

Study of Submergence Effect on Discharge of Circular Sharp-crested Weirs

KHADIJEH MIRZAEI¹, HAMID REZA SHEIBANI^{1*}

1. Civil engineering group, Engineering department, Payame Noor University, Tehran, Iran
(Received: Aug. 24, 2019- Revised: Oct. 7, 2019- Accepted: Oct. 9, 2019)

ABSTRACT

In this research, the effect of submergence on the discharge of flow over the sharp-crested weir with an arc in the plan and toward upstream is investigated. This research was conducted on the physical model with twenty different samples of the sharp-crested circular weirs including four different arc lengths (or arc angle), each with five different heights. In these experiments, flow analysis has been carried out for the submergence conditions of the weir. The effect of submergence magnitude on discharge rate of circular weir to find a relationship for determination of this effect was the effort of this study. Examining the submergence conditions for these types of weirs proved that the general equation derived from previous research (Villemonet equation, 1947), is not valid to the circular weir. Villemonet Eq. produce an error between zero to 50% and an average of 14% for various laboratory experiments. Therefore, a modified equation for submergence conditions of this type of weir was proposed. This equation in different experiments yields an error between zero and 17% and an average of 4%.

Keywords: sharp-crested circular weirs, submergence, water depth on weir, tailwater depth, discharge.

مطالعه تاثیر استغراق بر جریان گذری از سرریزهای لبه تیز دایره‌ای

خدیجه میرزایی^۱، حمیدرضا شبانی^{۱*}

۱. گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۷/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۷/۱۷)

چکیده

در این پژوهش، تاثیر استغراق بر مقدار جریان گذری از سرریزهای لبه تیز دایره‌ای، با قوس در پلان و به سمت بالادست مورد مطالعه بوده است. این تحقیق به صورت آزمایشگاهی و با بیست نمونه مختلف از سرریزهای لبه تیز دایره‌ای و هم عرض کانال، شامل چهار طول قوس (یا زاویه کمان) و از هر کدام پنج ارتفاع مختلف محقق شده است. در این آزمایش‌ها، تحلیل جریان با شرایط استغراق سرریز همراه بوده است. چگونگی تاثیر استغراق بر مقدار دبی عبوری از سرریز دایره‌ای و یافتن رابطه‌ای برای تعیین این اثر، از تلاش‌های انجام شده در این تحقیق می‌باشد. بررسی شرایط استغراق برای این نوع سرریزها ثابت نمود کاربری معادله حاصل از تحقیقات قبلی، یعنی معادله (1947, Villemonte) که برای تعیین دبی در شرایط استغراق و برای انواع مختلف سرریزهای لبه تیز پیشنهاد شده است، برای سرریزهای دایره‌ای مورد بحث صدق نمی‌نماید. استفاده از این معادله خطایی بین صفر تا ۵۰ درصد و به طور متوسط ۱۴ درصد برای برداشت‌های مختلف آزمایشگاهی دارد. از این رو یک معادله اصلاح شده برای شرایط استغراق این نوع سرریز پیشنهاد گردید این معادله در آزمایش‌های متفاوت، خطایی بین صفر تا ۱۷ درصد و بصورت میانگین ۴ درصد به خود اختصاص می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سرریز لبه تیز دایره‌ای، استغراق، عمق آب روی سرریز، عمق پایاب، دبی.

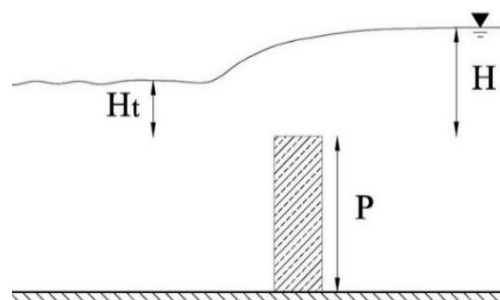
مقدمه

به هنگام بارندگی، به کار برده می‌شوند. برای هر سرریزی رابطه‌ای بین عمق آب روی آن و دبی گذری تعریف می‌شود. در این رابطه پارامترهای هندسی و هیدرولیکی جای دارند. این رابطه به صورت معادله (1) (USBR, 1987) معرفی می‌گردد.

سرریزها، سازه هیدرولیکی هستند که در آبراهه‌ها به منظور اندازه گیری دبی جریان، کنترل سطح آب و انتقال آب اضافی از کانال‌ها



شکل ۲. سرریز لبه تیز دایره‌ای هم عرض کانال و قوس به سمت بالادست. تصویر از نمای بالادست و در جهت جریان گرفته شده است.



شکل ۱. تصویر از پهلو، جریان گذری از سرریز لبه تیز دایره‌ای مستغرق. جهت جریان از راست به چپ است.

می‌دهد. مثلاً برای سرریزهای مستطیلی، n برابر ۱/۵ است.

برای مستغرق شدن سرریز لبه تیز دایره‌ای، لازم بود تراز سطح آب در پایاب آن افزوده شود و مقدار آن به تراز تاج سرریز برسد. این آغاز مستغرق شدن سازه است و با ازدیاد تراز پایاب به

$$Q = C.L.H^n \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن Q دبی تخلیه سرریز، H عمق آب روی سرریز، C ضریب تخلیه سرریز، L طول تاج سرریز و n عددی است که وابسته به شکل مقطع آبگذری سرریز، مقداری به خود اختصاص

سریزهای دایره‌ای مختلف، آزمایش‌ها را تحت شرایط آزاد صورت داده و تغییرات ضریب تخلیه هر سریز را برای هر شعاع انحنای خاص به دست آورده‌اند و سرانجام رابطه‌ای برای ضریب تخلیه ارائه نموده‌اند. مقایسه انجام شده بین سریز دایره‌ای با سریز خطی، نشان‌دهنده ظرفیت تخلیه بیشتر برای این نوع سریزها بوده است.

Crookston and Tullis (2012) پژوهش آزمایشگاهی بر روی سریزهای کنگره‌ای در شرایط جریان آزاد و در محل اتصال یک مخزن به کانال انجام داده‌اند. این سریزها پلان ذوزنقه‌ای دارند و در دو شرایط، ابتدا قرارگیری اضلاع بر روی یک خط و سپس قرارگیری اضلاع بر روی یک نیم‌دایره و به صورت همگرا، مورد آزمایش قرار گرفته و مقایسه شده‌اند. آن‌ها تاثیر تغییر زاویه دیوارهای سریز را نیز مورد ارزیابی آزمایشگاهی قرار داده و نیز در مطالعه خود مقایسه عملکرد هیدرولیکی این نوع سریزهای کنگره‌ای را با سریز نعل اسبی صورت داده‌اند. تغییرات و بزرگی ضریب تخلیه برای هر یک از انواع سریزها بدست آمده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داده‌اند، دبی گذری از سریز کنگره‌ای با آرایش نیم‌دایره، بین ۵ تا ۳۰ درصد در شرایط مختلف، بیش از سریز کنگره‌ای با آرایش خطی است. در مواقعی که عمق جریان بر روی سریز افزوده می‌شود استغراق‌های موضعی پدید می‌آیند و سبب کاهش ضریب تخلیه می‌شوند با این وجود سریزهای کنگره‌ای با آرایش قرارگیری نیم‌دایره، تخلیه بیشتری نسبت به آرایش خطی و نیز نسبت به سریزهای نعل اسبی دارند.

Kumar et al. (2013) تحقیق آزمایشگاهی بر روی سریزهای قوسی لبه‌تیز و با زوایای راس مختلف انجام داده‌اند. آن‌ها برای هر زاویه راس، تحت شرایط گذر جریان آزاد، رابطه‌ای برای ضریب تخلیه آن قوس استخراج نموده‌اند. این محققین در نتایج پژوهش خود اعلام نموده‌اند سریزهای قوسی دبی تخلیه بیشتری نسبت به سریزهای خطی، مانند سریز لبه‌تیز مستطیلی دارند. (Crookston and Tullis, 2013) با استفاده از مدل آزمایشگاهی، مطالعه بر روی سریزهای کنگره‌ای با تاج ربع‌دایره و نیم‌دایره، در شرایط آزاد جریان و به ازای زوایای مختلف از دیواره، بین ۶ تا ۳۵ درجه را انجام داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند سریزهای با تاج نیم‌دایره ضریب تخلیه بزرگ‌تری دارند. اختلاف ضریب تخلیه برای $\frac{H_t}{P} < 0/4$ بارز است. (Safarzadeh and Khayat Rostami, 2016) با استفاده از مدل‌سازی فیزیکی سریزهای کلید پیاپویی مستطیلی، تأثیر ارتفاع سریز بر هیدرولیک جریان‌های آزاد و مستغرق را مطالعه نموده‌اند. آن‌ها مشاهده کردند در شرایط استغراق، با افزایش ارتفاع سریز،

ترازهای بالاتر از تاج، عملاً افزایش استغراق محقق می‌شود. (USBR, 1987). شکل‌های (۱) و (۲) به ترتیب تصویر شماتیک و حین انجام آزمایش سریز لبه‌تیز دایره‌ای را در شرایط استغراق نشان می‌دهند. مطابق شکل (۱) اختلاف تراز پایاب نسبت به تراز تاج سریز با H_t نمایش داده و عمق استغراق سریز نامیده می‌شود. کسر $\frac{H_t}{H}$ ، نسبت استغراق سریز است.

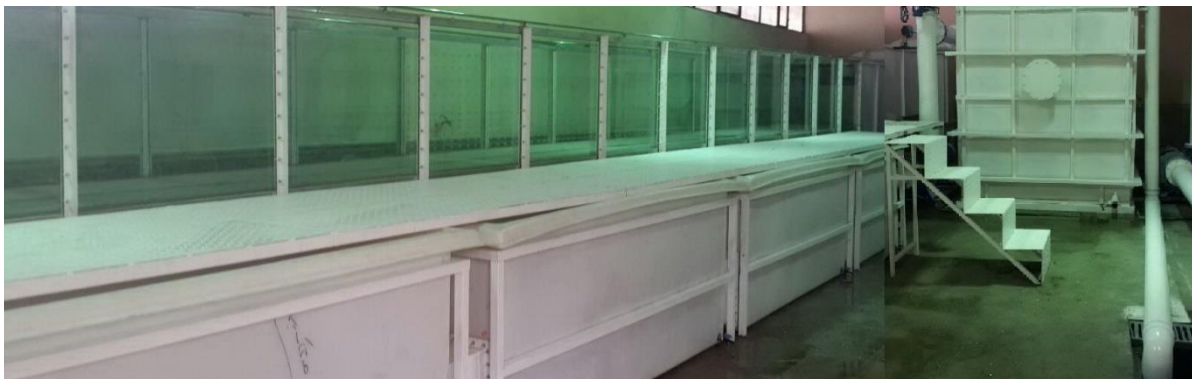
برای بررسی تاثیر استغراق بر مقدار دبی گذری از سریزهای لبه‌تیز، (Villemonthe, 1947) رابطه (۲) را پیشنهاد داده است. در این رابطه Q_s و Q_f به ترتیب دبی استغراق و دبی در شرایط جریان آزاد، به ازای عمق جریان روی سریز برابر با H می‌باشند و n همان توان عمق آب در رابطه تخلیه سریز است.

$$\frac{Q_s}{Q_f} = \left[1 - \left(\frac{H_t}{H} \right)^n \right]^{0/385} \quad (\text{رابطه ۲})$$

Tullis et al. (1995) مطالعه آزمایشگاهی بر روی سریز کنگره‌ای با پلان ذوزنقه‌ای و در شرایط آزاد از جریان انجام داده‌اند. آزمایش‌های آن‌ها با زوایای مختلف از دیواره، اشکال مختلف از تاج و تحت عمق‌های متفاوت جریان صورت گرفته است. آن‌ها برای واریانت مطلوب، که در آن قوس تاج با شعاع انحنای $\frac{P}{12}$ و ضخامت $\frac{P}{12}$ برای دیوار سریز است، منحنی‌ها و روابطی به ازای هر زاویه از دیوار، برای تعیین ضریب تخلیه سریز ارائه داده‌اند. Tullis et al. (2007) تحقیق آزمایشگاهی بر روی سریزهای کنگره‌ای با پلان ذوزنقه‌ای و در شرایط استغراق انجام داده‌اند. تاج سریزها به صورت نیم‌دایره و دیوار با زوایای مختلف بین ۷ تا ۲۰ درجه مورد آزمایش بوده است. آن‌ها ابتدا اعتبار رابطه (Villemonthe) را برای این نوع سریز در شرایط استغراق مورد بررسی قرار دادند. کاربری این رابطه خطایی، حداکثر برابر ۲۲ و به طور متوسط ۸/۹ درصد با نتایج آزمایشگاهی داشته است. این محققین، در شرایط استغراق سریزهای کنگره‌ای، رابطه‌ای برای تعیین عمق آب موثر روی سریز تعریف نمودند این عمق وابسته به عمق آب روی سریز و عمق استغراق می‌باشد و با جای گرفتن در رابطه تخلیه سریز، دبی جریان مستغرق را می‌دهد. (Khode et al. 2011) با ساخت مدل فیزیکی سریزهای کنگره‌ای، تحقیق آزمایشگاهی بر روی این نوع سریز انجام داده‌اند. مدل‌های متفاوت از سریز، با ۷ زاویه مختلف از دیوار و بین ۶ تا ۳۰ درجه مورد آزمایش در این پژوهش بوده‌اند. بررسی تغییرات ضریب تخلیه این نوع سریز نشان داده است، به دنبال افزایش عمق آب روی سریز، ابتدا ضریب تخلیه افزوده می‌شود و بعد از رسیدن به مقداری حداکثر، مقدار آن به تدریج با افزایش عمق کاهش می‌یابد. Kumar et al. (2012) تحقیق خود را بر روی سریزهای دایره‌ای با شعاع انحنای متفاوت انجام داده‌اند. آن‌ها بر روی

می‌شود اما تاج مسطح برای مستغرق شدن نیاز به نسبت استغراق بیش از ۰/۴۸ دارد. در مورد سرریزهایی که دهانه‌های ورودی و خروجی آن‌ها از حالت شیب‌دار به حالت انحناءدار در آمده است، تغییر تاج از مسطح به دایره‌ای شکل سبب شده است تا برعکس حالت قبل، استغراق سرریز دیرتر شروع شود. در این حالت برای تاج دایره‌ای، نسبت استغراق بیش از ۰/۴۱، سرریز را مستغرق می‌کند در حالی که برای تاج مسطح این نسبت برابر ۰/۳۳ است. استغراق کامل برای هر دو شکل سرریز، تقریباً مشابه هم بوده است. (Azimi and Seyed Hakim, 2019) تحقیق آزمایشگاهی بر روی سرریزهای کنگره‌ای مستطیلی، در شرایط آزاد و مستغرق انجام داده‌اند. آن‌ها ۹ نمونه مختلف از این نوع سرریز را مورد مطالعه قرار داده‌اند و نتایج خود را با سرریزهای لبه‌تیز خطی مقایسه نموده‌اند. در شرایط استغراق، تاثیرپذیری سرریزهای کنگره‌ای مستطیلی در دبی‌های نسبتاً کم مشابه با سرریزهای خطی می‌باشد اما در دبی‌های بزرگ‌تر، این تاثیرپذیری برای سرریزهای کنگره‌ای به مراتب خیلی بیشتر از سرریزهای خطی است.

آستانه استغراق کاهش یافته و سرریز با نسبت استغراق کمتری مستغرق می‌شود نیز نسبت دبی استغراق به دبی جریان آزاد برای ارتفاع‌های بزرگ‌تر از سرریز، مقدار کمتری را به دست می‌دهد این بدین معنی است که با نسبت استغراق مشابه، سرریزهای کلید پیانویی بلندتر، تاثیرپذیری بیشتری از استغراق پیدا می‌نمایند. (Roushangar et al., 2018) مطالعه آزمایشگاهی بر روی سرریزهای کلید پیانویی را صورت داده‌اند. این مطالعه بر روی ۱۱ مدل فیزیکی با مشخصات هندسی متفاوت، در شرایط آزاد و مستغرق جریان انجام گرفته است. محققین با تغییراتی در شکل سرریز از جمله ایجاد قوس دایره‌ای در سطح تاج سرریز و نیز تغییر در دهانه‌های ورودی و خروجی، از حالت شیب‌دار به انحناءدار (ربع دایره)، تاثیر این نوع تغییرات را در هیدرولیک جریان گذری از سرریز مشاهده و اندازه‌گیری نموده‌اند. برای شرایط استغراق سرریز، نتیجه مطالعات نشان داد تاج دایره‌ای شکل نسبت به تاج مسطح زودتر مستغرق می‌شود اما استغراق کامل آن دیرتر صورت می‌گیرد. تاج دایره‌ای در نسبت استغراق بیش از ۰/۳۳ مستغرق



شکل ۳. فلوم آزمایشگاهی.

مترمکعب انجام می‌گردد. حوضچه آرام کننده در ابتدای فلوم، موجب ایجاد جریان ملایمی در محل استقرار سرریز می‌شود. یک پمپ با متعلقات مربوط به آن، تامین آب با دبی حداکثر ۱۴۰ لیتر بر ثانیه را فراهم می‌نماید. اندازه‌گیری دبی جریان با دبی‌سنج مغناطیسی و تعیین عمق آب با استفاده از یک عمق‌سنج نقطه‌ای ممکن شده است. شکل (۳) تصویر فلوم آزمایشگاهی، شکل (۴) مشخصات هندسی سرریز در فلوم و شکل (۵) تعدادی از سرریزهای مورد آزمایش را نشان می‌دهند.

جدول (۱) مشخصات سرریزها را معرفی می‌نماید. آزمایش‌ها برای هر دو شرایط سرریز آزاد و سرریز مستغرق در حالت جریان دائمی انجام گردیده‌اند. استغراق جریان با افزایش تراز سطح آب در پایین‌دست سرریز محقق شده است. افزایش سطح آب با تنظیم موقعیت دریچه‌ای در انتهای فلوم صورت می‌گیرد.

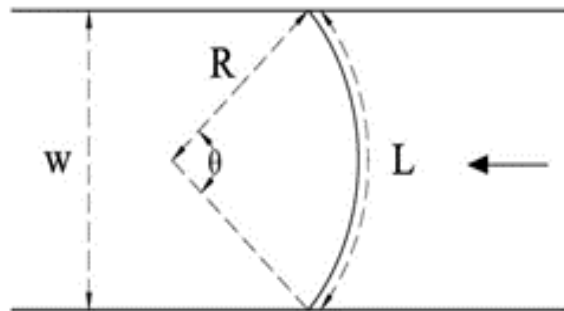
تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام کار

برای محقق شدن اهداف طرح، مطالعه آزمایشگاهی بر روی مدل فیزیکی، شامل سرریزهایی با چهار طول قوس (یا زاویه کمان) مختلف و هر یک از آن‌ها با پنج ارتفاع متفاوت، یعنی در مجموع ۲۰ مدل مختلف از سرریز، صورت گرفته است. سرریزها از جنس صفحات فولادی به ضخامت ۳ میلی‌متر هستند و برای ایجاد قوس موردنیاز، آنها نورد شده‌اند. در حین ساخت سرریزها، سعی شد لبه تاج سرریز دارای پخ مناسب باشد.

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه پیام نور تهران شمال انجام شده‌اند. امکانات مورد استفاده از این آزمایشگاه برای این پژوهش شامل یک فلوم با طول ۱۲، عرض یک و عمق ۰/۹۵ متر و شیب صفر می‌باشد. تامین آب این فلوم توسط یک مخزن با حجمی حدود ۲۰



شکل ۵. تعدادی از سرریزهای لبه تیز دایره‌ای، قبل از نصب در فلوم.



شکل ۴. تصویر شماتیک سرریز لبه تیز دایره‌ای با قوس به سمت بالادست در پلان. سرریز به طول L، شعاع انحناء R و زاویه کمان θ می‌باشد. عرض فلوم برابر W است.

جدول ۱. مشخصات هندسی سرریزهای لبه تیز دایره‌ای هم عرض کانال با قوس به سمت بالادست

| ردیف | طول قوس | | زاویه کمان سرریز | ارتفاع سرریز | | | | |
|------|---------|-------|---------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|
| | L (m) | R (m) | | P (m) | | | | |
| ۱ | ۱/۰۲۵ | ۱/۳۳۵ | ۴۴ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۶ |
| ۲ | ۱/۱۰۰ | ۰/۷۳۴ | ۸۶ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۶ |
| ۳ | ۱/۲۰۰ | ۰/۵۸۴ | ۱۱۵ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۶ |
| ۴ | ۱/۳۵۰ | ۰/۵۱۹ | ۱۴۹ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۶ |

با ارتفاع و طول تاج‌های مختلف بر روی یک منحنی آمده‌اند. در شکل (۶) منحنی اشل-دبی برای شرایط آزاد سرریزها ترسیم و در شکل (۷) منحنی بی‌بعد، نسبت استغراق در برابر نسبت دبی استغراق به دبی آزاد نمایش داده شده است. تحقیق (Mirzaei, 2018) نشان داد، رابطه تخلیه سرریز لبه تیز دایره‌ای به شکل معادله (۳) معرفی می‌شود.

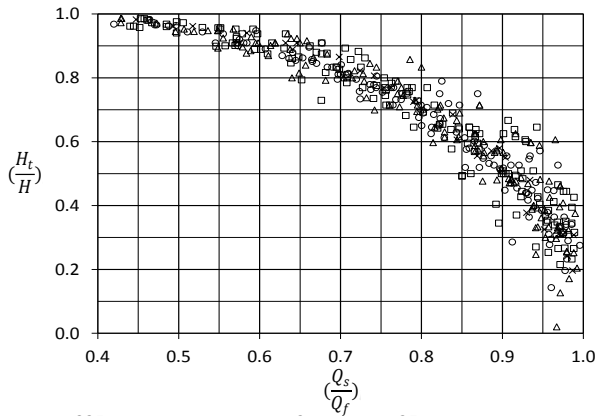
$$Q_f = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot C \cdot L \cdot H^{1.5} \quad (\text{رابطه ۳})$$

Q_f دبی گذری از سرریز در شرایط آزاد است. برای استفاده از این رابطه، لازم است مقدار ضریب تخلیه سرریز، یعنی C ، در شرایط گذر جریان آزاد معین شود. محقق مذکور با بررسی‌های مختلف بر روی نتایج آزمایشگاهی، روابطی مطابق جدول (۲) برای تعیین ضریب تخلیه هر زاویه کمان از سرریزهای مورد آزمایش به دست آورد. در این جدول مقادیر خطای حداکثر، حداقل و متوسط استفاده از رابطه مربوطه نسبت به مقادیر آزمایشگاهی آورده شده است. خطاها نشان‌دهنده دقت مناسب روابط حاصل شده می‌باشند.

آزمایش‌ها برای شرایط آزاد جریان به این منظور انجام شده‌اند تا بتوان تغییر شرایط جریان مستغرق نسبت به آزاد را از نتایج آزمایشگاهی استخراج نمود. در شرایط آزاد، آزمایش‌ها برای هر یک از ۲۰ سرریز دایره‌ای با حدود ۴۰ دبی مختلف طی شده‌اند. در شرایط مستغرق، برای هر یک از ۲۰ سرریز، شش دبی مختلف و با عمق استغراق‌های متفاوت در پایین‌دست مورد آزمایش بوده‌اند. در آزمایش‌های انجام شده مشاهده گردید، با افزایش تراز سطح آب پایین‌دست سرریز به ترازهای مساوی و بیشتر از تاج، به تدریج تاثیر استغراق در شرایط جریان ظاهر می‌گردد بدین نحو که با فزونی پیدا کردن تراز سطح آب از مقداری حدود ۱ سانتی-متر بیش از تراز تاج، عمق جریان روی سرریز با وجود ثابت بودن دبی، افزایش می‌یابد.

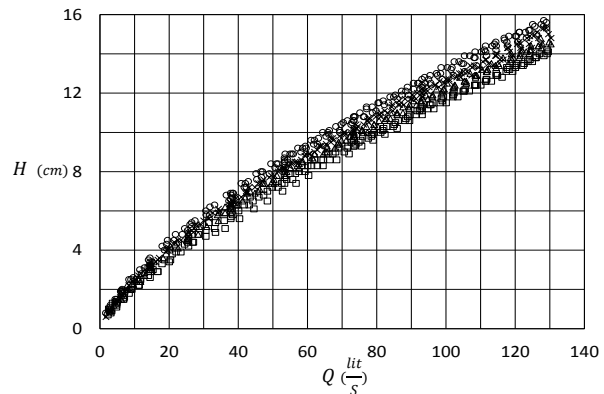
تحلیل برداشت‌های آزمایشگاهی سرریز مستغرق

برداشت‌های مدل فیزیکی سرریزهای مورد تحقیق، در شرایط جریان آزاد و مستغرق، به ترتیب در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده‌اند. برای پرهیز از تعدد منحنی‌ها، نتایج تمامی سرریزها،



○ L=1.025 m × L=1.1 m △ L=1.2 m □ L=1.35 m
 θ = 44° θ = 86° θ = 115° θ = 149°

شکل ۷. تمامی برداشت‌های آزمایشگاهی در شرایط مستغرق.



○ L=1.025 m × L=1.1 m △ L=1.2 m □ L=1.35 m
 θ = 44° θ = 86° θ = 115° θ = 149°

شکل ۶. تمامی برداشت‌های آزمایشگاهی در شرایط آزاد.

جدول ۲. روابط ضریب تخلیه سرریز لبه تیز دایره‌ای در شرایط آزاد و مقادیر خطای آنها نسبت به مقادیر آزمایشگاهی

| ردیف | زاویه کمان سرریز θ (deg) | رابطه ضریب تخلیه | $\left(\frac{C-C_{lab}}{C_{lab}}\right) \times 100$ | | |
|------|-----------------------------|--|---|--------|-------|
| | | | حداقل | حداکثر | متوسط |
| ۱ | ۴۴ | $C = 4/787 \left(\frac{H}{P}\right)^{0/2} - 8/464 \left(\frac{H}{D}\right)^{0/1} + 4/430$ | ۰/۰ | ۹/۰ | ۱/۸ |
| ۲ | ۸۶ | $C = 6/874 \left(\frac{H}{D}\right)^{0/2} - 12/273 \left(\frac{H}{D}\right)^{0/1} + 6/162$ | ۰/۰ | ۱۲/۶ | ۲/۲ |
| ۳ | ۱۱۵ | $C = 6/077 \left(\frac{H}{P}\right)^{0/2} - 11/263 \left(\frac{H}{P}\right)^{0/1} + 8/878$ | ۰/۰ | ۱۰/۸ | ۲/۱ |
| ۴ | ۱۴۹ | $C = 6/105 \left(\frac{H}{P}\right)^{0/2} - 11/273 \left(\frac{H}{P}\right)^{0/1} + 5/821$ | ۰/۰ | ۹/۲ | ۲/۰ |

در ابتدا و قبل از آنکه به تشریح و تحلیل نتایج آزمایشگاهی پرداخته شود یک نکته اشاره می‌گردد و آن این‌که با گذر جریان آزاد از سرریز دایره‌ای، برخلاف آنچه در سرریزهای مستطیلی هم عرض کانال دیده شده است، لزوماً به ازای همه قوس‌های مختلف از این سرریز، نیاز به هوادهی پروفیل جریان گذری از روی آن وجود ندارد و بعضاً تنها برای قوس‌های با طول کوچک‌تر سرریز این هوادهی و رفع فشار منفی زیر پروفیل لازم است. اما در حین انجام آزمایش‌های استغراق، مشاهده شد سرریزهای دایره‌ای که در آزمایش‌ها با شرایط آزاد و با عمق آب نسبتاً کم پایین‌دست هوادهی نیاز نداشته‌اند، به ازای عمق‌های بیشتر آب در پایین‌دست و قبل از شروع استغراق، نیاز به هوادهی پیدا می‌نمایند و این تفاوت دیگری بین این نوع سرریز و سرریز مستطیلی است. به این مفهوم که در این نوع سرریزها، علاوه بر این‌که نیاز به هوادهی سرریز وابستگی به ارتفاع سرریز و نیز شعاع انحناء قوس آن دارد نیز تابع عمق آب در پایین‌دست سرریز هم می‌باشد. با توضیحی که ارائه شد، برای بررسی استغراق، نیاز بود تا در آن دسته عمق‌های جریان در پایین‌دست، که سرریز نیاز به هوادهی دارد، این هوادهی توسط یک لوله ۱ اینچی انجام شود.

برای پیش‌بینی مقدار دبی استغراق سرریزهای لبه تیز، در ابتدا و قبل از آنکه به تشریح و تحلیل نتایج آزمایشگاهی پرداخته شود یک نکته اشاره می‌گردد و آن این‌که با گذر جریان آزاد از سرریز دایره‌ای، برخلاف آنچه در سرریزهای مستطیلی هم عرض کانال دیده شده است، لزوماً به ازای همه قوس‌های مختلف از این سرریز، نیاز به هوادهی پروفیل جریان گذری از روی آن وجود ندارد و بعضاً تنها برای قوس‌های با طول کوچک‌تر سرریز این هوادهی و رفع فشار منفی زیر پروفیل لازم است. اما در حین انجام آزمایش‌های استغراق، مشاهده شد سرریزهای دایره‌ای که در آزمایش‌ها با شرایط آزاد و با عمق آب نسبتاً کم پایین‌دست هوادهی نیاز نداشته‌اند، به ازای عمق‌های بیشتر آب در پایین‌دست و قبل از شروع استغراق، نیاز به هوادهی پیدا می‌نمایند و این تفاوت دیگری بین این نوع سرریز و سرریز مستطیلی است. به این مفهوم که در این نوع سرریزها، علاوه بر این‌که نیاز به هوادهی سرریز وابستگی به ارتفاع سرریز و نیز شعاع انحناء قوس آن دارد نیز تابع عمق آب در پایین‌دست سرریز هم می‌باشد. با توضیحی که ارائه شد، برای بررسی استغراق، نیاز بود تا در آن دسته عمق‌های جریان در پایین‌دست، که سرریز نیاز به هوادهی دارد، این هوادهی توسط یک لوله ۱ اینچی انجام شود.

$$\left(\frac{Q_s}{Q_f}\right)_{vil.} = \left[1 - \left(\frac{H_t}{H}\right)_{lab}\right]^{0/385} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

چنانچه در تعیین دبی استغراق سرریز دایره‌ای، رابطه (Villemonthe) معتبر باشد منحنی مقادیر $\left(\frac{Q_s}{Q_f}\right)_{lab}$ در برابر مقادیر متناظر از $\left(\frac{Q_s}{Q_f}\right)_{vil.}$ می‌بایست در محدوده خط با شیب ۱:۱

با توضیحی که پیشتر آمد، برای سرریزهای دایره‌ای با قوس به سمت بالادست، مقدار توان n که همان توان عمق آب در رابطه تخلیه سرریز است، برابر $1/5$ می‌باشد. با لگاریتم گرفتن از طرفین رابطه (۵)، معادله زیر حاصل می‌گردد.

$$\log \frac{Q_s}{Q_f} = \log K + N \log \left[1 - \left(\frac{H_t}{H} \right)^{1/5} \right] \quad (\text{رابطه ۶})$$

با رسم نمودار $\log \frac{Q_s}{Q_f}$ در برابر $\log \left[1 - \left(\frac{H_t}{H} \right)^{1/5} \right]$ و برازش مناسب‌ترین خط بر نقاط نمودار، ضریب زاویه این خط برابر با N و عرض از مبدا آن $\log K$ خواهد بود. منحنی شکل (۱۰) نمودار موردنظر را نشان می‌دهد. این نمودار شامل تمامی نتایج آزمایشگاهی برای کلیه سرریزهای با طول قوس‌های $1.02/5$ ، 1.10 ، 1.20 ، 1.35 سانتی‌متر و هریک از آنها با ارتفاع‌های 20 ، 30 ، 40 ، 50 و 60 سانتی‌متر می‌باشد. از نمودار شکل (۱۰) معادله اصلاح شده، به صورت معادله (۷)، حاصل می‌شود.

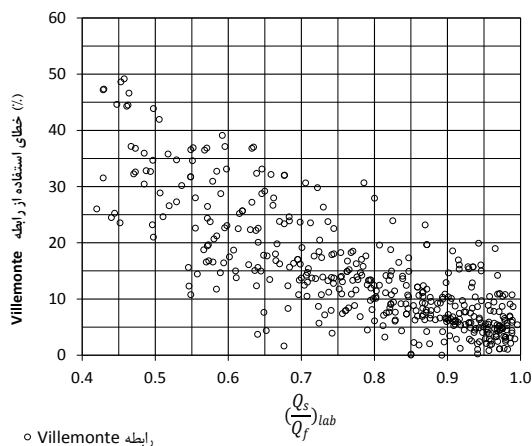
$$\frac{Q_s}{Q_f} = 1/0051 \left[1 - \left(\frac{H_t}{H} \right)^{1/5} \right]^{0/2439} \quad (\text{رابطه ۷})$$

و با تقریبی، برای ساده سازی و حفظ شکل اصلی رابطه، معادله (۸) برای سرریزهای دایره‌ای مستغرق پیشنهاد می‌گردد.

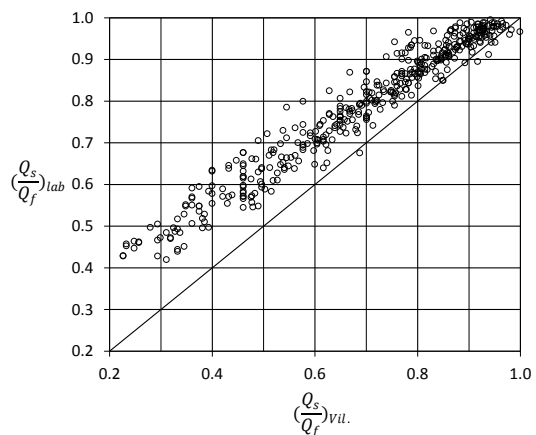
پراکنده و به آن نزدیک باشند. این منحنی در شکل (۸) نمایش داده شده است. در این منحنی ملاحظه می‌شود این رابطه نمی‌تواند با دقت کافی، برای دبی استغراق سرریزهای دایره‌ای اعتبار لازم را داشته باشد. در آزمایش‌های مختلف، خطای به‌دست آمده بین اطلاعات آزمایشگاهی و استفاده از رابطه (۴)، بین صفر تا 50 درصد و به طور متوسط خطایی حدود 14 درصد را نشان می‌دهد. پراکندگی این خطاها، در تصویر (۹) مشاهده می‌گردد. ملاحظه منحنی‌های ذکر شده، نیاز به ارائه رابطه جدیدی برای استغراق این نوع سرریزها را به اثبات می‌رساند.

محققین این پژوهش، قبل از تلاش برای حصول رابطه جدید در تعیین دبی استغراق سرریزهای دایره‌ای، امکان اصلاح رابطه (Villemonte) و کاربری نسخه اصلاح شده آن را مورد بررسی قرار دادند. گستردگی نتایج به‌دست آمده در شکل (۸) نشان می‌دهد، شاید بتوان با اصلاح توان 0.385 در رابطه یاد شده، رابطه مناسبی برای پیش‌بینی استغراق سرریزهای لبه‌تیز دایره‌ای شکل با قوس به سمت بالادست پیدا نمود. بدین منظور رابطه فوق به شکل کلی و به صورت معادله (۵) موردنظر قرار داده شد.

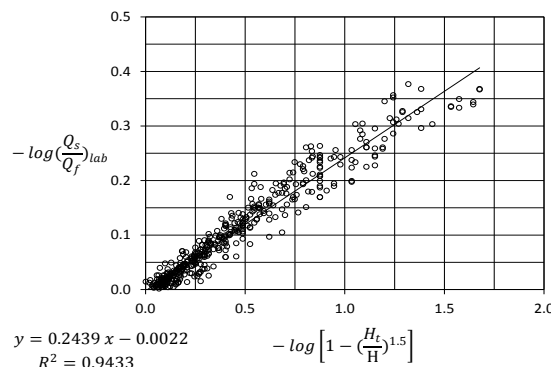
$$\frac{Q_s}{Q_f} = K \left[1 - \left(\frac{H_t}{H} \right)^n \right]^N \quad (\text{رابطه ۵})$$



شکل ۹. منحنی مقادیر خطای $\frac{Q_s}{Q_f}$ آزمایشگاهی نسبت به $\frac{Q_s}{Q_f}$ حاصله از رابطه (Villemonte, ۱۹۴۷).

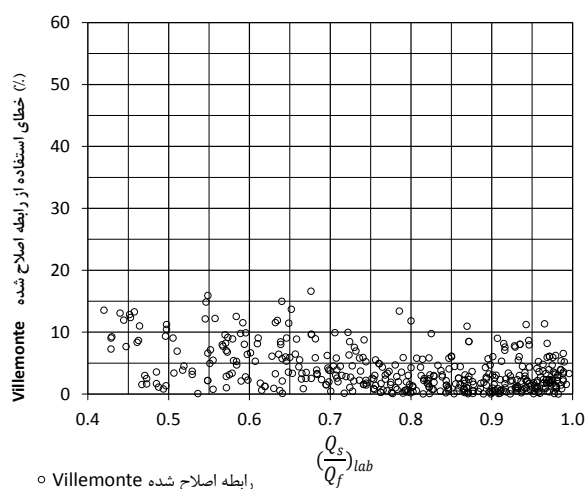


شکل ۸. نسبت $\frac{Q_s}{Q_f}$ آزمایشگاهی در برابر $\frac{Q_s}{Q_f}$ حاصل از رابطه (Villemonte, ۱۹۴۷).



شکل ۱۰. نمودار تعیین کننده مقادیر N و K برای اصلاح رابطه (Villemonte, ۱۹۴۷)، مورد استفاده برای سرریزهای دایره‌ای.

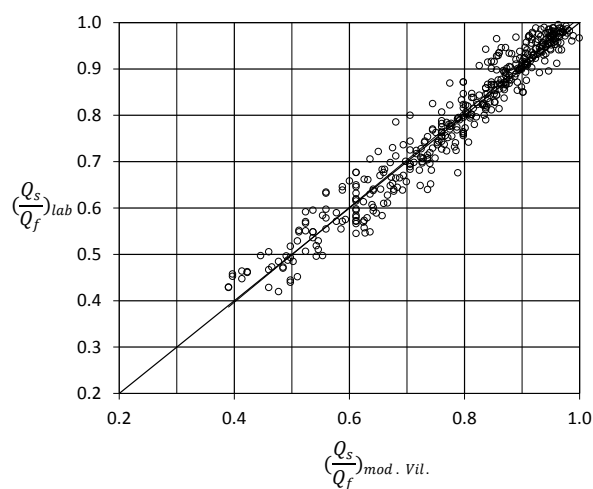
سرریزهای دایره‌ای، عامل ارتفاع و طول قوس (یا زاویه کمان) سرریز، تاثیر چندانی بر چگونگی استغراق ندارند به عبارتی، هیدرولیک جریان سرریز دایره‌ای به هنگام استغراق، تنها تحت تاثیر نسبت $\frac{H_t}{H}$ و فارغ از مقدار طول قوس و ارتفاع سرریز است. نتایج آزمایشگاهی، معادله اصلاح شده را برای سرریزهای دایره‌ای با قوس به سمت بالادست به دست داده است. اختلاف بین معادله مذکور و معادله اصلاح شده، در توان عبارت (1 - $(\frac{H_t}{H})^n$) می‌باشد. این توان برای معادله (Villemonte) برابر ۰/۳۸۵ و در معادله اصلاح شده مساوی ۰/۲۴۴ است. در مقایسه بین سرریزهای دایره‌ای شکل با مستطیلی و در شرایط استغراق، این اعداد می‌توانند به کمک بیایند. به سادگی می‌توان دریافت، مقدار این عبارت کمتر از عدد یک می‌باشد لذا هر چه توان این عبارت کوچک‌تر باشد، حاصل عبارت عدد بزرگ‌تری نتیجه می‌دهد. بنابراین برای یک $\frac{H_t}{H}$ مشابه برای هر دو نوع سرریز، مقدار نسبت $\frac{Q_s}{Q_f}$ برای سرریزهای دایره‌ای مقدار بیشتری است. تفاوت مقادیر برای نسبت‌های کوچک‌تر از $\frac{H_t}{H}$ خیلی بارز نیست اما با افزوده شدن این نسبت، اختلاف مقادیر طرف اول تساوی، یعنی $\frac{Q_s}{Q_f}$ قابل ملاحظه می‌شوند. این توضیح بدین معنی است که استغراق جریان در سرریزهای دایره‌ای، افزایش کمتری در عمق آب روی این نوع سرریزها نسبت به سرریزهای مستطیلی ایجاد می‌نماید و لذا استفاده از آنها می‌تواند شرایط مناسب‌تر هیدرولیکی را بوجود آورد.



شکل ۱۲. منحنی مقادیر خطای $\frac{Q_s}{Q_f}$ آزمایشگاهی نسبت به $\frac{Q_s}{Q_f}$ حاصل از رابطه اصلاح شده (Villemonte, ۱۹۴۷).

رابطه (۸) نمودار مقادیر نسبت $\frac{Q_s}{Q_f}$ آزمایشگاهی در برابر مقادیر به دست آمده از رابطه اصلاح شده برای این نسبت، در شکل (۱۱) ترسیم شده است. ملاحظه این منحنی و مقایسه آن با خط با شیب ۱:۱، حکایت از دقت خوب رابطه به دست آمده دارد. برای مقادیر کوچک‌تر $\frac{Q_s}{Q_f}$ ، پراکندگی اطلاعات آزمایشگاهی در اطراف خط مزبور کمتر است و یا به عبارتی خطای رابطه به دست آمده برای این گونه نقاط، اندک می‌باشد. خطای بین هر یک از برداشت‌های آزمایشگاهی با آنچه رابطه (۸) در تعیین $\frac{Q_s}{Q_f}$ به دست می‌دهد در شکل (۱۲) ملاحظه می‌گردد. این خطا برای کلیه قرائت‌های مدل فیزیکی سرریزها، بین صفر تا ۱۷ درصد و به طور متوسط حدود ۴ درصد است.

مقایسه دو شکل (۹) و (۱۲) نشان می‌دهد، رابطه اصلاح شده دقت بهتری برای برآورد نسبت دبی‌های ذکر شده دارد. برای هر دو منحنی، یا به عبارتی هر دو رابطه، خطاهای بزرگ‌تر مربوط به نسبت استغراق‌های بزرگ‌تر است. این نشان می‌دهد شاید اگر دو رابطه اصلاح شده مختلف، برای مثلاً دو بازه متفاوت از نسبت استغراق تعریف شود، خطاها تقلیل پیدا نمایند. در اینجا با عنایت به اندک بودن خطاها و آسان بودن استفاده از یک رابطه به جای دو رابطه، از سعی برای یافتن دو رابطه مختلف پرهیز شده است. نمودار شکل (۱۱) و قرارگیری و پراکندگی نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهند، در پیش بینی استغراق برای



شکل ۱۱. نسبت $\frac{Q_s}{Q_f}$ آزمایشگاهی در برابر رابطه اصلاح شده (Villemonte, ۱۹۴۷).

نتیجه گیری

گفت سرریزهای دایره‌ای نسبت به مستطیلی تاثیرپذیری کمتری از شرایط استغراق دارند به عبارتی به هنگام مستغرق شدن سرریز، در شرایط مشابه، عمق آب روی این نوع سرریز دایره‌ای نسبت به سرریز مستطیلی مقدار کمتری تغییر می‌نماید. این موضوع در مقادیر نسبت استغراق‌های بزرگ‌تر مشهودتر است.

واژگان لاتین

| | |
|----------|---|
| C | ضریب تخلیه سرریز. |
| H | عمق آب روی سرریز |
| H_t | عمق استغراق پایاب سرریز |
| K | عدد ثابت |
| L | طول تاج سرریز |
| n | توان عمق آب در معادله تخلیه سرریز |
| N | عدد ثابت |
| P | ارتفاع سرریز |
| Q | دبی جریان |
| Q_f | دبی عبوری در شرایط جریان آزاد روی سرریز |
| Q_s | دبی عبوری در شرایط جریان مستغرق روی سرریز |
| R | شعاع انحنای سرریز دایره‌ای |
| W | عرض فلوم |
| θ | زوایه کمان سرریز |

در این پژوهش، بررسی میزان تاثیر استغراق بر مقدار دبی گذری از سرریزهای دایره‌ای لبه‌تیز هم‌عرض کانال با قوس به سمت بالادست مورد نظر بوده است. برای این منظور سرریزهای دایره‌ای با هر دو شرایط آزاد و مستغرق و با مشخصات هندسی مختلف، یعنی طول قوس و ارتفاع‌های متفاوت، مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. استغراق جریان بر روی سرریزهای دایره‌ای، از تراز پایاب مساوی با تراز تاج سرریز شروع می‌شود. در شرایط استغراق، هیدرولیک جریان و افزایش عمق آب روی سرریز، تنها وابسته به نسبت $\frac{H_t}{H}$ می‌باشد و فارغ از تاثیرپذیری مشخصات هندسی، مانند ارتفاع و طول قوس سرریز دایره‌ای است. رابطه (Villemonthe)، یعنی رابطه (۲)، برای تعیین دبی جریان در شرایط استغراق سرریزهای دایره‌ای لبه‌تیز هم‌عرض کانال و با قوس به سمت بالادست، خطای قابل ملاحظه دارد. برای برداشت‌های مختلف آزمایشگاهی، کاربرد این رابطه خطایی بین صفر تا ۵۰ درصد و به‌طور متوسط ۱۴ درصد را به‌دست می‌دهد. رابطه اصلاح شده، یعنی رابطه (۸) که نتیجه این تحقیق است، می‌تواند برآورد خوبی از دبی جریان مستغرق بر روی این‌گونه سرریزها داشته باشد. خطای نتایج به‌دست آمده از این رابطه با نتایج آزمایشگاهی، بین صفر تا ۱۷ درصد است و میانگین ۴ درصد را به خود اختصاص می‌دهد. برای شرایط استغراق، در مقایسه بین سرریزهای دایره‌ای لبه‌تیز با قوس به سمت بالادست و سرریزهای مستطیلی، می‌توان

REFERENCES

- Azimi A.H., Seyed Hakim S. (2019). Hydraulics of flow over rectangular labyrinth weirs. *Irrigation Science J.*, Volume 37, Issue 2, pp 183–193
- Crookston B. M., Tullis B. P. (2012) Arced Labyrinth Weirs. *J. Hydraul. Eng. ASCE*, Vol 138, No 6, PP 555-562
- Crookston B. M., Tullis B. P. (2013) Hydraulic Design and Analysis of Labyrinth Weirs. I: Discharge Relationships. *ASCE, Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 139, No. 5
- Khode B.V, Tembhurkar A.R., Porey P.D., Ingle R.N, (2011). Determination of Crest Coefficient for Flow over Trapezoidal Labyrinth Weir. *World Applied Sciences Journal*, Vol 12 No:3, PP 324-329
- Kumar S., Ahmad Z., Mansoor T., Himanshu S.K. (2012). Discharge Characteristics of Sharp Crested Weir of Curved Plan-form. *Research Journal of Engineering Sciences*, Vol. 1, No 4, PP16-20
- Kumar S., Ahmad Z., Mansoor T., Himanshu S.K. (2013). A New Approach to Analyze the Flow over Sharp Crested Curved Plan form Weirs. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. Vol. 2, Issue-1, PP 24-28
- Mirzaei Kh. (2018). Hydraulic Simulation of Circular weir with arc toward Upstream side. *Master's Thesis*, Tehran Payamnor University (In Farsi)
- Roushangar K., Majedi Asl M., Alami M.T., Shiri J.(2018) Experimental evaluation of free and submerged flow over piano key weirs. *Irriagation and drainage structures engineering research*, Vol 19, No: 70, PP:113-126 (In Farsi)
- Safarzadeh A., Khayat Rostami S.(2016) Laboratory investigation of weir height effect on hydraulic of submerged rectangular piano key weirs. *Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant*, Vol 7 (In Farsi)
- Tullis J. P., Amanian N., and Waldron D. (1995). Design of labyrinth weir spillways. *J. Hydraul. Eng. ASCE*, Vol.121, No.3, pp: 247–255.
- Tullis B. P., Young J. C., and Chandler M. A. (2007). Head-Discharge Relationships for Submerged Labyrinth Weirs. *J. Hydraul. Eng. ASCE*, Vol.133, No.3, pp:248–254.
- USBR (1987). Design of small dams. Third edition
- Villemonthe J. R (1947). Submerged weir discharge studies. *Engineering News Record*, Vol.139, No.26, pp: 54-56