

مقایسه ضریب دبی عبوری در سرریزهای کنگره‌ای با هندسه‌های متفاوت با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D و مدل آزمایشگاهی

امیررضا بهره‌بر^۱، محمد حیدر نژاد^{۲*}، علیرضا مسجدی^۳، امیرعباس کمان بدست^۴، امین بردبار^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۵

چکیده

از راه‌های موثر بر افزایش طول سرریز در عرض معین استفاده از سرریزهایی با پلان غیرخطی نظیر مثلثی، دوزنقه‌ای و سهموی می‌باشد، که به آن‌ها سرریزهای کنگره‌ای یا زیگزاگی گفته می‌شود. که معمولاً بصورت یک و یا چند سیکل ساخته می‌شوند. در نتیجه احداث این نوع از سرریزها، حجم جریان عبوری از آن‌ها افزایش یافته و ارتفاع آزاد کم‌تری در بالادست نسبت به سرریزهای خطی نیاز خواهد بود. این موضوع در مواقعی که به‌عنوان سازه تخلیه سیلاب عمل می‌نمایند حایز اهمیت بوده و منجر به تسهیل عبور جریان سیلاب می‌گردد. در این تحقیق با ۴ دبی (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰) لیتر بر ثانیه و عرض و ارتفاع کانال ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر، مدل‌های سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای، مربعی، مثلثی و کلید پیاپویی بصورت آزمایشگاهی و با نرم‌افزار Flow3D با مدل آشفتگی $K - \epsilon$ از نوع RNG مطالعه شد و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. از بین تمامی مدل‌ها، سرریز کنگره‌ای مثلثی بیشترین ضریب دبی را به خود اختصاص داده و با افزایش نسبت H_t/P برای تمامی مدل‌ها ضریب دبی کاهش می‌یابد و با این حال می‌توان نتیجه گرفت که تطابق نسبتاً خوبی بین مقادیر حل عددی و آزمایشگاهی وجود دارد و بهترین محدوده برای نسبت H_t/P جهت طراحی، بین ۰/۱۴ تا ۰/۴۲ است که حداکثر ضریب دبی معادل ۱/۲۴ در این محدوده قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: سرریز کنگره‌ای، ضریب دبی، طول موثر، Flow-3D

مقدمه

سرریز تابع طول و شکل تاج سرریز می‌باشد. بنابراین تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص تاثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بر ضریب تخلیه جریان و مقدار دبی عبوری از روی سرریزها انجام شده است. یکی از راه‌های موثر بر افزایش طول سرریز در عرض معین استفاده از سرریزهایی با پلان غیرخطی نظیر مثلثی، دوزنقه‌ای و سهموی می‌باشد، که به آن‌ها سرریزهای کنگره‌ای یا زیگزاگی گفته می‌شود. که معمولاً بصورت یک و یا چند سیکل ساخته می‌شوند. در نتیجه احداث این نوع از سرریزها، حجم جریان عبوری از آن‌ها افزایش یافته و ارتفاع آزاد کم‌تری در بالادست نسبت به سرریزهای خطی نیاز خواهد بود. این موضوع در مواقعی که به‌عنوان سازه تخلیه سیلاب عمل می‌نمایند حایز اهمیت بوده و منجر به تسهیل عبور جریان سیلاب می‌گردد.

عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای قوسی دوزنقه‌ای در حجم مخزن به روش دینامیک سیالات محاسباتی انجام گردید. در بارهای هیدرولیکی کم، سرریز کنگره‌ای عملکرد مناسبی داشته و ضریب دبی روند صعودی دارد اما با افزایش بار هیدرولیکی، به دلیل تداخل لایه‌های جریان و وقوع استغراق موضعی بر عملکرد سرریز کنگره‌ای اثر منفی داشته و ضریب دبی پس از رسیدن به حداکثر

در هنگام ساخت سدها، توجه به داده‌های هیدرولیکی جدید ممکن است با افزایش بیشینه سیل و بخصوص سیلاب شهری همراه باشد. در سدهای قدیمی، ممکن است ظرفیت سرریز از ظرفیت بهینه و قابل قبولی برخوردار نباشد که این اتفاق در هنگام سیلاب، شهرهای پایین دست موجب بروز مشکلات بیش‌تری خواهد شد. گاهی به منظور بالا بردن انرژی تولیدی نیاز به افزایش تراز سطح نرمال آب مخزن سد می‌باشد. لذا ارزیابی یا طراحی سرریز بخصوص در سدهای با عرض محدود و ثابت از لحاظ توپوگرافی ساختگاه سد مورد نظر، امری ضروری می‌باشد. از آن‌جا که حجم جریان عبوری از

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم و تحقیقات

خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، اهواز، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، اهواز، ایران

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، اهواز، ایران

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، اهواز، ایران

۵- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، اهواز، ایران

*- نویسنده مسئول : (Email: mo_he3197@yahoo.com)

(Crookston and Tullis., 2012).

قدسیان (۱۳۷۹) با استفاده از آنالیز ابعادی رابطه‌ای را برای دبی عبوری از سرریزهای کنگره‌ای مثلثی ارائه داد که در ادامه کارلو و همکاران رابطه‌ی ارائه شده توسط وی را برای جریان عبوری از سرریز کنگره‌ای مثلثی شکل با تاج لبه تیز اصلاح کردند (Carollo et al., 2012). نگاهی به تحقیقات پیشین نشان می‌دهد در ارتباط با سرریزهای کنگره‌ای مطالعات زیادی انجام شده است ولیکن تکنیک‌های افزایش طول موثر کم‌تر بکار گرفته شده است. بنابراین در تحقیق حاضر اثر ایجاد کنگره‌های مثلثی در بال سرریز مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

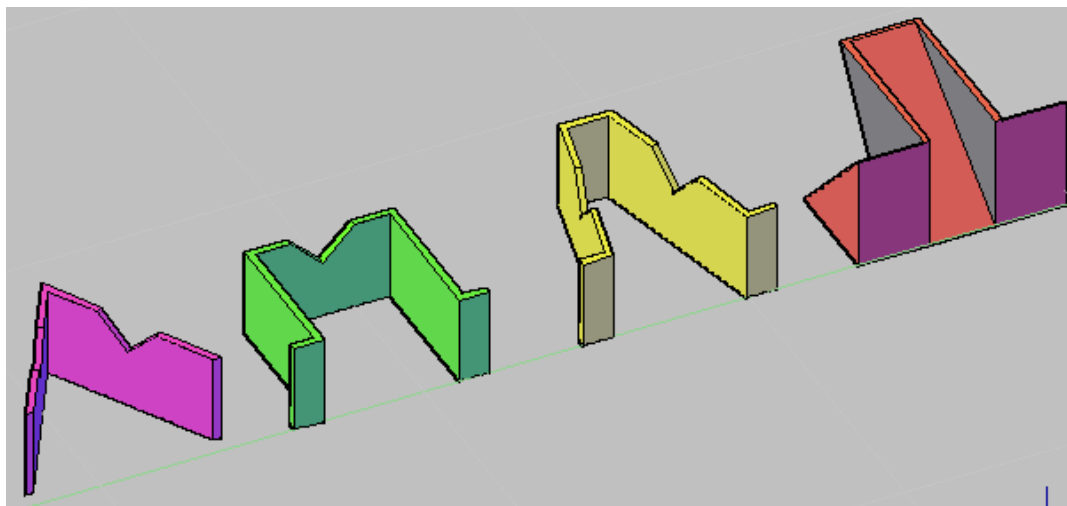
معرفی نرم‌افزار

دینامیک سیالات محاسباتی با تبدیل معادلات دیفرانسیلی حاکم بر جریان به معادلات جبری، امکان حل عددی آن‌ها را فراهم می‌سازد. علی‌رغم وجود روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف جهت حل عددی معادلات حاکم، تقریباً در تمامی روش‌ها با تقسیم ناحیه مورد نظر به المان‌های کوچک‌تر و اعمال شرایط مرزی برای گره‌های مرزی با در نظر گرفتن تقریب‌هایی، یک دستگاه معادلات خطی بدست می‌آید که با حل این معادلات جبری، میدان سرعت، فشار و سایر پارامترها بدست می‌آید (عرب‌عامری و برفه‌ئی، ۱۳۹۵). از نرم‌افزارهای قدرتمند در زمینه مکانیک سیالات براساس روش حجم محدود نرم‌افزار Flow-3D است که تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط شرکت Flow Science Inc صورت گرفته است. این نرم‌افزار برای تحقیق و بررسی رفتار جریان در حالت‌های یک، دو و سه‌بعدی در محدوده کاربردی وسیعی طراحی شده است. نرم‌افزار Flow-3D شامل الگوی‌های فیزیکی مختلفی نظیر آب‌های کم عمق، لزجت، آشفتگی، کشش سطحی، کاپیتاسیون و محیط‌های متخلخل می‌باشد که از این مدل‌ها در زمینه‌هایی چون هیدرولیک، مهندسی محیط زیست، ریخته‌گری مواد، هوا و فضا، علوم دریایی، نفت و گاز استفاده می‌شود.

در این تحقیق نیز به منظور شبیه‌سازی و مدل‌سازی عددی جریان عبوری از سرریزهای کنگره‌ای از نرم‌افزار Flow-3D استفاده شد. شکل ۱، سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با ایجاد شکاف‌های مثلثی در بال را در محیط نرم‌افزار Flow-3D نشان می‌دهد.

مقدار خود، سیر نزولی می‌یابد (قلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). دریک نسبت H/P و ارتفاع سرریز ثابت با افزایش طول دماغه دبی عبوری از سرریز افزایش می‌یابد. در یک طول و نسبت H/P ثابت مقدار دبی از سرریز با افزایش ارتفاع، افزایش می‌یابد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴). 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 (اژدری مقدم و جعفری ندوشن، ۱۳۹۲). سابقه ساخت سرریزهای کنگره‌ای به قبل از سال ۱۹۲۰ می‌رسد، لیکن تا قبل از ۱۹۶۸ مطالعات اندکی به منظور بررسی و شناخت رفتار هیدرولیکی این نوع سرریزها انجام شده است. اکثر تحقیقات صورت گرفته بر روی سرریزهای کنگره‌ای در پلان مثلثی و دوزنقه‌ای شکل می‌باشند. اولین مطالعه بر روی سرریزهای کنگره‌ای به وسیله تیلور در سال ۱۹۶۸ انجام گرفت (Taylor., 1968). هی و تیلور روشی برای محاسبه دبی و طراحی این سرریزها ارائه نمودند (Hay and Taylor., 1970). پس از سال ۱۹۸۰ موسسات تحقیقاتی و فنی دیگر مانند دانشگاه جورجیا و مرکز تحقیقات آب دانشگاه یوتا (UTAH) مطالعات جامع‌تری را انجام دادند. مطالعاتی تجربی نیز توسط تولیس و همکاران بر روی این نوع سرریزها انجام شده است (Tullis et al., 1995) ملو و همکاران روش ماگالاس را برای سرریزهای کنگره‌ای قرار گرفته در یک کانال با دیواره همگرا توسعه دادند. آنان این امر را به عنوان راهی برای بهبود جهت‌گیری جریان ورودی به سرریز معرفی کردند (Magalas., 1985; Melo et al., 2002). نتایج تولیس نشان داد که زاویه سرریز کنگره‌ای با راستای اصلی جریان بر روی دبی عبوری در حالت مستغرق تأثیرگذار است و با این حال روابطی برای محاسبه دبی سرریزهای کنگره‌ای در حالت مستغرق ارائه داد (Tullis et al., 2007).

خوده و همکاران با هدف فراهم کردن اختیار بیش‌تر در طرح سرریزهای کنگره‌ای، دسته‌ای دیگر از منحنی‌های طراحی را در محدوده وسیع‌تری از زاویه دیوار جانبی سرریز ارائه دادند (Khode et al., 2012). تولیس و کورکستون حالات مختلف قرارگیری سرریز در داخل مخزن را آزمایش و مقایسه نمودند. این محققین با مشاهده عملکرد بهتر سرریزهای کنگره‌ای قوسی این پدیده را در نتیجه جهت‌گیری بهتر سیکل نسبت به جریان ورودی عنوان کردند



شکل ۱- مدل‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار Flow-3D

مواد و روش‌ها

مدل عددی

در نرم‌افزار Flow-3D برای شبیه‌سازی سطح آزاد از روش (VOF) استفاده می‌شود، که در این روش با حل معادله ی ۵، F به عنوان جزو حجم سیال در یک سلول سطح آزاد محاسبه می‌شود (قاسم‌زاده، ۱۳۹۶).

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left(\frac{\partial}{\partial x} (FuA_x) + \frac{\partial}{\partial y} (FvA_y) + \frac{\partial}{\partial z} (FwA_z) \right) = 0 \quad (5)$$

در صورتی که F=0 باشد سلول پر از هوا و اگر F=1 باشد، سلول پر از آب می‌باشد سطح آزاد جایی تعیین می‌شود که در آن F=0.5 است. هم‌چنین برای حل آشفتگی میدان جریان نیز از مدل آشفتگی $\epsilon - k$ از نوع RNG استفاده شده است و علت انتخاب این مدل این بوده که این مدل یک ترم اضافی نسبت به سایر معادلات آشفتگی دارد که برای حل و گسسته‌سازی معادلات مربوط به آشفتگی جواب دقیق‌تری را به ما می‌دهد. براساس تحقیقات پیشین صورت گرفته از جمله (محمد کاهه و همکاران، ۱۳۹۴) به دلیل وجود یک ترم اضافی در معادله ϵ در حل آشفتگی جریان‌های کرنشی از دقت بالاتری نسبت به بقیه روش‌های دیگر برخوردار می‌باشد.

مشخصات هندسی و داده‌های مورد نیاز جهت شبیه‌سازی سرریزهای کنگره‌ای با هندسه‌های مختلف در جدول ۱ ارایه شده است. به منظور راحتی بیان نام‌های مدل‌ها از مخفف دو کلمه اصلی انگلیسی آن‌ها در نام‌گذاری‌ها استفاده شده است (Rectangular Labyrinth Weir=RLW) و (Trapezoidal Labyrinth Weir=TLW1) و (Triangular Labyrinth Weir= TLW1) و (TLW Piano) و (Key=PK).

معادلات حاکم

به منظور شبیه‌سازی میدان جریان در این تحقیق از نرم‌افزار Flow-3D استفاده شده است این نرم‌افزار برای تحلیل سه‌بعدی جریان در حالت تراکم‌ناپذیر معادلات ناویراستوکس رینولدزی را با استفاده از روش حجم محدود بر روی یک میدان شبکه‌بندی شده حل می‌کند. این معادلات در دستگاه مختصات کارتزین (x,y,z) به صورت رابطه ۱ تا ۴ می‌باشند (قاسم‌زاده، ۱۳۹۶).

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u A_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v A_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w A_z)}{\partial z} = R_{SOR} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + G_y + f_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z \quad (4)$$

که در آن:

(u, v, w) مولفه‌های سرعت، (A_x, A_y, A_z) کسری از مساحت مرتبط با جریان، (G_x, G_y, G_z) شتاب جرمی و (f_x, f_y, f_z) شتاب لزجت در جهت‌های (x, y, z)، چگالی ρ سیال، R_{SOR} ترم چشمه، V_F کسری از حجم مرتبط با جریان و P فشار می‌باشند (قاسم‌زاده، ۱۳۹۶).

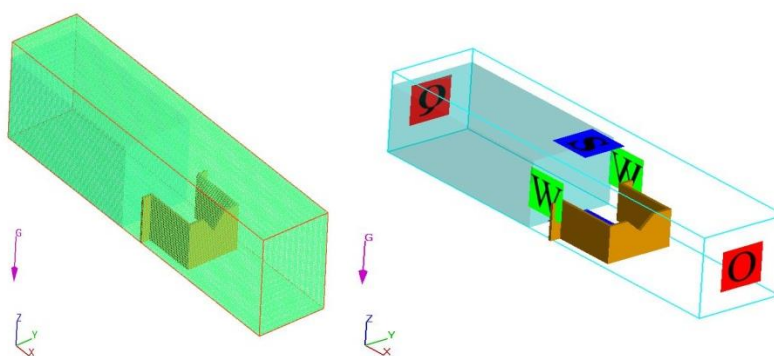
جدول ۱- اطلاعات مربوط به مدل‌های سرریزهای کنگره‌ای

شماره مدل	عرض کانال (سانتی‌متر)	طول تاج موثر (سانتی‌متر)	ارتفاع سرریز (سانتی‌متر)	دبی بالادست (لیتر/ثانیه)	عمق جریان بالادست (سانتی‌متر)
RLW	۳۰	۷۶	۱۴	۵-۲۰	۱۵/۹-۱۹/۸
TLW	۳۰	۸۴	۱۴	۵-۲۰	۱۵/۸-۱۹/۸
TLW1	۳۰	۶۸	۱۴	۵-۲۰	۱۵/۸-۱۹/۹
PK	۳۰	۸۰	۱۴	۵-۲۰	۱۶-۱۹/۷
PK	۳۰	۹۰	۱۸	۵-۲۰	۲۰-۲۳/۵

شبکه محاسباتی و اعمال شرایط مرزی

شبکه‌بندی در نرم‌افزار Flow-3D به منظور حل عددی میدان جریان در سه راستای (x, y, z) به هر دو صورت یکنواخت و غیریکنواخت امکان‌پذیر است. که در این تحقیق مش‌بندی نهایی برای شبکه محاسباتی با انتخاب بهینه برای تمامی مدل‌ها به تعداد ۹۰۰ هزار مش یکنواخت بدست آمد، شاخص انتخاب مش‌بندی‌ها در نرم‌افزار Flow-3D با سعی و خطا بدست می‌آید و در این مرحله از کار مش‌بندی را که نتایجی نزدیک و قابل قبول با نتایج آزمایشگاهی می‌دهد را به‌عنوان مش‌بندی بهینه و نهایی انتخاب شد.

برای اعمال شرایط مرزی در مرز بالایی از شرط مرزی تقارن، برای ورودی جریان از شرط مرزی دبی مشخص و برای مرز پایین دست نیز به‌منظور عدم تاثیرپذیری جریان در شبکه حل از شرایط بیرون، از شرط مرزی خروجی استفاده شده است، برای دیواره‌ها و کف کانال شرط مرزی wall تعریف شده که مانند یک دیوار مجازی بدون اصطکاک عمل می‌کند. در شکل و جدول ۲ شبکه‌بندی میدان محاسباتی و اعمال شرایط مرزی به مدل سرریزهای کنگره‌ای، نشان داده شده است.



شکل ۲- شبکه‌بندی میدان محاسباتی و اعمال شرایط مرزی

جدول ۲- معرفی شرایط مرزی اعمال شده

نرم‌افزار	مرز بالادست	مرز پایین دست	مرز سطح آزاد	مرز کف سرریز	مرزهای کناری
Flow-3D	Volume flow rate	Outflow	Symmetry	Wall	Wall

نتایج و بحث

صحت‌سنجی نتایج عددی و آزمایشگاهی

به منظور نسبت H_t/P و C_d در فلوام آزمایشگاهی در حالات آزاد و مستغرق کالیبره شدند زیرا در ابتدا که جریان به حالت آزاد می‌باشد ضریب در حال افزایش می‌باشد و وقتی که ضریب دبی کاهش پیدا کرد نشانه این است که جریان حالت نیمه استغرق پیدا کرده است. در

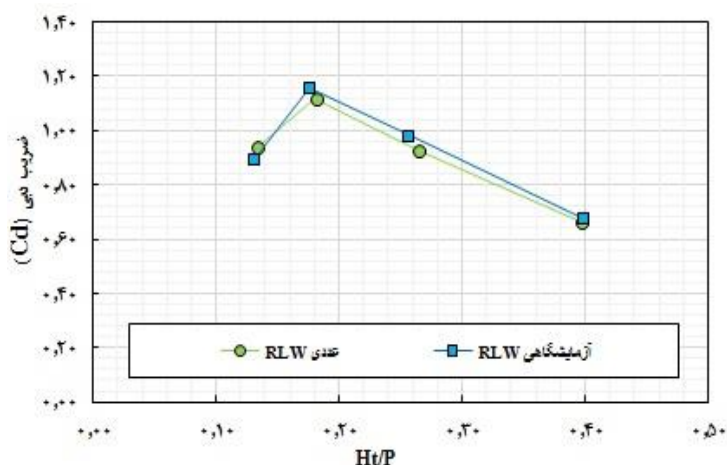
نرم‌افزار Flow-3D برای صحت‌سنجی، ابعاد مش‌بندی را به‌صورت ابعادهای کوچک و بزرگ تغییر داده و با هر کدام از این ابعاد، نرم‌افزار را اجرا شد. سپس نتایج بدست آمده را در هر حالت با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نموده، در این‌جا مش‌بندی را به‌عنوان مش‌بندی بهینه انتخاب کرده تا درصد خطای کم‌تری را بین داده‌های حاصل از نرم‌افزار Flow-3D با داده‌های آزمایشگاهی داشته باشیم.

$$e = \frac{(Cd_N - Cd_E)}{Cd_N} \times 100 \quad (۶)$$

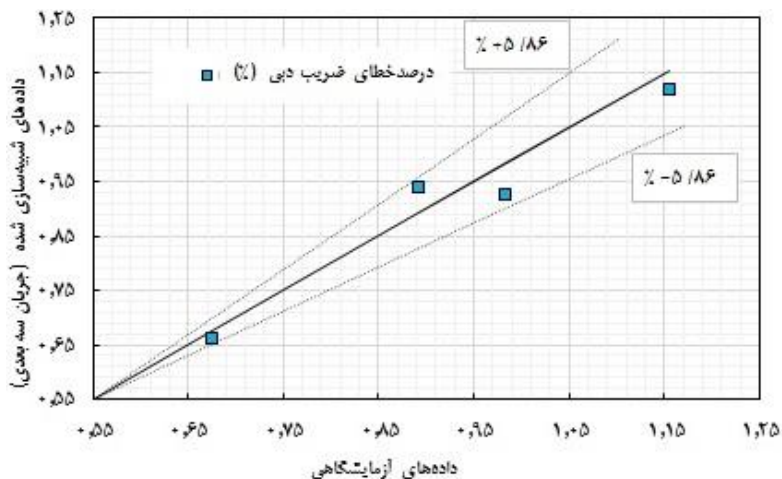
در رابطه‌ی فوق e نشانگر درصد خطای نسبی، Cd_N مقدار ضریب دبی حل عددی و Cd_E مقدار ضریب دبی اندازه‌گیری شده می‌باشد. در این تحقیق نتایج ضریب دبی حاصل از شبیه‌سازی نرم افزار مدل RLW با نتایج آزمایشگاهی صحت‌سنجی شده است. اشکال ۳، ۴ و جدول ۳ به ترتیب مقادیر ضریب دبی و درصد خطای نسبی حاصل از نتایج شبیه‌سازی و آزمایشگاهی برای مدل RLW را نشان می‌دهد.

آزمایش‌ها در حالات آزاد و نیمه‌مستغرق در فلوم آزمایشگاهی مستطیل شکل دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج (ایران) که طول، ارتفاع و عرض آن به ترتیب ۸ و ۰/۴ و ۰/۳ متر می‌باشد اندازه‌گیری شد. همچنین مدل‌های آزمایشگاهی از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر انتخاب شد.

یکی از راه‌های صحت‌سنجی مقایسه نتایج و همچنین تعیین محدوده درصد خطا بین داده‌های حاصل از نرم‌افزار Flow-3D با داده‌های آزمایشگاهی استفاده از رابطه ۶ می‌باشد.



شکل ۳- مقادیر ضریب دبی حاصل از حل عددی و آزمایشگاهی مدل RLW



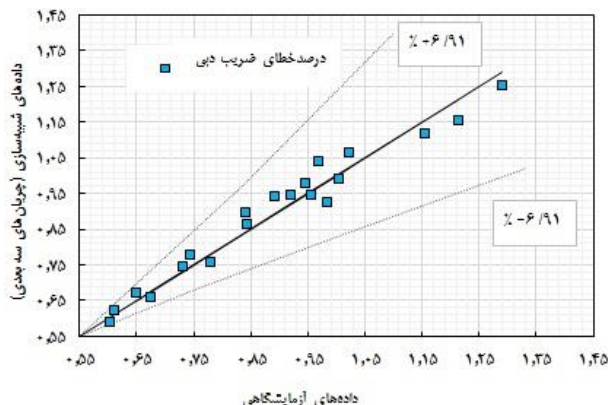
شکل ۴- درصد خطای نسبی ضریب دبی مدل RLW

جدول ۳- درصد خطای نسبی ضریب دبی مدل RLW

H _t /P	مقادیر آزمایشگاهی	مقادیر شبیه‌سازی شده	درصد خطا (%)
۰/۱۳۴	۰/۸۹۳	۰/۹۴۱	۵/۱۵
۰/۱۸۰	۱/۱۵۵	۱/۱۱۹	-۳/۱۸
۰/۲۶۴	۰/۹۸۳	۰/۹۲۸	-۵/۸۷
۰/۳۹۷	۰/۶۷۵	۰/۶۶۲	-۱/۹۰

ضریب دبی مدل‌های شبیه‌سازی شده، به میزان ۶/۹۱ درصد می‌باشد و با توجه به این که درصد خطای ضریب دبی برای تمامی مدل‌ها زیر ۱۰ درصد می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حل عددی و آزمایشگاهی به صورت قابل قبول می‌باشند.

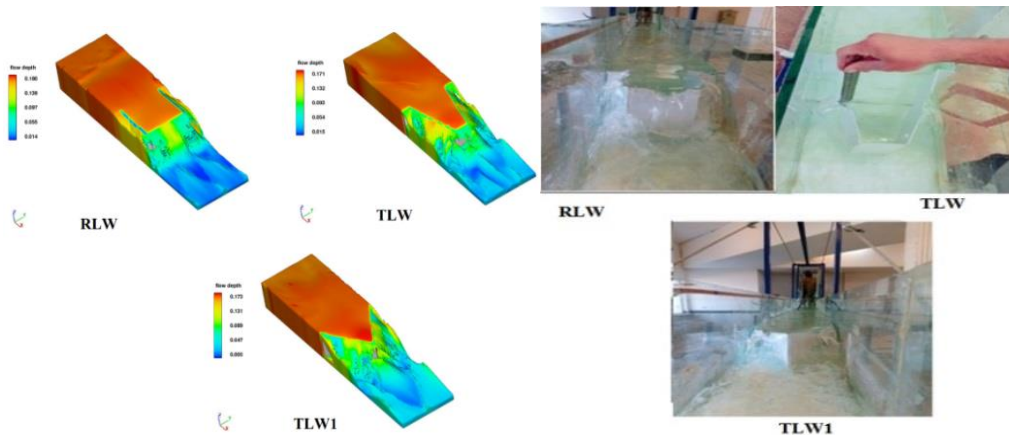
با توجه به مقادیر درصد خطای نسبی ضریب دبی، مشاهده می‌گردد که بیش‌ترین اختلاف مقادیر برای نسبت $H_t/P = 0.264$ به مقدار ۵/۸۷ درصد می‌باشد. علامت منفی به این معناست که مقادیر ضریب دبی نتایج حل عددی کمتر از مقادیر آزمایشگاهی می‌باشد. مطابق شکل ۵ با بررسی درصد خطاهای نسبی، بیش‌ترین خطای



شکل ۵- درصد خطای نسبی ضریب دبی برای کل مدل‌ها

Flow-3D، جریان عبوری از سرریزها برای دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه ($H_t/P = 0.181$) در شکل ۶ نشان داده شده است.

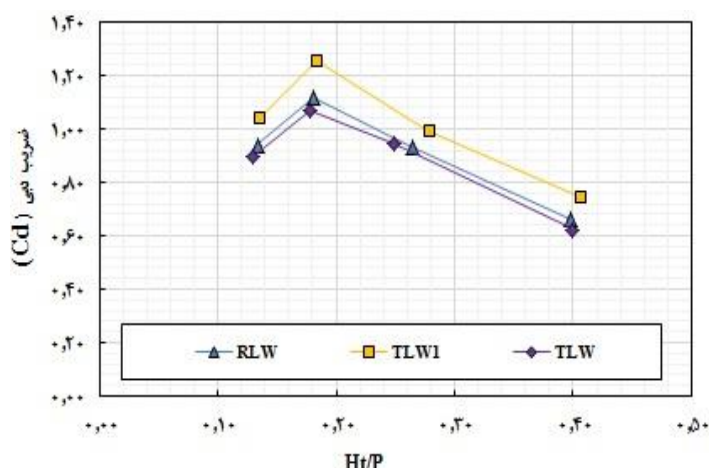
تأثیر ایجاد شکاف مثلی بر روی بال سرریز کنگره‌ای پس از مدل‌سازی و شبیه‌سازی سرریزهای کنگره‌ای در نرم‌افزار



شکل ۶- جریان عبوری از سرریزهای کنگره‌ای در نسبت $H_t/P = 0.181$

افزایش طول موثر سرریز شده است. در خصوص سرریزهای زیگزاگی مطالعات زیادی صورت گرفته ولی تاکنون در خصوص اثرگذاری کنگره‌های مثلی مطالعه‌ای انجام نشده است. همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده شده است در تمامی سه مدل سرریزهای کنگره‌ای مربعی، دوزنقه‌ای و مثلی شکاف‌های مثلی دارای اندازه ساق‌های یکسان به طول ۷ سانتی‌متر هستند. شکل ۷ ضرایب دبی مدل‌های سرریزهای کنگره‌ای را نشان می‌دهد.

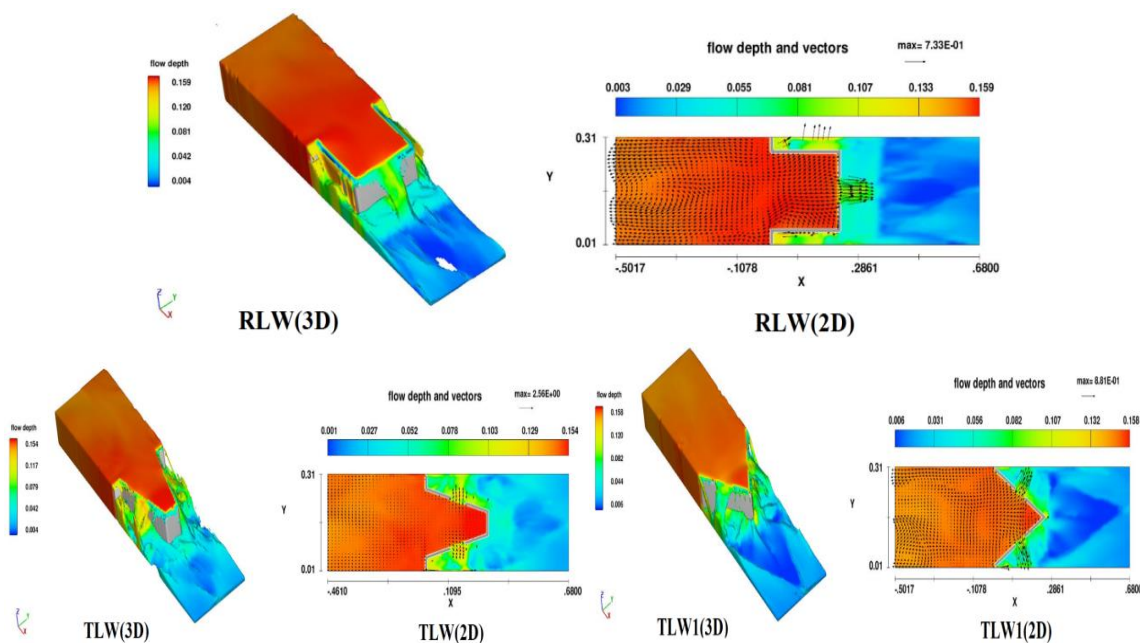
سرریزهای کنگره‌ای به واسطه افزایش طول موثر سرریز در عرض مشخص نسبت به سرریزهای خطی در پلان در نسبت H_t/P ثابت قادر به عبوردهی جریان بیش‌تری بوده و همین امر باعث گردیده که طراحان به منظور کاهش خطرات ناشی از وقوع سیلاب که اغلب با آبیگری مناطق اطراف رودخانه و خسارات مالی و جانی فراوانی همراه بوده است، از سرریزهای کنگره‌ای به جای سرریز خطی استفاده نمایند. در این تحقیق با ایجاد شکاف‌های مثلی در بال سرریزها (بدنه سرریزها) که در شکل ۹ داده شده است سعی در



شکل ۷- ضرایب دبی سرریزهای کنگره‌ای مربعی و دوزنقه‌ای و مثلثی

سرریزها کاهش می‌یابد. نکته قابل ذکر این‌که افزایش هد روی سرریزها باعث نیمه‌مستغرق شدن سرریز می‌شود و همین باعث می‌شود ضرایب دبی تمامی مدل‌های سرریز به هم نزدیک‌تر شده و از کارایی افزایش طول موثر بر روی ضریب دبی کاسته شود. شکل ۸ جریان عبوری از بین شکاف‌های مثلثی ایجاد شده در بال سرریزهای کنگره‌ای در دبی پایین (۵ لیتر بر ثانیه) را نشان می‌دهد.

در شکل ۷ مشاهده می‌گردد که در نسبت Ht/P ثابت؛ با ایجاد شکاف مثلثی در بال سرریز برای سرریز مثلثی بیش‌ترین ضریب دبی حاصل شده است، با توجه به کارایی این نوع از سرریزها بیش‌ترین ضریب دبی در نسبت‌های Ht/P پایین، بدست آمد. در نسبت‌های پایین چون جریان به حالت آزاد می‌باشد ضریب دبی سرریز روند صعودی داشته و با افزایش این نسبت (افزایش دبی) سرریز حالت نیمه‌مستغرق پیدا می‌کند در نتیجه مقادیر ضریب دبی برای تمامی



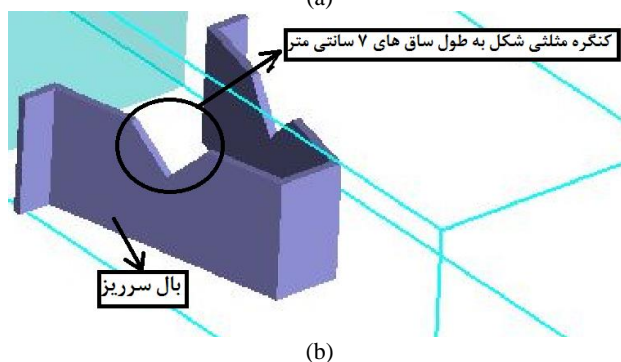
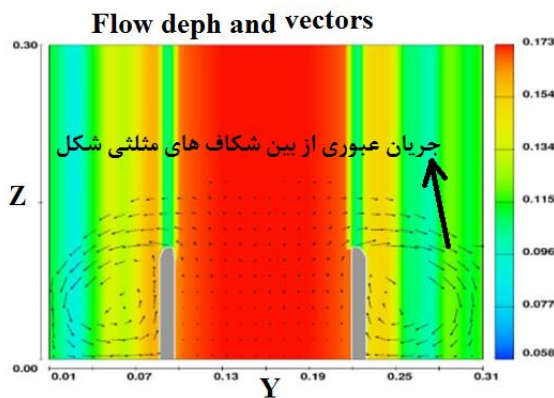
شکل ۸- جریان عبوری از شکاف‌های مثلثی ایجاد شده در سرریزهای کنگره‌ای

روی سرریز به‌خصوص در هد جریان عبوری زیاد می‌باشد، در شکل ۸ مشاهده می‌گردد که در هد‌های پایین ایجاد شکاف‌های مثلثی در بال

از محدودیت‌های سرریزهای کنگره‌ای تداخل خطوط جریان و ایجاد گردابه‌های چرخشی در پایین دست آن‌ها در اثر ریزش جریان از

چرخشی می‌گردد. گردابه‌های چرخشی باعث کاهش ضریب دبی جریان عبوری از سرریزهای کنگره‌ای می‌گردد. شکل ۹ ناحیه گردابه‌های چرخشی ایجاد شده در اثر عبور جریان از بین شکاف‌های مثلثی ایجاد شده در بال سرریزهای کنگره‌ای را نشان می‌دهد.

سرریزهای (بدنه سرریزهای) کنگره‌ای که در شکل ۹ نشان داده شده است باعث عبور جریان از بین شکاف‌ها شده و با این روش از ارتفاع سقوط جریان ریزشی کاسته شده و در نتیجه تداخل خطوط جریان کم‌تری ایجاد می‌گردد. همچنین این شکاف‌ها باعث افزایش طول تاج سرریز و کاهش هد روی تاج سرریز کنگره‌ای و ناحیه گردابه‌های



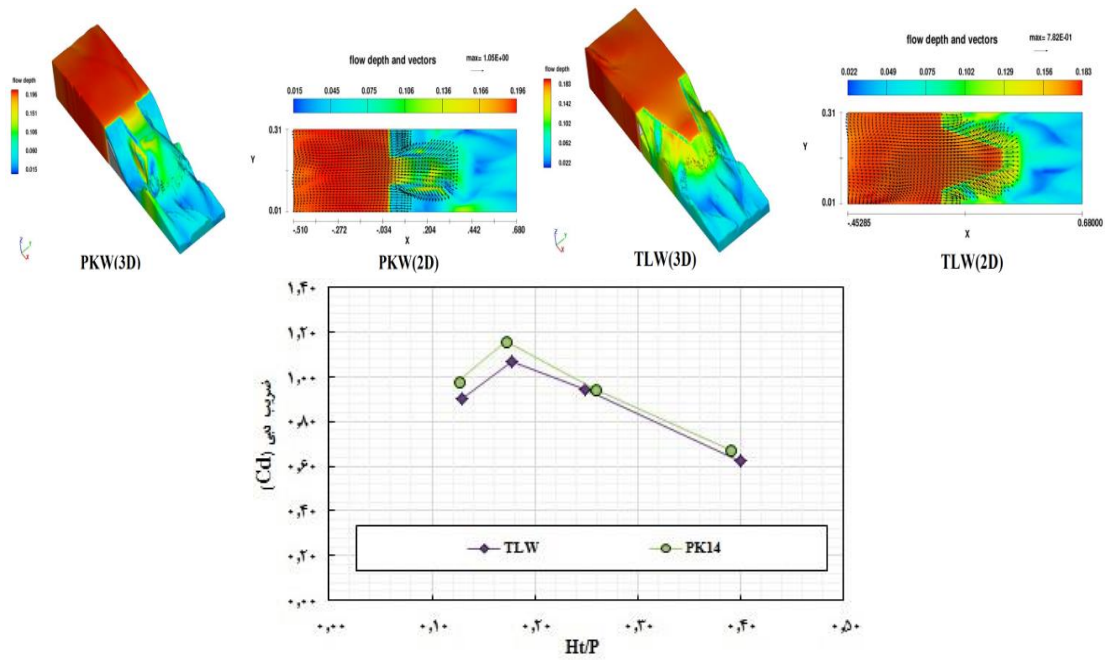
شکل ۹- ناحیه گردابه‌های چرخشی ایجاد شده در اثر عبور جریان از بین شکاف‌های مثلثی

به سمت بالادست و نصف دیگر به سمت پایین‌دست به صورت سطوح شیب‌داری به سمت بالادست و پایین‌دست خم می‌شوند و این امر باعث می‌شود جریان آب به راحتی از این سطوح شیب‌دار عبور کند، با افزایش نسبت H_t/P مقادیر ضریب دبی برای هر دو سرریز کاهش می‌یابد. در شکل ۱۱ ضرایب دبی بدست آمده از کل مدل‌هایی که به حالات جریان آزاد و نیمه‌مستغرق اندازه‌گیری شده‌اند ارائه شده است.

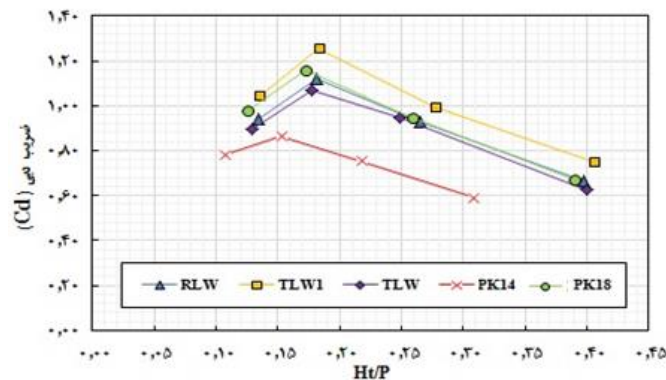
مشاهده می‌گردد که از بین تمامی مدل‌ها، سرریز کنگره‌ای مثلثی بیش‌ترین ضریب دبی را به خود اختصاص داده است و با افزایش نسبت H_t/P برای تمامی مدل‌ها ضریب دبی کاهش می‌یابد. شکل ۱۲ مقایسه ضریب دبی سرریزهای پیلانویی با دو ارتفاع ۱۴ و ۱۸ سانتی‌متر را نشان می‌دهد.

همان‌طور که اشاره شد سرریزهای کنگره‌ای دارای دیوارهای قائم بوده و به‌واسطه برخورد جریان (به ویژه جریان‌های تحتانی) به دیوارها و شکل‌گیری نواحی چرخشی باعث افت انرژی و کاهش ضریب دبی و در نتیجه کاهش کارایی هیدرولیکی سرریز می‌شوند. از این رو برای افزایش کارایی هیدرولیکی این نوع سازه‌ها نوع اصلاح شده این نوع سرریزها را تحت عنوان سرریز کلید پیلانویی ارائه نمودند. شکل ۱۰ جریان عبوری از روی سرریز و مقایسه ضریب دبی سرریز پیلانویی و سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای در طول موثر یکسان را نشان می‌دهد.

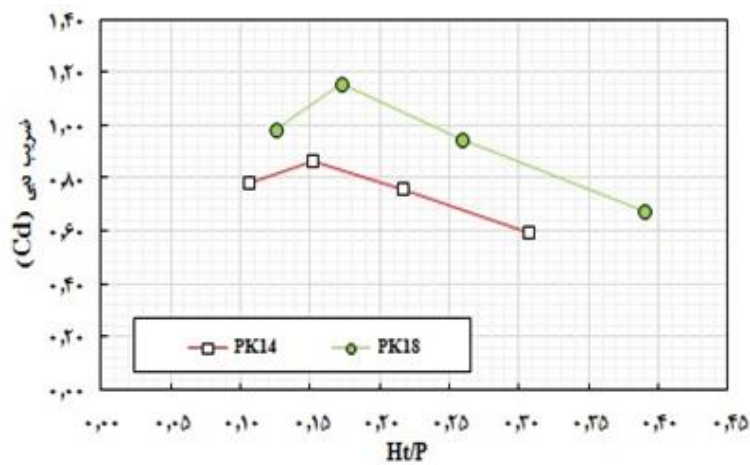
مشاهده می‌گردد که مقدار ضریب دبی سرریز پیلانویی در نسبت H_t/P ثابت، بیش‌تر از ضریب دبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای می‌باشد. علت این امر هندسه سرریز می‌باشد مثل کلیدهای پیلانو وقتی که بصورت یک در میان کلیدها را با دست فشار می‌دهیم نصف کلیدها



شکل ۱۰- جریان عبوری از روی سرریزها و مقایسه ضرایب دبی سرریزهای پیانویی و کنگره‌ای دوزنقه‌ای



شکل ۱۱- مقایسه ضرایب دبی بدست آمده از کل مدل‌ها



شکل ۱۲- مقایسه ضرایب دبی بدست آمده برای سرریزهای پیانویی با ارتفاع سرریز متفاوت

اژدری مقدم، م.، جعفری ندوشن، ا.، ۱۳۹۲. طراحی هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با استفاده از هیدرودینامیک محاسباتی، مجله علمی- پژوهشی عمران مدرس، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳: ۳-۱۲۳-۱۳۳.

رضایی، م.، عمادی، ع.، آقاجانی مازندرانی، ق.، ۱۳۹۴. مطالعه آزاد سرریز آزمایشگاهی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۹: ۴-۱۴۳۸-۱۴۴۶.

قلی‌زاده، ع.، قدسیان، م.، پناهی، ر.، ۱۳۹۵. بررسی عددی تاثیر شکل تاج بر ضریب آبگذری در سرریزهای کنگره‌ای قوسی با پلان دوزنقه‌ای. ۱۶: ۴-۲۳۸-۲۲۵.

کاهه، م.، دهقانی، ا.، کاهه، م.، ظهیری، ع.، ۱۳۹۴. شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در سازه ترکیبی سرریز-دریچه با استفاده از نرم افزار Flow-3D. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۲: ۱-۱۱۱-۱۲۹.

قدسیان، م.، شنوایی، ح.، ۱۳۷۹. تاثیر طول تاج بر ضریب آبگذری در سرریزهای کنگره‌ای به روش CFD و بهینه‌سازی هندسه سرریز با استفاده از مدل فازی-عصبی و الگوریتم ژنتیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

Carollo, G.F., Ferro, V. and Pampalone, V. 2012. Experimental Investigation of the Outflow Process over a Triangular Labyrinth-Weir. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 138.1: 73-79.

Crookston, B.M and Tullis, B.P. 2012. Arced Labyrinth Weirs. Journal of Hydraulic Engineering. 138. 6: 555-562.

Hay, N and Taylor, G. 1970. Performance and design of labyrinth weirs, Journal of Hydraulic Engineering . 96. 11: 2337-2357.

Khode, B.V., Tembhurkar, A.R., Porey, P.D and Ingle, R.N. 2012. Experimental Studies on Flow over Labyrinth Weir. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 138. 6: 548-552.

Megalhaes, A.P. 1985. Labyrinth weir spillway Transactions of the 15th Congress ICOLD, Lausanne, Switzerland. VI, Q59-R24: 395-407.

Melo, J., Ramos, C and Magalhaes, A. 2002. Descarregadores com soleira em labirinto de um ciclo em canais convergentes. Determinação da capacidade de vazão Proc. 6^o Congresso da Água, Porto, Portugal (In Portuguese).

Taylor, G. 1968. The performance of labyrinth weirs, PhD thesis, University of Nottingham, U.K.

با توجه به این که طول موثر و ارتفاع سرریز پیمانویی PK18 بیش‌تر از سرریز پیمانویی PK14 می‌باشد، مشاهده می‌گردد که ضرایب دبی برای سرریز PK14 در نسبت‌های H_t/P ثابت، کم‌تر از سرریز PK18 می‌باشد. یکی از محدودیت‌های سرریزهای کلید پیمانویی و کنگره‌ای ارتفاع آنها می‌باشد، یعنی اینکه نمی‌توان این نوع سرریزها را با هر ارتفاعی اجرا کرد. افزایش ارتفاع سرریز باعث افزایش ضریب دبی سرریز PK18 نسبت به سرریز PK14 در نسبت H_t/P ثابت، گردیده است به این دلیل که با افزایش ارتفاع، سرریز دیرتر به حالت نیمه‌مستغرق می‌رسد و همین امر باعث می‌شود که هد آب روی سرریز افزایش یابد و در نتیجه ضریب دبی افزایش یابد.

نتیجه‌گیری

سرریزهای کنگره‌ای به واسطه افزایش طول موثر سرریز در عرض مشخص نسبت به سرریزهای خطی در پلان در نسبت H_t/P ثابت قادر به عبوردهی جریان بیش‌تری بوده و همین امر باعث گردیده که طراحان به منظور کاهش خطرات ناشی از وقوع سیلاب که اغلب با آبیگری مناطق اطراف رودخانه و خسارات مالی و جانی فراوانی همراه است از سرریزهای کنگره‌ای به جای سرریز خطی استفاده نمایند. در شکل ۱۱ ضرایب دبی بدست آمده از کل مدل‌ها ارایه شده است. مشاهده می‌گردد که از بین تمامی مدل‌ها، سرریز کنگره‌ای مثلثی بیش‌ترین ضریب دبی را به خود اختصاص داده و با افزایش نسبت H_t/P برای تمامی مدل‌ها ضریب دبی کاهش می‌یابد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که کارایی دبی عبوری سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای به‌ترتیب بزرگ‌تر از سرریز کنگره‌ای پیمانویی، سرریز کنگره‌ای مربعی و سرریز کنگره‌ای مثلثی می‌باشد و با بررسی درصد خطاهای نسبی ضریب دبی مدل‌های شبیه‌سازی مطابق شکل ۵ بیش‌ترین خطا به مقدار ۶/۹۱ درصد می‌باشد و با این حال می‌توان نتیجه گرفت که تطابق نسبتاً خوبی بین مقادیر حل عددی و آزمایشگاهی وجود دارد.

منابع

عرب‌عامری، م.، برفه‌ئی، م.، ۱۳۹۵. حل معادلات ناویر - استوکس به کمک روش‌های بدون شبکه توابع پایه شعاعی، دو فصل‌نامه علمی-پژوهشی دریا فنون، دانشگاه علم و صنعت تهران. ۳: ۱-۴۷-۵۳.

قاسم زاده، ف.، ۱۳۹۶. شبیه‌سازی مسایل هیدرولیکی در نرم‌افزار Flow-3D. نشر نوآور، ۲۵۶ صفحه.

Tullis,J.P., Amanian,N and Waldron,D .1995 .Design of labyrinth spillways, Journal of Hydraulic Engineering .121. 3: 247-255.

Tullis,B., Young,J and Chandler,M .2007. Head-discharge relationships for submerged labyrinth weirs. Journal of Hydraulic Engineering.133. 3: 248-254.

Comparing the Discharge Coefficients of Labyrinth Weir Featuring Different Geometries and Laboratory Model Using Flow-3D Software

A. R. Bahreh Bar¹, M. Heidarnejad^{2*}, A. R. Masjedi³, A. A. Kaman Bedast⁴, A. Bordbar⁵

Received: April 29, 2018

Accepted: May 26, 2018

Abstract

One effective method of increasing the length of the weir for a given weir width is the use of weirs featuring nonlinear plans, namely triangular, trapezoidal and parabolic, that are generally termed labyrinth or zigzag weirs. These are made in one and/or several cycles and as a consequence to the construction of these weirs, the volume of flow passing through them increases and lower free height of the current will be needed in the upstream section in respect to the linear weirs. The issue becomes more important when the weir is served to discharge the floodwater and leads to the facilitation of the flow of the flood current. The present study investigated 4 discharge rates (5 l/s, 10 l/s, 15 l/s and 20 l/s) for a channel width and height of, respectively, 30 cm and 40 cm in trapezoidal, square, triangular and piano key labyrinth weirs in laboratory using Flow-3D software which was in diffusion model $K - \epsilon$ in type RNG was investigated and the results were compared. From among all the models, triangular labyrinth weir accounted for the highest discharge coefficient. It was found out that the H_t/P ratio increases for all of the models results in the decrease in the discharge coefficient. However, it can be concluded that there is a relatively good match between the numerically acquired and laboratory values. The best range for proportion H_t/P for design is between 0.14-0.42 that the maximum discharge coefficient equivalent to $C_d=1.24$ would be placed in this range.

Keywords: Discharge coefficient, Flow-3D, Labyrinth weirs, Weir length

1- PhD Student, Department of Water Science Engineering, Khouzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran

3- Associate Professor, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran

4- Assistant Professor, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran

5- Assistant Professor, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran

(* - Corresponding Author Email: mo_he3197@yahoo.com)