بررسی سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی

مهدی یاسی و محمد محمدی [۱]

چکیده

سرریزهای زیگزاگی سازه‌های هیدرولیکی مهم جهت تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها و نیز هوادهی جریان در شبکه اصلی فاضلاب‌ها به‌شمار می‌آیند. فرضیه اصلی در توسعه طرح زیگزاگی سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز از طریق افزایش طول تاج سرریز در یک محدوده معین عرضی بوده است. در این تحقیق، اصلاح طرح هندسی پلان سرریز زیگزاگی نوع مثلثی، ذوزنقه‌ای و یا مستطیلی- از طریق تغییر فرم دماغه سرریز به شکل قوسی از دایره با سه مدل قوسی سرریز در پلان مورد ارزیابی و آزمون قرار گرفته، و معادله جریان روی سرریز ارائه گردیده است. ضریب جریان به‌صورت تابعی از مشخصات هندسی و هیدرولیکی مؤثر به‌صورت منحنی‌های بدون بعد ارائه شده است. آستانه استغراق جریان بر حسب نسبت‌های مؤثر بدون بعد ارائه گردیده و برای شرایط جریان مستغرق، ضریب کاهشی جریان به‌صورت تابعی از پارامترهای بدون بعد (تأثیر عمق پایاب و فرم قوسی سرریز) ارزیابی گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که شکل قوسی «دماغه سرریز» همگام با واگرائی بیشتر «کانال پایین دست سرریز» منجر به افزایش کارایی هیدرولیکی می‌گردد. سرریزهای با دماغه قوسی باریک‌تر ($R/w \leq ۰/۲$) در محدودهٔ نسبت ارتفاعی ($۲ \leq w/P \leq ۳$) از کارایی هیدرولیکی پایدارتری برخوردار هستند. مقایسه کارکرد سرریزهای با پلان متفاوت در شرایط مختلف جریان نشان می‌دهد که این فرم سرریز قوسی، کارایی هیدرولیکی برتری نسبت به سرریزهای معادل ذوزنقه‌ای و مثلثی (با طول تاج یکسان) دارند.

واژه‌های کلیدی: سازه‌های هیدرولیکی، سرریز زیگزاگی، سرریز با پلان قوسی، کارایی هیدرولیکی

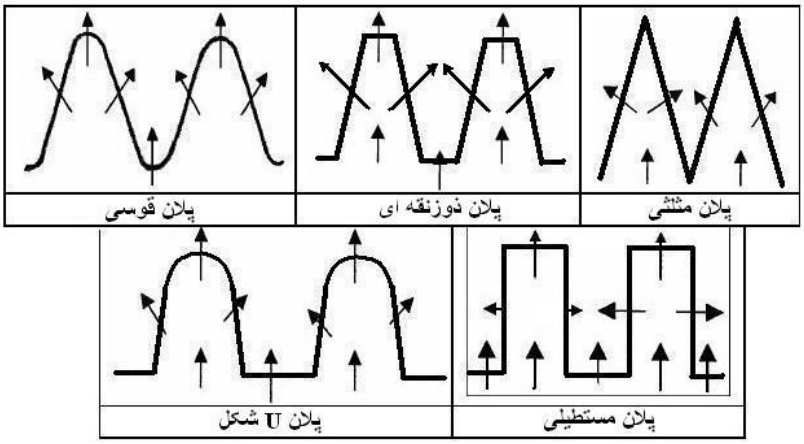
مقدمه

سرریزهای زیگزاگی (Labyrinth spillways) از سازه‌های هیدرولیکی مهم جهت تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها به‌شمار می‌آیند. هم‌چنین، از سرریزهای کوتاه زیگزاگی جهت هوادهی و پالایش طبیعی فاضلاب استفاده می‌گردد (۷). محور تاج این نوع سرریزها به‌صورت غیر خطی بوده و در یک عرض معین، طول تاج بیشتری نسبت به سرریزهای متداول خطی دارد. به‌طوری که در نمایش سطح افق، سرریز از دیواره‌های متصل به هم تشکیل یافته و با هندسه مثلثی، ذوزنقه‌ای، مستطیلی و یا قوسی و با تناوب در عرض جریان تکرار می‌گردد (شکل ۱). این نوع سرریز در منابع فارسی به‌نام‌های: زیگزاگی، کنگره‌ای یا چند وجهی؛ و در انگلیسی به: Folded, Accordion Corrugated, Labyrinth مشهور هستند (۴ و ۷).

۱. به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]



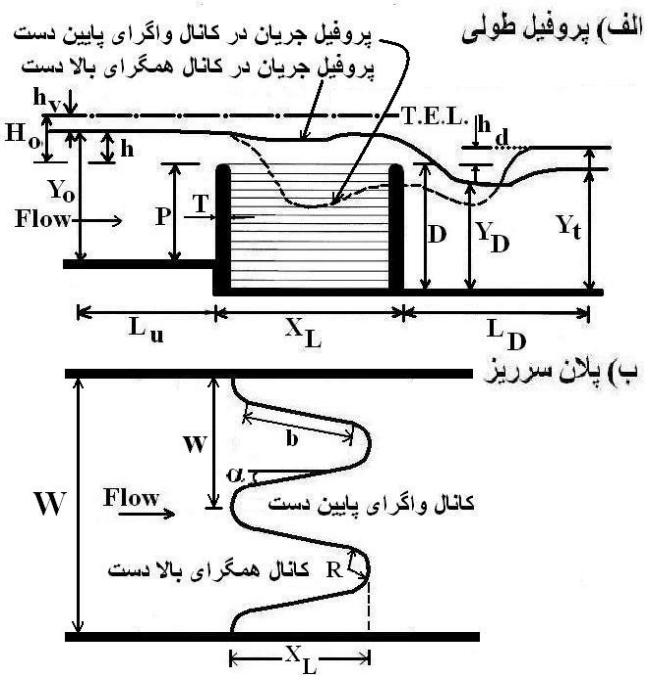
شکل ۱. نمایش سرریزهای با پلان هندسی متفاوت

فرضیه اصلی در توسعه طرح زیگزاگی سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی یک سرریز با تاج ثابت و به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز بوده است. مهم‌ترین امتیازات توسعه کاربرد سرریزهای زیگزاگی در رودخانه‌ها و مخازن سدها عبارت‌اند از: ۱. محدودیت عرضی مقطع احداث سرریز جهت انتقال سیل ماکزیمم طراحی در مخازن سدها و نیز در شرایط رودخانه‌های نیمه کوهستانی و یا رودخانه‌های سیلاب دشتی با مقطع مرکب ۲. محدودیت ارتفاع سطح آب در بازه بالادست سرریز و خطر آبگرفتگی اراضی بالادست بخصوص در رودخانه‌های سیلاب دشتی ۳. افزایش حجم مفید مخازن سدها از طریق افزایش ارتفاع تاج ثابت سرریز با تأمین ظرفیت انتقال سیلابی سرریز ۴. اصلاح و توسعه طرح سرریزهای موجود جهت افزایش ظرفیت انتقال سیلابی (۵) سادگی ساخت، توجیه برتر اقتصادی، و سهولت مدیریت بهره برداری در مقایسه با گزینه سرریز خطی با کنترل دریچه‌ای (۴، ۷ و ۸).

اولین مطالعات در خصوص ضوابط طراحی و کارکرد هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی توسط تیلور (۱۱) و هی و تیلور (۸) روی مدل‌های با پلان هندسی مثلثی، مستطیلی و ذوزنقه‌ای با شکل تاج لبه تیز صورت پذیرفت. با توسعه اطلاعات تجربی، نتایج ارزیابی ظرفیت جریان عبوری روی سرریزهای با پلان مثلثی و ذوزنقه‌ای توسط لاکس و هینچلیف (۹) و لاکس (۱۰) اصلاح گردید. نتایج مطالعات فوق نشان داد که میزان واقعی جریان عبوری از سرریز زیگزاگی حدود ۲۵٪ کمتر از مقدار برآورد شده نظیر آن از روش هی و تیلور (۸) است. علت اصلی تفاوت، احتساب ارتفاع سطح آب بالادست به‌جای انرژی بالادست سرریز یا تأثیر بار سرعت بالادست سرریز بوده است (۱۰). مطالعات تکمیلی روی مدل سرریزهای زیگزاگی با پلان ذوزنقه‌ای و با شکل تاج ربع دایره‌ای توسط داروا‌س (۶) و تولیس و همکاران (۱۲) انجام یافت. مطالعات تیلور (۱۱) نشان داد که ظرفیت انتقال جریان از روی یک سرریز با پلان مستطیلی به‌مراتب کمتر از سرریز با پلان مثلثی در شرایط مختلف جریان است (به نقل از ۷). در ایران، طاهری (۳) از طریق استنتاج نظری نتیجه گرفت که فرم تاج اوجی در سرریزهای با پلان مثلثی و ذوزنقه‌ای کارایی هیدرولیکی بیشتری نسبت به فرم تاج ربع دایره‌ای دارد. روشنی زرمهری (۱) نشان داد که، کارایی هیدرولیکی سرریزهای با پلانU شکل مؤثرتر از سرریزهای با پلان مستطیلی است. در این بررسی، تنها از یک سیکل سرریز و با انحنای قوسی منحصراً در پیشانی بالادست استفاده گردید (۱). برای سرریزهای زیگزاگی مثلثی، مطالعات شنوائی (۲) بیانگر برتری هیدرولیکی شکل تاج نیم‌دایره‌ای نسبت به شکل لبه تیز است. جزئیات مطالعات و نتایج پیشین بر روی انواع سرریزهای زیگزاگی توسط محمدی (۴) و فالوی (۷) ارائه گردیده است. در خصوص طرح و کارکرد هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]



شکل ۲. نمایش هندسی جریان بر روی یک سرریز زیگزاگی با پلان قوسی- و با شکل تاج نیم‌دایره‌ای

طرح پلان قوسی، هنوز گزارش‌های علمی و مستندی در منابع موجود دیده نشده است. در این تحقیق، اصلاح طرح هندسی پلان سرریز زیگزاگی نوع مثلثی، ذوزنقه‌ای و یا مستطیلی- از طریق تغییر در فرم دماغه یا پیشانی سرریز (در بالادست و پایین دست) از حالت خطی به شکل قوسی از دایره مورد نظر قرار گرفته است. هدف اصلی از این بررسی، ارزیابی ظرفیت جریان به روش تحلیلی- تجربی بر روی سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی و با شکل تاج نیم‌دایره‌ای بوده است. علاوه بر آن، کارایی هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی معادل با پلان هندسی متفاوت (قوسی- مثلثی- ذوزنقه‌ای) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است.

تئوری و معادله جریان

مشخصات هندسی و هیدرولیکی جریان در محدوده یک سرریز زیگزاگی با پلان قوسی در شکل ۲ نمایش داده شده است. با وجود پیچیدگی جریان، رفتار جریان را می‌توان تحت شرایط جریان زیر بحرانی در بالادست سرریز و با در نظر گرفتن خصوصیات جریان متغیر مکانی با اصول جریان یک بعدی توضیح داد (۴ و ۷). مطابق شکل ۲، وقتی جریان زیر بحرانی وارد کانال بالا دست سرریز می‌گردد، به دلیل همگرائی وجوه جانبی سرریز، سطح آب پایین می‌افتد. از طرف دیگر، با کاهش شدت جریان عبوری در امتداد مسیر، سطح آب در طول کانال همگرای بالادست سرریز تمایل به افزایش پیدا می‌کند. فرایند آن تمایل تدریجی سطحی آب به صعود در امتداد طولی کانال بالادست سرریز (تا نزدیکی حد ارتفاعی سطح آب بالادست سرریز) است. برای جریان ریزشی در کانال پایین دست سرریز، ترکیب هندسه واگرایی با افزایش شدت جریان در امتداد مسیر باعث صعود پروفیل سطح آب گردیده و جریان زیر بحرانی در کانال واگرای پایین دست استقرار می‌یابد (۷). تداخل تیغه‌های ریزشی جریان از روی تاج سرریز به کانال واگرای پایین دست باعث می‌شود که ظرفیت جریان عبوری از واحد طول تاج یک سرریز زیگزاگی کمتر از مقدار نظیر آن از روی یک سرریز خطی و نرمال باشد (۶ و ۷).

معادله یک بعدی جریان روی سرریزهای زیگزاگی به روش تحلیل ریاضی (با حل معادلات پیوستگی و انرژی)، و با فرضیات: شرایط جریان آزاد و پرتابی از روی یک سرریز معادل

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]

خطی و نرمال، توزیع هیدرواستاتیکی فشار در محدوده بالادست سرریز و صرف نظر از فشردگی تیغه جریان و افت انرژی به صورت زیر به‌دست آمده است (۴).

$$Q = C_d \frac{2}{3}\sqrt{2g} L H_o^{\frac{3}{2}} \qquad [1]$$

که درآن: L= طول تاج سرریز زیگزاگی، H_o= ارتفاع انرژی کل جریان بالادست نسبت به تاج سرریز (شکل ۲)، g= شتاب ثقل، C_d= ضریب جریان؛ و Q= شدت جریان از روی سرریز زیگزاگی می‌باشد. با روش تحلیل ابعادی و با احتساب متغیرهای مؤثر هندسی، کینماتیکی و دینامیکی در ظرفیت جریان، ضریب C_d به‌صورت تابع زیر ارائه گردیده است (۴).

$$C_d = F(H_o/P , R/w , w/P , D/P , T/P , r/P , l/w , h_d/h \text{ or } \Psi) \qquad [2]$$

که در آن: P= ارتفاع دیواره سرریز در بالادست، D= ارتفاع دیواره سرریز در پایین‌دست، l= طول تاج یک سیکل سرریز، w= عرض یک سیکل سرریز، R= شعاع قوس دماغه سرریز در پلان، T = ضخامت دیواره سرریز، r = شعاع قوس تاج سرریز، h= ارتفاع سطح آب بالادست نسبت به تاج سرریز، h_d= ارتفاع سطح پایاب از تاج سرریز، و $\psi = F(h_d/h)$ ضریب استغراق جریان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های تجربی در فلوم آزمایشگاه هیدرولیک کاربردی دانشگاه ارومیه به طول ۸/۴، عرض ۰/۶ و عمق ۰/۴۲ متر با سیستم جریان آزاد انجام گردید. تأثیر عوامل معین هندسی و هیدرولیکی تا حد ممکن در طراحی مدل فیزیکی سرریز و استقرار آزمون‌های مختلف در نظر گرفته شد. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که احتساب حداقل دو سیکل کامل در مدلسازی تیغه‌های ریزشی جریان از روی سرریزهای زیگزاگی ضروری می‌باشد (۱۰). بیشتر محققین، محدوده بزرگنمایی طولی سرریزهای زیگزاگی را به‌صورت ($2 \le l/w \le 4$) پیشنهاد نموده‌اند (۴). دیواره سرریز با شکل تاج نیم‌دایره‌ای (شکل ۲) در محدوده عمومی جریان ($H_0/P<0/5$) از کارایی هیدرولیکی بیشتری برخوردار بوده، و فرم و شیب دیواره سرریز در بالادست و پایین دست تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر ظرفیت انتقال سرریزها نشان نداده است (۴). هم‌چنین، دیواره‌های قائم سرریز با ضخامت ($T \ge P/6$) عموما پیشنهاد می‌گردد (۱۲). بر اساس توصیه‌های فوق و مطابق شکل ۲ : نسبت بزرگنمایی طولی تاج سرریز ثابت و معادل ($l/w=3$) ، فرم تاج سرریز به‌صورت نیمدایره با شعاع ($r = 15$ mm) ، دیواره‌های سرریز در بالادست و پایین دست به‌صورت قائم با ضخامت ($T = 2r$) و دو سیکل کامل از تناوب فرم زیگزاگی سرریز در عرض کانال ($n=2$) در نظر گرفته شده است. در تحقیق حاضر، ارتفاع سرریز در بالادست و پایین دست یکسان می‌باشد ($D/P=1$). آرایش زیگزاگی سرریز نسبت به جهت جریان به‌صورت نرمال و مطابق شکل ۲ انتخاب گردید، که کارایی هیدرولیکی آن بهتر از فرم آرایش معکوس (نسبت به جهت جریان) است (۷). ازآنجا که احداث پیش بند (Apron) در بالادست و پایین دست دامنه استغراق جریان از روی سرریز را افزایش می‌دهد (۷)، در مدل تجربی حاضر از پیش بند استفاده نگردید.

در این بررسی، مجموعاً دوازده مدل سرریز، تحت سه شعاع قوس مختلف دماغه سرریز با نسبت‌های متناظر ($R/w=0/15$ و ۰/۲ و ۰/۲۵)- و هرکدام در چهار ارتفاع تاج متفاوت با نسبت‌های متناظر ($w/P=1/5$، ۲، ۳، ۴) مورد آزمون قرار گرفت. مشخصات فیزیکی هر یک از دوازده مدل سرریزهای زیگزاگی در جدول ۱ ارائه شده است.

مدل‌های سرریز از جنس چوب روسی ساخته و در محلول روغنی الیاف چوب صاف و ضدآب گردید. در هر آزمایش، سرریز در میانه کانال نصب گردیده و با استقرار جریان پایدار، اندازه‌گیری دبی و ارتفاع سطح آب انجام پذیرفته است. ارتفاع سطح آب بالادست سرریز در فاصله L_U از سرریز (قبل از افت سطح آب) به‌وسیله عمق یاب با دقت ۰/۱ mm ± اندازه‌گیری گردید. موقعیت اندازه‌گیری عمق آب بالادست، در محدوده ($L_U/h=$ (۲-۳ مناسب بود. به منظور بررسی تأثیر شرایط

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]

جدول ۱. مشخصات مدل فیزیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی در تحقیق حاضر *

آزمون	P (m)	w (m)	n	l (m)	R (m)	R/w	w/P	l/w	α^0	X_L (m)
W1-R1	۰/۲۰	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۷۵	۰/۲۵	۱/۵	۳	۰	۰/۴۰
W1-R2	۰/۱۵	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۷۵	۰/۲۵	۲	۳	۰	۰/۴۰
W1-R3	۰/۱۰	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۷۵	۰/۲۵	۳	۳	۰	۰/۴۰
W1-R4	۰/۰۷۵	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۷۵	۰/۲۵	۴	۳	۰	۰/۴۰
W2-R1	۰/۲۰	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۶	۰/۲	۱/۵	۳	۶	۰/۴۱
W2-R2	۰/۱۵	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۶	۰/۲	۲	۳	۶	۰/۴۱
W2-R3	۰/۱۰	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۶	۰/۲	۳	۳	۶	۰/۴۱
W2-R4	۰/۰۷۵	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۶	۰/۲	۴	۳	۶	۰/۴۱
W3-R1	۰/۲۰	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۴۵	۰/۱۵	۱/۵	۳	۱۱	۰/۴۲
W3-R2	۰/۱۵	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۴۵	۰/۱۵	۲	۳	۱۱	۰/۴۲
W3-R3	۰/۱۰	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۴۵	۰/۱۵	۳	۳	۱۱	۰/۴۲
W3-R4	۰/۰۷۵	۰/۳	۲	۰/۹	۰/۰۴۵	۰/۱۵	۴	۳	۱۱	۰/۴۲

* : پارامترهای جدول در شکل ۱ نمایش داده شده است.

استغراق جریان، عمق پایاب (Y_t) در فاصله L_D از پایین دست سرریز اندازه‌گیری گردید. موقعیت L_D به‌طور تجربی درمحدوده (L_D/h = ۶-۱۸) قرار داشت. دبی جریان توسط یک سرریز مثلثی واسنجی شده در مخزن خروجی فلوم با دقت (±۰/۴٪) اندازه‌گیری گردید. بررسی تأثیر عمق پایاب بر جریان از روی سرریز، با تنظیم دریچه انتهایی فلوم انجام گردید. مطابق جدول ۱، از نظر هندسی دوازده آزمون اصلی با نمایه WjRi طراحی گردیده، که i از ۱ تا ۴ (چهار ارتفاع مختلف تاج سرریز) و j از ۱ تا ۳ (سه قوس مختلف دماغه سرریز در پلان) تغییر می کند. از نظر هیدرولیکی، هر آزمون اصلی تحت دو شرایط: ۱- بدون کنترل پایین دست؛ و ۲- با کنترل پایین دست، انجام پذیرفت. در ۲۴ سری آزمایش‌های فوق، محدوده وسیعی از جریان (جمعاً به تعداد ۷۲۰ اندازه‌گیری) مورد آزمون قرار گرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی ظرفیت جریان بر روی سرریز زیگزاگی با پلان قوسی

معادله عمومی جریان بر روی یک سرریز زیگزاگی، با توجه به شکل ۲ به‌صورت رابطه شماره ۱ در نظر گرفته شده است. تابع عمومی ضریب جریان (C_d) برای فرم پلان قوسی سرریز در رابطه شماره ۲، با توجه به محدودیت‌های بررسی حاضر در احتساب نسبت‌های معین (D/P , T/P , r/P , l/w)، به‌صورت رابطه زیر ساده گردیده است.

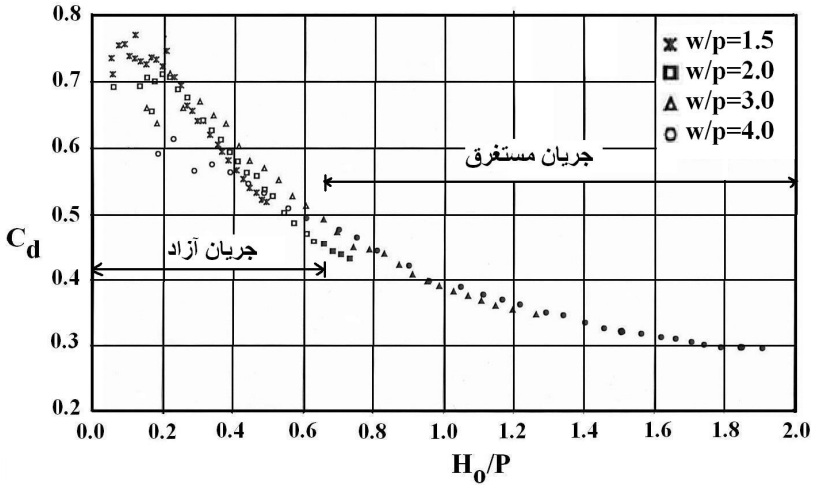
$$C_d = F(H_o/P , R/w , w/P , \Psi) \qquad [۳]$$

از نتایج آزمایش‌های تجربی، ضریب جریان C_d از رابطه ۱ به‌طور مستقیم محاسبه و با توجه به رابطه ۳ به‌صورت تابعی از پارامترهای (H_o/P, R/w, w/P) و نیز شرایط کنترل پایین دست مورد ارزیابی قرار گرفته است. روند تغییرات C_d در شرایط مختلف جریان در هر یک از آزمون‌های مختلف نسبتاً مشابه بوده که به‌طور نمونه برای مدل سرریز (W3-Ri) با نسبت قوسی (R/w=۰/۱۵) در شکل ۳ نمایش داده شده است. نتایج کامل برای مدل‌های دیگر سرریز (نسبت‌های متفاوت R/w, w/P)، توسط محمدی (۴) ارائه گردیده است.

نتایج نشان می‌دهد که شرایط آستانه جریان روی سرریزهای قوسی، برای استقرار پایدار تیغه ریزشی جریان و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]



شکل ۳. ضریب جریان (C_d) به‌صورت تابعی از H_o/P و W/P به ازای (R/w= ۰/۱۵) – آزمون (W3-Ri)

اجتناب از تأثیرات کشش سطحی و لزجت به‌صورت (H_o/p >۰/۱ و یا h >۱۵ mm) می‌باشد. در نسبت‌های کم بار آبی، جریان به‌صورت آزاد بوده و ضریب جربان (C_d) با افزایش سطح آب بالادست، افزایش می‌یابد تا به یک مقدار ماکزیمم می‌رسد. شیب تغییرات ضریب جریان (C_d) به‌سمت مقدار ماکزیمم آن با نسبت (H_o/P) رابطه مستقیم، ولی با نسبت (w/P) رابطه معکوس (یا با ارتفاع سرریزP رابطه مستقیم) دارد. در محدودهٔ هیدرولیکی وقوع ماکزیمم ضریب جریان C_d، جریان آزاد برقرار بود. با افزایش ارتفاع سطح آب بالادست سرریز (یا در نسبت‌های بیشتر H_o/P)، حتی در محدودهٔ جریان آزاد ضریب جریان C_d به‌تدریج از مقدار ماکزیمم خود کاهش می‌یابد. شیب منحنی (C_d -H_o/P) در نسبت‌های کمتر (w/P) با شدت بیشتری کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که، توسعه شدت تلاطم و نوسانات جریان سه‌بعدی در «کانال واگرای پایین‌دست سرریز» سبب توسعه شرایط شبه استغراق گردیده و کارایی هیدرولیکی سرریز را کاهش می‌دهد. شدت روند کاهشی ضریب C_d در نسبت‌های زیاد H_o/P، با شعاع قوس دماغه سرریز (یا نسبت R/w) رابطه معکوس دارد. قوس دماغه باریک‌تر سرریز (یا واگرایی بیشتر کانال پایین‌دست سرریز) باعث پایداری بیشتری در جریانات زیاد می‌گردد.

بر اساس نتایج تجربی، حد آستانه استغراق جریان (Modular limit) از رابطه زیر قابل ارزیابی می‌باشد.

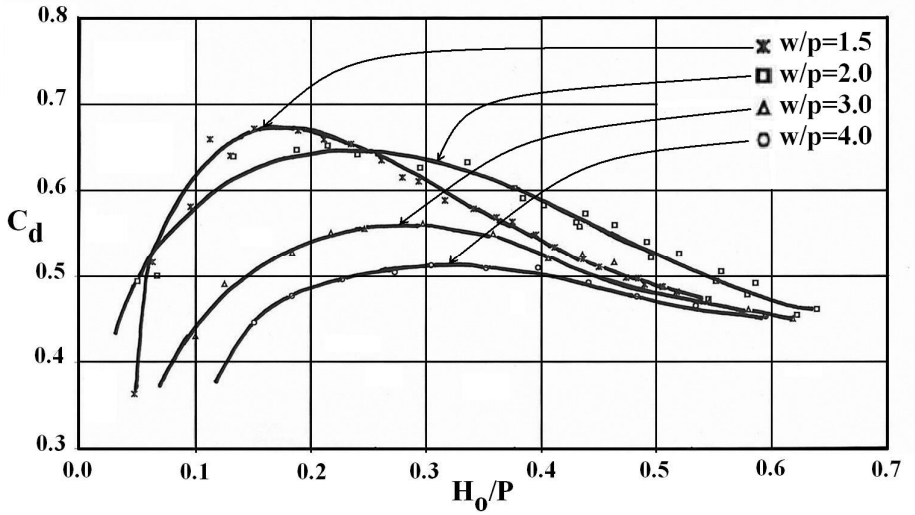
$$h/P = + ۰/۴۶۷(R/w) - ۰/۰۳۵(w/P) + ۰/۵۴۷ \qquad [۴]$$

از نظر دامنه جریان آزاد روی سرریزهای قوسی، محدوده جریان ۰/۱ < H_o/P < ۰/۶ مناسب می‌باشد. ضریب جریان C_d در محدوده جریان آزاد، برای هر یک از سه مدل فرم قوسی شکل سرریز از شکل‌های ۴ تا ۶ به‌دست می‌آید. در شرایط جریان مستغرق (H_o/P>۰/۶)، رفتار هیدرولیکی سرریز زیگزاگی مشابه با یک سرریز خطی نرمال- ولی با افت انرژی بیشتر می‌گردد. در این شرایط، ضریب جریان مستقل از هندسه زیگزاگی سرریز به مقدار ثابت C_d =۰/۳ کاهش می‌یابد.

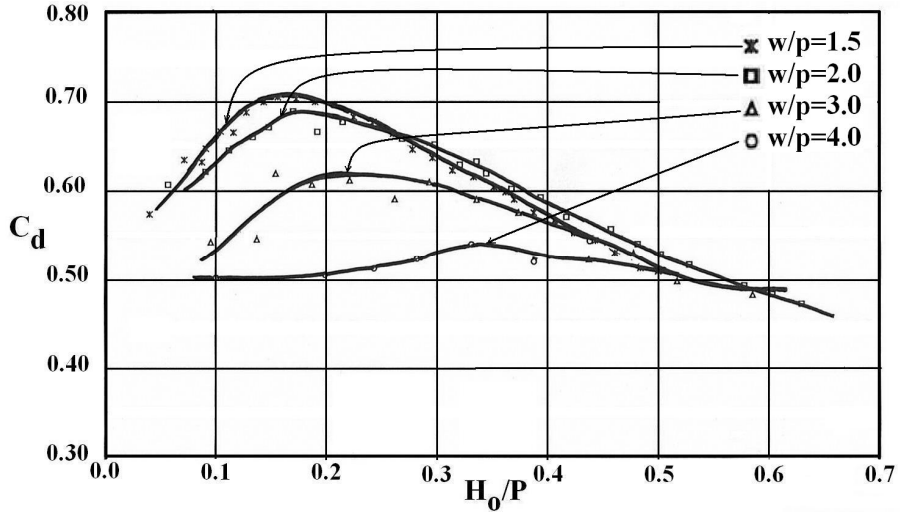
ظرفیت جریان آزاد (Q_f) از معادله ۱ و با استفاده از شکل‌های ۴ تا ۶ (برای برآورد ضریب جریان آزاد C_d) قابل محاسبه است. تحت شرایط جریان مستغرق، ضریب تصحیح استغراق جریان (ψ) به‌صورت تابعی از نسبت بدون بعد تأثیر سطح پایاب (h_d/h)، فرم قوسی سرریز (نسبت R/w) و ارتفاع سرریز (نسبت w/P) ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که روند تغییرات ψ با h_d/h به ازای w/Pهای مختلف معنی دار نبوده و مستقل از w/P می باشد. شکل ۷ نتایج مربوط به مدل سرریز (W3-Ri) را به‌طور نمونه نشان می‌دهد. در این شکل، منحنی برآورد متوسط همراه با دامنه پوش تغییرات احتمالی ضریب ψ در محدوده اطلاعات تجربی موجود نشان داده شده است. روند

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

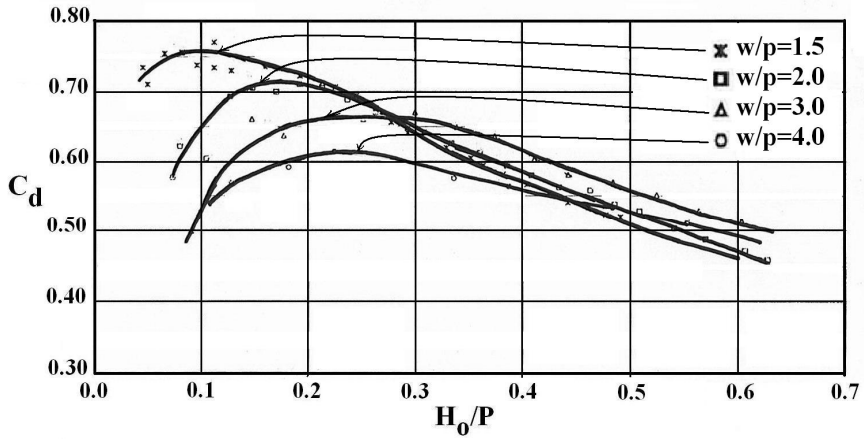
[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]



شکل ۴. ضریب جریان آزاد (C_d) به‌صورت تابعی از H_o/P و W/P به ازای (R/w= ۰/۲۵) – آزمون (W1-Ri)



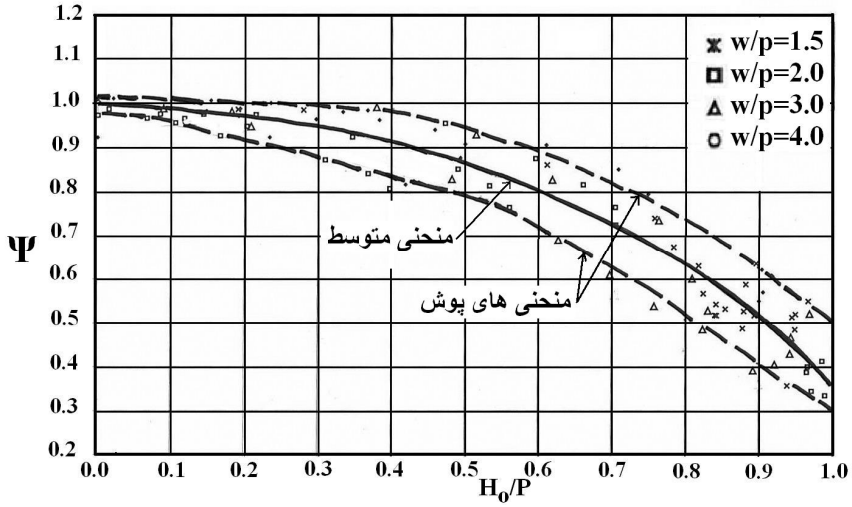
شکل ۵. ضریب جریان آزاد (C_d) به‌صورت تابعی از H_o/P و W/P به ازای (R/w= ۰/۲۰) – آزمون (W2-Ri)



شکل ۶. ضریب جریان آزاد (C_d) به‌صورت تابعی از H_o/P و W/P به ازای (R/w= ۰/۱۵) – آزمون (W3-Ri)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]



شکل ۷. ضریب تصحیح استغراق جریان (ψ) به‌صورت تابعی از h_d/h به ازای (R/w= ۰/۱۵) – آزمون (W3-Ri)

تغییرات ψ برای هر یک از سه مدل سرریز قوسی مشابه بوده است. متوسط ضریب تصحیح استغراق جریان (ψ_m) را می‌توان از رابطه عمومی زیر ارزیابی نمود.

$$\psi_m = ۱/۵۲۲(R/w) - ۰/۲۳۲(hd/h) + ۰/۶۸۵ \qquad [۵]$$

پراکنش داده‌های جریان مستغرق از نظر فیزیکی با نسبت h_d/h متناسب بوده است. ازاینرو، دامنه تغییرات احتمالی ضریب ψ حول مقدار متوسط آن در رابطه ۵، از رابطه زیر قابل ارزیابی می‌باشد.

$$\psi = \psi_m \pm ۰/۱۶ \ (h_d/h) \qquad [۶]$$

در این‌صورت شدت جریان واقعی در شرایط جریان مستغرق (Q_s)، از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود.

$$Q_s = Q_f * \psi \qquad [۷]$$

ارزیابی کارایی هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان هندسی متفاوت

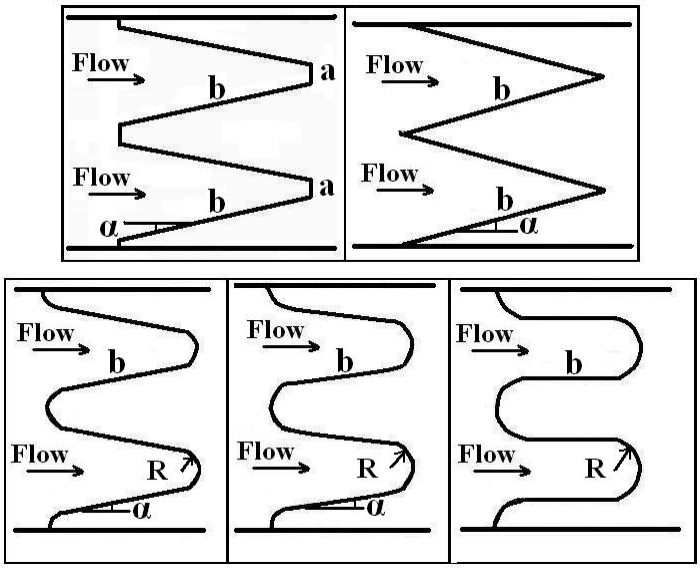
از آنجا که هنوز گزارش‌های مستندی در خصوص طرح سرریزهای زیگزاگی قوسی مشاهده نشده، مقایسه نتایج حاضر با نتایج مشابه دیگر امکان پذیر نبوده است (۷). در تحقیق حاضر، کارایی هیدرولیکی سه گزینه سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی (۰/۲۵ و ۰/۲ و P/ω= =۰/۱۵) با دوگزینه معادل پلان مثلثی و پلان ذوزنقه‌ای- در شرایط جریان آزاد مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه گزینه معادل با پلان زیگزاگی مستطیلی به‌دلیل فقدان اطلاعات تجربی در منابع موجود میسر نگردید. جهت مقایسه شکل پلان سرریزها، لزوماً برخی پارامترهای هندسی (نظیر: عرض سرریزW، تعداد سیکل‌های سرریز n، و شکل تاج سرریز نیم‌دایره‌ای) یکسان در نظر گرفته شدند. برای محاسبه ضریب جریان (C_d) و شدت جریان (Q) برای سرریزهای با پلان قوسی از نتایج تحقیق حاضر برای سرریزهای با پلان مثلثی و ذوزنقه‌ای از روش لاکس و هینچلیف (۹) و لاکس (۱۰) استفاده گردید. نتایج این بررسی به‌شرح زیر است.

الف) ارزیابی تأثیر هندسه پلان سرریز با نسبت (l/w) یکسان

در این بررسی، علاوه بر عرض سرریز (W) و تعداد سیکل‌ها (n)، طول تاج سرریز (L) و در نتیجه نسبت بزرگنمائی طولی (l/w) نیز یکسان در نظر گرفته شده است. ظرفیت جریان آزاد در پنج گزینه از شکل ۸، برای سه ارتفاع مختلف سرریز (P) و تحت سه شرایط مختلف جریان آزاد (h متفاوت) محاسبه گردیده که نتایج آن به‌طور نمونه برای ارتفاع P = ۰/۱۵ m در جدول ۲ ارائه گردیده است. نتایج این ارزیابی به‌صورت خلاصه عبارت‌است از: ۱) تفاوت کارایی سرریزهای با پلان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]



شکل ۸ . ارزیابی کارایی هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان هندسی متفاوت- و با نسبت l/w یکسان

جدول ۲. ارزیابی کارایی هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان هندسی متفاوت *- (l/w=۳ ; P= ۰/۱۵ m)

روش ارزیابی	$Qx10^3$ (m^3/s)	C_d	H_o/P	h/P	R/w	α^o	w/P	هندسه پلان
Lux & Hinchliff (1985)	۲۰/۹	۰/۶۹	۰/۲۱	۰/۲	–	۱۹/۵	۲	مثلثی
Lux & Hinchliff (1985)	۲۰/۵	۰/۶۷	۰/۲۱	۰/۲	–	۱۴/۶	۲	ذوزنقه
تحقیق حاضر	۲۱/۶	۰/۷۱	۰/۲۱	۰/۲	۰/۱۵	۱۱	۲	قوسی
تحقیق حاضر	۱۹/۴	۰/۶۷	۰/۲۱	۰/۲	۰/۲	۶	۲	قوسی
تحقیق حاضر	۱۸/۹	۰/۶۵	۰/۲۱	۰/۲	۰/۲۵	۰	۲	قوسی
Lux & Hinchliff (1985)	۳۸/۶	۰/۶۵	۰/۳۳	۰/۳	–	۱۹/۵	۲	مثلثی
Lux & Hinchliff (1985)	۳۸/۰	۰/۶۳	۰/۳۴	۰/۳	–	۱۴/۶	۲	ذوزنقه
تحقیق حاضر	۳۶/۲	۰/۶۴	۰/۳۳	۰/۳	۰/۱۵	۱۱	۲	قوسی
تحقیق حاضر	۵۹/۱	۰/۶۳	۰/۳۳	۰/۳	۰/۲	۶	۲	قوسی
تحقیق حاضر	۶۲/۶	۰/۶۱	۰/۳۳	۰/۳	۰/۲۵	۰	۲	قوسی
Lux & Hinchliff (1985)	۵۸/۱	۰/۵۹	۰/۴۷	۰/۴	–	۱۹/۵	۲	مثلثی
Lux & Hinchliff (1985)	۵۲/۸	۰/۵۸	۰/۴۷	۰/۴	–	۱۴/۶	۲	ذوزنقه
تحقیق حاضر	۵۲/۸	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۴	۰/۱۵	۱۱	۲	قوسی
تحقیق حاضر	۵۲/۸	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۴	۰/۲	۶	۲	قوسی
تحقیق حاضر	۵۲/۸	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۴	۰/۲۵	۰	۲	قوسی

* : پارامترهای جدول در شکل ۱ نمایش داده شده است.

مثلثی و ذوزنقه‌ای در نسبت‌های متفاوت w/P و h/P ناچیز بوده و روند معنی‌داری ندارد. به‌طور کلی، در محدودهٔ (w/P≥۲) سرریز مثلثی؛ و در محدودهٔ (w/P<۲) سرریز ذوزنقه‌ای برتر است، ۲) سرریز قوسی با نسبت هندسی (R/w< ۰/۲) از کارایی

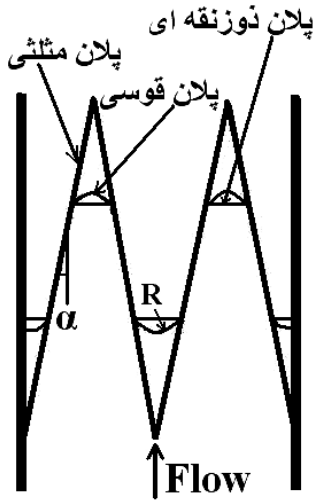
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]

جدول ۳. ارزیابی کارایی هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان هندسی متفاوت *- ($\alpha = ۱۱^{\circ}$; P=۰/۱۵m)

هندسه پلان	w/P	L (m)	l (m)	l/w	h/P	H_o/P	C_d	$Qx10^3$ (m^3/s)	$qx10^3$ (m^2/s)	روش ارزیابی
مثلثی	۲	۳/۱	۱/۵۷	۵/۲۳	۰/۲	۰/۲۳	۰/۵۵	۳۳/۵	۱۰/۷	Lux & Hinchliff (1985)
ذوزنقه	۲	۱/۶	۰/۸۲	۲/۷۳	۰/۲	۰/۲۱	۰/۷۰	۱۸/۵	۱۱/۲	Lux & Hinchliff (1985)
قوسی	۲	۱/۸	۰/۹۰	۳/۰۰	۰/۲	۰/۲۱	۰/۷۱	۲۱/۶	۱۲/۰	تحقیق حاضر
مثلثی	۲	۳/۱	۱/۵۷	۵/۲۳	۰/۳	۰/۴۱	۰/۴۷	۶۵/۹	۲۱/۰	Lux & Hinchliff (1985)
ذوزنقه	۲	۱/۶	۰/۸۲	۲/۷۳	۰/۳	۰/۳۳	۰/۶۵	۳۵/۲	۲۱/۵	Lux & Hinchliff (1985)
قوسی	۲	۱/۸	۰/۹۰	۳/۰۰	۰/۳	۰/۳۳	۰/۶۴	۳۸/۰	۲۱/۱	تحقیق حاضر
مثلثی	۲	۳/۱	۱/۵۷	۵/۲۳	۰/۴	۰/۵۸	۰/۳۹	۹۰/۹	۲۸/۹	Lux & Hinchliff (1985)
ذوزنقه	۲	۱/۶	۰/۸۲	۲/۷۳	۰/۴	۰/۴۶	۰/۶۲	۵۴/۴	۳۳/۲	Lux & Hinchliff (1985)
قوسی	۲	۱/۸	۰/۹۰	۳/۰۰	۰/۴	۰/۴۵	۰/۵۶	۵۲/۸	۲۹/۳	تحقیق حاضر

* : پارامترهای جدول، در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۹. ارزیابی کارایی هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان هندسی متفاوت- و با زاویه جانبی (α) یکسان

هیدرولیکی برتری از سرریز مثلثی دارد. به‌عبارت دیگر، با وجودیکه زاویه دیواره واگرای کانال پایین دست سرریز قوسی (α) کوچک‌تر از سرریز معادل مثلثی است، ولی تأثیر قوس دماغه سرریز در کنترل شدت تلاطم جریان ریزشی و افزایش راندمان جریان غالب است، ۳) کارایی هیدرولیکی سرریزهای قوسی با نسبت هندسی (R/w<۰/۲۵) به‌طور کلی برتر از سرریزهای ذوزنقه‌ای است، ۴) مقایسه سه گزینه سرریزهای قوسی نشان می‌دهد که: سرریزهای با دماغه قوسی باریک‌تر (R/w≤۰/۲) از کارایی هیدرولیکی برتری برخوردار هستند. هم‌چنین به ازای h (یا h/P) معین، برتری سرریزهای قوسی در نسبت (w/P= ۱/۵) بیشتر از نسبت‌های (w/P≥ ۲) است.

ب) ارزیابی تأثیر هندسه پلان سرریز با زاویه دیواره جانبی (α) یکسان

در این بررسی، سه گزینه سرریز زیگزاگی (پلان مثلثی، ذوزنقه‌ای و قوسی) با زاویه دیواره جانبی یکسان (α)- مطابق شکل ۹ مورد مقایسه قرار گرفتند. در این ارزیابی، لزوماً طول تاج سرریز (L) و در نتیجه نسبت بزرگنمایی طولی (l/w) متفاوت بوده، و ارزیابی کارایی بر اساس مقایسه ضریب جریان (C_d) و دبی واحد طول تاج سرریز (q= Q/L) صورت گرفت. مدل سرریز قوسی (W3-Ri) با نسبت R/w=۰/۱۵ و زاویه دیواره جانبی $\alpha = ۱۱^{o}$ به‌عنوان مدل مبنا انتخاب، و گزینه‌های معادل پلان ذوزنقه‌ای و مثلثی تعیین شد. ظرفیت جریان آزاد در سه گزینه مورد نظر، برای سه ارتفاع مختلف سرریز (P) و تحت سه شرایط مختلف جریان آزاد (h متفاوت) محاسبه گردیده که نتایج آن به‌طور نمونه برای ارتفاع P = ۰/۱۵m در جدول ۳ ارائه گردیده است. نتایج این ارزیابی به‌صورت خلاصه عبارت است از: ۱) برای زاویه معین دیواره

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]

جانبی سرریز(α): طول تاج سرریز (L) و یا نسبت بزرگنمایی طولی تاج سرریز (l/w) در سرریزهای قوسی بیشتر از سرریز معادل ذوزنقه‌ای و کمتر از سرریز معادل مثلثی است، ۲) برای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز (h): سرریز مثلثی کمترین C_d و q، و بیشترین Q را دارد. در محدودهٔ جریان (h/P≤ ۰/۳) سرریز قوسی بیشترین C_d، q و Q را دارد. در محدودهٔ جریان آزاد (h/P>۰/۳)، سرریز قوسی C_d و q کمتری از سرریز ذوزنقه‌ای ولی Q بیشتری نسبت به سرریز ذوزنقه‌ای دارد، ۳) برای ارتفاع معین تاج سرریز (P): سرریز مثلثی کمترین C_d و q و بیشترین Q را دارد. درمحدوده‌های مختلف جریان، کارایی سرریز قوسی و ذوزنقه‌ای از نظر C_d و q همسان بوده، ولی در هر حال ظرفیت جریان عبوری (Q) در سرریزهای قوسی بیشتر از سرریزهای ذوزنقه‌ای می‌باشد. در محدودهٔ (h/P≤ ۰/۳)، سرریز قوسی بیشترین C_d و q را دارد. در محدودهٔ (h/P>۰/۳)، سرریز قوسی C_d و q کمتر، ولی Q بیشتری نسبت به سرریز ذوزنقه‌ای دارد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، معادله جریان بر روی سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی به‌صورت رابطه ۱ ارائه شده است. ضریب جریان (C_d) به‌صورت تابعی از مشخصات هندسی و هیدرولیکی مؤثر مطابق رابطه ۳ ارزیابی گردیده است. نتایج تجربی در تعیین ضریب جریان آزاد در سرریزهای قوسی در شکل‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است. آستانه استغراق جریان از رابطه ۵ قابل تشخیص است. در شرایط جریان مستغرق، ضریب کاهشی جریان به‌صورت تابعی از پارامترهای بدون بعد از رابطه ۵ و ۶ ارزیابی می‌گردد.

نتایج ارزیابی هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان متفاوت نشان می‌دهد که: شکل قوسی «دماغه سرریز» همگام با واگرایی بیشتر «کانال پایین‌دست سرریز» منجر به افزایش کارایی هیدرولیکی می‌گردد. سرریزهای زیگزاگی با دماغه قوسی باریک‌تر (R/w≤ ۰/۲)؛ در محدودهٔ نسبت ارتفاعی (۰/۱<H_0/P<۰/۶)- دربازه وسیع‌تری از جریان (۲≤ w/P<۳) از کارایی هیدرولیکی پایدارتر و برتری برخوردار هستند. از اینرو می‌توان نتیجه گرفت که، سرریزهای زیگزاگی با پلان مستطیلی (حتی با اصلاح قوس شکل دماغه سرریز) از کارایی مناسب هیدرولیکی برخوردار نخواهند بود. سرریزهای زیگزاگی با پلان مثلثی، با وجود افزایش در شدت واگرائی کانال بالادست و پایین دست سرریز (زاویه زیادتر α)، به‌دلیل شدت توسعه تداخل جریان در محدودهٔ «دماغه سرریز» کارایی عمومی برتری از نظر هیدرولیکی ندارند. سرریزهای قوسی با نسبت پلان هندسی (R/w<۰/۲)، کارایی هیدرولیکی برتری نسبت به سرریزهای دیگر معادل قوسی، ذوزنقه‌ای و یا مثلثی (با طول تاج یکسان) دارند. مطالعات تکمیلی روی «مدل برتر سرریز زیگزاگی با پلان قوسی» با هدف بسط گستره محدوده جریان آزاد روی سرریز- از طریق افزایش ارتفاع سرریز در کانال واگرای پایین دست (شرایط D/P>۱) در حال انجام می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. روشنی زرمهری، ع. ۱۳۷۹. بررسی سرریزهای چند وجهی موجود در شبکه‌های آبیاری نکوآباد و رودشت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. شنوائی، ح. ۱۳۸۰. تأثیر شکل تاج بر ضریب آبگذری در سرریزهای کنگره‌ای مثلثی شکل در پلان. مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی سازه‌های هیدرولیکی، کرمان.

۳. طاهری، ع. ۱۳۷۶. تأثیر پروفیل آستانه بر ضریب تخلیه در سرریزهای کنگره‌ای. مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]

۴. محمدی، م. ۱۳۸۱. جریان بر روی سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی. پایان نامه کارشناسی ارشد تاسیسات آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

5. Cassidy, J. J., C.A. Cardner and R.T. Peacock. 1985. Bordman labyrinth crest. J. Hyd. Eng., ASCE 3(3): 398-416.
6. Darvas, L. A. 1971. Performance and design of labyrinth weirs. J. Hyd. Div., ASCE 97(8): 1246-1251.
7. Falvey, H. T. 2003. Hydraulic Design of Labyrinth Weirs. ASCE Press. Pub., Virginia, USA.
8. Hay, N. and G. Taylor. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. J. Hyd. Div., ASCE 96(2): 2337-2357.
9. Lux, F. and D. L. Hinchliff. 1985. Design and construction of labyrinth spillways. 15th Congress of ICOLD, Lausanne, Switzerland, 249-274 pp.
10. Lux, F. 1993. Design methodologies for labyrinth weirs. Proc. of water power and dam construction: 1379-1407.
11. Tayler, G. 1968. The performance of labyrinth weirs. PhD. Thesis, University of Nottingham, Nottingham, England.
12. Tullis, J. P., N. Amanian and D. Waldron. 1995. Design of labyrinth spillways. J. Hyd. Eng., ASCE 121(3): 247-255.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.1.8]