

مدل سازی عددی سرریزهای کنگره ای با کنگره مضاعف در بال سرریز با استفاده از نرم افزار 3D FLOW و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی

حسین آذریبوند^۱ - علیرضا عمادی*^۲ - محمد صدقی اصل^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/

مقاله برگرفته از رساله دکتری حسین آذریبوند می باشد

چکیده

سرریزهای کنگره‌ای، سازه‌های اقتصادی جهت افزایش بازده خروجی سرریز در یک عرض محدود می‌باشند که در پلان به شکل دوزنقه، مثلث و غیره دیده می‌شوند. افزایش ظرفیت سرریز از طریق افزایش عرض آن همواره میسر نیست، استفاده از سرریزهای کنگره‌ای به واسطه افزایش طول موثر آن‌ها در ارتفاع هیدرولیکی و عرض مشخص می‌باشد. در این تحقیق، سرریزهای چندوجهی دوزنقه‌ای شکل در پلان که روی بال آن‌ها، جهت افزایش جریان عبوری، کنگره جدید اضافه گردیده است مورد بررسی قرار گرفته‌اند، آزمایش‌ها روی ۲۷ مدل آزمایشگاهی با ۹ دبی مختلف و در مجموع با ۲۴۳ آزمایش که در بال آن‌ها کنگره مضاعف ایجاد شده بررسی گردید و همچنین شبیه سازی‌های جریان عبوری با استفاده از نرم افزار 3D-Flow انجام شده است. نتایج حاصل از حل عددی برای تعیین ضریب دبی سرریز با داده های آزمایشگاهی صحت سنجی شد که نشان داد تطابق خوبی بین حل عددی و آزمایشگاهی وجود دارد و نرم افزار 3D-Flow از قابلیت بالایی برای شبیه سازی جریان بر روی سرریزهای کنگره‌ای برخوردار است. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که در مورد کلیه سرریزهای چندوجهی مرکب دوزنقه‌ای شکل نسبت پارامتر، ضریب دبی به $\frac{H_t}{p}$: بار هیدرولیکی کل و P: ارتفاع سرریز) ابتدا افزایش یافته و پس از رسیدن به مقدار حداکثر، شروع به کاهش می‌نماید. با افزایش کنگره در بال سرریز در نتیجه افزایش طول موثر، مقدار دبی عبوری در یک مقدار $\frac{H_t}{p}$ مشخص افزایش می‌یابد. دبی عبوری در سرریزهای چند وجهی دوزنقه‌ای شکل با پلان‌های مرکب نیم‌دایره بهتر از مربعی و سرریز مرکب مربعی بهتر از سرریزهای دوزنقه‌ای ساده می‌باشد بطوریکه دبی جریان عبوری حدود ۱۵ درصد نسبت به سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای افزایش دارد و بازه ضریب دبی از ۰/۴ در سرریز کنگره‌ای به ۰/۶۵ در سرریز مرکب می‌رسد.

کلمات کلیدی: بار هیدرولیکی، سرریزهای چند وجهی مرکب، طول موثر، نرم افزار 3D-Flow

^۱ - دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تماس: ۰۹۱۷۳۴۱۹۱۳۰

h.azarpayvand64@yahoo.com

^۲ - دانشیار گروه علوم مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تماس: ۰۹۱۲۳۹۳۱۳۱۱، Emadia355@yahoo.com

(نویسنده مسئول)*

^۳ - دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، تماس: ۰۹۱۷۸۲۳۳۰۶۹، sedghiasl@gmail.com



مقدمه

یکی از مشکلاتی که شبکه‌های آبیاری با آن مواجه هستند، تغییر میزان دبی عبوری از سازه آنگیر به واسطه نوسانات شدید سطح آب در مجرای اصلی است. سرریزهای کنگره‌ای از جمله سازه‌های هیدرولیکی جهت تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال‌ها و رودخانه‌ها و مخازن سدها محسوب می‌شوند. سرریزهای چند وجهی به دلیل تغییرات جزئی بار استاتیکی روی تاج در نوسانات زیاد جریان، در مقایسه با انواع دیگر سرریزها، سازه‌های بسیار مفید، ایمن‌تر و اقتصادی جهت بالا بردن بازده سرریز در نتیجه افزایش طول مؤثر تاج آن برای کنترل سطح آب در شبکه‌های آبیاری محسوب می‌شوند (مرعشی، ۱۳۷۸). با توجه به رابطه دبی و بار هیدرولیکی در سرریزها، یکی از راه‌های کاهش این نوسانات که ناشی از تغییرات دبی می‌باشد، افزایش طول تاج سرریز است. سرریزهای چند وجهی که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند در پلان به شکل دوزنقه و یا مثلث می‌باشند و ضریب تخلیه آن‌ها به عوامل متعددی از جمله مشخصات هیدرولیکی جریان عبوری از روی تاج سرریز و مشخصات هندسی سرریز وابسته است.

اولین تلاش برای تحلیل سرریزهای چند وجهی را می‌توان به هی و تیلور (Hay & Taylor, 1970) نسبت داد. این محققین بازده سرریزهای چند وجهی را با نسبت Q_N/Q_L بیان نمودند. در این رابطه Q_L دبی سرریز چند وجهی با طول L و Q_N دبی سرریز معمولی (خطی) با طول W (معادل عرض آبراهه اصلی) در یک بار هیدرولیکی مشخص می‌باشد. این مطالعات نشان داد که بازده سرریزهای چندوجهی در بارهیدرولیکی کم، مطلوب می‌باشد. دارواس (Darvas, 1971) نتایج آزمایشگاهی مدل سرریز چند وجهی سدهای ورونورا و آون واقع در استرالیا را مورد استفاده قرار داده و منحنی‌هایی را برای طراحی این نوع سرریزها ارائه نمود. ایندکفر و راو (Indlekofer & Rouve, 1975) با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، تأثیر گوشه‌های سرریز چند وجهی را روی دبی جریان مورد بررسی قرار داده و در نهایت رابطه‌ای برای محاسبه دبی در این گونه سرریزها ارائه دادند. سازمان

عمران ایالات متحده آمریکا (USBR) مطالعاتی روی مدل آزمایشگاهی سرریز چند وجهی سدهای یوت و هی رام انجام داده است. گزارش‌های منتشر شده توسط این سازمان نشان می‌دهد که بین نتایج به دست آمده از تحقیقات USBR با نتایج به دست آمده توسط هی و تیلور اختلاف وجود دارد. این اختلاف ناشی از کاربرد بار پیژومتری به جای استفاده از بار آبی کل توسط محققین اخیر بوده است، همان‌طور که استون (Houston, 1982, 1983). تولیس و همکاران (Tullis et al., 2007) با اندازه‌گیری آزمایشات بر روی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با زوایای رأس ۸ و ۱۶ درجه، رابطه‌ای را برای ضریب دبی عبوری ارائه دادند که تابعی از طول بال، زاویه رأس، هد آب بالادست و همچنین تحت تأثیر ارتفاع و استغراق پای سرریز رابطه‌ای را برای منحنی دبی-اشل ارائه نمودند.

لاکس (Lux, 1995) بار آبی کل را به جای بار پیژومتری مورد استفاده قرار داده و فرمولهای تجربی وی برای سرریزهای چند وجهی نشان داد که راندمان سرریزهای چند وجهی در مقادیر بالای بار آبی به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مقادیری است که مطالعات دیگر نشان می‌دهد. لاکس و هینچلیف (Lux & Hinchliff, 1985) با به‌کارگیری تحلیل ابعادی و تطبیق آن با نتایج تجربی، روشی را برای طراحی سرریزهای چند وجهی ارائه کردند که دقت و سادگی بیشتری نسبت به روش‌های قبلی داشت. تولیس و همکاران (Tullis et al., 1995) سرریزهای چند وجهی را که در پلان به شکل دوزنقه می‌باشند بررسی کرده و برای زوایای مختلف α ، روشی را برای طراحی ارائه دادند. روش طراحی تولیس و همکاران معیار طراحی را برای سرریز چند وجهی سد برازوس زمانی که سرریز در هدهای پایین عمل می‌کند تعدیل نمودند. کروکستون و تولیس (Crookston & Tullis, 2012) خصوصیات تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی در سرریزهای کنگره‌ای با دو و چهار سیکل مثلثی و زوایای رأس مختلف را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌های انجام شده نشان داد که در دبی‌های کم، به دلیل تداخل کم تیغه‌های ریزشی ضریب دبی جریان از سرریز خطی بیشتر بوده و به تدریج با افزایش دبی جریان

مقایسه پارامترهای هیدرولیکی آن در عرض ثابتی از کانال است. نتایج بدست آمده با نتایج آزمایشگاهی صحت سنجی شده و محدوده خطا محاسبه گردیده است.

مواد و روش ها

۱) معرفی نرم افزار

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. یکی 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 سه بعدی 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، هوافضا، علوم دریایی و نفت و گاز استفاده می‌شود، (قاسم زاده، ۱۳۹۶).

در این تحقیق نیز به منظور شبیه‌سازی و مدل‌سازی عددی جریان عبوری از سرریزهای کنگره‌ای از نرم‌افزار Flow-3D استفاده شده است. شکل ۱ سرریز کنگره‌ای مستطیلی در محیط نرم‌افزار Flow-3D را نشان می‌دهد.

شدت تداخل بیشتر می‌گردد. این موضوع منجر به کاهش ضریب دبی جریان شده و مقدار آن متمایل به ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه پهن می‌گردد. کومار و همکاران (Kumara et al., 2011) مطالعه آزمایشگاهی بر ضریب سرریز کنگره‌ای با پلان مثلثی انجام دادند. مقایسه نتایج ایشان نشان داد که با کاهش زاویه رأس سرریز، طول ناحیه تداخل جریان افزایش یافته و ضریب دبی جریان سرریز کاهش محسوس می‌یابد. همچنین در این تحقیق روابطی برای محاسبه ضریب دبی جریان با زوایای رأس مختلف ارائه شده است

(اسمعیلی ورکی و رضوی زاده، ۱۳۹۱) نشان دادند که در کلیه سرریزهای کنگره‌ای مورد مطالعه آن‌ها (با پلان نیم دایره‌ای-خطی و نیم دایره‌ای با شعاع‌های مختلف) ضریب دبی جریان با افزایش $\frac{H_t}{p}$ (نسبت انرژی کل بالادست به ارتفاع سرریز) تا ۰/۳۷، روند افزایشی داشته و سپس به دلیل تداخل تیغه‌های ریزی ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد به تدریج با استغراق نسبی سرریز، ضریب دبی جریان به سمت ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه پهن متمایل می‌گردد.

(عمادی و رضایی، ۱۳۹۴) نشان دادند که در سرریزهای کنگره‌ای با پلان مستطیلی برای ارتفاع آب بالادست ثابت دبی سرریز کنگره‌ای حداکثر ۲/۶ برابر دبی سرریز مستقیم و در دبی ثابت، ارتفاع آب بالادست سرریز مستقیم ۱/۸ برابر ارتفاع آب بالادست سرریز کنگره‌ای است و همچنین بیان کردند که بهترین محدوده برای طراحی سرریز کنگره‌ای که حداکثر ضریب دبی عبوری را داشته باشد بین ۰/۲ و ۰/۴ می‌باشد. (اژدری مقدم و همکاران، ۱۳۹۰) پارامترهای تاثیرگذار بر ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و دوزنقه‌ای را به روش عددی مورد بررسی قرار دادند. این محققین شبیه‌سازی جریان بر روی سرریزهای کنگره‌ای را با سیله نرم‌افزار Flow-3D و مدل آشفتگی (RNG) $K-\epsilon$ انجام داده‌اند.

هدف از این پژوهش افزایش طول سرریز (باتغییردرپلان) در یک عرض ثابت و بررسی عملکرد هیدرولیکی و ضریب دبی عبوری آن همچنین شبیه‌سازی جریان عبوری با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D و

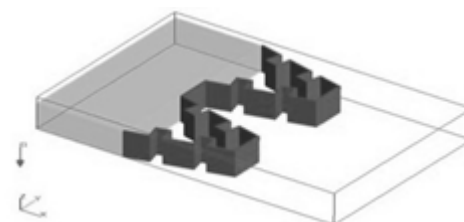
و (f_x, f_y, f_z) شتاب لزجت در جهت‌های (x, y, z) ، ρ چگالی سیال، R_{SOR} ترم چشمه، V_F کسری از حجم مرتبط با جریان و P فشار می‌باشند.

۳) مدل عددی

در نرم‌افزار Flow-3D برای شبیه‌سازی سطح آزاد از روش VOF^1 استفاده می‌شود، که در این روش با حل معادله‌ی زیر، F به عنوان جزء حجم سیال در یک سلول سطح آزاد محاسبه می‌شود.

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

در صورتی که $F=0$ باشد سلول پر از هوا، در صورتی که $F=1$ باشد سلول پر از آب می‌باشد و سطح آزاد جایی تعیین می‌شود که در آن $F=0.5$ است. همچنین برای حل آشفتگی میدان جریان نیز از مدل آشفتگی $K-\epsilon$ (RNG) استفاده شده است که در این روش پارامترهای آشفتگی جریان براساس یک تکنیک آماری دقیق به کمک روابط ریاضی بدست می‌آید. این روش به دلیل وجود یک ترم اضافی در معادله ϵ در حل آشفتگی جریان‌های کرنشی از دقت بالایی برخوردار می‌باشد. مشخصات هندسی و داده‌های مورد نیاز جهت شبیه‌سازی سرریزهای کنگره‌ای با هندسه‌های مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور راحتی بیان نام‌های مدل‌ها از مخفف دو کلمه اصلی انگلیسی آن‌ها در نام گذاری‌ها استفاده شده است. ($Rectangular Labyrinth Weir=RLW$) و ($Circular Labyrinth Weir=CLW$) و ($Labyrinth Weir=SLW$)



شکل (۱): سرریز ذوزنقه‌ای مرکب مربعی در محیط نرم افزار Flow-3D

۴) معادلات حاکم

به منظور شبیه‌سازی میدان جریان در این تحقیق از نرم‌افزار Flow-3D استفاده شده است این نرم‌افزار برای تحلیل سه بعدی جریان در حالت تراکم ناپذیر معادلات ناویراستوکس رینولدزی را با استفاده از روش حجم محدود بر روی یک میدان شبکه بندی شده حل می‌کند. این معادلات در دستگاه مختصات کارتزین (x, y, z) به صورت زیر می‌باشند:

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

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

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

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

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

¹- volume of fluid

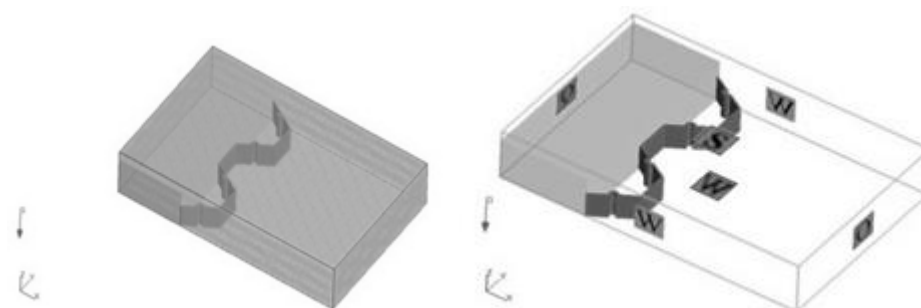
جدول (۱): اطلاعات مربوط به مدل‌های سرریزهای کنگره‌ای

شماره مدل	عرض کانال (cm)	طول تاج موثر (cm)	ارتفاع سرریز (cm)	زاویه سرریز (α)	دبی بالادست (Lit/s)	عمق جریان بالادست (cm)
0	۱۰۰	۲۵۰	۲۵	۱۴	۶-۴۹	۲۵/۸ - ۲۹/۹
0	۱۰۰	۲۹۵/۶	۲۵	۱۴	۹-۶۹	۲۵/۲۹-۹/۹
۱.5	۱۰۰	۲۸۴/۲	۲۵	۱۴	۹-۶۹	۲۵/۲۹-۹/۶
۱.5	۱۰۰	۳۷۰	۲۵	۱۴	۱۱-۷۹	۲۵/۲۹-۸/۴
	۱۰۰	۱۳۹/۴	۱۵	۳۱	۱۷-۶۸	۱۸/۳-۲۴/۱

ورودی از شرط مرزی تقارن، برای مرز پایین دست نیز به منظور 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 همانند یک دیوار مجازی بدون اصطکاک عمل می‌کند. در شکل ۲ و جدول (۲) شبکه بندی میدان محاسباتی و اعمال شرایط مرزی برای مدل سرریزهای کنگره‌ای، نشان داده شده است.

۴) شبکه محاسباتی و اعمال شرایط مرزی

شبکه بندی در نرم افزار Flow-3D به منظور حل عددی میدان جریان در سه راستای (X,Y,Z) به هر دو صورت یکنواخت و غیریکنواخت امکان پذیر است. که در این تحقیق مش بندی نهایی برای شبکه محاسباتی با انتخاب بهینه به تعداد ۱۲۸۵۹۲۰ شبکه یکنواخت بدست آمده است برای اعمال شرایط مرزی در بالادست برای جریان



شکل (۲): شبکه بندی میدان محاسباتی و اعمال شرایط مرزی

جدول (۲): معرفی شرایط مرزی اعمال شده

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

۵) مدل‌های آزمایشگاهی

مدل‌ها از جنس شیشه پلکسی گلاس ۵ میلی‌متر بوده که به وسیله لیزر در ابعاد مورد نیاز برش زده شدند و به وسیله چسب شیشه و آکواریوم به هم چسبانده شده و برای تهیه نیم دایره‌های موجود در مدل از لوله‌های پلی اتیلن و پلیکا استفاده گردیده است و مدل‌ها در وسط کانال آزمایشگاهی جایی که جریان کاملاً توسعه یافته بوده، حرکت آب در بالادست نسبتاً آرام و موج‌های سطحی کوچک نیز از بین رفته بودند. صاب گردیدند، به منظور اینکه جریان عبوری در هنگام تخلیه تداخل کمتری داشته باشند کنگره‌های مرکب در سمت جریان ورودی طراحی شده است. برای جلوگیری بیشتر مدل‌ها در زیر جریان آب، آن‌ها با رنگ قرمز رنگ‌آمیزی شده‌اند. در این تحقیق ۲۷

مدل آزمایشگاهی و با ۹ دبی مختلف و در مجموع با ۲۴۳ آزمایش کار مورد بررسی قرار داده شد. مدل‌ها شامل ۱۸ سرریز چند وجهی مرکب با کنگره‌های جدید مربعی و نیم دایره‌ای در بال به منظور افزایش طول سرریز همراه با زاویه و ارتفاع‌های مختلف و ۹ مدل سرریز دوزنقه‌ای ساده جهت مقایسه می‌باشند. تمامی مدل‌ها به صورت دو سیکلی و در پلان به صورت دوزنقه‌ای ساخته شده‌اند. شکل‌های ۳ و ۴ نشانگر شکل شماتیک مدل‌های مذکور می‌باشند. شکل ۵ (الف تا د) نمونه‌ای از مدل سرریزهای مورد استفاده در این تحقیق که با کنگره‌های به عرض ۵ و عرض ۱۰ سانتی‌متر (ارتفاع سرریزها ۲۰ سانتی‌متر) را نشان می‌دهد.



شکل (۴): شکل شماتیک سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای مرکب دایره‌ای WLCR



شکل (۳): شکل شماتیک سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای مرکب مربعی WLCS



ج



الف



د



ب

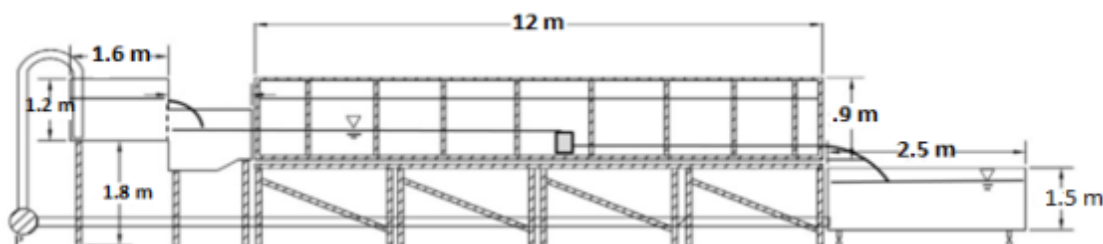
شکل ۵ (۵): نمونه‌ای از سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای شکل مرکب

الف) سرریز کنگره‌ای مرکب با زاویه ۱۴ درجه و کنگره مربعی به قطر ۱۰ سانتی‌متر. ب) سرریز کنگره‌ای با زاویه ۱۴ درجه و کنگره نیم دایره به قطر ۱۰ سانتی‌متر. ج) سرریز کنگره‌ای با زاویه ۳۱ درجه و کنگره مربعی به قطر ۵ سانتی‌متر. د) سرریز کنگره‌ای با زاویه ۳۱ درجه و کنگره نیم دایره به قطر ۵ سانتی‌متر

۶) تجهیزات آزمایشگاه

مطالعات آزمایشگاهی پژوهش حاضر در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۲ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۹۰ سانتیمتر انجام شده است. این فلوم به وسیله یک موتور پمپ با حداکثر دبی ۹۰ لیتر بر ثانیه تغذیه می‌گردد. مدل‌ها در محور مرکزی کانال به وسیله چسب اکواریوم نصب و آب‌بندی شدند. رها سازی دبی در این فلوم به وسیله یک شیر کنترل که بلافاصله بعد از پمپ و در ابتدای دهانه ورودی قرار گرفته بود کنترل می‌گردد. نحوه تغذیه فلوم به این ترتیب بوده است که آب در یک سیکل بسته از یک منبع اصلی، پمپاژ شده و از آنجا پس از ریزش در منبع ابتدایی کانال با عبور از یک آرام کننده که در ابتدای فلوم قرار داشت، وارد کانال می‌شود. آب پس از عبور از فلوم آزمایشگاهی و بعد از تقریباً ۵ متر به وضعیت آرام جریان می‌رسد، ارتفاع آب (H) عبوری از مدل‌های سرریز در فاصله‌ای تقریباً چهار برابر ارتفاع سرریز (4p) و قبل از اینکه جت جریان شکل بگیرد اندازه‌گیری شده و در انتهای کانال با عبور از سرریز مثلثی دبی مورد نظر اندازه‌گیری می‌گردد و در آخر جریان به مخزن اصلی وارد می‌شود. فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق دارای کف و دیواره‌هایی از جنس پلکسی گلاس بوده و روی خرپای فلزی نصب شده بود. شکل ۶ نمایش شماتیک فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

مدل‌های سرریز را به وسیله چسب دو طرفه به کف فلوم چسبانده و برای آب‌بندی از چسب اکواریوم استفاده شده است. مشخصات مجموعه مدل‌های بکار گرفته شده در این تحقیق در جداول شماره ۱، ۲ و ۳ به خوبی نشان داده شده است منظور از SWL سرریزهای کنگره‌ای ساده هستند که به دلیل تعداد زیاد سرریزها و جهت سهولت در شناسایی آن‌ها با شماره‌های SWL_{ab} که اندیس حرف اول (a) بیانگر زاویه رأس سرریزها می‌باشد و با اعداد ۱، ۲ و ۳ نشان داده شدند که عدد ۱ زاویه رأس ۱۴ درجه، ۲ زاویه رأس ۱۷ درجه و زاویه رأس ۳۱ درجه می‌باشد، اندیس دوم (b) مربوط به ارتفاع می‌باشد که باز هم با اعداد ۱، ۲ و ۳ بیان شده‌اند که عدد ۱ مربوط به ارتفاع ۱۵، عدد ۲ مربوط به ارتفاع ۲۰ و عدد ۳ ارتفاع ۲۵ را نشان می‌دهد. CWL سرریزهای کنگره‌ای مرکب با کنگره‌های نیم دایره‌ای بر روی بال‌ها، RWL سرریزهای کنگره‌ای مرکب با کنگره‌های مربعی اضافه شده بر روی بال‌ها می‌باشند که به صورت شماتیک در شکل ۴ و ۵ آورده شده است. نحوه شماره‌گذاری این دو مدل هم به صورت SWL می‌باشند که در بالا ذکر شده است. سرریزهای مورد استفاده در این پژوهش از دو سیکل تشکیل شده‌اند که هر سیکل از دو بال و در مجموع از ۴ بال که به صورت دوزنقه‌ای به هم متصل شده‌اند و بر روی هر بال با زاویه ۱۴ و ۱۷ درجه دو کنگره جدید (مرکب) مربعی و نیم دایره‌ای و در کل ۸ کنگره‌ای جدید و هر بار به ترتیب با طول قطرهای ۵، ۷.۵ و ۱۰ سانتی‌متر افزوده می‌شود. در مدل‌های ۳۱ درجه در مجموع ۴ کنگره و هر بار به ترتیب با قطرهای ۵، ۷.۵ و ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.



شکل (۶): طرح شماتیک فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده

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

در رابطه‌ی ۶، e نشانگر درصد خطای نسبی، Cd_N مقدار ضریب دبی حل عددی و Cd_E مقدار ضریب دبی اندازه‌گیری شده می‌باشد. در این تحقیق به عنوان نمونه نتایج صحت‌سنجی ضریب دبی حاصل از شبیه‌سازی نرم افزار مدل SLW10 با نتایج آزمایشگاهی آورده شده است. شکل ۷، ۸ و جدول ۳ به ترتیب مقادیر ضریب دبی و درصد خطای نسبی حاصل از نتایج شبیه‌سازی و آزمایشگاهی برای مدل SLW 10 را نشان می‌دهد.

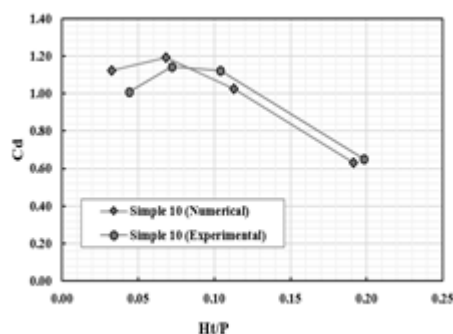
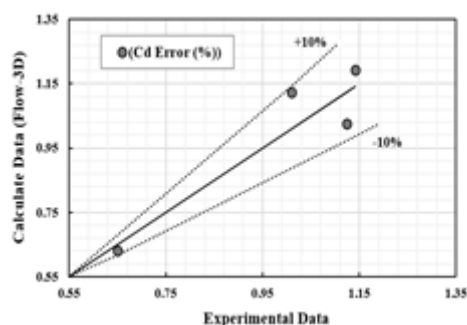
۷) اندازه‌گیری‌ها

به منظور تعیین ضریب دبی سرریز لازم است دبی عبوری از سرریز و هم چنین بار هیدرولیکی روی آن اندازه‌گیری شود. دبی جریان به وسیله یک سرریز مثلثی که در انتهای کانال نصب شده بود محاسبه شده بود. اندازه‌گیری عمق آب در بالادست و پایین دست به وسیله یک خط کش مدرج استیل و بسیار نازک صورت گرفت

نتایج و بحث

صحت‌سنجی نتایج عددی و آزمایشگاهی

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



شکل ۷- مقادیر ضریب دبی حاصل از حل عددی و آزمایشگاهی مدل SLW10 - در صد خطای نسبی ضریب دبی مدل SLW10

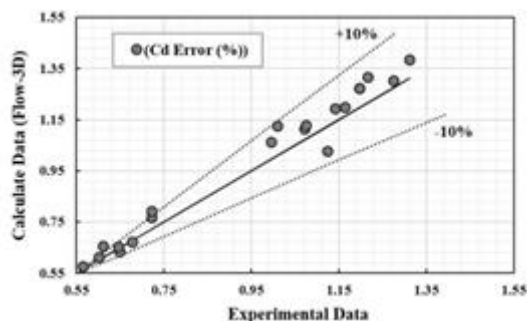
جدول ۳- درصد خطای نسبی ضریب دبی مدل SLW10

H_t/P	Experimental Data	Simulation Data	Error (%)
0.032	1.01	1.124	10.1
0.068	1.142	0.192	4.2
0.113	1.124	1.026	-9.5
0.192	0.65	0.632	-2.8

از مقادیر آزمایشگاهی می‌باشد. با بررسی درصد خطاهای نسبی ضریب دبی مدل‌های شبیه‌سازی مطابق شکل ۹ بیشترین خطا به مقدار ۱۰/۱ درصد می‌باشد و با این حال

با توجه به مقادیر درصد خطای نسبی ضریب دبی، مشاهده می‌گردد که بیشترین اختلاف مقادیر برای نسبت $\frac{H_t}{p} = 0.032$ به مقدار ۱۰/۱ درصد می‌باشد. علامت منفی به این معناست که مقادیر ضریب دبی نتایج حل عددی کمتر

می‌توان نتیجه گرفت که تطابق نسبتاً خوبی بین مقادیر حل عددی و آزمایشگاهی وجود دارد.

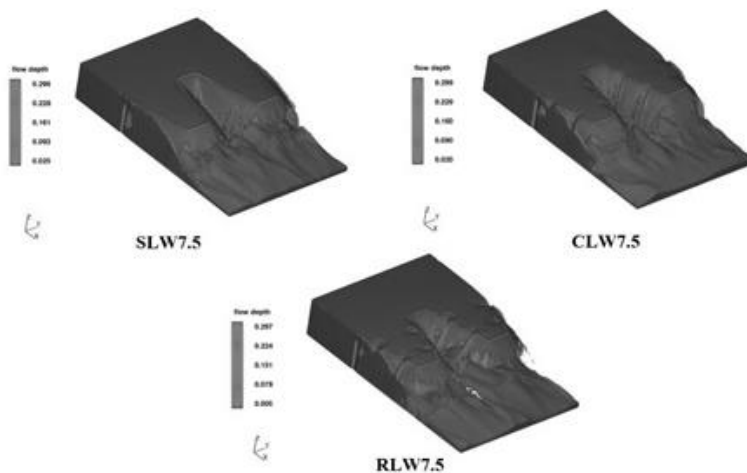


شکل ۹- درصد خطای نسبی ضریب دبی برای کل مدل‌ها

تأثیر ایجاد کنگره‌های نیم دایره ای و مستطیلی بر

روی بال سرریز کنگره‌ای

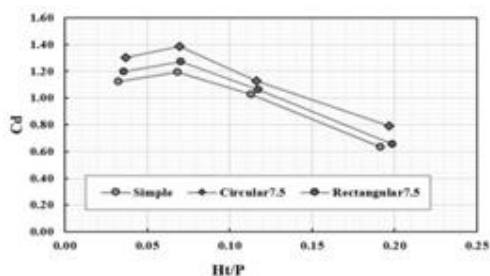
پس از مدل‌سازی و شبیه‌سازی سرریزهای کنگره‌ای در نرم‌افزار Flow-3D، جریان عبوری از سرریزها با نسبت $H_T/P = 0.192$ در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- جریان عبوری از سرریزهای کنگره‌ای در نسبت $H_T/P = 0.192$

نمایند. در این تحقیق با ایجاد کنگره‌های نیم‌دایره‌ای و مستطیلی در بال سرریزها سعی در افزایش طول موثر سرریز شده است. شکل ۱۰ ضرایب دبی سرریزهای کنگره‌ای نیم دایره‌ای و مستطیلی را در مقایسه با ضریب دبی سرریز کنگره‌ای ساده نشان می‌دهد.

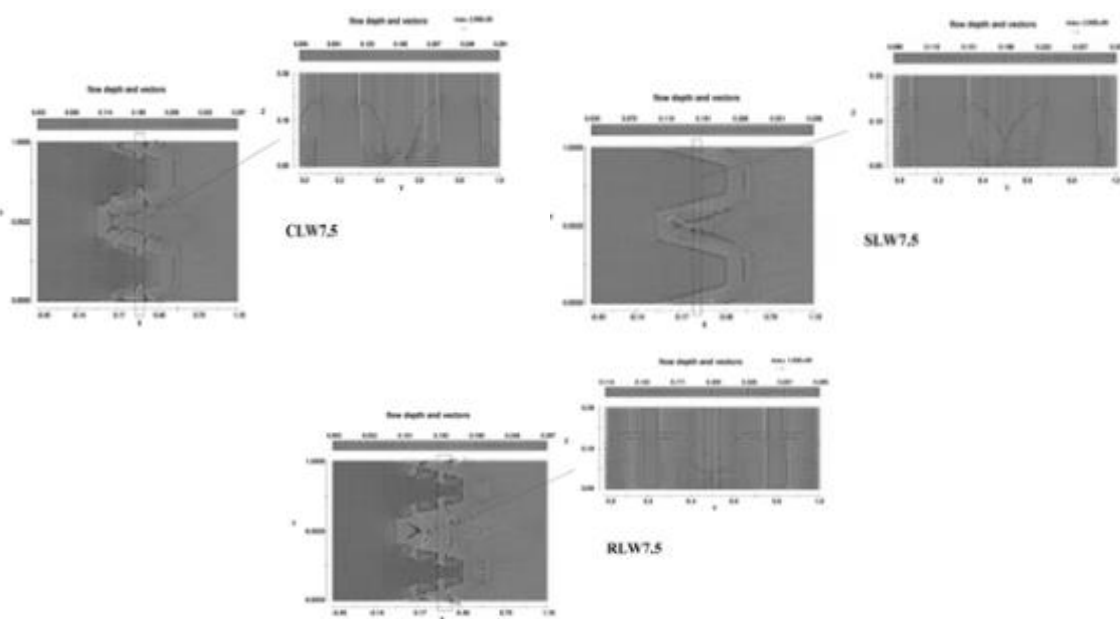
سرریزهای کنگره‌ایبه واسطه افزایش طول موثر سرریز در عرض مشخص نسبت به سرریزهای خطی در پلان در نسبت H_T/P ثابت قادر به عبور دبی جریان بیشتری بوده و همین امر باعث گردیده که طراحان به منظور کاهش خطرات ناشی از وقوع سیلاب که اغلب با آبگیری مناطق اطراف رودخانه و خسارات مالی و جانی فراوانی همراه بوده است از سرریزهای کنگره‌ای به جای سرریز خطی استفاده



شکل ۱۰- ضرایب دبی سرریزهای کنگره‌ای نیم دایره‌ای و مستطیلی و ساده

اینکه ایجادکنگره‌های مستطیلی نسبت به کنگره‌های نیم دایره‌ای باعث بوجود آمدن گردابه‌های چرخشی بیشتری در پایین دست سرریز به هنگام عبور جریان از روی آن شده و این امر منتج به کاهش دبی عبوری و ضریب دبی نسبت به سرریزهای کنگره‌ای نیم دایره‌ای شده است. برای توضیح بیشتر شکل ۱۱ گردابه‌های چرخشی ایجاد شده در اثر جریان عبوری از روی سرریز و در پایین دست آن‌ها را نشان می‌دهد.

مشاهده می‌گردد که در نسبت $\frac{H_t}{p}$ ثابت؛ با ایجاد کنگره‌های نیم‌دایره‌ای در بال سرریز بیشترین ضریب دبی حاصل شده است، همچنین با توجه به کارایی این نوع از سرریزها بیشترین ضریب دبی در نسبت‌های $\frac{H_t}{p}$ پایین بدست آمده بطوریکه در نسبت‌های پایین روند صعودی داشته و با افزایش این نسبت (افزایش دبی) مقادیر ضریب دبی برای هر سه نوع سرریز کنگره ای کاهش می‌یابد. نکته قابل ذکر

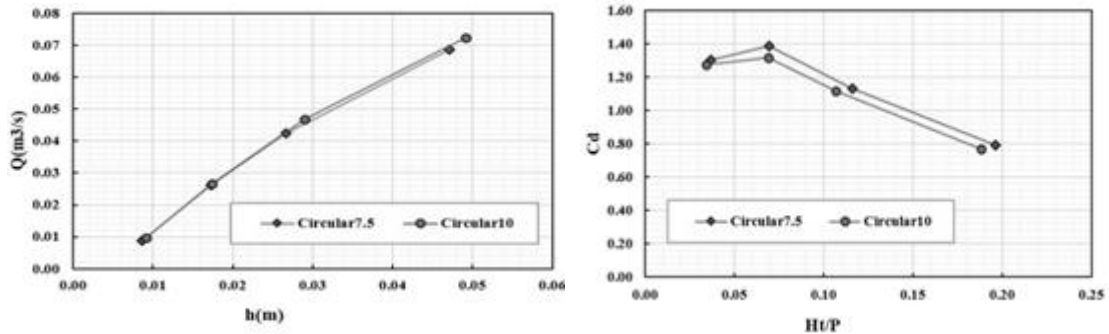


شکل ۱۱- گردابه‌های چرخشی ایجاد شده در پایین دست سرریزهای کنگره‌ای

پایین دست سرریز کنگره‌ای مستطیلی بیشتر از نیم‌دایره‌ای بوده و همین امر باعث ایجاد گردابه‌های چرخشی بزرگ‌تری می‌گردد. گردابه‌های چرخشی باعث کاهش ضریب دبی جریان عبوری از سرریزهای کنگره‌ای می‌گردد. شکل ۱۲

یکی از محدودیت‌های سرریزهای کنگره‌ای تداخل خطوط جریان و گردابه‌های چرخشی در پایین دست آن‌ها به خصوص در هد جریان عبوری بالا می‌باشد، با دقت در شکل ۱۱ مشاهده می‌گردد که تداخل خطوط جریان در

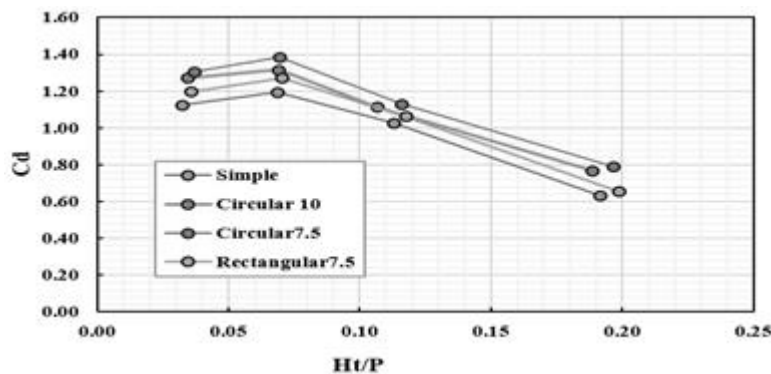
ضرایب دبی و دبی - اشل سرریزهای کنگره‌ای نیم دایره‌ای با قطر ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- مقایسه ضرایب دبی و دبی - اشل سرریزهای کنگره‌ای نیم دایره‌ای با قطر ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر

آبگذری (مخصوصاً در نسبت‌های $\frac{H_t}{p}$ پایین) بیشتر از کاهش ضریب دبی جریان عبوری در سرریزهای کنگره‌ای می‌باشد (رابطه عکس ضریب دبی با طول موثر). در نسبت‌های $\frac{H_t}{p}$ بالا به دلیل استغراق سرریز افزایش طول موثر در آبگذری این نوع از سرریزها تاثیر چندانی ندارد. در شکل ۱۳ ضرایب دبی بدست آمده از کل مدل‌ها ارایه شده است.

مشاهده می‌گردد که با افزایش طول موثر سرریز ضریب دبی در نسبت $\frac{H_t}{p}$ ثابت، کاهش می‌یابد، اما با افزایش طول موثر در هد ثابتی از جریان، مقدار آبگذری جریان از روی سرریز کنگره‌ای نیم دایره‌ای با قطر ۱۰ سانتی‌متر بیشتر بوده و این امر بیشتر در مواقع سیلابی که نیاز به عبوردهی بیشتر جریان در کمترین زمان ممکن لازم است، قابل توجه می‌باشد. پس می‌توان گفت اهمیت طول موثر در افزایش



شکل ۱۳- مقایسه ضرایب دبی بدست آمده از کل مدل‌ها

بیشترین ضریب دبی را به خود اختصاص داده و با افزایش نسبت $\frac{H_t}{p}$ برای تمامی مدل‌ها ضریب دبی کاهش می‌یابد. برای محاسبه ضریب دبی جریان با داده‌های آزمایشگاهی صحت سنجی شد. می‌توان نتیجه گرفت نتایج عددی تطابق بالایی با داده‌های آزمایشگاهی داشته و نرم افزار Flow-3D قابلیت خوبی در شبیه‌سازی جریان عبوری از این سرریزها را دارا می‌باشد. همچنین با شبیه‌سازی سرریز کنگره‌ای مرکب و ساده در پلان به مقایسه دو

مشاهده می‌گردد که از بین مدل‌های سرریز کنگره‌ای با ایجاد کنگره‌های نیم دایره‌ای با قطر ۷/۵ سانتی‌متر

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی جریان عبوری از سرریز کنگره‌ای با نرم افزار Flow-3D پرداخته شده است. نتایج حاصل از خروجی حل عددی

مربک از طریق افزایش طول موثر و افزایش دبی عبوری از روی سرریز در H_T/P ثابت نسبت به سرریز خطی و کنگره‌ای ساده در عرض مشخص اشاره کرد.

سرریز پرداخته شد. با استفاده از مقادیر بدست آمده برای ضریب دبی و دبی جریان عبوری از سرریزها در H_T/P مختلف می‌توان به کارایی موثر و مناسب سرریز کنگره ای

منابع

- اژدری مقدم، م.، ن. امانیان، ا. جعفری ندوشن و م. تاج نسایی. ۱۳۹۰. بررسی اثرات شیب بالادست و پایین دست مقطع بر ضریب گذردهی جریان در سرریز کنگره ای مثلث به روش CFD. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان. کد NCCE 06-0182
- اسمعیلی ورکی، م. و م. صفر رضوی زاده. ۱۳۹۱. بررسی مشخصات هیدرولیکی جریان بر روی سرریزهای کنگره‌ای با پلان نیم‌دایره‌ای، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) - جلد ۲۷، صفحه ۲۲۴-۲۳۴
- عمادی، ع.ر. و م. رضایی. ۱۳۹۴. مطالعه آزمایشگاهی سرریزهای کنگره ای مستطیلی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۹، شماره ۶، صفحه ۱۴۳۸-۱۴۴۶
- قاسم زاده، ف. ۱۳۹۶. کتاب شبیه سازی مسائل هیدرولیکی در FLOW 3D، چاپ سوم، انتشارات نوآور. صفحه ۳۱-۴۱
- مرعشی، ع. ۱۳۷۸. بررسی ضریب آبگذری در سرریزهای کنگره‌ای نیم دایره شکل در پلان. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته عمران- مهندسی آب-دانشگاه تربیت مدرس. صفحه ۴۳-۸۲
- Crookston, B.M. and B.P. Tullis. 2012. Arced labyrinth weirs. J. of Hydraul. Eng. ASCE. 138(6): 555-562
- Darvas, L.A. 1971. Performance and design of labyrinth weirs. Journal of Hydraulic Division ASCE, no hy 8, pp. 1246-1251
- Hay, N. and G. Tailor. 1970. Performance and design of labyrinth weirs .j. Hyd. Div. ASCE 96 (2): 2337-2357
- Houston, k.L. 1982. Hydraulic model study of the Ute Dam labyrinth spillway.Rep. No GR-82-7, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.PP. 41
- Houston, k. L.1983. Hydraulic model study of Hyrum auxiliary Labyrinth spillway.Rep. No.GR-82-13, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.P.P. 1048-1051
- Kumara, S., Z. Ahmada. and T. Mansoorb. 2011.A new approach to improve the discharging capacity of sharp-crested triangular plan form weirs. Flow Measurement and Instrumentation 22: 175-180.
- Lux, F. 1995. Design methodologies for labyrinth weirs, water power and dam construction proceeding. pp. 1397-1407
- Lux III, F. and D. Hinchliff. 1985. Design and construction of labyrinth spillways. 15th Congress ICOLD, Vol. IV, Q59-R15, Lausanne, Switzerland, 249-274.
- Indlekofer, H. and Rouve, G. 1975. Discharge over polygonal weirs. Journal of the Hydraulics Division, Vol. 101(HY3), pp. 385-401
- Tullis B., Young J., and Chandler M. 2007. Head-Discharge Relationships for Submerged Labyrinth Weirs. J. Hydraul. Eng. 133(3), 248-254
- Tullis, J.P., N. Amanian. and D. Waldorand. 1995. Design of labyrinth spillways, Journal of Hydraulic Engineering. 121, No. 3 March, pp. 247-255



Numerical Modeling of the Labyrinth Weirs with Additional Passages Added onto Weir's Wing Using Flow-3D Software and Comparison to the Laboratory Results

Hossien Azarpeyvand¹, Alireza Emadi^{2*}, Mohammad Sedghi Asl³

Abstract

Labyrinth weirs are some cost-effective structures, having trapezoidal, triangular and other formats, utilized for increasing the output efficiency in a limited width. Raising the capacity of labyrinth weirs via increasing their width is not always possible. The labyrinth weirs are used due to the increase in their efficient length on a given hydraulic height and width. The present study investigates the weirs having trapezoidal polyhedron format, on the wings of which some new labyrinth have been added so that their spillover discharge rate will be reinforced. The experiments in this study were conducted on 27 laboratory models having 9 different discharge rates, on whose wings double labyrinth have been added, totally through 243 experiment. Besides the spillover simulations were performed using the Flow-3D software. The results obtained from the numerical analysis for the determining the spillovers discharge rate coefficient were validated using laboratory data and it demonstrated a good correspondence between the numerical solutions and laboratory findings. It is also suggested that the Flow-3D software has a high potential in simulating the flow on labyrinth weirs. Laboratory results also indicated that, regarding all the compound polyhedron trapezoidal weirs, the parameter ratio, flow rate coefficient to ratio (Ht: total hydraulic load and P: spillways height) firstly raise and then start to reduce once they reach the maximum level. The spillover discharge rate increases for a given when the effective length of the weirs' wing is raised. The discharge rate on the weirs having semi-circular compound format is better than this rate of ones having the square format and the ones having compound square format have spillover discharge rates better than the ones having simple trapezoidal format, in a manner that the discharge rate of the current flow is increased 15 percent more than the trapezoidal dam labyrinth spillways and flow rate coefficient interval increases from 0.4 percent of dam labyrinth spillways to 0.65 on the compound spillways.

Keywords: hydraulic load, spillover's discharge rate, combined polyhedron weirs, effective length, Flow-3D

¹Ph.D. Student, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran; h.azarpayvand64@yahoo.com

² Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (*- Corresponding Author); emadia355@yahoo.com

³Associate Professor, Soil Science Department, Yasouj University, Yasouj, Iran; sedghiasl@gmail.com