

## شبیه‌سازی روند توسعه زمانی ابعاد حفره آبستگی اطراف آبشکن بالدار با استفاده از

### برنامه‌ریزی بیان ژنی

پروین اقبالی<sup>1\*</sup>، رسول دانشفراز<sup>2</sup>، سید مهدی ثاقبان<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 90/12/16 تاریخ پذیرش: 91/07/16

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>2</sup> استادیار گروه عمران دانشگاه مراغه

<sup>3</sup> عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

\* مسئول مکاتبه: Email: [P\\_eghbal@yahoo.com](mailto:P_eghbal@yahoo.com)

### چکیده

آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که معمولاً در حفاظت دیواره خارجی قوس‌ها و طرح‌های اصلاح مسیر رودخانه، بطور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. تغییرات زمانی ابعاد حفره آبستگی آبشکن و تعیین عمق تعادل آبستگی در طراحی و کاربرد این سازه اهمیت زیادی دارد. جهت پیش‌بینی توسعه زمانی عمق حفره آبستگی روابط تجربی متعددی ارائه شده است. در دهه اخیر روش‌های هوش مصنوعی به‌خاطر قابلیت شبیه‌سازی فرایندهای پیچیده، در زمینه‌های مختلف مهندسی آب کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند. برنامه‌ریزی بیان ژنی که جزء الگوریتم‌های تکاملی محسوب می‌شود، قادر به بهینه‌سازی ساختار مدل و مؤلفه‌های آن می‌باشد. در این تحقیق توسعه زمانی ابعاد حفره آبستگی در آبشکن‌ها با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژنی شبیه‌سازی شده و نتایج آن با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است. با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر در توسعه زمانی آبستگی اطراف آبشکن با استفاده از تحلیل ابعادی، پارامترهای بی‌بعد  $t/t_e, V/V_c$  به عنوان متغیر مستقل و پارامترهای  $a/L, b/L, c/L, d_s/d_{se}$  به عنوان تابع در نظر گرفته شد. مقایسه نتایج ژنی نشان داد که برنامه‌ریزی بیان ژن، به خوبی روند توسعه زمانی عمق و ابعاد حفره آبستگی را مدل‌سازی نموده است.

واژه‌های کلیدی: آبستگی، آبشکن، ابعاد حفره، برنامه‌ریزی بیان ژنی، توسعه زمانی

## Simulation of Temporal Development of Scour Hole Around an Wing-wall Abutment Using Gene Expression Programming

P Eghbali<sup>1\*</sup>, R Daneshfaraz<sup>2</sup>, SM Saghebian<sup>3</sup>

Received: 7 March 2012 Accepted: 7 October 2012

<sup>1</sup>- MSc Student of Hydraulic Structures, Univ. of Agric. Sci. Natural Resources, Univ of Gorgan. Iran.

<sup>2</sup>- Assist. Prof., Dept. of Civil Engin., Univ. of Maraghe, Iran.

<sup>3</sup>- Sci. Member Staff, Dept. of Civil Engin., Univ. of Eslamic Azad, Ahar, Iran.

\*Corresponding Author Email: [P\\_eghbal@yahoo.com](mailto:P_eghbal@yahoo.com)

### Abstract

Abutments are widely used structures for protecting outer banks of river bends and its stabilization projects. Temporal variation of scour hole around an abutment, and the determination of equilibrium scour depth in designing and applying abutments are very important. Nowadays, several empirical relationships for predicting temporal variation of scour hole depth at abutment are presented. In the recent decade, due to ability of complex phenomena modeling, the artificial intelligent methods have very wide applications in many fields of water engineering. Gene-expression programming, a branch of evolutionary algorithms, is able to optimize the model structure and its components. In this study, using gene-expression programming, temporal development of scour hole around a wing-wall abutment has been simulated and compared with experimental data. By considering effective parameters in temporal development of scour around the abutment using dimensional analysis, the dimensionless parameters of  $t/t_e$  and  $V/V_c$  have been selected as independent variables  $a/L$ ,  $b/L$ ,  $c/L$  and  $d_s/d_{se}$  parameters as dependent variables. Comparison of results of gene-expression programming with experimental data show that gene-expression programming is able to simulate the process of temporal development of scour hole and depth, very well.

**Key words:** Dimensions of scour hole, Gene expression programming, Scour, Temporal variation, Wing-wall abutment

رودخانه قرار می‌گیرند. این سازه‌ها جهت هدایت جریان در طول یک بازه رودخانه و همچنین برای حفاظت ساحل یا انحراف مسیر عمومی جریان ایجاد می‌گردند. این نوع سازه معمولاً از مصالح رودخانه‌ای ساخته شده و در پل‌ها به‌عنوان پایه کناری یا تکیه‌گاه پل که در داخل آب پیش رفته و به کناره‌ها متصل یا توسط آن‌ها

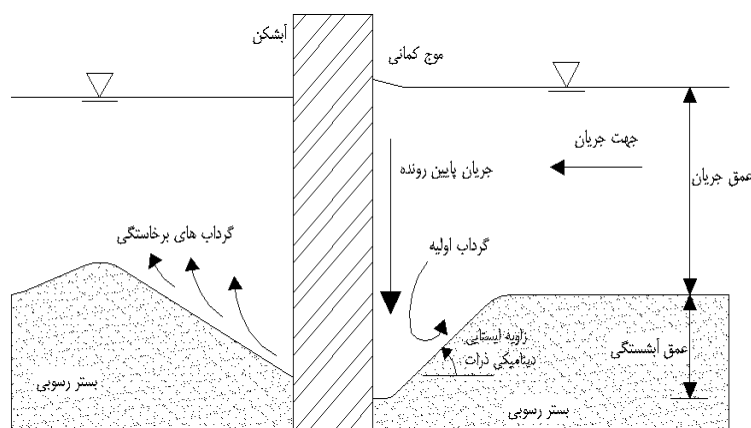
مقدمه

آبشکن<sup>1</sup>ها از مهم‌ترین سازه‌هایی هستند که به منظور ساماندهی رودخانه و بهره‌برداری مناسب از امکانات رودخانه ساخته می‌شوند و در جهت عمود بر جریان رودخانه از سواحل رودخانه به سمت داخل

<sup>1</sup>Abutment

تشخيص دهند چه مقدار فونداسيون سازه براي محافظت از آبستگي مورد نياز است. همچنين در بحث آبستگي موضعي، شناخت توسعه زمانی آبستگي و زمان مورد نياز براي رسيدن آبستگي به وضعيت تعادل، در بدست آوردن حداکثر عمق آبستگي بسيار مفيد مي باشد.

حمایت می شوند، بکار می رود. آبشکن باعث ممانعت و بی نظمی جریان اصلی رودخانه شده و آن را به یک سیستم جریان گردابی سه بعدی تغییر می دهد. جریان گردابی موجب رشد و گسترش حفره آبستگي موضعی در اطراف آبشکن می شود (شکل 1). یکی از شاخص های مهم در طراحی آبشکن ها مشخصات ابعاد حفره آبستگي می باشد تا مهندسين قادر باشند



شکل 1- الگوی آبستگي در اطراف یک آبشکن (مهتابی و همکاران 1387).

انجام گرفته توسط محققين، نشان می دهد که اکثر این مطالعات بر روی عمق آبستگي انجام گرفته و ابعاد حفره آبستگي و نحوه توسعه آن ها کمتر مورد توجه و بررسی واقع شده است. حال آنکه شناخت تغییرات ابعاد حفره آبستگي، توسعه زمانی و نحوه گسترش ابعاد حفره می تواند کمک شایانی در درک بهتر مکانیسم عمل آبستگي و گسترش حفره آبستگي داشته باشد. با ادامه سیر تکاملی مدل های هوشمند، برنامه ریزی بیان ژنی در مهندسی آب به ابزارهای مدل سازی مسائل مربوط به تعیین ساختار پدیده ها افزوده شد. این روش جزء روش های الگوریتم گردشی محسوب می شود که مبنای تمامی آن ها بر اساس نظریه تکامل داروین استوار است. الگوریتم های یاد شده اقدام به تعریف یک تابع هدف در قالب معیارهای کیفی نموده و سپس تابع یاد شده را برای اندازه گیری و مقایسه

مطالعات متعددی در خصوص توسعه زمانی ابعاد حفره آبستگي صورت گرفته است. اتما (1980)، درگاهی (1990) و کوهنلی و همکاران (2002) تغییرات عمق آبستگي با زمان را به صورت لگاریتمی، فرانزتی و همکاران (1982) و کانداسامی (1989) به صورت نمایی، و نهایتاً بروسوز (1967) بر اساس یک توزیع توانی تعریف نمودند. نظر معمول بر این است که عمق تعادل آبستگي در آبشکن به صورت مجانب بدست می آید. براساس معادله لارسن و تاچ (1956)، تقریباً 75 درصد کل آبستگي در 4 ساعت اول اتفاق می افتد. براساس نتایج شرایدر و همکاران (2001) عمق آبستگي بعد از 500 دقیقه از شروع آزمایش به حدود 85 درصد مقدار نهایی خود می رسد. مهتابی و همکاران (1387) روابطی برای توسعه زمانی عمق آبستگي اطراف آبشکن ها ارائه داده اند. بررسی تحقیقات قبلی

## مواد و روش‌ها

### روابط حاکم

بررسی تحقیقات محققین نشان می‌دهد به‌جز مهتابی و همکاران (1387)، تاکنون مطالعات خاصی روی توسعه زمانی ابعاد حفره آبشستگی آبشکن انجام نشده است. درخصوص توسعه زمانی عمق حفره آبشستگی، محققین تحقیقات گسترده‌ای انجام داده و روابط گوناگونی ارائه نموده‌اند. از کامل‌ترین و جدیدترین روابط ارائه شده برای توسعه زمانی عمق حفره می‌توان به رابطه کلمن و همکاران (2003) و گیری (2005) اشاره کرد.

کلمن و همکاران (2003) زمان تعادل آبشستگی ( $t_e$ ) را به صورت  $t^* = t_e V/L$  بی‌بعد نموده و براساس داده‌های آزمایشگاهی، روابط زیر را برای تعیین  $t^*$  پیشنهاد کردند.

$$t^* = 10^6 \left(\frac{V}{V_c}\right)^3 \left(\frac{y}{L}\right) \left\{3 - \left[1.2 \left(\frac{y}{L}\right)\right]\right\}, \quad [1]$$

$$\frac{y}{L} < 1, \quad \frac{L}{d_{50}} > 60$$

$$t^* = 1.8 \times 10^6 \left(\frac{V}{V_c}\right)^3, \quad \frac{y}{L} \geq 1, \quad \frac{L}{d_{50}} > 60 \quad [2]$$

که در آن  $y$  عمق جریان،  $L$  طول آبشکن،  $t^*$  زمان بی‌بعد آبشستگی،  $V$  سرعت متوسط جریان،  $V_c$  سرعت بحرانی آستانه حرکت ذره و  $d_{50}$  قطر متوسط ذره رسوبی است. آن‌ها همچنین تغییرات زمانی عمق آبشستگی آبشکن را تحت شرایط آب زلال آنالیز کردند و تأثیر زمان بر آبشستگی را به صورت فاکتور  $k_t$  در معادله ارائه شده ملویل (1992) نشان داده و آن را به صورت زیر ارائه کردند.

$$k_t = \frac{d_s}{d_{se}} = \exp \left[ -0.07 \left(\frac{V_c}{V}\right) \left| \ln \left(\frac{t}{t_e}\right) \right|^{1.5} \right] \quad [3]$$

روش‌های مختلف حل، در یک فرآیند گام به گام برای تصحیح ساختار داده‌ها به کار می‌گیرند و در نهایت، روش حل مناسب را ارائه می‌نمایند. روش برنامه‌ریزی بیان ژنی جدیدترین شیوه از بین روش‌های الگوریتم تکاملی می‌باشد که به دلیل دارا بودن دقت کافی، مرسوم‌ترین شیوه بوده و از کاربرد بیشتری برخوردار است.

در چند دهه اخیر استفاده از روش‌های هوشمند در علوم آب گسترش فراوانی یافته است. در زمینه تخمین آبشستگی در سازه‌های مختلف با استفاده از روش‌های هوشمند از جمله برنامه‌ریزی بیان ژنی و شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز تاکنون مطالعاتی صورت گرفته است.

گوون و همکاران (2009) برنامه‌ریزی ژنتیک را برای تخمین آبشستگی اطراف پایه‌های استوانه‌ای بکار بردند و نتیجه گرفتند برنامه‌ریزی ژنتیک بهتر از سیستم استنتاج فازی عصبی و معادلات رگرسیونی می‌تواند عمق آبشستگی را تخمین بزند. عظمت اله و همکاران (2010) برای تخمین آبشستگی اطراف پایه‌پل از شبکه‌های عصبی و برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده کردند و نشان دادند که برنامه‌ریزی ژنتیک در مقایسه با شبکه‌های عصبی و نتایج معادلات رگرسیونی از دقت بالاتری برخوردار است. محمدپور و همکاران (2011) برای تخمین زمان تعادل آبشستگی اطراف تکیه گاه از مدل برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده کردند و رابطه‌ای برای آن ارائه دادند. براساس موارد ذکر شده و اهمیت شناخت توسعه زمانی ابعاد حفره در آبشکن‌ها، هدف این تحقیق شبیه‌سازی توسعه زمانی عمق و ابعاد حفره آبشستگی با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن و مقایسه نتایج حاصل با داده‌های مشاهداتی آزمایشگاهی و محققین قبلی می‌باشد.

سرعت بحرانی آستانه حرکت ذره،  $d_{50}$  قطر متوسط ذره رسوبی،  $\sigma_g$  انحراف معیار رسوبات،  $L$  طول آبشکن و  $t$  زمان آبستنگی است.

با توجه به ماهیت یکسان آبستنگی عمق و ابعاد حفره و با در نظر گرفتن شرایط انجام آزمایشها و حذف پارامترهای ثابت و بی تاثیر و با استفاده از آنالیز ابعادی می توان روابط بی بعد زیر را برای تغییرات زمانی ابعاد حفره آبستنگی ارائه داد:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = f\left(\frac{V}{V_c}, \frac{t}{t_e}, \frac{y}{L}, \frac{D_{50}}{L}\right) \quad [7]$$

$$\frac{a}{L} = f\left(\frac{V}{V_c}, \frac{t}{t_e}, \frac{y}{L}, \frac{D_{50}}{L}\right) \quad [8]$$

$$\frac{b}{L} = f\left(\frac{V}{V_c}, \frac{t}{t_e}, \frac{y}{L}, \frac{D_{50}}{L}\right) \quad [9]$$

$$\frac{c}{L} = f\left(\frac{V}{V_c}, \frac{t}{t_e}, \frac{y}{L}, \frac{D_{50}}{L}\right) \quad [10]$$

به منظور پیدا کردن ارتباط توسعه زمانی ابعاد حفره آبستنگی با این پارامترها، روند تغییرات توسعه زمانی ابعاد حفره آبستنگی با تمام پارامترها بررسی می گردد. شایان ذکر است در این آزمایشها  $\frac{y}{L} \geq 1$  و  $\frac{L}{d_{50}} \geq 60$  بود و براساس نتایج کولمن و همکاران (2003)، در این حالت اثر پارامترهای بی بعد مذکور در توسعه زمانی ابعاد حفره آبستنگی حذف می گردد، بنابراین روابط فوق به صورت زیر نوشته شد:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = f\left(\frac{V}{V_c}, \frac{t}{t_e}\right) \quad [11]$$

$$\frac{c}{L} = f\left(\frac{V}{V_c}, \frac{t}{t_e}\right) \quad [12]$$

$$\frac{b}{L} = f\left(\frac{V}{V_c}, \frac{t}{t_e}\right) \quad [13]$$

$$\frac{a}{L} = f\left(\frac{V}{V_c}, \frac{t}{t_e}\right) \quad [14]$$

محدوده تغییرات پارامترهای بی بعد استفاده شده در این تحقیق (مقادیر حداکثر و حداقل) در جدول 1 آورده شده است.

که در آن  $t_e$  زمان تعادل آبستنگی،  $t$  زمان آبستنگی،  $d_s$  عمق حفره آبستنگی و  $d_{se}$  عمق تعادل آبستنگی است.

گیری (2005) پارامتر دیگری را برای بیان مقیاس زمان بی بعد که به عدد استراهل<sup>1</sup> ذره رسوبی ( $St^*$ ) معروف است و حالت عمومی توسعه حفره آبستنگی را در بردارد، تعریف کرد ( $St^* = U_{*c} t / (Ly)^{0.5}$ ) و با استفاده از یک سری داده های آزمایشگاهی، تغییرات زمانی عمق آبستنگی را با استفاده از  $St^*$  نرمال کرد و یک رابطه نمایی برای مرحله آغازین آبستنگی و یک رابطه لگاریتمی برای مرحله اصلی آبستنگی ارائه نمود.

$$T_f = \frac{d_s}{d_{se}} = 1 - \frac{1}{\exp(mst_*^n)} \quad [4]$$

$$0 < St_* < 50$$

$$m = 0.045, \quad n = 0.44$$

$$T_f = \frac{d_s}{d_{se}} = m_1 \ln(st_*) - n_1 \quad [5]$$

$$50 \leq St_* < 30000$$

$$m = 0.13, \quad n = 0.34$$

که در آن  $U_{*c}$  سرعت برشی بحرانی،  $m$  و  $n$  مقادیر ثابت،  $d_s$  عمق حفره آبستنگی و  $d_{se}$  عمق تعادل آبستنگی است.

آنالیز ابعادی

پارامترهای مؤثر در عمق آبستنگی ( $d_s$ ) آبشکن را می توان به صورت رابطه زیر نشان داد:

$$d_s = f(m, r, r_s, g, y, V, V_c, d_{50}, S_g, L, t) \quad [6]$$

$$d_s = f(m, r, r_s, g, y, V, V_c, d_{50}, S_g, L, t)$$

که در آن  $m$  لزوجت دینامیک سیال،  $r$  و  $r_s$  به ترتیب جرم مخصوص سیال و ذرات رسوبی،  $g$  شتاب ثقل،  $y$  عمق جریان،  $V$  سرعت متوسط جریان،  $V_c$

## جدول 1- محدوده پارامترهای بی بعد استفاده شده در

## تحقیق حاضر

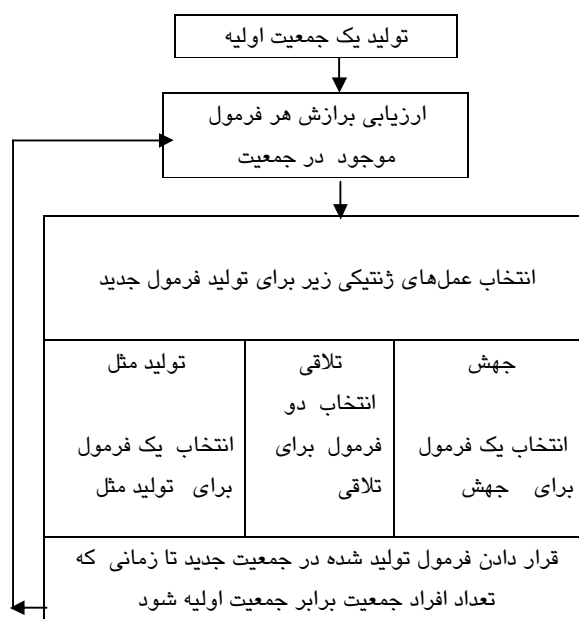
$V/V_c$	$t/t_c$	$b/L$	$a/L$	$c/L$	$d/d_s$	
0/9	0/0045	1/25	0/45	2/12	0/19	حداقل
0/98	0/2	8/83	4/2	7	0/87	حداکثر

این ترتیب که جمعیتی در جهت تکامل به صورت انتخابی، جمعیت نامناسب را رها کرده و فرزندانی اصلاح شده ایجاد می‌کنند. در این روش در ابتدای فرآیند هیچگونه رابطه تابعی در نظر گرفته نشده و این روش قادر به بهینه‌سازی ساختار مدل و مؤلفه‌های آن می‌باشد. برنامه‌ریزی ژنی روی ساختار درختی فرمول-ها عمل می‌کند. ساختارهای درختی از مجموعه توابع (عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها) و ترمینال‌ها (متغیرهای مسئله و اعداد ثابت) ایجاد می‌شوند. در شکل 2 گام‌های اجرایی برنامه‌ریزی بیان ژنی نشان داده شده است.

در نهایت با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژنی، روابط مختلف برای توسعه زمانی ابعاد آبشستگی بررسی و نتایج بدست آمده از این مدل با نتایج آزمایشگاهی و روابط مهتابی و همکاران (1387) مورد مقایسه قرار گرفت.

برنامه‌ریزی بیان ژنی<sup>1</sup>

برنامه‌ریزی بیان ژنی نخستین بار توسط کوزا (1992) براساس تئوری داروین ارائه شد. این روش جزء روش‌های الگوریتم گردشی محسوب می‌شود. به



شکل 2 - مروری بر شکل کلی گام‌های اجرایی برنامه‌ریزی بیان ژنی (ست و بولارت 2001).

<sup>1</sup> Gene expression programming

که  $X_j$  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 می باشد.

#### معیارهای ارزیابی

در این تحقیق برای ارزیابی توانایی و دقت مدل برنامه ریزی بیان ژنی در شبی سازی توسعه زمانی ابعاد حفرة آبستگى اطراف آبشكن بالدار از نمایه های ضریب همبستگی (R) و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شده است، که به ترتیب با استفاده از روابط 16 و 17 قابل محاسبه است.

$$R = \left( \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \right) \quad [16]$$

$$MSE = \frac{\sum (X - Y)^2}{n} \quad [17]$$

که  $x = X - \bar{X}$ ،  $y = Y - \bar{Y}$ ،  $X$  مقدار مشاهداتی،  $Y$  مقدار محاسباتی،  $\bar{X}$  میانگین مقادیر مشاهداتی،  $\bar{Y}$  میانگین مقادیر محاسباتی و  $n$  تعداد داده ها است. علاوه بر معیارهای فوق از نمودارهای مشاهداتی - محاسباتی نیز جهت ارزیابی مدل ها استفاده گردید.

#### داده های آزمایشگاهی و ابعاد مدل آبشكن

در این تحقیق از داده های آزمایشگاهی مهتابی و همکاران (1387) که مربوط به نتایج آزمایش های انجام گرفته روی توسعه زمانی مشخصات حفرة آبستگى (عمق و ابعاد) آبشكن بالدار تحت شرایط آبستگى آب زلال می باشد، استفاده شده است.

در شکل 3 پلان شماتیک ابعاد حفرة آبستگى اطراف آبشكن نشان داده شده است. محدوده شرایط انجام آزمایش ها، تغییرات داده های آزمایشگاهی و ابعاد مدل آبشكن در جدول 1 ارائه شده است.

فرآیند اجرایی گام به گام برنامه ریزی بیان ژنی به صورت مراحل زیر است:

1. تولید یک جمعیت اولیه از فرمول ها که این فرمول ها از ترکیب تصادفی مجموعه توابع (عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول ها) و ترمینال ها (متغیرهای مسئله و اعداد ثابت) ایجاد می شوند.

2. هر یک از افراد جمعیت مذکور با استفاده از توابع برازش مورد ارزیابی قرار می گیرند.

3. تولید یک جمعیت جدید از فرمول ها، که مراحل زیر برای تولید یک جمعیت جدید دنبال می شود: الف) یکی از عمل های ژنتیکی تلاقی<sup>1</sup>، جهش<sup>2</sup> و تولید مثل<sup>3</sup> انتخاب می شود (این سه عمل ژنتیکی، مهم ترین عمل های ژنتیکی مورد استفاده در برنامه ریزی بیان ژنی می باشند). ب) تعداد مناسبی از افراد جمعیت حاضر انتخاب می شوند (انتخاب فرد یا افرادی از جمعیت مذکور به صورت احتمالاتی می باشد که در این انتخاب احتمالاتی منفردهای با برازش بهتر به منفردهای نامرغوب ترجیح داده می شوند و این بدان معنی نیست که حتماً منفردهای نامرغوب حذف می شوند). ج) از عمل ژنتیکی انتخاب شده برای تولید فرزند (فرمول جدید) استفاده می شود. د) فرزند (فرمول جدید) تولید شده در یک جمعیت جدید وارد می شود. ه) مدل مورد نظر با استفاده از تابع برازش مورد ارزیابی واقع می شود.

4. گام سوم تا نیل به حداکثر تعداد تولید، تکرار خواهد شد.

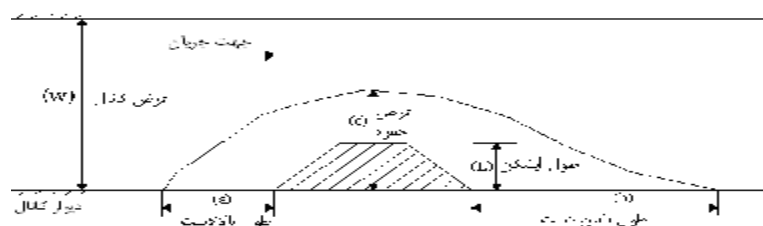
برازش هر یک از کروموزوم یا افراد جمعیت تولید شده در برنامه ریزی بیان ژن از رابطه زیر قابل ارزیابی است:

$$f = \sum_{j=1}^N (|X_j - Y_j|) \quad [15]$$

<sup>1</sup> Crossover

<sup>2</sup> Mutation

<sup>3</sup> Reproduction



شکل 3 - پلان شماتیک ابعاد حفره آبشستگی آبشکن.

جدول 1- محدوده شرایط انجام آزمایش‌ها، تغییرات داده‌های آزمایشگاهی و ابعاد مدل آبشکن.

محدوده تغییرات	نماینه	پارامتر
0/02-0/04	$L(m)$	طول آبشکن
0/133-0/197	$y(m)$	عمق جریان
0/235-0/264	$V(m/s)$	سرعت جریان
0/3	$d_{50}(mm)$	اندازه متوسط ذرات رسوبی
0/013-0/103	$d_s(m)$	عمق حفره آبشستگی
0/008-0/154	$a(m)$	طول بالادست حفره آبشستگی
0/028-0/22	$b(m)$	طول پایین دست حفره آبشستگی
0/04-0/215	$c(m)$	عرض حفره آبشستگی

## نتایج و بحث

مستقل در نظر گرفته شد. در تحقیق حاضر محاسبات مربوطه با نرم افزار GeneXproTools انجام پذیرفت. برای شبیه‌سازی از عملگرهای مختلفی استفاده شد که مجموعه عملگرهای ریاضی  $\{-, +, *, /, \sqrt{\quad}\}$ ،  $\{power, Log, Exp\}$  بهترین جواب را داشتند. پارامترهای لازم جهت تجزیه و تحلیل در این تحقیق که جزء گام-های اولیه برنامه‌ریزی بیان می‌باشند به صورت جدول 2 انتخاب شده است.

پس از انجام مدل‌سازی با این متغیرها و مجموعه عملگرهای ریاضی، روابط توسعه زمانی مشخصات حفره آبشستگی اطراف آبشکن حاصل از GEP و همچنین شاخص‌های آماری مربوط به نتایج GEP در جدول شماره 3 درج گردیده است.

روابط ارائه شده در محدوده  $0/3 < V/V_c < 1$  قابل

استفاده می‌باشد.

در این تحقیق برای مدل‌سازی توسعه زمانی مشخصات حفره آبشستگی اطراف آبشکن بالدار با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژنی 70 درصد داده‌های مشاهداتی مربوط به توسعه زمانی حفره و ابعاد آبشستگی اطراف آبشکن بالدار به منظور تعیین مدل مناسب مورد استفاده قرار گرفته و از مابقی داده‌ها در واسنجی مدل‌های مورد نظر بهره برده شد.

همانطور که در قسمت آنالیز ابعادی توضیح داده شد، پس از بی بعد کردن پارامترهای مؤثر در توسعه زمانی آبشستگی اطراف آبشکن با استفاده از آنالیز ابعادی، پارامترهای بی‌بعد  $a/L, b/L, c/L, d_s/d_{se}$  به عنوان تابع و پارامترهای  $t/t_c, V/V_c$  به عنوان متغیر



جدول 2- مقادیر پارامترهای استفاده شده در هر سری از اجرای برنامه

30	Chromosomes	کروموزومها
3	Number of genes	تعداد ژن‌ها
جمع	Linking function	عملگر ریاضی بین ژن‌ها
0/044	Mutation rate	سرعت جهش
0/1	Inversion rate	سرعت وارونگی
0/3	One-point recombination rate	سرعت تلاقی با یک نقطه
0/3	Two-point recombination rate	سرعت تلاقی با دو نقطه
0/1	Gene recombination rate	سرعت تلاقی ژن
0/1	Gene transposition rate	سرعت جابجایی ژن

جدول 3- خلاصه نتایج حاصل از برنامه‌ریزی بیان ژن

MSE	R	رابطه حاصل از مدل	مشخصات بی‌بعد
0/05	0/97	$\frac{a}{L} = \frac{V}{V_c} \text{Ln} \left( 95.024 \frac{t}{t_e} \right) + \exp \left( \exp \left( \frac{t}{t_e} \right)^2 \left( -6.952179 \left( \frac{t}{t_e} \right)^2 \right) \right) + \left( \frac{V}{V_c} \right)^{9.33}$	طول بالا دست حفره
0/21	0/96	$\frac{b}{L} = -5 \text{Ln} \left( \frac{t}{t_e} \right) \frac{t}{t_e} \left( \frac{V}{V_c} \right)^5 + \exp \left( \frac{V}{V_c} \right)^2 + \text{Ln} \left( 9 \left( \frac{t}{t_e} \right)^{\frac{4}{3}} \right)$	طول پایین دست حفره
0/07	0/98	$\frac{c}{L} = 8 \frac{V}{V_c} + \text{Ln} \left( \frac{t}{t_e} \right) + \left( \frac{t}{t_e} \right)^{0.44} \left( \frac{V}{V_c} \right)^8$	عرض حفره
0/001	0/96	$\frac{d}{d_s} = \left( 0.55 \frac{t}{t_e} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{V}{V_c} - 2.33 \left( \frac{V}{V_c} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{t}{t_e} + \left( \frac{t}{t_e} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \exp \left( \exp \left( \frac{t}{t_e} \frac{V}{V_c} \right) \right) \right)^{\frac{1}{3}}$	عمق آبستگی

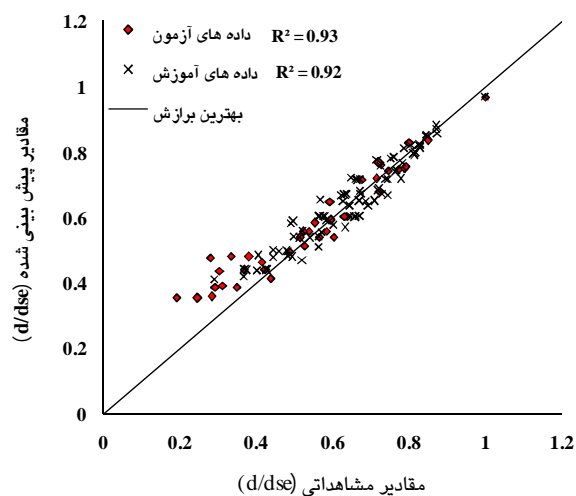
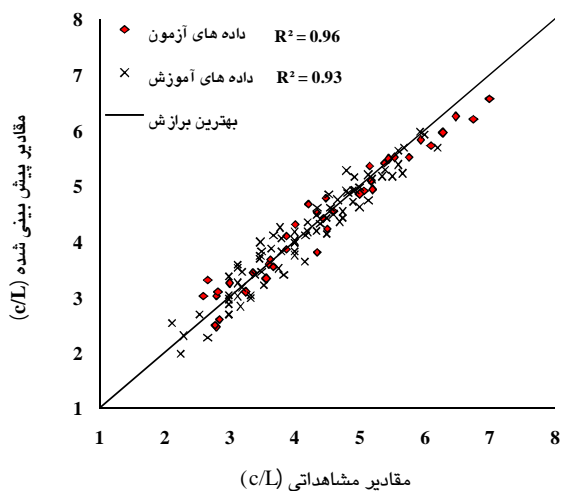
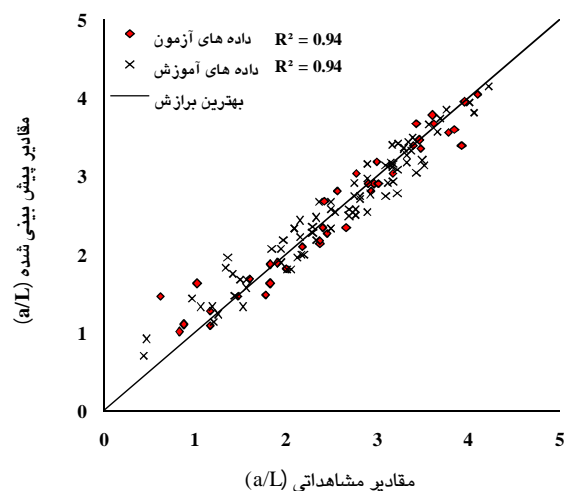
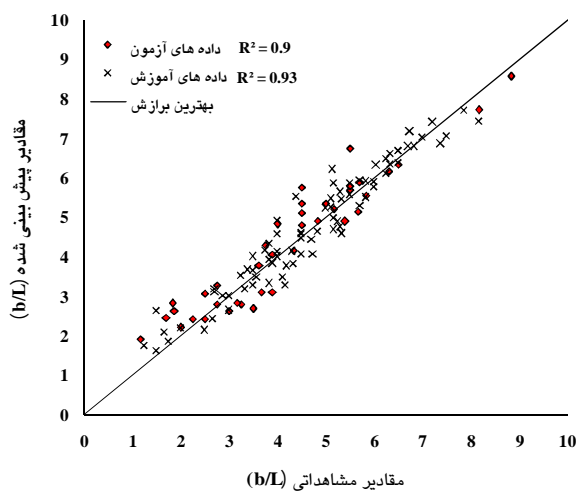
با توجه به مقادیر جدول ملاحظه می‌گردد که روابط ارائه شده برای ابعاد حفره دارای R بالا و MSE قابل قبول می‌باشند.

شکل 4 نمودارهای تست و آموزش مشاهداتی و محاسباتی را نشان می‌دهد. با توجه به اشکال مذکور مشاهده می‌شود که داده‌ها حول خط نیمساز (y=x)، پراکنده شده‌اند بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که برنامه‌ریزی بیان ژن از دقت بالایی در پیش‌بینی ابعاد حفره آبستگی برخوردار است.

در جدول 4 روابط ارائه شده توسط مهتابی و همکاران (1387) آورده شده است. با توجه به جدول و نتایج شاخص‌های آماری مربوط ملاحظه می‌گردد که دقت روابط آن‌ها نسبت به روابط بدست آمده از برنامه‌ریزی بیان ژن کمتر می‌باشد. همچنین روابط این محققین فقط برای 0/98، 0/95، 0/9 V/V<sub>c</sub> قابل استفاده می‌باشد، در صورتی که روابط حاصل از برنامه‌ریزی بیان ژن محدوده بین آن‌ها را نیز می‌پوشانند.

جدول 4- روابط ارائه شده توسط مهتابی و همکاران (1387)

MSE	R	مدل آزمایش	$V/V_c$	
0/046	0/95	$(a/L)=0/8086\text{Ln}(t/t_c)+5/1062$	0/9	طول بالا دست حفره (a)
0/066	0/95	$(a/L)=0/9011\text{Ln}(t/t_c)+5/6658$	0/95	
0/072	0/95	$(a/L)=1/0008\text{Ln}(t/t_c)+6/363$	0/98	
0/139	0/95	$(b/L)=1/364\text{Ln}(t/t_c)+8/7716$	0/9	طول پایین دست حفره (b)
0/213	0/95	$(b/L)=1/7787\text{Ln}(t/t_c)+10/715$	0/95	
0/264	0/95	$(b/L)=1/8809\text{Ln}(t/t_c)+11/714$	0/98	
0/065	0/95	$(c/L)=0/9512\text{Ln}(t/t_c)+7/2086$	0/9	عرض حفره (c)
0/064	0/97	$(c/L)=1/1107\text{Ln}(t/t_c)+8/1112$	0/95	
0/051	0/98	$(c/L)=1/2535\text{Ln}(t/t_c)+8/961$	0/98	
0/002	0/95	$(d_s/d_{sc})=0/1611\text{Ln}(t/t_c)+1/1635$	0/9	عمق آبستگي (d <sub>s</sub> )
0/002	0/97	$(d_s/d_{sc})=0/1704\text{Ln}(t/t_c)+1/1953$	0/95	
0/002	0/95	$(d_s/d_{sc})=0/1815\text{Ln}(t/t_c)+1/2379$	0/98	



شکل 4- مقایسه نتایج حاصل از برنامه ریزی بیان زن با داده های آزمایشگاهی

## نتیجه گیری کلی

آماری قابل تأیید بود. همچنین در این مقاله روابطی جهت پیش بینی توسعه زمانی مشخصات حفره آبستنگی اطراف آبشکن بالدار با استفاده از برنامه ریزی بیان ژن ارائه شد. تطابق خوبی که بین داده های آزمایشگاهی و مقادیر محاسبه شده وجود دارد هم-چنین مقایسه آن با روابط مهتابی و همکاران (1387)، نشان دهنده دقت خوب و مناسب این روش و معادلات بدست آمده برای مشخصات ابعاد حفره آبستنگی می-باشد.

در این تحقیق با استفاده از برنامه ریزی بیان ژن، توسعه زمانی مشخصات ابعاد حفره آبستنگی اطراف آبشکن بالدار شبیه سازی گردید. مدل های مختلف براساس متغیرهای مؤثر در توسعه زمانی ابعاد حفره آبستنگی بررسی و با استفاده از توابع برازش مدل مورد نظر انتخاب می گردید. این امر به کمک برنامه GeneXprotools و با توجه به مشخصات مندرج در جدول 3 صورت پذیرفته و نتایج حاصل از نظر

## منابع مورد استفاده

- مهتابی ق، حسین زاده دلیرع، فرسادی زاده د و فاخری فردا، 1387. توسعه زمانی مشخصات حفره آبستنگی در اطراف آبشکن ها. مجله علمی - پژوهشی دانشکده فنی دانشگاه تبریز، جلد 37، شماره 3. صفحه های 69-74.
- Azamathulla HMd, Ghani AA, Zakaria NA, and Aytac G, 2010. Genetic programming to predict bridge pier scour. *Journal of Hydraulic Engineering* 136(3): 165-169.
- Breusers HNC, 1967. Time scale of two-dimensional local scour. Pp. 275-282. *Proceeding 12<sup>th</sup> Congress of the International Association of Hydraulic Research*. Fort Collins, Colo.
- Coleman SE, Lauchlan CS and Melville BW, 2003. Clear-water scour development at bridge abutments. *Journal of hydraulic Research IAHR* 41(5): 521-531.
- Dargahi B, 1990. Controlling mechanism of local scouring. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 116(10): 1197-1214.
- Ettema R, 1980. Scour at bridge piers. PhD Thesis, Auckland University, Auckland, New Zealand.
- Franzetti S, Larcan E and Mignosa P, 1982. Influence of tests duration on the evaluation of ultimate scour around circular piers. Pp. 381-396. *International Conference on the Hydraulic Modeling of Civil Engineering Structures*. September 22- 24, University of Warwick, Coventry, England.
- Giri S, 2005. Clear-water scour development at bridge abutments. Discussion. *Journal of Hydraulic Research IAHR* 43(4): 445-448.
- Guyen A, Azamathulla HMd and Zakaria NA, 2009. Linear genetic programming for prediction of circular pile scour. *Ocean Engineering* 36: 985-991.
- Kandasamy JK, 1989. Abutment scour. Rep No. 458, School of Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand.
- Koza J, 1992. Genetic Programming on the Programming of Computers by Natural Selection. MIT Press, Cambridge, MA.
- Kuhnle R, Alonso C and Shields D, 2002. Local scour associated with angled spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering* 128(12): 1087-1093.
- Melville BW, 1992. Local scour at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 118(4): 615-631.
- Mohammadpour R, Ghani AAb And Azamathulla HM, 2011. Estimating time to equilibrium scour at long abutment by using genetic programming. Pp. 369-374. *Proceeding of 3<sup>rd</sup> International Conference on Managing Rivers*. June 8-9. Penang, Malaysia.
- Laursen EM and Toch A, 1956. Scour around bridge piers and abutments. Iowa Highway Research Board, Bulletin # 4, Bureau of Public Roads, Iowa.

- Schneider M, Scacchi G, Franco F and Romano C, 2001. Contraction and abutment scour in relief bridge in a flood plain. Pp.1375-1386. Proceeding, Wetlands Engineering and River Restoration. August 27-31. Reno, Nevada.
- Sette S, Boullart L, 2001. Genetic programming: principles and applications. Engineering Applications of Artificial Intelligence 14: 727-736.