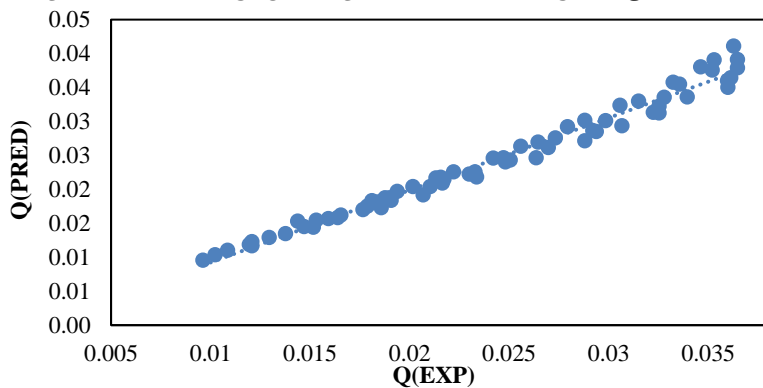
ردیف	عرض فلوم B (m)	زاویه سرریز θ	ارتفاع تاج P (m)	طول تاج L (m)	هد جریان H (m)	دبی آزمایشگاهی Q (m ³ /s)	(P+h)/P	دبی محاسباتی Q (PRE)	درصد خطا Error
۱	۰/۶۱	۱۵	۰/۱۸۴	۲/۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۲۵	۰/۱۹۰	۰/۰۲۵	-۳/۶۸۴
۲	۰/۶۱	۱۵	۰/۱۸۴	۲/۳۵	۰/۰۶۱	۰/۰۰۶	۱/۳۳۱	۰/۰۵۹	۱/۵۴۶
۳	۰/۶۱	۱۵	۰/۲۸۴	۲/۳۵	۰/۰۶۱	۰/۰۶۲	۱/۲۱۴	۰/۰۵۹	۴/۱۱۱
۴	۰/۶۱	۱۵	۰/۲۸۴	۲/۳۵	۰/۰۹۱	۰/۱۰۵	۱/۳۲۰	۰/۱۰۷	-۲/۵۱۹
۵	۰/۶۱	۴۵	۰/۱۷۸	۰/۸۶۱	۰/۰۴۵	۰/۰۱۴	۱/۲۵۲	۰/۰۱۳	۱/۶۰۸
۶	۰/۶۱	۴۵	۰/۱۷۸	۰/۸۶۱	۰/۰۷۹	۰/۰۳۴	۱/۴۴۳	۰/۰۳۱	۶/۹۵۴
۷	۰/۶۱	۴۵	۰/۱۷۸	۰/۸۶۱	۰/۱۳۲	۰/۰۷۰۵	۱/۷۴۱	۰/۰۶۸	۳/۱۲۸
۸	۰/۶۱	۴۵	۰/۲۸۲	۰/۸۶۱	۰/۱۰۷	۰/۰۵۳	۱/۳۷۹	۰/۰۵۰	۵/۵۷۶
۹	۰/۶۱	۴۵	۰/۲۸۲	۰/۸۶۱	۰/۱۴۶	۰/۰۸۵	۱/۵۱۷	۰/۰۷۹	۵/۵۷۵
۱۰	۰/۶۱	۶۰	۰/۱۸۲	۰/۷۰۴	۰/۰۴۸	۰/۰۱۳	۱/۲۶۳	۰/۰۱۲	۴/۸۲۶
۱۱	۰/۶۱	۶۰	۰/۱۸۲	۰/۷۰۴	۰/۰۹۸	۰/۰۳۷	۱/۵۳۸	۰/۰۳۵	۳/۲۲۴
۱۲	۰/۶۱	۶۰	۰/۱۸۲	۰/۷۰۴	۰/۱۳۲	۰/۰۵۸	۱/۷۲۵	۰/۰۵۵	۳/۷۴۹
۱۳	۰/۶۱	۶۰	۰/۲۸۳	۰/۷۰۴	۰/۰۷۱	۰/۰۲۳	۱/۲۵۰	۰/۰۲۲	۲/۹۹۷
۱۴	۰/۶۱	۶۰	۰/۲۸۳	۰/۷۰۴	۰/۱۱۷	۰/۰۵	۱/۴۱۳	۰/۰۴۶	۶/۶۴۴

تاج سرریز در حالت جریان استغراق نشان داده شده است و در شکل (۷) صحت‌سنجی رابطه (۱۰) در حالت جریان استغراق بیان گردیده است.

جدول (۲) نشان می‌دهد که رابطه (۱۰) با دقت بالا قادر به پیش‌بینی دبی عبوری سرریزهای مورب لبه‌تیز، در شرایط رژیم جریان پایین‌دست آزاد، می‌باشد. همچنین در شکل (۶) ارتباط عمق بحرانی روی تاج سرریز با نسبت هد جریان به ارتفاع



شکل ۶- ارتباط عمق بحرانی روی تاج سرریز با نسبت هد جریان به ارتفاع تاج سرریز در حالت جریان استغراق



شکل ۷- مقایسه دبی محاسباتی رابطه (۱۰) با دبی آزمایشگاهی در حالت جریان استغراق

نتیجه‌گیری

جریان به‌وسیله یک رابطه خطی ساده است. رابطه ارائه شده در این پژوهش، به‌وسیله ضریب هندسی سرریز صورت پذیرفت که این ضریب بوسیله آنالیز ابعادی و با تحلیل تمامی پارامترهای موثر حاصل شده است. ضریب هندسی ارائه شده کلیه مشخصات هندسی این سازه را در بر می‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش ارتفاع تاج، هد جریان و زاویه سرریز نسبت به افق، دبی عبوری افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که رابطه جدید با $R^2 = 0.9984$ از دقت بالایی جهت اندازه‌گیری عمق بحرانی و دبی جریان برخوردار است. لازم به ذکر است که نتایج این تحقیق می‌تواند به گسترش طراحی و ساخت سرریزهای مورب کمک شایانی کند که این امر با توجه به نگاه ویژه طراحان در سال‌های اخیر به افزایش راندمان سرریزها، می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. همچنین رابطه ارائه شده در این تحقیق، به علت سهولت در محاسبات و در برداشتن کلیه پارامترهای هندسی و هیدرولیکی می‌تواند رابطه‌ای کاربردی جهت استفاده طراحان در طراحی سرریزهای مورب باشد.

سرریزهای زاویه‌دار یا مورب، با افزایش طول موثر تاج، امکان عبور بیشتر دبی با هد کمتر را فراهم می‌کند. همچنین این سرریزها راندمان بالاتری نسبت به سرریزها غیر مورب دارند. در نتیجه باعث کاهش هزینه‌های احداث شبکه‌های آبیاری و زهکشی خواهد شد. مطالعات صورت گرفته بر روی دبی عبوری سرریزهای مورب، بیشتر در خصوص محاسبه ضریب دبی می‌باشد. این ضریب به‌علت وابستگی به پارامترها و شرایط مختلف هیدرولیکی، اغلب نیازمند محاسبات زیاد و به‌کارگیری نمودارهای متعدد می‌باشد. در مطالعه حاضر، موضوع دبی عبوری سرریزهای مورب از منظر عمق بحرانی جریان بررسی شد. در این تحقیق، محاسبه دبی جریان به‌طور مستقیم بوسیله رابطه ارائه شده صورت پذیرفت. با استفاده از این رابطه، مستقیماً به‌وسیله پارامتر عمق بحرانی جریان، دبی عبوری محاسبه گردید. در این پژوهش، از دو سری از داده‌های آزمایشگاهی جهت تحلیل و به‌دست آوردن رابطه ای جدید استفاده شد که حاصل این رابطه محاسبه دبی

REFERENCES

- Aichel, O.G. (1953). Discharge ratio for oblique weirs. *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*. 95 (1), 26–27 (in German)
- Aya, M & Mansour, T. (2018). Discharge coefficient of oblique sharp crested weir for free and submerged flow using trained ANN model. *Water Science*, Volume 32, 2018 - Issue 2.
- Borghai, S.M. Vatannia, Z. Ghodsian, M. Jalili, M.R. (2003). Oblique rectangular sharp-crested weir. *Water Marit. Eng.* 156 (WM2), 185–191.
- Borghai, S.M. Kabiri-Samani, A.R. Nekoe, N. (2006). Oblique weir equation using incomplete self-similarity. *Can. J. Civ. Eng.* Vol. 33.
- Brater, E.F. & King, H.W. (1976). *Handbook of Hydraulics*, sixth ed. McGraw-Hill, New York. Emiroglu,
- Bos, M.G. (1976). Discharge measurement structure. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. the Nederland's.
- Hager, W.H. (1994). Broad crested weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. volume 120, No.1, January/February 1994.
- Mansoor, T. (1999). *Study of skew weirs and sluice gates*. PhD Thesis. Univ. of Roorkee. India
- Mohammed, A. Y. and Golijanek-Jendrzeczyk, A. (2020). Estimating the uncertainty of discharge coefficient predicted for oblique side weir using Monte Carlo method. *Flow Measurement and Instrumentation*. Volume 73, 101727.
- Mohammed, A. Y. and Sharifi, A. (2020). Gene Expression Programming (GEP) to predict coefficient of discharge for oblique side weir. *Applied Water Science*. 10:145.
- Muhammad, M. M. Ismail, A. Otun J. A. and Adie D.B. (2015). Modelling of Flow Over Oblique Compound Crested Weirs. Project: Hydraulic modelling of flow resistance in bio-engineered channels.
- Swamee, P.K. Ojha, C.S.P. Mansoor, T., (2011). Discharge characteristics of skew weirs. *J. Hydraul. Res.* 49 (6), 818–820 Samuel Egnew Tingey, Discharge Coefficients of Oblique Weirs, Utah State University MASTER OF SCIENCE.
- Shafai Bajestan, M. (2011), Basic Concepts and Applications of Physical-Hydraulic Modeling Shahid chamran University, Iran, 328P.
- Ramamurthy, A.S. Tim, U.S. Rao, M.J. (1987). Flow over sharp-crested plate weirs", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 113(2), pp. 163-172.
- Tullis, J.P., Amanian, N. and Waldron, D. (1995). Design of Labyrinth Weir Spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*, (ASCE), 121(3): 247-255.
- Tuyen, N.B. (2006). *Flow Over Oblique Weirs*. M.Sc. Thesis. Delft University of Technology. Delft, the Netherlands.
- Vries, M.D., (1959). Report WL, Delft Hydraulics, In Dutch.
- Zaji, A. H. Bonakdari, H. Shamsirband, Sh. (2016). Support vector regression for modified oblique side weirs discharge coefficient prediction. *Flow Measurement and Instrumentation*. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2016.08.006.
- Zakwan, M. & Iqbal Khan. (2020). Estimation of Discharge coefficient for side weirs. *Water and Energy International*. 62(11):71-74.