

مقایسه مدل سازی عددی و آزمایشگاهی در تخمین ضریب دبی سرریز زیگزاگی: بررسی حالت های مختلف جانمایی سرریز

شهرام اسمعیل زاده^۱، کاظم اسماعیلی^{۲*}، سعیدرضا خدائیان^۳، فرزاد ارجمندکیا^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۷

چکیده

سرریزهای زیگزاگی از سازه های مهم هیدرولیکی جهت تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال ها، رودخانه ها و مخازن سدها به شمار می روند. در این پژوهش از مدل سازی عددی با نرم افزار FLOW-3D در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی جهت بررسی و ارزیابی حالات مختلف فرارگیری سرریز زیگزاگی مانند تغییر آرایش هندسی، زاویه کناری و جانمایی سرریز زیگزاگی از نظر فرم و جهت مستقیم یا معکوس (نسبت به جهت جریان) بر ضریب دبی سرریز استفاده شد. در این راستا مدل سرریز زیگزاگی با سه زاویه کناری متفاوت ۱۵ و ۲۲/۵ و ۳۰ درجه انتخاب شد. برای کالیبره نمودن مدل های انتخابی براساس شرایط آزمایشگاهی ۵ دبی در محدوده ۲/۸ تا ۱۸/۱ لیتر بر ثانیه برای عبور از آن ها انتخاب شد. مدل عددی پس از واسنجی با نتایج آزمایشگاهی حالت های مختلف بکارگیری سرریز را شبیه سازی نمود. نتایج نشان از هماهنگی مطلوب خروجی های مدل عددی با نتایج برداشت شده آزمایشگاهی دارد. در همین راستا مقدار ضریب دبی در سرریزهای فرم یک و فرم معکوس نشان دادند با افزایش زاویه کناری سرریز افزایش می یابند. در انتها ضریب دبی در حالت های مختلف آرایش سرریز مورد ارزیابی قرار گرفت.

واژه های کلیدی: زاویه جانبی سرریز، سرریز زیگزاگی، ضریب دبی، مدل آزمایشگاهی، نرم افزار FLOW-3D

مقدمه

سرریزهای زیگزاگی در سطح افق، از دیواره های متصل به هم تشکیل یافته و با هندسه مثلثی، دوزنقه ای، مستطیلی و یا قوسی و با تناوب در عرض جریان تکرار می گردد. در منابع فارسی آن ها را به زیگزاگی یا کنگره ای یا چندضلعی و در منابع انگلیسی به Labyrinth, Folded, Accordion Corrugated می شناسند (یاسی و محمدی، ۱۳۸۶؛ Falvey., 2003). سرریزهای کنگره ای به عنوان گزینه ای مناسب برای اصلاح سرریزهایی که برای عبور دبی حداکثر محتمل با مشکل روبرو هستند مطرح می شوند. این سرریزها دارای تاج غیرخطی بوده و در یک عرض معین، به دلیل بیش تر بودن طول موثر سرریز نسبت به سرریزهای با تاج مستقیم در یک ارتفاع مشابه، دبی عبوری از این سرریزها بیش تر از سرریز مستقیم است. این سرریزها به دلیل زیاد بودن دبی عبوری از روی آن ها تحت بارهای

هیدرولیکی کم و نیاز به جا و مکان کم تر در پلان نسبت به دیگر سرریزها، سازه هایی اقتصادی محسوب می شوند. در واقع هدف اصلی در طرح کنگره ای سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز با تاج ثابت و به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز است (اژدری و همکاران، ۱۳۸۸). از این رو بهینه سازی ابعاد این سازه اهمیت زیادی در طراحی ها و کاهش هزینه ها دارد. پکسون و سویج از مدل سازی فیزیکی سرریزهای زیگزاگی برای توسعه چندین روش طراحی استفاده کردند. هم چنین به مدل سازی عددی این سرریز با استفاده از مدل FLOW-3D پرداختند. نتایج نشان داد که هرچند روش های طراحی برای نسبت های عرض به ارتفاع دیواره سرریز در بالادست کوچک تر از ۲ ($w/p < 2$)، مناسب نیست اما کارایی هیدرولیکی برای مقادیر کوچک تر w/p ، افزایش پیدا می کند (Paxson, g and Savage., 2006).

به مدل سازی جریان در سرریزهای زیگزاگی جانبی با اعداد فرود متفاوت پرداخت. مدل سازی از روش حجم سیال (Volume of Fluid) که برای مدل سازی در سطح آزاد انجام می گیرد؛ استفاده شد و برای ارزیابی عملکرد مدل از نتایج آزمایشگاهی استفاده گردید.

کبیری سامانی و همکاران عملکرد هیدرولیکی سرریز جانبی زیگزاگی با هندسه نامتقارن را مورد مطالعه قرار دادند. بدین ترتیب که

۱- دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانش آموزانه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* - نویسنده مسئول: (kazem.esmaili@gmail.com)

طراحی سریع مرزها و هندسه جامد و همچنین شبکه بندی‌ها، ارایه پیغام‌های راهنما به منظور هر چه بهتر شدن شبیه‌سازی، انتخاب اتوماتیک بهترین بازه‌های زمانی و بدون نیاز به تعریف بازه زمانی اولیه از مزایایی دیگر می‌باشد.

مطابق نظریه هرت و نیکولس این نرم‌افزار توانایی نمایش تغییرات لحظه‌ای پارامترهای هیدرولیکی مختلف مانند عمق و سرعت در جهات مختلف و در هر مقطع دل‌خواه از سازه را به صورت فایل متنی (Text) یا گرافیکی داراست. نرم‌افزار FLOW-3D معادلات حاکم بر حرکت سیال را با استفاده از تقریبات احجام محدود حل می‌کند. یعنی همه متغیرها در مرکز سلول محاسبه می‌شوند به جز سرعت که در مرکز وجوه سلول حساب می‌شود. در این نرم‌افزار از دو تکنیک عددی برای شبیه‌سازی هندسی استفاده شده است (Hirt and Nikols., 1998).

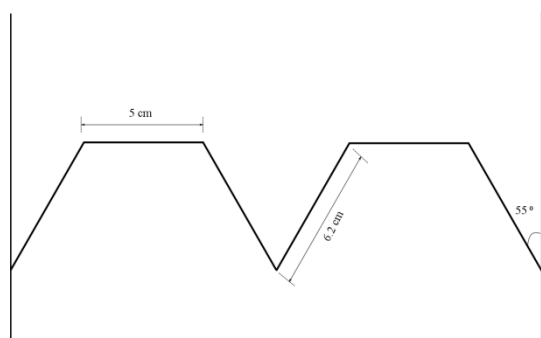
- روش حجم سیال (VOF)

- روش کسر مساحت - حجم مانع (FAVOR)

در این شبیه‌سازی که به صورت دوبعدی در جهت X-Y و X-Z انجام گرفته شده است برای تعیین سطح آزاد از روش VOF استفاده شده است. شبیه‌سازی‌ها در حالت جریان آشفتنه صورت گرفته است و مدل آشفتگی RNG به دلیل تطابق بیش‌تر با نتایج آزمایشگاهی که توسط تور (۱۳۹۶) بدست آمده، مورد مقایسه قرار داده شد.

مشخصات هندسی و هیدرولیکی مدل آزمایشگاهی

آزمایشات در فلومی با عرض ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. در آزمایشات مربوط به این پژوهش از یک مدل سرریز زیگزاگی که دارای دو سیکل می‌باشد و ارتفاع دیواره به بالادست و پایین‌دست این مدل سرریز، ۵ سانتی‌متر بود. شکل ۱ پلان و اندازه دیگر ابعاد این مدل سرریز را نشان می‌دهد.



شکل ۱- پلان و اندازه سرریز فرم یک

رفتار هیدرولیکی این نوع سرریز جانبی زیگزاگی با یک طول ثابت و ارتفاع‌ها و زاویه‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در یک کانال مستطیلی این نوع سرریز ۱۷/۸٪ کارآمدتر از نوع معمولی و تا ۳۵/۳٪ کارآمدتر نسبت به سرریز جانبی مستطیل شکل است. در نهایت ضریب دبی را به عنوان تابعی از متغیرهای هندسی و جریان ارایه کردند (Kabiri-Samani., 2016).

ساخت مدل‌های آزمایشگاهی و اعمال شرایط متفاوت در مدل، هزینه‌بر و در بعضی مواقع امکان‌پذیر نمی‌باشد. در مقابل با استفاده از مدل‌های عددی می‌توان بدون صرف هزینه و زمان زیاد شرایط و حالات متفاوت در آزمایش را شبیه‌سازی کرد. یک تحقیق محاسبه‌ای می‌تواند با سرعت قابل ملاحظه‌ای انجام شود و طراح می‌تواند حالت‌های مختلف را در مدت زمان کمی مطالعه کرده و طرح بهینه را انتخاب نماید، در حالی که وجود این حالت در کار آزمایشگاهی مستلزم مدت زمان زیادی خواهد بود. همچنین حل کامپیوتری یک مساله، اطلاعات کامل و جزئیات لازم را به ما خواهد داد و مقایسه تمام متغیرهای مربوطه (مانند سرعت، فشار، شدت توربولانس) را در شرایط متفاوت بدست می‌دهد. بدیهی است که از هیچ بررسی آزمایشگاهی نمی‌توان انتظار داشت تا چگونگی توزیع تمام متغیرها را روی تمام میدان اندازه‌گیری کند.

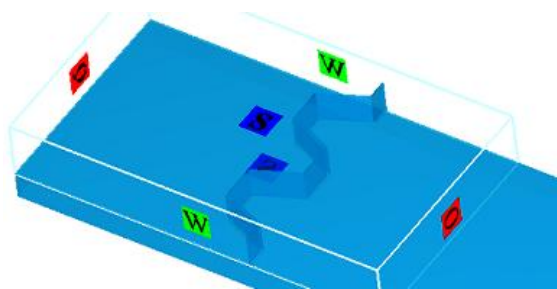
در این تحقیق، اثر تغییر در آرایش هندسی و جانمایی سرریز زیگزاگی بر ضریب دبی جریان با توجه به پارامترهای هیدرولیکی Q ، H_d و پارامترهای بی‌بعد $\frac{H_d}{w}$ ، $\frac{H_d}{L_e}$ ، $\frac{H_d}{P}$ بر روی ضریب دبی با توجه به نتایج مدل FLOW-3D مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا با استفاده از مدل FLOW-3D بعد از انجام کالیبراسیون و صحت-سنجی، حالت‌های مختلفی از سرریزهایی که دارای فرم آرایش و جانمایی متفاوتی از سرریزهای زیگزاگی می‌باشند، آورده شده است. مشخصات این سرریزها در جدول ۱ ارایه شده است. در نهایت اثر تغییر در هندسه سرریز و جانمایی آن بر ضریب دبی جریان با تحلیل نتایج خروجی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی جریان با استفاده از مدل FLOW-3D

در این تحقیق برای بررسی جریان در سرریز زیگزاگی از مدل عددی FLOW-3D استفاده و با نتایج مدل آزمایشگاهی مقایسه گردید. در ادامه با توجه به صحت کالیبراسیون انجام شده به مدل سازی حالت‌های ذکر شده در جدول ۱ پرداخته شده. مدل FLOW-3D از جمله نرم‌افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) می‌باشد که کاربرد زیادی جهت مدل‌سازی شرایط پیچیده سه‌بعدی ماندگار و غیرماندگار با شکل و هندسه نامنظم دارد. مزایای استفاده از FLOW-3D، کاربرپسند بودن نرم‌افزار نسبت به موارد مشابه، اجرا و

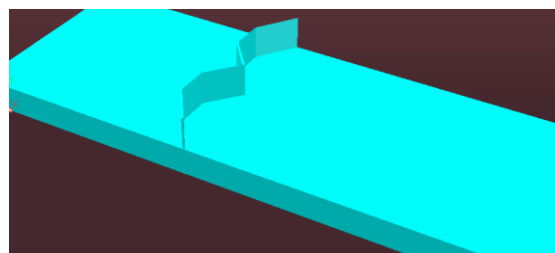
دارد. شرایط مرزی مورد نظر در شکل ۴ نشان داده شده است. در بالادست جریان، مرز را در حالت (Volume flow rate) که در این حالت دبی ورودی در بالادست را شبیه سازی می کند، در نظر گرفته شد. قسمت خروجی در پایین دست جریان در حالت جریان خروجی (Outflow) انتخاب شد. به دلیل آنکه در این قسمت هیچ پارامتری برای اندازه گیری و بررسی در نظر نبوده است. دیواره های کناری جریان در حالت دیواره (Wall) در نظر گرفته شد و کف بستر و قسمت بالای جریان در حالت متقارن (Symmetry) انتخاب گردید.



شکل ۴- شرایط مرزی به کار برده شده برای مدل در سرریز فرم معکوس

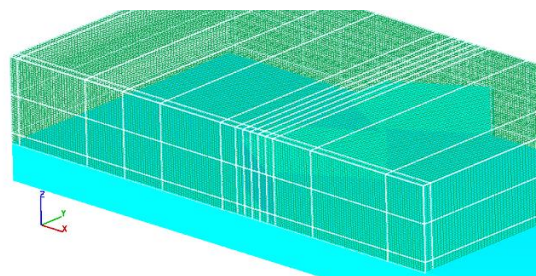
نتایج و بحث

با توجه به اهداف مورد نظر در این تحقیق که شامل بررسی شرایط و الگوی جریان به کمک مدل عددی می باشد، پس از بررسی های اولیه، شامل تعیین بهترین مش بندی و انتخاب مدل RNG به عنوان بهترین مدل آشفتگی، اثر برخی پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بر ضریب دبی، مورد مطالعه قرار گرفت.



شکل ۲- نمایی از نمونه سه بعدی سرریز فرم یک

برای ساخت هندسه مدل از نرم افزار Auto CAD استفاده شد (شکل ۲). هندسه مدل اولیه کاملاً شبیه مدل آزمایشگاهی ساخته شد، (ابعاد به سانتی متر رسم شده اند). سپس مدل تهیه شده با فرمت stl وارد مدل FLOW-3D گردید. در این مدل تمام موارد مربوط به تنظیمات مورد نیاز برای گرفتن نتایج مطلوب، چندین مرتبه مورد آزمون و خطا گرفت. مواردی نظیر مناسب ترین تعداد سلول در کل شکل و تعداد شبکه ها در جهات مختلف که در جهت X، ۳۵۰ سلول و در جهات Y و Z به ترتیب ۱۲۰ و ۱۰۰ سلول در نظر گرفته شد (شکل ۳).



شکل ۳- شبکه بندی صورت گرفته برای محدوده ی جریان

انتخاب شرایط مرزی مناسب در نتایج خروجی مدل اهمیت زیادی

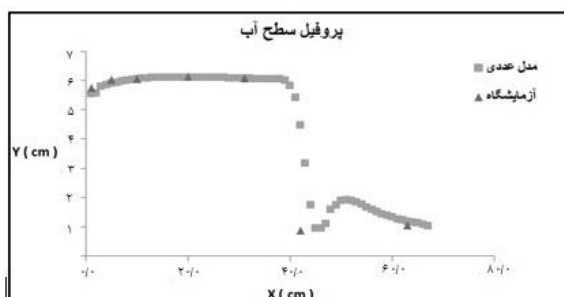
جدول ۱- مشخصات سرریزهای مورد استفاده در آزمایشگاه و مدل عددی

نام سرریز	تعداد سیکل	ارتفاع پایین دست سرریز (سانتی متر)	ارتفاع بالادست سرریز (سانتی متر)	طول کل موثر سرریز (سانتی متر)	زاویه دیواره کناری (درجه)
حالت آزمایشگاه	۲	۵	۵	۶۰	۱۵
حالت آزمایشگاه	۲	۵	۵	۴۸	۲۲/۵
حالت آزمایشگاه	۲	۵	۵	۴۲	۳۰
دارای فرم یک	۲	۵	۵	۵۳/۴	۱۵
دارای فرم یک	۲	۵	۵	۴۳/۳	۳۹
دارای فرم یک	۲	۵	۵	۳۶/۳	۵۵
دارای فرم معکوس	۲	۵	۵	۶۰/۲	۱۶۵
دارای فرم معکوس	۲	۵	۵	۴۸/۲	۱۵۷/۵
دارای فرم معکوس	۲	۵	۵	۴۰/۲	۱۵۰

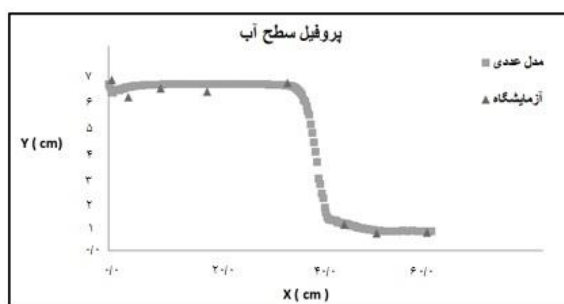
فرم یک (شکل ۱) و فرم معکوس (شکل ۳) سرریزهایی هستند که در مدل عددی مورد بررسی قرار گرفته اند.

جدول ۲- مشخصات سرریز مورد استفاده در آزمایش و مدل عددی

Q(m ³ /s)	V(m/s)	V ² /2g (m)	Hd/p	Hd/w	Hd/Le	ضریب دبی اندازه‌گیری شده	ضریب دبی محاسبه شده
۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۳۴	۹۲	۰/۳	۰/۰۹۷	۰/۰۲۵	۰/۶۴	۰/۶۳۸
۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۲۲۳	۲۵۴	۰/۴	۰/۱۲۹	۰/۰۳۳	۰/۶۹۳	۰/۶۳۰
۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۳۱۲	۴۹۶	۰/۵۴	۰/۱۷۴	۰/۰۴۵	۰/۶۱۹	۰/۶۱۹
۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۴۴۵	۱۰۰۹	۰/۷۲	۰/۲۳۲	۰/۰۶	۰/۵۷۴	۰/۵۷۴
۰/۰۰۹۷	۰/۰۰۶۲۵	۰/۱۹۶۷	۰/۹۶	۰/۳۱۰	۰/۰۸	۰/۵۲۲	۰/۵۲۲



شکل ۵- مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل عددی و آزمایشگاهی در دبی اول (سرریز با زاویه کناری ۲۲/۵)



شکل ۶- مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل عددی و آزمایشگاهی در دبی اول (سرریز با زاویه کناری ۳۰)

واسنجی مدل عددی

بعد از انجام تمام تنظیمات لازم در قسمت ستاپ مدل، که شامل مواردی نظیر؛ انتخاب ماده‌ای که در شرایط آزمایشگاه جریان داشت، همچنین در نظر گرفتن زمان مناسب برای این که جریان به وضعیت پایدارتر در شبیه‌سازی رسیده باشد و نیز انتخاب تعداد مش‌ها در سه جهت اصلی و مهم‌ترین مورد در روند شبیه‌سازی جریان در شرایط آزمایشگاه؛ اعمال شرایط مرزی مناسب می‌باشد. بعد از انجام موارد بالا و موارد دیگر، تغییرات ارتفاع آب در بالادست جریان سرریز زیگزاگی در مدل FLOW-3D شبیه‌سازی گردید. بعد از بررسی نتایج خروجی‌های مربوط به قسمت ارتفاع سطح آزاد آب Free Surface Elevation در قسمت آنالیز مدل در بخش Text Output، در فاصله ۲۵ سانتی‌متر بالادست سرریز در آزمایشگاه، تطابق از مدل و نتایج آزمایشگاه حاصل شد (شکل ۵ و ۶).
در ادامه با رسم نمودار دبی در برابر ارتفاع آب بالادست، یک روند

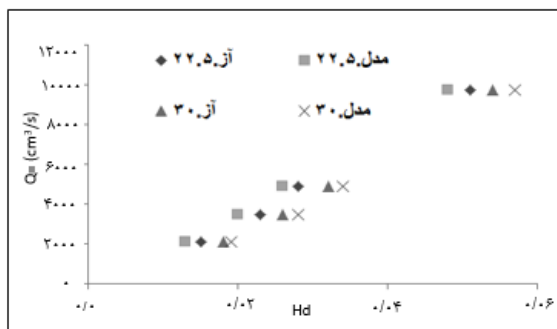
خطی را نشان می‌دهد که با افزایش دبی عبوری، ارتفاع آب بالادست نیز افزایش می‌یابد.

تعیین ضریب دبی

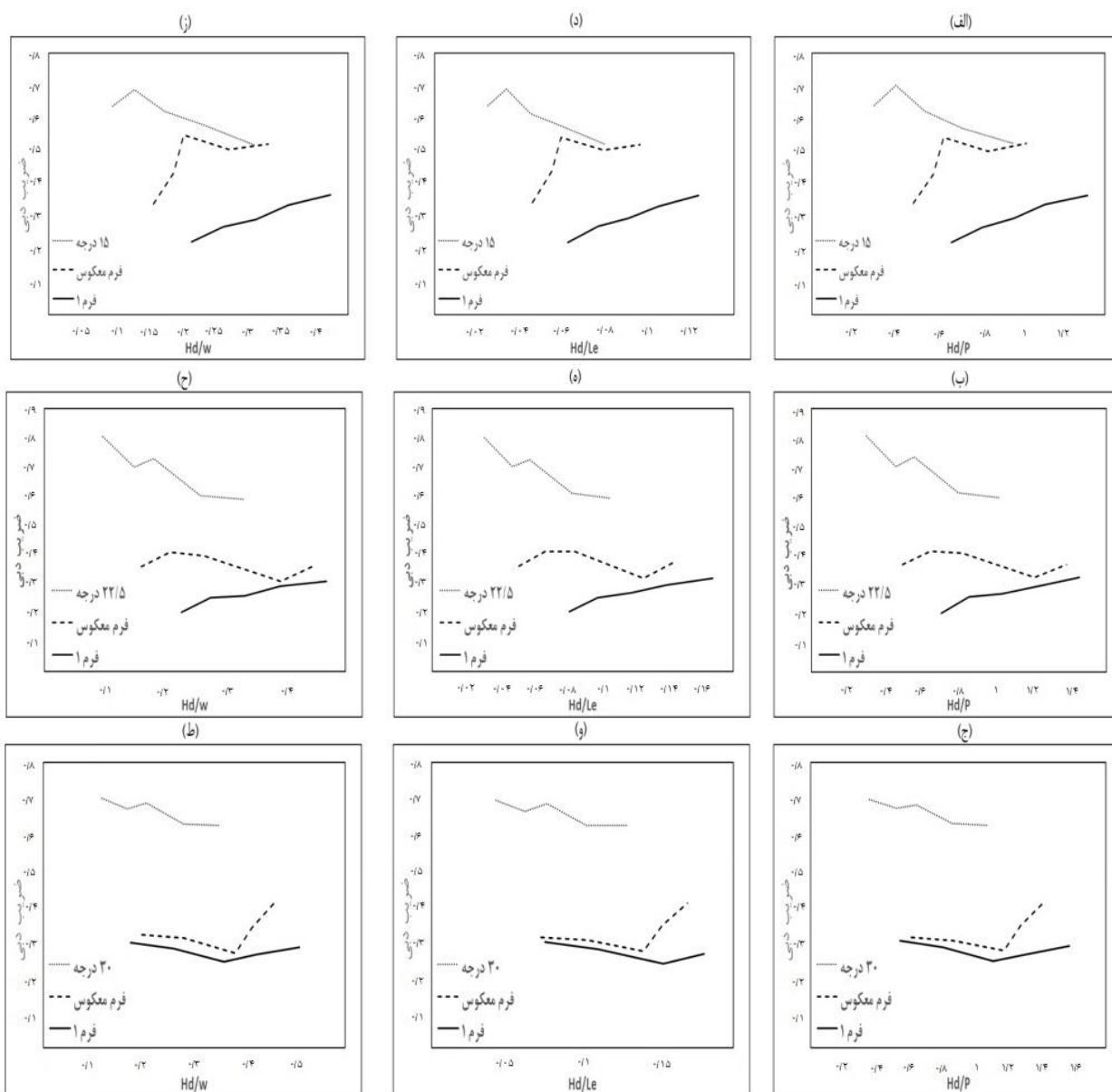
در این تحقیق برای هریک از سرریزهای اشاره شده، ۵ دبی و در دو حالت جریان آزاد و جریان مستغرق ($\frac{H_d}{P} > 0/6$) مورد بررسی قرار گرفت. به منظور به دست آوردن ضریب دبی از داده‌های به دست آمده، از رابطه ۱ که رابطه عمومی سرریزها می‌باشد، استفاده شد.

$$Q = C_d L_e \frac{2}{3} H_d^2 \sqrt{2g} \quad (1)$$

که در آن، Q: دبی جریان عبوری از روی سرریز، g: شتاب ثقل، L_e: طول موثر سرریز، H_d: ارتفاع انرژی کل بالادست سرریز می‌باشد.



شکل ۷- نمودار دبی- ارتفاع آب بالادست در ۲۵ سانتی متری سرریز، (با زاویه کناری ۲۲/۵ و ۳۰ درجه)



شکل ۸- رابطه ضریب دبی با نسبت‌های بی بعد Hd/p (نمودارهای ستون راست)، Hd/Le (نمودارهای ستون وسط) و Hd/w (نمودارهای سمت چپ) در زوایای قرارگیری ۱۵ (الف، د، ز)، ۲۲/۵ (ب، ه، ح) و ۳۰ (ج، و، ط) درجه

جدول ۳- ضرایب دبی محاسبه شده در سرریز با آرایش‌های مختلف

شماره	نوع سرریز	رابطه بدست آمده
۱	سرریز ۱۵ درجه با آرایش فرم یک	$C_d = 0.079 - 1.228 \frac{H_d}{w} + 6.6 \frac{H_d}{L_e}$
۲	سرریز ۲۲/۵ درجه با آرایش فرم یک	$C_d = 0.109 + 1.273 \frac{H_d}{L_e}$
۳	سرریز ۳۰ درجه با آرایش فرم یک	$C_d = 0.29 - 0.062 \frac{H_d}{L_e}$
۴	سرریز ۱۵ درجه با آرایش معکوس	$C_d = 0.295 + 6.992 \frac{H_d}{P} - 71.566 \frac{H_d}{L_e}$
۵	سرریز ۲۲/۵ درجه با آرایش معکوس	$C_d = 0.432 - 0.514 \frac{H_d}{L_e}$
۶	سرریز ۳۰ درجه با آرایش معکوس	$C_d = 0.241 + 0.713 \frac{H_d}{L_e}$

است، مقدار ضریب دبی در مقابل پارامترهای بدون بعد $\frac{H_d}{w}$ و $\frac{H_d}{L_e}$ و $\frac{H_d}{P}$ برای سرریزهای اشاره شده در نمودارهای ۱ تا ۳ نمایش داده شد. برای سرریزهای ۱۵، ۲۲/۵، ۳۰ با افزایش نسبت بی بعد $\frac{H_d}{P}$ ، ضریب دبی کاهش یافت که نشان دهنده برقراری روند طبیعی کارایی سرریز زیگزاگی می‌باشد. به علاوه، محدوده‌ی ضریب دبی در حد بالای محدوده استاندارد ضریب دبی، یعنی $0 < C_d < 1$ قرار دارد که نشان دهنده بالا بودن راندمان هیدرولیکی در این نوع سرریزها می‌باشد. همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، در سرریزهای فرم یک و معکوس با افزایش ارتفاع انرژی کل بالادست، ضریب دبی افزایش یافت. البته این روند افزایش ضریب دبی در محدوده پایین $0 < C_d < 1$ قرار دارد که نشان دهنده پایین آمدن راندمان هیدرولیکی این سرریزها در مقایسه با سرریزهای دارای آرایش نرمال می‌باشد. با توجه به توضیحاتی که در مورد این دو نوع سرریز در قسمت‌های قبل داده شد، می‌توان به اهمیت تاثیر دو مساله هندسه مناسب سرریز و جانمایی مناسب سرریز در مقابل جریان بر روند تغییرات ضریب دبی و مقدار آن در محدوده استاندارد $0 < C_d < 1$ پی برد. همچنین در مورد سرریز فرم یک و سرریز فرم معکوس همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، محدوده ضریب دبی در سرریز فرم یک پایین‌تر از سرریز فرم معکوس می‌باشد. از آنجایی که جانمایی دو سرریز فرم یک و فرم معکوس در جهت خلاف جریان نسبت به سرریز نرمال زیگزاگی می‌باشد، این مورد نشان دهنده پایین تر بودن راندمان هیدرولیکی سرریز، به دلیل نداشتن دیواره‌های افقی است که اهمیت وجود این دیواره‌ها در ساختمان هندسی سرریزهای زیگزاگی را نشان می‌دهد. به عبارتی به دلیل نبودن این دیواره‌های افقی، زمانی که جریان آب به سرریز نزدیک می‌شود دچار تلاطم بیش‌تری نسبت به زمانی که این دیواره‌ها وجود دارد، می‌شود. این تلاطم بیش‌تر موجب پدید آمدن آشفتگی در جریان به هنگامی که جریان بر روی سرریز قرار دارد می‌شود که در نهایت موجب می‌شود راندمان هیدرولیکی سرریز پایین بیاید. مانند موارد اشاره شده در

با توجه به ارتفاع آب در فلووم (y) و عرض فلووم (w)، و همچنین مقادیر دبی، مقدار سرعت برای هریک از آزمایش‌ها از رابطه ۲ بدست آمد.

$$V = \frac{Q}{wy} \quad (2)$$

ارتفاع انرژی کل بالادست سرریز برابر است با مجموع ارتفاع آب بالادست سرریز (H) و ارتفاع انرژی سرعتی بالای سرریز که از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$H_e = H + \frac{V^2}{(2g)} \quad (3)$$

در جدول ۱ مشخصات، و در جدول ۲ نتایج به دست آمده در مورد سرریز ۳۰ درجه برای نمونه، آورده شده است. در این جدول مقادیر دبی، ارتفاع کل آب در ۲۵ سانتی‌متری بالادست هر یک از سرریزها، سرعت عبوری در این نقطه، ارتفاع معادل انرژی سرعتی، انرژی کل بالادست سرریز، مقدار عامل‌های بدون بعد شامل نسبت ارتفاع انرژی کل بالادست سرریز به سه عامل ارتفاع سرریز، طول موثر سرریز و عرض سرریز، همچنین ضریب دبی به دست آمده از رابطه عمومی سرریزها، ضریب دبی محاسبه شده از رابطه استخراج شده برای هر سرریز (که در ادامه معرفی خواهند شد) به ترتیب آورده شده‌اند. با توجه به شکل‌های ۱ تا ۳ می‌توان رابطه بین ضریب دبی با هر یک از پارامترهایی که در جدول ۱ آمده است ($\frac{H_d}{w}$ و $\frac{H_d}{L_e}$ و $\frac{H_d}{P}$) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین ضریب دبی محاسبه شده، خروجی‌های مدل FLOW-3D را با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و بعد از بررسی همبستگی خروجی نرم‌افزار SPSS با ضریب دبی اندازه‌گیری شده که با استفاده از رابطه ۱ بدست آمد، پارامترهای تاثیرگذار بر ضریب دبی مشخص شد. در نهایت، روابط به دست آمده از آنالیز آماری در جدول ۵ ارایه شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده که در جدول‌های ۲ تا ۴ آمده

سرریزهای ۱۵، ۲۲/۵ و ۳۰ درجه، $0.09 < \frac{H_d}{w} < 0.35$ می باشد. در ادامه همان طور که شکل ۳ نشان می دهد، در سرریزهای فرم یک و معکوس با افزایش نسبت بی بعد $\frac{H_d}{w}$ ، ضریب دبی افزایش یافت. این روند افزایش ضریب دبی در محدوده پایین $0 < C_d < 1$ قرار دارد، در محدوده ای کم تر از مقدار ۰/۶ که نشان دهنده پایین بودن راندمان هیدرولیکی این سرریزها در مقایسه با سرریزهای دارای آرایش نرمال می باشد. محدوده این نسبت بی بعد در هر یک از سرریزهای فرم یک در بازه ۰/۲ تا ۰/۶ و فرم معکوس بین ۰/۱ تا ۰/۶ می باشد. با توجه به توضیحاتی که در مورد این دو نوع سرریز در قسمت های قبل داده شد، می توان به اهمیت تاثیر دو مساله هندسه مناسب سرریز و جانمایی مناسب سرریز در مقابل جریان بر روند تغییرات ضریب دبی و مقدار آن در محدوده استاندارد $0 < C_d < 1$ پی برد. همچنین در مورد سرریز فرم یک و سرریز فرم معکوس به طور مشخص، همان طور که در شکل (۵-۵) مشاهده می شود، محدوده ضریب دبی در سرریز فرم یک پایین تر از سرریز فرم معکوس می باشد. از آن جایی که جانمایی دو سرریز فرم یک و فرم معکوس، در جهت خلاف جریان نسبت به سرریز نرمال زیگزاگی، می تواند به دلیل نداشتن دیواره های افقی باشد که اهمیت وجود این دیواره ها در ساختمان هندسی سرریزهای زیگزاگی را بازگو می کند. به عبارتی به دلیل نبودن این دیواره های افقی، زمانی که جریان آب به سرریز نزدیک می شود دچار تلاطم بیش تری نسبت به زمانی که این دیواره ها وجود دارد، می شود. این تلاطم بیش تر موجب پدید آمدن آشفتگی در جریان به هنگامی که جریان بر روی سرریز قرار دارد می شود موجب پایین آمدن راندمان هیدرولیکی سرریز می شود.

نتایج به دست آمده نشان می دهد که در سرریزهای نرمال ۱۵، ۲۲/۵ و ۳۰ با افزایش دبی و هر یک از پارامترهای H_d ، $\frac{H_d}{w}$ و $\frac{H_d}{L_e}$ ، ضریب دبی به دلیل تداخل جریان در دماغه سرریزها کاهش می یابد ولی در سرریزهای فرم یک و فرم معکوس در ابتدای گذر جریان بر روی سرریز، به دلیل آرایش نامناسب سرریز و به دنبال آن آشفتگی بسیار زیاد جریان بر روی سرریز، ضریب دبی در حد بسیار پایینی قرار گرفته است. بعد از بدست آوردن ضرایب دبی معلوم شد که پارامتر بدون بعد $\frac{H_d}{L_e}$ تاثیر گذارترین پارامتر بر روی ضریب دبی می باشد. این مساله نشان دهنده اثر L_e بر ضریب دبی جریان است و این با فرضیه اصلی حاکم بر سرریزهای زیگزاگی هم راستا می باشد.

منابع

اژدری مقدم، م، امانیان، ن، جعفری ندوشن، ا. ۱۳۸۸. بهینه یابی هندسه ی سرریز کنگره ای مثلثی با استفاده از مدل فازی - عصبی و الگوریتم ژنتیک (مطالعه ی موردی سد Hyrum در ایالت یوتای آمریکا). مجله مدل سازی در مهندسی. ۷. ۱۹: ۶۹-۵۷.

قسمت قبل، در سرریزهای ۱۵، ۲۲/۵، ۳۰ با افزایش نسبت بی بعد $\frac{H_d}{L_e}$ ضریب دبی کاهش یافت. این روند نشان دهنده ی برقراری روند طبیعی کارایی یک سرریز زیگزاگی می باشد. به علاوه، محدوده ی ضریب دبی در حد بالای محدوده استاندارد ضریب دبی، یعنی $0 < C_d < 1$ قرار دارد که نشان دهنده بالا بودن راندمان هیدرولیکی در این نوع سرریزها می باشد. محدوده نسبت بی بعد $\frac{H_d}{L_e}$ برای سرریزهای ۱۵، ۲۲/۵ و ۳۰ درجه $0.02 < \frac{H_d}{L_e} < 0.15$ می باشد. در ادامه همان طور که نمودار ۲ نشان می دهد، سرریزهای فرم یک و معکوس با افزایش نسبت بی بعد $\frac{H_d}{L_e}$ ، ضریب دبی افزایش یافت. این روند افزایش ضریب دبی در محدوده پایین $0 < C_d < 1$ قرار دارد (کم تر از مقدار ۰/۶) که نشان دهنده پایین آمدن راندمان هیدرولیکی این سرریزها در مقایسه با سرریزهای دارای آرایش نرمال می باشد. محدوده این نسبت بی بعد در هر یک از سرریزهای فرم یک و فرم معکوس به ترتیب، $0.04 < \frac{H_d}{L_e} < 0.05$ و $0.05 < \frac{H_d}{L_e} < 0.18$ می باشد. با توجه به توضیحاتی که در مورد این دو نوع سرریز در قسمت های قبل داده شد، همانند پارامترهای اشاره شده دیگر می توان به اهمیت تاثیر دو مساله هندسه مناسب سرریز و جانمایی مناسب سرریز در مقابل جریان بر روند تغییرات ضریب دبی و مقدار آن در محدوده استاندارد $0 < C_d < 1$ پی برد. همچنین در مورد سرریز فرم یک و سرریز فرم معکوس همان طور که در نمودار ۲ مشاهده می شود، محدوده ضریب دبی در سرریز فرم یک پایین تر از سرریز فرم معکوس می باشد. از آن جایی که جانمایی دو سرریز فرم یک و فرم معکوس در جهت خلاف جریان نسبت به سرریز نرمال زیگزاگی می باشد، این مورد که نشان از پایین تر بودن راندمان هیدرولیکی این سرریز دارد می تواند به دلیل نداشتن دیواره های افقی باشد که نشان دهنده ی اهمیت این دیواره ها در ساختمان هندسی سرریزهای زیگزاگی است. به عبارتی به دلیل نبودن این دیواره های افقی، زمانی که جریان آب به سرریز نزدیک می شود دچار تلاطم بیش تری نسبت به زمانی که این دیواره ها وجود دارد، می شود. این تلاطم بیش تر موجب پدید آمدن آشفتگی بیش تر در جریان به هنگامی که جریان بر روی سرریز قرار دارد می شود. به علاوه، با توجه به محدوده های اشاره شده برای هر یک از دو سرریز طول موثر در سرریز فرم معکوس از سرریز فرم یک بیش تر است. در نهایت این دو مورد موجب می شود راندمان هیدرولیکی سرریز فرم یک کاهش یابد. همچنین برای سرریزهای ۱۵، ۲۲/۵، ۳۰ با افزایش نسبت $\frac{H_d}{w}$ ، ضریب دبی کاهش یافت که نشان دهنده برقراری روند طبیعی کارایی سرریز زیگزاگی می باشد. به علاوه، محدوده ی ضریب دبی در حد بالای محدوده استاندارد یعنی ضریب دبی در حدود مقدار ۱ می باشد که نشان دهنده بالا بودن راندمان هیدرولیکی در این نوع سرریزها می باشد. لازم به ذکر است که محدوده این نسبت بی بعد برای

- Triangular and Asymmetric Labyrinth Side Weirs Using the Nonlinear PLS Method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 142.11.
- Paxson, G and Bruce, S. 2006. Labyrinth spillways: comparison of two popular USA design methods and consideration of non-standard approach conditions and geometries. *Proceedings of the International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures*. 37-46.
- Wilson, Nichols, Hirt and Stein. 1988. SOLA-DM: A numerical solution algorithm for transient three-dimensional flows (No. LA--11161-MS). Los Alamos National Lab.
- تورن، حیدر نژاد، م.، احدیان، ج. ۱۳۹۶. بررسی تاثیر تغییر طول سرریز بر مشخصات هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان ذوزنقه ای. اولین کنفرانس ملی رویکردهای نو در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی.
- یاسی، م.، محمدی، م. ۱۳۸۶. بررسی سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱. ۴۱: ۱-۱۲.
- Falvey, Henry. 2003. *Hydraulic design of labyrinth weirs*. Reston, VA: ASCE Press (American Society of Civil Engineers), Pub., Virginia, USA. 49-54.
- Parvaneh, Ali. Kabiri-Samani, Abdorreza and Nekooie, Mohammad Ali. 2016. Discharge Coefficient of

Comparison of Numerical and Laboratory Modeling in the Estimation of the Labyrinth Weirs Discharge Coefficient: Investigating Different Overflow Location Modes

Sh. Esmailzadeh¹, K. Esmaili^{2*}, S. Khodashenas³, F. Arjomandkia⁴

Received: Oct.19, 2017

Accepted: Jun.30, 2017

Abstract

Labyrinth weirs are considered from important hydraulic structures to regulate the water level and control flow in canals, rivers and dam reservoirs. In this research a comparison of numerical modeling with software FLOW-3D with laboratory results in the case of labyrinth weirs has been carried out. To review and evaluate different scenarios of overflow location like changing the geometric arrangement and labyrinth weir has been considered. In terms of form and direct or reverse direction weirs discharge coefficient. Therefore, selected a labyrinth weirs model with three side angles 15 and 22.5 and 30 degrees have been selected. To calibrate the selected models according to laboratory conditions 5 discharge in the range of 2.8 to 18.1 liters per second were chosen to pass them. Numerical model after calibration simulated with laboratory results different scenarios of overflow application. Results show outputs of numerical model with experimental results good coordination. In the same vein amount of discharge coefficient in weirs form-1 and the inverse form increase of discharge coefficient with increasing the side of the weirs has been found.

Key words: Discharge Coefficient, Flow-3D, Labyrinth weir, Physical modeling, Weir sidewall angle

1- PhD Candidate of Water Engineering- water structures, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

4- Post Graduate of Water Engineering- water structures, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

(* - Corresponding Author Email: esmaili.kazem@gmail.com)