

بررسی عددی تاثیر شکل تاج بر ضریب آبگذری در سرریزهای کنگره- ای قوسی با پلان ذورنقه‌ای

علی قلی زاده^۱، مسعود قدسیان^۲، روزبه پناهی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس
۲. استاد، مهندسی آب، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس
۳. استادیار، سازه های دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

ghods@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۱۰/۲۷]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۲/۲]

چکیده - سرریزها نقش تعیین کننده‌ای در ایمنی سدها داشته و بخش قابل توجهی از هزینه‌های مربوط به ساخت سد را به خود اختصاص می‌دهند. کارشناسان برای اطمینان از ایمنی سدها مجبور به انتخاب سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا، بعنوان سیلاب طراحی سرریزها هستند. افزایش ظرفیت سرریز از طریق افزایش عرض آن، همواره میسر نمی‌باشد، چراکه شرایط توپوگرافی محل احداث سرریز می‌تواند عاملی محدودکننده در انتخاب طول تاج آن باشد. در این میان یکی از راه‌های افزایش ظرفیت آبگذری سرریزها، استفاده از سرریزهای کنگره‌ای است که از طریق افزایش طول مؤثر تاج در یک عرض مشخص، دبی بیشتری را به ازای یک بار هیدرولیکی یکسان از خود عبور می‌دهند. ضریب آبگذری تابعی از ارتفاع کل جریان، ارتفاع سرریز، ضخامت سرریز و شکل پروفیل تاج است. در این مقاله، با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D، روند تغییرات ضریب آبگذری برای تاج نیم‌دایره، ربع‌دایره، مسطح و لبه تیز با توجه به طول‌های مختلف سرریز کنگره‌ای قوسی، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که عواملی همچون استغراق موضعی، تأثیر منفی روی عملکرد سرریزهای کنگره‌ای قوسی دارد. همچنین، بررسی اشکال مختلف تاج سرریز نشان داد که شکل تاج نیم‌دایره می‌تواند ظرفیت آبگذری سرریز را تا حدود ۲۲٪ نسبت به شکل‌های دیگر افزایش دهد.

واژگان کلیدی: سد، سرریز کنگره‌ای، شکل تاج، ضریب آبگذری جریان، نرم افزار FLOW-3D.

۱- مقدمه

$$Q = \frac{2}{3} C_d L_c \sqrt{2g} H_0^{1.5} \quad (1)$$

در رابطه فوق، Q دبی، C_d ضریب آبگذری، L_c طول مؤثر تاج سرریز، H_0 بار هیدرولیکی کل نسبت به تراز تاج در بالادست سرریز و g شتاب ثقل است [۱].

نخستین تحقیقات جدی بر روی سرریزهای کنگره‌ای توسط تیلور^۱ (۱۹۶۸) و هی^۲ و تیلور (۱۹۷۰) به انجام رسید. آنان برای نشان دادن عملکرد سرریزهای کنگره‌ای از نسبت دبی سرریز کنگره‌ای به دبی سرریز خطی استفاده کردند. در منحنی - های طراحی ارائه شده توسط ایشان ارتفاع هیدرواستاتیک

مدیریت و انتقال آب یکی از مباحث مهم در طول توسعه تمدن بشر می‌باشد. برای پاسخ‌گویی به نیازها، سازه‌های هیدرولیکی متنوعی طراحی و ساخته شده است. یکی از سازه‌های متداول در بسیاری از سدها و کانال‌های انتقال آب، سرریزها می‌باشند که به منظور تخلیه، اندازه‌گیری و کنترل سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرند تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص تاثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بر ضریب آبگذری و دبی عبوری از روی سرریزها انجام شده است. رابطه عمومی سرریزهای مستطیلی بشکل زیر می‌باشد:

1 Talor
2 Hay

جریان (h)، به عنوان بار مؤثر بر روی سرریز لحاظ شده بود [۳ و ۲]. دارواس^۱ (۱۹۷۱) نتایج تحقیقات خود را بشکل ساده‌تر و مستقل از برآورد دبی سرریز خطی ارائه کرد. این محقق همچنین یک دسته منحنی برای طراحی سرریزهای دوزنقه‌ای شکل با تاج ربع دایره‌ای ارائه نمود [۴].

میر^۲ (۱۹۸۰) اعلام کرد که دبی واقعی کمتر از میزانی است که با استفاده از روش هی و تیلور بدست می‌آید [۵]. هاستون^۳ (۱۹۸۲) این اختلاف را ناشی از تعریف بار هیدرولیکی بر روی سرریز دانست و بیان داشت که بایستی هد نظیر سرعت $(V^2/2g)$ را به بار هیدرواستاتیک اضافه کرد و بر این اساس منحنی‌های طراحی جدیدی ارائه نمود [۶]. لاکس و هینچلیف^۴ (۱۹۸۵) و لاکس (۱۹۸۹) با استفاده از تحلیل ابعادی و انجام آزمایش‌ها، نمودارها و روش طراحی را برای سرریز کنگره‌ای ارائه کردند [۷ و ۸].

تولیس و همکارانش^۵ (۱۹۹۵) اعلام کردند که دبی یک سرریز کنگره‌ای تابعی است از بار هیدرولیکی کل، طول مؤثر تاج و ضریب آبگذری؛ که ضریب آبگذری خود به بار هیدرولیکی کل، ارتفاع سرریز، ضخامت دیوار، شکل تاج، نوع و شکل رأس تاج و زاویه دیوارهای سرریز وابسته است. آنان ضمن بررسی تأثیر این پارامترها بر عملکرد سرریزهای کنگره‌ای نمودارهای جدیدی ارائه دادند [۱]. قدسیان و شنوایی (۱۳۷۹)، تحقیقاتی را بمنظور بررسی تأثیر طول و شکل تاج بر روی ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای مثلثی شکل در پلان انجام دادند. آنان بیان کردند که با افزایش طول تاج در یک عرض مشخص، خطوط جریان عبوری از روی سرریز مسیر طولانی‌تر و غیرمستقیمی را طی کرده که کاهش ضریب آبگذری را به همراه دارد. ضمن آنکه در بارهای هیدرولیکی بالا که کارایی سرریز کنگره‌ای کاهش می‌یابد، شکل تاج تأثیر چندانی بر عملکرد سرریز ندارد [۹ و ۱۰].

جعفری ندوشن (۱۳۸۹) با استفاده از مدل فازی - عصبی و

الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی هندسه سرریزهای کنگره‌ای پرداخت و اعلام داشت که سرریزکنگره‌ای دوزنقه‌ای در مقایسه با نوع مثلثی، از لحاظ اقتصادی گزینه مناسب‌تری است. در ضمن با استفاده از داده‌های حاصل از روش CFD و بر اساس طول‌های مختلف دماغه، روشی را برای طراحی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای ارائه نمود [۱۱]. خوده و همکارانش^۶ (۲۰۱۲) با هدف فراهم کردن دامنه اختیار بیشتر در طرح سرریزهای کنگره‌ای، دسته‌ای دیگر از منحنی‌های طراحی را در محدوده وسیع‌تری از زاویه دیوار جانبی سرریز ارائه دادند [۱۲]. کورکستون و تولیس^۷ (۲۰۱۲) پیرو تحقیقات هاستون (۱۹۸۳) در مورد توسعه سرریز کنگره‌ای به داخل مخزن، حالات مختلف قرارگیری سرریز در داخل مخزن را مورد بررسی قرار دادند. این محققین با مشاهده عملکرد بهتر سرریزهای کنگره‌ای قوسی، این پدیده را در نتیجه جهت‌گیری بهتر سیکل‌های سرریز نسبت به جریان ورودی عنوان کردند [۱۳]. سنگ سفیدی (۱۳۹۲) با بررسی آزمایشگاهی پارامترهای مؤثر بر ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای قوسی نشان داد که استفاده از این نوع سرریز می‌تواند ظرفیت آبگذری را تا حدود ۴/۵ برابر افزایش دهد [۱۴]. کریستنسن^۸ (۲۰۱۳) ضمن بررسی میدان جریان ورودی به سرریزهای قوسی کنگره‌ای، تأثیر تعداد سیکل‌ها بر روی عملکرد این نوع سرریزها را مورد تحقیق قرار داد و نتیجه گرفت که با افزایش تعداد سیکل‌ها، ضریب آبگذری کاهش می‌یابد [۱۵].

بر اساس بررسی تحقیقات گذشته، تا کنون مطالعات کاملی بر روی سرریزهای کنگره‌ای قوسی به انجام نرسیده است. از آنجایی که سرریزهای کنگره‌ای قوسی بعنوان یکی از گزینه‌های افزایش طول سرریز مطرح می‌باشد، در این تحقیق ضمن معرفی پارامترهای اثرگذار بر عملکرد سرریزهای کنگره‌ای قوسی، با توسعه سرریز به داخل مخزن، اثر شکل تاج، زاویه دیواره سرریز و بار هیدرولیکی بالادست بر عملکرد هیدرولیکی و ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای قوسی قرار

1 Darvas

2 Mayer

3 Houston

4 Lux and Hinchliff

5 Tullis et al.

6 Khode et al.

7 Crookston and Tullis

8 Christensen

گرفته در داخل مخزن مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- آنالیز ابعادی

آنالیز ابعادی در واقع رابطی بین مدل آزمایشگاهی و نمونه واقعی موجود در طبیعت است که هدف از انجام آن تعیین اعداد بدون بعدی است که ممکن است بر پدیده مورد نظر تأثیر گذار باشند. روش‌های مختلفی برای آنالیز ابعادی وجود دارد که در این تحقیق از تئوری π باکینگهام^۱ استفاده شده است.

شکل (۱) پلان و مقطع طولی یک سرریز کنگره‌ای قوسی را نشان می‌دهد. زاویه انحنا (θ) و شعاع قوس (R) از جمله پارامترهای خاص سرریز قوسی هستند که در این شکل نمایش داده شده‌اند.

شکل ۱. پلان و مقطع طولی یک سرریز کنگره‌ای قوسی [۱۳]

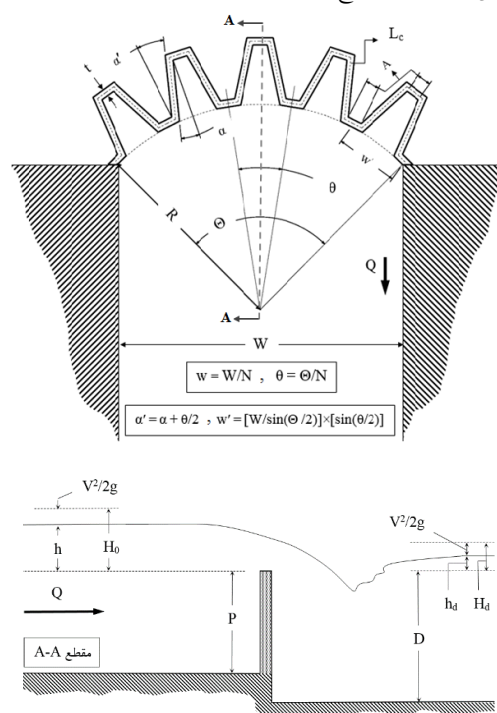


Fig. 1. Plan and longitudinal section of an arced labyrinth weir [13]

بطور کلی کمیت‌های مؤثر در آبگذری سرریزهای

قوسی را می‌توان بشکل زیر ارائه نمود:

$$Q = f(H_0, P, D, L_c, t, \theta, W, S_0, g, \rho, \mu, \sigma, S_e) \quad (2)$$

که P اختلاف ارتفاع تاج سرریز از بستر بالادست، D اختلاف ارتفاع تاج سرریز از بستر پایین‌دست، t ضخامت سرریز، W عرض سرریز، S_0 شیب کف، ρ جرم مخصوص سیال، μ لزجت دینامیکی سیال، σ ضریب کشش سطحی سیال و S_e فاکتور تعیین‌کننده شکل مقطع تاج است. با توجه به تراکم ناپذیری جریان در سرریزها، می‌توان از تأثیر تغییر جرم مخصوص (ρ) در آبگذری سرریز صرف‌نظر نمود.

چنانچه جریان در محدوده آشفته و عمق جریان بر روی سرریز بنا به توصیه‌ی انجمن مهندسين عمران آمریکا (۲۰۰۰)، از ۲/۵ سانتی‌متر کمتر نباشد، می‌توان از اثر نیروی لزجت و کشش سطحی چشم‌پوشی کرد.

بدین ترتیب معادله (۲) به شکل زیر در می‌آید:

$$Q = f(H_0, P, D, L_c, t, \theta, W, S_0, g, S_e) \quad (3)$$

مطابق با معادله (۴) طول مؤثر تاج سرریز قوسی (L_c)، تابعی وابسته به زاویه انحنا (θ)، عرض (W)، ضخامت دیوار (t)، زاویه دیوار (α) و تعداد سیکل‌های سرریز (N) می‌باشد.

$$L_c = N(A_{c-up} + A_{c-down} + 2L_c) = f(\theta, W, t, \alpha, N) \quad (4)$$

که در این معادله داریم:

$$A_{c-down} = A + t \tan(45 - \frac{\alpha'}{2}) \quad A_{c-up} = A + t \tan(45 - \frac{\alpha}{2})$$

$$\alpha' = \alpha + \frac{\theta}{2N}$$

$$R = \frac{W}{2 \sin(\frac{\theta}{2})}$$

$$L_c = \frac{\left(\left(R + \frac{t}{2} + \frac{A_{c-down}}{2} \tan\left(\frac{\theta}{2N}\right) \right) \sin\left(\frac{\theta}{2N}\right) - \left[\frac{A_{c-down}}{2 \cos(\frac{\theta}{2N})} + \frac{A_{c-up}}{2} \right] \right)}{\sin(\alpha)}$$

با استفاده از تحلیل ابعادی و پس از ترکیب سازی می‌توان نشان داد:

$$f\left(\frac{Q}{L_c \sqrt{g H_0^{1.5}}}, \frac{H_0}{P}, \frac{w}{P}, \frac{t}{P}, \frac{D}{P}, \frac{H_d}{H_0}, \frac{A}{t}, N, \theta, \alpha, S_0, S_e\right) = 0 \quad (5)$$

معادله فوق رابطه کلی پارامترهای بدون بعد در یک سرریز قوسی کنگره‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه زاویه انحنا قوس و شیب کف ثابت بوده، پارامترهای θ و S_0 قابل

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(U_i A_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + f_i \quad (11)$$

در معادلات بالا، u ، v و w به ترتیب سرعت در راستای x ، y و z ، V_F ، نسب حجم مایع در هر المان، A_x ، A_y و A_z مساحت جزئی روی وجوه هر المان که سیال در آن جریان دارد، ρ چگالی سیال، P فشار، g_i نیروی گرانش در راستای i و f_i تنش رینولدز است در حالتی که از مدل آشفتگی استفاده می‌کنیم. در المان‌هایی که پر از مایع است، V_F و A_j (سطح جانبی المان)، برابر ۱ است؛ بنابراین معادلات به معادلات پایه پیوستگی و ناویر-استوکس^۳ برای جریان‌های تراکم ناپذیر تبدیل می‌شود.

۳-۲- معادلات حاکم بر روش حجم سیال

به منظور تعیین سطح آزاد به روش حجم سیال از یک تابع به نام جزء حجم سیال^۴ (F) استفاده می‌شود. شکل دیفرانسیلی تابع F در حالت سه بعدی در رابطه (۱۲) نشان داده شده است [۱۸]:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (12)$$

۳-۳- معادلات آشفتگی

برای مدل کردن آشفتگی، از مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ حالت RNG^۵ استفاده شده است. در این مدل، یک ترم اضافی در معادله ε وارد می‌شود که باعث افزایش دقت محاسباتی در جریان کرنشی می‌شود. این مدل نسبت به مدل استاندارد، در جریان چرخشی، کارایی بیشتری دارد و برخلاف مدل استاندارد، برای تعیین اعداد آشفتگی پرانتل از رابطه تحلیلی استفاده می‌شود. بدین ترتیب این مدل در اعداد رینولدز پایین دقت مناسبی دارد. به همین دلیل از این مدل در تعیین مقادیر آشفتگی جریان، در میدان‌های دارای انحنا یا پیچیدگی هندسی، بیشتر استفاده می‌کنند. معادلات حاکم در این مدل به صورت معادلات (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) نشان داده شده است.

صرف نظر کردن می‌باشد. سرریزها در تمامی مدل‌ها بصورت آزاد عمل کرده و در نتیجه پارامتر H_d/H_0 از معادله (۵) حذف می‌گردد. با توجه به اینکه عرض کانال تخلیه، تعداد سیکل‌ها، طول وجه داخلی دماغه، ارتفاع و ضخامت سرریزها ثابت و نیز ارتفاع سرریز در بالادست و پایین دست برابر بودند، پارامترهای D/P و t/P ، A/t ، N ، w/P هم از معادله (۵) حذف شده و رابطه ساده شده زیر بدست می‌آید:

$$f \left(\frac{Q}{L_c \sqrt{g H_0^{1.5}}}, \frac{H_0}{P}, \alpha, S_e \right) = 0 \quad (6)$$

یا:

$$\frac{Q}{L_c \sqrt{g H_0^{1.5}}} = f \left(\frac{H_0}{P}, \alpha, S_e \right) \quad (7)$$

ضریب آبگذری از معادله (۱) و بشکل زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_d = \frac{3Q}{2 L_c \sqrt{2 g H_0^{1.5}}} \quad (8)$$

با مقایسه معادلات (۷) و (۸) و توجه به این نکته که پارامترهای بدون بعد را می‌توان در یک عدد ثابت ضرب و یا به توان یک عدد ثابت رساند، خواهیم داشت:

$$C_d = f \left(\frac{H_0}{P}, \alpha, S_e \right) \quad (9)$$

در این مقاله تأثیر پارامترهای فوق بر ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای قوسی مورد بررسی قرار گرفته است.

۳- معادلات حاکم

۳-۱- معادلات پیوستگی و مومنتم

معادلات حاکم عبارتند از، معادلات پیوستگی (۱۰) و مومنتم (۱۱) که با در نظر گرفتن متغیرهای VOF^1 و $FAVOR^2$ و با فرض سیال لزج و جریان تراکم ناپذیر به شکل زیر ارائه شده است [۱۷ و ۱۶].

$$\frac{\partial}{\partial x} (u A_x) + \frac{\partial}{\partial y} (v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (w A_z) = 0 \quad (10)$$

3 Navier-Stokes

4 Volume of fraction

5 Renormalized group theory

1 Volume of fluid

2 Fractional of area/Volume representation

تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط فلوساینس^۱ صورت گرفته است. این نرم افزار برای تحقیق در مورد رفتار یک، دو و سه بعدی دینامیکی سیالات در محدوده کاربردی وسیعی طراحی شده است. یکی از قابلیت های عمده این نرم افزار برای آنالیزهای هیدرولیکی، توانائی مدل کردن جریان های با سطح آزاد با روش VOF می باشد. این روش توسط هرت و نیکلس^۲ (۱۹۸۱) گزارش شده است.

FLOW-3D، از یک شبکه متشکل از سلول های مستطیلی استفاده می کند. این شبکه دارای مزایایی برای تولید آسان و نظم مناسب برای بهبود بخشیدن به شبیه سازی عددی است. این نرم افزار معادله های حاکم بر حرکت سیال را با استفاده از تقریب احجام محدود حل می کند و همه متغیرها در مرکز سلول حساب می شوند، به جز سرعت که در مرکز وجوه سلول حساب می شود [۱۷ و ۱۸].

ه- شبکه بندی محدوده جریان و شرایط مرزی

یکی از مسایل اصلی در حل عددی معادلات با مشتقات جزئی ایجاد شبکه بندی مناسب می باشد. با ایجاد یک شبکه بندی مناسب می توان حل یک سیستم معادلات دیفرانسیل را تا حد زیادی ساده نمود و بالعکس انتخاب نامناسب شبکه می تواند باعث ناپایداری یا عدم همگرایی در محاسبات گردد. در همین زمینه الگوهای شبکه بندی مختلفی بررسی شد تا یک شبکه بندی مناسب حاصل گردید. برای تنظیم شبکه بندی میدان حل، در ابتدا از یک شبکه درشت و یکنواخت استفاده شد، سپس شبکه بندی مورد نظر در چندین مرحله ریزتر شد تا به یک مقدار معینی رسید که در آن حدود تغییرات پارامترهای انتخاب شده برای بررسی، از مقدار مشخصی تجاوز نمی کرد، رسید. از این به بعد نتایج مستقل از شبکه نامیده می شود. بعد از دست یافتن به اندازه شبکه مورد نیاز، در نواحی با گرادیان سرعت بالا (محدوده ی سرریز) از شبکه ریزتر استفاده شد و در سایر نواحی شبکه درشت تر در نظر گرفته شد. اندازه شبکه در ارتفاع نیز به این صورت در نظر گرفته شد که در محدوده تاج

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \quad (13)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right\} \quad (14)$$

$$+ C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R$$

$$R = \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \frac{\eta}{\eta_0})}{1 + \beta \eta^3} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (15)$$

μ_{eff} لزجت گردابه ای موثر، α_k و α_ε مقادیر معکوس عدد پرانتل آشفتگی است که در جریان هایی با عدد رینولدز بالا تقریباً برابر $1/3.33$ است؛ G_k و G_b چشمه معادله ε و k است که به ترتیب اثر شناوری و شیب سرعت میانگین را در معادله اعمال می کنند. معادله (۱۳) و (۱۴) را به ترتیب معادله انتقال k و ε می نامند. عبارت R اضافه شده به معادله ε در مدل RNG نسبت به مدل حالت استاندارد، باعث اصلاح این معادله در نواحی با نرخ کرنش زیاد، شده است. ثابت های استفاده شده در روابط بالا در جدول (۱) آورده شده است. در معادله (۱۵)، مقدار η برابر است با $\frac{Sk}{\varepsilon}$ و S بیانگر نرخ کرنش متوسط است که رابطه آن برحسب نرخ کرنش متوسط در معادله (۱۶) و (۱۷) آورده شده است [۱۶].

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (16)$$

$$S = \sqrt{2 S_{ij}^2} \quad (17)$$

جدول (۱) ضرایب ثابت برای مدل $k-\varepsilon$ حالت RNG [16]

$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	$C_{3\varepsilon}$	C_μ	η_0	β
1.42	1.68	1	0.0845	4.377	0.012

Table 1. Coefficients of RNG $k-\varepsilon$ model

۴- معرفی نرم افزار FLOW-3D

FLOW-3D نرم افزار قوی در زمینه دینامیک سیالات می باشد که

1 Flow science

2 Hirt and Nichols

۶- صحت سنجی نتایج حاصل از مدل سازی عددی

به منظور صحت سنجی نتایج عددی، از مدل آزمایشگاهی تولیس و کروکستون (۲۰۱۲) استفاده شد. در جدول (۳) مشخصات این مدل آزمایشگاهی ارائه شده است [۱۹]. لازم به ذکر است که برای این مدل سازی از یک سیستم با مشخصاتی شامل CPU (Core i7) با قدرت 3.5 GHZ، حافظه 8GB (RAM) استفاده شد.

جدول (۴) مقایسه دبی محاسبه شده و دبی اندازه گیری شده و مقدار خطای ناشی از حل عددی با نرم افزار Flow-3D را نشان می دهد. در این جدول $Q_{measured}$ دبی آزمایشگاهی و $Q_{numerical}$ دبی حاصل از محاسبات عددی می باشد. نتایج حاصله بیان می کند که تطابق بسیار مناسبی (با حداکثر اختلاف ۳/۲٪) بین مدل عددی و مدل آزمایشگاهی وجود دارد.

همچنین تغییرات ضریب آبگذری برای سرریز مورد مطالعه برحسب H_0/P در شکل (۲) ترسیم گردید. نتایج حاصل نشان دهنده دقت بالای مدل می باشد و به عبارت دیگر می توان گفت که مدل عددی به کار رفته، با نتایج تجربی انطباق قابل قبولی دارد.

شکل ۲. مقایسه نتایج مدل عددی با نتایج ارائه شده توسط کروکستون و تولیس (۲۰۱۲)

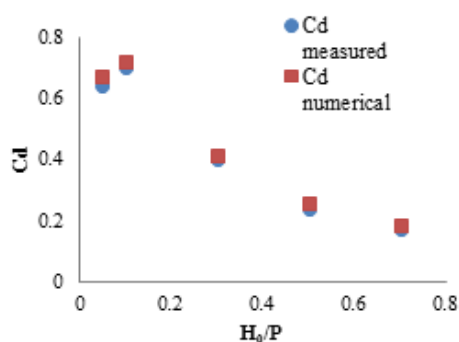


Fig. 2. Comparison of numerical model with data of Crookston and Tullis (۲۰۱۲)

سرریز از شبکه ریز و در نواحی دیگر از شبکه درشت تر استفاده شد. در مدل عددی حاضر پس از بررسی چند مدل، زمان مناسب برای اجرا ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شد. شرایط مرزی به اینصورت تعریف شده که با توجه به در دسترس بودن ارتفاع جریان، در ورودی میدان از شرط مرزی فشار مشخصه با مقدار عددی یک استفاده شده است. برای مرز خروجی میدان یعنی پایین دست کانال خروجی از شرط مرزی فشار با مقدار عددی صفر استفاده شده است که در مقایسه با حالت Outflow از شرایط حل بهتری برخوردار بود. برای شرط مرزی بالا یا Z_{max} نیز از شرط مرزی فشار با مقدار عددی صفر استفاده شد، که در این حالت نیز در مقایسه با حالت قابل قبول شرط مرزی تقارن از شرایط حل بهتری برخوردار است. مرزهای بین شبکه بصورت متقارن و برای سایر سطوح شرط مرزی دیوار صاف در نظر گرفته شد. همچنین برای همگرایی سریع تر مدل عددی در شرایط مرزی اولیه مدل، مقداری از مخزن به اندازه ارتفاع سرریز از سیال پر در نظر گرفته شده است. در جدول (۲) شرایط مرزی و مشخصات شبکه بندی و مدل آشفتگی ارائه شده است.

جدول (۲) مشخصات شبکه بندی، شرایط مرزی و مدل آشفتگی

4	Number of computational blocks	Grids
	Rectangular	
	Type of grids	
3000000	Computational volume	Boundary conditions
Solid	weir	
Specific Pressure ($F = 1$)	Entrance	
Specific Pressure ($F = 0$)	Exit	
Symmetry	Between blocks	Equations
Wall	Lateral boundary	
RNG	Turbulence model	
GMRES	Solution algorithm for equations	
VOF	Free surface model	

Table 2. Characteristics of meshes, boundary conditions and turbulent model

جدول (۳) مشخصات سرریز کنگره ای قوسی با پلان دوزنقه ای استفاده شده جهت صحت سنجی [۱۹]

Model No.	α (°)	Θ (°)	L (m)	P (m)	w (m)	t (m)	A (m)	N	Cycle type	Crest shape	H_0/P
1	6	150	15.376	0.203	0.407	0.025	0.025	5	Trapezoidal	Half-round	0.05-0.7

Table 4. Specifications of trapezoidal arced labyrinth weir used for verification [19]

جدول (۴) مقایسه مقادیر دبی حاصل از مدل عددی با دبی آزمایشگاهی

H_0/P	Q_{measured} (m^3/s)	$Q_{\text{numerical}}$ (m^3/s)	Error%
0.05	0.03	0.031	2.7
0.1	0.093	0.095	1.9
0.3	0.272	0.278	2.2
0.5	0.36	0.372	3.2
0.7	0.433	0.446	3

Table 4. Comparisons of computed and measured discharge

عرض مشخص، برای نیل به ظرفیت آبدگزی بالاتر به ازای بار هیدرولیکی یکسان می‌باشد. به منظور تعیین اثر H_0/P بر عملکرد سرریزها، از هر هندسه سرریز ۱۱ جریان با بار هیدرولیکی مختلف در محدوده $0.1 \leq H_0/P \leq 0.9$ عبور داده شد تا اثر پارامتر H_0/P بر روی عملکرد سرریز بخوبی بررسی گردد. مشخصات هندسی و هیدرولیکی مدل سرریزهای کنگره‌ای در جدول (۵) ارائه شده است.

۸- تحلیل نتایج

۸-۱- استغراق موضعی در سرریزهای کنگره‌ای

با افزایش بار هیدرولیکی، یک ناحیه تداخل با شروع از رئوس بالادست، در اثر برخورد لایه‌های جریان عبوری از سرریز شکل می‌گیرد. چنانچه ظرفیت آبدگزی سیکل‌های بالادست از ظرفیت آبدگزی سیکل‌های پایین‌دست و کانال تخلیه بیشتر گردد، بخشی از سیکل‌های پایین‌دست که در مجاورت با رئوس بالادست هستند، تحت تأثیر تداخل لایه‌های جریان عبوری از سرریز، غوطه‌ور گشته و سطح آب بصورت موضعی از تاج سرریز بالاتر می‌آید. این ناحیه که استغراق موضعی نامیده شده، مستقل از شرایط عمق پایاب و متفاوت از استغراق معمول است که در آن سطح پایاب از تراز تاج سرریز بالاتر رفته و سرریز بصورت کامل مستغرق می‌گردد. با افزایش بار هیدرولیکی، ناحیه استغراق موضعی رشد کرده و موجب می‌گردد که مقطع کنترل سرریز به سمت پایین‌دست حرکت نماید (شکل ۳). استغراق موضعی تا جایی که سراسر طول سرریز را در برگرفته و سرریز بصورت کامل مستغرق گردد، ادامه می‌یابد.

به ازای زاویه α یکسان، استغراق موضعی برای شکل تاج ربع دایره و لبه تخت به علت تداخل لایه‌های جریان در داخل سیکل‌های سرریز کنگره‌ای خیلی سریعتر از سرریز با شکل تاج نیم دایره اتفاق می‌افتد. در شکل (۴) میزان استغراق موضعی برای شکل تاج نیم‌دایره و ربع‌دایره و برای بار هیدرولیکی $H_0/P=0.2$ و زاویه دیواره $\alpha=6^\circ$ ارائه شده است.

۷- مشخصات هندسی مدل سرریزهای کنگره-

ای قوسی

در تحقیق حاضر، ۴ هندسه سرریز کنگره‌ای با پلان دوزنقه‌ای با ۴ شکل تاج (نیم‌دایره^۱، ربع‌دایره^۲، لبه تیز^۳ و لبه تخت^۴)، که در مجموع ۱۶ هندسه سرریز با پلان و شکل تاج مختلف و با رعایت توصیه‌های محققین پیشین در انتخاب پارامترهای مؤثر بر عملکرد سرریزهای کنگره‌ای قوسی طراحی گردید. سرریزها در داخل مخزن^۵ به ابعاد ۶*۲ متر مدل شده و عرض کانال تخلیه برابر با ۲ متر و تعداد ۵ سیکل برای سرریز کنگره‌ای در نظر گرفته شد. به منظور مشاهده اثر شکل تاج بر آبدگزی جریان ضخامت سرریزها را ۵ سانتی متر و با توجه به نسبت ارتفاع به ضخامت دیواره سرریز ($P/t=8$) در سرریزهای کنگره‌ای ساخته شده در طبیعت، ارتفاع سرریز ۴۰ سانتی متر تعیین شد. بر اساس رابطه $A=2t$ ، طول وجه داخلی دماغه در همه سرریزهای کنگره‌ای مورد آزمایش برابر با ۱۰ سانتی متر انتخاب گردید.

زاویه دیوار سرریز با راستای جریان در پایین دست (α) و زاویه انحنا قوس (Θ) که در واقع تعیین کننده هندسه سرریز در پلان می‌باشند، بترتیب در محدوده $0^\circ \leq \alpha \leq 24^\circ$ و $0^\circ \leq \Theta \leq 150^\circ$ تعیین گردید. پر واضح است که هدف از کنگره‌ای کردن ($\alpha < 90^\circ$) و نیز قوسی نمودن سرریز ($\Theta > 0^\circ$)، افزایش طول آن در یک

- 1 Half-round
- 2 Quarter-round
- 3 Sharp-crest
- 4 Flat-crest
- 5 Projecting

جدول (۵) مشخصات هندسی و هیدرولیکی سرریزهای قوسی کنگره‌ای دوزنقه‌ای

Q (m ³ /s)	H ₀ /P	Crest shape	N	A (m)	t (m)	L _c (m)	P (m)	W (m)	Θ (°)	α (°)	Model
0.05-2	0.1-0.9	HR-QR Sh-Flat	5	0.1	0.05	10.5	0.4	2	150	6	1
		HR-QR Sh-Flat	5	0.1	0.05	6.45	0.4	2	150	12	2
		HR-QR Sh-Flat	5	0.1	0.05	5.04	0.4	2	150	18	3
		HR-QR Sh-Flat	5	0.1	0.05	4.33	0.4	√2	150	24	4

Table 5. Geometric and hydraulic specifications of trapezoidal arced labyrinth weir

استغراق موضعی در $\alpha=6^\circ$ نسبت به $\alpha=18^\circ$ ، برای شکل تاج نیم دایره و نسبت H_0/P یکسان می‌باشد.

شکل ۴. کانتور حجم سیال در تراز تاج سرریز - نمایش استغراق موضعی در سرریز قوسی کنگره‌ای ($H_0/P=0.2$) و $\alpha=6^\circ$:

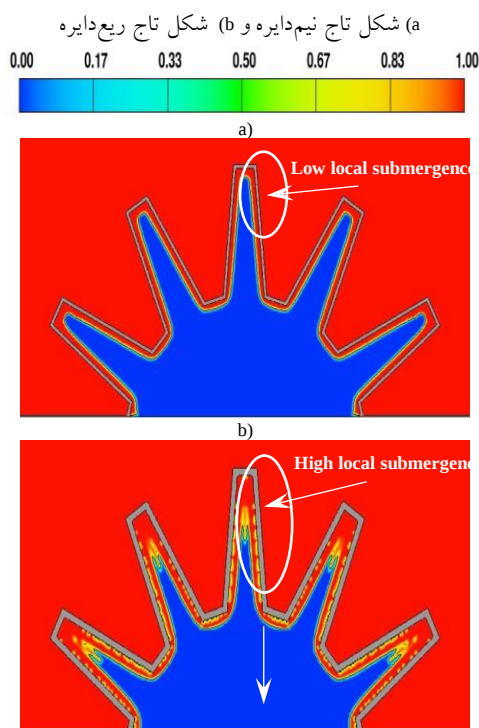


Fig.4. Contours of Fractional fluid showing local submergence at weir crest level; $\alpha = 6^\circ$, $H_0/P=0.2$; a) Half circular crest and b) Quarter round crest

شکل ۳. کانتور حجم سیال^۱ در تراز تاج سرریز - نمایش استغراق موضعی در سرریز قوسی کنگره‌ای ($\alpha=12^\circ$):

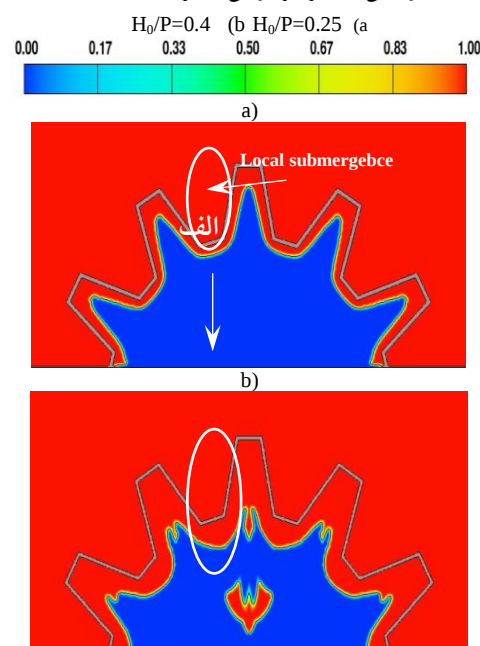


Fig. 3. Contours of Fractional fluid showing local submergence at weir crest level; $\alpha = 12^\circ$; a) $H_0/P=0.25$ and b) $H_0/P=0.4$

همچنین با کاهش زاویه α ، استغراق موضعی در بار هیدرولیکی پایین‌تری رخ می‌دهد؛ چراکه کاهش زاویه α باعث تنگ‌تر شدن مساحت آبگذری بین دیوارهای سرریز در مجاورت با رئوس بالادست می‌گردد. شکل (۵) بیانگر افزایش ابعاد

۸-۲- منحنی‌های ضریب آبگذری

منحنی ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای قوسی با $\theta=150^\circ$ و بازای زاویه دیواره مشخص و شکل تاج‌های متفاوت، در شکل (۶) ارائه شده است. در این شکل HR، QR، SH و Flat به ترتیب معرف شکل تاج نیم‌دایره، ربع‌دایره، لبه تیز و لبه تخت است. این شکل نشان می‌دهد که در بارهای هیدرولیکی کم، سرریز کنگره‌ای عملکرد مناسبی داشته و ضریب آبگذری روند صعودی دارد. اما با افزایش بار هیدرولیکی، تداخل لایه‌های جریان و وقوع استغراق موضعی بر روی عملکرد سرریز کنگره‌ای اثر منفی داشته و ضریب آبگذری پس از رسیدن به حداکثر مقدار خود، سیر نزولی می‌یابد. همچنین بازای تمامی زوایای دیواره سرریز (α)، برای بارهای هیدرولیکی کم ($H_0/P < 0.23$) شکل تاج لبه تیز دارای بیشترین ضریب آبگذری می‌باشد و با افزایش بار هیدرولیکی، سرریز با شکل تاج نیم-دایره عملکرد بهتری داشته و ضریب آبگذری بالاتری نسبت به شکل تاج‌های دیگر دارد.

شکل ۵. کانتور حجم سیال در تراز تاج سرریز - نمایش استغراق موضعی در سرریز قوسی کنگره‌ای با تاج نیم‌دایره

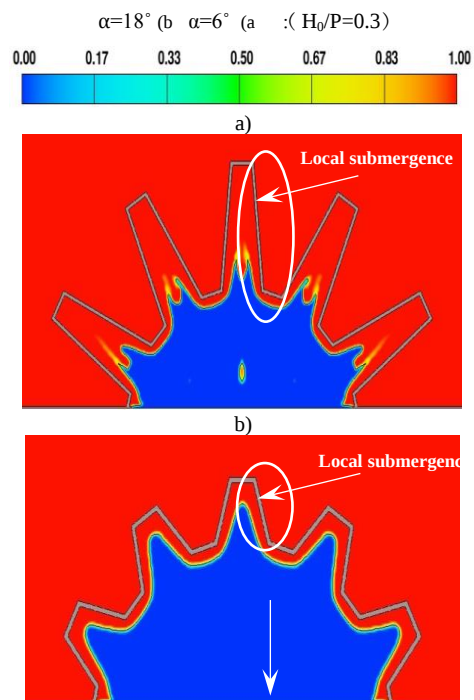


Fig. 5. Contours of Fractional fluid showing local submergence at weir crest level; Half round crest with $H_0/P=0.3$, a) $\alpha=6^\circ$; a) and b) $\alpha=18^\circ$

شکل ۶. منحنی‌های ضریب آبگذری سرریز کنگره‌ای قوسی با $\theta=150^\circ$ و با شکل تاج مختلف بازای:

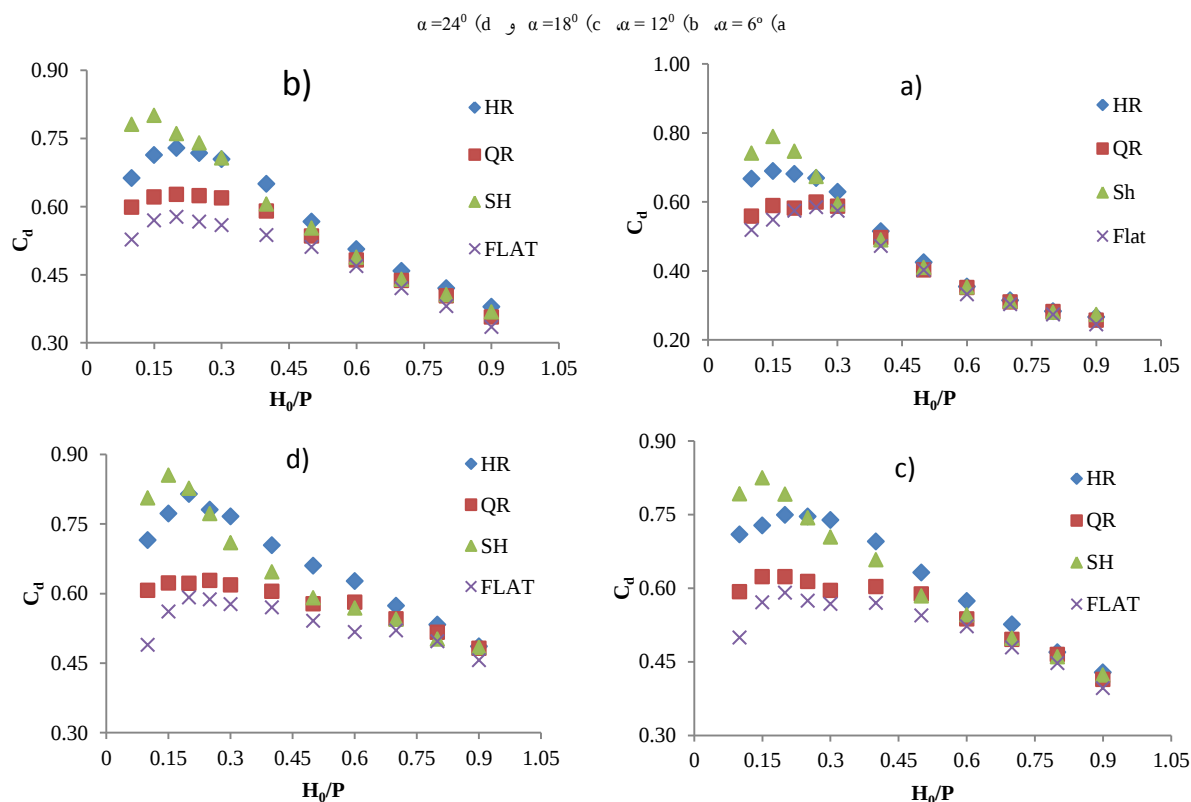


Fig. 6. Discharge coefficients for different crest shape with $\theta=150^\circ$; a) $\alpha=6^\circ$, b) $\alpha=12^\circ$, c) $\alpha=18^\circ$ and d) $\alpha=24^\circ$

شکل ۷. منحنی‌های ضریب آبگذری بر حسب H_0/P برای سرریزهای

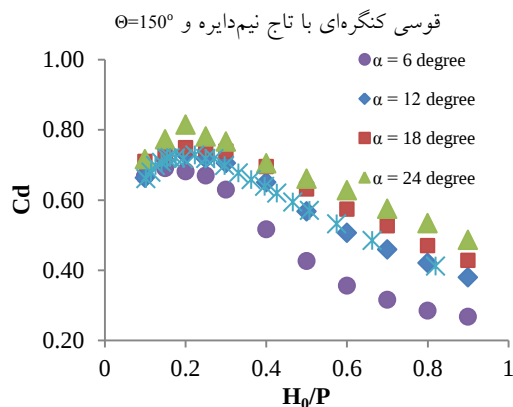


Fig. 7. Discharge coefficient versus H_0/P with half round crest and $\Theta=150^\circ$

۸-۳- منحنی‌های کارایی

مفهوم کارایی به این معنا است که سرریز بتواند به ازای بار هیدرولیکی و عرض ثابت دبی بیشتری را عبور دهد. برخی از محققین سابق پارامتر کارایی را بصورت نسبت دبی سرریز به دبی سرریز خطی (Q/Q_N) تعریف کردند [۲۰]. لیکن در تحقیق حاضر با هدف ساده‌سازی و مستقل ساختن تعریف فوق از دبی سرریز خطی، پارامتر کارایی شبیه کار کرکستون و تولیس (۲۰۱۲) بصورت زیر استفاده شد [۱۹]:

$$\varepsilon = C_d \times \frac{L_c}{W} \quad (18)$$

شکل (۸) منحنی‌های کارایی (ε) سرریزهای کنگره‌ای قوسی با تاج نیم‌دایره را بر اساس زاویه دیواره سرریز (α) و به ازای مقادیر مختلف H_0/P نشان می‌دهد. با توجه به این شکل در بارهای هیدرولیکی بالاتر، برای نیل به مزایای کنگره‌ای کردن نیاز است که حداقل مقدار زاویه α لحاظ گردد. ضمناً با افزایش بار هیدرولیکی، کارایی سرریزها به ازای تمامی مقادیر α در محدوده مورد مطالعه، کاهش می‌یابد. این بدان معناست که با افزایش بار هیدرولیکی، عوامل کاهنده ضریب آبگذری همچون استغراق موضعی، باعث می‌گردند که مزایای کنگره‌ای کردن سرریز رو به زوال نهد؛ به این نحو که در مقادیر خیلی بالای H_0/P سرریز کنگره‌ای همچون یک سرریز خطی عمل خواهد کرد. بار هیدرولیکی $H_0/P=0.1$ به علت اینکه ضریب آبگذری پایینی به ازای تمامی مقادیر α دارد، بنابراین نسب به $H_0/P=0.2$ از کارایی کمتری برخوردار می‌باشد. منحنی‌های

در بارهای هیدرولیکی کم، جریان عبوری از روی سرریز، به بدنه‌ی تاج و دیواره‌ی پایین دست سرریز چسبیده و چسبندگی بین تیغه‌ی جریان عبوری و بدنه سرریز باعث کاهش ضریب آبگذری می‌گردد ولی در شکل تاج لبه تیز جریان عبوری بصورت ریزشی از روی سرریز عبور کرده و چسبندگی بین تیغه‌ی جریان و بدنه سرریز از بین می‌رود. با افزایش بار هیدرولیکی، سرعت جریان عبوری و مومتم جریان افزایش می‌یابد. در سرریز با شکل تاج نیم‌دایره جریان عبوری با مومتم بالا بر چسبندگی بین جریان و بدنه سرریز غلبه کرده و باعث افزایش ضریب آبگذری می‌شود ولی در سرریز با شکل تاج لبه تیز بعثت بالا بودن سرعت جریان عبوری از روی لبه سرریز، باعث تداخل لایه‌های جریان در پایین دست سرریز شده و به تبع آن ضریب آبگذری کاهش می‌یابد. به طور کلی در بارهای هیدرولیکی بالا، شکل تاج تأثیر چندانی بر روی ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای ندارد.

با توجه به شکل (۶) برای بار هیدرولیکی $H_0/P=0.5$ که بار هیدرولیکی طراحی سرریزهای کنگره‌ای می‌باشد [۱۹]، بیشترین میزان افزایش ضریب آبگذری برای شکل تاج نیم دایره، لبه تیز و ربع‌دایره نسبت به شکل تاج تخت بترتیب ۲۲، ۹ و ۷ درصد و مربوط به سرریز با زاویه دیواره $\alpha=24^\circ$ می‌باشد.

شکل (۷) نشان می‌دهد که کاهش زاویه دیوار سرریز (α) باعث کاهش ضریب آبگذری بازای تمامی مقادیر بار هیدرولیکی می‌گردد. کاهش زاویه α ، انحراف دیواره سرریز از حالت عمود بر خطوط جریان بالادست و نیز افزایش ابعاد استغراق موضعی را موجب شده که در نتیجه کاهش ضریب آبگذری را در پی دارد. همچنین میزان کاهش ضریب آبگذری برای سرریز با زاویه‌ی دیواره $\alpha=6^\circ$ به علت استغراق موضعی، خیلی بیشتر و در بارهای هیدرولیکی کمتری اتفاق می‌افتد. مقایسه نتایج حاصل در این تحقیق با نتایج ارائه شده توسط کریستنسن (۲۰۱۲) از تطابق خوب نتایج دو تحقیق حکایت دارد. اختلاف موجود در منحنی‌های ضریب آبگذری به دلیل تفاوت در پارامترهای ضخامت دیواره (t)، طول دماغه سرریز (A) و ارتفاع سرریز (P) می‌باشد.

بر روی عملکرد سرریز کنگره‌ای اثر منفی داشته و ضریب آبگذری پس از رسیدن به حداکثر مقدار خود، سیر نزولی می‌یابد.

- کاهش زاویه دیوار سرریز (α) باعث کاهش ضریب آبگذری بازای تمامی مقادیر بار هیدرولیکی می‌گردد.

- بازای تمامی زوایای دیواره سرریز (α)، برای بارهای هیدرولیکی کم ($H_0/P < 0.23$) شکل تاج لبه تیز دارای بیشترین ضریب آبگذری می‌باشد و با افزایش بار هیدرولیکی، سرریز با شکل تاج نیم‌دایره ضریب آبگذری بالاتری نسبت به شکل تاج‌های دیگر دارد.

- بالاترین کارایی در سرریزهای کنگره‌ای قوسی قرار گرفته در داخل مخزن، در بازه مطالعاتی $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ متعلق به زاویه $\alpha = 60^\circ$ می‌باشد.

References

۱۰- مراجع

- [1] Tullis, J.P., Amanian, N., and Waldron, D., "Design of labyrinth weir spillways", American Society of Civil Engineering, Journal of Hydraulic Engineering, 121(3), 1995, 247-255.
- [2] Talor, G., "The performance of labyrinth weirs", PhD thesis, university of Nottingham, Nottingham, England, 1968.
- [3] Hay, N., Taylor, G., "Performance and design of labyrinth weirs", American Society of Civil Engineering, Journal of Hydraulic Engineering, 96(11), 1970, 2337-2357.
- [4] Darvas, L.A., "Discussion of 'Performance and design of labyrinth weirs,' by Hay and Taylor", American Society of Civil Engineering, Journal of Hydraulic Engineering, 97(80), 1971, 1246-1251.
- [5] Mayer, P.G., "Bartletts Ferry Project, labyrinth weir model studies", Project No. E-20-610, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 1980.
- [6] Houston, K.L., "Hydraulic Model Study of the UTE Dam Labyrinth Spillway", Report No. GR-82-7, U.S. Bureau of Reclamations, Denver, Colo, 1982.
- [7] Lux, F., Hinchliff, D.L., "Design and construction of labyrinth spillways", 15th Congress ICOLD, Vol. IV, Q59-R15, Lausanne, Switzerland, 1985, 249-274.
- [8] Lux, F., "Design and application of labyrinth weirs", Design of Hydraulic Structures 89, Edited by Alberson, M.I., and Kia, R.A., Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1989.

[۹] قدسیان، م؛ شنوایی، ح.، "تأثیر شکل تاج بر ضریب آبگذری در سرریزهای کنگره‌ای مثلی شکل در پلان"،

کارایی (ϵ) همچنین نشان می‌دهند که با کاهش (α) که افزایش طول تاج سرریز کنگره‌ای قوسی را در پی دارد، کارایی آن افزایش می‌یابد؛ بگونه‌ای که در کل محدوده H_0/P مورد مطالعه، بالاترین کارایی متعلق به سرریز کنگره‌ای با زاویه دیواره ($\alpha = 60^\circ$) می‌باشد.

شکل (۸) منحنی‌های کارایی (ϵ) در مقابل α ، برای سرریزهای کنگره‌ای قوسی با تاج نیم‌دایره

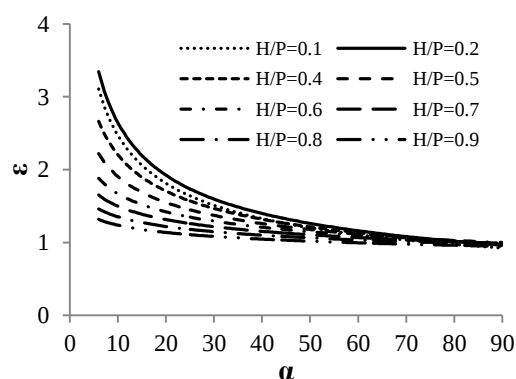


Fig. 8. Efficiency curves ϵ for trapezoidal arced labyrinth weir with half round crest

۹- نتیجه‌گیری

در این مقاله، عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای قوسی دوزنقه‌ای قرار گرفته داخل مخزن به روش دینامیک سیالات محاسباتی بررسی گردید. نتایج حاصله بشرح ذیل می‌باشد:

- برخورد لایه‌های جریان عبوری از سرریز کنگره‌ای می‌تواند باعث استغراق موضعی آن گردد. این ناحیه از رئوس بالادست سرریز شروع شده و با افزایش بار هیدرولیکی می‌تواند سراسر سرریز را در بر گیرد.

- با کاهش زاویه دیواره سرریز (α)، استغراق موضعی در بار هیدرولیکی پایین‌تری رخ می‌دهد.

- به ازای زاویه α یکسان، استغراق موضعی برای شکل تاج ربع دایره و لبه تخت به علت تداخل لایه‌های جریان در داخل سیکل‌های سرریز کنگره‌ای خیلی سریعتر از سرریز با شکل تاج نیم‌دایره اتفاق می‌افتد.

- در بارهای هیدرولیکی کم، سرریز کنگره‌ای عملکرد مناسبی داشته و ضریب آبگذری روند صعودی دارد. اما با افزایش بار هیدرولیکی، تداخل لایه‌های جریان و وقوع استغراق موضعی

[۱۴] سنگ سفیدی، ی.، "بررسی آزمایشگاهی ضریب آبگذری جریان در سرریزهای کنگره‌ای قوسی با پلان دوزنقه‌ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۲.

[15] Christensen, N.A., "Flow Characteristics of Arced Labyrinth Weirs", MSc thesis, Utah State University, Logan, Utah, 2013.

[16] Versteeg, H.K, Malalasekera, W, "An introduction to Computational Fluid Dynamics" The Finite Volume Method, Second Edition, 2007.

[17] F.Science, "Flow-3D User's manual", 2008.

[18] Hirt, C. W. and B. D. Nichols., "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries." Journal of computational physics 39(1), 1981, 201-225.

[19] Crookston, B.M., Tullis, B.P., "Arced Labyrinth Weirs", American Society of Civil Engineering, Journal of Hydraulic Engineering, 138(6), 2012, 555-562.

[20] Kumar, S., Ahmad, Z., Mansoor, T., Himanshu S.K., "Discharge Characteristics of Sharp Crested Weir of Curved Plan-form", Research Journal of Engineering Sciences, 1(4), 2012, 16-20.

کنفرانس بین‌المللی سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۰.

[۱۰] قدسیان، م؛ شنوایی، ح.، "تأثیر طول تاج بر ضریب آبگذری در سرریزهای کنگره‌ای مثلثی با تاج ربع دایره"، چهارمین کنفرانس سدسازی، تهران، ۱۳۷۹.

[۱۱] جعفری ندوشن، ا.، "بررسی ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای به روش CFD و بهینه‌سازی هندسه سرریز با استفاده از مدل فازی-عصبی و الگوریتم ژنتیک"، پایان نامه کارشناسی ارشد، سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۹.

[12] Khode, B.V., Tembhurkar, A.R., Porey, P.D., Ingle, R.N., "Experimental Studies on Flow over Labyrinth Weir", American Society of Civil Engineering, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138(6), 2012, 548-552.

[13] Crookston, B.M., Tullis, B.P., "Discharge Efficiency of Reservoir-Application-Specific Labyrinth Weirs", American Society of Civil Engineering, Journal of Hydraulic Engineering, 138(6), 2012, 564-568.

Numerical study of effect of Crest shape on Discharge Coefficient of Trapezoidal Arced Labyrinth Weir

A. Gholizadeh¹, M. Ghodsian^{2*}, R. Panahi³

1- M.Sc. of Water Engineering, Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University

2- Professor of Hydraulic Engineering, Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University

3- Assistant Professor of Marine Structures, Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University

ghods@modares.ac.ir

Abstract:

Weirs have important roles in dam safety since they should spill floods with high return period. Designers generally enhance width of the weirs to increase the discharge capacity. In some cases, this procedure involves topography as well as economic limitations. Here, arced weirs can be considered as an alternative. In plan view, arced weir is part of a circle that increases the crest length for a given channel width. This also increases the flow capacity at a similar heads. Such structures are also recommended for modification and increasing the capacity of the existing spillways. Discharge capacity of labyrinth weirs is a function of flow height, effective crest length, height of weir and shape of the crest. Discharge coefficient is also a function of height of flow, height of weir, weir thickness and crest shape. In this study, hydraulic characteristics of arced labyrinth spillways are numerically investigated. Here, the effect of crest shape on the discharge coefficient of labyrinth spillway is included. In the first step, dimensionless parameters affecting the performance of arced weirs are introduced using Buckingham π theorem. To analyze this problem, a commercially available CFD code; Flow 3D by Flow Science; is adopted. Flow 3D is known for its ability to track the free surface accurately with the aid of the Volume of Fluid (VOF) method. A similar method called Fractional Area to Volume Ratio (FAVOR) is used to define labyrinth within the model. Also, Reynolds averaged Navier Stokes (RANS) equations are solved using a finite volume method. Besides, The Renormalized Group Theory (RNG) model is implemented for turbulent simulations. The laboratory data of Crookston and Tullis (2012a) is used to validate the numerical model. These researchers conducted experiments on physical modeling of the labyrinth spillways at the Utah Water Research Laboratory at Utah State University. Comparison of numerical simulations with those of experimental results validates the ability of this software to simulate the complex flow over labyrinth spillways with an acceptable accuracy. In this study, results of 16 geometry models are used to develop a hydraulic design and analysis formulation for arced labyrinth weirs. Discharge coefficient data for Half-Round, Quarter-Round, Sharp-crest and Flat-crest arced labyrinth weirs are presented for $6^\circ \leq \text{sidewall angles} \leq 24^\circ$ and various head water ratio ($0.1 \leq H_0/P \leq 0.9$). According to the results, half round crest shape could increase the discharge coefficient about 22% compared to other crest shapes. However, the results show that factors such as local submergence and nappe interference near an upstream apex affect the performance of arced labyrinth weirs negatively. The local submergence area is directly related to the flow head, crest shape and sidewall angle. For high head conditions, the local submergence may decrease the efficiency of a labyrinth spillway. Efficiency parameter is defined as the ratio of discharge of arced weir to that of liner weir with the same width. Efficiency curves indicate that reduce of sidewall angle can improve the efficiency. As a result, the highest efficiency value is related to the arced labyrinth spillway with sidewall angle ($\alpha = 6^\circ$).

Keywords: Dam, Labyrinth weir, Crest shape, discharge coefficient, FLOW-3D