

بررسی عددی ضریب دبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه با تغییر زاویه در امتداد جریان با استفاده از مدل Flow3D

نازلی میرزائی^{۱*}، ابراهیم اسدی^۲ و اکرم عباسپور^۳

چکیده

سرریزهای کنگره‌ای از سازه‌های هیدرولیکی هستند که برای تنظیم سطح آب و کنترل جریان در مخازن سدها، کانال‌ها و رودخانه‌ها استفاده می‌شوند. دبی جریان در سرریزها به‌طور مستقیم با طول تاج سرریز متناسب است. در صورتی که عرض کانال یا مخزنی که سرریز روی آن اجرا می‌شود محدود باشد، یکی از راهکارهای افزایش ظرفیت، افزایش طول تاج سرریز با زیگزاگ کردن سرریز در پلان است. در این پژوهش، عملکرد سرریز کنگره‌ای با مقطع دوزنقه‌ای، با زوایای مختلف دیواره سرریز (α) مورد بررسی قرار گرفت. هندسه سرریزها در محیط نرم‌افزار Inventor ایجاد و با فراخوانی در نرم‌افزار Flow3D، شبیه‌سازی انجام شد. به‌منظور صحت‌سنجی شبیه‌سازی و تنظیم پارامترهای نرم‌افزار، از داده‌های آزمایشگاهی معتبر استفاده شد که نتایج مدل هماهنگی مناسبی با نتایج داده‌های آزمایشگاهی داشت. تحلیل نتایج نشان داد که افزایش زاویه سرریز در امتداد جریان و در طول دماغه ثابت، سبب افزایش ضریب دبی جریان (C_d) می‌شود. رابطه معکوس بین مقدار بار هیدرولیکی نسبی جریان (h/p) و ضریب دبی جریان نیز مشخص شد. با افزایش طول دماغه به مقدار ۴۰ درصد، روند افزایش ضریب دبی به‌واسطه افزایش زاویه سرریز، به میزان ۹ درصد کاهش یافت. افزایش ۱۵ درجه‌ای زاویه نیز، روند افزایش ضریب دبی به‌واسطه افزایش طول دماغه را ۵ درصد کاهش داد. با توجه به رابطه مستقیم سرعت متوسط جریان و ضریب دبی، افزایش همزمان طول دماغه و زاویه سرریز، سرعت متوسط جریان را در ابتدای برخورد به کف کانال تا ۴ برابر افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: بار هیدرولیکی، سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای، ضریب دبی، مدل آشفتگی، مدل عددی.

ارجاع: نازلی میرزائی ن. اسدی ا. و عباسپور ا. ۱۴۰۰. بررسی عددی ضریب دبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه با تغییر زاویه در امتداد جریان با استفاده از مدل Flow3D. مجله پژوهش آب ایران. ۴۲: ۶۱-۶۹.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز.
۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان.
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: Nazlimirzaei@yahoo.com

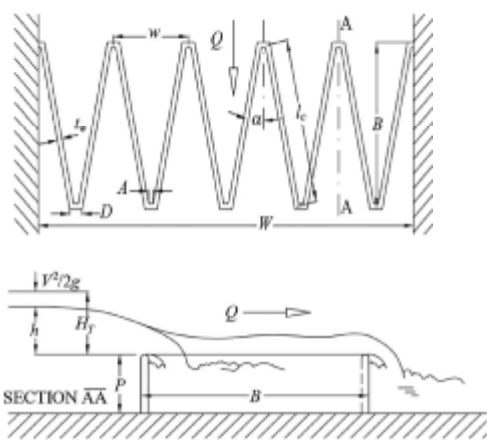
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲

مقدمه

پایاب یک‌سوم ارتفاع سرریز تأثیری بر ضریب دبی جریان ندارد؛ اما با افزایش تراز بستر پایاب به دو سوم ارتفاع سرریز افت هد جریان در بالادست این سرریزها را به دنبال دارد. ضمیری و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که افزایش ضخامت دیواره سرریز کنگره‌ای، باعث افزایش عمق و سرعت جریان عبوری از سرریز شده و به تبع آن از مقدار ضریب دبی کاسته شده است. سئو و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر شکل سرریز بر میزان دبی آن را آنالیز کرده و نشان دادند در عمق‌های کم، آب ضریب دبی سرریز کنگره‌ای حدود ۷۱ درصد بیشتر از سرریز اوجی مستقیم است و علت این امر را به طول بلندتر این نوع سرریز نسبت به سرریزهای مستقیم دانستند.

در این پژوهش، هدف، بررسی سه‌بعدی جریان بر روی سرریزهای کنگره‌ای با پلان دوزنقه با استفاده از نرم‌افزار Flow3D است. بدین منظور برای بررسی تأثیر زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان بر ضریب دبی جریان، مدل‌سازی سرریز کنگره‌ای با سه زاویه ۱۵، ۲۳ و ۳۰ درجه برای دو طول دماغه با اندازه‌های ۵ و ۷ سانتی‌متر و سه ارتفاع ۱۰، ۱۴ و ۱۸ سانتی‌متر انجام گرفت. به منظور صحت‌سنجی شبیه‌سازی و تنظیم پارامترهای نرم‌افزار Flow3D، از داده‌های آزمایشگاهی وهاب‌نژاد (۱۳۹۷) استفاده شد و پارامترهای نرم‌افزار متناسب با نتایج آزمایشگاهی ایشان کالیبره شد. با مقایسه نتایج به دست آمده از مدل عددی و داده‌های آزمایشگاهی مشخص شد که نرم‌افزار Flow3D با تقریب خوبی می‌تواند ضریب دبی جریان سرریز را شبیه‌سازی کند. در شکل ۱، نمایی از پلان و مقطع سرریز نشان داده شده است.



شکل ۱- طرح کلی سرریز کنگره‌ای شامل پارامترهای هندسی (کروکستون و تولیس، ۲۰۱۳)

سدها جزو زیربنای بحرانی سراسر جهان هستند که در بهبود روند تأمین آب (شهری، کشاورزی، صنعتی)، کنترل سیل، نیروگاه‌های آبی، نوبری و تفریح و سرگرمی نقش بسزایی ایفا می‌کنند (دابلینگ و همکاران، ۲۰۱۳). هنگامی که سطح آب دریاچه پشت سد در تراز نرمال باشد و در همین زمان سیل اتفاق بیفتد، بایستی ابنیه و تأسیسات تعبیه‌شده در کنار سد توانایی تخلیه آب‌های مازاد بر ظرفیت نگهداری مخزن سد را داشته باشند. ساختمان هیدرولیکی که بدین منظور به کار می‌رود، سرریز نام دارد. سرریز، یکی از کلیدی‌ترین اجزای سد محسوب می‌شود (نجمایی، ۱۳۷۳). سابقه ساخت سرریزهای کنگره‌ای به پیش از سال ۱۹۲۰ می‌رسد (دارواس، ۱۹۷۱). هیدرولیک سرریزهای کنگره‌ای برای اولین بار توسط جنتلینی (۱۹۴۰) مورد بررسی قرار گرفت. سنگ‌سفیدی (۱۳۹۲) با بررسی آزمایشگاهی پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی نشان داد که استفاده از این نوع سرریز می‌تواند ظرفیت دبی را تا حدود ۴/۵ برابر افزایش دهد. ویلمور (۲۰۰۴) سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای را برای زوایای ۷ تا ۳۵ درجه مورد مطالعه قرار داد. او همچنین به بررسی شکل تاج اوجی و نیم‌دایره‌ای برای سرریز کنگره‌ای با زاویه ۷ و ۸ درجه پرداخت. قلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)، اثر شکل تاج بر روی ضریب آبگذری سرریز کنگره‌ای مثلثی را به روش عددی و با استفاده از نرم‌افزار Flow3D مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل را با داده‌های آزمایشگاهی کروکستون و تولیس (۲۰۱۲)، مقایسه کردند و انطباق خوبی به دست آوردند. نتایج نشان داد که در بارهای هیدرولیکی کم، تاج لبه‌تیز و در بارهای هیدرولیکی بالا، تاج نیم‌دایره‌ای دارای بالاترین ضریب آبگذری است. عباسی و همکاران (۱۳۹۶) با مطالعه پارامترهای مؤثر بر عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای نشان دادند شکل تاج تخت دارای کمترین راندمان دبی و در مقادیر بار هیدرولیکی کم، تاج لبه‌تیز نیز دارای بیشترین راندمان دبی بوده و دبی واقعی از سرریز تاج انحنادار بیشتر از سرریز لبه‌تیز است. همچنین راندمان دبی تاج نیم‌دایره نسبت به تاج ربع‌دایره نسبتاً پایین‌تر است. نتایج تحقیقات شفاعت‌طلب و همکاران (۱۳۹۵) در زمینه تأثیر تراز پایاب بر ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای با پلان دوزنقه‌ای نشان داد که تراز

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (U_i A_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j}) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial x_i} + g_i + f_i \quad (2)$$

در معادلات بالا، متغیرهای \mathbf{u} و \mathbf{v} و \mathbf{w} به ترتیب سرعت در راستای x ، y و z ، V_F نسبت 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، P' فشار، \mathbf{g} 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 با ۱ است؛ بنابراین معادلات به معادلات پایه RANS برای جریان‌های تراکم‌ناپذیر تبدیل می‌شود.

معادلات حاکم بر روش حجم سیال

در تعیین سطح آزاد به روش حجم سیال از یک تابع به نام جزء حجم سیال (VOF^1) استفاده می‌شود. شکل دیفرانسیلی تابع F در حالت سه‌بعدی در معادله (۳) نشان داده شده است.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial F}{\partial x} + \mathbf{v} \frac{\partial F}{\partial y} + \mathbf{w} \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

معادلات آشفتگی

برای مدل کردن آشفتگی از مدل آشفتگی RNG استفاده شده است. این مدل نسبت به مدل استاندارد، در جریان چرخشی، کارایی بیشتری دارد و بر خلاف مدل استاندارد، برای تعیین اعداد آشفتگی پراتل از رابطه تحلیلی استفاده می‌شود. بدین ترتیب این مدل در اعداد رینولدز پایین دقت مناسبی دارد. معادلات حاکم در این مدل به صورت معادلات (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است:

$$\rho \frac{dk}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} [\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_i}] + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (4)$$

$$\rho \epsilon \quad (5)$$

$$\rho \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} [\alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{K} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{K} - R$$

$$R = \frac{C_{\mu\rho} \eta^3 (1 - \frac{\eta}{\eta_0}) \epsilon^2}{1 + \beta \eta^3} K \quad (6)$$

μ_{eff} لزجت گردابه‌ای مؤثر، α_k و α_ϵ مقادیر معکوس عدد پراتل آشفتگی است که در جریان‌هایی با عدد رینولدز بالا تقریباً برابر با ۱/۳۶۳ است (ورستینگ، ۱۳۸۶) و G_b و G_k چشمه معادله ϵ و k است که به ترتیب اثر شناوری و

در جدول ۱، پارامترهای هندسی و هیدرولیکی استفاده شده در این پژوهش معرفی شده است.

جدول ۱- پارامترهای به‌کاررفته در تحقیق

| پارامتر | نماد | واحد |
|----------------------------|----------|---------------|
| ارتفاع سرریز | P | سانتی‌متر |
| عرض کانال | W | سانتی‌متر |
| دبی جریان | Q | لیتر بر ثانیه |
| ضخامت سرریز | t_w | سانتی‌متر |
| زاویه دیواره سرریز | α | درجه |
| طول دماغه خارجی سرریز | D | سانتی‌متر |
| طول دماغه داخلی سرریز | A | سانتی‌متر |
| انرژی کل نسبت به تاج سرریز | H_t | سانتی‌متر |
| بار آبی نسبت به تاج سرریز | h | سانتی‌متر |
| طول مؤثر | L_e | سانتی‌متر |
| تعداد سیکل | N | - |
| ضریب دبی جریان | C_d | - |

مواد و روش‌ها

نرم‌افزارهای مورد استفاده

به‌منظور ساخت هندسه سرریزها و انجام شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان، ابتدا هندسه مدل در محیط نرم‌افزار Inventor ایجاد، سپس فایل مورد نظر با پسوند stl ذخیره شد و با فراخوانی در محیط نرم‌افزار Flow3D، شرایط حاکم بر مدل و در نهایت شبیه‌سازی مدل انجام پذیرفت. مدل Flow3D یکی از مدل‌های قوی در زمینه دینامیک سیالات است. این مدل قابلیت تحلیل دو‌بعدی یا سه‌بعدی میدان جریان را به صورت حجم داراست. این نرم‌افزار از المان‌های سه‌بعدی متعامد استفاده می‌کند و در ایجاد مانع در برابر جریان قابلیت‌های ویژه‌ای دارد (قاسم‌زاده، ۱۳۹۴).

معادلات حاکم

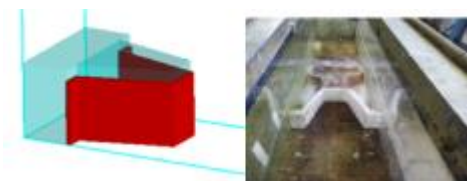
معادلات پیوستگی و مومنتوم

در این بخش به معادلات حرکت سیال که در نرم‌افزار استفاده شده اشاره می‌شود. معادلات حاکم بر مسئله، معادلات پیوستگی و مومنتوم که به ترتیب زیر، معادلات (۱) و (۲) هستند:

$$\frac{\partial}{\partial x} (\mathbf{u}A_x) + \frac{\partial}{\partial y} (\mathbf{v}A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\mathbf{w}A_z) = 0 \quad (1)$$

1- Volume of Fraction

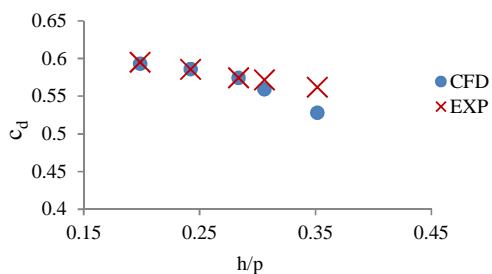
شد. لازم به ذکر است که در این پژوهش، در همه مدل‌ها تعداد سیکل‌های سرریز دو عدد و ضخامت سرریز ۱ سانتی‌متر انتخاب شد. برای سهولت در ادامه کار و مقایسه راحت‌تر مدل‌ها در بخش نتیجه‌گیری، متغیرها طبق سائز طول دماغه و اندازه زاویه سرریز، مطابق جدول ۴ نام‌گذاری شدند.



شکل ۲- الف) مدل فیزیکی سرریز در آزمایشگاه (وهاب‌نژاد، ۱۳۹۷) ب) هندسه سرریز مدل آزمایشگاهی در نرم‌افزار Flow3D

جدول ۳- هندسه مدل آزمایشگاهی

| زاویه سرریز (درجه) | نوع مقطع | طول دماغه (سانتی‌متر) | تعداد سیکل | ضخامت سرریز (سانتی‌متر) | طول مؤثر (سانتی‌متر) | ارتفاع سرریز (سانتی‌متر) |
|--------------------|----------|-----------------------|------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|
| ۱۵ | | ۷/۵ | ۱ | ۱ | ۵۵ | ۱۴ |



شکل ۳- مقایسه ضریب دبی مدل عددی و آزمایشگاهی سرریز کنگره‌ای تک سیکل

جدول ۴- طبقه‌بندی مدل‌ها بر اساس طول دماغه و زاویه

| شماره مدل | D(cm) | α(deg) |
|-----------|-------|--------|
| مدل ۱ | ۵ | ۱۵ |
| مدل ۲ | ۵ | ۳۰ |
| مدل ۳ | ۷ | ۱۵ |
| مدل ۴ | ۷ | ۲۳ |
| مدل ۵ | ۷ | ۳۰ |

شیب سرعت میانگین را در معادله اعمال می‌کنند. معادلات (۴) و (۵) را به ترتیب معادله انتقال k و ϵ می‌نامند. 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. ثابت‌های استفاده شده در روابط بالا در جدول ۲ آمده است. در معادله (۵) مقدار η برابر است با $\frac{Sk}{\epsilon}$ و نرخ کرنش متوسط است که معادله آن بر حسب نرخ کرنش متوسط در معادلات (۷) و (۸) آمده است.

$$S_{ij} = \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (7)$$

$$S = \sqrt{2S_{ij}^2} \quad (8)$$

جدول ۲- ضرایب ثابت برای مدل k-ε حالت RNG

| C_μ | $C_{2\epsilon}$ | $C_{1\epsilon}$ | C_D | β | η_0 |
|---------|-----------------|-----------------|-------|---------|----------|
| ۰/۰۸۴۵ | ۱/۴۲ | ۱/۶۸ | ۱/۰۰ | ۰/۰۱۲ | ۴/۳۸ |

صحت‌سنجی مدل

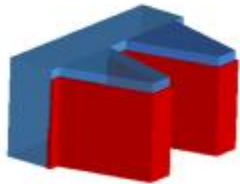
پیش از شروع شبیه‌سازی، به منظور صحت‌سنجی شبیه‌سازی و تنظیم پارامترهای نرم‌افزار Flow3D، از داده‌های آزمایشگاهی وهاب‌نژاد (۱۳۹۷) استفاده شد و پارامترهای نرم‌افزار متناسب با نتایج آزمایشگاهی ایشان کالیبره شد. بدین منظور، مشخصات هندسی یکی از مدل‌های سرریز کنگره‌ای آزمایشگاهی برای مدل‌سازی عددی انتخاب و در جدول ۳ ارائه شده است (شکل ۲). شبیه‌سازی مدل سرریز آزمایشگاهی به ازای هدهای مختلف در نرم‌افزار انجام گرفت و با نتایج آزمایشگاهی، در جهت کالیبراسیون مورد مقایسه قرار گرفت. در شکل ۳ همان‌گونه که مشخص است، ضرایب دبی مدل‌های عددی (C_d (CFD)) و آزمایشگاهی (C_d (EXP)) به ازای مقادیر مختلف نسبت بار آبی به ارتفاع سرریز (h/p) مقایسه و درصد خطا محاسبه شده است. بیشترین درصد خطا ۵/۸۸ و کمترین مقدار آن صفر است. در واقع با افزایش (h/p) درصد خطا افزایش یافته که البته قابل‌ذکر است این افزایش ناچیز و در حد قابل‌قبولی بوده و نتایج حاکی از آن است که نرم‌افزار قابلیت بسیار خوبی در شبیه‌سازی سرریز کنگره‌ای دارد.

با توجه به نتایج مدل‌سازی عددی و با استناد به مبانی تئوری و صحت‌سنجی مدل با نتایج آزمایشگاهی، مقادیر ضریب دبی جریان (C_d) و دبی جریان (Q) برای مدل‌های مختلف سرریز کنگره‌ای محاسبه و مقایسه سه‌بعدی انجام

در این تحقیق لحاظ شده‌اند (قاسم‌زاده) که هر دو شرایط فوق در این تحقیق لحاظ شده‌اند.

اعمال شرایط اولیه

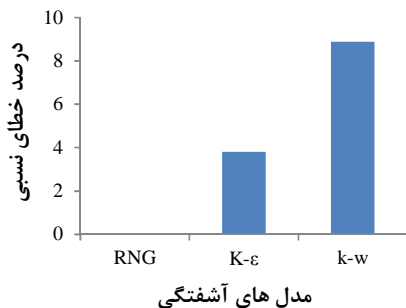
شرایط اولیه می‌تواند حضور یک ناحیه پر از سیال در داخل شبکه حل در زمان شروع شبیه‌سازی، نحوه توزیع فشار یا درجه حرارت اولیه محیط باشد. اولین شرط اولیه برای مدل توزیع هیدرواستاتیک فشار در محیط سیال است. همچنین مقادیر مشخص سیال آب نیز برای بالادست سرریز درجهت سهولت در اجرای مدل منظور شد (شکل ۵).



شکل ۵- شرایط اولیه معرفی شده به مدل سرریز

مدل‌های آشفتگی

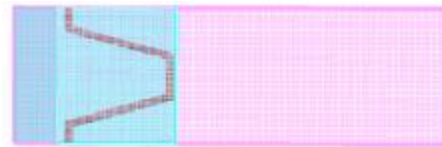
در این تحقیق بررسی میدان جریان با مدل‌های مختلف آشفتگی موجود در نرم‌افزار Flow3D و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی انجام گرفت. شکل ۶ روند تغییرات درصد خطای نسبی برای مدل‌های RNG، k-ε و k-w را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، درصد خطای نسبی مدل RNG نسبت به دو مدل دیگر کمتر و نزدیک به صفر است؛ بنابراین در همه شبیه‌سازی‌های عددی از مدل آشفتگی RNG استفاده شد.



شکل ۶- روند تغییرات خطای نسبی دبی شبیه‌سازی شده در حالت‌های مختلف مدل‌های آشفتگی

شبکه حل و شرایط مرزی

هدف اصلی در این قسمت، انتخاب مش‌بندی مناسب برای انجام آنالیزها است. از آنجایی که نوع و تراکم مش‌بندی روی دقت نتایج و هزینه و زمان محاسباتی تأثیر زیادی می‌گذارد، لازم است تا با بررسی دقیق، مش‌بندی مناسبی انتخاب کرد که هم جوابگوی دقت مورد نیاز در محاسبات باشد و هم از نظر زمان انجام محاسبه در حد متعارفی است (قاسم‌زاده، ۱۳۹۴). به‌منظور شبکه‌بندی مدل، کانال به سه بخش ابتدایی، میانی و انتهایی تقسیم شد که ابعاد سلول‌های بخش‌های ابتدایی و انتهایی ۱ سانتی‌متر و بخش میانی ۵ میلی‌متر است (شکل ۴). لازم به ذکر است که این اندازه‌ها با توجه به شرایط نرم‌افزار و با سعی و خطا انتخاب شده‌اند.



(الف)



(ب)

شکل ۴- الف) نوع شبکه‌بندی کانال درجهت کالیبراسیون مدل آزمایشگاهی (ب) نمایش شبکه‌بندی کانال و بدنه سرریز کنگره‌ای دو سیکل با پلان دوزنقه‌ای در نرم‌افزار

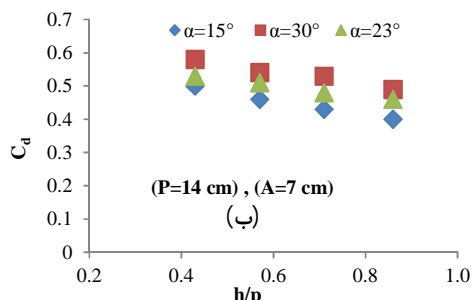
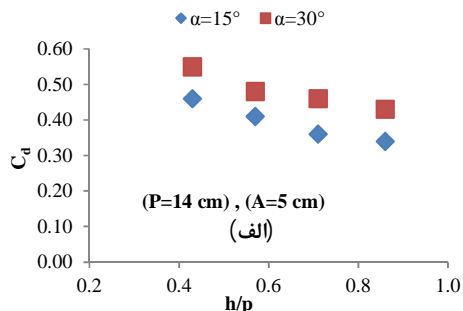
تذکر این نقطه ضروری است که برای حصول نتایج درست و منطقی و کاهش خطاها و زمان شبیه‌سازی، باید دو پارامتر نسبت اندازه^۱ و نسبت شکل^۲ را در نظر گرفت. این دو نسبت عبارت‌اند از:

- نسبت اندازه سلول: نسبت ابعاد دو سلول مجاور هم، در یک امتداد خاص. نسبت اندازه دو سلول مجاور تا حد امکان نزدیک ۱ باشد و حداکثر از ۱/۲۵ تجاوز نکند.
- نسبت شکل: نسبت بزرگ‌ترین بُعد یک سلول به کوچک‌ترین بُعد آن. نسبت شکل نیز تا حد امکان نزدیک ۱ باشد و حداکثر از ۳ تجاوز نکند که هر دو شرایط فوق

1- Size Ratio
2- Aspect Ratio

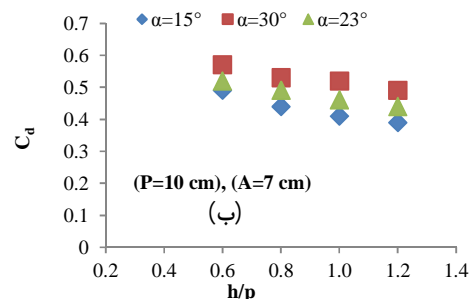
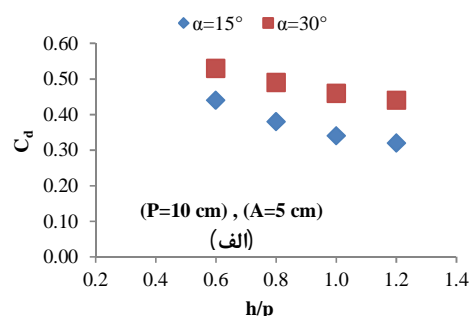
نتایج و بحث

برای بررسی تأثیر زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان (α) بر ضریب دبی جریان، مدل‌سازی سرریز کنگره‌ای با سه زاویه ۱۵، ۲۳ و ۳۰ درجه برای دو طول دماغه با اندازه‌های ۵ و ۷ سانتی‌متر و سه ارتفاع ۱۰، ۱۴ و ۱۸ سانتی‌متر انجام گرفت. در شکل (۷-الف و ب)، نمودار تغییرات ضریب دبی جریان (C_d) نسبت به بار هیدرولیکی نسبی جریان (h/p)، به‌ازای ارتفاع ثابت ۱۰ سانتی‌متر و دو طول دماغه به اندازه‌های ۵ و ۷ سانتی‌متر رسم شده است.



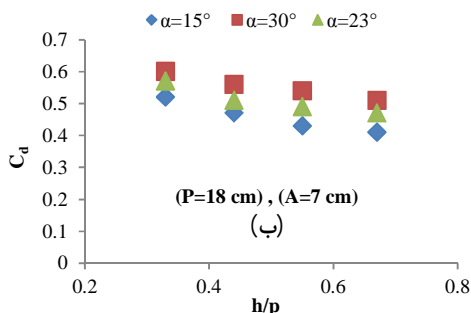
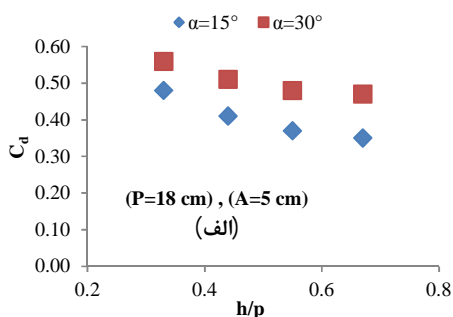
شکل ۸- نمودار تغییرات ضریب دبی جریان (C_d) نسبت به بار هیدرولیکی نسبی جریان (h/p) در دو حالت:

الف) ارتفاع ۱۴ و طول دماغه ۵ سانتی‌متر و ب) ارتفاع ۱۴ و طول دماغه ۷ سانتی‌متر



شکل ۷- نمودار تغییرات ضریب دبی جریان (C_d) نسبت به بار هیدرولیکی نسبی جریان (h/p) در دو حالت:

الف) ارتفاع ۱۰ و طول دماغه ۵ سانتی‌متر و ب) ارتفاع ۱۰ و طول دماغه ۷ سانتی‌متر

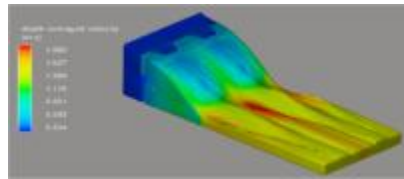


شکل ۹- نمودار تغییرات ضریب دبی جریان (C_d) نسبت به بار هیدرولیکی نسبی جریان (h/p) در دو حالت:

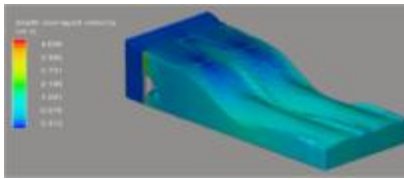
الف) ارتفاع ۱۸ و طول دماغه ۵ سانتی‌متر و ب) ارتفاع ۱۸ و طول دماغه ۷ سانتی‌متر

شکل (۸-الف و ب)، نمودار تغییرات ضریب دبی نسبت به بار هیدرولیکی نسبی جریان، به‌ازای ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر سرریز و دو طول دماغه ۵ و ۷ سانتی‌متر رسم شده است. در شکل (۹-الف و ب)، نیز نمودار تغییرات ضریب دبی جریان نسبت به بار هیدرولیکی نسبی جریان، به‌ازای ارتفاع ثابت ۱۰ سانتی‌متر و دو طول دماغه به اندازه‌های ۵ و ۷ سانتی‌متر رسم شده است.

سرعت متوسط جریان که در ابتدای برخورد به کف کانال دارای بیشترین مقدار است، مطابق با شکل در حالت (ب) به مقدار ۴ برابر نسبت به حالت (الف) افزایش یافته که این امر خطر کاویتاسیون را افزایش می‌دهد.



(الف)

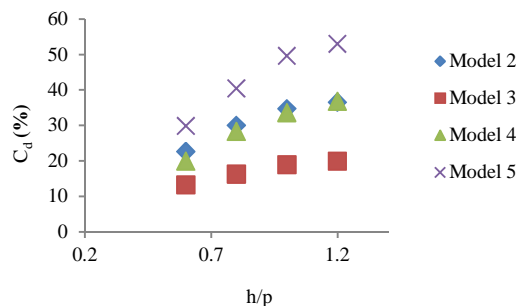


(ب)

شکل ۱۰- سرعت متوسط جریان در سرریز کنگره‌ای مدل ۱ و ۵:
(الف) $(P=14\text{ cm}), (h=12\text{ cm}), (A=5\text{ cm}), (\alpha=15^\circ)$
(ب) $(P=14\text{ cm}), (h=12\text{ cm}), (A=7\text{ cm}), (\alpha=30^\circ)$

در شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳، میانگین درصد افزایش ضریب دبی مدل‌های مختلف نسبت به مدل ۱ که کمترین ضریب دبی را دارد، برای سه ارتفاع مختلف سرریز نشان داده شده است.

با توجه به شکل‌های ۱۱ تا ۱۳، بیشترین درصد افزایش ضریب دبی به‌طور متوسط، مربوط به مدل ۵ با ارتفاع سرریز ۱۰ سانتی‌متر به مقدار ۴۳ درصد نسبت به مدل ۱ با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و کمترین درصد افزایش ضریب دبی نیز به مقدار ۱۴ درصد در مدل ۳ با ارتفاع سرریز ۱۴ و ۱۸ سانتی‌متر نسبت به مدل ۱ در ارتفاع‌های یکسان است.



شکل ۱۱- روند تغییرات درصد افزایش ضریب دبی مدل‌های مختلف سرریز نسبت به مدل ۱ $(P=10\text{ cm})$

نتایج حاصل از نمودار شکل‌های ۷ تا ۹ به‌صورت زیر است:

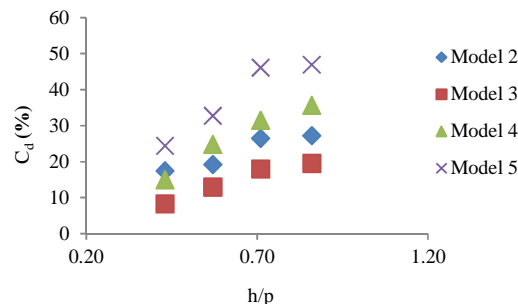
- در همه مدل‌ها با افزایش زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان، ضریب دبی افزایش یافت. وهاب‌نژاد (۱۳۹۷) نیز در تحقیق آزمایشگاهی روی سرریزهای کنگره‌ای نشان داد با افزایش زاویه سرریز، طول سرریز کاهش و ضریب دبی جریان افزایش می‌یابد. افزایش نسبت h/p باعث کاهش ضریب دبی شد که این مورد نیز در کار آزمایشگاهی ایشان تأیید شد. به‌طور کلی می‌توان گفت با افزایش زاویه در طول دماغه ثابت، طول مؤثر سرریز کاهش یافته و سبب افزایش ضریب دبی جریان می‌شود؛ زیرا طول مؤثر با ضریب دبی رابطه معکوس دارد.
- در سرریز کنگره‌ای با طول دماغه ۵ سانتی‌متر، ضریب دبی زاویه ۳۰ درجه به‌طور متوسط ۲۶ درصد بیشتر از زاویه ۱۵ درجه و در سرریز با دماغه ۷ سانتی‌متر ضریب دبی برای سرریز با زاویه ۳۰ درجه به مقدار ۱۷ درصد بیشتر از سرریز با زاویه ۱۵ درجه است که نشان می‌دهد با افزایش طول دماغه سرریز تأثیرات ناشی از افزایش زاویه کاهش می‌یابد.
- با توجه به نتایج مدل‌سازی، ضریب دبی در سرریز با زاویه ۳۰ درجه نسبت به ۲۳ درجه برای دماغه ۷ سانتی‌متر نیز به‌طور متوسط ۹ درصد افزایش یافت.
- در سرریز کنگره‌ای با زاویه ۱۵ درجه، ضریب دبی برای طول دماغه ۷ سانتی‌متر به‌طور متوسط ۱۵ درصد بیشتر از سرریز با طول دماغه ۵ سانتی‌متر است. در سرریز با زاویه ۳۰ درجه نیز ضریب دبی برای دماغه ۷ سانتی‌متر به‌طور متوسط ۱۰ درصد بیشتر از دماغه ۵ سانتی‌متر است. این موضوع نشان‌دهنده این است که با افزایش زاویه سرریز، روند افزایش ضریب دبی به‌واسطه افزایش طول دماغه کاهش می‌یابد.

مقایسه سه بعدی سرعت متوسط جریان برای دو مدل ۱ و ۵

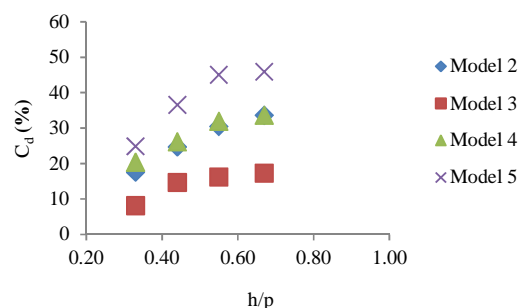
این مقایسه بیان‌گر رابطه مستقیم بین سرعت متوسط جریان با ضریب دبی سرریز است. با افزایش همزمان زاویه و طول دماغه سرریز، ضریب دبی متوسط در حالت (ب)، به میزان ۳۷ درصد نسبت به حالت (الف) افزایش یافت.

- ذوزنقه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. سازه‌های هیدرولیکی. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۲۲ ص.
2. شفاعت‌طلب دهقانی ح. اسمعیلی ورکی م. و اشرف‌زاده ا. ۱۳۹۵. مطالعه آزمایشگاهی تاثیر تراز پایاب بر ضریب دبی در سرریزهای کنگره‌ای با پلان ذوزنقه. تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی. ۱۷(۶۷): ۶۳-۸۰.
3. ضمیری ا. کرمی ح. و فرزین س. ۱۳۹۶. مطالعه عددی عوامل موثر بر عملکرد هیدرولیکی جریان عبوری از سرریز کنگره‌ای. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱(۵): ۸۶۵-۸۷۵.
4. عباسی س. صفرزاده ا. و معصومی ف. ۱۳۹۶. بررسی تحلیلی پارامترهای مؤثر بر عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای. شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه محقق اردبیلی.
5. قاسم‌زاده ف. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی مسائل هیدرولیکی در Flow3D. نشر نوآور، ۲۵۶ ص.
6. قلی‌زاده ع. قدسیان م. و پناهی ر. ۱۳۹۵. بررسی عددی تاثیر شکل تاج بر ضریب آبگذری در سرریزهای کنگره‌ای قوسی با پلان ذوزنقه‌ای. نشریه مهندسی عمران مدرس. ۱۶(۴): ۲۲۵-۲۳۸.
7. نجمایی م. ۱۳۷۳. هیدرولیک کاربردی. انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران. ۴۱۶ ص.
8. ورستینگ ه ک. و مالالاسکرا و. ۱۳۸۶. مقدمه‌ای بر دینامیک سیالات محاسباتی. مترجم: شجاعی‌فرد م. ح. و نورپور هشترودی ع ر. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه علم و صنعت. تهران. ۴۲۲ ص.
9. وهاب‌زاد ح. ۱۳۹۷. بررسی آزمایشگاهی دبی تخلیه سرریز زیگزاگی طبقه‌ای با و بدون وجود تیغه شکافنده جریان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. سازه‌های آبی. دانشگاه تبریز. ۱۰۴ ص.

10. Crookston B. M. and Tullis B. P. 2012. Discharge efficiency of reservoir-application specific labyrinth weirs. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 138(6): 564-568.
11. Crookston B. M. and Tullis B. P. 2013. Hydraulic design and analysis of labyrinth weirs. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 139(5): 371-377.



شکل ۱۲- روند تغییرات درصد افزایش ضریب دبی مدل‌های مختلف سرریز نسبت به مدل ۱ (P=14 cm)



شکل ۱۳- روند تغییرات درصد افزایش ضریب دبی مدل‌های مختلف سرریز نسبت به مدل ۱ (P=18 cm)

نتیجه‌گیری

مطابق با این مطالعه، ملاحظه شد افزایش زاویه سرریز کنگره‌ای در امتداد جریان، سبب افزایش ضریب دبی می‌شود. بارهیدرولیکی نسبی جریان (h/p)، با ضریب دبی رابطه عکس داشته؛ به طوری که با افزایش دبی، به دلیل اختلاط بیشتر جریان و استغراق زیاد، ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد. در زوایای بیشتر، تأثیر افزایش طول دماغه روی ضریب دبی جریان کاهش و در طول دماغه‌های کمتر، تأثیر افزایش زاویه روی ضریب دبی بیشتر شد. در مواردی که هدف از پژوهش، افزایش ضریب دبی به واسطه افزایش زاویه و طول دماغه سرریز است، بایستی این نکته مورد توجه قرار گیرد که تأثیر افزایش زاویه و طول دماغه سرریز در ارتفاع‌های پایین محسوس‌تر است؛ به طوری که با افزایش ارتفاع سرریز، این مقدار کاهش می‌یابد.

منابع

1. سنگ‌سفیدی ی. ۱۳۹۲. بررسی آزمایشگاهی ضریب آبگذری جریان در سرریزهای کنگره‌ای قوسی با پلان

12. Dabbling M. R. Tullis B. P. and Crookston B. M. 2013. Staged labyrinth weir hydraulics. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 139(11): 955-960.
13. Darvas L. A. 1971. Performance and design of labyrinth weir. *Journal of American Society of Civil Engineers*. 97(8): 1246-1251.
14. Gentilini B. 1940. Weirs within plan oblique crest and zig-zag. *Memories and Studies of the Institute of Hydraulics and Hydraulic Regil the Polytechnic of Milan*.
15. Seo I. W. Do Kim Y. Park Y. S. and Song C. G. 2016. Spillway discharges by modification of weir shapes and overflow surroundings. *Environmental Earth Sciences*. 75(6): 1-13.
16. Willmore C. 2004. Hydraulic characteristics of labyrinth weirs. Master of Science. Report. Civil and Environmental Engineering. Utah State University. 110 p.

