

استخراج رابطه ضریب دبی در سرریزهای قوسی به کمک روش برنامه‌ریزی ژنتیک

عبدالرضا ظهیری¹

تاریخ دریافت: 1393/11/15 تاریخ پذیرش: 1394/3/20

چکیده

سرریزهای قوسی در پلان به دلیل شرایط هیدرولیکی خاص و طول تاج بلند، قابلیت مناسبی در تنظیم مؤثر تراز سطح آب در کانال‌ها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی است. همچنین این سرریزها با ایجاد تلاطم بیشتر در پایین دست خود، شرایط هیدرولیکی بهتری از نظر زیست‌محیطی برای رودخانه‌ها فراهم می‌نمایند. تاکنون در زمینه تخمین ضریب دبی این سرریزها و نیز استخراج رابطه دبی-اشل آن‌ها تحقیقات بسیار کمی انجام شده است. در این تحقیق به کمک روش نوین بهینه‌سازی برنامه‌ریزی ژنتیک، رابطه‌ای بدون بعد بر اساس پارامترهای زاویه قوس سرریز و نسبت بار آبی سرریز به ارتفاع آن برای برآورد ضریب دبی این سازه‌ها ارائه شده است. برای واسنجی و صحت‌سنجی (آزمون) رابطه پیشنهادی، از داده‌های آزمایشگاهی کومار و همکاران استفاده شده است. مقایسه نتایج محاسباتی این رابطه با مقادیر آزمایشگاهی ضریب دبی سرریزهای قوسی نشان داد که رابطه پیشنهادی از دقت بسیار مناسبی برخوردار می‌باشد. متوسط خطای رابطه ارائه شده توسط روش برنامه‌ریزی ژنتیک در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی برای ضریب دبی به ترتیب 1/36 و 1/65 درصد به دست آمد. این در حالی است که متوسط خطای رابطه پیشنهادی کومار و همکاران برای تخمین ضریب دبی سرریزهای قوسی حدود 9/4 می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم برنامه‌ریزی ژنتیک، بهینه‌سازی، سرریز، ضریب دبی جریان

مقدمه

متقاری یا نوک اردکی⁵ و سرریزهای قوسی⁶ بسیار کاربردی بوده و در تنظیم و مدیریت تحویل آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی نقشی اساسی ایفا می‌کنند. این سرریزها عموماً عمود بر مسیر اصلی جریان نصب می‌شوند. تاکنون از بین سرریزهای با تاج طویل که کاربرد زیادی داشته‌اند، سرریزهای کنگره‌ای و به ویژه نوع خاص آن سرریز نوک اردکی با استقبال بسیار بیش‌تری در صنعت آب و فاضلاب و به ویژه در شبکه‌های آبیاری همراه بوده‌اند. سرریزهای مایل نیز با استقبال کم‌تر نسبت به سرریزهای نوک اردکی، کاربرد نسبتاً زیادی در کانال‌های آبرسان داشته‌اند.

این سرریزها به دلیل دارا بودن تاج طویل، دارای قابلیت بسیار خوبی برای تنظیم سطح آب در بالادست دریچه‌های آبیگیر بوده و باعث می‌شوند دبی جریان ورودی به کانال‌های فرعی و مزرعه با دقت بیش‌تری تنظیم شود. این کار باعث به حداقل رساندن مشکلات ناشی از تحویل دبی به صورت مازاد یا کمبود خواهد شد.

علاوه بر مزایای هیدرولیکی سرریزهای با تاج طولانی، این سازه‌ها به دلیل افزایش تلاطم و آشفتگی جریان در پایین دست خود دارای مزیت زیست محیطی نیز می‌باشند. در سدهای مخزنی که دارای نیروگاه برق آبی می‌باشند، ممکن است دبی خروجی از نیروگاه بسیار

سرریزها، سازه‌های هیدرولیکی مهمی هستند که برای اندازه‌گیری دبی جریان و نیز کنترل سطح آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، مخازن سدها، سیستم‌های تصفیه فاضلاب و کنترل سیل رودخانه‌ها کاربرد وسیعی دارند. این سازه‌ها به همراه دریچه‌ها از اجزاء مهم و کلیدی در مدیریت آب در کانال‌های آبیاری می‌باشند. سرریزها دارای انواع مختلفی بوده و برای کاربردهای مختلف، شکل‌های خاصی از سرریزها ارائه شده است. سرریزهای لبه تیز، لبه پهن، جانبی، اوجی، نیلوفری، پلکانی، قائم و ... از انواع مهم سرریزهای مورد استفاده در مباحث مختلف مهندسی آب و عمران است. به دلیل تنوع بسیار زیاد سرریزها، معمولاً تقسیم‌بندی‌های زیادی برای این سازه‌ها در نظر گرفته شده است. در شکل 1، تقسیم‌بندی سرریزها بر اساس نحوه قرارگیری در پلان نشان داده شده است. از میان سرریزهای نشان داده شده در این شکل، سرریزهای با تاج طویل² (شامل سرریزهای مایل³، سرریزهای زیگزاگی یا کنگره‌ای⁴، سرریزهای

1- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

Email: zahiri@gau.ac.ir

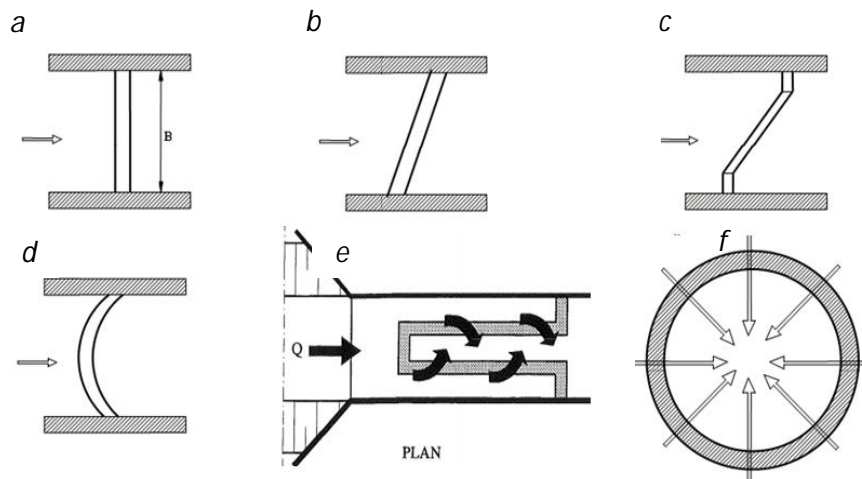
2- Long-Crested Weirs

3- Oblique Weirs

4- Labyrinth Weirs

5- Duckbill Weirs

6- Curved Weirs



شکل 1- تقسیم‌بندی سرریزها از نظر نحوه قرارگیری در پلان: (a) سرریز نرمال یا استاندارد، (b) سرریز مایل، (c) سرریز z شکل، (d) سرریز قوسی، (e) سرریز نوک اردکی و (f) سرریز نیلوفری

دبی‌های مختلف جریان عبوری از کانال اصلی، نسبت به سرریزهای معمول دارای کارایی بیشتری از نظر کنترل تراز سطح آب در جلوی آبگیر مزرعه می‌باشد. به طور کلی در زمینه سرریزهای قوسی تاکنون مطالعات محدودی در دنیا انجام شده است. اغلب این مطالعات در سرریزهای اوجی و برای سدهای مخزنی و بندهای انحرافی انجام شده است (طوفانی موقر، 1392). این سرریزها در سدهای مخزنی احداث شده بر رودخانه‌های با شیب طولی بسیار کم و نیز حوضه‌های که دارای بارندگی‌های سیل‌آسا می‌باشند، از کاربرد بسیار خوبی برخوردار بوده‌اند. در این شرایط، این سرریزها بار آبی روی تاج سرریز را به میزان بسیار زیادی کاهش داده و باعث خسارت بسیار کم سیلاب در مناطق و اراضی بالادست سد مخزنی شده‌اند. هم‌چنین این سرریزها باعث می‌شوند طول حوضچه آرامش در پایین دست سرریز به میزان قابل توجهی کاهش یابد (Chanson, 2003).

برای اولین بار آستانا و همکاران با مطالعه آزمایشگاهی سرریزهای قوسی با زاویه 70 تا 113 درجه، هیدرولیک جریان در این سرریزها و نیز ضریب دبی آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش انحناء سرریز، ضریب دبی کاهش می‌یابد اما به دلیل افزایش قابل توجه طول تاج سرریز، به طور کلی دبی عبوری از سرریز افزایش می‌یابد (Asthana et al, 1961). این محققین رابطه‌ای تجربی برای تخمین ضریب دبی سرریزهای قوسی ارائه دادند که مطابقت خوبی با داده‌های اندازه‌گیری داشته است. طرح به‌کارگیری قوس و انحنا در بندها و کالورت‌ها به صورت کاربردی برای نخستین بار توسط مک‌کی با هدف ساخت سازه‌ای که تحت بار آبی ثابت، دارای حداقل اتلاف انرژی باشد ارائه شد. وی با ساخت مدل فیزیکی این سرریز، روش طراحی سرریزهای قوسی در سدها و

هم‌چنین با توجه به اینکه انرژی این آب توسط توربین نیروگاه جذب شده است، جریان خروجی از نیروگاه با سرعت و آشفتگی بسیار کمی وارد رودخانه شده و اکسیژن محلول در آب که عامل اصلی زندگی موجودات رودخانه است، به شدت کاهش می‌یابد.

یکی از بهترین و ساده‌ترین راهکارهای احیاء سیستم رودخانه و افزایش اکسیژن محلول در آن، استفاده از سرریزهای طویل و به‌ویژه سرریز کنگره‌ای است. این سرریزها با توجه به تاج طولانی که دارند حتی در دبی‌های کم جریان، تلاطم جریان را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهند.

علی‌رغم این مزایا، سرریزهای با تاج طولانی از نظر دقت اندازه‌گیری دبی جریان عبوری دارای محدودیت می‌باشند. با توجه به طول زیاد تاج در این سرریزها، به ازاء دبی‌های معمول در شرایط کاربردی، بار آبی روی سرریز معمولاً قابل توجه نیست. بنابراین اندازه‌گیری و قرائت دقیق بار آبی روی سرریز مشکل بوده و با خطای نسبتاً زیادی همراه خواهد بود. به همین دلیل این گونه سرریزها برای اندازه‌گیری دبی جریان مناسب نبوده و توصیه نمی‌شوند. هم‌چنین سرریزهای طویل در جایی که جریان آب در کانال حاوی رسوبات شن و ماسه زیادی باشد، باعث تجمع و ته‌نشینی رسوبات در جلوی سرریز شده و کاربرد سرریز در تنظیم سطح آب بالادست را مختل می‌کند. به همین دلیل موسسه تحقیقات و آموزش آبیاری توصیه نموده است که در دهانه بالادست سرریزهای نوک اردکی، دریچه‌ای برای تخلیه رسوبات در نظر گرفته شود (ITRC, 2007).

یکی از انواع سرریزهای با تاج طولانی که اخیراً مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است، سرریز قوسی در پلان است که طول تاج آن از سرریز استاندارد قائم بیشتر است. بنابراین می‌تواند در

مطالعه در زمینه سرریزهای قوسی انجام شده است، اما توجه بسیار کمی به استخراج روابط یا منحنی‌های کاربردی برای تعیین ضریب دبی این سرریزها و در نتیجه رابطه دبی-اشل آن‌ها شده است. در این مقاله با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی کومار و همکاران، رابطه بدون بعد و دقیقی برای برآورد ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز قوسی در کانال‌ها ارائه شده است. به این منظور از روش برنامه‌ریزی بیان ژنی استفاده شده و نتایج آن با داده‌های آزمایشگاهی و نیز روابط رگرسیونی پیشنهادی کومار و همکاران مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

رابطه دبی-اشل جریان در سرریزها

رابطه کلی و عمومی سرریزها (با هر نوع شکل و هندسه) توسط محققین زیادی به صورت زیر ارائه شده است. با توجه به عدم همگن بودن دو سمت رابطه از نظر ابعادی، در نظر گرفتن واحد مناسب برای کمیت‌ها الزامی بوده و برای انواع سیستم‌های آحادی باید دقت شود.

$$Q = CLh^{1.5} \quad (1)$$

که Q دبی جریان عبوری از سرریز، L طول تاج سرریز، h هد یا بار آبی روی سرریز و C ضریب دبی سرریز است. به طور کلی، مهمترین فاکتور در محاسبه دقیق دبی عبوری از سرریز با هر شکل خاص، تخمین مناسب ضریب دبی سرریز است. ضریب دبی برای انواع مختلف سرریزها متفاوت بوده و برای تعیین این ضریب، معمولاً از داده‌های آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل رگرسیونی داده‌ها استفاده می‌شود.

برای محاسبه ضریب دبی در سرریزهای استاندارد (نرمال) که به صورت مستقیم و عمود بر مسیر جریان در عرض کانال احداث می‌شوند، تاکنون روابط، جداول و نمودارهای متعددی توسط محققین مختلف ارائه شده است. پیچیدگی مهم این ضریب این است که معمولاً برای انواع مختلف سرریزها، دارای مقدار ثابتی نبوده و علاوه بر وابستگی به هندسه کانال و سرریز، به بار آبی روی سرریز نیز بستگی دارد که محاسبه آن را در شرایط کلی مشکل می‌نماید.

فرم کلی رابطه تغییرات ضریب دبی در شرایط جریان آزاد برای یک سرریز لبه‌تیز به صورت زیر ارائه شده است (Kindsvater and Carter, 1959):

$$C = f\left(\frac{h}{p}, \frac{L}{B}, E\right) \quad (2)$$

که p ارتفاع سرریز، B عرض کانال اصلی و E شیب وجه بالادست سرریز است. در حالتیکه سرریز قائم باشد ($E=1$) و عرض

سرریز برابر با عرض کانال باشد ($\frac{L}{B}=1$)، روابط متعددی برای محاسبه ضریب دبی در سرریزهای مستطیلی لبه‌تیز ارائه شده است.

بندهای انحرافی را معرفی نمود که به سرریزهای MEL¹ معروف شدند. این سرریزها در حالت وقوع سیلاب، دبی جریان را با بار آبی (پروفیل برگشتی) بسیار کم و با کمترین میزان انرژی جنبشی در حوضچه آرامش عبور می‌دهند (McKay, 1971). یانگ به منظور بهینه‌سازی طرح و ابعاد سرریز قوسی سد واتن‌فال، این سرریز را در شرایط مختلف هیدرولیکی به صورت فیزیکی مدل‌سازی نمودند. ضریب دبی این سرریزها تا 35 درصد بیش‌تر از سرریزهای اوجی گزارش شد (Yang, 1999). خسروجردی و شاه محمد مهرجردی (1386) به بررسی هیدرولیکی سرریزهای لبه پهن قوسی پرداخته و نتیجه گرفتند که در این سرریزها با افزایش انحنای قوس، ضریب دبی کاهش می‌یابد. هوداک و همکاران به منظور بازسازی سرریز اضطراری سدی در کشور گرجستان، از طرح سرریز قوسی پلکانی بهره گرفتند. برای افزایش دبی سیلاب طراحی این سد، امکان افزایش ارتفاع سد و نیز افزایش عرض سرریز وجود نداشت و راه‌حل بهینه، احداث یک سرریز قوسی پلکانی بود. این طرح سرریز با ایجاد حداکثر طول تاج برای عبور دبی جریان با عرض ثابت سرریز اولیه، برای تخلیه سیلاب سازه مناسبی می‌باشد. علاوه بر این از نظر هزینه اجرا، مسائل زیست‌محیطی و فنی نیز مناسب‌تر است. مارگریسون با استفاده از مدل ریاضی FLUENT و با انجام برخی ساده‌سازی‌ها، الگوی جریان در سرریز قوسی واتن‌فال را شبیه‌سازی نمود. نتایج این مطالعه مطابقت خوبی با داده‌های آزمایشگاهی و صحرائی داشته است (Margeirsson, 2007). آشور و همکاران به بررسی آبشستگی پایین دست انواع سرریزها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که سرریز قوسی با انحنای پایین دست دارای کمترین میزان آبشستگی و نیز کمترین ضریب دبی نسبت به سایر سرریزها (اوجی، استاندارد و قوسی بالادست) است. همچنین سرریز قوسی با انحنای بالادست به دلیل تمرکز خطوط جریان در وسط سرریز، دارای بیشترین ضریب دبی و در نتیجه بیشترین عمق آبشستگی است (Ashour et al, 2008). کومار و همکاران با انجام چند سری آزمایش با زوایای مختلف، رابطه رگرسیونی ساده‌ای برای تخمین ضریب دبی این سرریزها ارائه نمود. این محققین دریافتند که سرریزهای با زاویه 90 درجه بیشترین ضریب دبی را دارند. این ضریب حدود 40 درصد از ضریب دبی سرریزهای استاندارد بیش‌تر است (Kumar et al, 2012). قبادیان و همکاران (1391) با انجام 80 آزمایش، میزان استهلاک انرژی در سرریزهای قوسی پلکانی را مورد آزمایش قرار دادند. طوفانی موقر (1392) با مدل‌سازی ریاضی سرریز قوسی سد واتن‌فال به کمک FLOW-3D، الگوی جریان و رابطه دبی-اشل این سرریز را با دقت مناسبی شبیه‌سازی نمودند.

با بررسی مطالعات فوق مشخص می‌شود که اگرچه چندین

رابطه 3 توسط موسسه تحقیقات و آموزش آبیاری امریکا بر حسب سیستم متریک استخراج شده است:

$$C = 1.778 + \frac{h}{p} \quad (3)$$

برای استفاده کاربردی، مقدار تقریبی ضریب دبی حدود 1/85 در نظر گرفته می‌شود.

یکی از راه‌حل‌های مؤثر برای افزایش کارایی سرریزها، افزایش طول تاج سرریز است. با توجه به رابطه عمومی سرریزها، با افزایش طول سرریز و ثابت ماندن دبی جریان در کانال اصلی، بار آبی روی سرریز کوچک خواهد بود. همچنین با افزایش دبی جریان در کانال اصلی که عموماً ناخواسته است، طول زیاد سرریز باعث می‌شود بار آبی روی این سازه دچار نوسان زیادی نشود. برای شرایطی که طول سرریز بسیار بیش‌تر از عرض کانال اصلی باشد، طول تاج سرریز همواره نقش افزایشی در میزان دبی عبوری از سرریز ندارد. در دبی‌های کم (یا بار آبی کم) کل این تاج مؤثر می‌باشد، اما در دبی‌های زیاد که نسبت بار آبی روی سرریز به ارتفاع سرریز بیش از 0/8 باشد، تقریباً طول سرریز با هر شکل دلخواه معادل طول سرریز استاندارد است (Ghare et al, 2008). هلسینگ توصیه نموده است که برای سدهای بلند که سرعت جریان نزدیک شونده (سرعت رسش) کم است، کل طول سرریز در رابطه 1 دخالت داده شود اما در سدهای کوتاه با سرعت رسش قابل ملاحظه، معیار یا رابطه مشخصی برای تاثیر طول مفید سرریز قابل ارائه نیست (Hulsing, 1968).

رابطه دبی-اشل در سرریزهای طویل

با توجه به اهمیت فوق‌العاده سرریزهای طویل در شبکه‌ها و کانال‌های بزرگ، باید رابطه دبی-اشل آن‌ها با دقت مناسبی قابل استخراج باشد. متأسفانه تاکنون تحقیقات جامع و کاملی در این زمینه صورت نگرفته و فقط ضرایبی تجربی برای ضریب دبی این سرریزها در شرایط مختلف معرفی شده است. بسیاری از محققین رابطه عمومی سرریزها را برای سرریزهای طویل صادق دانسته‌اند به شرطی که ضریب دبی و طول تاج سرریز اصلاح شود. معمولاً در شرایط معمول جریان در کانال‌های آبرسان، طول تاج (L) را معادل کل طول تاج سرریز طویل در نظر می‌گیرند اما برای ضریب دبی تاکنون معیار مشخصی ارائه نشده است. کراتز و ماهاجان و نیز قاره و همکاران، ضریب دبی در سرریزهای مایل، نوک اردکی و z شکل با تاج قائم در بالادست را به ترتیب 1/5، 1/42 و 1/37 توصیه نموده‌اند (Kraatz and Mahajan, 1975; Ghare et al, 2008). در حالتی که تاج این سرریزها در بالادست به صورت گردگوشه طراحی و اجرا شود، انکوم مقادیر را به ترتیب 1/68، 1/59 و 1/5 گزارش نموده است (Ankum,)

سرریزهای قوسی در پلان

یکی از مهم‌ترین سرریزهای قوسی موجود در دنیا، سرریز سد و نیروگاه برق‌آبی واتن فال در کشور سوئد می‌باشد. سد خاکی واتن فال با رویه بتنی و با طول 730 متر و ارتفاع 30 متر در راستای رودخانه قرار گرفته است. این سد مجهز به دو سرریز می‌باشد. هر دو سرریز به منظور تخلیه سیلاب‌های احتمالی تعبیه شده‌اند. سرریز ریزشی واتن-فال نمونه‌ای از یک سرریز قوسی همگرا است. هدف اصلی از طراحی این سرریز انتقال سیلاب‌های غیرمترقبه و عظیم به پایین‌دست سد در شرایط وقوع سیلاب است. در شکل 2 نمایی از سرریز قوسی این سد نشان داده شده است. تقریباً بار آبی کم سرریز و در نتیجه پروفیل نه چندان قابل توجه سطح آب در بالادست سرریز در این شکل قابل مشاهده است (طوفانی موقر، 1392).

کومار و همکاران با انجام بررسی‌های آزمایشگاهی فراوان بر روی سرریزهای قوسی با زوایای مختلف، رابطه رگرسیونی ساده‌ای را برای محاسبه ضریب آبگذری سرریز قوسی و در نتیجه دبی جریان عبوری از روی این سرریزها ارائه نمودند (Kumar et al, 2012):

$$C = a + b \left(\frac{h}{p} \right) \quad (4)$$

که a و b ضرایب این رابطه می‌باشند. این ضرایب با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی به صورت زیر به دست آمده‌اند:

$$a = (-0.074\theta^2 + 0.245\theta + 0.656) \quad (5)$$

$$b = (0.049\theta^2 - 0.257\theta - 0.010)$$

که θ زاویه قوس سرریز (بر حسب رادیان) می‌باشد.

با توجه به اساس استخراج رابطه فوق که بر پایه رگرسیون غیرخطی است، انتظار می‌رود دقت این رابطه در تمامی شرایط هیدرولیکی و هندسی سرریزهای قوسی قابل توجه نباشد. بر این اساس و با توجه به پیشرفت خیره‌کننده روش‌های بهینه‌سازی، در این تحقیق از یک روش نوین و پرکاربرد به نام برنامه‌ریزی ژنتیک به منظور استخراج رابطه‌ای ساده و دقیق برای محاسبه ضریب آبگذری سرریزهای قوسی استفاده خواهد شد.



شکل 2- نمایی از سرریز قوسی سد واتن فال در زمان تخلیه سیلاب (طوفانی، 1392)

یک ساختار درختی ارائه شده است. فرم ریاضی این تابع نیز استخراج شده است.

طبق نظر چپرفیلد و فلمینگ، فرآیند گام به گام برنامه‌ریزی ژنتیک با ایجاد یک جمعیت اولیه به صورت تصادفی از توابع مدل‌های پیش‌بینی شروع می‌شود. سپس هر یک از افراد جمعیت مذکور با استفاده از توابع برازش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با هر تولید مثل، یک جمعیت جدید انتخاب می‌شود. این انتخاب با انجام مراحل زیادی از قبیل انتخاب یکی از عملگرهای عبور، جهش و کپی، انتخاب تعداد مناسبی از افراد جمعیت حاضر، استفاده از عملگر انتخابی برای تولید فرزند، معرفی فرزند در یک جمعیت جدید و ارزیابی مدل مورد نظر با استفاده از برازش‌های مختلف صورت می‌گیرد. در نهایت مراحل فوق منجر به حصول حداکثر تعداد تولید تکرار می‌شوند. برازش هر یک از کروموزوم‌ها یا افراد جمعیت تولید از رابطه زیر قابل ارزیابی است (Chipperfield and Fleming, 1995):

$$f_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |X_j - Y_j|^2 \quad (6)$$

که f تابع هدف، X_j مقدار محاسبه شده برای کروموزوم به ازاء تابع برازش j ، Y_j مقدار مورد انتظار کروموزوم به ازاء تابع برازش j و N تعداد توابع برازش می‌باشد. در این تحقیق برای استخراج رابطه‌ای کاربردی و قابل اعتماد از روش برنامه‌ریزی ژنتیک، داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده به دو بخش آموزش یا واسنجی رابطه (حدود 70% داده‌ها) و آزمون یا صحت‌سنجی رابطه (30% داده‌ها) تقسیم شده‌اند.

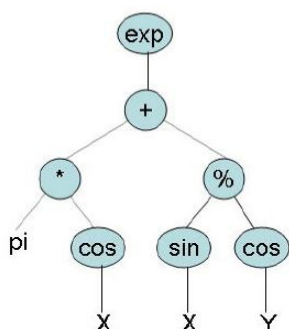
از پارامترهای ارتفاع سرریز، بار آبی روی سرریز و زاویه قرارگیری سرریز قوسی به عنوان متغیرهای ورودی و از پارامتر ضرب دبی سرریز به عنوان متغیر خروجی در این مطالعه استفاده خواهد شد.

روش برنامه‌ریزی ژنتیک

طبیعت همواره مایه الهام محققین در زمینه‌های مختلف برای طراحی و ارائه الگوریتم‌های ریاضی و محاسباتی بوده است. روش برنامه‌ریزی ژنتیک، شاخه‌ای از الگوریتم جستجو و بهینه‌سازی است که برای اولین بار توسط کوزا ارائه شد. در روش برنامه‌ریزی ژنتیک، خروجی پیچیده‌ای بر اساس محاسبات و برنامه‌ریزی کامپیوتری معرفی شد (Koza, 1990). اگرچه ارائه خروجی به صورت برنامه یا مدل بسیار پیچیده‌تر از ارائه یک مقدار برای جواب است اما دارای مزیت بسیار مهمی است به طوری که این خروجی عمومی برای بخش وسیعی از پدیده مورد مطالعه قابل تعمیم خواهد بود. در روش برنامه‌ریزی ژنتیک از سیستم درختی یا شاخه‌ای استفاده می‌شود. هر شاخه نیز از یک مجموعه پایانه (متغیرهای ورودی) و مجموعه توابع (عملگرهای اصلی) تشکیل می‌شود. به این منظور ابتدا بلوک‌هایی که شامل متغیرهای ورودی، تابع هدف و تابع ارتباط دهنده آن‌ها می‌باشد، تعریف و سپس ساختار مناسب مدل و ضرایب آن تعیین می‌گردد.

در شکل 3 مثال ساده‌ای از ساختار درختی و فضای محاسبات در روش برنامه‌ریزی ژنتیک ارائه شده است. در این مثال، عملگرهای +، -، *، %، sin، cos، exp و Sqrt مجموعه توابع و متغیرهای X و Y و نیز کمیت‌های ثابت $1, 2, 3, 4$ و 5 مجموعه پایانه را تشکیل می‌دهند. در تابع یا مدل نهایی، ارتباط عملگرها با متغیرها به صورت

Function_Set = [+ , - , * , % , sin , cos , exp , sqrt]
 Arity_Set = [2 , 2 , 2 , 2 , 1 , 1 , 1 , 1]
 Terminal_Set = [X , Y , pi , 1 , 2 , 3 , 4 , 5]



$$f = \exp\left(\pi \cos(X) + \frac{\sin(X)}{\cos(Y)}\right)$$

```
function z = example(X,Y)
    z = exp(pi*cos(X)+(sin(x)/cos(y)));
```

(exp (+ (* pi (cos X)) (% (sin X) (cos Y))))

شکل 3- ساختار درختی ارتباط عملگرها و متغیرها در روش برنامه‌ریزی ژنتیک و نیز رابطه ریاضی نهایی

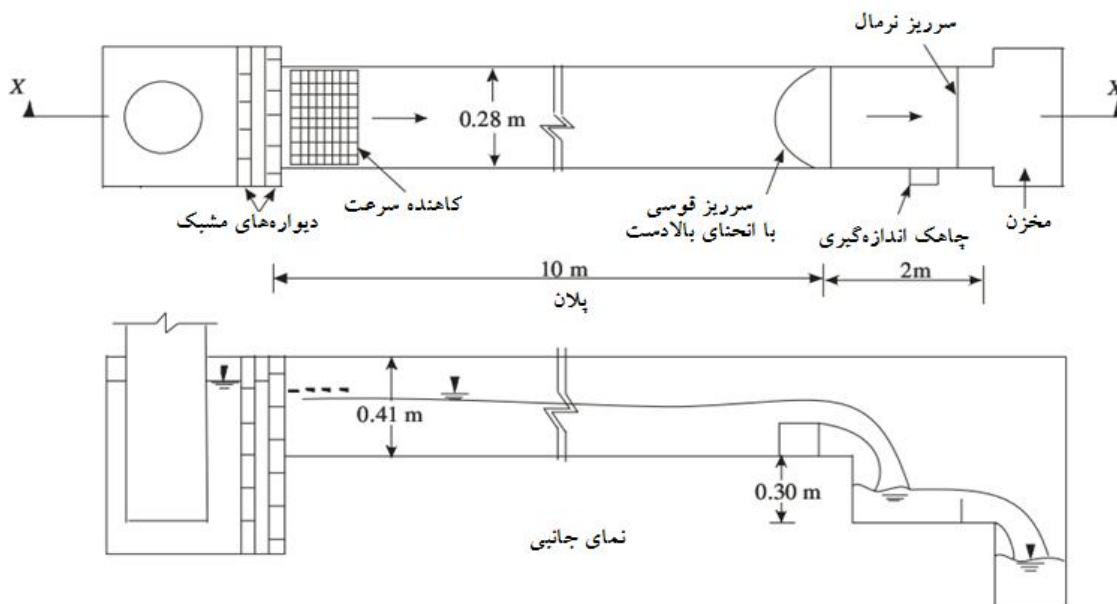
ریزشی (جریان آزاد) در نظر گرفته شده است. در شکل 4، نمای بالا (پلان) و دید از جانب این کانال آزمایشگاهی نشان داده شده است.

نتایج

در شکل 5 نتایج محاسبات ضریب آبگذری سرریز قوسی به کمک رابطه کومار و همکاران در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی نشان داده شده است. نتایج این محاسبات به تفکیک زاویه قوس ارائه شده است.

داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده

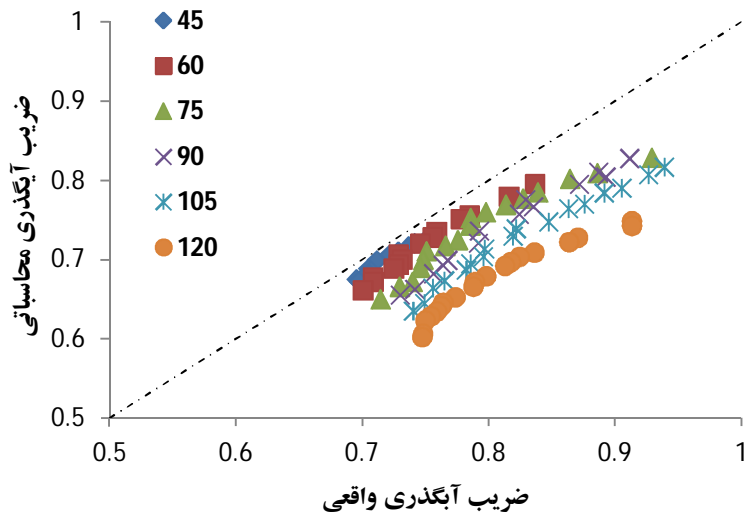
در این تحقیق از داده‌های آزمایشگاهی سرریزهای قوسی در کانال‌ها (کومار و همکاران، 2012) استفاده شده است. این محققین برای انجام تحقیق آزمایشگاهی خود، از یک کانال مستطیلی به عرض 0/28 متر، طول 12 متر و ارتفاع 0/41 متر استفاده نمودند. برای بررسی اثر زاویه قوس، سرریزهای لبه تیز با 6 زاویه انحنای 45، 60، 75، 90، 105، 120 درجه مورد آزمایش قرار گرفته است. ارتفاع تاج سرریز برای تمامی زوایای قوس، 10 سانتی‌متر انتخاب شد. شرایط جریان در تمامی حالات به صورت زیربحرانی، آشفته و جریان



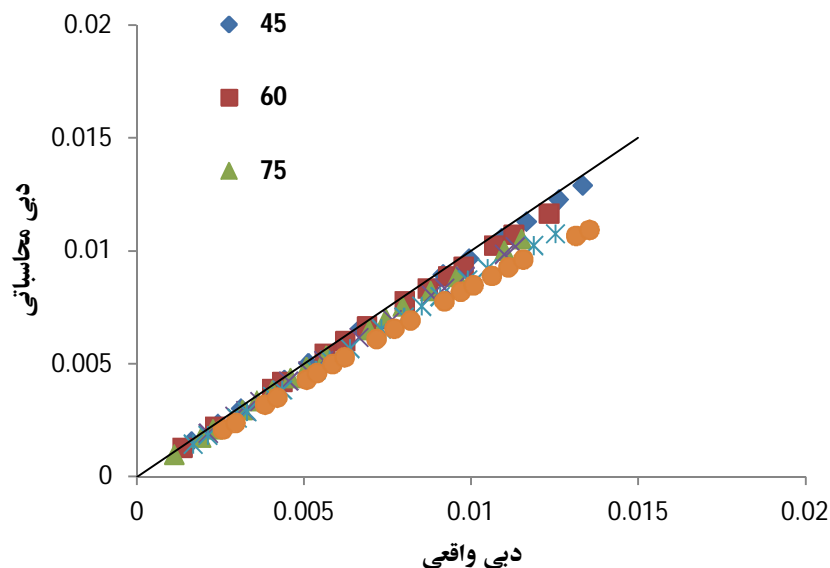
شکل 4- نمایش شماتیک پلان و نمای جانبی کانال آزمایشگاهی و سرریز قوسی (کومار و همکاران، 2012)

آمده است. در شکل 6 نتایج دبی عبوری از سرریز قوسی ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج این محاسبات نسبت به مقادیر واقعی دبی عبوری از سرریز قوسی به ویژه در زاویه 120 درجه دارای خطای زیادی است.

همانطور که مشاهده می‌شود، تمامی نتایج محاسباتی دارای مقادیری کوچک‌تر از داده‌های آزمایشگاهی می‌باشند. همچنین خطای رابطه پیشنهادی کومار و همکاران (2012) با افزایش زاویه سرریز قوسی، افزایش می‌یابد. کم‌ترین و بیش‌ترین درصد خطای متوسط این رابطه در زوایای 45 و 120 درجه به ترتیب حدود 2/74 و 16/25 می‌باشد. حداکثر خطای این رابطه نیز حدود 19/36 درصد به‌دست



شکل 5- مقایسه نتایج ضریب آبگذری بدست آمده از رابطه کومار و همکاران (2012) با داده‌های آزمایشگاهی به ازاء زوایای قوس



شکل 6- مقایسه نتایج دبی جریان عبوری از سرریز قوسی حاصل از رابطه کومار و همکاران (2012) با داده‌های آزمایشگاهی به ازاء زوایای مختلف قوس

واسنجی رابطه پیشنهادی روش برنامه‌ریزی ژنتیک

با توجه به خطای زیاد رابطه کومار و همکاران در برآورد ضریب آبگذری و دبی عبوری از سرریزهای قوسی، لازم است رابطه‌ای با دقت مناسب به این منظور استخراج شود. برای انجام این کار، ابتدا 70 درصد داده‌ها (94 داده) انتخاب شده و بعد از تنظیم متغیرهای ورودی بدون بعد به صورت زوایه انحنای قوس (θ)، برحسب رادیان) و نسبت بار آبی روی سرریز به ارتفاع سرریز $(\frac{h}{p})$ ، رابطه زیر به کمک روش برنامه‌ریزی ژنتیک استخراج شد:

$$C = -1.762 \theta^2 \left(\left(\frac{h}{p} \right)^2 - \frac{h}{p} \right)^3 - \theta \left(\frac{5.9077 + \frac{h}{p}}{5.9077} \right) \frac{h}{p} + \theta \left(\frac{h}{p} \right)^2 + \theta^{1/3} \quad (7)$$

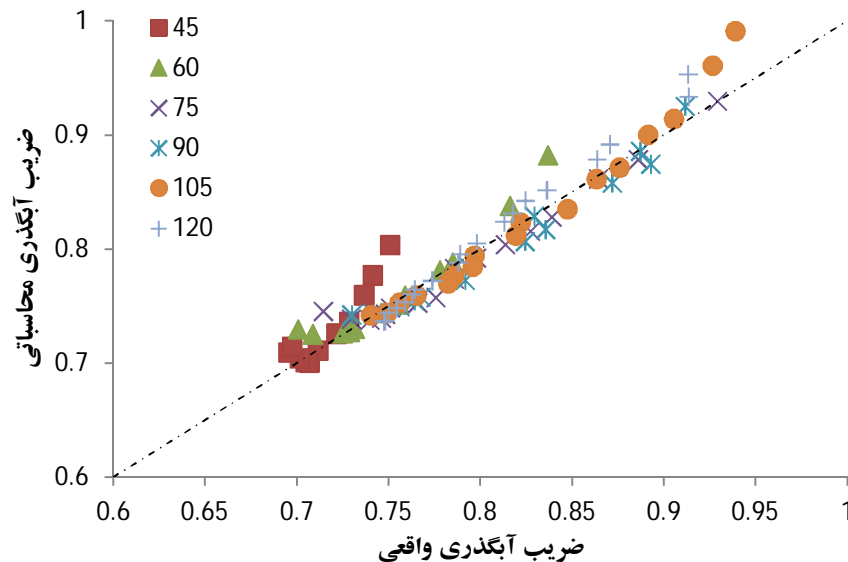
نتایج محاسباتی این رابطه در شکل 7 ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بر خلاف رابطه کومار و همکاران که مقادیری کمتر از واقع را ارائه می‌نماید، نتایج رابطه پیشنهادی روش برنامه‌ریزی ژنتیک دارای پراکندگی مناسب‌تری حول خط نیمساز 45 درجه است. در این حالت، روند افزایش خطا با افزایش زوایه قوس مشاهده نمی‌شود. بیش‌ترین درصد خطای این رابطه حدود 7 درصد در زوایه 45 درجه بدست آمده است. میانگین خطای مطلق این رابطه برای تمامی زوایای قوس، کمتر از 2 درصد است. محاسبه دبی جریان عبوری از سرریز قوسی در این مرحله نیز نشان داد که نتایج این رابطه با خطای متوسط 1/36 درصد برای تمامی زوایای قوس، دارای عملکرد بسیار مطلوبی است. نتایج این محاسبات در مقایسه با نتایج

رابطه کومار و همکاران در شکل 8 ارائه شده است. دقت و کارایی بهتر روش برنامه‌ریزی ژنتیک نسبت به رابطه کومار و همکاران در این شکل به وضوح مشخص است.

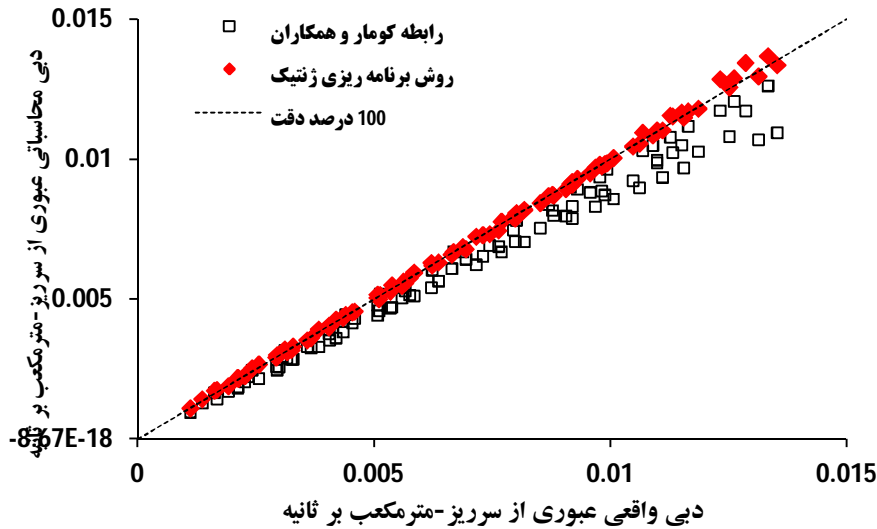
آزمون یا صحت‌سنجی رابطه پیشنهادی روش برنامه‌ریزی ژنتیک

برای اطمینان از قابلیت رابطه پیشنهادی برنامه‌ریزی ژنتیک در شرایط مختلف هندسی و هیدرولیکی کانال اصلی و سرریز قوسی، اعتبار رابطه پیشنهادی به کمک 30 درصد (37 داده) مورد بررسی قرار گرفت. در شکل‌های 9 و 10 به ترتیب نتایج به‌دست آمده برای ضریب آبگذری و دبی عبوری از سرریز قوسی در مرحله آزمون یا صحت‌سنجی رابطه پیشنهادی 7 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود این نتایج دارای مطابقت بسیار خوبی با مقادیر واقعی داشته و برای کاربرد در مواد عملی قابل توصیه می‌باشند. میانگین درصد خطای مطلق این نتایج برای تمامی زوایای سرریز حدود 1/65 می‌باشد که نسبت به میانگین خطای رابطه کومار و همکاران که حدود 9/4 درصد است، دارای کارایی و اعتبار بسیار بیش‌تری است.

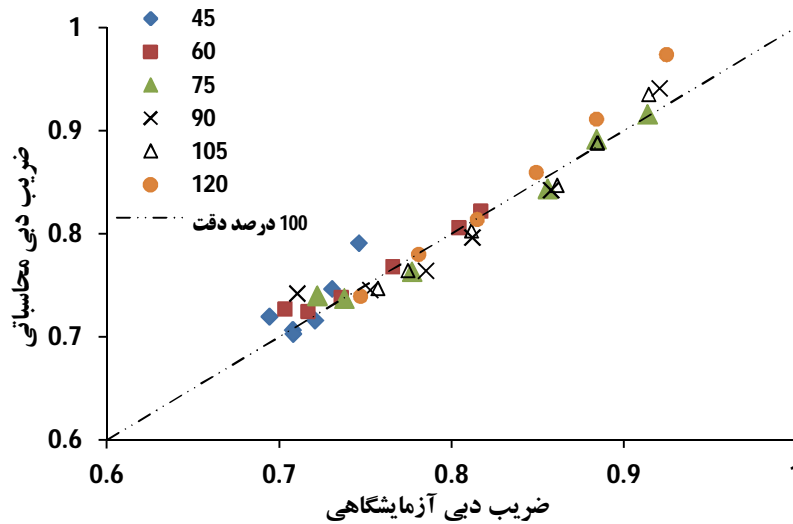
در شکل 11 نتایج روش برنامه‌ریزی ژنتیک در مرحله صحت‌سنجی با نتایج رابطه کومار و همکاران مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد در این مرحله نیز روش برنامه‌ریزی ژنتیک از نظر دقت دارای کارایی بیش‌تری است.



شکل 7- نتایج ضریب آبگذری سرریز قوسی حاصل از رابطه پیشنهادی روش برنامه‌ریزی ژنتیک در مرحله واسنجی به ازاء زوایای مختلف قوس



شکل 8- مقایسه نتایج دبی جریان عبوری از سرریز قوسی حاصل از رابطه پیشنهادی روش برنامه‌ریزی ژنتیک (مرحله واسنجی) و رابطه کومار و همکاران (2012)



شکل 9- نتایج ضریب آگذری سرریز قوسی حاصل از رابطه پیشنهادی روش برنامه‌ریزی ژنتیک در مرحله صحت‌سنجی به ازاء زوایای مختلف قوس

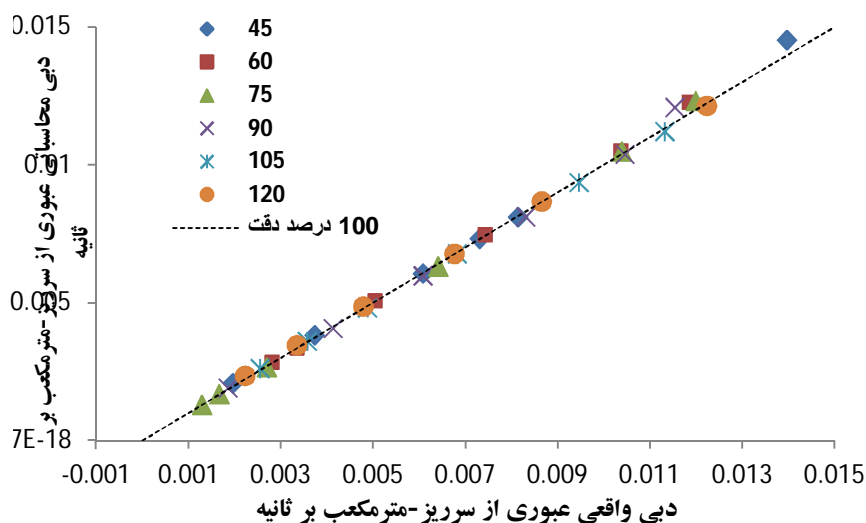
نتیجه‌گیری

در این تحقیق به کمک روش نوین بهینه‌سازی برنامه‌ریزی ژنتیک، رابطه بدون‌بعد و مناسبی برای تخمین ضریب دبی سرریزهای قوسی ارائه شده است. یافته‌های مهم این تحقیق به صورت زیر قابل بیان است:

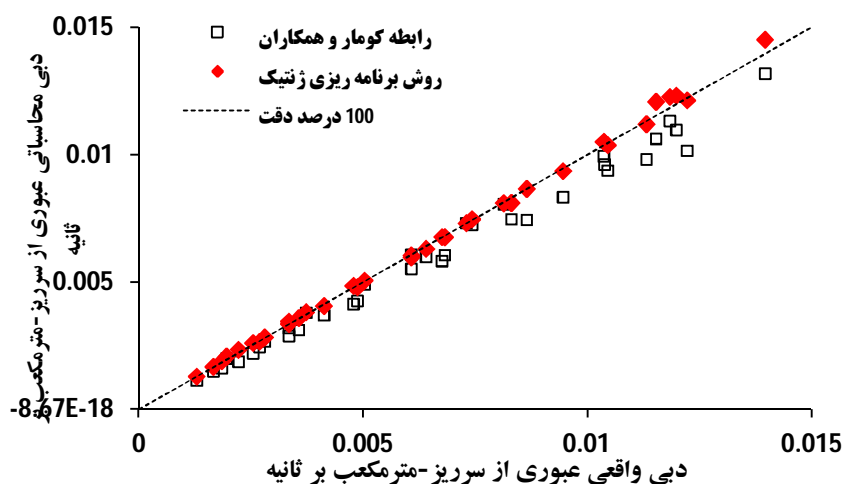
رابطه پیشنهادی کومار و همکاران برای تخمین ضریب دبی سرریزهای قوسی با وجود سادگی، دارای دقت مناسبی نبوده و نمی‌تواند ابزار مناسبی برای تحلیل جریان در سرریزهای قوسی باشد. خطای نتایج این رابطه با افزایش زاویه قوس سرریز، افزایش می‌یابد

به طوریکه حداکثر خطای آن برای زاویه 120 درجه حدود 19/4 درصد می‌باشد.

با استخراج رابطه‌ای بر اساس زاویه قوس سرریز و نسبت بار آبی به ارتفاع سرریز به کمک روش برنامه‌ریزی ژنتیک، دقت نتایج محاسباتی ضریب آگذری و دبی عبوری از سرریز جانبی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. متوسط خطای رابطه پیشنهادی در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی برای ضریب دبی سرریزهای قوسی به ترتیب 1/36 و 1/65 درصد به‌دست آمد که بیانگر کارایی مناسب این رابطه است. این در حالی است که متوسط خطای رابطه کومار و همکاران حدود 9/4 می‌باشد.



شکل 10- نتایج دبی عبوری از سرریز قوسی بدست آمده از رابطه پیشنهادی روش برنامه ریزی ژنتیک در مرحله صحت سنجی به ازاء زوایای مختلف قوس



شکل 11- مقایسه نتایج دبی جریان عبوری از سرریز قوسی حاصل از رابطه پیشنهادی روش برنامه ریزی ژنتیک (مرحله صحت سنجی) و رابطه کومار و همکاران (2012)

منابع

- قوسی. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه.
- Ankum,R. 2002. Design of Open-Channels and Hydraulic Structures. TU Delft, 265 p.
- Ashour,M.A., Abouzeid,G., Mohamed,K.A and Shenouda,Gh. 2008. Comprehensive study on scour downstream curved weirs. Twelfth International Water Technology Conference, IWTC12, Alexandria, Egypt.
- Asthana,K.C., Syed Tahir,H and Syed,Y. 1961. Flow over curved weirs. Water and Energy International, 18.8: 744-761.
- Chanson,H. 2003. History of minimum energy loss weirs and culverts. Proceeding. XXX IAHR Congress, Thessaloniki, Greece, Vol. E.
- خسروجردی، ا و شاه محمد مهر جردی، م. 1386. بررسی هیدرولیکی سرریز اوجی در شرایط قوس محوری. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.
- طوفانی موقره. 1392. مطالعه تاثیر سرریز قوسی در پلان بر شرایط جریان به کمک نرم افزار Flow-3d. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده آب و خاک.
- قبادیان، ر، احمدی، آ، باقری، و و مظفری، م. 1391. مطالعه آزمایشگاهی پارامترهای هیدرولیکی جریان در سرریز پلکانی

- programs to Solve problems. Stanford University, Computer Science Department, Technical Report STAN-CS-90-1314.
- Kraatz,D.B and Mahajan,I.K. 1982. Small Hydraulic Structures, Part 1. Food & Agriculture Org., 422 p.
- 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 Sciences, 1(4), 16-20.
- McKay,G.R. 1971. Design of Minimum Energy Culverts. Research Report, Dept of Civil Eng ,. Univ. of Queensland, Brisbane, Australia, 29 pages.
- Margeirsson,B. 2007. Computational modeling of flow over a spillway In Vatnsfellsstífla Dam in Iceland. M.Sc. Thesis, Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Yang,J. 1999. Vatnsfell hydropower project, Iceland – Hydraulic model studies of flood discharge structures. Vattenfall Utveckling Report serial No. US 99:8. Sweden.
- Chipperfield,A and Fleming,P. 1995. Genetic algorithms in control systems engineering. Control and Computers, 23, 88-94.
- Ghare,A.D., Wadhai,P.J., Mistry,N.J and Porey,P.D. 2008. Hydraulic and environmental aspects of long crested weirs. Global Journal of Environmental Research, 2:3. 122-125.
- Hulsing,H. 1968. Measurement of peak discharge at dams by indirect method. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Chapter 5.
- Irrigation Training and Research Center (ITRC), 2007. Rapid appraisal process. Glenn-Colusa Irrigation District, USA.
- Irrigation Training and Research Center (ITRC), 2007. Long crested weir design.
- Kindsvater,C.E and Carter,R.W. 1959. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs. Transactions, American Society of Civil Engineers. 24, Paper No. 3001.
- Koza,J.R. 1990. Genetic Programming: A paradigm for genetically breeding populations of computer

Developing formulae for discharge coefficient in curved weirs using Genetic Programming

A. Zahiri¹

Received: Feb.04, 2015

Accepted: Jan.10, 2015

Abstract

Curved weirs in plan due to their special hydraulic conditions as well as long crest, have suitable capability in effective water surface regulation in irrigation canals and networks. Also, these weirs have high turbulence intensity in downstream and make better conditions for rivers, in environmental point of view. There are few studies regarding calculation of curved weirs' discharge coefficient and their head-discharge equation. In this study, using new optimization method of genetic programming, a dimensionless equation for discharge coefficient has been proposed based on two non-dimensional parameters of weir angle and ratio of water head to weir height. For training and testing of the proposed equation, experimental data of Kumar et al, have been used. Comparison of results obtained from this equation with the experimental data reveals high accuracy of the new equation of genetic programming. Mean absolute errors of the proposed equation for discharge coefficient have been calculated as 1.36 and 1.65 percent, for training and testing phases, respectively. This error for non-linear equation of Kumar et al, is nearly 9.4 percent.

Keywords: Weir, Optimization, Discharge coefficient, Genetic Programming Algorithm

1- Assistant Professor. of Gorgan Agricultural University and Natural Resources, Gorgan, Iran
Email: zahiri@gau.ac.ir