

بررسی ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای منقاری با پلان مثلثی و منحنی شکل

سمیه امامی^{۱*}

هادی ارونقی^۲

جواد پارسا^۳

چکیده

سرریزهای منقاری، سرریزهایی می‌باشند که از یک لبه مستقیم و صاف برخوردار نبوده و در پلان، از حالت خطی شکسته برخوردار می‌باشند. از مزایای این نوع سرریزها می‌توان به بالا بودن ظرفیت سرریز، هوادهی آسان جریان و پایین بودن نوسانات سطح آب اشاره کرد. در این تحقیق به بررسی عددی جریان و ضریب دبی جریان بر روی سرریز منقاری با پلان مثلثی با استفاده از نرم‌افزار *Fluent* به‌عنوان یک آزمایشگاه مجازی پرداخته شده است. فشار، سرعت و سطح آزاد جریان با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ -RNG و روش حجم سیال (VOF) با حل عددی تعیین گردیدند. نتایج مدل عددی با نتایج حاصل از مطالعه‌ی پیشین که سرریزهای منقاری با پلان منحنی شکل را به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده‌اند، مقایسه شد. نتایج نشان داد که سرریزهای منقاری با پلان منحنی در مقایسه با سرریزهای منقاری با پلان مثلثی دارای ضریب دبی بیشتری بوده و در نتیجه از ظرفیت دبی عبوری بیشتری نسبت به سرریزهای منقاری با پلان مثلثی برخوردار می‌باشند (۱/۲۵ برابر ضریب دبی سرریزهای منقاری با پلان مثلثی برای زاویه رأس ۴۵ درجه و افزایش ۲۵ درصدی دبی عبوری). همچنین نتایج نشان داد سرریز منقاری پلان مثلثی در بارهای آبی کم، عملکرد مناسبی داشته و تغییرات ضریب دبی کم بوده و دارای مقدار مناسبی.

واژه های کلیدی:

سرریز منقاری پلان مثلثی، ضریب دبی جریان، سرریز منقاری پلان منحنی، نرم‌افزار *Fluent*.

*۱. کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، somayhemami70@gmail.com

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، Arvanaghi.hadi@yahoo.com

۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، jparsa@tabrizu.ac.ir

مقدمه

بهینه‌سازی مصرف آب، مدیریت و حفاظت از منابع آب نقش بسزایی دارد و در این راستا اندازه‌گیری دبی جریان نقش مهمی را ایفا می‌کند. جهت توزیع عادلانه آب در بین متقاضیان و به حداقل رسانیدن تلفات آب به علت مصرف بی‌رویه، عملیات اندازه‌گیری دقیق دبی جریان ضروری است. در طی سالیان متمادی پژوهشگران علوم آب تلاش کرده‌اند که با ساخت و نصب سازه‌های اندازه‌گیری در کانال‌ها، دبی جریان را با دقت مناسبی اندازه‌گیری کنند. یکی از سازه‌های متداول در بسیاری از سدها و کانال‌های انتقال آب، سرریزها می‌باشند که به‌منظور تخلیه، اندازه‌گیری و کنترل سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجا که حجم جریان عبوری از سرریز تابع طول و شکل تاج سرریز است، لذا تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص تأثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بر ضریب تخلیه جریان و مقدار دبی عبوری از روی سرریزها انجام شده است. یکی از راه‌کارهای مؤثر برای افزایش طول سرریزی جریان در یک عرض معین، استفاده از سرریزها با پلان غیرخطی نظیر مثلثی، دوزنقه‌ای، دایره‌ای، سهموی و ... است که به آن‌ها سرریزهای چندوجهی، کنگره‌ای و یا زیگزاگی گفته می‌شود و معمولاً به‌صورت یک سیکل (منقاری) یا چند سیکل (کنگره‌ای یا زیگزاگی) ساخته می‌شوند. یکی از انواع سرریزهای با تاج طولانی که بسیار مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است، سرریز قوسی در پلان بوده که نوعی سرریز منقاری است که طول تاج آن از سرریز معمولی بیش‌تر است، بنابراین می‌تواند دبی بیشتری را در مقایسه با سرریزهای معمولی (سرریز عرضی) از خود عبور دهد. به‌طور معمول سرریزهای منقاری برای دبی‌های کم‌تر از ۳ مترمکعب در ثانیه توصیه می‌شوند، زیرا برای دبی‌های بزرگ‌تر از ۳ مترمکعب در ثانیه، طول سرریز زیاد و ابعاد سازه بزرگ می‌شود مگر این‌که برای پرهیز از طول بلند سازه و در نتیجه هزینه‌های اجرایی امکان انتخاب ارتفاع تیغه آب بیش‌تر از معیارهای ارائه‌شده بر روی سرریز فراهم باشد. در طراحی سرریزهای کنگره‌ای، رقوم تاج سرریز، معادل رقوم سطح آب منهای ارتفاع تیغه آب روی سرریز است و رقوم سطح آب در پایین‌دست نیز معادل رقوم تاج سرریز در نظر گرفته می‌شود تا از عملکرد غیر مستغرق سرریز

اطمینان حاصل شود. به‌طور کلی در زمینه‌ی سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی تاکنون مطالعات وسیعی انجام نگرفته است، لذا تعیین ضوابط طراحی جهت استفاده کاربردی از این سرریزها نیاز به تحقیق و بررسی بیش‌تری دارد. اولین مطالعات در مورد سرریزهای کنگره‌ای توسط تیلور^۱ در سال ۱۹۶۸ صورت گرفت که به مطالعه‌ی سرریزهای کنگره‌ای با تاج لبه‌تیز پرداخت. تیلور (۱۹۶۸) و تیلور و هی^۲ (۱۹۷۰)، کارایی هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان مثلثی و دوزنقه‌ای را نسبت به سرریزهای خطی لبه‌تیز مورد بررسی قراردادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که کارایی سرریزهای زیگزاگی با پلان مثلثی از سرریزهای زیگزاگی با پلان دوزنقه‌ای مناسب‌تر می‌باشد. لاکس و هینچلیف^۳ (۱۹۸۵)، با توسعه اطلاعات تجربی، نتایج ارزیابی ظرفیت جریان عبوری روی سرریزهای با پلان مثلثی و دوزنقه‌ای را اصلاح نمودند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که میزان واقعی جریان عبوری از سرریز زیگزاگی حدود ۲۵ درصد کم‌تر از مقدار برآورد شده نظیر آن از روش هی و تیلور است. علت اصلی تفاوت، احتساب ارتفاع آب بالادست سرریز انرژی بالادست سرریز با تأثیر بار سرعت بالادست سرریز بوده است. کومار و همکاران^۴ (۲۰۱۱)، به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی سرریز کنگره‌ای با پلان مثلثی پرداختند. نتایج 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 شد.

کروکستون^۵ و تولیس^۶ (۲۰۱۲)، خصوصیات تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی در سرریزهای کنگره‌ای با دو و چهار سیکل مثلثی و زوایای رأس مختلف را به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قراردادند. بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که در دبی‌های کم، به دلیل تداخل کم تیغه‌های ریزشی ضریب دبی جریان از سرریز خطی بیش‌تر بوده و به‌تدریج با افزایش دبی

¹ Taylor

² Taylor & Hey

³ Lux & Hinchliff

⁴ Kumar et al

⁵ Crookston

⁶ Tullis

بهینه‌سازی دو هدفی استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تقریباً تمامی مدل‌های ارائه‌شده به‌منظور برآورد ضریب دبی از دقت خوبی برخوردار هستند. هم‌چنین نتایج نشان داد عدم در نظر گرفتن پارامتر عدد فرود سبب برآورد C_d کم‌تری نسبت به سایر حالات است.

ظهیری^۳ (۱۳۹۴)، با استفاده از روش نوین بهینه‌سازی برنامه‌ریزی ژنتیک، رابطه‌ای بدون بعد را بر اساس پارامترهای زاویه قوس سرریز و نسبت بار آبی سرریز به ارتفاع آن برای برآورد ضریب دبی سرریزهای قوسی ارائه داد. وی برای واسنجی و صحت‌سنجی رابطه پیشنهادی، از داده‌های آزمایشگاهی کومار و همکاران (۲۰۱۲) استفاده نمود. مقایسه نتایج حاصله از این رابطه با مقادیر آزمایشگاهی ضریب دبی سرریزهای قوسی، نشان داد که رابطه پیشنهادی از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد. متوسط خطای رابطه ارائه‌شده توسط روش برنامه‌ریزی ژنتیک در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی برای ضریب دبی به ترتیب ۱/۳۶ و ۱/۶۵ درصد به‌دست آمد. این در حالی است که متوسط خطای رابطه پیشنهادی کومار و همکاران (۲۰۱۲) برای تخمین ضریب دبی سرریزهای قوسی حدود ۹/۴ درصد بود.

سیویج^۴ و همکاران (۲۰۱۶)، با مدل‌سازی عددی و فیزیکی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با زاویه‌ی دیواره جانبی ۱۵ درجه ($\alpha=15^\circ$)، درباره‌ی آبی کل نسبی بزرگ‌تر از واحد ($\frac{H_t}{p} > 1$)، به این نتیجه دست یافتند که مدل عددی می‌تواند دبی‌های مورد انتظار را با تقریب خوب شبیه‌سازی کند.

حق‌آبی^۵ و همکاران (۲۰۱۷)، به تخمین ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مثلثی با استفاده از روش سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی پرداختند. بدین منظور، با استفاده از آزمون گاما (GT)^۶ ۲۲۳ سری داده را برای به‌دست آوردن پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی جریان بررسی نمودند. نتایج حاصل از آزمون گاما نشان داد که نسبت طول تاج سرریز به عرض کانال اصلی، نسبت طول یک سیکل سرریز به عرض آن و نسبت کل انرژی بالادست به ارتفاع سرریز (H/p) از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مثلثی می‌باشند.

جریان، 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 در سال ۲۰۱۳، سرریزهای با پلان قوسی را بررسی کردند. این سرریزها می‌توانند به‌راحتی و با دقت بالا به‌عنوان یک وسیله اندازه‌گیری استفاده شوند. آن‌ها معادله رایج برای محاسبه ضریب دبی را به‌دست آوردند که برای محاسبه C_d برای تمامی مقادیر در محدوده مشخص قابل استفاده است. به خاطر ظرفیت تخلیه بالای این نوع سرریزها نیاز به ارتفاع آزاد در کانال‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه در این بخش، کانال اقتصادی‌تر طراحی می‌شود. هم‌چنین به خاطر شکل هندسی ساده طراحی، ساخت و نصب آن حتی در کانال‌های موجود بسیار آسان است. سرریز منحنی با زاویه مرکزی 90° ، دارای شکل پلان بهینه می‌باشد. آن‌ها اظهار داشتند با استفاده از سرریز منحنی با حداقل پیچیدگی در طراحی و نصب شاهد افزایش قابل توجه‌ای در ضریب دبی خواهیم بود.

گلی‌زاده^۱ و همکاران (۱۳۹۳)، اثر شکل تاج بر روی ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مثلثی را به روش عددی مورد بررسی قرار دادند. شبیه‌سازی عددی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D انجام گرفت. جهت مدل کردن آشفتگی از مدل RNG و جهت تعیین موقعیت پروفیل سطح آزاد از روش VOF استفاده کردند. ایشان برای صحت‌سنجی نتایج مدل عددی، از داده‌های آزمایشگاهی کورکستون و تولیس (۲۰۱۲) استفاده نمودند، مقایسه نتایج نشان داد که انطباق خوبی بین نتایج روش عددی و آزمایشگاهی وجود دارد.

خوش‌بین^۲ و همکاران (۱۳۹۳)، مدلی ریاضی جهت پیش‌بینی ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مثلثی با استفاده از شبکه عصبی GMDH و الگوریتم ژنتیک ارائه دادند. در این تحقیق ابتدا با استفاده از آنالیز ابعادی عوامل مؤثر در تعیین ضریب دبی مشخص و سپس به‌منظور بررسی اثر هر یک از پارامترهای بی‌بعد ارائه‌شده در برآورد ضریب دبی، شش مدل مختلف با استفاده از GMDH ارائه شد. هم‌چنین از الگوریتم ژنتیک به‌منظور طراحی بهینه ساختار شبکه عصبی GMDH در قالب

³ Zahiri

⁴ Savage et al

⁵ Haghiabi

⁶ Gamma Test

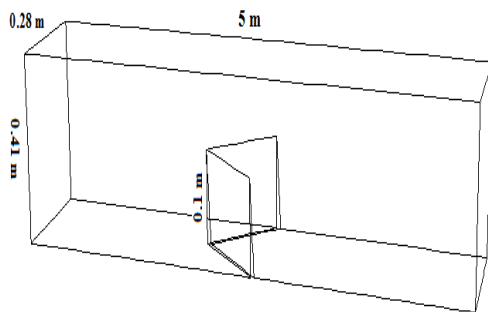
¹ Golizadeh

² Khoshbin

و تا رسیدن به حالت دائمی ادامه می‌یابد، به همین دلیل نیز جریان به صورت غیردائمی در نظر گرفته شده است (امامی^۳، ۱۳۹۵).

در این تحقیق ۶ مدل سرریز منقاری پلان مثلثی با زوایای رأس مختلف در نرم‌افزار گمبیت^۴ طراحی شد و پس از تعیین روش‌های گسسته‌سازی، معادلات حاکم، شرایط مرزی و ... طرح در نرم‌افزار فلوئنت فراخوانی شده و اجرا گردید. تمامی مدل‌های طراحی شده در ارتفاع ثابت ۰/۱۰ متر در کانالی به طول ۵ متر، عرض ۰/۲۸ متر و ارتفاع ۰/۴۱ متر بررسی شدند.

در شکل ۱ مشخصات هندسی مدل عددی ارائه شده است.



شکل (۱): تعریف هندسه مسئله برای مدل‌سازی

شبکه‌بندی مدل

جهت ایجاد شبکه قابل فراخوانی در نرم‌افزار Fluent از نرم‌افزار گمبیت نسخه ۲,۴,۶ استفاده شده است. هندسه مدل در این نرم‌افزار ساخته شده و سپس شبکه‌بندی موردنیاز تهیه گردید. برای شبکه‌بندی هندسه و حجم مدل، المان‌های مختلفی در نرم‌افزار گمبیت وجود دارد. در این تحقیق، از المان Quad نوع MAP برای شبکه‌بندی هندسه مدل و جهت شبکه‌بندی تمامی حجم‌ها از المان Hex نوع MAP استفاده شد. هم‌چنین برای کنترل عدم تأثیر اندازه سلول‌ها بر نتایج حاصل از حل عددی، تعداد شبکه عدد ثابت ۱۲۸۰۰ در نظر گرفته شد. شکل ۲ نمونه‌ای از سرریز منقاری با پلان مثلثی طراحی شده در نرم‌افزار گمبیت را نشان می‌دهد.

هم‌چنین با توجه به نتایج آزمون گاما، ساختار ANFIS^۱ برای مدل موردنظر طراحی شد. ایشان با مقایسه‌ی نتایج حاصل از دو ساختار ANFIS و MLP نشان دادند که هردو مدل از عملکرد مناسبی برخوردارند ولی ساختار مدل ANFIS بهینه‌تر می‌باشد.

امامی^۲ و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی عددی تأثیر پارامترهای هندسی سرریز منقاری بر روی ضریب دبی جریان پرداختند. ایشان جریان عبوری از روی سرریز منقاری را با استفاده از نرم‌افزار Fluent و به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی و نتایج مطالعه خود را با دستاوردهای حاصل از سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال مقایسه نمودند. نتایج نشان داد در کلیه سرریزهای منقاری با زاویه رأس مختلف، ضریب دبی با افزایش $\frac{H}{P}$ (نسبت بار هیدرولیکی به ارتفاع سرریز) افزایش یافته و سپس به دلیل تداخل تیغه‌های ریزشی، ضریب دبی کاهش می‌یابد.

عمده مطالعات پیشین به مطالعه‌ی جریان در سرریزهای کنگره‌ای چند سیکله با پلان‌های مختلف پرداخته‌اند و با توجه به این‌که اطلاعات کافی و کاملی در مورد سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و پلان منحنی وجود ندارد، لذا در این تحقیق تأثیر هندسه سرریز منقاری با پلان مثلثی بر ضریب دبی جریان به صورت عددی بررسی شده و نتایج حاصله با مطالعه‌ی آزمایشگاهی کومار و همکاران (۲۰۱۲) بر روی سرریز منقاری با پلان منحنی مقایسه گردیده است.

مواد و روش‌ها

مدل عددی

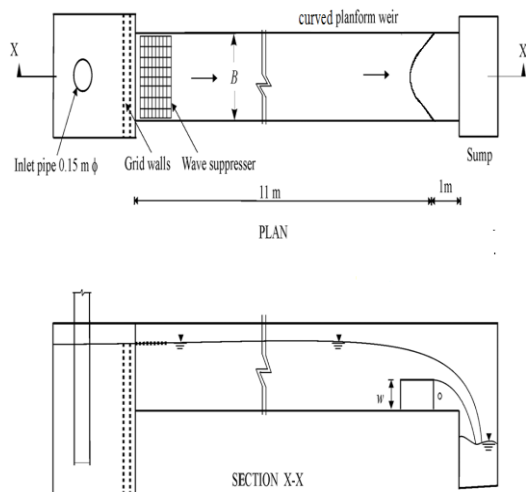
بررسی‌های عددی در تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت که معادلات حاکم بر جریان را به روش حجم محدود حل می‌کند، صورت گرفته است. شبیه‌سازی جریان پیرامون سرریز منقاری مثلثی با استفاده از معادلات آشفتگی و حل معادلات سطح آزاد جریان به روش حجم سیال (VOF) انجام شده و گسسته‌سازی عبارت فشار به روش PISO، گسسته‌سازی عبارت مومنتم به روش جهتمند مرتبه دوم و با توجه به شرایط مرزی و شرایط اولیه در نظر گرفته شده، صورت پذیرفته است. تحلیل عددی جریان به صورت غیردائمی انجام شده

³ Emami
⁴ Gambit

¹ Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
² Emami

مدل آزمایشگاهی

کومار^۱ و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی آزمایشگاهی سرریزهای منقاری با پلان منحنی با زوایای مرکزی مختلف پرداختند. این محققان برای انجام تحقیق آزمایشگاهی خود، از یک کانال مستطیلی به عرض ۰/۲۸ متر، طول ۱۲ متر و ارتفاع ۰/۴۱ متر استفاده نمودند. در شکل (۴)، نمایش شماتیک پلان و مقطع عرضی کانال آزمایشگاهی و سرریز منقاری با پلان منحنی آورده شده است. برای بررسی اثر ضریب دبی جریان، زوایای ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه در محدوده $0 \leq h/p \leq 0.7$ را مورد آزمایش قرار دادند. ارتفاع سرریز برای تمامی زاویه‌ها، ۱۰ سانتی‌متر انتخاب و شرایط جریان در تمامی حالات به صورت زیر بحرانی، آشفته و جریان ریزشی (جریان آزاد) در نظر گرفته شد.

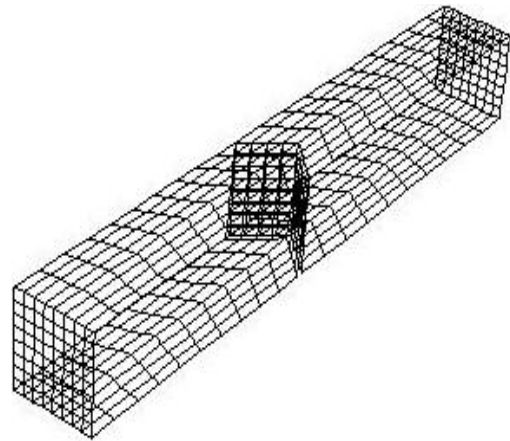


شکل (۴): پلان و مقطع طولی مدل آزمایشگاهی سرریز منقاری با پلان منحنی (کومار و همکاران، ۲۰۱۲)

بررسی پارامترهای مؤثر در سرریز منقاری

پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریز منقاری شامل انرژی کل بالادست سرریز، طول مؤثر سرریز، ارتفاع سرریز، عرض سرریز، زاویه رأس سرریز و عمق جریان می‌باشد. پس از انجام تحلیل ابعادی، ضریب دبی تابعی از پارامترهای بدون بعد زیر به دست آمد:

$$C_d = f(H_d, L_e, P, W, \theta, y) \rightarrow C_d = f\left(\frac{H_d}{P}, \frac{L_e}{P}, \frac{y}{P}, \frac{H_d}{W}, \frac{y}{W}, R_e, \frac{L_e}{W}, \theta, W_e\right) \quad (1)$$

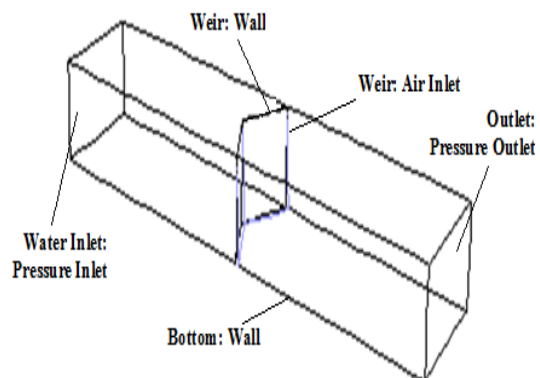


شکل (۲): سرریز منقاری پلان مثلثی طراحی شده در نرم‌افزار گمبیت

شرایط مرزی

شرایط مرزی در مقطع ورودی به صورت فشار جریان آب و برای مقطع خروجی از فشار خروجی صفر استفاده شد. همچنین با توجه به این که سرعت سیال در روی مرزهای جامد ($Z_{min}, Y_{min}, X_{min}$) برابر صفر است، از شرط مرزی دیواره استفاده شد. همچنین برای سطح آزاد جریان، شرط مرزی فشار هوا که مقدار آن صفر می‌باشد و برای مدل‌سازی جریان هوا (به منظور هوادهی به سرریز) شرط مرزی سرعت ورودی تعریف شد.

شکل ۳ شرایط مرزی اعمال شده در مدل را نشان می‌دهد.



شکل (۳): شرایط مرزی اعمال شده در مدل

پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریز منقاری شامل انرژی کل بالادست سرریز، طول مؤثر سرریز، ارتفاع سرریز، عرض سرریز، زاویه رأس سرریز و عمق جریان است. پس از انجام تحلیل ابعادی، ضریب دبی تابعی از پارامترهای بدون بعد زیر به دست آمد:

که در این رابطه

H_d انرژی کل بالادست سرریز، P ارتفاع سرریز، W عرض سرریز، L_e طول مؤثر سرریز، θ زاویه رأس سرریز، y عمق جریان، Re عدد رینولدز و W_e عدد وبر است. در این پژوهش جریان در سرریز و کانال آشفته بوده و می توان عدد رینولدز را حذف نمود. با توجه به این که در این تحقیق حداقل ارتفاع آب روی سرریز معادل ۳ سانتی متر منظور شده است، می توان از اثر عدد وبر نیز صرف نظر نمود.

جدول (۱): مشخصات هندسی مدل های آزمایشگاهی (کومار و همکاران، ۲۰۱۲)

زاویه (درجه)	ارتفاع سرریز (متر)	بار آبی (متر)	دبی (مترمکعب بر ثانیه)
۳۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۲۰-۰/۰۱۲۵
۶۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۲۱-۰/۰۱۲۰
۹۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۵-۰/۰۱۲۱
۱۲۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۲۱-۰/۰۱۲۴
۱۵۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۲-۰/۰۱۱۳
۱۸۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۲۲-۰/۰۱۰۹

جدول (۲): مشخصات هندسی مدل های عددی در مطالعه حاضر

زاویه (درجه)	ارتفاع سرریز (متر)	بار آبی (متر)	دبی (مترمکعب بر ثانیه)
۳۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۵-۰/۰۱۲۰
۶۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۷-۰/۰۱۵۲
۹۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۳-۰/۰۱۱۷
۱۲۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۷-۰/۰۱۱۶
۱۵۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۰-۰/۰۱۰۸
۱۸۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۶-۰/۰۱۰۲

محاسبه ضریب دبی (C_d)

معادله یک بعدی جریان روی سرریزهای کنگره ای به روش تحلیل ریاضی (با حل معادلات پیوستگی و انرژی) و با در نظر گرفتن فرضیات (الف): شرایط جریان آزاد و پرتابی از روی یک سرریز معادل خطی و نرمال (ب): توزیع هیدرو استاتیکی فشار در محدوده بالادست سرریز و (ج): صرف نظر از فشردگی تیغه جریان و افت انرژی بصورت زیر به دست می آید:

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H^{3/2} \quad (2)$$

در این رابطه، Q دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه، C_d ضریب دبی (بدون بعد)، g شتاب ثقل برابر با $9/806$ متر بر مجذور ثانیه، L طول سرریز و H بار آبی روی تاج سرریز بر حسب متر می باشد.

در جدول های (۱) و (۲) مشخصات هندسی مدل های آزمایشگاهی و عددی مورد استفاده در تحقیق حاضر آورده شده است.

هم چنین در جدول (۳) مشخصات کلی برخی مدل های شبیه سازی اجرا شده ارائه شده است.

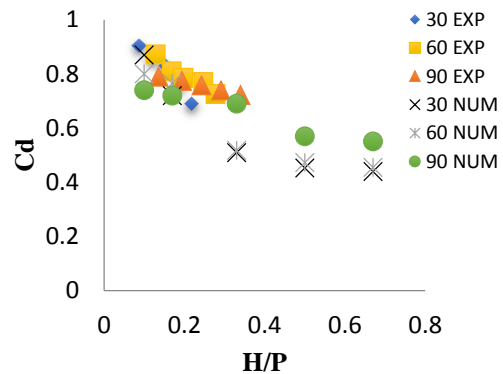
جدول (۳): مشخصات کلی مدل های شبیه سازی اجرا شده

θ°	بار آبی (cm)	عرض کانال (cm)	الگوریتم به کار رفته	شرایط مرزی ورودی	شرایط مرزی خروجی
۳۰	۳	۵۰	PISO	Pressure inlet	Pressure outlet
	۵				
	۱۰				
	۱۵				
	۲۰				
۶۰	۳	۵۰	PISO	Pressure inlet	Pressure outlet
	۵				
	۱۰				
	۱۵				
	۲۰				

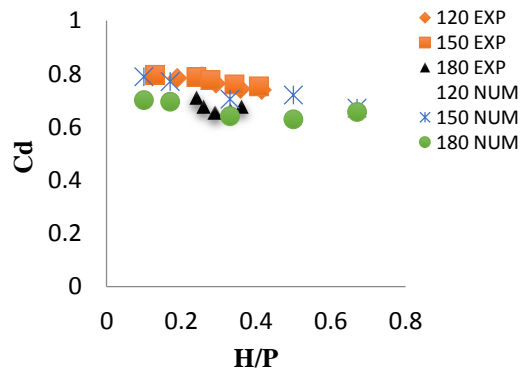
نتایج و بحث

بررسی تغییرات ضریب دبی جریان در سرریزهای منقاری

برای بررسی تأثیر زاویه رأس سرریز بر ضریب دبی، سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی با زاویه‌ی رأس ۳۰ تا ۱۸۰ درجه و بر اساس مشخصات هندسی ذکر شده در جدول‌های (۱) و (۲)، مورد مقایسه قرار گرفتند. در شکل‌های ۵ و ۶، نحوه تغییرات ضریب دبی نسبت به $\frac{H}{P}$ های مختلف برای سرریز منقاری با دو پلان مثلثی و منحنی آورده شده است. همان‌گونه که در شکل‌ها نیز دیده می‌شود، به‌ازای یک $\frac{H}{P}$ ثابت، با افزایش زاویه رأس تا ۹۰ درجه و در نتیجه کاهش طول سرریز، ضریب دبی افزایش می‌یابد.



شکل (۵): مقایسه تغییرات ضریب دبی سرریز منقاری با دو پلان مثلثی و منحنی به‌ازای $\frac{H}{P}$ های مختلف برای $30^\circ < \theta < 90^\circ$



شکل (۶): مقایسه تغییرات ضریب دبی سرریز منقاری با دو پلان مثلثی و منحنی به‌ازای $\frac{H}{P}$ های مختلف برای $120^\circ < \theta < 180^\circ$

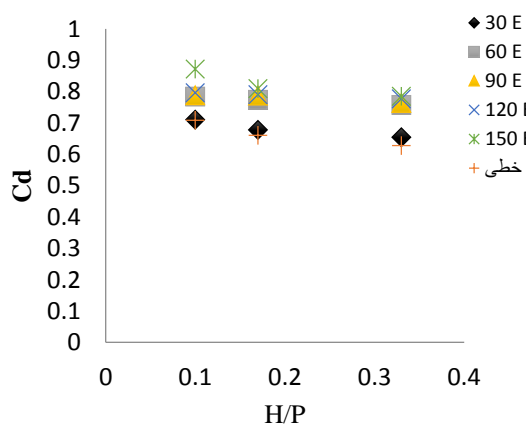
از شکل‌های (۵) و (۶) می‌توان دریافت که سرریزهای منقاری (با پلان‌های متفاوت) درباره‌ی آبی کم، عملکرد رضایت بخشی داشته و ضریب دبی در محدوده مناسبی تغییر می‌کند؛ اما ضریب دبی با افزایش بار آبی از مقدار $0.3 > \frac{H}{P}$ کاهش می‌یابد. دلیل این امر افزایش

تداخل تیغه‌های جریان در پایین‌دست تاج سرریز منقاری با افزایش بار آبی است که موجب کاهش ضریب دبی می‌شود.

با مقایسه‌ی دو شکل (۵) و (۶) مشاهده می‌شود که درباره‌ی آبی کم، بیش‌ترین مقدار ضریب دبی مربوط به سرریز منقاری با پلان مثلثی می‌باشد، لیکن درباره‌ی آبی بالاتر، سرریز منقاری با پلان منحنی دارای بالاترین ضریب دبی است. به‌طور کلی و با توجه به شکل‌های بالا می‌توان نتیجه گرفت سرریز منقاری با پلان منحنی بیش‌ترین ضریب دبی را در مقایسه با پلان مثلثی دارد.

مقایسه ضریب دبی سرریز منقاری با پلان‌های متفاوت و سرریز خطی

جهت مقایسه بهتر سرریزهای منقاری با پلان‌های مثلثی و منحنی و بررسی کارایی این نوع سرریزها، ضریب دبی سرریزهای منقاری نسبت به سرریز خطی (به‌عنوان شاهد) مقایسه شد. در شکل‌های (۷) و (۸)، تغییرات ضریب دبی سرریزهای منقاری و خطی نشان داده شده است.

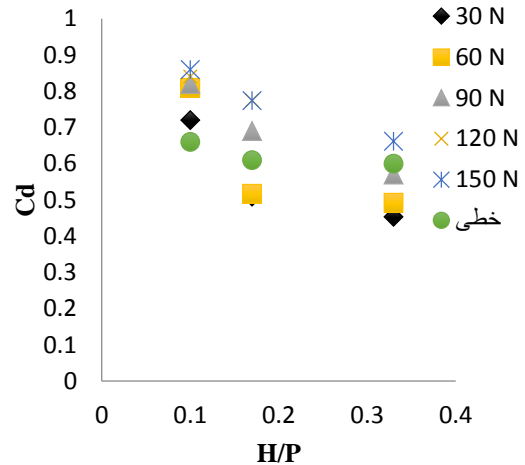


شکل (۷): تغییرات ضریب دبی سرریزهای منقاری پلان منحنی (داده‌های اندازه‌گیری) و خطی

ضریب دبی در سرریز خطی با افزایش مقدار $\frac{H}{P}$ به یک مقدار ثابت می‌رسد. در این سرریز از آنجایی که فقط یک تیغه ریزشی در پایین‌دست سرریز وجود دارد، تداخلی دیده نمی‌شود و آب به‌صورت آزاد از روی تاج سرریز عبور می‌نماید، بنابراین تغییرات ضریب دبی به‌آرامی به مقدار ثابتی میل می‌کند، ولی در مورد سرریزهای منقاری با تغییر مقادیر $\frac{H}{P}$ از مقدار معینی به بعد، به دلیل تداخل تیغه‌های ریزشی ضریب دبی به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد.

جدول (۴): مقادیر حاصل از اجرای مدل‌های عددی و آزمایشگاهی

نتایج حاصل از مدل‌های آزمایشگاهی			نتایج حاصل از مدل‌های عددی		
ضریب دبی	H/P	زاویه (درجه)	ضریب دبی	H/P	زاویه (درجه)
۰/۷۲۰	۰/۱	۳۰	۰/۷۱۱	۰/۱	۳۰
۰/۵۰۹	۰/۱۷	۳۰	۰/۶۷۸	۰/۱۷	۳۰
۰/۴۵۳	۰/۳۳	۳۰	۰/۶۵۵	۰/۳۳	۳۰
۰/۸۰۹	۰/۱	۶۰	۰/۷۸۵	۰/۱	۶۰
۰/۵۱۷	۰/۱۷	۶۰	۰/۷۷۴	۰/۱۷	۶۰
۰/۴۹۲	۰/۳۳	۶۰	۰/۷۵۸	۰/۳۳	۶۰
۰/۸۲۰	۰/۱	۹۰	۰/۷۸۹	۰/۱	۹۰
۰/۶۹۰	۰/۱۷	۹۰	۰/۷۸۸	۰/۱۷	۹۰
۰/۵۷۰	۰/۳۳	۹۰	۰/۷۶۴	۰/۳۳	۹۰
۰/۸۴۰	۰/۱	۱۲۰	۰/۷۹۷	۰/۱	۱۲۰
۰/۷۷۵	۰/۱۷	۱۲۰	۰/۷۹۱	۰/۱۷	۱۲۰
۰/۶۶۲	۰/۳۳	۱۲۰	۰/۷۷۷	۰/۳۳	۱۲۰
۰/۸۶۲	۰/۱	۱۵۰	۰/۸۷۲	۰/۱	۱۵۰
۰/۸	۰/۱۷	۱۵۰	۰/۸۱۰	۰/۱۷	۱۵۰
۰/۷۲۱	۰/۳۳	۱۵۰	۰/۷۸۶	۰/۳۳	۱۵۰
۰/۸۹۰	۰/۱	۱۸۰	۰/۹۰۶	۰/۱	۱۸۰
۰/۸۳۱	۰/۱۷	۱۸۰	۰/۸۶۰	۰/۱۷	۱۸۰
۰/۷۳۰	۰/۳۳	۱۸۰	۰/۸۳۱	۰/۳۳	۱۸۰

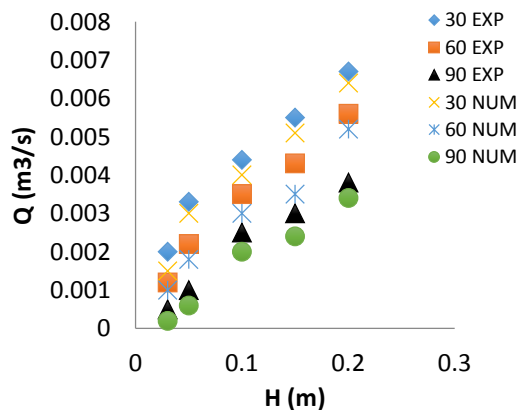


شکل (۸): تغییرات ضریب دبی سرریزهای منقاری پلان مثلثی (نتایج شبیه‌سازی عددی) و خطی

با توجه به شکل (۷)، مشاهده می‌شود که کنگره‌ای شدن سرریزها باعث افزایش محسوسی در ضریب دبی سرریز نسبت به سرریز خطی می‌گردد.

مقایسه نتایج نشان داد که از میان سه نوع سرریز مورد بررسی، مدل سرریز منقاری پلان منحنی دارای بیشترین ضریب دبی است و درباره‌ای آبی کم، بیشترین مقدار ضریب دبی مربوط به سرریز منقاری با پلان مثلثی می‌باشد.

یکی از اهداف اصلی و مهم از انجام این تحقیق، یافتن بازه‌ای است که در آن محدوده ضریب دبی به‌ازای تغییرات $\frac{H}{P}$ های مختلف روند ثابتی را طی کند و به عدد ثابتی میل نماید. مقایسه‌های انجام‌شده نشان داد که در تمامی مدل‌های عددی مورد بررسی، در محدوده‌ای $\frac{H}{P} > 0/35$ ، به‌ازای تغییرات زاویه‌ی مختلف رأس سرریز، ضریب دبی جریان، تقریباً مقدار ثابتی است. هم‌چنین این مورد در سرریزهای منقاری با پلان منحنی در محدوده‌ی $\frac{H}{P} > 0/25$ مشاهده می‌گردد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که ثابت شدن ضریب دبی در سرریزهای منقاری پلان منحنی به‌ازای تغییرات $\frac{H}{P}$ های مختلف سریع‌تر اتفاق می‌افتد و C_d در این سرریزها در محدوده وسیعی از بهره‌برداری، مقدار ثابتی را دارا می‌باشد و این حاکی از کارایی سرریزهای منقاری با پلان منحنی است. در جدول (۴) نمونه‌ای از مقادیر حاصل از اجرای مدل‌های عددی و آزمایشگاهی آورده شده است.



شکل (۹): مقایسه تغییرات دبی جریان عبوری از روی سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی برای $30^\circ < \theta < 90^\circ$

در شکل‌های (۹) و (۱۰)، نحوه تغییرات دبی جریان عبوری از روی سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و

جدول (۵): درصد افزایش درصد دبی جریان برای سرریز منقاری با پلان مثلثی و منحنی شکل

زاویه رأس سرریز (درجه)	افزایش دبی (%)
۴۵	۲۵
۶۰	۲۰
۹۰	۱۹/۱
۱۲۰	۱۶/۶۷
۱۵۰	۱۵/۱۵

به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان اظهار نمود که دبی عبوری از روی سرریزهای منقاری با پلان منحنی در مقایسه با سرریزهای منقاری با پلان مثلثی بیش‌تر بوده و نتایج نشان داد که کارایی سرریز منقاری با پلان منحنی با زاویه رأس ۴۵ درجه تا ۱/۲۵ برابر نسبت به سرریز منقاری با پلان مثلثی افزایش می‌یابد.

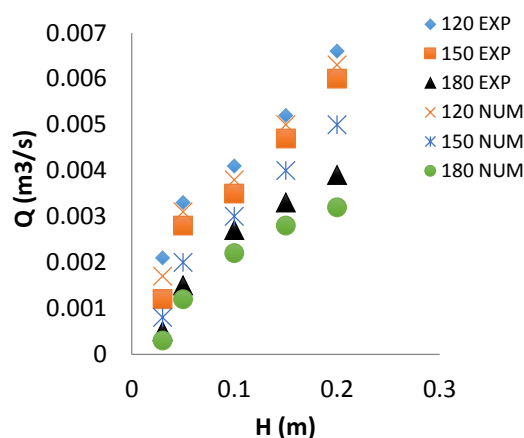
مقایسه نتایج مطالعه حاضر با نتایج سایر محققان

در جدول (۶)، مقادیر ضریب دبی جریان حاصل از بررسی عددی سرریز منقاری پلان مثلثی با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات صورت گرفته بر روی سرریزهای منقاری (کنگره‌ای) با پلان منحنی سایر محققان بررسی شده است. از آنجاکه هنوز گزارش‌های مستندی در خصوص طرح سرریزهای منقاری ارائه نشده است، لذا مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج مشابه دیگر امکان‌پذیر نیست. در تحقیق حاضر، کارایی هیدرولیکی سرریز منقاری پلان مثلثی با گزینه‌ی معادل با پلان منحنی در شرایط جریان آزاد مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه گزینه معادل با پلان زیگزاگی مستطیلی نیز به دلیل فقدان اطلاعات تجربی در منابع موجود میسر نگردید.

مقایسه نتایج و ارزیابی آن به‌صورت خلاصه عبارت‌اند از:

الف) تفاوت کارایی سرریزهای با پلان قوسی و مثلثی در نسبت‌های متفاوت $\frac{H}{P}$ ناچیز بوده و تغییرات معناداری ندارد. به نظر می‌رسد در محدوده‌ی $0/4 < \frac{H}{P} < 0/2$ سرریز زیگزاگی با پلان قوسی عملکرد بهتری داشته باشد.

منحنی به‌ازای ارتفاع‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.



شکل (۱۰): مقایسه تغییرات دبی جریان عبوری از روی سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی برای $120^\circ < \theta < 180^\circ$

سرریزهای منقاری طول مؤثر بیش‌تری داشته و به‌این ترتیب دبی بیش‌تری در مقایسه با دیگر سرریزهای معمول از خود عبور می‌دهند. با توجه به نمودارهای بالا، به‌خوبی می‌توان نتیجه گرفت که هر چه زاویه رأس کاهش یابد، طول سرریز بیش‌تر شده و دبی عبوری از روی سرریز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش زاویه θ و باوجود افزایش ضریب دبی، به دلیل کاهش طول مؤثر سرریز، دبی عبوری از روی سرریز منقاری کاهش می‌یابد.

با توجه به شکل‌های بالا می‌توان نتیجه گرفت، سرریز منقاری با پلان منحنی دارای ظرفیت عبوری بیش‌تری نسبت به سرریز منقاری با پلان مثلثی است و عملکرد هیدرولیکی سرریزهای منقاری با پلان منحنی نسبت به سرریزهای منقاری پلان مثلثی مناسب‌تر می‌باشد.

در جدول ۵ مقادیر درصد افزایش دبی عبوری برای سرریز منقاری با پلان مثلثی و منحنی شکل مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به این جدول مشخص است که بیش‌ترین درصد افزایش دبی، مربوط به سرریز منقاری با زاویه رأس ۴۵ درجه برای سرریز منقاری با پلان منحنی در مقایسه با پلان مثلثی بوده و هر چه زاویه رأس کاهش یابد، طول سرریز بیش‌تر شده و دبی عبوری از روی سرریز نیز افزایش می‌یابد.

ب) سرریز منقاری با پلان منحنی در محدوده $0 < \frac{H}{P} < 0.7$ از کارایی هیدرولیکی بهتری نسبت به سرریز منقاری با پلان مثلثی برخوردار است. به عبارت دیگر، با وجود این که زاویه دیواره واگرای کانال پایین دست سرریز قوسی (α)، کوچک تر از سرریز معادل مثلثی است، ولی تأثیر قوس دماغه سرریز در کنترل شدت آشفتنگی جریان ریزشی و افزایش راندمان جریان غالب است.

ج) برای زاویه رأس معین، طول تاج سرریز در سرریزهای با پلان منحنی کم تر از سرریز معادل با پلان مثلثی است. برای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز (h)، سرریز منقاری کم ترین ضریب دبی و بیش ترین مقدار دبی عبوری را دارد. در محدوده ی جریان آزاد $\frac{H}{P} \leq 0.3$ سرریز کنگره ای با پلان قوسی بیش ترین ضریب دبی و مقدار دبی عبوری را دارا می باشد.

نرم افزار Fluent مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل با نتایج به دست آمده از مطالعه ی آزمایشگاهی جریان بر روی سرریز منقاری با پلان منحنی (کومار و همکاران، ۲۰۱۲) مقایسه گردید. نتایج نشان داد سرریزهای منقاری (با پلان های متفاوت) درباره ی آبی کم، عملکرد مناسبی داشته و ضریب دبی مقدار مناسبی را دارا است. هم چنین درباره ی آبی کم، سرریز منقاری با پلان مثلثی دارای ضریب دبی بالاتری می باشد، لیکن درباره ی آبی بالاتر، سرریز منقاری با پلان منحنی دارای بالاترین ضریب دبی است. نتایج حاصله نشان داد که سرریز منقاری با پلان منحنی در محدوده $0 < \frac{H}{P} < 0.7$ از کارایی هیدرولیکی بهتری نسبت به سرریز منقاری با پلان مثلثی برخوردار است و لذا سرریز منقاری با پلان منحنی دارای ظرفیت عبوری بیش تری نسبت به سرریز منقاری با پلان مثلثی می باشد. به طور کلی می توان اظهار نمود سرریز منقاری با پلان منحنی بیش ترین ضریب دبی را در مقایسه با پلان مثلثی دارد. با توجه به مقایسه های به عمل آمده مشخص شد دبی عبوری از روی سرریزهای منقاری با پلان منحنی در مقایسه با پلان مثلثی افزایش ۲۵ درصدی داشته که این امر کارایی سرریزهای منقاری با پلان منحنی را به اثبات می رساند.

جدول (۶): مقایسه ضریب دبی جریان انواع سرریزهای منقاری

با پلان مثلثی و منحنی شکل

نام محقق	نوع سرریز	شرایط جریان	مقدار ضریب دبی
قدسیان و شنوایی (Ghodsian & Shenavaie, 2001)	سرریز کنگره ای مثلثی با شکل تاج ربع دایره	$0 < \frac{H}{P} < 0.7$ $0^\circ < \theta < 11^\circ$	۰/۵۱-۰/۶۵
یاسی و محمدی (Yasi & Mohammadi, 2007)	سرریز زیگزاگی با پلان قوسی	$0.2 < \frac{H}{P} < 0.4$	۰/۵۸-۰/۷۱
کومار و همکاران (Kumar et al., 2012)	سرریز منقاری با پلان منحنی	$0 < \frac{H}{P} < 0.7$ $30^\circ < \theta < 180^\circ$	-۰/۸۹۶ ۰/۵۷۷
مطالعه حاضر (Present Study)	سرریز منقاری با پلان مثلثی	$0.1 < \frac{H}{P} < 0.6$ $45^\circ < \theta < 180^\circ$	-۰/۶۸۴ ۰/۴۴

نتیجه گیری

سرریزهای منقاری با پلان های هندسی مثلثی و منحنی از انواع سازه های هیدرولیکی جهت کنترل، تنظیم و تخلیه جریان در یک عرض محدود می باشند. در این تحقیق، تأثیر هندسه سرریز منقاری با پلان مثلثی بر ضریب دبی جریان به صورت عددی و با استفاده از

مراجع

- ۱- امامی، س. (۱۳۹۵). بررسی عددی تأثیر پارامترهای هندسی سرریز منقاری بر ضریب دبی جریان. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- ۲- خوش بین، ف.، ابتهاج، ع.، بنکداری، ح؛ و لشته نشایی، م. ا. (۱۳۹۳). ارائه مدل ریاضی جهت پیش بینی ضریب دبی سرریز کنگره ای مثلثی با استفاده از شبکه عصبی GMHD و الگوریتم ژنتیک. سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تبریز.
- ۳- ظهیری، ع. (۱۳۹۴). استخراج رابطه ضریب دبی در سرریزهای قوسی به کمک روش برنامه ریزی ژنتیک. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲(۹)، ۳۳۴-۳۲۳.
- ۴- قلی زاده، ع.، قدسیان، م.، پناهی، ر؛ و سنگ سفیدی، ی. (۱۳۹۳). بررسی عددی اثر شکل تاج بر روی ضریب آگذری سرریزهای کنگره ای. سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تبریز.
- ۵- نیک پیچک، پ.، کاشفی پور، س. م؛ و ملتجی، ا. (۱۳۹۰). بررسی اثر ابعاد هندسی سرریز لبه تیز نوک اردکی بر روی ضریب دبی. همایش ملی سازه، راه، معماری. دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس. اسفند ماه ۱۳۹۰.

- 14- Crookston, B. M. and Tullis, B. P, (2012). Discharge efficiency of reservoir application specific labyrinth weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 138(6), 773-776.
- 15- Kumar, S. Ahmad, Z. Mansoor, T. and Himanshu, S. K, (2013). A New Approach to Analyze the Flow over Sharp Crested Curved Plan form Weir. *International Journal of Recent Technology and Enginnering*, (JRTE), 2(1), 2277-3878.
- 16- Kumar, S. Ahmad, Z. Mansoor, T. and Himanshu, S. K, (2012). Discharge Characteristics of Sharp Crested Weir of Curved Plan-form. *Research Journal of Engineering Science*, 1(4), 16-20.
- 17- Anonymus, (2006). *Fluent 6.3 User's Guide*. Chap 23. Fluent Incorporated Lebanon.
- 6- Haghiabi, A. H. Parsaie, A. and Emamgholizadeh, S, (2017). Prediction of discharge coefficient of triangular labyrinth weirs using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. *Alexandria Engineering Journal*.Dx.doi.org/10.1016/j.aej.2017.05.005.
- 7- Savage, B. Crookston, B. M. and Paxson, S, (2016). Physical and numerical modeling of large headwater ratios for a 15° labyrinth spillway. *Journal of hydraulic structure*. Doi:10.106/ (ASCE) HY.1943-7900.0001186,04016046.
- 8- Emami, S. Arvanaghi, H. and Parsa, J, (2017). Numerical Investigation of Geometric Parameters Effect of the Labyrinth Weir on the Discharge Coefficient. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*. DOI: 10.22075/JRCE.2017.11428.1188.
- 9- Taylor, G, (1968). The performance of labyrinth weir. PhD Thesis University of Nottingham Nottingham England.
- 10- Hay, N. and Taylor, G, (1970). Performance and design of labyrinth weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 96(11), 2337-2357.
- 11- Lux, F. L. and Hinchcliff, D, (1985). Design and construction of labyrinth spillways. *International Congress on Large Dams*. ICOLD Paris France, 4(15), 249-274.
- 12- Kumar, S. Ahmad, Z. and Mansoor, T, (2011). A new approach to improve the discharging capacity of sharp crested triangular plan form weirs. *Journal of Flow Measurement and Instrumentation*, 22, 175-180.
- 13- Zahraeifard, V. and Talebeydokhti, N, (2012). Numerical Simulation of Turbulent Flow over Labyrinth Spillways/Weirs. *International Journal of Science and Tecnology*, 22(5), 1734-1741.