

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## کاربرد برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) در تعیین ضریب تخلیه‌ی سرریزهای جانبی لبه‌تیز مرکب

کامران محمدی (نویسنده مسئول)<sup>۱</sup>، رسول قبادیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه برنامه‌ریزی و نظارت پژوهشی، معاونت پژوهش و فن‌آوری، دانشگاه رازی، کرمانشاه [k\\_mohammadi@razi.ac.ir](mailto:k_mohammadi@razi.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه [r\\_ghobadian@razi.ac.ir](mailto:r_ghobadian@razi.ac.ir)

### چکیده

حفاظت از کانال‌های انتقال آب و سازه‌های موجود در آن در مقابل سیلاب‌ها از وظایف اساسی سرریزهای جانبی می‌باشد. اما در مواقع عادی، دقت اندازه‌گیری دبی خروجی از سرریز حائز اهمیت فراوان است. سرریزهای جانبی لبه‌تیز مرکب (CSC) هر دو این خصوصیات را به صورت یکجا دارا می‌باشد و لذا کاربرد آن را در شبکه‌های آبیاری و زهکشی افزایش می‌دهد. از طرفی مهم‌ترین خصوصیت هیدرولیکی هر سرریز توانایی آن در انتقال آب بوده که با ضریب دبی معنا پیدا می‌کند و تخمین سریع پارامتر مذکور به کمک الگوریتم‌های هوشمند می‌تواند جایگزین کاملاً مناسبی برای روابط تجربی ارائه شده برای آن باشد. برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) مدلی نسبتاً نوین در این عرصه بوده که جایگاه خود را به خوبی در بین مهندسين باز نموده است. بنابراین در این تحقیق با انجام آنالیز ابعادی، پارامترهای بی‌بعد بر ضریب دبی سرریز جانبی لبه‌تیز مرکب استخراج و سپس به کمک داده‌های آزمایشگاهی، ابتدا مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به منظور تخمین ضریب دبی سرریز مذکور با تعدادی از داده‌ها آموزش دیده و سپس توانایی آن در تعیین پارامتر مذکور به کمک دیگر سری‌های داده‌های آزمایشگاهی مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) آموزش دیده با دقت مناسب ضریب همبستگی  $R^2$  برابر ۰/۹۸ می‌تواند ضریب دبی سرریز جانبی لبه‌تیز مرکب را تخمین زده و کارایی تقریباً مشابهی با روابط تجربی ارائه شده دارد.

### واژه‌های کلیدی

برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)، ضریب تخلیه، سرریز جانبی، سرریز لبه‌تیز مرکب

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## ۱. مقدمه

به عنوان یکی از پرکاربردترین سازه‌های حفاظتی و کنترل سطح آب در سیستم‌های انتقال آب در کانال‌های روباز می‌توان سرریزهای جانبی را نام برد که برای انحراف جریان و کنترل سطح آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، انحراف سیل در طرح‌های مهندسی رودخانه و سیستم‌های زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر آن، سازه مذکور به عنوان سازه حفاظتی در بالادست سیفون‌های معکوس، زیرگذر جاده، مناطق سیل‌خیز در رودخانه‌ها و همچنین به جهت تخلیه آب مازاد ناشی از بهره‌برداری نادرست آبیگرهای بالادست به عنوان سرریز انتهایی در کانال اصلی به کار می‌روند. با توجه به تنوع و کاربرد گسترده سرریزهای جانبی، این نوع سرریز باید دارای خصوصیتی باشد تا بتوان از آن به طور مناسبی در شبکه‌های انتقال آب و یا سیستم‌های انحراف در رودخانه‌ها استفاده نمود. از جمله این خصوصیات می‌توان به اندازه‌گیری دقیق دبی جریان عبوری برای آبیگری مناسب از کانال و توانایی آن در خروج میزان قابل توجهی از جریان سیل در مکان‌هایی که به عنوان سازه حفاظتی به کار می‌رود، اشاره کرد. متأسفانه سرریزهای جانبی معمولی این دو قابلیت را به صورت توأم دارا نمی‌باشند، بطوری‌که اگر عرض سرریز کوچک باشد فقط برای اندازه‌گیری جریان مناسب است و اگر عرض سرریز، بزرگ در نظر گرفته شود، برای تخلیه سریع سیلاب مناسب خواهد بود اما دقت اندازه‌گیری دبی کاهش خواهد یافت. لذا سرریزهای جانبی لبه‌تیز مرکب پیشنهاد شده است. مزیت مهم اینگونه سرریزها، دقت مناسب اندازه‌گیری دبی در محدوده وسیعی از شرایط جریان (کم‌آبی تا سیلاب) و نیز تخلیه موثر سیل است.

باس در سال ۱۹۸۹ کتابی منتشر نمود و در آن معادلات اساسی دبی - هد را برای سرریزها از جمله سرریزهای لبه‌تیز، لبه‌پهن و فلوم‌های گلو بلند که دارای مقاطع عرضی مختلفی بودند برای مقطع کنترل‌شان معرفی کرد که کماکان دارای اعتبار می‌باشد [۵]. ظهیری و شعبانی [۱] با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی بیان ژن چند مرحله‌ای، رابطه دبی - اشل در مقاطع مرکب رودخانه‌ها را ارزیابی و مدل‌سازی نمودند. طی این پژوهش برای مدل‌سازی از سه متغیر بدون بعد عمق نسبی جریان، پارامتر کوهیرنس مقطع مرکب و دبی جریان نسبی محاسباتی به عنوان پارامترهای ورودی و از دبی نسبی جریان مشاهداتی به عنوان پارامتر خروجی استفاده شد. ارزیابی نتایج پژوهش نشان داد مقدار خطای تکنیک برنامه‌ریزی بیان ژن چند مرحله‌ای نسبت به استفاده از معادله مانینگ برای تعیین دبی نسبی جریان مشاهداتی ۱۹/۳ درصد بهتر است و لذا استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن چند مرحله‌ای در برآورد دبی سیلاب رودخانه‌های با مقطع مرکب مفید خواهد بود. باقری و همکاران [۲] سرریزهای جانبی لبه‌تیز مرکب را به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. در این تحقیق ابتدا رابطه بدون بعدی برای محاسبه دبی سرریز جانبی مورد مطالعه استخراج و سپس رابطه جدیدی برای محاسبه دبی جریان عبوری از سرریزهای جانبی مرکب مستطیلی ارائه گردید. موسوی و همکاران [۳] ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای - دوزنقه‌ای را به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. در این پژوهش مشخص شد ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای - دوزنقه‌ای با استفاده از ترکیب خطی روابط جریان در سرریزهای لبه‌تیز دایره‌ای و دوزنقه‌ای با دقت نسبتاً قابل قبولی قابل برآورد می‌باشد.

شریق و همکاران [۶] ضریب دبی را برای سرریزهای جانبی مرکب در کانال‌های باز مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق آزمون F-test نشان داد پارامتر  $\bar{P}/L$  مهم‌ترین پارامتر برای پیش‌بینی مقدار  $C_d$  است. خورچانی و بلانپاین [۷] با به کار بردن شبکه عصبی مصنوعی یک معادله دبی با دقت بالا برای سرریزهای جانبی معرفی نمودند که ضریب تخلیه سرریز را از روی وزن‌های رشته‌های شبکه عصبی بدست می‌آورد. یونال و همکاران [۸] تکنیک شبکه عصبی را با روش‌های یک بعدی و دو بعدی تخمین ظرفیت دبی در کانال‌های مستقیم با مقطع ترکیبی مقایسه کردند و مشخص شد که مدل شبکه عصبی مصنوعی به لحاظ آماری، نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های موجود از خود نشان می‌دهد. همچنین ژان و همکاران [۹] با ایجاد ترکیبات خطی بین سرریزهای ساده تشکیل دهنده سرریزهای ترکیبی، روابطی برای تعیین دبی عبوری از روی سرریزهای لبه‌پهن ترکیبی متقارن ارائه دادند. عامری و همکاران [۱۰] ضریب دبی سرریز جانبی مرکب مستطیلی - مثلثی را در شرایط زیر بحرانی به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند و رابطه‌ای را جهت محاسبه پارامتر مورد اشاره ارائه کردند. ریاحی و همکاران [۱۱] به کمک تکنیک برنامه‌ریزی بیان ژن به جهت کاهش خطاهای ناشی از خطی‌سازی در خطوط لوله برای تحلیل‌های دامنه نوسان جریان‌های گذرا پرداختند. در این پژوهش با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن ضرایب تصحیحی به منظور کاهش خطاهای ناشی از خطی‌سازی ارائه گردید که با به کار بردن آن مشخص شد خطای سیستم با اعمال فاکتورهای تصحیحی به مقدار

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

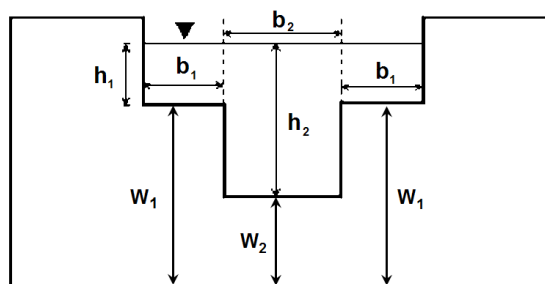
senaconf.ir

قابل توجهی کاهش خواهد یافت. نوح و همکاران [۱۲] با به کار بردن روش رگرسیون گیری چند ژنه در برنامه ریزی بیان ژن مدلی را ارائه دادند که توسط آن پیش بینی پارامترهای مدل حجم ذخیره عبوری در رودخانه های طبیعی ممکن می شود. در این پژوهش برای اجتناب از کالبراسیون هزینه بر پارامترهای مدل که با استفاده از آزمایشات ردیابی انجام می شود، دو پارامتر تجربی بدون بعد با استفاده از برنامه ریزی بیان ژن استخراج و معرفی شد. نتایج کاربرد مدل نشان داد مدل تهیه شده بر اساس برنامه ریزی بیان ژن می تواند به واسطه صرفه جویی اقتصادی در تعیین مدل حجم ذخیره عبوری در رودخانه های طبیعی مفید واقع شود.

با توجه به موارد مذکور، همان طور که می دانیم، مهمترین خصوصیت هر سرریز اوانایی آن در میزان تخلیه آب است که از آن به عنوان ضریب تخلیه یاد می شود. بنابراین تخمین سریع پارامتر مذکور بدون استفاده از روابط ارائه شده و در کوتاه ترین زمان ممکن حائز اهمیت خواهد بود. امروزه با گسترش فناوری های نوین و توسعه الگوریتم های فراکاوشی هوشمند، این مهم ممکن گردیده است. لذا در این تحقیق توانایی و کاربرد برنامه نویسی بیان ژن (GEP) در تخمین ضریب دبی سرریز جانبی لبه تیز مرکب مورد بررسی قرار می گیرد.

## ۲. مواد و روش ها

سرریزهای لبه تیز مرکب Compound Sharp Crested weir (CSC) از آنجای که دبی با دقت قابل قبولی به وسیله آنها قابل اندازه گیری می باشد، در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته اند. در این میان، با توجه به سادگی و دقت اندازه گیری، سرریزهای لبه تیز مرکب مستطیلی-مستطیلی Compound Rectangular-Rectangular Sharp-Crested weir (CRRSC) که شکل ۱ نمایشی از آن ارائه شده است، دارای محبوبیت بیشتری بوده چرا که در این سادگی، در دبی های کم دارای دقت مناسب و در دبی های بالا و سیلابی قدرت تخلیه بالایی دارند.



شکل ۱. نمایش شماتیک از سرریز لبه تیز ترکیبی مستطیلی-مستطیلی (CRRSC)

### ۲.۱. آنالیز ابعادی

به منظور تخمین ضریب دبی سرریز جانبی لبه تیز مرکب در این تحقیق، از داده های آزمایشگاهی باقری [۴] استفاده شد. پارامترهای موثر بر ضریب دبی در سرریزهای جانبی لبه تیز شامل موارد جرم حجمی سیال ( $\rho$ )، لزجت دینامیکی سیال ( $\mu$ )، ضریب کشش سطحی آب ( $\sigma$ )، شتاب ثقل ( $g$ )، دبی جریان در کانال اصلی بالادست سرریز ( $Q_1$ )، عمق جریان در بالادست سرریز ( $y_1$ )، سرعت جریان در بالادست سرریز ( $V_1$ )، عرض کانال اصلی ( $B$ )، طول سرریز ( $L$ ) و ارتفاع سرریز ( $w$ ) خواهند بود.

با توجه به شکل سرریزهای مرکب، از ارتفاع وزنی تاج سرریز ( $\bar{w}$ ) استفاده شده که به شکل زیر تعریف می شود:

$$\bar{w} = \frac{2w_1b_1 + w_2b_2}{2b_1 + b_2} \quad (1)$$

با به کار بردن تئوری باکینگهام و تعیین پارامترهای بی بعد، رابطه ضریب دبی به شکل زیر نوشته خواهد شد:

$$c_m = f_1(\text{Re}, Fr_1, y_1/\bar{w}, y_1/B, We) \quad (2)$$

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

در رابطه ۲، Re عدد رینولدز،  $Fr_1$  عدد فرود در بالادست جریان و  $We$  عدد وبر می باشد. با اطمینان از آشفته بودن جریان در طول کانال قبل از سرریز و در طول سرریز جانبی، می توان از اثر عدد رینولدز صرف نظر نمود. همچنین با توجه به اینکه همواره در طول آزمایش، حداقل ارتفاع آب روی سرریز از ۵ میلی متر بزرگتر است، اثر عدد وبر ناچیز است [۱۳]. بنابراین:

$$c_m = f_2(Fr_1, y_1/\bar{w}, y_1/B) \quad (3)$$

محدوده تغییرات پارامترهای هندسی و هیدرولیکی در این آزمایشها در جدول ۱ خلاصه شده است [۴].

جدول ۱. محدوده تغییرات داده های آزمایشگاهی به کار برده شده

پارامتر	$b_1$ (cm)	$b_2$ (cm)	$w_1$ (cm)	$w_2$ (cm)	$B$ (cm)	$Q$ (lit/s)	$Fr_1$
حداقل	۷/۵	۱۰	۱/۵	۰/۰	۳۰	۱/۶۹	۰/۴۲
حداکثر	۱۰	۱۵	۷	۵	۳۰	۱۶/۵	۰/۹۶

## ۲.۲. مدل برنامه ریزی بیان ژن (GEP)

برنامه ریزی ژنتیک یا GP یکی از شاخه های الگوریتم های هوشمند است که امروزه استفاده ای گسترده در مهندسی آب دارد [۱۴] و [۱۵]. در این تحقیق از برنامه ریزی بیان ژن (GEP) که شکل توسعه یافته برنامه ریزی ژنتیک است برای برآورد رابطه ضریب تخلیه سرریز جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی استفاده شده است. در GEP ابتدا بهسازیها در یک سیستم خطی انجام شده و پس از آن به شکل ساختار درختی بیان می گردد. این امر باعث شده تنها ژنوم اصلاح شده به نسل بعد منتقل شده و به ساختارهای سنگین برای تکثیر و جهش نیاز نباشد [۱۶]. در GEP افراد به صورت رشته های خطی با طول ثابت (ژنوم یا کروموزومها) کدگذاری شده و سپس به شکل نهادهای غیرخطی با اندازه ها و اشکال متفاوت (یعنی نمایش دیاگرام ساده یا بیان درختی) بیان خواهند شد. تابع برازش مورد استفاده در این تحقیق به صورت زیر تعریف می شود:

$$f_i = \sum_{j=1}^n \left( R - \left| \frac{P_{ij} - T_j}{T_j} \right| 100 \right) \quad (4)$$

در رابطه بالا R محدوده انتخابی،  $P_{ij}$  مقدار پیش بینی شده به وسیله برنامه i برای مورد برازش j (از میان n مورد برازش) است و  $T_j$  مقدار هدف برای مورد برازش j است.

بدین ترتیب به کمک تابع برازش و حفظ جواب های برتر و حذف جواب های ضعیف تر به تدریج به جواب مطلوب نزدیک می شویم. از این رو رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل ثابت نیست و پیوسته تغییر می کند. در واقع برنامه ریزی ژنتیک بدون هیچ فرضیه ای در ساختار رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته، رابطه ای مناسب بین پارامترهای بی بعد  $(Fr_1)$ ،  $(y_1/\bar{w})$ ،  $(y_1/B)$  و ضریب تخلیه سرریز جانبی لبه تیز مرکب برقرار می کند. در تحقیق حاضر، از میان ۹۶ سری داده ای که مورد استفاده قرار گرفته است، داده ها به شکل تصادفی به دو دسته مجزا تقسیم شده اند که ۷۵٪ داده ها به جهت آموزش (۷۲ سری داده) و ۲۵٪ باقی مانده (۲۴ سری داده) نیز برای مرحله آزمون به کار گرفته شد.

## ۳. نتایج و بحث

عملکرد مدل برنامه ریزی بیان ژن (GEP) در تعیین ضریب تخلیه سرریز مذکور با استفاده از پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد میانگین مطلق خطا (MAPE) و ضریب همبستگی ( $R^2$ )، مورد بررسی قرار می گیرد تا دقت مدل در تعیین ضریب دبی در مقایسه با داده های آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گیرد. بدیهی است هر اندازه مقادیر مربوط به RMSE و MAPE به صفر نزدیکتر و مقدار  $R^2$  به یک نزدیکتر باشد، دقت مدل مذکور در شبیه سازی ضریب تخلیه سرریز جانبی لبه تیز مرکب بیشتر می باشد.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [(Q_M)_i - (Q_P)_i]^2} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (Q_P - \bar{Q}_P)(Q_M - \bar{Q}_M))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_P - \bar{Q}_P)^2 \sum_{i=1}^n (Q_M - \bar{Q}_M)^2} \quad (6)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{e_i}{Y_i} \right| \times 100 \quad (7)$$

در روابط بالا n تعداد داده‌ها،  $Q_m$  مقدار دبی اندازه گیری شده،  $Q_p$  مقدار دبی به دست آمده با مدل برنامه ریزی ژنتیک،  $e_i$  اختلاف بین ارقام مشاهده‌ای و محاسبه‌ای (میزان خطا) و  $Y_i$  مقادیر مشاهده‌ای می‌باشند.

## ۳.۱. کاربرد GEP در تعیین ضریب تخلیه سرریز جانبی لبه تیز مرکب

به منظور تعیین پارامتر ضریب دبی در سرریزهای لبه تیز مرکب مستطیلی-مستطیلی ( $C_{MCRSSC}$ ) در اولین قدم تولید جمعیت اولیه دارای ضرورت می‌باشد. این عمل به کمک برخی توابع و ترمینال‌ها انجام می‌پذیرد. پس از آن، کروموزوم‌ها به شکل درختی بیان شده و در گام بعدی سازگاری هر کدام از اعضای کروموزوم‌ها با استفاده از تابع برازش ارائه شده در رابطه (۴) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با طی کردن این فرآیند و نگهداشتن جواب‌های مناسب‌تر و خارج نمودن جواب‌های نامناسب‌تر به حل مسئله مورد نظر نزدیک می‌شویم. به این صورت، GEP بدون هیچگونه فرض اوایه‌ای و خارج از هر قید در پیکربندی رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل، ارتباطی مناسب بین پارامترهای بی‌بعد ذکر شده در آنالیز ابعادی به وجود می‌آورد. مقادیر این پارامترها در جدول ۲ نشان داده شده است. جدول ۳ مقادیر مربوط به پارامترهای آماری مراحل آموزش و تست آموزش مدل GEP را ارائه می‌نماید. رابطه به دست آمده دارای  $R^2 = 0.9015$  در مرحله آموزش و  $R^2 = 0.9083$  در مرحله تست آموزش است که نشان دهنده دقت بالای رابطه ارائه شده دارد. شکل ۲ نمودار درختی رابطه به دست آمده توسط GEP را نشان داده و در نهایت رابطه (۸) توسط برنامه‌ریزی بیان ژن جهت تعیین ضریب دبی در سرریزهای لبه تیز مرکب مستطیلی-مستطیلی ( $C_{MCRSSC}$ ) استخراج گردید.

جدول ۲. مقادیر پارامترهای تنظیمی ورودی مدل GEP در بهترین برازش با داده‌های اصلی

مقدار - نوع	پارامتر
۱۰	اندازه سر (Head size)
۴۰	تعداد کروموزوم (Chromosomes)
۳	تعداد ژن‌ها (Number of gens)
۰/۰۴۴	سرعت جهش (Mutation Rate)
۰/۱	سرعت وارونگی (Inversion Rate)
۰/۳	سرعت تلاقی با یک نقطه (One-point Recombination Rate)
۰/۳	سرعت تلاقی با دو نقطه (Two-point Recombination Rate)
۰/۳	سرعت تلاقی ژن (Gene Recombination Rate)
۰/۱	سرعت جابه‌جایی (Transposition Rate)
RMSE	معیار خطای تابع برازش (Fitness Function Error Type)
جمع (+)	تابع مرتبط کننده (Linking Function)

جدول ۳. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده در مدل GEP و مقادیر آزمایشگاهی  $C_{MCRSSC}$  در مرحله آموزش و تست آموزش

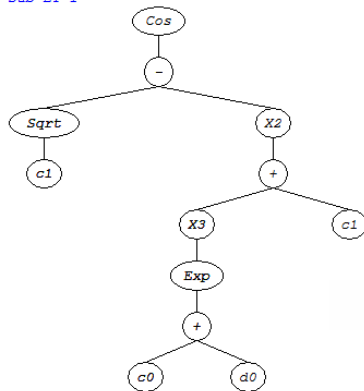
پارامتر آماری	$R^2$	RMSE	MAPE
مرحله آموزش	۰/۹۸	۰/۰۹	٪ ۱/۷۳
مرحله تست آموزش	۰/۹۷	۰/۱۰	٪ ۱/۸۲

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

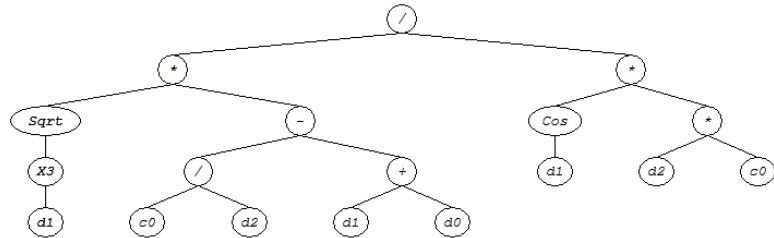
11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

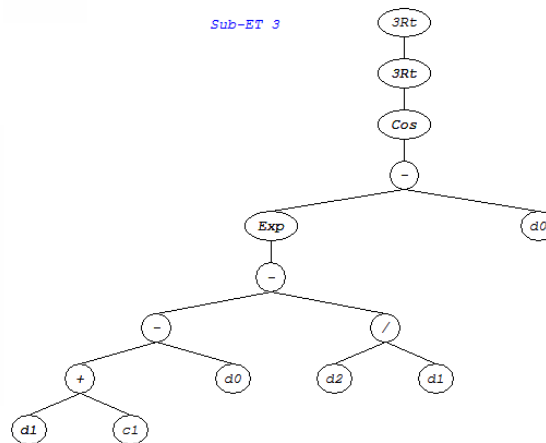
Sub-ET 1



Sub-ET 2



Sub-ET 3



شکل ۲. نمودار درختی رابطه به دست آمده توسط GEP برای پارامتر (CmCRASC)

$$C_m = \cos \left[ 3.014 - \left( \text{Exp}(-4.568 + Fr_1) \right)^3 + 9.085 \right]^2 + \left[ \frac{(y_1/B)^{3/2} * ((1.121/(y_1/\bar{w})) - ((y_1/B) + Fr_1))}{\cos(y_1/B) * ((y_1/\bar{w}) * 1.121)} \right] \quad (A)$$

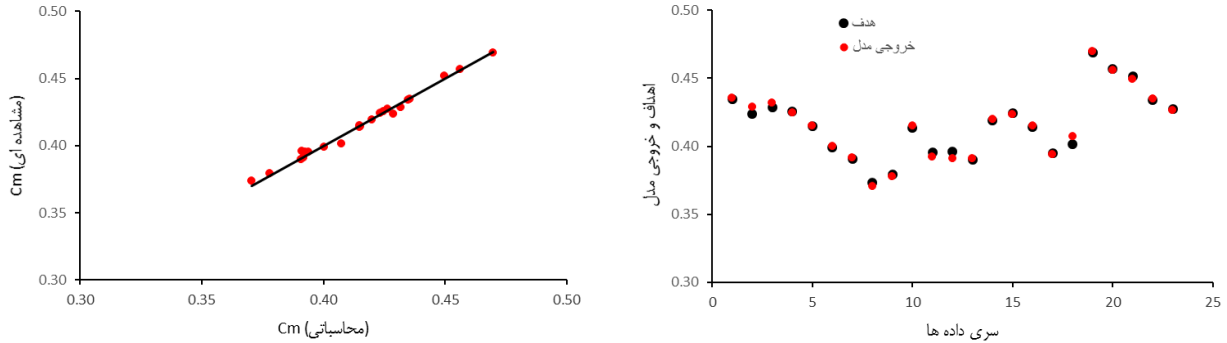
$$+ \cos \left[ \left[ \text{Exp} \left( \left( (y_1/B) + 4.563 \right) - Fr_1 \right) - \left( \frac{B}{w} \right) \right] - Fr_1 \right]^{1/3} \right]^{1/3}$$

پس از این مرحله، در مدل GEP ارائه شده، به جهت انجام مرحله آزمون برای ۲۴ سری داده باقیمانده، با ثابت نگاه داشتن پارامترها در مرحله آموزش، عمل آزمون برای مدل GEP کالیبره شده به انجام رسید. نتایج خروجی به دست آمده از این مرحله با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه و در شکل ۳ ارائه شده است، همچنین و تحلیل و مقایسه آماری مربوطه نیز در جدول ۴ قابل مشاهده می‌باشد. آن‌گونه که از شاخص‌های آماری مشخص است، پارامترهای ضریب همبستگی  $R^2$  و شیب خط رگرسیون  $\alpha$  نیز به ترتیب ۰/۹۸ و ۱/۰۲ بوده که حکایت از عملکرد بسیار خوب رابطه ارائه شده دارند. اکنون با در اختیار داشتن خصوصیات فیزیکی که منجر به محاسبه ۳ پارامتر بی‌بعد موجود در رابطه ۳ می‌گردد، می‌توان به راحتی پارامتر ضریب دبی در سرریزهای لبه تیز مرکب مستطیلی-مستطیلی (CmCRASC) را از رابطه ۸ محاسبه کرد.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل ۳. مقادیر محاسبه شده (Cm<sub>CRRSC</sub>) توسط رابطه ارائه شده مدل GEP و اندازه گیری شده در آزمایشگاه

جدول ۴. نتایج تحلیل آماری مقادیر پیش بینی شده در مدل GEP و مقادیر آزمایشگاهی Cm<sub>CRRSC</sub> در مرحله آزمون

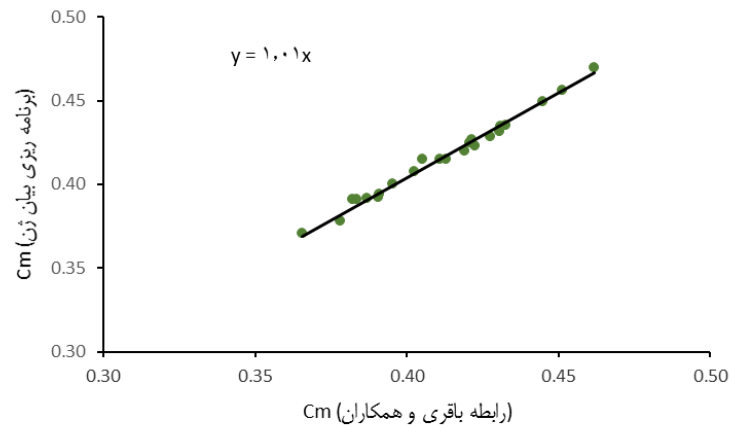
پارامتر آماری	R <sup>2</sup>	RMSE	ME	MAPE	α
مقدار	۰/۹۸	۰/۱۲	۰/۰۲۱	٪ ۱/۸۸	۱/۰۲

## ۳،۲. مقایسه کاربرد مدل GEP با روابط ارائه شده

یکی از بهترین روابط ارائه شده توسط محققین مختلف جهت تعیین ضریب دبی در سرریزهای لبه تیز مرکب مستطیلی- مستطیلی (Cm<sub>CRRSC</sub>)، رابطه ارائه شده توسط باقری و همکاران [۲] می باشد:

$$C_m = -0.055Fr_1 + 0.1063(w/y_1)^{2.1065} + 0.00168(B/y_1)^{1.1789} + 0.412 \quad (9)$$

که در ادامه نتایج بدست آمده از مدل GEP با ارقام محاسبه شده توسط رابطه ۹ مورد مقایسه قرار می گیرد. شکل ۴ مقادیر محاسبه شده (Cm<sub>CRRSC</sub>) توسط مدل GEP در مقابل مقادیر محاسبه شده توسط رابطه ۹ را نشان می دهد. مقدار شاخص آماری α برابر ۱/۰۱ به خوبی نشان گر تطابق بسیار مناسب دو روش می باشد.



شکل ۴. مقادیر محاسبه شده (Cm<sub>CRRSC</sub>) توسط مدل GEP در مقابل مقادیر محاسبه شده توسط رابطه ۹ (باقری و همکاران [۲])

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## ۴. نتیجه گیری

حفاظت از کانالهای انتقال آب و سازههای موجود در آن در مقابل سیلابها از وظایف اساسی سرریزهای جانبی می باشد. اما در مواقع عادی، دقت اندازه گیری دبی خروجی از سرریز حائز اهمیت فراوان است. سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب (CSC) هر دو این خصوصیات را به صورت یکجا دارا می باشد و لذا کاربرد آن را در شبکه های آبیاری و زهکشی افزایش می دهد. لذا در این پژوهش ابتدا با انجام آنالیز ابعادی، پارامترهای موثر بر ضریب دبی در سرریزهای لبه تیز مرکب مستطیلی-مستطیلی (CmCRRSC) مشخص و پس از آن رابطه ای توسط برنامه ریزی بیان ژن GEP ارائه داده شد که ابتدا با داده های آزمایشگاهی آموزش و سپس مورد آزمون قرار گرفت. پارامترهای ضریب همبستگی  $R^2$  و شیب خط رگرسیون  $\alpha$  معادل به ترتیب ۰/۹۸ و ۱/۰۲ حکایت از عملکرد بسیار خوب رابطه ارائه شده در مرحله آزمون دارند. همچنین عملکرد رابطه ارائه شده توسط GEP جهت تعیین پارامتر CmCRRSC با رابطه ارائه شده توسط باقری و همکاران [۲] مورد مقایسه قرار گرفت که مقدار شاخص آماری  $\alpha$  برابر ۱/۰۱ به خوبی نشانگر تطابق بسیار مناسب دو روش می باشد.

## مراجع

- [۱] ظهیری، ع؛ شعبانی، م. ع. ۱۳۹۷. مدل سازی رابطه دبی - اشل در مقاطع مرکب با استفاده از روش برنامه ریزی بیان ژن چند مرحله ای. نشریه آکوئیدرولوژی. دوره ۵، شماره ۱، ص ۴۸ - ۳۷.
- [۲] باقری، س.، ظهیری، ع.، قبادیان، ر.، دهقانی ا. ا. و مفتاح هلقی، م. ۱۳۹۲. بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک. جلد ۲۰، شماره ۱، صفحات ۱۳۳-۱۵۰.
- [۳] موسوی، س. ن.، فرسادی زاده، د.، ارونقی، ه. و عباس پور، ا. ۱۳۹۵. بررسی ضریب دبی سرریزهای لبه تیز مرکب قوس دایره ای-ذوزنقه ای. نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲۶، شماره ۲، صفحه های ۲۹ تا ۳.
- [۴] باقری، س. ۱۳۹۱. بررسی مشخصات هیدرولیکی و ضریب تخلیه سرریزهای جانبی لبه تیز ترکیبی در جریان زیر بحرانی. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب - گرایش سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

- [5] Bos, M., G. 1989. Discharge measurement structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement / ILRI.
- [6] Shariq, A., Hussain, A. and Ansari, M. A. 2017. Discharge Coefficient for Side Compound Weirs in Open Channel. International journal of advance research in science and engineering. Vol. 6, No.3, pp. 177-186.
- [7] Khorchani, M., and Blanpain, O. 2005. Development of a discharge equation for side weirs using artificial neural networks. Journal of Hydro Informatics, IWA Publishing, pp. 31-39.
- [8] Unal, B., Mamak, M., Seckin, G., and Cobaner, M. 2009. Comparison of an ANN approach with 1-D and 2-D methods for estimating discharge capacity of straight compound channels. Advances in Engineering Software. 41, pp. 120-129.
- [9] Jan, C., D., Chan, C., J., and Kuo, H., F. 2009. Experiments on discharge equations of compound broad-crested weirs. J. Irrigation and Drainage Eng., Vol 135, No 4, pp:511-515.
- [10] Ameri, M., Ahmadi, A. and Dehghani, A. A. 2015. Discharge coefficient of compound triangular-rectangular sharp-crested side weirs in subcritical flow conditions. Journal of Flow Measurement and Instrumentation. Vol. 45, pp. 170-175.
- [11] Riyahi, M. M., Rahmanshahi, M. & Ranginkman, M. H. 2018. Frequency domain analysis of transient flow in pipelines; application of the genetic programming to reduce the linearization errors. Journal of Hydraulic Structures, 4(1): 75-90.
- [12] Noh, H., Kwon, S., Seo, I. W., Beak, D. & Jung, S. H. 2021. Multi-Gene Genetic Programming Regression Model for Prediction of Transient Storage Model Parameters in Natural



یازدهمین کنگره ملی سراسری  
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

- Rivers. Water Journal, 13, 76.
- [13] Ghodsian, M. 2004. Flow over Triangular Side Weir. Journal of Scientia Iranica, Vol 11, pp 114-120.
- [14] Bozorg-Haddad, O., Soleimani, S. and Loáiciga, H. A. 2017. Modeling Water-Quality Parameters Using Genetic Algorithm–Least Squares Support Vector Regression and Genetic Programming. Journal of Environmental Engineering, pp: 04017021.
- [15] Pourzangbar, A., Saber, A., Yeganeh-Bakhtiary, A. and Rasoul Ahari, L. 2017. Predicting scour depth at seawalls using GP and ANNs. Journal of Hydroinformatics, pp: 349-363.
- [16] Ferreira, C. 2004. Gene expression programming and the evolution of computer programs. In: Castro, L.N., Von Zuben, F.J., (Eds.), Recent Developments in Biologically Inspired Computing, pages 82-103, Idea Group Publishing.