



دانشگاه گواران و منابع طبیعی گرگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و ششم، شماره اول، ۱۳۹۸

<http://jwsc.gau.ac.ir>

۲۳۳-۲۴۶

بررسی آزمایشگاهی اثر شیب مثبت دیواره در نیمرخ طولی بر ضریب آبگذری سرریز مثلثی

مهسا کریمی پور سورکوهی^۱، مهدی مفتاح‌هلقی^۲، امیراحمد دهقانی^۲ و خلیل قربانی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۱۲

چکیده

سابقه و هدف: سرریزها همواره یکی از اجزای مهم شبکه‌های انتقال و توزیع آب محسوب می‌شوند که با وجود ساده بودن ساختار و عملکرد آن، نقش مهمی در این شبکه‌ها ایفا می‌کنند. سرریزها از جمله سازه‌های هیدرولیکی مهم جهت کنترل جریان و تنظیم سطح آب می‌باشند که باعث افزایش ارتفاع سطح آب و در نتیجه تأمین ارتفاع آب موردنیاز برای منحرف کردن دبی موردنظر به کانال‌های جانبی می‌شوند. هم‌چنین از این سازه‌ها به‌عنوان وسایل اندازه‌گیری دبی عبوری نیز استفاده می‌شود از کاربردهای مهم سرریزها، عبور مطمئن سیلاب پشت سدها است. هدف از این پژوهش بررسی آزمایشگاهی اثر تغییر شیب جداره بر ضریب آبگذری جریان سرریز مثلثی و ارائه رابطه‌ای برای برآورد ضریب دبی بر اساس پارامترهای هیدرولیکی هندسی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: ضریب دبی تابع از پارامترهایی مانند عدد فرود جریان (Fr)، زاویه رأس (θ)، نسبت هد آب روی سرریز به ارتفاع سرریز ($\frac{H}{p}$) و نسبت هد آب روی سرریز به طول مؤثر ($\frac{H}{L_e}$) در نظر گرفته شد. آزمایش‌های این پژوهش روی مدل فیزیکی سرریز مثلثی با ۴ زاویه رأس متفاوت و در سه شیب مختلف انجام شد و سپس به کمک روش برنامه‌ریزی بیان ژن رابطه‌ای با دقت بالا برای ضریب آبگذری سرریز مثلثی به‌دست آمد. جهت اجرای مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، ۳۰ کروموزوم و ۳ ژن انتخاب شد و توانایی این روش به کمک دو پارامتر آماری مانند ضریب همبستگی (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در تمامی زوایای رأس، با افزایش شیب جداره در یک عدد فرود ثابت، ضریب آبگذری کاهش می‌یابد هم‌چنین با افزایش نسبت $\frac{H}{p}$ در ابتدا یک روند کاهشی و سپس روند افزایشی در مقدار ضریب C_d مشاهده می‌شود. روش برنامه‌ریزی بیان ژن ضریب آبگذری سرریز مثلثی را با ضرایب همبستگی ۰/۹۶ و ۰/۸۵ و جذر میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۰۲ و ۰/۰۷ به‌ترتیب در دو بخش آموزش و آزمون را برآورد نمود. مدل مذکور (GEP) با ضرایب همبستگی ۰/۹۲ و ۰/۸۰ و جذر میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۰۴ و ۰/۰۸ به‌ترتیب در دو بخش

* مسئول مکاتبه: meftahhalaghi@gmail.com

آموزش و آزمون، نتایج دقیق‌تری را در مقایسه با مدل رگرسیونی ارائه می‌نماید. به عبارتی استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن موجب کاهش ۱۵/۹۵ درصدی خطای پیش‌بینی ضریب آبگذری سرریز مثلی شده است.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد مدل هوشمند برنامه‌ریزی بیان ژن، به‌خوبی توانسته است ضریب آبگذری سرریز مثلی در پلان را پیش‌بینی کند و استفاده از آن موجب بهبود نتایج پیش‌بینی در مقایسه با روش‌های مرسوم حاصل از مدل رگرسیونی شده است. به عبارتی، نتایج به‌دست آمده، بیانگر توانایی روش برنامه‌ریزی ژن در تعیین ضریب آبگذری سرریز مثلی و در نتیجه برآورد صحیح‌تر آن می‌باشد؛ بنابراین، استفاده از این روش در مسائلی مشابه با موضوع این پژوهش پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی بیان ژن، دبی عبوری، سرریز مثلی، شیب دیواره سرریز، ضریب آبگذری

مقدمه

سرریز یکی از کلیدی‌ترین اجزای سد به‌شمار می‌رود که شکست بسیاری از سدها به عدم‌کفایت سرریز آن نسبت داده شده است. عملکرد ایمن سرریزها، در شرایط غیرعادی عامل مهمی در امنیت سدها است (۱۵). مدیریت و انتقال آب یکی از مباحث مهم در طول توسعه تمدن بشر می‌باشد. برای پاسخ‌گویی به نیازها، سازه‌ای هیدرولیکی متنوعی طراحی و ساخته شده است. 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. تاکنون پژوهش‌های زیادی در خصوص تأثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بر ضریب آبگذری و دبی عبوری از روی سرریزها انجام شده است. یکی از مهم‌ترین مسائل در تحلیل هیدرولیکی سرریزها ضریب آبگذری از روی سرریز مثلی است. این مشخصه سرریز خود تحت تأثیر پارامترهای متعددی است که در میان این پارامترها، نسبت هد روی سرریز به ارتفاع سرریز، شکل تاج و طول تاج سرریز اثرگذار هستند. تجمع رسوبات در پشت سرریز سبب اختلال در عملکرد سرریز و کاهش بهره‌برداری آن و تغییر در شیب

دیواره باعث افزایش طول تاج سرریز می‌شود، که ممکن است به افزایش بهره‌برداری و بهبود عملکرد سرریز کمک کند (۱۷). هی و تیلور (۱۹۷۰) اولین پژوهش‌های کلاسیک و تئوریک را بر روی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای و مثلی انجام دادند. آن‌ها چندین مدل را مورد آزمایش قرار دادند که نتایج به‌دست آمده نشان داد با افزایش ارتفاع تیغه عبوری جریان روی سرریز (H)، برخورد و تداخل لایه‌های جریان بیشتر می‌شود و در ابتدا افزایش اندکی در آبگذری به وجود می‌آید و سپس با افزایش نسبت $\frac{H}{P}$ کاهش ضریب آبگذری بیشتر خواهد بود. هم‌چنین ضریب آبگذری سرریز معمولی با تاج نیم‌دایره ۲۰ درصد نسبت به سرریز با تاج لبه تیز، بیش‌تر می‌باشد (۱۴). امیروغلو و همکاران (۲۰۰۵) مطالعه آزمایشگاهی خود را روی سرریز مثلی در یک کانال آزمایشگاهی با طول ۳/۴ متر، عرض ۰/۶ متر و عمق ۰/۵ متر با حداکثر دبی ۴ لیتر بر ثانیه انجام داده است. برای بررسی تأثیر زاویه و شیب کانال بر روی تداخل امواج در پایین‌دست، آزمایش‌های خود را بر روی ۶ زاویه رأس مختلف (۵۰، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰) و هم‌چنین سه شیب ۰، ۲۲/۵ و ۴۵ درجه انجام دادند. یک رابطه برای شیب ۰ درجه و رابطه دیگری برای شیب

گوپتا و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود به بررسی آزمایشگاهی سرریز W شکل در پلان پرداختند. محدوده $\frac{H}{p}$ مورد استفاده بین ۰-۰/۷۸ و زاویه‌های رأس بین ۶۰-۱۸۰ می‌باشد. آن‌ها رابطه‌ای برای ضریب آبگذری ارائه نمودند و به این نتیجه رسیدند که ضریب آبگذری سرریز با کاهش زاویه رأس به دلیل تداخل امواج در پایین دست برای مقادیر بالای $\frac{H}{p}$ (نسبت بارآبی روی سرریز به ارتفاع سرریز)، کاهش می‌یابد (۱۲). کارولو و همکاران (۲۰۱۷) بر روی یک رابطه دبی-اشل بی بعد برای سرریزهای کنگره‌ای مثلثی با تغییر در جهت جریان رئوس مثلث‌ها کار کردند. در این رابطه نسبت‌هایی برای شکل تاج لبه‌تیز و لبه‌پهن مقایسه شد و نمودارهایی برای این متغیرها ارائه گردید و مقایسه نسبت $\frac{L}{W}$ بین سرریز لبه‌پهن و لبه‌تیز نشان داد که در شرایطی که نرخ بزرگی $Q, \left(\frac{Q}{Q_n}\right)$ دبی جریان و Q_n دبی حاصل از سرریز مستقیم در کانال مشابه) جریان نزدیک به یک است، کارایی سرریز لبه‌پهن کم‌تر از سرریز لبه‌تیز می‌باشد (۲). محبی و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه آزمایشگاهی برای بررسی ضریب آبگذری سرریز مثلثی لبه‌تیز تحت شرایط جریان آزاد در کانال مستطیلی انجام دادند. نتایج نشان داد که ضریب آبگذری سازه سرریز مثلثی لبه‌تیز برای تک‌تک زاویه‌ها با افزایش $\frac{H}{p}$ (برای مقادیر بالای $\frac{H}{p}$)، به دلیل افزایش تداخل جریان ریزشی در پایین دست کاهش پیدا می‌کند. با این حال برای مقادیر کم و زاویه رأس، ضریب آبگذری افزایش پیدا می‌کند. وقتی زاویه بازشدگی در رأس سرریز (θ) زیاد می‌شود، به علت کاهش طول مؤثر سرریز یا افزایش زاویه، دبی عبوری از روی سرریز کاهش پیدا می‌کند. همچنین ایشان رابطه ۲ را برای سرریز ارائه نمودند (۱۶).

$$Cd = (0.1019 \theta^3 - 0.2048 \theta^2 - 0.8069 \theta + 3.2084) + (1.1977 \theta^3 - 8.7374 \theta^2 - 21.492 \theta - 18.695) \left(\frac{H}{p}\right) \quad (2)$$

(۴۰-۲۲/۵) درجه ارائه نمودند. نتایج آزمایش‌های امیروغلو نشان داد که زاویه رأس و شیب سرریز دو فاکتور مهم و تأثیرگذار در تداخل امواج می‌باشند. همچنین با افزایش شیب، ارتفاع سقوط و دبی میزان آشفستگی جریان افزایش پیدا می‌کند (۶). قدسیان (۲۰۰۹) رابطه دبی-اشل را برای سرریز کنگره‌ای مثلثی بررسی کردند. آزمایش‌ها در یک فلوم به طول ۱۲ متر، عرض ۰/۳ متر و عمق ۰/۵ متر انجام شد. شکل‌های مختلف تاج به صورت نیم‌دایره، لبه‌تیز، ربع دایره و مسطح و چهار طول ۲۸، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر برای سرریز در نظر گرفته شد. در این مطالعه محدوده $\frac{H}{p}$ (نسبت بار آبی روی سرریز به ارتفاع) و $\frac{H}{W}$ (نسبت بار آبی روی سرریز به عرض سرریز) به ترتیب بیشتر از ۰/۳ و کم‌تر از ۰/۳۵ است؛ بنابراین رابطه برای ضریب آبگذری سرریز کنگره‌ای مثلثی به صورت زیر ارائه نمودند (۱۱).

$$C_d = 1.06 a^{1.5} \left(\frac{H}{p}\right)^{-0.606} \left(\frac{L}{W}\right)^{-0.237} \quad (1)$$

که در آن، a ضریب تجربی وابسته به شکل تاج است که با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی به دست می‌آید و مقدار برای شکل تاج لبه‌تیز، نیم‌دایره، ربع دایره و مسطح به ترتیب برابر با ۰/۷۰۳، ۰/۸۵، ۰/۷۳۹ و ۰/۶۸۷ می‌باشد.

کورکستون و تولیس (۲۰۱۲) مطالعات خود را بر روی سرریز کنگره‌ای انجام دادند و مطالعات آن‌ها نشان داد که سودمندی سرریز کنگره‌ای انحنادار در درجه اول مشروط بر کاربرد آن در مخزن می‌باشد، زیرا شرایط جریان ورودی به آن مطلوب می‌باشد. نتایج آن‌ها نشان داد که در یک a ثابت در مقادیر کم $\frac{H_0}{p}$ انحنادار کردن باعث افزایش C_d و θ بزرگ‌تر مطلوب‌تر می‌باشد، ولی از یک زاویه به بعد انحنادار کردن مطلوب نیست و ضریب آبگذری پایین‌تر از حالت قرار می‌گیرد (۴).

مثلثی در حالتی بررسی شده که شیب دیواره سرریز در نیم‌رخ افقی بوده است. در این پژوهش با تغییر شیب در جهت مثبت اثر آن بر روی دبی و همچنین ضریب آبگذری مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

الف) تجهیزات آزمایشگاهی: آزمایش‌ها روی مدل سرریز مثلثی در کانالی به طول ۹ متر، عرض و ارتفاع آن ۴۰ سانتی‌متر با کف و دیواره‌هایی از جنس پلاکسی گلاس، در آزمایشگاه تحقیقات آب و رسوب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. سرریز مثلثی در فاصله سه متری از ابتدای کانال نصب شد.

دبی جریان توسط یک پمپ تا دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه تأمین شد همچنین برای تنظیم دقیق‌تر دبی جریان در کانال، از یک دستگاه دیجیتال فرکانس‌سنج استفاده شده است. بعد از تغییر هر دبی ۱۰ تا ۱۵ دقیقه برای تعادل جریان در نظر گرفته شده است و پس از آن طول بالادست تا ۳ متری محل نصب سرریز مورد آزمایش اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری عمق جریان در نقاط مختلف توسط یک ترازسنج دیجیتالی با دقت ۰/۱ میلی‌متر انجام شد. آزمایش‌ها بر روی ۱۲ نوع مدل سرریز مثلثی، در ۵ دبی (۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰) لیتر بر ثانیه، برای ۴ زاویه رأس و در ۳ شیب جداره سرریز انجام شد. برای ساخت مدل‌ها از ورق گالوانیزه به قطر ۲ میلی‌متر استفاده شده است. در جدول ۱ مشخصات هندسی مدل‌های آزمایشگاهی به‌کار رفته در این پژوهش ارائه شده است. همچنین در شکل ۲ نمای روبه‌رو از سرریز برای معرفی پارامترهای جدول ۱ ارائه شده است.

رابطه ۲ در محدوده $0 < \theta < 30^\circ$ ، $0 < \frac{H}{p} < 0.4$ ، و میزان خطا ۲ درصد می‌باشد و با توجه به میزان خطای کم می‌توان گفت رابطه ارائه‌شده از دقت مناسبی برخوردار است.

قادری و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی عددی تأثیر ایجاد شیب مثبت لبه‌تاج سرریزهای کنگره‌ای بر روی ضریب دبی و نرخ عبوری جریان، که با ایجاد شیب لبه‌تاج سرریز بر روی یکی از سرریزهای مورد آزمایش قرار گرفته کروکسون (۲۰۱۰) پرداختند. با اعمال شیب مثبت نتیجه گرفتند که به‌ازای نسبت ثابت $\frac{H_t}{p}$ با افزایش شیب لبه تاج سرریز مقادیر ضریب دبی و نرخ دبی افزایش می‌یابد. این اختلاف مقادیر در نسبت‌های پایین $\frac{H_T}{p}$ برای ضریب دبی و در نسبت‌های بالا $\frac{H_T}{p}$ برای نرخ دبی، بسیار بالا می‌باشد (۱۰).

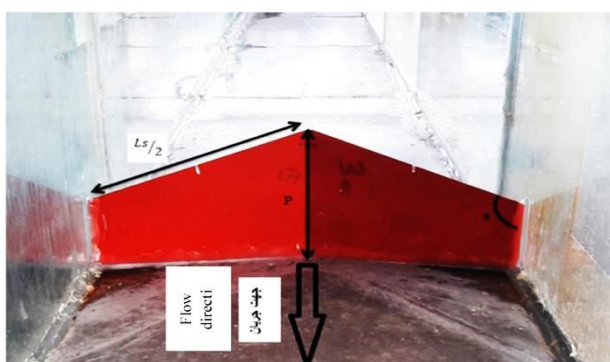
یکی دیگر از روش‌های هوشمند مورد استفاده در حل مسائل مهندسی آب، روش برنامه‌ریزی بیان ژن می‌باشد که از جمله روش‌های تکاملی است. اگرچه تعداد مطالعات در زمینه‌های کاربردهای این روش در مهندسی آب محدود است اما در این میان می‌توان به نتایج موفق‌تری چون برآورد بار رسوب معلق (گوون و ازسین تالو، ۲۰۱۰) توسعه منحنی دبی اشل (آزاماتولا و همکاران، ۲۰۱۱) پیش‌بینی ضریب دبی در سرریزهای دیواره مستطیلی (ابتهاج و همکاران، ۲۰۱۵) اشاره کرد. نتایج پژوهش‌های این پژوهشگران توانایی روش برنامه‌ریزی بیان ژن در مقایسه با روش‌های متداول رگرسیونی و دیگر روش‌های هوشمند چون شبکه عصبی مصنوعی و سیستم فازی نشان می‌دهد (۱، ۳ و ۱۳).

از مجموع بررسی‌های به‌عمل آمده می‌توان نتیجه گرفت که پارامترهای مؤثر بر ضریب آبگذری سرریز

جدول ۱- مشخصات هندسی مدل‌های به کار رفته در این پژوهش.

Table 1. Geometric of the models used in this research.

طول شیب سرریز Length of weir slope L_s (cm)	طول سرریز Weir length L (cm)	زاویه رأس Vertex angle θ (degree)	عرض کانال Channel width B (cm)	ارتفاع سرریز Weir height P (cm)	شیب جداره Variation of weir slope s (degree)	مدل Model
80	80	60	40	15	90	مدل شاهد
56.5	56.5	90	40	15	90	
46	46	120	40	15	90	Control model
41	41	150	40	15	90	
81	80	60	40	15	100	مدل A
57	56.5	90	40	15	100	
47	46	120	40	15	100	Model A
42	41	150	40	15	100	
85	80	60	40	15	110	مدل B
60	56.5	90	40	15	110	
49	46	120	40	15	110	Model B
44	41	150	40	15	110	



شکل ۱- نمای روبرو از سرریز مثلثی در کانال.

Figure 1. The front view of the triangular weir in the channel.

ب) تحلیل ابعادی: در پژوهش حاضر از تحلیل ابعادی برای شناخت پارامترهای مورد نیاز برای انجام آزمایش و تحلیل روابط بین آنها استفاده شد. رابطه ۳ پارامترهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی مؤثر بر ضریب دبی را نشان می‌دهد.

ب) تحلیل ابعادی: در پژوهش حاضر از تحلیل ابعادی برای شناخت پارامترهای مورد نیاز برای انجام آزمایش و تحلیل روابط بین آنها استفاده شد. رابطه ۳ پارامترهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی مؤثر بر ضریب دبی را نشان می‌دهد.

ب) تحلیل ابعادی: در پژوهش حاضر از تحلیل ابعادی برای شناخت پارامترهای مورد نیاز برای انجام آزمایش و تحلیل روابط بین آنها استفاده شد. رابطه ۳ پارامترهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی مؤثر بر ضریب دبی را نشان می‌دهد.

ب) تحلیل ابعادی: در پژوهش حاضر از تحلیل ابعادی برای شناخت پارامترهای مورد نیاز برای انجام آزمایش و تحلیل روابط بین آنها استفاده شد. رابطه ۳ پارامترهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی مؤثر بر ضریب دبی را نشان می‌دهد.

$$C_d = f(V, \mu, \rho, g, H, P, B, \theta, S_0, L_e, Y, s) = 0 \quad (3)$$

که در آن، به ترتیب V سرعت جریان در بالادست (m/s) ، Y عمق آب بالادست (m) ، L_e طول سرریز (m) ، S_0 شیب کف کانال (m/m) ، θ زاویه رأس (deg) ، B عرض کانال (m) ، P ارتفاع سرریز (m) ، H ارتفاع آب روی سرریز (m) ، g شتاب ثقل

$$C_d = f\left(\frac{H}{P}, \frac{H}{L_e}, \frac{H}{B}, \theta, s, S_0, Fr, We\right) = 0 \quad (4)$$

مرحله GEP، تشکیل جمعیت اولیه از راه‌حل‌هاست. سپس کروموزوم‌ها، به بیان درختی (ET_s) نشان داده می‌شوند. در مرحله بعد باید کارایی یا میزان سازگاری هر عضو از جمعیت کروموزوم‌ها توسط تابع برازش ارزیابی شود. مراحل اصلی الگوریتم تکاملی ذکر شده را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد: فرآیند با تولید تصادفی کروموزوم‌ها از جمعیت اولیه آغاز می‌شود. سپس کروموزوم‌های ایجاد شده در GP و GEP به صورت درختی بیان می‌گردند. در ادامه به کمک تابع هدف میزان برازندگی و کارایی هر فرد ارزیابی می‌شود، پس از آن اعضای سازگارتر انتخاب و اصلاح شده تا فرزندان جدیدتر ایجاد شوند. فرزندان جدیدتر ایجاد شوند، تا پاسخ خوب و مناسب پیدا شود (۷). در شکل ۲ الگوریتم حل مسئله به کمک GEP نشان داده شده است:

ه) شاخص‌های آماری سنجش مدل‌ها: برای سنجش ضریب آنگذری سرریز مثلثی از معیارهای آماری ضریب همبستگی (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و متوسط خطای مطلق (MAE) استفاده شد که به ترتیب در رابطه‌های ۸ و ۹ ارائه شده‌اند:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{N}} \quad (9)$$

که در آن‌ها، N تعداد داده‌ها، O مقدار مشاهده شده و P مقدار پیش‌بینی شده است. هم‌چنین نماد بار بر میانگین داده‌ها دلالت دارد. بهترین روش، روشی است که ضریب همبستگی بالاتر (نزدیک‌تر به ۱) و خطای کم‌تری را به خود اختصاص دهد.

با صرف نظر کردن از پارامترهایی مانند شیب کانال (S_0) و عدد رینولدز (Re) به دلیل آشفته بودن جریان روی سازه (محدوده جریان $Re > 10000$) و نادیده گرفتن اثر لزجت در نهایت می‌توان برای ضریب آنگذری سرریز مثلثی رابطه ۵ را ارائه داد.

$$C_d = f\left(Fr, \theta, s, \frac{H}{P}, \frac{H}{L_e}, \frac{H}{B}\right) = 0 \quad (5)$$

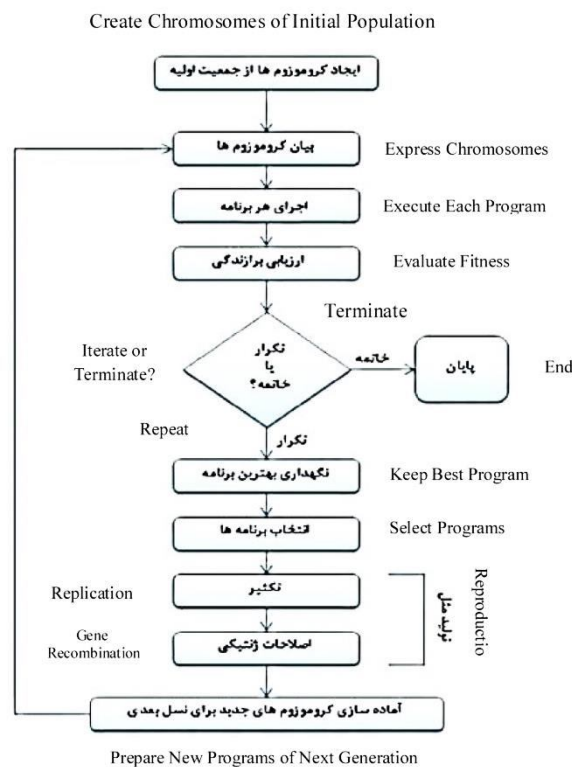
ج) برآورد ضریب آنگذری: جریان عبوری از سرریز مثلثی برابر است با:

$$Q_w = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H^2 \quad (6)$$

که در آن، H بار آبی روی سرریز (m)، L طول سرریز (m)، برای به دست آوردن ضریب آنگذری سرریز می‌توان رابطه بالا را به صورت زیر نوشت، هم‌چنین در شکل ۱ نمایی از قرارگیری سرریز مثلثی در کانال نشان داده شده است.

$$C_d = \frac{Q_w}{\frac{2}{3} \sqrt{2g} L H^2} \quad (7)$$

د) روش برنامه‌ریزی بیان ژن: روش برنامه‌ریزی بیان ژن، ترکیب و توسعه یافته روش‌های GA و GP است که در سال ۱۹۹۹ توسط فریرا (۲۰۰۱) ابداع شده است (۶). در این روش کروموزوم‌های خطی و ساده با طول ثابت، مشابه با الگوریتم ژنتیک و ساختارهای شاخه‌ای با اندازه و اشکال متفاوت، مشابه با درختان تجزیه در برنامه‌ریزی ژنتیک ترکیب می‌شوند. به طور خلاصه می‌توان بیان داشت که در این روش فنوتیپ و ژنوتیپ از هم جدا شده و سیستم قادر خواهد بود از تمام مزایای تکاملی بهره گیرد. با وجود این که فنوتیپ در GEP مشابه ساختار شاخه‌ای GP می‌باشد، اما ساختار شاخه‌ای در GEP که بیان درختی نامیده می‌شود، بیان‌گر تمام ژنوم‌های مستقل است. اولین



شکل ۲- الگوریتم برنامه ریزی بیان ژن (۷).

Figure 2. Gene Expression Programming Algorithm [8].

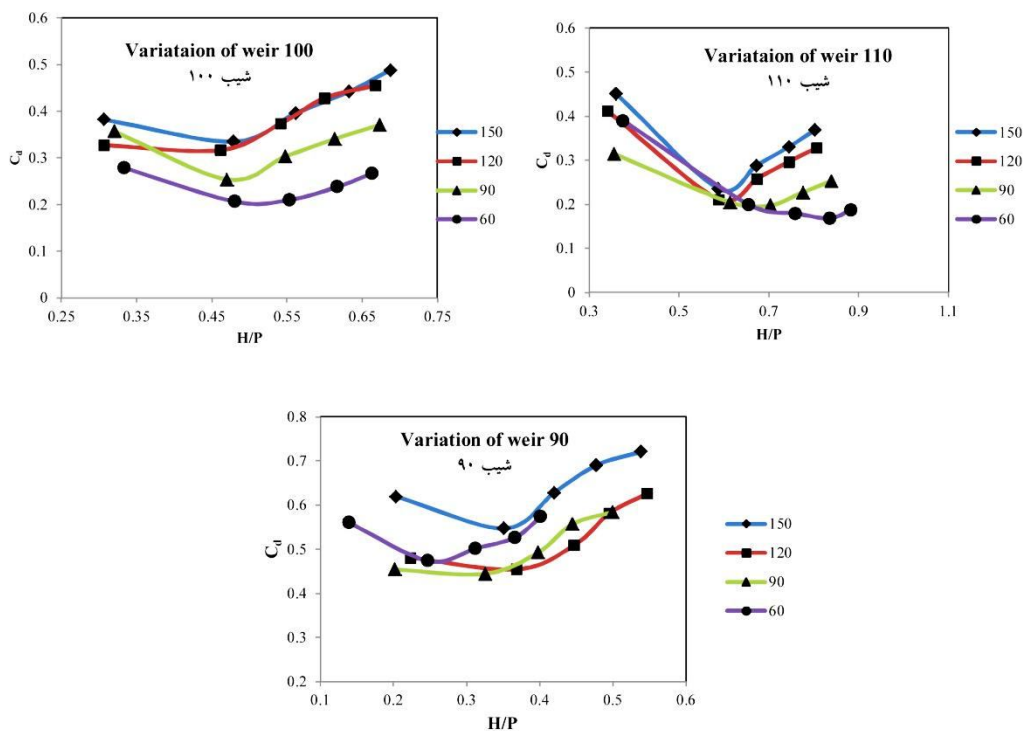
زاویه ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ (θ) و سه شیب جداره ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ (S) در امتداد جریان می‌باشند و در تمامی مدل‌ها ارتفاع سرریز ۱۵ سانتی‌متر بوده است. شکل ۲ تغییرات ضریب آبگذری جریان را نسبت به $\frac{H}{P}$ برای زوایای رأس مختلف و همچنین شیب جداره متفاوت نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است با افزایش شیب جداره در امتداد جریان، ضریب آبگذری کاهش پیدا می‌کند. به همان گونه‌ای که این روند کاهشی در ضریب آبگذری با کاهش زاویه رأس نیز، کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت $\frac{H}{P}$ در ابتدا یک روند کاهشی و سپس روند افزایشی در مقدار ضریب C_d مشاهده می‌شود، زیرا در دبی‌های کم جریان از طول کم‌تری از سرریز عبور می‌کند و هرچه مقدار دبی افزایش پیدا می‌کند، طول مؤثر سرریز نیز افزایش می‌یابد.

نتایج و بحث

در این بخش با توجه به داده‌های به‌دست آمده در آزمایش‌ها و با استناد به نتایج آنالیز ابعادی، تجزیه و تحلیل داده‌ها انجام شد. ابتدا اثر تغییر شیب جداره سرریز مثلثی و سپس تأثیرات زاویه رأس مورد بررسی قرار گرفت، در آخر نیز به مقایسه رابطه به‌دست آمده از طریق رگرسیون و برنامه‌ریزی GEP پرداخته شد.

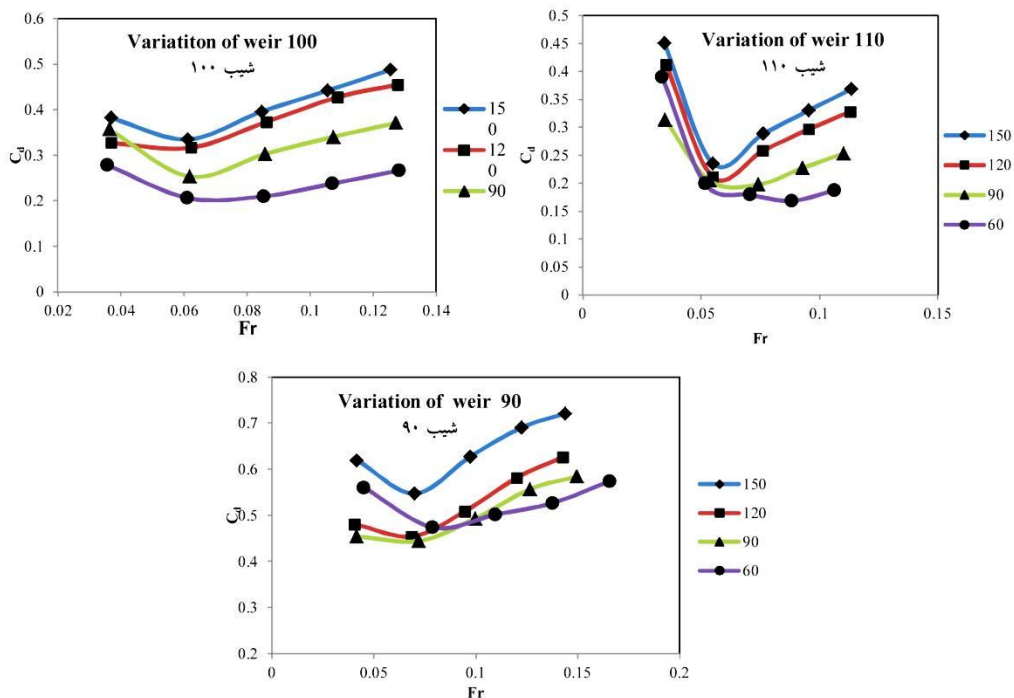
تعیین رابطه بین ضریب آبگذری و پارامترهای بدون بعد: تأثیر طول سرریز یا زاویه سرریز در امتداد (θ) بر ضریب آبگذری (C_d).

برای بررسی تأثیر زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان بر ضریب آبگذری جریان، سرریزهایی با زاویه رأس مختلف مورد استفاده قرار گرفت. همان‌طور که در جدول ۱ نشان‌داده شد این سرریزها دارای چهار



شکل ۳- تغییرات ضریب آبگذری نسبت به H/P در مدل سرریز مثلثی در شیب‌های مختلف جداره.

Figure 3. Variation of the flow discharge coefficient against H/P in triangular weir model in different variation of weir.

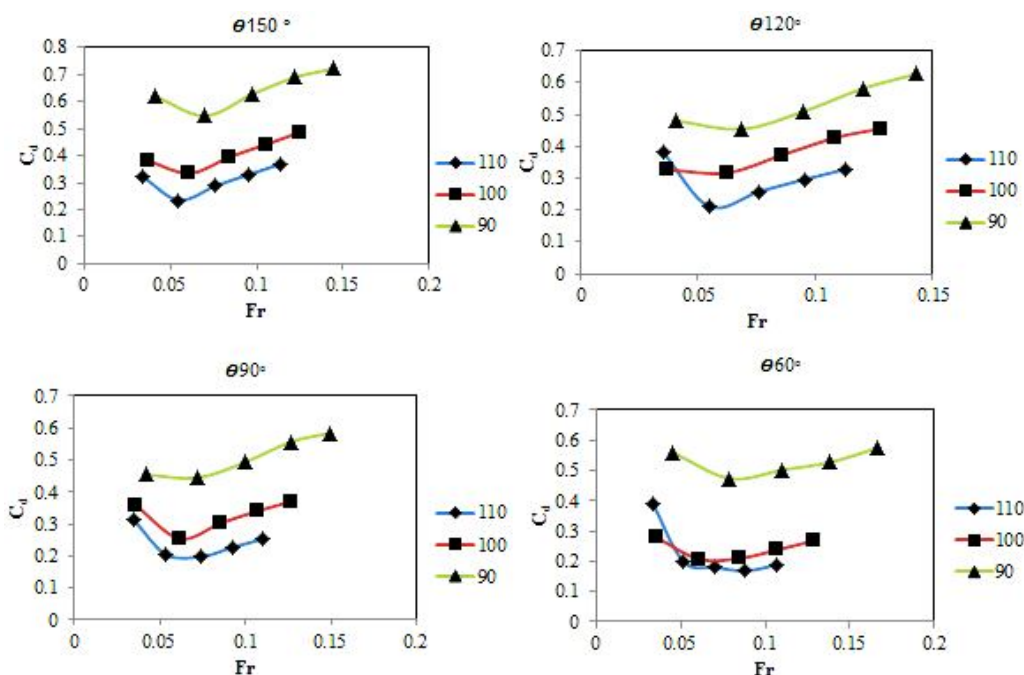


شکل ۴- تغییرات ضریب آبگذری نسبت به عدد فرود (Fr) در مدل سرریز مثلثی در شیب‌های مختلف جداره.

Figure 4. Variation of the flow discharge coefficient against Froude number (Fr) in triangular weir model in different variation of weir.

هر سه شیب جداره زاویه ۱۵۰ درجه بیشترین ضریب آبگذری را داراست. هم‌چنین با افزایش عدد فرود در ابتدا یک روند کاهشی و سپس روند افزایشی در مقدار ضریب آبگذری مشاهده می‌شود.

شکل ۴ نشان‌دهنده تغییرات ضریب آبگذری جریان نسبت به عدد فرود (Fr) برای زوایای رأس مختلف و هم‌چنین شیب جداره متفاوت می‌باشد. همان‌گونه که مشخص است با افزایش شیب جداره، ضریب آبگذری در امتداد جریان کاهش می‌یابد و در



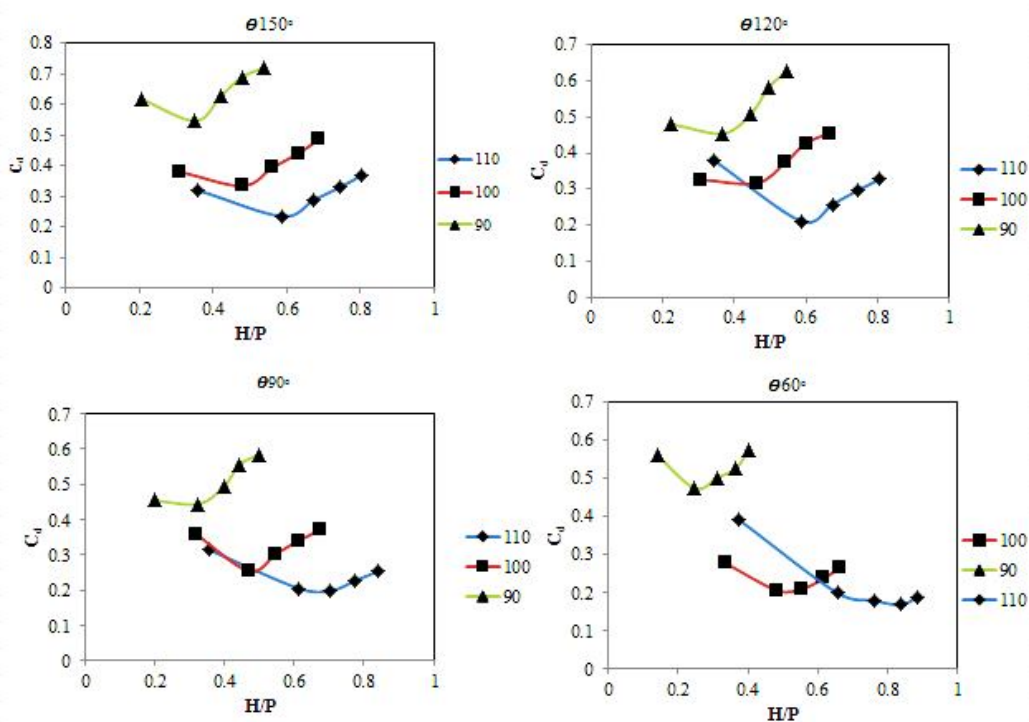
شکل ۵- تغییرات ضریب آبگذری نسبت به عدد فرود (Fr) در زوایای رأس مختلف.

Figure 5. Variation of the flow discharge coefficient against Froude number in triangular weir model in different Vertex angle.

بنابراین، این پژوهش، ۳ ژن در بررسی رابطه ضریب آبگذری انتخاب شد. هم‌چنین مطالعات فریرا نشان داده است که انتخاب ۳۰ تا ۵۰ کروموزوم در اندازه جمعیت، بهترین پاسخ را موجب می‌گردد (۷). سعی و خطای انجام شده به این بررسی نشان داد بهترین پاسخ با تشکیل جمعیت اولیه از ۳۰ کروموزوم حاصل می‌گردد. اندازه سر نیز به کمک سعی و خطا، برابر ۸ تعیین گردید. پارامترهای عملیات به‌سازی ژنتیکی نیز مطابق با پیش‌فرض مدل در نظر گرفته شدند. هم‌چنین، با توجه به مطالعات امامقلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵)، تابع پیوند (+)، به دلیل برتری بر دیگر توابع عملیاتی (-، ×، ÷) برگزیده شدند (۵).

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود در تمامی زوایای رأس، با افزایش شیب جداره در یک عدد فرود ثابت، به ضریب آبگذری کاهش می‌یابد. هم‌چنین در شکل ۶ این روند کاهشی برای نسبت $\frac{H}{P}$ نیز مشاهده می‌شود.

بررسی نتایج روش برنامه‌ریزی بیان ژن: در جدول ۲ برخی پارامترهای مورد استفاده و مقادیر آن‌ها در برآورد ضریب آبگذری سرریز مثلثی به کمک روش برنامه‌ریزی بیان ژن، ارائه شده است. کروموزوم‌ها در GEP بیش‌تر از یک ژن با طول یکسان تشکیل شده و تعداد آن‌ها اختیاری است (۹). با توجه به مطالعات فریرا پاسخ بهینه با ۲ یا ۳ ژن به‌دست می‌آید (۸).



شکل ۶- تغییرات ضریب آبگذری نسبت به H/P در زوایای رأس مختلف.

Figure 6. Variation of the flow discharge coefficient against H/P in triangular weir model in different vertex angle.

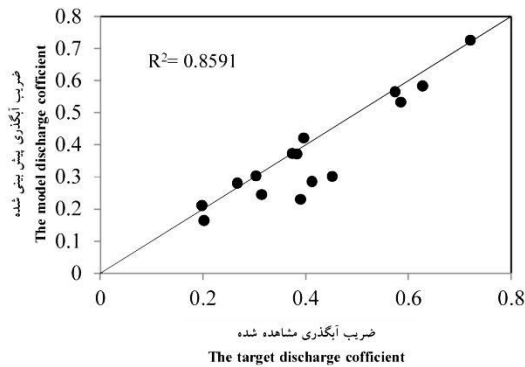
جدول ۲- مقادیر پارامترهای برنامه‌ریزی بیان ژن در پیش‌بینی ضریب آبگذری سرریز مثلثی.

Table 2. Values of Gene Expression Programming Parameter for prediction of the flow discharge coefficient in triangular weir.

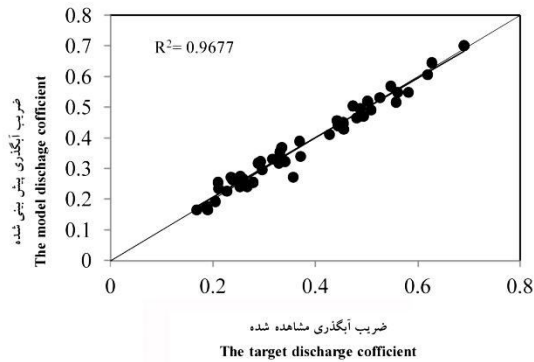
تایع پیوند Linking function	معیار خطای تایع برازش Error of fitness function	تعداد ژن‌ها Number of genes	تعداد کروموزوم‌ها Number of chromosomes	اندازه سر Lengths of head	پارامتر Parameter
(+)	RRSE (Root of Mean Square Error)	3	30	8	مقدار Value

روش رگرسیون، در پیش‌بینی ضریب آبگذری سرریز مثلثی دارد. به عبارتی با استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن موجب کاهش ۱۵/۵۹ درصدی خطای پیش‌بینی ضریب آبگذری سرریز مثلثی شده است. در شکل‌های ۷ و ۸ نمودارهای اجرای این الگو و همچنین در شکل ۸ ساختار درختی روش برنامه‌ریزی بیان ژن نشان داده شده است. پارامترهای D_0 و D_1 و D_2 به ترتیب برابر با $\frac{H}{p}$ و θ و Fr می‌باشند.

نتایج حاصل از این برازش و همچنین روابط رگرسیونی در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج جدول ۳ بیان‌گر برتری روش برنامه‌ریزی بیان ژن در برآورد ضریب آبگذری سرریز مثلثی می‌باشد. این روش با دارا بودن بیش‌ترین مقدار ضرایب همبستگی برابر با ۰/۹۶۷۷ و ۰/۸۵۹۱ و مقدار کم‌ترین خطا برابر با ۰/۰۲۴۷ و ۰/۰۷۰۶ به ترتیب در مراحل آموزش و آزمون، دقت بالاتر و خطای کم‌تری از



شکل ۸- نمودار برازش GEP، آزمون.
Figure 8. GEP fitness chart, Test.



شکل ۷- نمودار برازش GEP، آموزش.
Figure 7. GEP fitness chart, Train.

جدول ۳- مقایسه بین نتایج رابطه رگرسیونی و مدل برنامه‌ریزی بیان زن.

Table 3. Comparison between the results of regression equation and GEP model.

جذر میانگین مربعات خطا Root Mean Square Error (RMSE)		ضریب همبستگی Coefficient of Determination (R ²)		روش Method
آزمون Test	آموزش Train	آزمون Test	آموزش Train	
0.084	0.0467	0.8029	0.9253	رگرسیونی Regression
0.0706	0.0247	0.8591	0.9677	برنامه‌ریزی بیان زن GEP

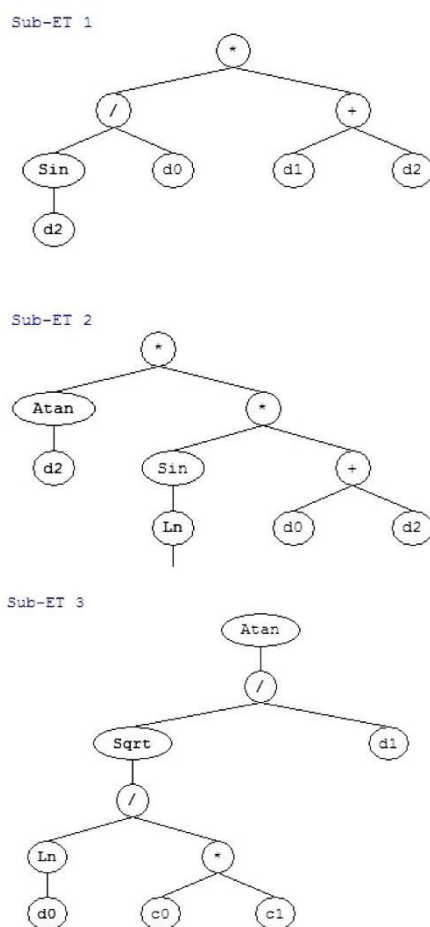
در (۲۰۱۴) و محبی و همکاران (۲۰۱۵) بوده است. در تمامی پژوهش‌های فوق با کاهش زاویه رأس سرریز نسبت ضریب آبگذری به پارامترهای بی‌بعد در حال کاهش است.

همچنین نتایج حاصل از روش برنامه‌ریزی GEP بیان‌گر کارایی این روش در برآورد ضریب آبگذری سرریز مثلثی می‌باشد و می‌توان از این روش در مباحث مشابه استفاده نمود.

با توجه به نمودار زیر، رابطه ریاضی GEP برای پیش‌بینی ضریب آبگذری سرریز مثلثی به صورت زیر هست:

$$C_d = ((\sin(Fr) / (\frac{H}{P})) \times (\theta + Fr)) + (\tan^{-1}(Fr) \times (\sin(\log(\frac{H}{P})) \times (\frac{H}{P} + Fr)) + (\tan^{-1}(\frac{\sqrt{(\log(\frac{H}{P}) / (8.394195 \times (-4.941864))}{\theta}))}))$$

نتایج به دست آمده در تطابق با نتایج پژوهش‌های کرکستون و تولیس (۲۰۱۲)، گوپتا و همکاران



شکل ۹- بیان درختی ژن‌های ۱، ۲ و ۳ در پیش‌بینی ضریب آبگذری سرریز مثلثی.

Figure 9. Tree expression of genes 1, 2 and 3 for prediction of the flow discharge coefficient in triangular weir.

آزمون افزایش داده است. همچنین این روش موجب کاهش خطا به میزان $10/47\%$ و $95/15\%$ در دو بخش آموزش و آزمون گردیده است. این نتایج بیان‌گر برتری این روش در بهبود امر تعیین ضریب آبگذری سرریز مثلثی با دقت بیشتر و خطای کم‌تر می‌باشد. همچنین پژوهش مذکور نشان داد که شد با افزایش شیب جداره سرریز، میزان ضریب آبگذری نسبت به مدل شاهد $95/15$ درصد کاهش داشته است که بیان‌گر تأثیر معکوس بر روی این پارامتر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از روش برنامه‌ریزی بیان ژن به‌منظور تعیین ضریب آبگذری سرریز مثلثی استفاده گردید و نتایج مدل مذکور با نتایج رگرسیونی از مطالعات آزمایشگاهی مقایسه گردید. نتایج آنالیز ابعادی، ضریب آبگذری را تابعی از پارامترهای بی‌بعد شامل عدد فرود جریان (Fr)، زاویه رأس (θ) و نسبت ارتفاع آب روی سرریز به ارتفاع سرریز $(\frac{H}{p})$ معرفی کرد. نتایج نشان داد استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن، ضریب همبستگی را به‌میزان $37/4\%$ و $54/6\%$ به‌ترتیب در دو بخش آموزش و

منابع

1. Azamathulla, H.M. 2012. Gene expression programming for prediction of scout depth downstream of sills. *J. Hydrol.* 460-461: 156-159.
2. Carollo, F.G., Ferro, V., and Pampaloni, V. 2017. Testing the Outflow Process over a Triangular Labyrinth Weir. *J. Irrig. Drain. Engin.* 143: 8. 06017007.
3. Ebtehaj, I., Bonakdari, H., Zaji, A.H., Azimi, H., and Sharifi, A. 2015. Gene expression programming to predict the discharge coefficient in rectangular side weirs. *Applied Soft Computing.* 35: 618-628.
4. Corkson, B., and Tullis, B.P. 2012. Arced labyrinth weirs. *J. Hydr. Engin.* 138: 555-562.
5. Emamgholizadeh, S., Bateni, S.M., Shahsavani, D., Ashrafi, T., and Ghorbani, H. 2015. Estimation of soil cation exchange capacity using Genetic Expression Programming (GEP) and Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS). *J. Hydrol.* 529: 1590-1600.
6. Emiroglu, M., and Baylar, A. 2005. Influence of included angle and sill slope on air entrainment of Triangular planform Labyrinth Weir. *J. Hydr. Engin.* 131: 184-189.
7. Ferreira, C. 2001a. Gene Expression Programming in Problem Solving. In: 6th online world conference on Soft Computing in Industrial Applications (Invited tutorial), Pp: 1-22.
8. Ferreira, C. 2001b. Gene Expression Programming. A New Adaptive Algorithm for Solving Problems. *Complex Systems.* 13: 2. 87-129.
9. Ferreira, C. 2004. Gene expression programming and the evolution of computer programs. *Recent Developments in Biologically Inspired Computing*, Pp: 82-103.
10. Ghaderi, A., Danesh Afza, R., and Desineh, M. 2015. The effect of creating a positive slope edge labyrinth weir on discharge coefficient and discharge rate the. 4th. International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development 27-29 December 2016. Shahid Beheshti University. Tehran. Iran.
11. Ghodsian, M. 2009. Stage-discharge relationship for a triangular labyrinth spillway. *Proceedings of the ICE-Water Management.* 1: 62. 173-178.
12. Gupta, K.K., Kumar, S., and Ahmad, Z. 2014. An approach to analyze the flow characteristics of sharp-crested triangular platform contracted weirs. *World Appl. Sci. J.* 32: 7. 1311-1317.
13. Guven, A., and Ersin Talu, N. 2010. Gene expression programming for estimating suspended sediment yield in middle Uuphratesbasin. *Clean-Soil, AirWater.* 38: 12. 1159-1168.
14. Hay, N., Taylor, G. 1970. Performance and desinge of labyrinth weirs. *J. Hydraul. Div.* 96: 2337-2357.
15. Jamifar, F., Takavandi, A., Maghfor Maghreebi, M., and Bina, K. 2015. Investigate the effect of vertex angle on hydraulic performance of Triangular labyrinth weir. 3th International Congress on Civil Engineering, Architecture, Urban Development. 29-31 Decmber. Shahid Beheshti University. Tehern. Iran.
16. Mohebbi, M., Meftah Halaghi, M., Dehghani, A., and Zahiri, A. 2015. Experimental Study of Discharge Coefficient of Triangular-in-plan weir structure. 5th National Conference Sustainable Architecture, 15 July. Institute of Higher Education Mehravand. Theran.
17. Oskouei, M., Emadi, A.R., and Shahnazari, A. 2016. Investigation of simultaneous slope of upstream and downstream ramps on hydraulic performance of rectangular labyrinth weir. *J. Water Soil Cons.* 23: 4. 155-169.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(1), 2019
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Experimental study of the effect of positive variation of weir in cross section on discharge coefficient of triangle weirs structures

**M. Karimi Pour Sorkohi¹, *M. Meftah Halaghi², A.A. Dehghani²
and Kh. Ghorbani²**

¹M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 07.06.2018; Accepted: 12.03.2018

Abstract

Background and Objectives: Weirs are always one of the most important components of water transmission networks, due to its simple structure and function. These components are important hydraulic structures for controlling flow and water level adjustment, which increase the height of the water surface and thereby provide the required water heights to divert the flow to the lateral channels. Also, these structures are used as flow measuring devices of the important applications of overflows, the secure flow of floods behind the dams. The purpose of this study is to investigate the effect of positive variation of weir in cross section on discharge coefficient of triangle weirs structures and provide a relationship for estimating the discharge coefficient based on geometrical hydraulic parameters.

Materials and Methods: The discharge coefficient is defined as a function of Froude number (Fr), angle of vertex, ratio of water head to height of weir (H/P) and ratio of water head to effective length (H/L_e). To achieve this aim, several experiments were done in the water and sediment laboratory, located in Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. The experiments were compacted by 4 different angles of vertexes and three different slopes. Finally, an equation was set by using Gene Expression Programming (GEP) to evaluate the discharge coefficient of triangle weirs. Findings showed that this equation has more accurate result compare experimental findings.

Results: The findings showed that the discharge coefficient would decrease by increasing trend in the side slopes in the constant Froude number. Also, by increasing the ratio of H/P a decreasing and increasing trend in the discharge coefficient was observed, respectively. The results show that GEP predicted the coefficient of triangle weirs structures with R^2 of 0.9676 and 0.8591 and RMSE of 0.0706 and 0.0247 for training and testing stages, respectively. This model gave better results compared by regression equation with R^2 of 0.9253 and 0.8029 and RMSE of 0.0467 and 0.084 for training and testing parts, respectively. In the other words, the error of coefficient triangle weirs structures prediction was decreased about 47.10% using GEP approach.

Conclusion: The results showed that GEP intelligence approach is an adequate model for the coefficient triangle weirs structures. Also, the results of traditional regression equations were improved using this method. In the other words, these results indicated that GEP was reliable to evaluate the coefficient discharge of triangle weirs structures by more accurate estimation. So; use of this way is suggested in future studies related to this topic.

Keywords: Discharge coefficient, Flow, Gene expression programming, Triangular weir, Variation of weir

* Corresponding Author; Email: meftahhalaghi@gmail.com