

طراحی هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با استفاده از هیدرودینامیک محاسباتی

مهدی اژدری مقدم^{۱*}، احسان جعفری ندوشن^۲

۱- دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان

mazhdary@eng.usb.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۴/۰۴

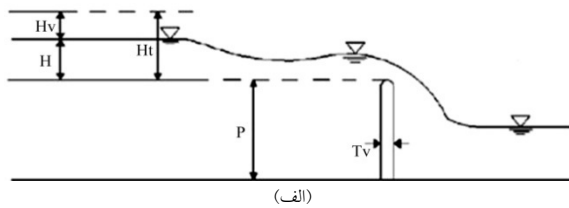
چکیده- در این پژوهش عملکرد سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با زوایای مختلف دیواره سرریز در امتداد جریان و طول‌های متغیر دماغه، بررسی شده است. مدل عددی نرم‌افزار Flow-3D ساخته شده است. برای مدل‌کردن آشفتگی از مدل K- ϵ حالت RNG و برای تعیین موقعیت پروفیل سطح آزاد از روش VOF استفاده شد. برای سنجش درستی مدل از داده‌های آزمایشگاهی تولیس و همکاران (۱۹۹۵) استفاده شد که نتایج مدل هماهنگی مناسبی با نتایج داده‌های آزمایشگاهی داشت. در این بررسی مشاهده شد که با افزایش زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان (α)، ضریب آبگذری افزایش می‌یابد؛ همچنین با افزایش طول دماغه، به خاطر کاهش تداخل جریان ریزشی، ضریب آبگذری جریان افزایش یافته است که این افزایش در زوایای کوچک به علت کاهش چشم‌گیر در تداخل لایه‌های ریزشی، قابل توجه است. سرانجام روشی برای طراحی مدل سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با تغییر زاویه دیواره در امتداد جریان و تغییر طول دماغه ارائه شد.

واژگان کلیدی: طراحی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای، ضریب گذردهی جریان، روش هیدرودینامیک محاسباتی، نرم‌افزار Flow-3D

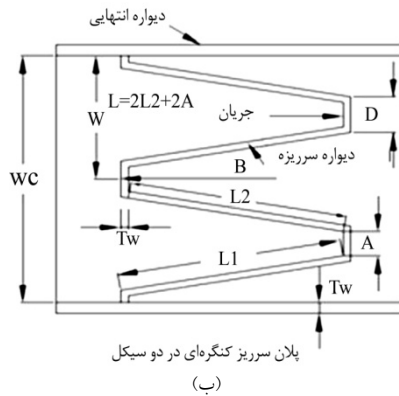
۱- مقدمه

ثابت و به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالا دست سرریز است. سابقه ساخت سرریزهای کنگره‌ای به قبل از سال ۱۹۲۰ می‌رسد [۱]، ولی تا قبل از سال ۱۹۶۸ مطالعات اندکی برای بررسی و شناخت رفتار هیدرولیکی این نوع سرریزها انجام شده است. بیشتر تحقیقات انجام شده، بر روی سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و دوزنقه‌ای شکل در پلان است. نخستین بررسی روی سرریزهای کنگره‌ای به وسیله تیلور در سال ۱۹۶۸ انجام شد [۲]. هی و تیلور در سال ۱۹۷۰ روشی برای محاسبه دبی و طراحی

سرریزهای کنگره‌ای از سازه‌های هیدرولیکی است که برای تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها استفاده می‌شود. محور تاج این نوع سرریز، غیرمستقیم است و در نمای سطح افقی، سرریز از دیواره‌های چسبیده به هم تشکیل شده و هندسه مثلثی، دوزنقه‌ای، مستطیلی و قوسی با تناوب در عرض جریان، تکرار می‌شود. فرضیه اصلی در طرح کنگره‌ای سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز با تاج



(الف)



پلان سرریز کنگره‌ای در دو سیکل

(ب)

طول داخلی دماغه (A)	طول واقعی دیواره سرریز
طول خارجی دماغه (D)	طول مؤثر دیواره سرریز (L_2) ^۲
ضخامت سرریز (T_w)	طول سرریز (B) ^۳
عرض کل سرریز (wc)	طول سرریز در یک سیکل (l)
عرض هر سیکل سرریز (w)	تعداد سیکل‌ها (N) ^۴
شعاع مقطع تاج سرریز (R)	

شکل (۱) الف- پلان سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای. ب- نمای مقطع و

جریان روی سرریز کنگره‌ای [۱۶]

۲- معادلات حاکم

۲-۱- معادلات پیوستگی و مومنتوم

معادلات کلی حاکم بر مسئله، معادلات RANS^۵ و پیوستگی برای جریان‌های تراکم‌ناپذیر است که با در نظر گرفتن متغیرهای VOF^۶ و FAVOR^۷ به شکل معادلات پیوستگی و ممنتوم درمی‌آیند که به ترتیب، معادلات (۱) و (۲) است:

این نوع سرریزها ارائه کردند [۳]. در ادامه مطالعات آن‌ها، در سال ۱۹۷۱ روش دیگری به وسیله دارواس برای طراحی این سرریزها ارائه شد [۱]. پس از سال ۱۹۸۰، مؤسسات تحقیقاتی و فنی دیگر مانند دانشگاه جورجیا، اداره عمران ایالات متحده (USBR) و مرکز تحقیقات آب دانشگاه یوتا، بررسی جامع‌تری انجام دادند. مطالعاتی تجربی نیز به وسیله لاکس و هینچلوف (۱۹۸۵)، ماگالاس (۱۹۸۵) و تولیس و امانیان (۱۹۹۵) انجام شده است [۴، ۵]. در ایران نیز مطالعاتی به وسیله قدسیان و مرعشی (۱۳۸۷)، قدسیان و شنوایی (۱۳۷۹)، قدسیان و امانیان (۱۳۸۰) انجام شده است [۷، ۸، ۹].

در این پژوهش با نرم‌افزار Flow-3D مدل‌های گوناگونی از سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با تغییرات زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان (α) [با مقادیر $\alpha = 10.5, 16, 21, 32, 4^\circ$] تغییرات طول دماغه (A)، تعداد سیکل‌های ۱/۵ و ضخامت $\frac{P}{6}$ با تاج نیم‌دایره‌ای به شعاع $\frac{P}{12}$ [ارتفاع سرریز است] ساخته شده است. در شکل ۱، نمایی از پلان و مقطع سرریز نشان داده شده است.

با گذراندن دبی‌های مختلف از روی هر کدام از این سرریزها و با به دست آوردن ارتفاع کل آب در بالا دست (H_t)، نمودارهایی بر حسب $\frac{H_t}{P}$ و Cd برای α ها و طول دماغه‌های مختلف ترسیم شد. سرانجام، سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با استفاده از نمودارهای ترسیم‌شده، طراحی شد. برای سنجش درستی مدل از داده‌های تولیس و همکاران (۱۹۹۵) استفاده شد [۶] و مقایسه نتایج به دست آمده از مدل‌های نرم‌افزار و آزمایشگاهی، انطباق مناسبی را نشان داد. در این پژوهش ضمن بررسی روش تولیس و همکاران در طراحی سرریز کنگره‌ای مثلثی، طراحی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای بر اساس همان روش ارائه شده است.

1- Actual Length of Side Leg
2- Effective Length of Side Leg
3- Length of Labyrinth
4- Number of cycles
5- Reynolds- Average Navier- Stokes
6- Volume Of Fluid
7- Fractional of Area/Volume Representation

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 (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است [۹ و ۱۰]:

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

$$\rho \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R \quad (5)$$

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

μ_{eff} لزجت گردابه‌ای مؤثر، α_k و α_ε مقادیر معکوس عدد پرانتل آشفتگی است که در جریان‌هایی با عدد رینولدز بالا تقریباً برابر ۱/۳۶۳ است [۱۱]؛ G_k و G_b چشمه معادله ε و k است که به ترتیب اثر شناوری و شیب سرعت میانگین را در معادله اعمال می‌کنند. معادله (۴) و (۵) را به ترتیب معادله انتقال k و ε می‌نامند. عبارت R اضافه‌شده به معادله ε در مدل RNG نسبت به مدل حالت استاندارد، باعث اصلاح این معادله در نواحی با نرخ کرنش زیاد، شده است. ثابت‌های استفاده‌شده در روابط بالا در جدول ۱ آمده است. در معادله (۵)، مقدار η برابر است با $\frac{SK}{\varepsilon}$ و S بیانگر نرخ کرنش متوسط است که رابطه آن بر حسب نرخ کرنش متوسط در معادله (۷) و (۸) آمده است [۹ و ۱۰].

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (7)$$

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

جدول (۱) ضرایب ثابت برای مدل k- ε حالت RNG [۱۱]

C_μ	$C_{2\varepsilon}$	$C_{1\varepsilon}$	C_b	β	η_0
0.0845	1.42	1.68	1.00	0.012	4.38

$$\frac{\partial}{\partial x} (uA_x) + \frac{\partial}{\partial y} (vA_y) + \frac{\partial}{\partial z} (wA_z) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(U_j A_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial x_i} + g_i + f_i \quad (2)$$

در معادلات بالا، متغیرهای w و v و u به ترتیب سرعت در راستای x ، y و z نسبت حجم مایع در هر المان، A_y, A_x و A_z مساحت جزئی روی وجوه هر المان که سیال در آن جریان دارد، ρ چگالی، 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 RANS برای جریان‌های تراکم‌ناپذیر تبدیل می‌شود.

۲-۲- معادلات حاکم بر روش حجم سیال

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

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

۳-۲- معادلات آشفتگی

برای مدل‌کردن آشفتگی، از مدل آشفتگی k- ε حالت RNG^۱ 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 بر خلاف مدل استاندارد، برای تعیین اعداد آشفتگی پرانتل از رابطه تحلیلی استفاده می‌شود. بدین ترتیب این مدل در اعداد رینولدز

1- Volume of Fraction

2- Renormalized Group theory

۳- معرفی نرم‌افزار Flow-3D

است؛ بنابراین توصیه می‌شود در نواحی با شیب بالا از المان‌های ریزتری استفاده شود. این روش می‌تواند با کوچک کردن المان در محل‌های مورد نیاز انجام شود. پس در این پژوهش در محل سرریز از المان‌های ریزتری استفاده شد. باید توجه کرد که نسبت اندازه‌های المان‌های مجاور رعایت شود و با توجه به راهکار نرم‌افزار، این نسبت تا حد امکان به یک نزدیک باشد. شبکه‌بندی به ابعاد $1/26 * 0/92 * 1/17$ سانتی‌متر در راستای طولی، عرضی و ارتفاعی با تعداد 920448 مش انجام شد [۱۵]. برای این مدل‌سازی از یک سیستم با مشخصاتی شامل CPU چهار هسته‌ای با قدرت 2.66GH، حافظه 8GB (RAM) و CACHE با قدرت 8MB استفاده و حساسیت‌سنجی شبکه نیز انجام شده است. البته ریزکردن شبکه و حساسیت‌سنجی مش تا رسیدن به نتایج ثابت و بدون تغییر انجام شد. زمان انجام محاسبات به طور متوسط ۱۴ ساعت است.

۵- شرایط مرزی

شرایط مرزی شامل شرایط مقطع ورودی، مقطع خروجی، دیواره‌ها و سطح آزاد جریان است که در ادامه توضیح داده شده است:

الف) شرایط مرزی ورودی: در مقطع ورودی (x_{min}) از شرایط مرزی سرعت مشخصه^۲ استفاده شده است. از آنجا که نرم‌افزار قادر به مدل‌کردن یک پروفیل سرعت در ورودی نیست، از سرعت میانگین و ارتفاع جریان برای شرایط ورودی استفاده شده است [۱۵].

ب) شرایط مرزی خروجی: مقطع خروجی (x_{max}) شرایط مرزی طبیعی دارد و از شرایط مرزی Out flow در آن استفاده شده است.

Flow-3D نرم‌افزار قدرتمند در زمینه هیدرودینامیک محاسباتی^۱ است که برای پژوهش درباره‌ی رفتار دینامیکی مایعات و گازها در موارد کاربردی و گسترده طراحی شده است. Flow-3D توانایی حل مسائل یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی را دارد. این نرم‌افزار در حالت پایدار نتایج را تحلیل می‌کند، زیرا برنامه بر اساس قوانین بنیادی جرم، مومنتوم و بقای انرژی، پایه‌گذاری شده است تا این موارد برای مراحل مختلف جریان در هر زمینه‌ای به کار برده شوند. یکی از قابلیت‌های مهم برنامه Flow-3D، برای کاوش‌های هیدرولیکی، توانایی مدل‌کردن جریان‌های با سطح آزاد است. فاصله‌ی بین گاز و مایع، همان سطح آزاد است. در Flow-3D سطح آزاد با تکنیک VOF مدل می‌شود که به‌وسیله‌ی هیرت و نیکولدز (۱۹۸۱) گزارش شده است [۱۱، ۱۴ و ۱۲]. در این نرم‌افزار، ناحیه محاسباتی به‌وسیله دستگاه مختصات کارتیزین به شبکه‌ای از المان‌های مکعبی با ابعاد متغیر تقسیم شده است. در مدل‌سازی جریان با سطح آزاد از روی یک مانع (سرریز) به‌وسیله نرم‌افزار Flow-3D، هر المان در شبکه باید یکی از شرایط زیر را داشته باشد: کاملاً جامد، قسمتی جامد و مایع، کاملاً مایع، قسمتی مایع و کاملاً خالی. سرریز به عنوان مانعی در یک فضای مستطیلی با استفاده از روش نمایش کسری از مساحت یا حجم مانع (FAVAOR) و سطح آزاد با استفاده از یک روش اصلاح‌شده حجم مایع (VOF) محاسبه می‌شود.

۴- شبکه‌بندی مدل در نرم‌افزار Flow-3D

شبکه‌بندی مدل با المان‌های مکعبی عمود امکان‌پذیر

2- Specified velocity

1- Computatainal Fluid Dynamic

ج) شرط مرزی دیواره‌ها: با توجه به این که سرعت سیال روی مرزهای جامد $(z_{min}, y_{min}, y_{max})$ ، صفر است؛ از شرایط مرزی Wall استفاده شده است.

د) شرایط مرزی سطح آزاد: در z_{max} شرایط Symmetry استفاده شده است.

۷- مشخصات هندسی سرریز مطالعه شده

برای صحت سنجی

از ۳۴ سری داده‌های آزمایشگاهی سرریز کنگره‌ای مثلثی امانیان (۱۹۹۵) استفاده شد. در این مدل‌ها تاثیر زاویه دیواره سرریز بر امتداد جریان و به طور غیرمستقیم، تاثیر طول تاج سرریز بر میزان گذردهی سرریز در مطالعات آزمایشگاهی در نظر گرفته شده است. سرریز مورد مطالعه شده، به ازای دبی‌های (Q) گوناگون بررسی شد. در این پژوهش با نرم‌افزار Flow-3D، مدل‌های مورد نظر ساخته شد و نمودارها بر حسب $\frac{H_t}{p}$ و Cd ترسیم و با نمودارهای آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج مقایسه نمودارها گویای دقت بالای مدل است. شکل ۲، نمودارهای سنجش درستی را برای مقایسه داده‌ها به روش هیدرودینامیک محاسباتی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد [۶].

۸- نتایج تحلیل عددی جریان از روی

سرریز کنگره‌ای مثلثی برای صحت سنجی

با توجه به شرایط مرزی و شرایط اولیه در نظر گرفته شده، تحلیل جریان به صورت غیردائمی آغاز می‌شود و تا رسیدن به حالت دائمی ادامه می‌یابد [۱۷]. در شکل ۲، چگونگی تغییرات Cd در برابر $\frac{H_t}{p}$ نشان داده شده است. همان گونه که دیده می‌شود، نتایج به دست آمده هماهنگی مناسبی (با بیشترین اختلاف ۶ + درصد و ۵- درصد) بین مدل‌های عددی و فیزیکی به کار رفته، نشان می‌دهد؛ یعنی می‌توان گفت که مدل عددی به کار رفته، هماهنگی قابل قبولی با نتایج تجربی دارد.

۶- بررسی پارامترهای مؤثر در سرریزهای کنگره‌ای

ظرفیت یک سرریز کنگره‌ای، تابعی از ارتفاع کل آب (Ht)، طول سرریز (Le) و ضریب آبگذری (Cd) سرریز است. ضریب آبگذری سرریز نیز به ارتفاع کل آب، ارتفاع سرریز (P)، ضخامت سرریز (Tw)، شکل تاج و زاویه دیواره سرریز (α) بستگی دارد. فرمول محاسبه دبی در سرریزهای کنگره‌ای به صورت رابطه (۹) است [۶]:

$$Q = \frac{2}{3} Cd L_e \sqrt{2g H_t^3} \quad (9)$$

Cd ضریب آبگذری و Q (m³/s) دبی است. می‌توان رابطه زیر را برای نمایش پارامترهای دخیل در تعیین ضریب آبگذری استفاده نمود:

$$Cd = f(H_t, p, T_w, L_e, w) \quad (10)$$

با استفاده از آنالیز ابعادی می‌توان رابطه (۱۱) را نشان داد.

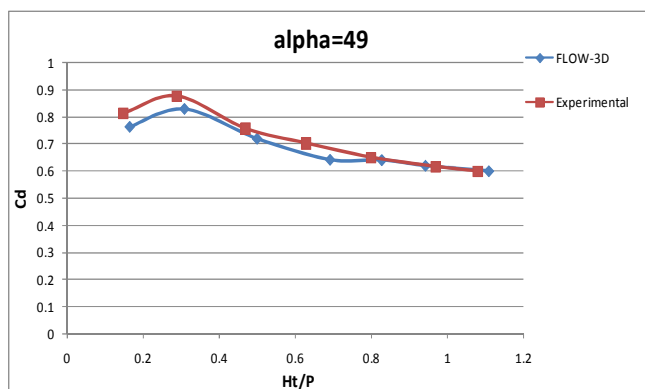
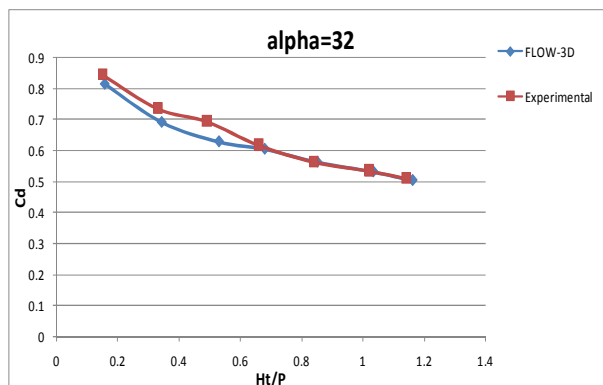
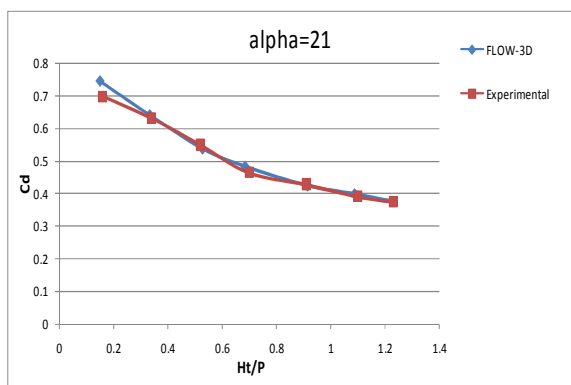
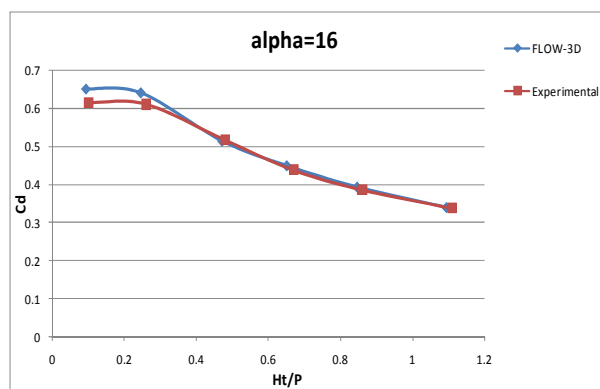
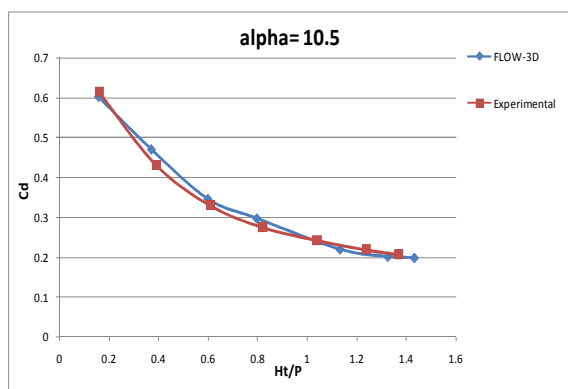
$$Cd = f\left(\frac{H_t}{p}, \frac{T_w}{p}, \frac{1}{w}\right) \quad (11)$$

در نرم‌افزار پس از دائمی شدن جریان، عمق و سرعت جریان در بالادست سرریز اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه (۹) و داشتن دبی جریان و طول مؤثر، ضریب آبگذری جریان به دست آمد.

شکل ۱، یک سرریز کنگره‌ای ذونقه‌ای را در مقطع و

جدول (۱) مشخصات مدل سرریز کنگره‌ای مثلثی به کاررفته برای سنجش درستی

N Number of cycle	(α) Degree	L(m) Length of weir	W(m) Width of weir	P(m) Height of weir	L/W	W/P
۱/۵	۱۰/۵	۵/۰۵	۰/۹۲	۰/۱۵۲۴	۵/۵	۶/۰۴
۱/۵	۱۶/۸	۳/۱۸	۰/۹۲	۰/۱۵۲۴	۳/۴۵۶	۶/۰۴
۱/۵	۲۱	۲/۵۶۷	۰/۹۲	۰/۱۵۲۴	۲/۷۹	۶/۰۴
۱/۵	۳۲	۱/۷۳۶	۰/۹۲	۰/۱۵۲۴	۱/۸۸۶	۶/۰۴
۱/۵	۴۹	۱/۲۲	۰/۹۲	۰/۱۵۲۴	۱/۳۲۶	۶/۰۴



شکل (۲) نمودار تغییرات Cd بر حسب Ht/p برای سنجش درستی سرریز کنگره‌ای مثلثی

۹- مشخصات هندسی سرریز مطالعه شده برای

طراحی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای

در این پژوهش بعد از مطمئن شدن از عملکرد نرم‌افزار و روش‌های به کار گرفته شده در نرم‌افزار، مدل‌های سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای ساخته شد. برای بررسی عملکرد هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای از پنج زاویه دیواره سرریز با امتداد جریان (α)، با تغییرات طول دماغه

(2A) از ۵ تا ۲۰ درصد طول کل سرریز استفاده شد. جدول ۲، مشخصات سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای به کاررفته را نشان می‌دهد. با گذراندن دبی‌های گوناگون از سرریز و به دست آوردن هد و سرعت جریان در بالادست، نمودارهایی بر حسب $\frac{H_t}{p}$ و Cd با تغییرات زاویه سرریز در امتداد جریان (α) و طول دماغه (A)، ترسیم شد.

جدول (۲) مشخصات مدل سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای به کاررفته

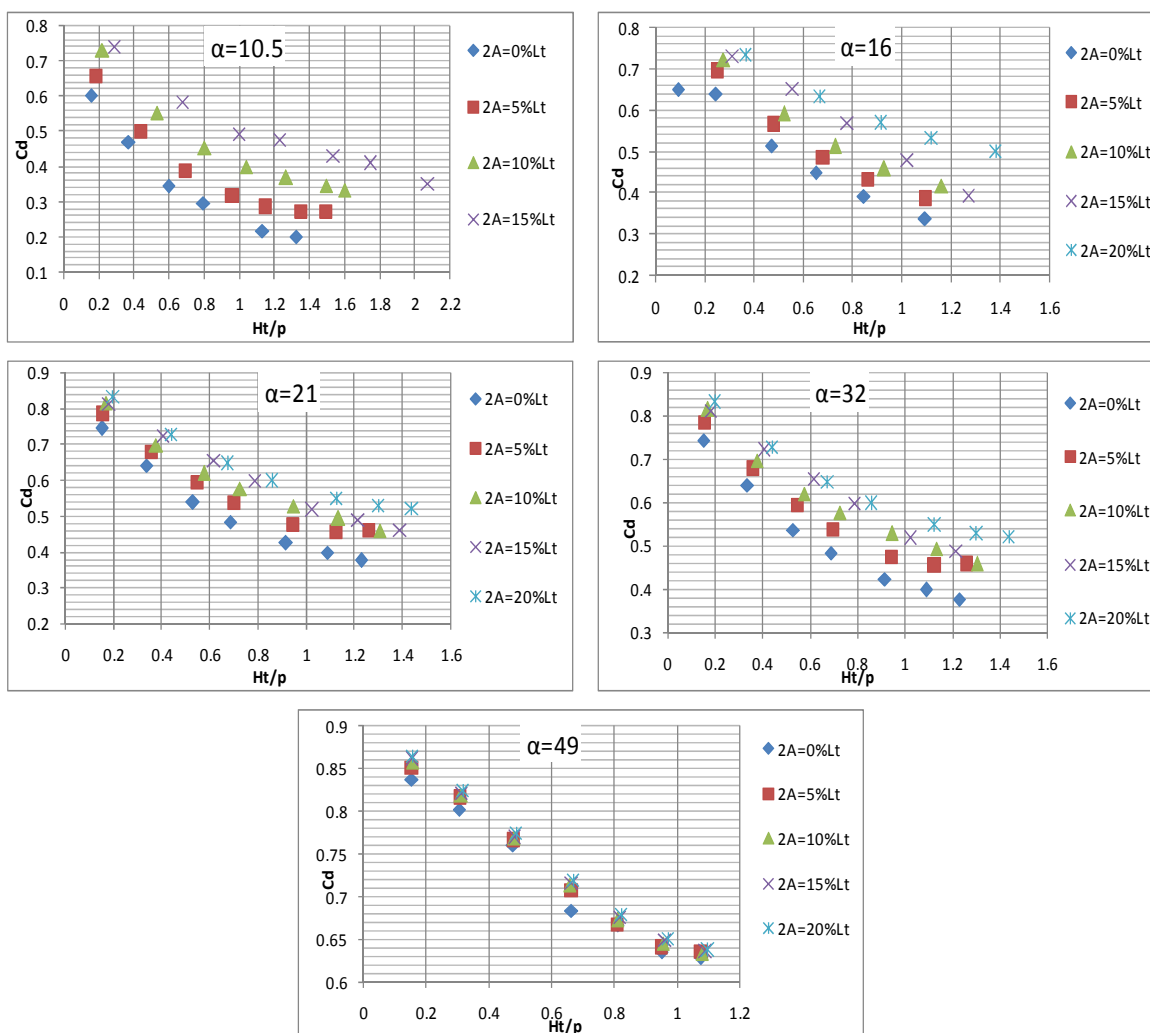
(α) Degree	L(m) طول سرریز	Wc(m) عرض سرریز	ΣA	P(m) ارتفاع سرریز	L/W	$2A=x\%Lt(m)$	x	N تعداد سیکل‌ها
۱۰/۵	۵/۰۵	۰/۹۲	۰	۰/۱۵۲۴	۵/۴۸۹	۰	۰	۱/۵
۱۰/۵	۳/۶۲۳	۰/۹۲	۰/۲۵۲۵	۰/۱۵۲۴	۳/۹۳۸	۰/۱۶۸	۵	۱/۵
۱۰/۵	۲/۲۵	۰/۹۲	۰/۵۰۵	۰/۱۵۲۴	۲/۴۴۵	۰/۳۳۷	۱۰	۱/۵
۱۰/۵	۱/۶۳۶	۰/۹۲	۰/۷۵۷۵	۰/۱۵۲۴	۱/۷۷۸	۰/۵۰۵	۱۵	۱/۵
۱۶	۳/۱۵۶	۰/۹۲	۰	۰/۱۵۲۴	۳/۴۳	۰	۰	۱/۵
۱۶	۲/۷۵۱	۰/۹۲	۰/۱۵۷۸	۰/۱۵۲۴	۲/۹۹	۰/۱۰۵	۵	۱/۵
۱۶	۲/۳۳۷	۰/۹۲	۰/۳۱۵۶	۰/۱۵۲۴	۲/۵۴	۰/۲۱۰	۱۰	۱/۵
۱۶	۱/۹۲۳	۰/۹۲	۰/۴۷۳۴	۰/۱۵۲۴	۲/۰۹	۰/۳۱۵۶	۱۵	۱/۵
۱۶	۱/۵۱	۰/۹۲	۰/۶۳۰۶	۰/۱۵۲۴	۱/۶۴۱	۰/۴۲۰	۲۰	۱/۵
۲۱	۲/۵۷۳	۰/۹۲	۰	۰/۱۵۲۴	۲/۷۹۶	۰	۰	۱/۵
۲۱	۲/۲۱۱	۰/۹۲	۰/۱۲۸۶۵	۰/۱۵۲۴	۲/۴۰	۰/۰۸۵۷	۵	۱/۵
۲۱	۱/۹۸۱	۰/۹۲	۰/۲۵۷۳	۰/۱۵۲۴	۲/۱۵۳	۰/۱۷۱	۱۰	۱/۵
۲۱	۱/۷۵	۰/۹۲	۰/۳۸۵۹	۰/۱۵۲۴	۱/۹	۰/۲۵۷۳	۱۵	۱/۵
۲۱	۱/۵۲۴	۰/۹۲	۰/۵۱۴۶	۰/۱۵۲۴	۱/۶۵۶	۰/۳۴۳	۲۰	۱/۵
۳۲	۱/۶۴	۰/۹۲	۰	۰/۱۵۲۴	۱/۷۸	۰	۰	۱/۵
۳۲	۱/۶	۰/۹۲	۰/۰۸۲	۰/۱۵۲۴	۱/۷۴	۰/۰۵۴۶	۵	۱/۵
۳۲	۱/۵۲۶	۰/۹۲	۰/۱۶۴	۰/۱۵۲۴	۱/۶۵۸	۰/۱۰۹	۱۰	۱/۵
۳۲	۱/۴۵۵	۰/۹۲	۰/۲۴۶	۰/۱۵۲۴	۱/۵۸	۰/۱۶۴	۱۵	۱/۵
۳۲	۱/۳۸۱	۰/۹۲	۰/۳۲۸	۰/۱۵۲۴	۱/۵	۰/۲۱۸۷	۲۰	۱/۵
۴۹	۱/۲۲	۰/۹۲	۰	۰/۱۵۲۴	۱/۳۲۶	۰	۰	۱/۵
۴۹	۱/۱۷۱	۰/۹۲	۰/۰۶۱	۰/۱۵۲۴	۱/۲۷	۰/۰۴۰۶	۵	۱/۵
۴۹	۱/۱۵۲	۰/۹۲	۰/۱۲۲	۰/۱۵۲۴	۱/۲۵۲	۰/۰۸۱۳	۱۰	۱/۵
۴۹	۱/۱۳۱	۰/۹۲	۰/۱۸۳	۰/۱۵۲۴	۱/۲۲۹	۰/۱۲۲	۱۵	۱/۵
۴۹	۱/۱۱۴	۰/۹۲	۰/۲۴۴	۰/۱۵۲۴	۱/۲۱۰	۰/۱۶۲۶	۲۰	۱/۵

۱/۵ سیکل داشته است. شکل ۳، تغییرات ضریب آبگذری جریان (Cd) را نسبت به $\frac{H_t}{p}$ برای زوایای مختلف سرریز نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است با افزایش زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان (α)، ضریب آبگذری افزایش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که این روند افزایش در ضریب آبگذری جریان با افزایش زاویه کاهش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش میزان دبی یا افزایش نسبت $\frac{H_t}{p}$ به خاطر افزایش تداخل لایه‌ها و استغراق، ضریب آبگذری برای همگی زوایا کاهش می‌یابد.

۱۰- نتایج تحلیل جریان از روی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای

۱۰-۱- تأثیر طول سرریز یا زاویه سرریز در امتداد جریان (α) بر ضریب آبگذری (Cd)

برای بررسی تأثیر زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان بر ضریب آبگذری جریان، سرریزهایی با زوایای دیواره گوناگون استفاده شد. همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شد، این سرریزها پنج زاویه $\alpha = 10.5, 16, 21, 32, 49^\circ$ در امتداد جریان دارند و همگی مدل‌های سرریز، ارتفاع ۰/۱۵۲۴ متر و

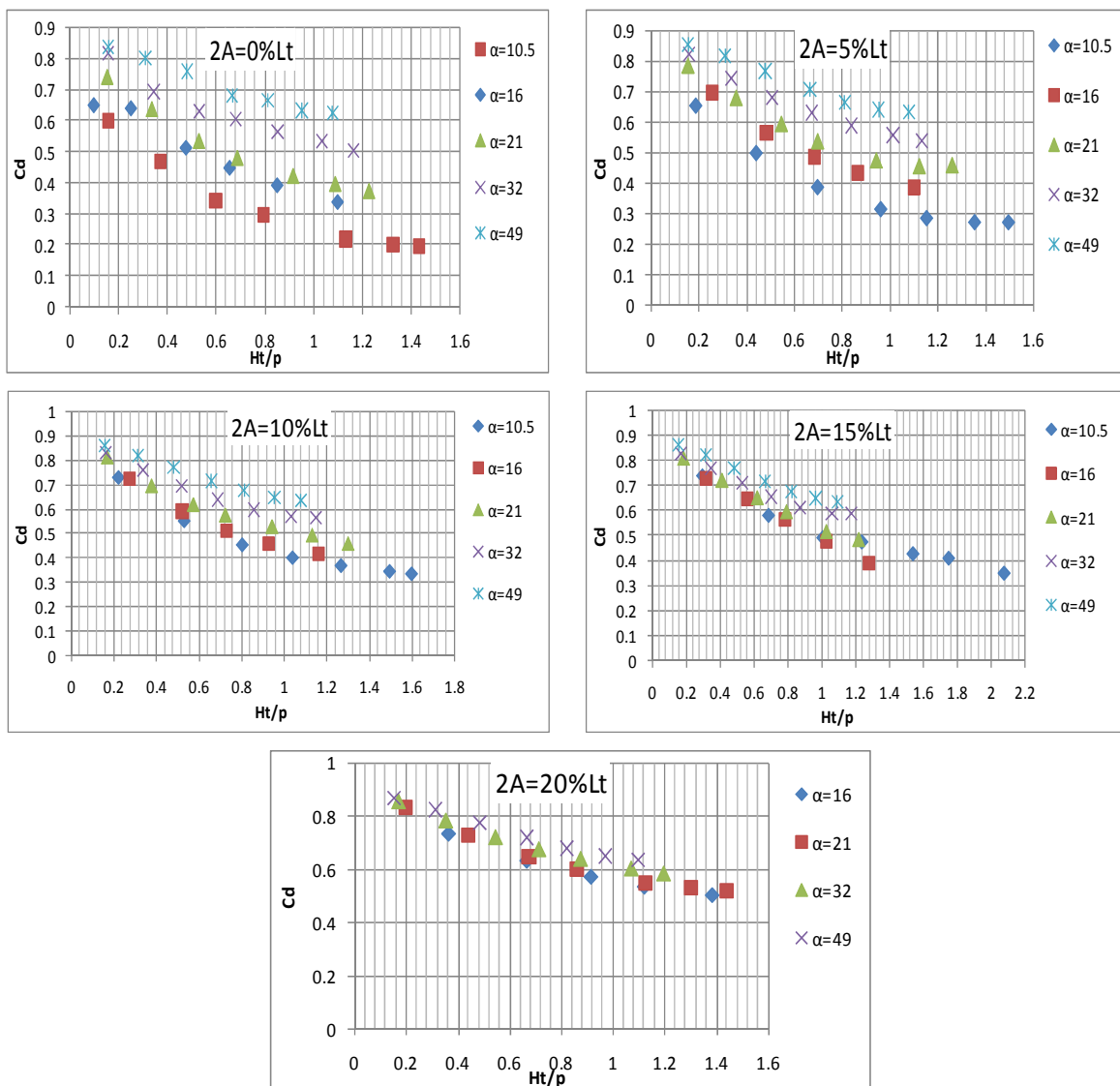


شکل (۳) نمودار تغییرات Cd بر حسب H_t/p به ازای طول گوناگون برای زوایای متفاوت

شده است. همان‌گونه که در نمودارهای شکل ۴ مشخص است، افزایش طول دماغه به خاطر کاهش تداخل لایه‌های جریان سبب افزایش ضریب آبگذری جریان شده که افزایش در زوایای کوچک به خاطر کاهش چشم‌گیر تداخل لایه‌های ریزشی، قابل توجه است. در زوایای بزرگ افزایش طول دماغه تاثیر کمتری در افزایش ضریب آبگذری دارد.

۱۰-۲- تاثیر طول دماغه بر ضریب آبگذری جریان (Cd)

در جدول ۲ نشان داده شده که در این پژوهش، مدل‌های سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای به ازای طول دماغه‌های گوناگون استفاده شد (طول دماغه به صورت درصدی از طول کل سرریز کنگره‌ای مثلی در حالتی که طول دماغه صفر باشد، تعریف شد). با گذراندن دبی‌های گوناگون از روی سرریز، نمودارهای شکل ۴ بر حسب $\frac{H_t}{p}$ و Cd طول دماغه‌های مختلف (A) برای زوایای مختلف رسم



شکل (۴) نمودار تغییرات Cd بر حسب H_t/p به ازای زوایای گوناگون برای طول‌های متفاوت دماغه

۱۱- روش ارائه شده در این پژوهش برای طراحی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای

۱- تعیین بیشینه عرض (wc)، تعیین دبی بیشینه طراحی (Q_{max})، بیشینه تراز آب مخزن (ELres)، تراز کانال دسترسی (ELcha)، تراز تاج سرریز (ELcre) بر اساس بررسی‌های هیدرولوژیکی؛

۲- تعیین ارتفاع استاتیکی روی تاج سرریز (H) که برابر اختلاف رقوم تراز آب مخزن از تراز تاج سرریز است:

$$H = EL_{res} - EL_{cre}$$

۳- ارتفاع سرریز (P) برابر اختلاف تراز تاج سرریز (ELcre) و تراز کانال دسترسی (ELcha) است. در صورتی که بنا به دلایلی این مقدار قابل محاسبه نباشد، مقدار P را به گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که $\frac{H_t}{P} \leq 0.9$ باشد و همچنین می‌توان P را تقریباً برابر $1.4H_t$ در نظر گرفت؛

۴- تعیین ارتفاع کلی روی تاج سرریز که برابر مجموع ارتفاع استاتیکی و افت نظیر سرعت ورودی است:

$$H_t = H + \frac{V^2}{2g} \quad (13)$$

مقدار سرعت با معلوم بودن دبی طراحی و ارتفاع سرریز، ارتفاع استاتیکی و عرض کل سرریز بدست می‌آید:

$$V = \frac{Q_{max}}{(P + H)wc} \quad (14)$$

۵- ضخامت دیواره سرریز را برابر $\frac{P}{6}$ در نظر بگیرید [۶]؛

۶- شعاع نیم‌دایره تاج سرریز را $\frac{P}{12}$ در نظر بگیرید [۶]؛

۷- تعیین نسبت $\frac{H_t}{P}$

۸- تعداد سیکل‌های سرریز را فرض کنید. این فرض اثر زیادی در جانمایی سرریزهای کنگره‌ای داشته و با انتخاب مناسب می‌توان هزینه‌ها را بهینه کرد. تعداد سیکل‌ها را می‌توان کامل یا به صورت نیم‌سیکل در نظر گرفت. در کمترین حالت $N=1.5$ انتخاب شود.

۹- تعیین زاویه افقی (α) بین دیواره و جریان ورودی.

زاویه افقی را به صورت $10.5 \leq \alpha \leq 49$ انتخاب کنید.

۱۰- طول دماغه (A) را مشخص کنید. در این پژوهش روش طراحی برای درصدهای گوناگونی از طول دماغه در نظر گرفته شده است. به طوری که طول دماغه به صورت درصدی (۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪) از طول کل سرریز کنگره‌ای در حالت مثلی با طول دماغه صفر در نظر گرفته شده است.

$$A = \frac{1}{2}x\%l_t \quad (15)$$

$$x = 5, 10, 15, 20$$

$$l_t = \frac{w}{\sin\alpha}$$

l_t طول کل سرریز در حالت مثلی بدون دماغه در یک سیکل است.

۱۱- عرض تک‌سیکل را به دست آورید.

$$w = \frac{wc}{N} \quad (16)$$

۱۲- مقادیر طول دماغه (A) و طول خارجی دماغه (D) را مشخص کنید.

$$A = \frac{1}{2}x\% \times \left(\frac{w}{\sin\alpha}\right) \quad (17)$$

$$D = A + 2t \times \tan\left(45 - \frac{\alpha}{2}\right) \quad (18)$$

۱۳- طول ساخته شده L_1 را به دست آورید.

$$w = (A + D + 2L_1 \sin\alpha) \quad (19)$$

۱۴- طول مؤثر ضلع سرریز L_2 را به دست آورید.

$$L_2 = L_1 - t \times \tan\left(45 - \frac{\alpha}{2}\right) \quad (20)$$

۱۵- طول کل دیواره‌ها را به دست آورید.

$$L_3 = N(2L_1 + D + A) \quad (21)$$

۱۶- طول مؤثر کل را به دست آورید.

شد و آثار تغییرات زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان و طول دماغه سرریز بر ضریب آبگذری (C_d) با تغییرات $\frac{H_t}{p}$ نشان داده شد. نتایج به دست آمده به صورت زیر است:

۱- با افزایش زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان (α)، ضریب آبگذری افزایش می‌یابد؛ به گونه‌ای که این روند افزایش در ضریب آبگذری جریان با افزایش زاویه، کاهش پیدا می‌کند و همچنین با افزایش میزان دبی یا افزایش نسبت $\frac{H_t}{p}$ ، ضریب آبگذری برای همه‌ی زوایا (به خاطر افزایش تداخل لایه‌ها و استغراق) کاهش می‌یابد.

۲- افزایش طول دماغه به علت کاهش تداخل لایه‌های جریان سبب افزایش ضریب آبگذری شده است که این افزایش در زوایای کوچک به علت کاهش چشم‌گیر تداخل لایه‌های ریزشی، قابل توجه است؛ عکس زوایای بزرگ که در آن‌ها افزایش طول دماغه تاثیر کمتری بر افزایش ضریب آبگذری جریان دارد.

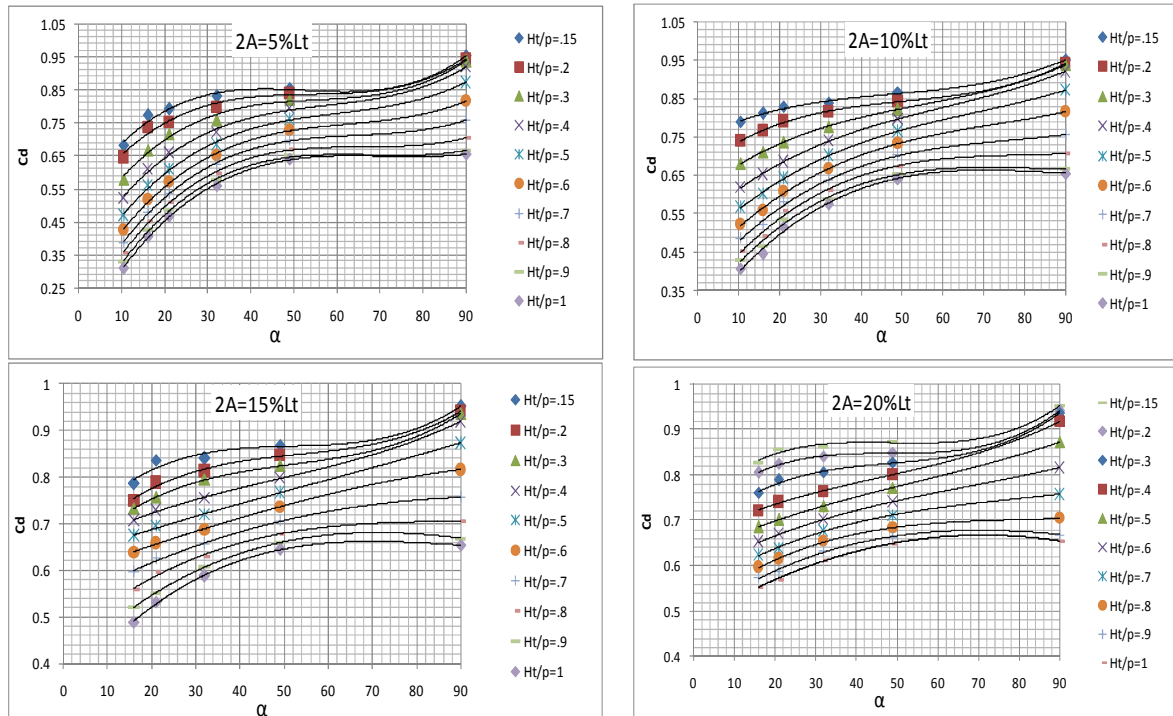
$$L_e = 2N(L_2 + A) \quad (22)$$

۱۷- تعیین بیشینه دبی عبوری از سرریز: با داشتن مقدار درصد طول دماغه و α و $\frac{H_t}{p}$ که از مراحل قبل انتخاب شده است. با استفاده از نمودارهای شکل ۵، مقدار C_d را به دست آورید. با توجه به داده‌های به دست آمده مقدار بیشینه دبی عبوری (Q_{max}) را از رابطه‌ی (۹) به دست آورید.

۱۸- بیشینه دبی عبوری را با دبی طراحی مقایسه کنید. اگر اختلاف زیادی بین این دو مقدار بوده، دوباره با تغییر سیکل‌ها و α و درصد طول دماغه، با سعی و خطا بیشینه دبی عبوری را برای حالت جدید به دست آورید تا به دبی طراحی مورد نظر برسید [۶ و ۷]

۱۲- نتیجه‌گیری

همان‌گونه که در این پژوهش گفته شد، مدل عددی سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با زوایا و طول‌های گوناگون دماغه بررسی



شکل (۵) نمودار طراحی تغییرات C_d بر حسب H_t/p

۱۳- مراجع

نورپورهشترودی. ع. ر.، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه

علم و صنعت، تهران، ۱۳۸۶

[12] Hirt, C.W., and Nichols, B.D., "Volume of Fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries," *Journal of Computational Physics*, Vol. 39, 1981, pp. 201-225.

[13] Hirt, C.W., and Sicilian, J. M. A., "porosity technique for the definition of obstacles in rectangular cell meshes," *Proc., 4th Int. Conf. Ship Hydro., National Academy of Science, Washington, D.C., 1985. pp. 1-19.*

[14] Hirt, C. W., "Volume-fraction techniques: Powerful tools for flow modeling," *Flow Sci. Rep., FSI-92-00-02, Flow Science, Inc., Santa F, 1992.*

[15] FLOW Science; Improving the world through accurate flow modeling, http://www.flow3d.com/flow3d/flow3d_why.html, 2009.

[۱۶] جعفری، ن. ا، "بررسی ضریب گذردهی سرریزهای

کنگره‌ای به روش هیدرودینامیک محاسباتی و

بهینه‌سازی هندسه سرریز با استفاده از مدل فازی-

عصبی و الگوریتم ژنتیک"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد،

سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان،

زاهدان، ۱۳۸۹.

[17] Savage, B., Frizell, K., and Crowder, J., "Brains versus Brawn: The Changing World of hydraulic model Studies," *Proceedings of the 2004 Annual Conference, Association of State Dam Safety Officials (ASDSO). Phoenix, AZ, 2004.*

[1] Darvas, L.A., "Performance and design of labyrinth weirs," *J. Hydr. Engrg., ASCE, 97(8), 1971, pp. 1246-1251.*

[2] Taylor, G., *The performance of labyrinth weirs, PhD thesis, Univ. of Nottingham, .K., 1968, pp. 2337-2357.*

[3] Hay, N., and Taylor., "Performance and design of labyrinth weirs," *J. Hydr. Engrg., ASCE, 1970, 96(11), pp. 2337-2357.*

[4] Lux III, F.L., and Hinchcliff, D., "Design and construction of labyrinth spillways," *Proc. 15th International Congress on Large Dam, Vol. 4, Q. 59, R, 1985, PP. 249-274,*

[5] MAGALHES. A.P. "Labyrinth weir spillway," Q59.R24, 15th congress of ICOLD, Lausanne, Switzerland, 1985.

[6] Tullis, J. P., Nosratollah, A., and Waldron, D., "Design of labyrinth spillways," *J. Hydraul. Eng., 1995. 121_3_, 247-255.*

[۷] م، قدسیان؛ امانیان؛ "ضریب آبگذری سرریزهای

کنگره‌ای نیم دایره‌ای شکل در پلان" دانشگاه امیر کبیر،

زمستان ۱۳۸۰.

[۸] مرعشی، ع، "بررسی ضریب گذردهی جریان در

سرریزهای کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای شکل در پلان"،

پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی آب، دانشگاه تربیت

مدرس، ایران، ۱۳۷۸.

[۹] شنوایی، ح، "بررسی ضریب گذردهی جریان در

سرریزهای کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای شکل در پلان"،

پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی آب، دانشگاه تربیت

مدرس، ایران، ۱۳۷۹.

[۱۰] عظیمیان، ا.، "دینامیک سیالات محاسباتی"، مرکز نشر

دانشگاهی اصفهان، ۱۳۸۵.

[۱۱] ورستیگ، ه. ک.؛ مالاسکرا؛ و، "مقدمه‌ای بر دینامیک

سیالات محاسباتی"، مترجم: شجاعی فرد؛ م. ح.،