



Technical Note

Investigating the Effect of Internal Weir's Scale on Hydraulic Parameters of Modern Horseshoe Spillway

V. Hasanzadeh Vayghan¹ and M. Mohammadi^{2*}

Abstract

Modern horseshoe spillways are combinations of external and internal weirs. In this study, by constructing a physical model of a modern horseshoe spillway including three different internal weir scales, some hydraulic parameters of these spillways; like discharge coefficient of the internal weir (C_0) and discharge rate through the internal weirs, were investigated. Accordingly the effect of changing internal weir's scale on the C_0 was examined in the research. The results showed that by increasing the internal weir's scale from 1:10 to 1:5 and 1:2.5, the head above the modern horseshoe spillway at the same total discharge, respectively declined to 44, 48 and 56% compared to the head in rectangular weir with the same width. Also by increasing the scale of internal weir, the ratio of the discharge to external weir discharge (Q_1/Q_2) decreased while the C_0 increased. To investigate the effect of varying internal weir's area on C_0 , the ratio of the area to multiply of weirs length ($A_0/L_0 \times L_w$) was used and it was found that in the spillway with scale of 1:2.5, the C_0 increased by increasing the ratio of $A_0/L_0 \times L_w$. Based on the results it can be claimed that the modern horseshoe spillways with internal weir with scales of 1:2.5 has the best hydraulic performance.

Keywords: Modern and Classic Horseshoe Spillway, Scale of Internal Weir, Discharge Coefficient, Internal Weir.

Received: September 17, 2016

Accepted: January 22, 2018

یادداشت فنی

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر مقیاس سرریز داخلی بر مشخصات هیدرولیکی سرریز نعل اسبی مدرن

وحید حسن‌زاده وایقان^۱ و میرعلی محمدی^{۲*}

چکیده

سرریز "نعل اسبی مدرن" ترکیبی از دو سرریز بیرونی و داخلی است که در این تحقیق با ساخت مدل فیزیکی آن و ایجاد سه مقیاس متفاوت سرریز داخلی در آن، مشخصات هیدرولیکی سرریز از جمله ضریب دبی سرریز داخلی (C_0) و میزان دبی عبوری از سرریز داخلی مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر تغییر مقیاس سرریز داخلی در C_0 بررسی شده است. نتایج تحقیق گویای آن است که با افزایش مقیاس سرریز داخلی از ۱:۱۰ به ۱:۵ و ۱:۲/۵، هد روی سرریز نعل اسبی مدرن برای یک دبی ثابت نسبت به یک سرریز مستطیلی هم عرض به ترتیب ۴۴ و ۴۸ و ۵۶ درصد کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مقیاس سرریز داخلی، نسبت دبی گذرنده از سرریز بیرونی به سرریز داخلی (Q_1/Q_2) کاهش می‌یابد و با افزایش نسبت Q_1/Q_2 ضریب دبی سرریز داخلی (C_0) کاهش می‌یابد. برای بررسی تأثیر تغییر مساحت پلان سرریز داخلی در ضریب دبی، از نسبت مساحت به ضرب طول سرریزها ($A_0/L_0 \times L_w$) استفاده گردید و مشخص شد که در سرریز نعل اسبی با مقیاس ۱:۲/۵، C_0 با افزایش آن نسبت افزایش می‌یابد. همچنین مشخص گردید که سرریز نعل اسبی مدرن با سرریز داخلی به مقیاس ۱:۲/۵، از نظر هیدرولیکی بهترین عملکرد را دارا می‌باشد.

کلمات کلیدی: سرریز نعل اسبی مدرن و کلاسیک، مقیاس سرریز داخلی، ضریب دبی، سرریز داخلی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۶/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱/۲

1- Ph.D. Candidate, Water and Hydraulic Structures, Department of Civil Eng., Faculty of Eng., The University of Urmia, Urmia, Iran. Email: V.Hasanzadeh@urmia.ac.ir

2- Associate Prof., Department of Civil Eng., Faculty of Eng., The University of Urmia, P O Box 165, Urmia 57169-33111, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری عمران- آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه.
۲- دانشیار گروه مهندسی عمران- سازه‌های هیدرولیکی و مهندسی رودخانه، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

مقطع تاج، شرایط جریان در کانال تقرب و کارایی. Falvey (2003). برای محاسبه دبی سرریزهای کنگره‌ای از رابطه ۱ استفاده نموده است. که در آن Q دبی، h هد یا بار آبی طراحی سرریز، g شتاب ثقل، L طول سرریز و C_T ضریب دبی می‌باشد:

$$Q = C_T \cdot L \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{1.5} \quad (1)$$

(2010) Crookston تحقیقی بر روی سرریز کنگره‌ای با زاویه هادی مابین ۶ الی ۳۵ درجه و با تاج نیم دایره و ربع دایره انجام داد و که نتایج تحقیق گویای آن بود که سرریز کنگره‌ای با تاج نیم دایره عملکرد هیدرولیکی بهتری را در شرایط $H_T/P > 0.1$ ارائه می‌دهد (که در آن H_T هد روی سرریز و P ارتفاع سرریز) می‌باشد. (2011) Aydin نیز به شبیه‌سازی عددی جریان بر روی سرریزهای کنگره‌ای جانبی پرداخته و برای شبیه‌سازی سطح آزاد جریان زیر بحرانی در سرریزهای کنگره‌ای با پلان مثلثی از روش حجم سیال استفاده نمود. (2015) Tiwari and Sharma روش‌های بهبود عملکرد هیدرولیکی سرریزها را بررسی نمودند و با استفاده از مدل فیزیکی، دبی‌های مشخصی را در یک فلوم آزمایشگاهی از روی سرریز اوجی معمولی گذرانده و سپس با جایگذاری سرریز کلید پیانوی (PKW) هم عرض سرریز معمولی، دبی‌های مورد نظر را از این سرریز نیز عبور داده و هد روی سرریزها (h) را با هم مقایسه کردند. نتایج آنها گویای آن بود که کاهش هد روی سرریز در PKW نسبت به سرریز معمولی برای دبی‌های کم، بیشتر از دبی‌های بالا می‌باشد. (2015) Hasanzadeh et al. با استفاده از مدل فیزیکی سرریز نعل اسبی کلاسیک با طول تاج ۷۶ سانتیمتر به بررسی تأثیر ایجاد روزنه در کف سرریزهای نعل اسبی بر جریان پرداختند. نتایج تحقیق آنها گویای آن بود که با ایجاد روزنه در کف سرریز علاوه بر جریان ریزشی سرریز، یک جریان رو به بالا نیز از کف بوجود آمده و با جریان به سمت داخل سرریز برخورد نموده و باعث پخش شدن پرش هیدرولیکی و عریض تر شدن آن می‌شود.

سرریز نعل اسبی یکی از انواع سرریزهای غیرخطی در پلان می‌باشد که در مقایسه با سایر سرریزهای استاندارد می‌تواند به ازای یک هد ثابت، حجم بالایی از جریان را از روی خود عبور داده و به پایین دست منتقل نماید. سرریزهای نعل اسبی به دو دسته کلاسیک و مدرن تقسیم‌بندی می‌شوند. سرریزهای نعل اسبی کلاسیک سرریزهایی هستند که در آن جریان سیل از سه وجه به کانال پایین دست سرازیر شده و از آنجا به شوت سرریز منتقل می‌شود. سرریزهای نعل اسبی مدرن سرریزهایی هستند که جریان سیل را علاوه بر سه وجه بیرونی موجود در سرریز نعل اسبی کلاسیک، از بخش سرریز داخلی ایجاد شده در پایین دست نیز وارد کانال پایین دست نموده و ظرفیت گذردهی جریان را بالا می‌برند (شکل ۱). در این مقاله برای تمییز اجزای سرریز نعل اسبی مدرن، سه وجه داخلی با عنوان سرریز داخلی و سه وجه بیرونی با عنوان سرریز بیرونی نامگذاری شده است که در شکل ۱ اجزاء مذکور برای سرریز سد خداآفرین قابل مشاهده هستند.

با توجه به آنکه سرریز نعل اسبی جزو سرریزهای غیرخطی در پلان می‌باشد جهت بررسی منابع به تحقیق‌های انجام گرفته در خصوص سرریزهای کنگره‌ای پرداخته می‌شود. تیلور اولین فردی است که مطالعاتی را در زمینه سرریزهای کنگره‌ای با تاج لبه تیز انجام داده است. نتایج مطالعات هی و تیلور در زمینه سرریزهای کنگره‌ای مجموعه کاملی می‌باشد. میر آزمایش‌هایی را برای مطالعه عوامل مؤثر بر دبی تخلیه سرریزهای کنگره‌ای در پروژه فری-بارتلس انجام داد. USBR مدل‌های زیادی را برای سرریز سدهای یو-تی-ای و هایدروم استفاده کردند (BaniHashemi and Mehrani, 2008). پارامترهای مؤثر در عملکرد سرریزهای کنگره‌ای توسط (2005) Khatsuria ارائه شد که عبارتند از: نسبت هد بر ارتفاع سرریز، بزرگ‌نمایی جریان، نسبت بزرگ نمایی، زاویه دیواره هادی، نسبت ابعاد عمودی، تعداد سیکل‌ها، شکل

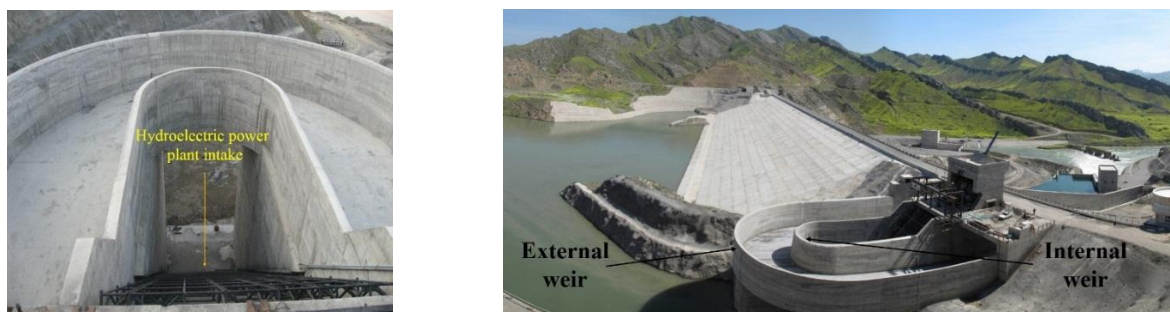


Fig. 1- Plan view of modern horseshoe spillway and hydroelectric power plant intake in Khoda-afarin Dam
شکل ۱- نمای بالای سازه سرریز نعل اسبی مدرن و آبگیر نیروگاه در سد خداآفرین (www.taminrah.com)

۱۱۲، ۱۲۴ و ۱۳۶ سانتیمتر تکرار گردید. دبی جریان عبوری از سرریز با توجه به امکانات آزمایشگاه در محدوده ۷/۵ تا ۱۳/۵ لیتر در ثانیه متغییر بوده و با گام‌های ۱ لیتری برای آزمایشات تکرار می‌گردید. پس از انجام آزمایشات بر روی سرریز مدرن با سرریز داخلی به مقیاس ۱:۱۰، سرریز داخلی با مقیاس ۱:۵ ایجاد و آزمایشات بر روی آن تکرار گردید. در مرحله بعدی این آزمایشات برای سرریز داخلی با مقیاس ۱:۲/۵ نیز انجام پذیرفت (شکل ۳). ابعاد هندسی سرریز نعل اسبی مدرن با مقیاس‌های مختلف سرریز داخلی در جدول ۱ ارائه شده است. در مرحله آخر به منظور مقایسه عملکرد سرریز نعل اسبی کلاسیک و مدرن با یک سرریز مستطیلی هم عرض (۴۶ سانتیمتر، شکل ۳) برای دبی مشخص، سرریز لبه تیز مستطیلی جایگذاری و پارامترهای دبی، هد جریان و سرعت بر روی سرریز اندازه‌گیری شدند.

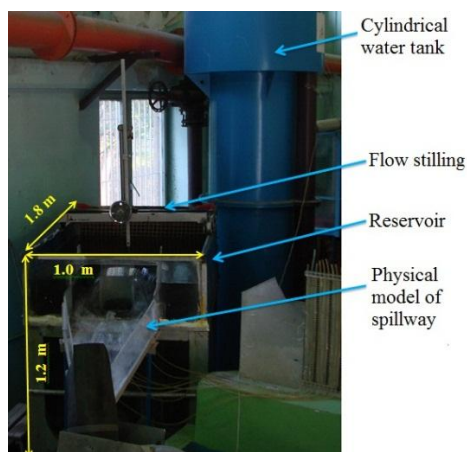


Fig. 2- The location of the tank, the reservoir, the emodel of the spillway and the flow stilling

شکل ۲- جانمایی مخزن استوانه‌ای، مخزن اصلی، مدل فیزیکی سرریز و آرام کننده جریان در ورودی مخزن اصلی

برای محاسبه دبی عبوری از سرریز نعل اسبی کلاسیک و سرریز مستطیلی از رابطه (۱) استفاده گردید. هد جریان بر روی سرریز، با کمک یک سطح سنج با دقت ± 0.1 میلی‌متر و در فاصله ۶۵ سانتیمتری از دیواره سرریز (داخل مخزن) اندازه‌گیری شد و دبی خروجی از سرریز با استفاده از چاهک آرام کننده و سرریز مثلی کالیبره شده در انتهای چاهک، اندازه‌گیری شد.

۳- تحلیل ابعادی

پارامترهایی که در ضریب دبی سرریز داخلی سرریز نعل اسبی مدرن (C_o) دارای اهمیت بوده و در این تحقیق مد نظر قرار گرفته‌اند به شرح زیر بوده و در شکل ۴ نیز نشان داده شده است:

همچنین، مشخص گردید که میزان طول پرش در سرریز نعل اسبی بدون روزنه بیشتر از سرریز با روزنه می‌باشد؛ زیرا در سرریزهای مذکور جریان رو به بالای روزنه به جریان سرریز شونده برخورد نموده و کاهش انرژی به وجود می‌آید.

در این تحقیق نیز سعی شده است با ساخت مدل فیزیکی، پارامترهای هیدرولیکی سرریزهای نعل اسبی مدرن مورد بررسی قرار گیرد و با تکرار آزمایش بر روی مدل‌های ایجاد شده و برقراری دبی‌های متفاوت، به بررسی برخی مشخصات سرریز از جمله ضریب دبی، مقدار هد روی سرریز و مشخصات جریان در قسمت‌های مختلف آن پرداخته شود. در این تحقیق با استفاده از آنالیز ابعادی، عوامل مؤثر در ضریب دبی سرریز داخلی شناسایی شده و نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها با ارائه شکل‌های بی‌بعد، تجزیه و تحلیل گردیده و اثر اشل‌های مختلف سرریز داخلی در عملکرد سیستم سرریز، مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، عملکرد مدل‌های مختلف سرریز نعل اسبی مدرن با سرریز نعل اسبی کلاسیک و همچنین سرریز مستطیلی هم عرض سرریزهای مذکور مقایسه گردیده است.

۲- روش تحقیق

آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز انجام گرفته است. مخزن اصلی مدل به شکل مکعب مستطیل بوده و دارای ابعاد $1/8 \times 1 \times 1/2$ متر می‌باشد (شکل ۲). تراز قرارگیری کف سرریز در ابتدا 0.8 متر بالاتر از کف مخزن می‌باشد. در بالادست مخزن (ورودی جریان) ناحیه آرام کننده جریان ایجاد شد که به شکل مکعب مستطیل و با ابعاد $0.1 \times 1/2 \times 1$ متر است.

در مرحله اولیه آزمایش‌ها، مدل فیزیکی سرریز نعل اسبی کلاسیک ساخته شد. این سرریز در پلان از یک ناحیه قوس‌دار و دو خط موازی تشکیل شده است. طول و شعاع قسمت قوس‌دار به ترتیب برابر ۷۶ و ۲۳ سانتی‌متر می‌باشد. همچنین شیب کف کانال پایین دست سرریز برابر 0.36 درصد در نظر گرفته شده است. ارتفاع دیواره در ابتدای سرریز برابر ۱۵ سانتی متر انتخاب گردید. در مرحله دوم، با ایجاد مجرای هم شکل سرریز کلاسیک (در پلان) در کف کانال پایین دست سرریز- با مقیاس ۱:۱۰ سرریز بیرونی- و نصب دیواره برای مجرای فوق که تاج آن هم‌تراز تاج سرریز کلاسیک بود، سرریز داخلی ایجاد گردید و "سرریز نعل اسبی مدرن" با ترکیب آن دو سرریز شکل گرفت و آزمایشات بر روی آن انجام پذیرفت (شکل ۳- الف). طول سرریز بیرونی (L_w) در مراحل مختلف آزمایش با گام‌های ۱۲ سانتی‌متری تغییر داده شد و آزمایشات برای طول سرریز بیرونی ۷۶، ۸۸، ۱۰۰،

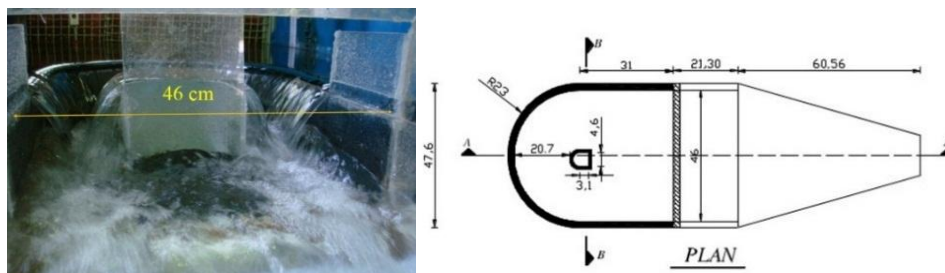


Fig. 3- Geometrical characteristics (cm) and picture of the downstream flow in classic horseshoe spillway
 شکل ۳- مشخصات هندسی سرریز نعل اسبی مدرن و تصویر پایین دست جریان گذرنده از سرریز

Table 1- Geometrical properties for the models of the horseshoe and rectangular spillway

جدول ۱- مشخصات هندسی مدل‌های سرریز نعل اسبی و مستطیلی

Model Name	Length of External Weir (cm)	Length of Internal Weir (cm)	Diameter of Internal Weir's arch (cm)	Scale of Internal Weir
Model 1	76, 88, 100, 112, 124, 136	0	0	0
Model 2	76, 88, 100, 112, 124, 136	13.6	4.6	1/10
Model 3	76, 88, 100, 112, 124, 136	27.2	9.2	1/5
Model 4	76, 88, 100, 112, 124, 136	54.4	18.4	1/2.5
rectangular spillway	46	-	-	-

اگر سه پارامتر p ، L_w و Q_2 به عنوان متغیرهای تکراری در نظر گرفته شوند ضریب دبی سرریز داخلی (C_0) تابعی از پارامترهای بی بعد زیر خواهد بود که از روش تحلیل ابعادی باکینگهام بدست آمده است:

$$C_0 = f\left(\frac{D_0}{L_w}, \frac{Q_1}{Q_2}, \frac{h}{L_w}, \frac{t}{L_w}, \frac{P}{L_w}, \frac{D}{L_w}, \frac{L_0}{L_w}, \frac{P_0}{L_w}, \frac{A_0}{L_0 \times L_w}, \sqrt{\frac{L_w^5 \times g}{Q_2}}, \frac{\mu \times L_w}{Q_2 \times \rho}, \frac{\sigma}{L_w \times \rho}\right) \quad (3)$$

به منظور جلوگیری از تأثیر کشش سطحی در تاج سرریز، حداقل ارتفاع آب روی سرریز برابر ۲ سانتی متر لحاظ شد (Novak et al., 2010; Mehraein and Ghodsian, 2013; Heller, 2011). لذا از عبارت $\sigma / L_w \times \rho$ که بیان کننده تأثیر عدد وبر می باشد، صرف نظر شد. با توجه به آنکه در آزمایش‌های انجام گرفته پارامترهای D ، P_0 و P ثابت در نظر گرفته شده اند، لذا تأثیر پارامترهای بی بعد مربوط به آنها در بررسی‌ها لحاظ نگردیده است. پارامترهای بی بعد مؤثر بر روی ضریب دبی سرریز نعل اسبی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته اند عبارتند از:

$$C_0 = f\left(\frac{D_0}{L_w}, \frac{Q_1}{Q_2}, \frac{h}{L_w}, \frac{A_0}{L_0 \times L_w}\right) \quad (4)$$

۴- نتایج و تحلیل نتایج

با اندازه گیری مقدار h برای طول‌های سرریز بیرونی (L_w) و دبی‌های مختلف در هر یک از اشل‌های سرریز داخلی و با تجزیه و تحلیل نتایج، نمودارهای C_0 در مقابل h/L_w بدست آمدند که برای نمونه در دو دبی ۹/۵ و ۱۱/۵ لیتر بر ثانیه به صورت شکل ۵ می باشد.

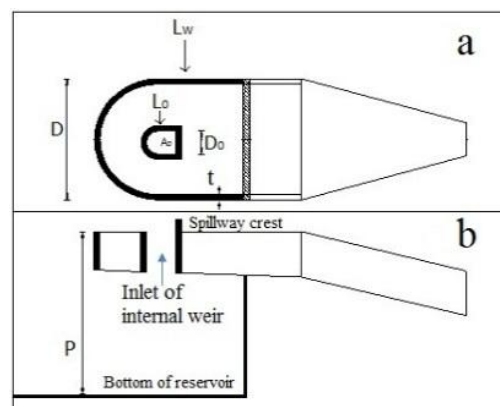


Fig. 4- Significant parameters in the horseshoe spillway's discharge coefficient: a) plan b) longitudinal section

شکل ۴- پارامترهای مؤثر در ضریب دبی سرریز نعل اسبی
 الف: پلان سرریز ب: مقطع طولی سرریز

L_w : طول مؤثر سرریز بیرونی، h : هد روی سرریز داخلی و بیرونی، L_0 : طول مؤثر سرریز داخلی، D_0 : قطر نیمه دایره سرریز داخلی، t : ضخامت سرریز تیغه‌ای، P : ارتفاع سرریز بیرونی، μ : لزجت آب، p : چگالی آب، σ : کشش سطحی، g : شتاب ثقل، Q_1 : دبی جریان گذرنده از سرریز بیرونی و Q_2 : دبی جریان گذرنده از سرریز داخلی. تابع کلی متغیرهای مؤثر بر ضریب دبی سرریز نعل اسبی مدرن که با استفاده از تحلیل ابعادی بدست آمده است به صورت ذیل می باشد:

$$f(C_0, L_w, h, t, P, D, Q_1, Q_2, D_0, P_0, L_0, A_0/L_0, \rho, \mu, \sigma, g) = 0 \quad (2)$$

دبی سرریز داخلی (C_0) کاهش می‌یابد که این امر به دلیل افزایش ابعاد سرریز داخلی و در نتیجه گذر جریان بیشتر، از مقدار دبی کل عبوری از سیستم سرریز می‌باشد. شکل ۶ همچنین گویای آن است که دامنه تغییرات نسبت Q_1/Q_2 برای سرریز داخلی با مقیاس ۱:۲/۵ از ۲/۵ تا ۴ و برای سرریز داخلی با مقیاس ۱:۵ از ۵ تا ۱۰ و برای سرریز داخلی با مقیاس ۱:۱۰ از ۱۳ تا ۳۲ می‌باشد. دامنه زیاد تغییرات این نسبت در سرریز داخلی با مقیاس ۱:۱۰ احتمالاً به دلیل تأثیر کشش سطحی و لزجت و حاکم شدن اثر مقیاس بر مدل‌سازی می‌باشد. محدوده C_0 با تغییر نسبت Q_1/Q_2 در سرریز با مقیاس ۱:۱۰ و $L_w=100$ مابین ۰/۱ و ۰/۳۵ و در سرریز با مقیاس ۱:۵ مابین ۰/۲ و ۰/۵ و در سرریز با مقیاس ۱:۲/۵ مابین ۰/۵ و ۰/۶ می‌باشد.

رابطه خطی C_0 در برابر Q_1/Q_2 برای مقیاس ۱:۲/۵ سرریز داخلی در شکل ۱۰ ارائه شده است. به منظور بررسی تأثیر تغییر مساحت سرریز داخلی در ضریب دبی، نمودار C_0 در مقابل $A_0/L_0 \times L_w$ ترسیم گردید که برای دبی ۹/۵ و ۱۱/۵ لیتر بر ثانیه به صورت شکل ۷ می‌باشد.

این نمودارها نشان می‌دهند که C_0 با افزایش نسبت h/L_w افزایش می‌یابد که دلیل آن کاهش طول سرریز بیرونی و در نتیجه افزایش h می‌باشد. این افزایش برای مدل دارای سرریز داخلی با مقیاس ۱:۵ و ۱:۲/۵ به صورت خطی می‌باشد (روابط خطی مذکور در شکل ۵ ارائه شده است) ولی برای مدل با مقیاس ۱:۱۰ تغییرات غیرخطی است که این مسأله احتمالاً ناشی از فشردگی جریان عبوری از سرریز داخلی با مقیاس ۱:۱۰ می‌باشد. روند افزایش C_0 با افزایش نسبت h/L_w در دبی ۱۱/۵ لیتر بر ثانیه تنها در مقیاس ۱:۲/۵ به صورت خطی است. یکی از پارامترهای بی‌بعدی که در ضریب دبی سرریز داخلی (C_0) مؤثر است نسبت Q_1/Q_2 می‌باشد که با تغییر مقیاس سرریز داخلی و طول سرریز بیرونی این نسبت تغییر می‌کند. در شکل ۶ برای نمونه نمودار مربوط به ۱۰۰ و ۱۱۲ سانتیمتر ارائه شده است. مقدار Q_1 و Q_2 مطابق توضیحات قبلی قابل اندازه‌گیری و محاسبه هستند.

با توجه به شکل ۶ مشخص می‌گردد که با افزایش مقیاس سرریز داخلی، نسبت Q_1/Q_2 کاهش می‌یابد و با افزایش نسبت Q_1/Q_2 ضریب

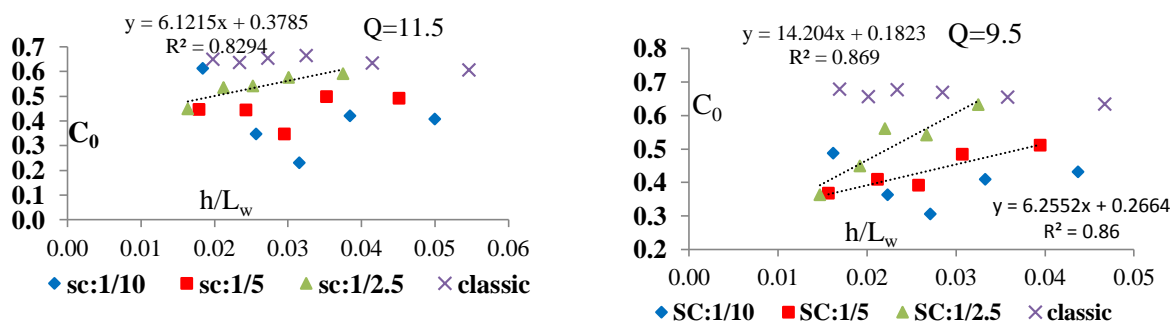


Fig. 5- Variations of C_0 against h/L_w for different scales
شکل ۵- تغییرات C_0 نسبت به h/L_w برای مقیاس‌های مختلف سرریز داخلی

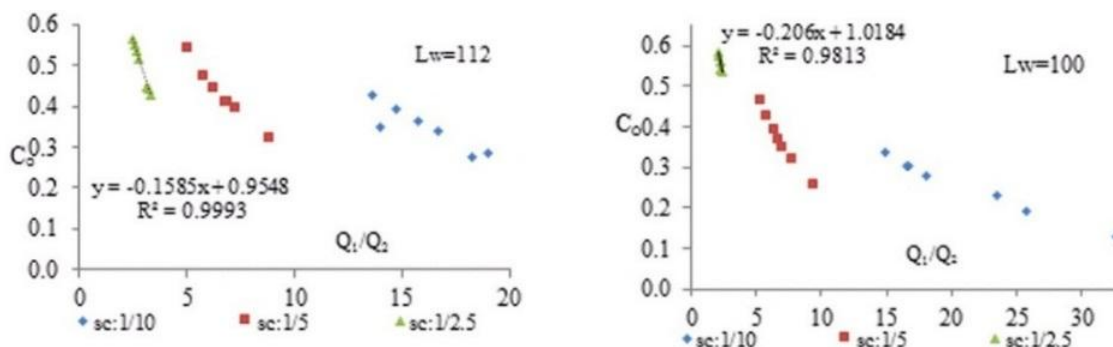


Fig. 6- Variations of C_0 against Q_1/Q_2 for different scales
شکل ۶- تغییرات C_0 نسبت به Q_1/Q_2 برای مقیاس‌های مختلف سرریز داخلی

"سرریز مستطیلی هم عرض" آنها برای دبی مشخص، نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. برای L_w های ۱۰۰ و ۱۱۲ سانتی‌متر، نمودارهای مقایسه‌ای هد و دبی عبوری سرریزهای مذکور به صورت شکل ۹ می‌باشد.

با توجه به شکل ۹ مشخص می‌شود که هد جریان در سرریز نعل اسبی مدرن به میزان قابل توجهی کمتر از هد جریان بر روی سرریز مستطیلی بوده و سرریز نعل اسبی مدرن موفق شده است هد روی سرریز را نسبت به هد سرریز مستطیلی هم عرض و هد سرریز نعل اسبی کلاسیک (در یک دبی ثابت) بکاهد به گونه‌ای که با افزایش مقیاس سرریز داخلی از ۱:۱۰ تا ۱:۲/۵، هد روی سرریز نعل اسبی مدرن در یک دبی ثابت نسبت به هد روی سرریز نعل اسبی کلاسیک به ترتیب ۳، ۹ و ۲۲ درصد (به طور میانگین) کاهش می‌یابد. این کاهش نسبت به سرریز مستطیلی به ترتیب ۴۴ و ۴۸ و ۵۶ درصد می‌باشد. با مقایسه درصد دبی عبوری از سرریز داخلی با مقیاس‌های ۱:۵ و ۱:۲/۵، مشخص می‌گردد که با افزایش L_w ، میزان دبی عبوری از سرریز داخلی کاهش و در نتیجه میزان دبی عبوری از سرریز بیرونی افزایش می‌یابد. لذا می‌توان با انتخاب طول کمتر L_w ، میزان دبی قابل توجهی را از سرریز داخلی نیز عبور داد.

نمودارهای مذکور نشان می‌دهند که در سرریز نعل اسبی با مقیاس ۱:۲/۵، C_0 با افزایش نسبت $A_0/L_0 \times L_w$ افزایش می‌یابد که این امر ناشی از گذر حجم بیشتری از جریان از سرریز داخلی به دلیل افزایش ابعاد آن می‌باشد. در سرریز نعل اسبی با مقیاس‌های ۱:۵ و ۱:۱۰ سرریز داخلی نمودار C_0 در مقابل $A_0/L_0 \times L_w$ از روند خاصی پیروی ننموده و در برخی نسبت‌های $A_0/L_0 \times L_w$ ، ضریب دبی متفاوتی را ارائه می‌دهند لذا جهت درک بهتر موضوع نیاز به انجام آزمایشات بیشتری می‌باشد. تفاوت بین نتایج اشل‌های کوچکتر احتمالاً نشان‌دهنده تأثیر کشش سطحی و لزجت است. روابط خطی رگرسیونی برای سرریز نعل اسبی با مقیاس ۱:۲/۵ در شکل ۷ ارائه شده است. یکی دیگر از اعداد بی‌بعدی که نشان دهنده تأثیر افزایش مقیاس سرریز داخلی در ضریب دبی است نسبت D_0/L_w می‌باشد که نمودار C_0 در مقابل D_0/L_w برای دبی ۹/۵ و ۱۱/۵ لیتر بر ثانیه نیز به صورت شکل ۸ بدست آمده است.

شکل ۸ گویای آن است که با افزایش نسبت D_0/L_w و در نتیجه افزایش مقیاس سرریز داخلی، ضریب دبی (C_0) در هر یک از مقیاس‌ها افزایش می‌یابد. رابطه خطی برای مقیاس ۱:۲/۵ در شکل ۸ ارائه شده است. به منظور بررسی توانایی سرریز نعل اسبی مدرن در کاهش میزان هد روی سرریز نسبت به "سرریز نعل اسبی کلاسیک" و

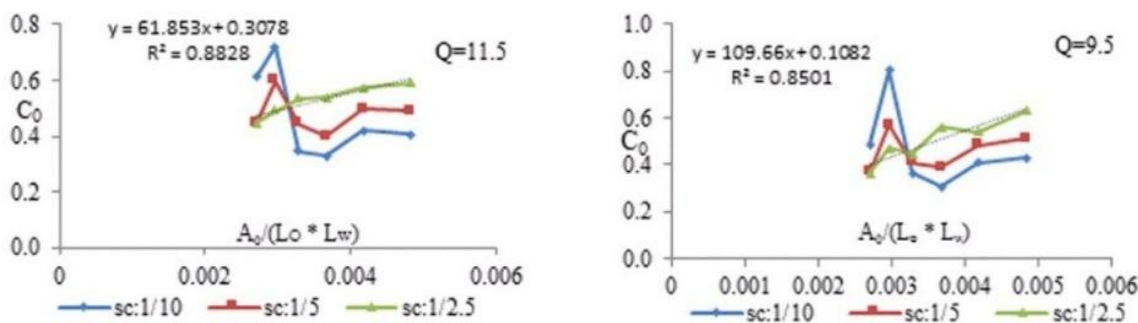


Fig. 7- Variations of C_0 against $A_0/L_0 \times L_w$ for different scales
شکل ۷- تغییرات C_0 نسبت به $A_0/L_0 \times L_w$ برای مقیاس‌های مختلف سرریز داخلی

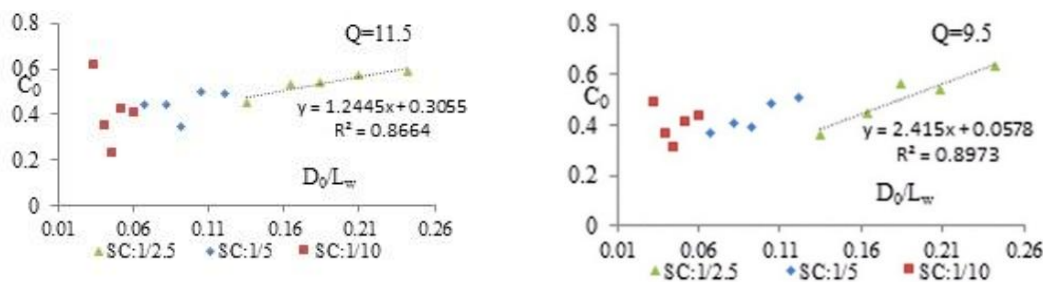


Fig. 8- Variations of C_0 against D_0/L_w for different scales
شکل ۸- تغییرات C_0 نسبت به D_0/L_w برای مقیاس‌های مختلف سرریز داخلی

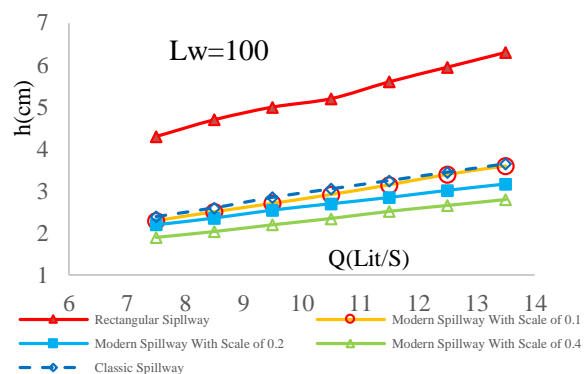
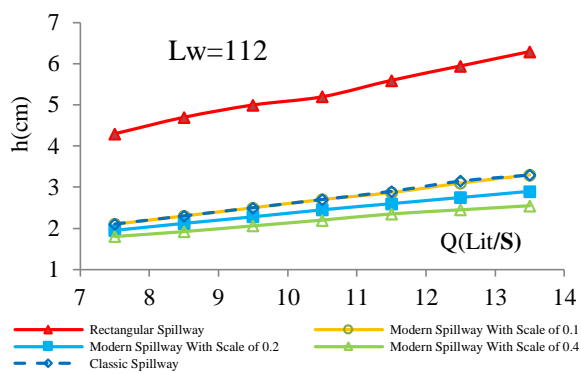


Fig. 9- A comparative diagram of head over the modern and classic horseshoe and rectangular spillways
شکل ۹- نمودار مقایسه‌ای هد روی سرریزهای نعل اسبی مدرن و کلاسیک و سرریز مستطیلی

BaniHashemi M, Mehrani S (2008) Analysis of optimum design criteria for Labyrinth Weirs. Of 4th National Congress on Civil Engineering, 7-8 May, Tehran university, Iran (In Persian)

Crookston BM (2010) Labyrinth Weirs. PH.D thesis, Utah State University 156-162

Falvey H T (2003) Hydraulic design of labyrinth weirs. ASCE, USA

Hasanzadeh Vayghan V, Mohammadi M A, Manafpour M (2015) Experimental study of the effect of bed opening on the hydraulic characteristics of horseshoe spillways. 14th conference of Hydraulic Engineering, 11-13 November, Sistan and baluchestan university, Iran (In Persian)

Heller V (2011) Scale effects in physical hydraulic engineering models. Journal of Hydraulic Research 49(3):293-306

Khatsuria R M (2005) Hydraulics of spillways and energydissipators. Marcel Dekker 197-216

Tiwari H, Sharma N (2015) Developments to improve hydraulic competence of spillways. International Conference on Water Resources, ScienceDirect, 841-846

Mehraein M, Ghodsian M (2013) Discussion of experimental studies on flow over labyrinth weir by Khode BV, Tembhurkar A R, Porey P D, Ingle R N. Journal of irrigation drainage engineering 139(12):1056-1056

Novak P, Guinot V, Jeffrey A, Reeve D (2010) Hydraulic modelling an introduction. Spon Press

۶- نتیجه گیری

نتایج این تحقیق گویای آن است که ایجاد سرریز داخلی در مرکز سرریز کلاسیک باعث کاهش هد روی سرریز برای یک دبی ثابت، می‌شود. با استفاده از تحلیل ابعادی اعداد بی‌بعد مؤثر در ضریب دبی سرریز داخلی C_0 بدست آمد و از بررسی آنها مشخص گردید که C_0 با افزایش h/L_w در سرریز با مقیاس‌های ۱:۵ و ۲:۵ افزایش می‌یابد. با افزایش مقیاس سرریز داخلی، نسبت Q_1/Q_2 کاهش می‌یابد و با افزایش نسبت Q_1/Q_2 ضریب دبی سرریز داخلی (C_0) کاهش می‌یابد. با مقیاسه درصد دبی عبوری از سرریز داخلی با مقیاس‌های ۱:۵ و ۲:۵، مشخص می‌گردد که با افزایش L_w ، میزان دبی عبوری از سرریز داخلی کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق گویای آن است که با افزایش مقیاس سرریز داخلی از ۱:۱۰ تا ۲:۵، هد روی سرریز نعل اسبی مدرن در یک دبی ثابت نسبت به هد روی سرریز نعل اسبی کلاسیک به ترتیب ۳، ۹ و ۲۲ درصد کاهش می‌یابد. این کاهش نسبت به سرریز مستطیلی (با طول برابر با قطر قوس سرریز نعل اسبی) به ترتیب ۴۴، ۴۸ و ۵۶ درصد می‌باشد. با توجه به نتایج می‌توان بیان نمود که سرریز نعل اسبی مدرن با سرریز داخلی به مقیاس ۱:۲/۵ بهترین عملکرد هیدرولیکی را دارا است.

۷- مراجع

Aydin C M (2011) CFD simulation of free-surface flow over triangular labyrinth side weir. Journal of Advances in Engineering Software 45:159-166