بررسی عددی جریان در سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی شکل با استفاده از نرم‌افزار Fluent

سمیّه امامی*[۱]، هادی ارونقی[۲] و جواد پارسا[۳]

۱) کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲) دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳) استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

* نویسنده مسئول: somayehemami70@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۰

چکیده

سرریزهای منقاری، سرریزهایی می‌باشند که از یک لبه مستقیم و صاف برخوردار نبوده و در پلان بالا، 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 در آستانه‌ی عبوری جریان از روی سرریز اشاره کرد. این تحقیق به بررسی عددی جریان و دبی عبوری جریان بر روی سرریز منقاری با پلان مثلثی با استفاده از نرم افزار فلوئنت و مدل آشفتگی k-ε روش RNG پرداخته شد. سطح آزاد جریان نیز با استفاده از روش جزء حجم سیال (VOF) تعیین گردید. نتایج مدل عددی با نتایج حاصل از مطالعه‌ی کومار و همکاران در سال ۲۰۱۲ که سرریزهای منقاری با پلان منحنی شکل را به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده‌اند، بررسی شد. نتایج نشان داد که سرریزهای منقاری با پلان منحنی مطالعه شده توسط کومار و همکاران در مقایسه با پلان مثلثی از ظرفیت دبی عبوری بیش‌تری نسبت به سرریزهای منقاری با پلان مثلثی برخوردار می‌باشند و دبی عبوری از روی سرریزهای منقاری با پلان منحنی در مقایسه با پلان مثلثی افزایش ۲۵ درصدی داشت.

واژه‌های کلیدی: سرریز منقاری، پلان مثلثی، دبی جریان، پلان منحنی و فلوئنت.

مقدمه

بهینه‌سازی مصرف آب، مدیریت و حفاظت از منابع آب نقش به‌سزایی 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 به منظور تخلیه، اندازه‌گیری و کنترل سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آن‌جا که حجم جریان عبوری از سرریز تابع طول و شکل تاج سرریز می‌باشد، 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 سرریز جریان در یک عرض معین، استفاده از سرریزها با پلان غیرخطی نظیر مثلثی، ذوزنقه‌ای، دایره‌ای، سهموی و ... می‌باشد که به آن‌ها سرریزهای چند وجهی، کنگره‌ای و یا زیگزاگی گفته می‌شود و معمولا به‌صورت یک سیکل یا چند سیکل ساخته می‌شوند. یکی از انواع سرریزهای با تاج طولانی که بسیار مورد توجه محققان 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 سه متر مکعب در ثانیه توصیه می‌شوند، زیرا برای دبی‌های بزرگ‌تر از سه 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 ارایه شده بر روی سرریز فراهم باشد. در طراحی سرریزهای کنگره‌ای (منقاری)، 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 زمینه سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی تاکنون مطالعات وسیعی در دنیا انجام نگرفته است. تعیین ضوابط طراحی جهت استفاده کاربردی از این سرریزها نیاز به تحقیق و بررسی بیش‌تری دارد. اولین مطالعات در مورد سرریزهای کنگره‌ای توسط Taylor (۱۹۶۸) صورت گرفت که به مطالعه‌ی سرریزهای کنگره‌ای با تاج لبه‌تیز پرداخت. Taylor (۱۹۶۸) و Taylor and Hey (۱۹۷۰) کارایی هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان مثلثی و ذوزنقه‌ای را نسبت به سرریزهای خطی لبه‌تیز مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که کارآیی سرریزهای زیگزاگی با پلان مثلثی از ذوزنقه‌ای مناسب‌تر می‌باشد. Lux and Hinchliff (۱۹۸۵) با توسعه اطلاعات تجربی، نتایج ارزیابی ظرفیت جریان عبوری روی سرریزهای با پلان مثلثی و ذوزنقه‌ای 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 Hey Taylor and است. علت اصلی تفاوت، احتساب ارتفاع آب بالادست به جای انرژی بالادست سرریز با تأثیر بار سرعت بالادست سرریز بوده است. Kumar و همکاران (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 محسوسی می‌یابد. هم‌چنین در این تحقیق روابطی برای محاسبه ضریب دبی جریان با زوایای رأس مختلف ارایه شده است. Crookston and Tullis (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 انجام شده نشان داد که در دبی‌های کم، به‌دلیل تداخل کم تیغه‌های ریزشی ضریب دبی جریان از سرریز خطی بیش‌تر بوده و به تدریج با افزایش دبی جریان، شدت تداخل بیش‌تر می‌شود. این موضوع منجر به کاهش ضریب دبی جریان شده و مقدار آن متمایل به ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه پهن می‌شود. Kumar و همکاران (۲۰۱۳) سرریزهای با پلان قوسی را بررسی کردند. این سرریزها می‌توانند به راحتی و با دقت بالا به‌عنوان یک وسیله اندازه‌گیری استفاده شوند. آن‌ها رابطه‌ای رایج برای محاسبه ضریب دبی را به‌دست آوردند که برای محاسبه C_d برای تمامی مقادیر در محدوده مشخص قابل استفاده می‌باشد. به‌خاطر ظرفیت تخلیه بالای این نوع سرریزها نیاز به ارتفاع آزاد در کانال‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه در این بخش کانال اقتصادی‌تر طراحی می‌شود. هم‌چنین به‌خاطر شکل هندسی ساده طراحی، ساخت و نصب آن حتی در کانال‌های موجود بسیار آسان است. سرریز منحنی با زاویه مرکزی ۹۰□، دارای شکل پلان بهینه می‌باشد. آن‌ها اظهار داشتند با استفاده از سرریز منحنی با حداقل پیچیدگی در طراحی و نصب شاهد افزایش قابل توجهی در ضریب دبی خواهیم بود. قلی‌زاده 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. آن‌ها برای صحت‌سنجی نتایج مدل عددی، از داده‌های آزمایشگاهی (Crookston & Tullis., 2012) استفاده نمودند، مقایسه نتایج نشان داد که انطباق خوبی بین نتایج روش عددی و آزمایشگاهی برقرار است. خوش‌بین و همکاران (۱۳۹۳) مدلی ریاضی جهت پیش‌بینی ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مثلثی با استفاده از شبکه عصبی GMDH و الگوریتم ژنتیک ارایه 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 ارایه شده در برآورد ضریب دبی، شش مدل مختلف با استفاده از GMDH ارایه شد. هم‌چنین از الگوریتم ژنتیک به منظور طراحی بهینه ساختارشبکه عصبی GMDH درقالب بهینه‌سازی دو هدفی استفاده شد. شبکه عصبی GMDH شبکه‌ای خود

سازمان‌ده و یک سویه می‌باشد که از چندین لایه و هرلایه نیز از چندین نرون تشکیل یافته است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تقریبا تمامی مدل‌های ارایه شده به‌منظور برآورد ضریب دبی از دقت خوبی برخوردار هستند. هم‌چنین نتایج نشان داد عدم در نظرگرفتن پارامترعدد فرود سبب برآورد C_d کم‌تری نسبت به سایر حالات می‌باشد. ظهیری (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 ارایه داد. وی برای واسنجی و صحت سنجی (آزمون) رابطه پیشنهادی، از داده‌های آزمایشگاهی Kumar و همکاران (۲۰۱۲) استفاده نمود. مقایسه نتایج محاسباتی این رابطه با مقادیر آزمایشگاهی ضریب دبی سرریزهای قوسی، نشان داد که رابطه پیشنهادی از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد. متوسط خطای رابطه ارایه شده توسط روش برنامه‌ریزی ژنتیک در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی برای ضریب دبی به‌ترتیب ۱/۳۶ و ۱/۶۵ درصد به‌دست آمد. این در حالی است که متوسط خطای رابطه پیشنهادی Kumar و همکاران (۲۰۱۲) برای تخمین ضریب دبی سرریزهای قوسی حدود ۹/۴ درصد بود. 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 دبی جریان به‌صورت عددی بررسی شده و نتایج حاصله با مطالعه‌ی آزمایشگاهی Kumar و همکاران (۲۰۱۲) بر روی سرریز منقاری با پلان منحنی مقایسه شده است.

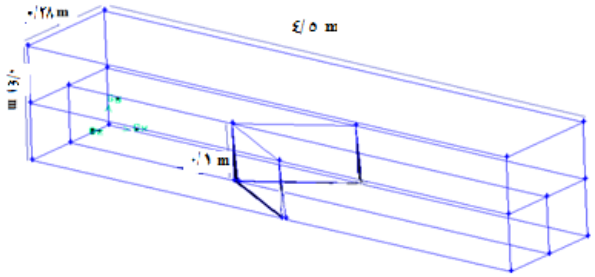
مواد و روش‌ها

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 (Anoymous, 2006). امکان شبیه‌سازی جریان پیرامون سرریز منقاری مثلثی با استفاده از معادلات آشفتگی و حل معادلات سطح آزاد جریان به روش حجم سیال (VOF) مقدور شده و گسسته‌سازی عبارت فشار به روش PISO، گسسته‌سازی عبارت مومنتم به روش جهت‌مند[1] مرتبه دوم انجام شد. تحلیل عددی جریان به‌صورت غیر دائمی صورت گرفته و تا رسیدن به حالت دائمی ادامه می‌یابد، به همین دلیل نیز جریان به‌صورت غیردائمی درنظرگرفته شده است. در این تحقیق شش مدل سرریز منقاری پلان مثلثی با زوایای رأس مختلف در نرم افزار گمبیت طراحی شد و پس از تعیین شرایط مرزی، روش‌های گسسته‌سازی، معادلات حاکم و طرح در نرم‌افزار فلوئنت فراخوانی

[1] Second Order Upwind

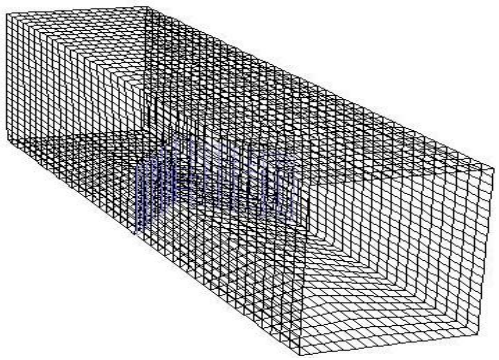
شده و اجرا شد. تمامی مدل‌های طراحی شده در ارتفاع ثابت ۰/۱۵ متر در کانالی به طول ۴/۵ متر، عرض ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۶ متر بررسی شدند. در شکل ۱ مشخصات هندسی مدل‌های عددی ارایه شده است.



شکل ۱: تعریف هندسه مسأله برای مدل‌سازی

شبکه‌بندی مدل

جهت ایجاد شبکه قابل فراخوانی در نرم‌افزار فلوئنت از نرم‌افزار گمبیت نسخه ۲ و ۴ و ۶ استفاده شده است. پس از طراحی مدل، شبکه‌بندی مورد نیاز تهیه شد. جهت شبکه‌بندی مدل طراحی شده، المان‌های مختلفی در نرم‌افزار گمبیت وجود دارد. در تحقیق حاضر از المان Quad نوع MAP برای شبکه‌بندی هندسه و جهت شبکه‌بندی تمامی حجم‌ها از المان Hex نوع MAP استفاده شد. تعداد شبکه محاسباتی مناسب برای حل عددی که در آن مقدار خطا افزایش پیدا نکند، شبکه‌بندی با ۱۲۸۰۰ سلول محاسباتی جهت حل عددی به‌دست آمد. شکل ۲ نمونه‌ای از سرریز منقاری با پلان مثلثی طراحی شده در نرم‌افزار گمبیت را نشان می‌دهد.

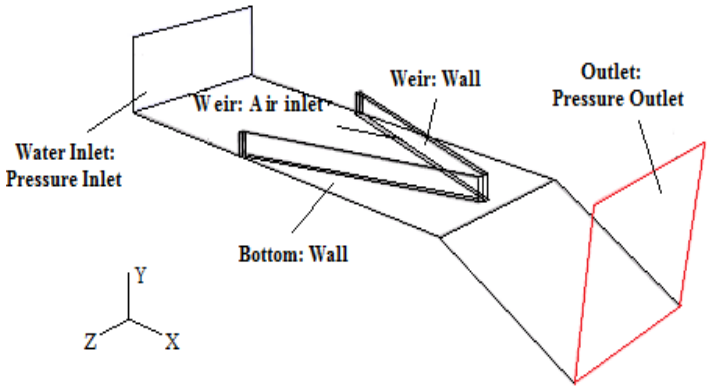


شکل ۲: سرریز منقاری پلان مثلثی طراحی شده در نرم‌افزار گمبیت

شرایط مرزی

شرایط مرزی به صورت فشار ورودی جریان آب و برای مقطع خروجی از فشار خروجی صفر استفاده شد. هم‌چنین با توجه به این‌که سرعت سیال در روی مرزهای جامد $(Z_{min}, y_{min}, x_{min})$ برابر صفر می‌باشد، از شرط مرزی دیواره استفاده شد. هم‌چنین شرط مرزی دیواره (Wall) در بستر و سطح آزاد کانال فشار صفر و شرط مرزی سرعت ورودی برای

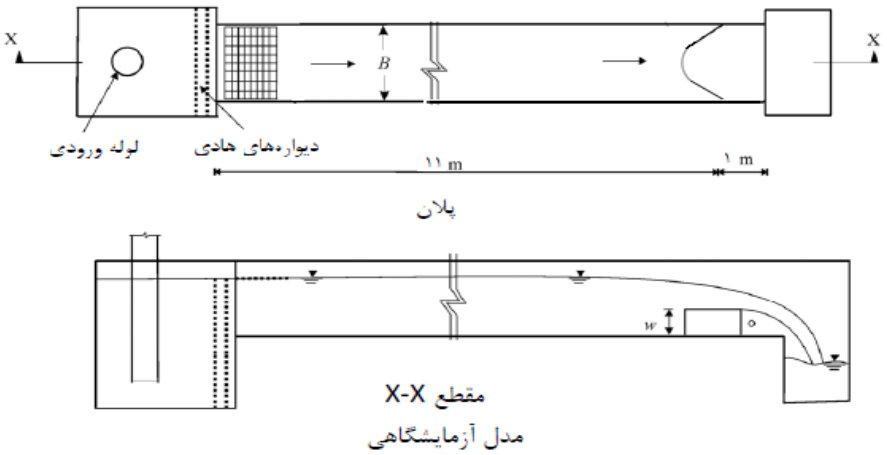
مدل‌سازی جریان هوا (به منظور هوادهی به سرریز) تعریف شد. شرایط اولیه در همه سلول‌های بالادست، فشار ورودی سیال آب بوده و تابع F برابر یک می‌باشد. شکل ۳ شرایط مرزی اعمال شده در مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۳: شرایط مرزی اعمال شده در مدل

مدل آزمایشگاهی

Kumar و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی آزمایشگاهی سرریزهای منقاری با پلان منحنی با زوایای 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 زیربحرانی، آشفته و جریان ریزشی (جریان آزاد) در نظر گرفته شد.



شکل ۴: پلان و مقطع طولی مدل آزمایشگاهی سرریز منقاری با پلان منحنی (Kumar *et al.*, 2012)

بررسی پارامترهای مؤثر بر دبی عبوری در سرریز منقاری

محاسبه‌ی دبی عبوری (Q)

جریان عبوری از روی سرریزهای منقاری دارای ساختار سه بعدی و پیچیده می‌باشد از این رو، امکان حل صریح آن وجود ندارد، لذا برای محاسبه دبی از معادله عمومی سرریزها که به‌صورت معادله زیر می‌باشد، استفاده شد. معادله یک بعدی جریان روی سرریزهای کنگره‌ای 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 هیدرواستاتیکی فشار در محدوده بالادست سرریز و (ج) صرف‌نظر از فشردگی تیغه جریان و افت انرژی به‌صورت زیر به‌دست می‌آید (نیک‌پیک و همکاران، ۱۳۹۰):

رابطه ۱:
$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g}\, L\, H^{3/2}$$

در این رابطه، Q دبی جریان برحسب مترمکعب بر ثانیه، C_d ضریب دبی (بدون بعد)، g شتاب ثقل برابر با ۹/۸۰۶ متر بر مجذور ثانیه، L طول سرریز و H بار آبی روی تاج سرریز برحسب متر می‌باشد. در جدول ۱ و جدول ۲ مشخصات هندسی مدل‌های آزمایشگاهی و عددی مورد استفاده در تحقیق حاضر آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات هندسی مدل‌های آزمایشگاهی (Kumar *et al.*, 2011)

ردیف	زاویه (درجه)	ارتفاع سرریز (متر)	بار هیدرولیکی (متر)	دبی (مترمکعب بر ثانیه)
۱	۳۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۲۰-۰/۰۱۲۵
۲	۶۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۲۱-۰/۰۱۲۰
۳	۹۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۵-۰/۰۱۲۱
۴	۱۲۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۲۱-۰/۰۱۲۴
۵	۱۵۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۲-۰/۰۱۱۳
۶	۱۸۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۲۲-۰/۰۱۰۹

جدول۲: مشخصات هندسی مدل‌های عددی

ردیف	زاویه (درجه)	ارتفاع سرریز (متر)	بار هیدرولیکی (متر)	دبی (مترمکعب بر ثانیه)
۱	۳۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۵-۰/۰۱۲۰
۲	۶۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۷-۰/۰۱۵۲
۳	۹۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۳-۰/۰۱۱۷
۴	۱۲۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۷-۰/۰۱۱۶
۵	۱۵۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۰-۰/۰۱۰۸
۶	۱۸۰	۰/۱۰	۰/۰۳-۰/۲	۰/۰۰۱۶-۰/۰۱۰۲

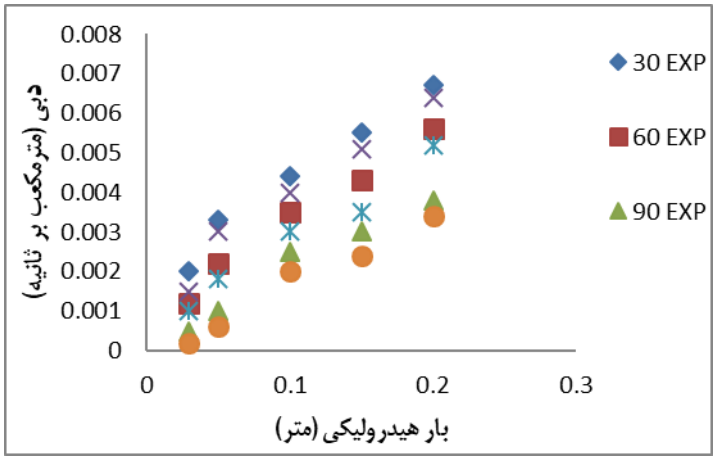
جدول ۳: مشخصات کلی مدل‌های شبیه‌سازی اجرا شده

زاویه رأس (θ)□	بار آبی (سانتی‌متر)	عرض کانال (سانتی‌متر)	ارتفاع سرریز (سانتی‌متر)	الگوریتم به‌کار رفته	مدل جریان چند فازی	شرایط مرزی ورودی	شرایط مرزی خروجی
۳۰	۳ ۵ ۱۰ ۱۵ ۲۰	۵۰	۰/۱۰	PISO	VOF	Pressure inlet	Pressure outlet
۶۰	۳ ۵ ۱۰ ۱۵ ۲۰	۵۰	۰/۱۰	PISO	VOF	Pressure inlet	Pressure outlet
۹۰	۳ ۵ ۱۰ ۱۵ ۲۰	۵۰	۰/۱۰	PISO	VOF	Pressure inlet	Pressure outlet

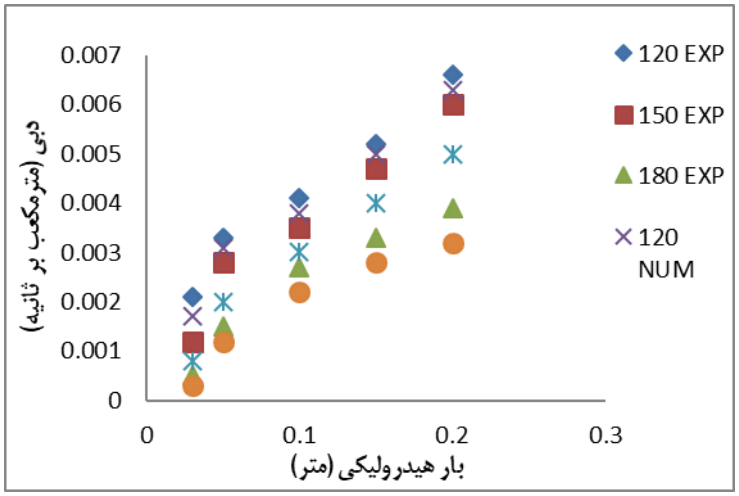
نتایج و بحث

تأثیر زاویه رأس بر دبی عبوری

برای بررسی تأثیر زاویه رأس سرریز بر دبی جریان عبوری، سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی با زاویه 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 دبی جریان عبوری از روی سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی به‌ازای ارتفاع بارهای آبی مختلف مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.



شکل ۵: مقایسه تغییرات دبی جریان عبوری از روی سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی



شکل ۶: مقایسه تغییرات دبی جریان عبوری از روی سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی

سرریزهای منقاری طول مؤثر بیش‌تری داشته و به این ترتیب همان‌گونه که از شکل ۸ و ۷ نیز مشخص است، دبی بیش‌تری در مقایسه با دیگر سرریزهای نرمال از خود عبور می‌دهند. با توجه به نمودارهای بالا، به‌خوبی می‌توان نتیجه گرفت که هر چه زاویه رأس کاهش یابد، طول سرریز کم‌تر شده و دبی عبوری از روی سرریز نیز کاهش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش زاویه θ و با وجود افزایش ضریب دبی، به‌دلیل کاهش طول مؤثر سرریز، دبی عبوری از روی سرریز منقاری کاهش می‌یابد. با توجه به شکل‌های بالا نتیجه می‌شود سرریز منقاری با پلان منحنی دارای ظرفیت عبوری بیش‌تری نسبت به سرریز منقاری با پلان مثلثی می‌باشدو عملکرد هیدرولیکی سرریزهای منقاری با پلان منحنی نسبت به سرریزهای منقاری پلان مثلثی مناسب‌تر می‌باشد. یکی از اهداف اصلی و مهم از انجام این تحقیق یافتن بازه‌ای است که در آن محدوده، دبی جریان به‌ازای تغییرات $\frac{H}{P}$ های مختلف بیش‌ترین دبی را از خود عبور دهد. مقایسه‌های انجام شده نشان داد که در تمامی

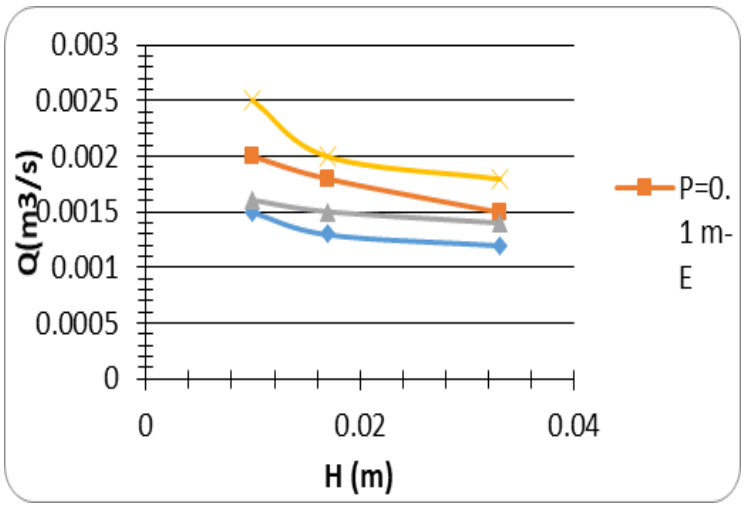
مدل‌های مورد بررسی سرریزهای منقاری با پلان مختلف، در محدوده‌ی $\frac{H}{P}>0.25$ دبی جریان به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد. در جدول ۴ نمونه‌ای از مقادیر حاصل از اجرای مدل‌های عددی و آزمایشگاهی آورده شده است.

جدول ۴: مقادیر حاصل از اجرای مدل‌های عددی و آزمایشگاهی

نتایج حاصل از مدل‌های عددی			نتایج حاصل از مدل‌های آزمایشگاهی		
زاویه (درجه)	H/P	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	زاویه (درجه)	H/P	دبی (مترمکعب بر ثانیه)
۳۰	۰/۱	۰/۰۰۱۵	۳۰	۰/۱	۰/۰۰۲
۳۰	۰/۱۷	۰/۰۰۳۰	۳۰	۰/۱۷	۰/۰۰۳۳
۶۰	۰/۱	۰/۰۰۱۳	۶۰	۰/۱	۰/۰۰۱۸
۶۰	۰/۱۷	۰/۰۰۲۵	۶۰	۰/۱۷	۰/۰۰۳
۹۰	۰/۱	۰/۰۰۱۲	۹۰	۰/۱	۰/۰۰۱۵
۹۰	۰/۱۷	۰/۰۰۲۲	۹۰	۰/۱۷	۰/۰۰۲۶
۱۲۰	۰/۱	۰/۰۰۱۰	۱۲۰	۰/۱	۰/۰۰۱۳
۱۲۰	۰/۱۷	۰/۰۰۳۱	۱۲۰	۰/۱۷	۰/۰۰۳۳
۱۵۰	۰/۱	۰/۰۰۱۰	۱۵۰	۰/۱	۰/۰۰۱۲
۱۵۰	۰/۱۷	۰/۰۰۲۴	۱۵۰	۰/۱۷	۰/۰۰۲۸
۱۸۰	۰/۱	۰/۰۰۱۰	۱۸۰	۰/۱	۰/۰۰۱۱
۱۸۰	۰/۱۷	۰/۰۰۲۰	۱۸۰	۰/۱۷	۰/۰۰۲۴

تأثیر ارتفاع سرریز منقاری با پلان‌های مختلف بر دبی جریان

در شکل ۷ روند تغییرات دبی جریان به‌ازای تغییرات ارتفاع سرریز (P) نشان داده شده است. در تحقیق حاضر سرریز منقاری انتخاب شده به عنوان سرریز بهینه در دو ارتفاع ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر به‌ازای بارهای هیدرولیکی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که از شکل ۷ نیز مشخص است، با افزایش ارتفاع سرریز منقاری با پلان‌های مختلف دبی جریان عبوری به‌ازای تغییرات بار هیدرولیکی افزایش می‌یابد، به‌طوری که این روند افزایش در سرریزهای منقاری با پلان منحنی در مقایسه با پلان مثلثی بیش‌تر می‌باشد.



شکل ۷: تأثیر تغییر ارتفاع سرریز منقاری بر روی دبی جریان

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 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 کم‌تر شده و دبی عبوری از روی سرریز نیز کاهش می‌یابد.

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

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

به‌طور کلی با توجه به شکل‌های ۷ و ۸ و نتایج به‌دست آمده می‌توان اظهار نمود که دبی عبوری از روی سرریزهای منقاری با پلان منحنی در مقایسه با سرریزهای منقاری با پلان مثلثی افزایش یافته 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 نتایج سایر محققان

در جدول ۶ مقادیر دبی جریان عبوری حاصل از بررسی عددی سرریز منقاری پلان مثلثی با نتایج به‌دست آمده از مطالعات صورت گرفته بر روی سرریزهای منقاری (کنگره‌ای) با پلان منحنی سایر محققان بررسی شده است. از آنجا که هنوز گزارش‌های مستندی در خصوص طرح سرریزهای منقاری مشاهده نشده، مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج مشابه دیگر امکان‌پذیر نمی‌باشد. 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.

جدول۶: مقایسه ضریب دبی جریان انواع سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی شکل

نام محقق	نوع سرریز	شرایط جریان	مقدار دبی
قدسیان و شنوایی (Ghodsian & Shenavaie, 2001)	سرریز کنگره‌ای مثلثی با شکل تاج ربع دایره	$0<\frac{H}{P}<0.7$ $0°<\theta<11°$	۰/۰۰۰۴۲۰-۰/۰۲۶
یاسی و محمدی (Yasi & Mohammadi, 2007)	سرریز زیگزاگی با پلان قوسی	$0.2<\frac{H}{P}<0.4$	۰/۰۲۱۶-۰/۰۵۲۸
کومار و همکاران (Kumar et al., 2011)	سرریز منقاری با پلان منحنی	$0<\frac{H}{P}<0.7$ $30°<\theta<180$	۰/۰۰۲۰-۰/۰۱۰۹
تحقیق حاضر (Recent Research, 2016)	سرریز منقاری با پلان مثلثی	$0.1<\frac{H}{P}<0.67$ $30°<\theta<180°$	۰/۰۰۱۵-۰/۰۱۰۲

نتایج ارزیابی به‌صورت خلاصه عبارتند از: الف) تفاوت کارایی سرریزهای با پلان قوسی و مثلثی در نسبت‌های متفاوت $\frac{H}{P}$ ناچیز بوده و تغییرات معنی‌داری ندارد. به نظر می‌رسد در محدوده‌ی $۰/۲ <\frac{H}{P}<۰/۴$ سرریز زیگزاگی با پلان قوسی عملکرد بهتری داشته باشد. ب) سرریز منقاری با پلان منحنی با نسبت $۰<\frac{H}{P}<۰/۷$ از کارایی هیدرولیکی بهتری نسبت به سرریز منقاری با پلان مثلثی برخوردار است. به‌عبارت دیگر، با وجود اینکه زاویه دیواره واگرای کانال پایین‌دست سرریز قوسی (α) کوچک‌تر از سرریز معادل مثلثی است، ولی تأثیر قوس دماغه سرریز در کنترل شدت آشفتگی جریان ریزشی و افزایش راندمان جریان غالب است. ج) برای زاویه رأس معین، طول تاج سرریز در سرریزهای با پلان منحنی کم‌تر از سرریز معادل با پلان مثلثی است. برای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز (h)، سرریز منقاری بیش‌ترین Q را دارد. در محدوده‌ی جریان آزاد $\frac{H}{P} \leq ۰/۳$ سرریز کنگره‌ای با پلان قوسی بیش‌ترین q و Q را دارا می باشد.

نتیجه‌گیری

سرریزهای منقاری با پلان‌های هندسی مثلثی و منحنی از انواع سازه‌های هیدرولیکی جهت کنترل، تنظیم و تخلیه جریان در یک عرض محدود می‌باشند. در این تحقیق، تأثیر هندسه سرریز منقاری با پلان مثلثی بر دبی جریان به‌صورت عددی و با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت و مدل آشفتگی k-ε روش RNG مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل با نتایج به‌دست آمده از مطالعه‌ی آزمایشگاهی جریان بر روی سرریز منقاری با پلان منحنی (Kumar *et al.*, 2012) مقایسه گردید.

نتایج نشان داد سرریزهای منقاری (با پلان‌های متفاوت) دربارهای هیدرولیکی کم، عملکرد مناسبی داشته و دبی جربان روندی صعودی را طی می‌کند. نتایج حاصل نشان داد که سرریز منقاری با پلان منحنی با نسبت $۰<\frac{H}{P}<۰/۷$ از کارایی هیدرولیکی بهتری نسبت به سرریز منقاری با پلان مثلثی برخوردار است و لذا سرریز منقاری با پلان منحنی دارای ظرفیت عبوری بیش‌تری نسبت به سرریز منقاری با پلان مثلثی می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان اظهار نمود سرریز منقاری با پلان منحنی بیش‌ترین دبی را در مقایسه با پلان مثلثی دارد. با توجه به مقایسه‌های 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 می‌رساند.

منابع

خوش‌بین، ف.، ابتهاج، ع.، بنکداری، ح. و لشته نشایی، م. ا. (۱۳۹۳). ارائه مدل ریاضی جهت پیش‌بینی ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مثلثی با استفاده از شبکه عصبی GMHD و الگوریتم ژنتیک. سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تبریز.

ظهیری، ع. (۱۳۹۴). استخراج رابطه ضریب دبی در سرریزهای قوسی به کمک روش برنامه‌ریزی ژنتیک. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۲، جلد ۹، ص ۳۳۴-۳۲۳.

قلی‌زاده، ع.، قدسیان، م.، پناهی، ر. و سنگ سفیدی، ی. (۱۳۹۳). بررسی عددی اثر شکل تاج بر روی ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای. سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تبریز.

نیک پیک، پ.، کاشفی‌پور، س. م. و ملتجی، ا. (۱۳۹۰). بررسی اثر ابعاد هندسی سرریز لبه تیز نوک اردکی روی ضریب دبی. همایش ملی سازه، راه، معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس.

Zahraeifard, V. and Talebeydokhti, N. (2012). Numerical simulation of turbulent flow over labyrinth spillways/weirs. International Journal of Science and Tecnology. 22(5), pp: 1734-1741.

Taylor, G. (1968). The performance of labyrinth weir. PhD Thesis University of Nottingham Nottingham England.

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

Lux, F. L. and Hinchcliff, D. (1985). Design and construction of labyrinth spillways. International Congress on Large Dams. ICOLD Paris France 4(15), pp: 249-274.

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, pp:175–180.

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.

Crookston, B. M. and Tullis, B. P. (2012). Discharge efficiency of reservoir application specific labyrinth weirs. Journal of Irrigation and Drainage Engr ASCE 138(6): 773-776.

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 (IJRTE) 2(1): 2277-3878.

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.

Anoymous. (2006). Fluent 6.3 User's Guide. Chap 23. Fluent Incorporated Lebanon.