

EXTENDED ABSTRACT

Estimating Scour Below Inverted Siphon Structures using Stochastic and Soft Computing Approaches

M. Fatahi¹, B. Lashkar-Ara^{2*} and L.Najafi³

1- Graduate Student, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

2* - Corresponding Author, Assistant Professor, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran. (*Lashkarara@jsu.ac.ir*).

3- Instructor, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

Received: 16 May 2017

Revised: 6 July 2017

Accepted: 12 July 2017

Keywords: Scour, Inverted Siphon, Neural Network, Genetic Programming. **DOI:** 10.22055/jise.2017.22069.1584.

Introduction

Hydraulic structures that change the flow pattern around themselves may cause local scouring, since changing the flow characteristics (velocities or turbulence) can lead to changes in sediment transport capacity. The difference in height between the upstream and downstream bed levels of the river-intersecting structures will form a vertical waterfall in the tail-water that plays an important role in grade-control structures. An example of these structures is the Balaroud inverted siphon structure in Dez irrigation and drainage network in the south of Andimeshk county, Khuzestan province, Iran. Various experimental studies on downstream scour of hydraulic structures are available in the literature. The main objectives of this study were to investigate the scour process, estimating the maximum depth and location of the scour hole, and evaluating the maximum height and location of the sedimentary mound at the downstream of the grade-control structure. In this study, the experimental data obtained by the previous researchers was used, and the equations were reviewed and re-written using the D'Agostino and Ferro (2004) studies in order to improve the accuracy of the existing relationships. In the next step, the hydroinformatic science and the soft computing technique were used to achieve more accuracy for the relationships of the hole's characteristic and the sedimentary mound in alluvial ducts containing non-cohesive sediments.

Methodology

After reviewing the previous study, the laboratory data that carried out by D'Agostino(1996) was selected for our study because it had a favorable situation for the experimental data analysis and processing.

The effect of the independent parameters b/z , h/H , Fr_{D50} , D_{90}/D_{50} , and b/B on the dependent parameters φ/z is introduced in the form of following equation(1):

$$\frac{\varphi}{z} = a \times \left(\frac{b}{B}\right)^b \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^c \left(\frac{h}{H}\right)^d \left(\frac{b}{z}\right)^e (Fr_{D_{50}})^f \quad (1)$$

In this equation, the coefficients a , b , c , d , e , and f are constant numbers, and their effects are determined using the statistical analysis of the experimental observations made by the SPSS software using the non-linear regression technique by the forward stepwise regression method.

In the second part of the study, comparing the presented relationships genetic programming and artificial neural network data mining system were used

Genetic programming (GP) is used as one of the evolutionary algorithm techniques in order to flourish the presented relationship accuracy in the second part of this work. GP is an automatic programming technique used for evolving computer programs to solve problems.

The artificial neural network (ANN) is one of the most common network models, which generally presents a system of inter-connected neurons that can compute values from raw inputs. A neuron consists of multiple inputs and a single output. There is an input layer that acts as a distribution structure for the data being presented to the networks. This layer is not used for any type of processing. After this layer, one or more processing layers follow, called the hidden layers. The final processing layer is called the output layer in a network. This process is repeated until the error rate is minimized or reaches an acceptable level or until a specified number of iterations has been accomplished.

Results and discussion

1-Non-linear regression method

The SPSS software was used for determining the effective equations in this research work. The observed values for the independent dimensionless relative parameters b/z , h/H , Fr_{D50} , D_{90}/D_{50} , and b/B were evaluated versus the dependent parameters maximum scour relative depth s/z , maximum relative distance of maximum scour depth XS/z , relative height of sedimentary mound h_d/z , and maximum relative distance accumulation of sediments to weir toe XD/z in order to determine the mapping space between the independent and dependent parameters mentioned in equation (1). The mapping space between the independent and dependent parameters can be shown as equations (2)-(5):

$$\frac{s}{z} = 0.5292 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{0.3104} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-0.0651} \times \left(\frac{h}{H}\right)^{0.0849} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.5052} \times (Fr_{D50})^{0.5302} \quad (2)$$

$$\frac{XS}{z} = 1.8113 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{0.0333} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-0.0839} \times \left(\frac{h}{H}\right)^{0.1161} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.3583} \times (Fr_{D50})^{0.3601} \quad (3)$$

$$\frac{h_d}{z} = 1.369 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{1.1387} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-1.5679} \times \left(\frac{h}{H}\right)^{-0.0573} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.3413} \times (Fr_{D50})^{0.7772} \quad (4)$$

$$\frac{XD}{z} = 4.5856 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{0.4987} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-0.6068} \times \left(\frac{h}{H}\right)^{0.05} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.3136} \times (Fr_{D50})^{0.5035} \quad (5)$$

The angular coefficient of the fitted line extracted from the results of equations indicates that the non-linear regression estimates of the dimensionless parameter values s/z , XS/z , h_d/z , and XD/z are, respectively, 0.7%, 0.37%, 0.5%, and 0.13% lower than the observed values. The skewness results obtained from the statistical prediction dimensionless parameters s/z , XS/z , h_d/z , and XD/z had desirable distributions.

2- Genetic programming

The angular coefficient of the fitted line extracted from the results of the model indicated that GP estimated the values for the dimensionless parameters s/z , XS/z , h_d/z , and XD/z to be, respectively, 0.78%, 0.9%, 1.2%, and 0.65% lower than the observed values. The skewness results obtained from

the predicted dimensionless parameters s/z , XS/z , h_d/z , and XD/z using the GP data mining system was satisfactory.

3- Artificial Neural Network

The angular coefficient of the fitted line extracted from the results of the model indicated that ANN estimated the values for the dimensionless parameters, i.e. s/z , XS/z , h_d/z , and XD/z , to be 0.3%, 0.4%, 0.3%, and 0.08%, respectively, lower than the observed values in the training phase, the dimensionless parameter s/z , 0.2% more, and the dimensionless parameters XS/z , h_d/z , XD/z , 2.6%, 3%, and 0.04%, respectively, lower than the values observed in the testing phase. The skewness results obtained from the statistical prediction of the dimensionless parameters s/z , XS/z , h_d/z , and XD/z had desirable distributions.

Conclusion

By comparing the results tabulated in Tables 2, 4, and 5, it can be seen that the angular coefficient of the fitted line extracted from the results of the predicted parameters s/z , XS/z , h_d/z , and XD/z resulting from ANN is 45 degrees closer to the slope of the line of the non-linear regression and GP comparing to the predicted values. This indicates that the ANN model was more successful in estimating these parameters. The root mean square error had fewer values in predicting the parameters s/z , XS/z , h_d/z , and XD/z by the ANN than non-linear regression and GP, and this indicates the advantage of this approach in estimation of these parameters. GP may serve as a robust approach, and it may open a new area for an accurate and effective explicit formulation of many water engineering problems. Generally, with regard to this point that since using the presented non-linear regression for estimating scour parameters does not require a computer, it can, therefore, be claimed that using the non-linear regression compared to GP and ANN in estimating the scour hole dimensions in the downstream grade-control structure is better and more effective.

References

- 1- D'Agostino, V., 1996. La progettazione delle controbriglie, Proc., *25th Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, September*, 3: 107–118.
- 2- D'Agostino, V. and Ferro, V., 2004. Scour on alluvial bed downstream of grade-control structures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(1), 24-37.



© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تخمین آبخستگی پایین دست سازه سیفون معکوس بالارود با استفاده از روش‌های فرا ابتکاری

معصومه فتاحی^۱، بابک لشکرآرا^{۲*} و لیلا نجفی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول.

۲- نویسنده مسئول، استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول. Lashkarara@jstu.ac.ir

۳- مربی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول.

پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۲۱

بازنگری: ۱۳۹۶/۴/۱۵

دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۶

چکیده

فرسایش عمومی و پایین افتادن بستر رودخانه بالارود منجر به آشکار شدن سازه‌ی مدفون سیفون معکوس بالارود شده است. اختلاف به وجود آمده در بالادست و پایین دست آن باعث تشکیل یک حوضچه‌ی استغراق در پایاب آن شده است. جریان عبوری از روی لبه‌ی پهن تاج سیفون معکوس منجر شده تا این سازه مانند یک شیب‌شکن عمل نماید. در این تحقیق نتایج یک مطالعه مشابه در خصوص اثر دانه‌بندی مصالح بستر حوضچه استغراق، عمق پایاب، پتانسیل کل و همچنین اثر عرض جت جریان ریزشی از روی تاج بدنه یک سیفون معکوس بر الگوی آبخستگی پایین دست آن مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور با استفاده از تحلیل ابعادی و رگرسیون غیرخطی روابطی بدون بعد برای تخمین حداکثر عمق و مکان حفره آبخستگی و همچنین حداکثر ارتفاع و موقعیت مکانی تپه رسوبی در پایین دست این نوع سازه‌ها ارائه شده است. در بخش دوم تحقیق با استفاده از سیستم داده کاوی برنامه‌سازی ژنتیک و مدل شبکه‌عصبی مصنوعی نسبت به تدقیق روابط اقدام گردید و در بخش سوم با استفاده از تحلیل حساسیت، تأثیر پارامترهای مؤثر بر ابعاد آبخستگی مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل نتایج نشان داد رگرسیون غیرخطی به روش گام‌به‌گام پیشرو در مقایسه با مدل ارائه شده توسط برنامه‌سازی ژنتیک و مدل شبکه‌عصبی در تخمین پارامتر نسبی حداکثر عمق آبخستگی s/z به ترتیب از ضریب همبستگی 0.962 ، 0.971 و 0.991 برخوردار است. از طرفی شیب خط برازش شده از بین مقادیر نتایج مشاهداتی و محاسباتی هر سه مدل برای پارامترهای بدون بعد s/z ، XS/z ، h_s/z ، XD/z حاکی از برتری پیش‌بینی انجام شده توسط شبکه‌عصبی مصنوعی می‌باشد.

کلید واژه‌ها: برنامه‌سازی ژنتیک، شبکه‌عصبی، آبخستگی، سیفون معکوس.

مقدمه

سازه‌های هیدرولیکی که الگوی جریان را در اطراف خود تغییر می‌دهند ممکن است باعث بروز آبخستگی موضعی شوند، زیرا تغییر ویژگی‌های جریان (سرعت‌ها و یا آشفتگی) به تغییر ظرفیت حمل رسوب می‌انجامد. این موضوع به عدم تعادل بین ظرفیت واقعی حمل رسوب و ظرفیتی که جریان رسوب را حمل می‌کند، منجر می‌شود. نهایتاً ممکن است یک تعادل جدیدی به‌دنبال شرایط هیدرولیکی تطبیق یافته با آبخستگی به‌وجود آید. به‌عنوان یک تخمین مقدماتی، آبخستگی ناشی از هر یک از فرایندها را می‌توان به‌طور خطی به‌یکدیگر افزود تا آبخستگی نهایی به‌دست آید. معمولاً فرآیند آبخستگی را با توجه به مقیاس زمان به آبخستگی عمومی و موضعی تقسیم‌بندی می‌نمایند. زمان لازم برای وقوع آبخستگی عمومی طولانی‌تر از زمان رویداد آبخستگی محلی است.

از جمله عواملی که باعث تشدید آبخستگی موضعی در مجاورت سازه‌های رودخانه‌ای می‌شود، همانا استخراج بی‌رویه مصالح از بستر رودخانه، در پایین دست این سازه‌ها است. تلاش رودخانه به‌منظور پر کردن چاله‌های ایجاد شده در بستر خود منجر

به پایین افتادن بستر رودخانه و مهاجرت پیشانی آبخستگی به بالادست خواهد شد. این مهاجرت تا جایی ادامه می‌یابد که این روند توسط سازه‌های متقاطع رودخانه‌ای متوقف گردد. اختلاف ارتفاع ایجاد شده در بستر بالادست و پایین دست سازه‌های متقاطع رودخانه‌ای منجر به تشکیل آبشار قائم در پایاب آن‌ها خواهد شد و گویی که آنها نقش سازه شیب‌شکن را ایفا می‌نمایند. از جمله این سازه‌ها می‌توان به سازه سیفون معکوس بالارود واقع در شبکه آبیاری و زهکشی دز در جنوب شهرستان اندیمشک اشاره نمود. این سازه با ظرفیت انتقال ۱۵۶ مترمکعب در ثانیه وظیفه عبور آب را از زیر رودخانه بالارود عهده‌دار است که به‌دلیل برداشت بی‌رویه مصالح از رودخانه بالارود دچار آبخستگی عمومی و موضعی شدید شده است. شکل (۱-ا) نمایی از شرایط این سازه را نشان می‌دهد. شکل (۱-ب) موقعیت مکانی مشخصات حفره و تپه حاصل از آبخستگی را در پایین دست یک سازه کنترل شیب را تحت یک سرریز لبه پهن را نشان می‌دهد. در این شکل عرض سرریز معادل b و ارتفاع ریزش تا بستر اولیه رسوبات آبرفتی پایاب معادل z منظور شده است.

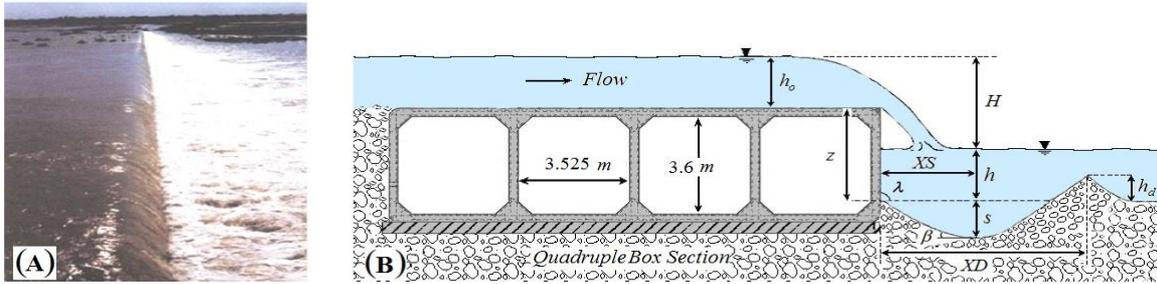


Fig. 1- A)- Formation of grade-control structure in Balaroud river bed by protrusion of Balaroud inverted siphon structures located in Dez west irrigation system in SW of Iran.

B)- A sketch of scour of an alluvial bed downstream of an inverted siphon structure.

شکل ۱- a)- نمایی از گذر سیلاب از روی تاج سیفون معکوس بالارود و تشکیل حوضچه‌ی استغراقی در پایاب آن

b)- مشخصات فنی مقطع عرضی سیفون معکوس بالارود و مشخصات حفره آبستگنی

میانگین سرعت جریان در تاج سرریز و β' : حداکثر زاویه شیب جانبی چاله آبستگنی بر حسب رادیان می‌باشد. موقعیت زاویه β' در شکل (۲) نمایش داده شده است و تقریباً با زاویه جت برابر است. Julien و Bormann (1991) رابطه (۴) را برای تخمین زاویه β' پیشنهاد دادند.

$$\beta' = 0.316 \sin \lambda + 0.15 \ln \left(\frac{z + y_0}{y_0} \right) + 0.13 \ln \left(\frac{h}{y_0} \right) - 0.05 \ln \left(\frac{U_0}{\sqrt{g y_0}} \right) \quad (4)$$

که در آن زاویه λ : شیب وجه پایین مصالح آبرفتی پایین دست سازه کنترل شیب و y_0 : عمق آب در تاج سرریز می‌باشد. D'Agostino و Ferro (2004) مطالعه‌های Mason و Arumugam (1985) را مورد بازنگری قرار دادند و بر اساس فرضیات Yen (1987) رابطه (۵) را معرفی نمودند.

$$\frac{s}{\sqrt[3]{q^2/g}} = (6.42 - 3.10H^{0.1})g^{-H/600} \times \left(\frac{gH^3}{q^2} \right)^{(20+H)/600} \left(\frac{H}{d_s} \right)^{0.1} \left(\frac{h}{H} \right)^{3/20} \quad (5)$$

که در آن H : اختلاف ارتفاع بین تراز سطح آب بالا دست و پایین دست می‌باشد.

هدف اصلی تحقیق حاضر مطالعه پروسه آبستگنی و تخمین حداکثر عمق و مکان حفره آبستگنی و همچنین حداکثر ارتفاع و موقعیت مکانی تپه رسوبی در پایین دست سازه سیفون معکوس بالارود می‌باشد. در این تحقیق از داده‌های آزمایشگاهی محققین پیشین بهره‌گیری شده است و به‌منظور تدقیق روابط موجود، معادله‌ها مجدداً با توجه به مطالعه‌های D'Agostino و Ferro (2004) بازنویسی شده‌اند. در مرحله بعد با استفاده از علوم هیدروانفورماتیک و بهره‌گیری از محاسبات نرم در راستای تدقیق روابط تخمین مشخصات حفره و تپه رسوبی در مجاری آبرفتی با رسوبات غیر چسبنده گام برداشته شده است.

مطالعه‌های متعددی در خصوص تعیین موقعیت مکانی حفره و تپه حاصل از آبستگنی در پایین دست این گونه سازه‌ها صورت گرفته است که در این میان می‌توان به مطالعه‌های Rouse (1940)؛ Mason و Doddiah et al (1953)؛ Arumugam (1985)؛ Julien و Bormann (1991)؛ D'Agostino (1996)؛ Robinson et al (2000) اشاره نمود. Rouse (1940) و Doddiah et al (1953) طی تحقیقاتی نشان دادند که عمق آبستگنی S با زمان T افزایش یافته و روند تغییرات آن از رابطه (۱) تبعیت می‌نماید.

$$s/h = k_1 + k_2 \log \left(QT/bz^2 \right) \quad (1)$$

که در آن k_1 و k_2 ضرایب ثابت هستند، h عمق پایاب بالاتر از سطح بستر که تحت آبستگنی قرار نگرفته و Q دبی آب می‌باشد.

D'Agostino (1996) طی مطالعه‌های آزمایشگاهی بدون در نظر گرفتن تأثیر اندازه ذرات بستر رابطه (۲) را برای تخمین XD فاصله بین پایین دست سازه و تاج انباشت رسوبات پیشنهاد نمود.

$$XD/z = 3.55 \times \sqrt[3]{q^2/g} / z + 0.34 \quad (2)$$

که در آن q : دبی در واحد عرض سرریز و z : ارتفاع ریزش تا بستر اولیه رسوبات آبرفتی می‌باشد.

Julien و Bormann (1991) مطالعاتی روی یک مدل بزرگ مقیاس تحت اثر جت‌های عمودی، جت‌های دیواری، جت‌های ریزشی، جت مستغرق، و جریان روی سازه‌های کنترل شیب انجام دادند. بر اساس نتایج مطالعه‌های آنان میزان عمق آبستگنی s را می‌توان از رابطه (۳) تخمین زد.

$$s = \left[\frac{0.611}{[\sin(0.436 + \beta')]^{0.8}} q^{0.6} \frac{U_0}{g^{0.8} d_{90}^{0.4}} \sin \beta' \right] - z \quad (3)$$

که در آن g : شتاب ثقل، z : اختلاف ارتفاع بین تاج سازه کنترل شیب و پایین سطح پایین دست سطح بستر اولیه، U_0 :

جدول ۱- محدوده تغییرات پارامترهای مورد استفاده در تحقیق (D'Agostino and Ferro, 2004)

Table 1- Changes in range of parameters used in this study.

Parameter	Symbol	Unit	Range
Channel width	B	m	0.5
Weir width	B	m	0.15-0.3
Fall height	Z	m	0.41- 0.71
Total head above the weir crest	h_0	m	0.043-0.2006
Tail water depth	H	m	0.083-0.435
Water discharge	Q	L/s	8.35-83.35
Diameter of which 50-percent is finer	D_{50}	mm	4.1, 11.5
Diameter of which 90-percent is finer	D_{90}	mm	7, 17.6
Maximum scour depth	s	m	0.045-0.285
Location of the maximum scour depth to weir	XS	m	0.215-0. 705
Maximum height of the mound above the undisturbed bed level	h_d	m	0.0250.255
Location of the maximum height of stockpiling sediments	XD	m	0.24-1.705

با استفاده از تئوری باکینگهام و انتخاب متغیرهای مستقل z ، Q و ρ به عنوان متغیرهای تکراری می توان به نه پارامتر بدون بعد مطابق رابطه (۷) دست یافت:

$$f\left(\pi_1 = \frac{\varphi}{z}, \pi_2 = \frac{b}{z}, \pi_3 = \frac{B}{z}, \pi_4 = \frac{h}{z}, \pi_5 = \frac{H}{z}, \pi_6 = \frac{D_{50}}{z}, \pi_7 = \frac{D_{90}}{z}, \pi_8 = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}, \pi_9 = \frac{g z^5}{Q^2}, \pi_{10} = \frac{z\mu}{\rho Q}\right) = 0 \quad (7)$$

از ترکیب پارامترهای بدون بعد π_2 و π_3 و پارامترهای π_4 و π_5 و نیز پارامترهای π_6 و π_7 می توان به ترتیب پارامترهای بدون بعد b/B و h/H و D_{90}/D_{50} رسید. از ترکیب π_2 ، π_3 ، π_6 ، π_7 و π_9 پارامتر بدون بعد $Q/(bz\sqrt{gD_{50}(\rho_s - \rho)})$ حاصل می گردد.

$$f\left(\frac{\varphi}{z}, \frac{b}{B}, \frac{h}{H}, \frac{D_{90}}{D_{50}}, \frac{Q}{bz\sqrt{gD_{50}(\rho_s - \rho)}}, \frac{z\mu}{\rho Q}\right) = 0 \quad (8)$$

پارامتر $z\mu/\rho Q$ در واقع عدد رینولدز می باشد که به دلیل آشفتگی جریان می توان از اثر آن در معادله ها صرف نظر نمود. بنابراین معادله (۸) را می توان به شکل معادله (۹) خلاصه نمود. پارامتر $Q/(bz\sqrt{gD_{50}(\rho_s - \rho)})$ از جنس عدد فرود چگال می باشد و با $Fr_{D_{50}}$ نمایش داده می شود. از این رو می توان نوشت:

$$\frac{\varphi}{z} = f\left(\frac{b}{B}, \frac{D_{90}}{D_{50}}, \frac{h}{H}, \frac{b}{z}, Fr_{D_{50}}\right) = 0 \quad (9)$$

روش تحقیق

پس از بررسی مطالعه های (Veronese 1937)؛ (Mossa 1998)؛ (D'Agostino 1994)؛ (Falciai و Giacomini 1978)؛ (Lenzi et al 2000) و معادله های (Ferro و D'Agostino 2004) ملاحظه گردید که مطالعه های (D'Agostino 1994) از وضعیت مطلوبی برای تجزیه تحلیل و پردازش داده های آزمایشگاهی برخوردار است، لذا نتایج این تحقیق برای بررسی انتخاب گردید. محدوده داده های مورد استفاده در بازنویسی روابط حاکم بر ابعاد حفره آبهستگی و تپه رسوبی تحت یک سازه کنترل شیب مجهز به سرریز لبه تیز در جدول (۱) خلاصه شده اند.

بر اساس تئوری تحلیل ابعادی و همچنین مشخصات نشان داده شده در شکل (۱-b)، کلیه پارامترهای مؤثر بر فضای تحقیق را می توان به شرح زیر دسته بندی نمود: خصوصیات حرکتی شامل Q : دبی، g : شتاب ثقل خصوصیات دینامیکی شامل $\rho_s - \rho$: وزن مستغرق ذرات رسوب، ρ : وزن مخصوص سیال، μ : لزوجت آب.

خصوصیات هندسی شامل z : ارتفاع ریزش، b : عرض سرریز لبه تیز، B : عرض کانال، h : عمق پایاب، H : اختلاف تراز سطح آب بالادست و پایین دست، D_{50} : قطر ذراتی که ۵۰ درصد از آن ریزتر هستند، D_{90} : قطر ذراتی که ۹۰ درصد از آن ریزتر هستند بنابراین می توان نوشت:

$$f(\varphi, z, b, B, h, H, Q, \rho_s - \rho, \rho, g, \mu, D_{50}, D_{90}) = 0 \quad (6)$$

که در آن φ : حفره آبهستگی شامل s : عمق آبهستگی حداکثر، XS : موقعیت مکانی عمق آبهستگی حداکثر، h_d : ارتفاع تپه رسوبی و XD موقعیت مکانی تپه رسوبی می باشد.

به منظور ارزیابی کارایی بخش‌های مختلف این تحقیق از جذر میانگین مربعات خطا RMSE، درصد میانگین خطا MPE، خطای استاندارد تخمین SEE، بازه مدل‌سازی EF و همچنین ضریب زاویه خط رگرسیون برازش داده شده از بین نتایج در مقایسه با خط ۴۵ درجه استفاده شده است.

نتایج و بحث

روش رگرسیون غیر خطی

به منظور تعیین معادله‌های حاکم بر فضای تحقیق، از نرم‌افزار تحلیل‌گر آماری SPSS استفاده شده است. برای تعیین فضای نگاهت بین پارامترهای مستقل و وابسته نشان داده شده در معادله (۱۰)، مقادیر مشاهداتی پارامتر نسبی بدون بعد مستقل b/z ، h/H ، $Fr_{D_{50}}$ ، D_{90}/D_{50} و b/B را در مقابل پارامترهای وابسته حداکثر عمق نسبی آبستگي s/z ، حداکثر فاصله نسبی عمق آبستگي بیشینه XS/z ، ارتفاع نسبی تپه رسوبی h_d/z و حداکثر فاصله نسبی انباشت رسوب‌ها تا پای سرریز XD/z مورد ارزیابی قرار گرفت. نگاهت صورت گرفته بر فضای بین پارامترهای مستقل و وابسته را می‌توان به صورت معادله‌های (۱۱) الی (۱۴) نشان داد:

$$\frac{s}{z} = 0.5292 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{0.3104} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-0.0651} \times \left(\frac{h}{H}\right)^{0.0849} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.5052} \times (Fr_{D_{50}})^{0.5302} \quad (11)$$

$$\frac{XS}{z} = 1.8113 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{0.0333} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-0.0839} \times \left(\frac{h}{H}\right)^{0.1161} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.3583} \times (Fr_{D_{50}})^{0.3601} \quad (12)$$

$$\frac{h_d}{z} = 1.369 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{1.1387} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-1.5679} \times \left(\frac{h}{H}\right)^{-0.0573} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.3413} \times (Fr_{D_{50}})^{0.7772} \quad (13)$$

$$\frac{XD}{z} = 4.5856 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{0.4987} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-0.6068} \times \left(\frac{h}{H}\right)^{0.05} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.3136} \times (Fr_{D_{50}})^{0.5035} \quad (14)$$

شکل‌های (۲) الی (۵) نحوه برازش معادله‌های (۱۱) الی (۱۴) را از بین نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهند. به منظور ارزیابی عملکرد تخمین معادله‌های پیشنهادی از توابع تحلیل‌گر خطا استفاده شده است و خلاصه نتایج حاصله در جدول (۲) نمایش داده شده‌اند. ضریب زاویه خط برازش شده از بین نتایج حاصل از معادله‌های (۱۱) الی (۱۴) گویای این مطلب است که رگرسیون غیر خطی، مقادیر پارامترهای بدون بعد s/z ، XS/z ، h_d/z را به ترتیب با ۰/۳۷، ۰/۵، ۰/۱۳ و درصد خطا کمتر از مقادیر مشاهداتی

بنابراین اثر پارامترهای مستقل b/B ، D_{90}/D_{50} ، h/H ، b/z ، $Fr_{D_{50}}$ را بر پارامتر وابسته φ/z را می‌توان به صورت معادله (۱۰) ارائه نمود.

$$\frac{\varphi}{z} = a \times \left(\frac{b}{B}\right)^b \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^c \times \left(\frac{h}{H}\right)^d \times \left(\frac{b}{z}\right)^e \times (Fr_{D_{50}})^f \quad (10)$$

که در آن ضرائب a ، b ، c ، d ، e و f اعداد ثابتی هستند که اثر آنها با استفاده از تحلیل آماری مشاهدات آزمایشگاهی توسط نرم‌افزار SPSS با روش رگرسیون غیر خطی به روش گام به گام پیشرو تعیین می‌شوند.

در بخش دوم تحقیق به منظور تدقیق روابط ارائه شده از سیستم داده‌کاوی برنامه‌سازی ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. برنامه‌سازی ژنتیک یکی از روش‌های نوین از بین روش‌های الگوریتم تکاملی است که در این پژوهش از آن استفاده شده است. برنامه ریزی ژنتیک، تعمیم یافته‌ی روش الگوریتم ژنتیک می‌باشد که برای اولین بار توسط Koza (1994) براساس تئوری داروین ارائه شده است. برنامه‌سازی ژنتیکی نوعی از مدل‌سازی است که با ایجاد یک تابع، پارامترهای مؤثر یک فرایند را به خروجی آن مرتبط می‌کند. هر سیستم پیچیده‌ای شامل یک سری از متغیرها است که وابسته به سایر اعضا می‌باشد (Coello et al., 2007). 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 ژنتیک روی ساختار درختی فرمول‌ها عمل می‌کند. ساختار درختی از مجموع توابع (عملگرهای ریاضی مورد استفاده در روابط) و ترمینال‌ها (متغیرهای مسئله و اعداد ثابت) تشکیل می‌شوند. فرآیند اجرایی گام به گام برنامه‌ریزی ژنتیک به صورت مراحل زیر است: ۱- تولید جمعیت اولیه از فرمول‌ها که این فرمول‌ها از ترکیب تصادفی مجموعه توابع تشکیل می‌شوند، ۲- هر یک از افراد جمعیت مذکور با استفاده از توابع برازش مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. ۳- تولید یک جمعیت جدید از فرمول‌ها ۴- گام سوم تا رسیدن به حداکثر تعداد تولید، تکرار خواهد شد (Soltani et al., 2011). پس از ساختار مدل توسط برنامه‌سازی ژنتیک نتایج با استفاده از توابع خطا مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج در مقایسه با مشاهده‌های آزمایشگاهی ارزیابی خواهند شد.

ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی از شبکه عصبی انسان الهام گرفته است و قادر به انجام عملیاتی تقریباً همانند سیستم‌های عصبی زیستی، ولی در ابعاد بسیار ابتدایی هستند. این سیستم‌ها با پردازش داده‌های موجود، قانون نهفته در ورای آن‌ها را به ساختار شبکه منتقل و در آن حفظ کرده و به همین دلیل بعضاً آن‌ها را سیستم‌های هوشمند می‌نامند. مدل پایه شبکه عصبی مصنوعی برای اولین بار توسط McCulloch و Pitts (1943) ارائه گردید.

تخمین می‌زند. باندهای تخمین پارامترهای چهارگانه فوق برای تخمین ابعاد حفره آبشستگی در شکل‌های (۲) الی (۵) نمایش داده شده‌اند. چولگی نتایج به پیش‌بینی آماری کلیه پارامترها بدون بعد

در بخش دوم تحقیق به منظور تدقیق روابط حاصل از رگرسیون غیر خطی از برنامه‌سازی ژنتیک و مدل شبکه عصبی مصنوعی بهره‌گیری شد.

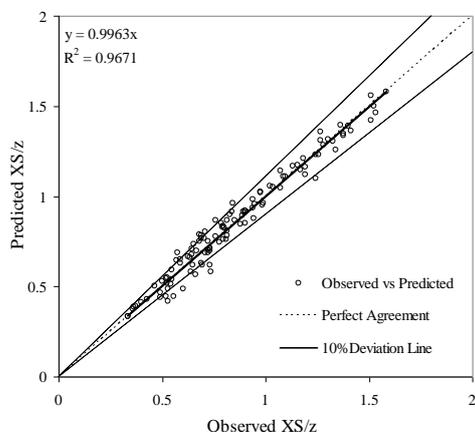


Fig. 3- Comparison between observed and predicted from equation (12) for estimating XS/z .
 شکل ۳- مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی معادله (۱۲) با مشاهدات نظیر آزمایشگاهی برای تخمین XS/z

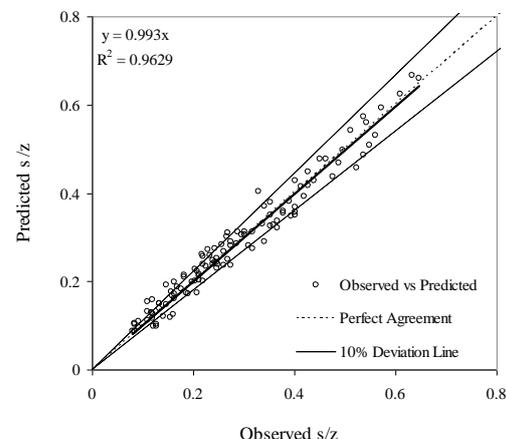


Fig. 2- Comparison between observed and predicted from equation (11) for estimating s/z .
 شکل ۲- مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی معادله (۱۱) با مشاهدات نظیر آزمایشگاهی برای تخمین s/z

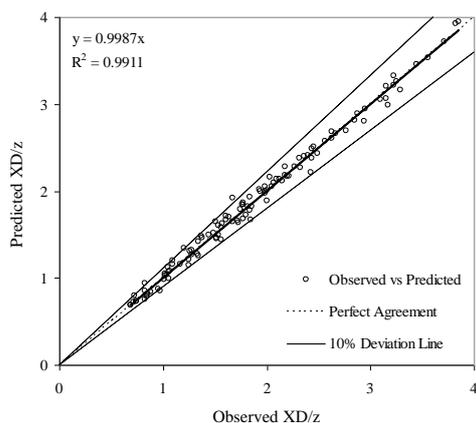


Fig. 5- Comparison between observed and predicted from equation(14) for estimating XD/z .
 شکل ۵- مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی معادله (۱۴) با مشاهدات نظیر آزمایشگاهی برای تخمین XD/z

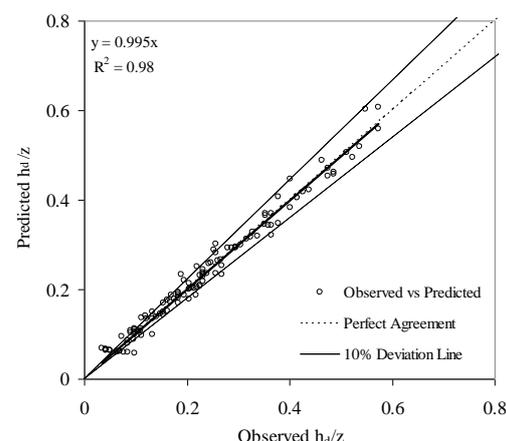


Fig. 4- Comparison between observed and predicted from equation (13) for estimating h_d/z .
 شکل ۴- مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی معادله (۱۳) با مشاهدات نظیر آزمایشگاهی برای تخمین h_d/z

جدول ۲- توابع خطای حاصل از نتایج روابط پیشنهادی (۱۱) الی (۱۴) در مقابل مشاهدات آزمایشگاهی

Table 2- Error functions from results suggested by equations (11)-(14) against experimental observations

Parameter	RMSE	MPE	SEE	EF	m	R ²
s/z	0.0264	1.6378	0.026	0.9643	0.993	0.962
XS/z	0.0553	0.065	0.0554	0.9674	0.9963	0.967
h_d/z	0.019	2.8391	0.0189	0.9804	0.995	0.98
XD/z	0.0743	0.0289	0.0747	0.9911	0.9987	0.991

روش برنامه سازی ژنتیک

آموزی ایجاد شده و داده‌های آزمون از دقت مطلوبی برخوردار خواهند بود. در این تحقیق مدل‌های ساخته شده در تخمین ابعاد حفرة آبستگى در پایین دست سازه سیفون معکوس به‌ترتیب برای پارامترهای بدون بعد s/z , XS/z , h_d/z , XD/z به‌صورت معادله‌های (۱۵) تا (۱۸) ارائه شده است. همه برنامه‌سازی‌ها در برنامه متلب (نسخه ۲۰۰۹، ۲۰۰۸) انجام شده است. مشخصات نهایی به‌کاربرده شده در برنامه‌سازی ژنتیک برای تمام پارامترهای آبستگى s/z , XS/z , h_d/z , XD/z در جدول (۳) نشان داده شده است.

مدل‌سازی با روش برنامه‌سازی ژنتیک و با استفاده از کد نویسی در محیط نرم‌افزار متلب انجام شده است. در این روش برای تعیین بهترین پاسخ باید بهترین الگوی ورودی در نظر گرفته شود. لذا در ابتدا پارامترهای مختلفی که در مدل‌سازی تأثیرگذار هستند، از جمله تعداد اعضای جمعیت، تعداد نسل‌ها، اندازه ساختارهای درختی و روش تولید جمعیت اولیه باید با توجه به نوع داده‌های مورد بررسی با دقت زیادی توسط کاربر مشخص گردد. اندازه هر ساختار درختی نقش زیادی در دقت مدل نهایی خواهد داشت، در صورت تعیین اعداد بزرگتر از مقدار بهینه مشکل ورا

$$y_1 = 0.23 + 0.145 \cos(x_1 + x_2) + 0.072(x_1^2)(x_2^2) + 0.245(x_3x_4)^{0.5} + \cos(x_5x_4) - 0.035 \cos(x_3 + x_5) + 0.07 \times 2 + 0.035x_3x_4 + 0.070x_5 + 0.50x_1x_4x_5 \quad (15)$$

$$y_2 = 0.55 - 15x_2^2 - 0.15x_4x_2 - 0.018x_5x_2^2 - 0.018x_2x_5x_4 + 0.018x_2 + 0.018x_3 - 0.018x_4x_5^2 + 0.036x_4 + 0.054x_1 + 0.0005(x_5 \times (0.425 \times 10^7 + 0.1 \times 10^7 x_3) x_4)^{0.5} \quad (16)$$

$$y_3 = 0.371 - 0.034x_4 - 0.004x_3 - 0.0005x_5^3 x_3^2 - 0.001x_5^3 x_3 x_2 + 0.30(x_1x_5(x_1 + x_4)x_4)^{0.5} + 0.23x_3x_1 - 0.237x_2 \quad (17)$$

$$y_4 = 0.006 + 0.0013 \times (x_4x_5(x_1^{0.5}) \times (0.1 \times 10^7 x_1 + 0.5 \times (10^7)))^{0.5} \quad (18)$$

جدول ۳- مشخصات نهایی برنامه سازی ژنتیک بکاربرده شده برای XD/z , h_d/z , XS/z , s/z .
Table 3- Characteristics of employed GP for (ds/z) , (XS/z) , (h_d/z) , and (XD/z) .

Parameter	Definition	Value (ds/z) , (XS/z)	Value (h_d/z) , (XD/z)
P ₁	Function set	+, -, *, $\sqrt{\quad}$, ^2, cos, exp	+, -, *, $\sqrt{\quad}$, ^2
P ₂	Terminal set	b/B, D ₉₀ /D ₅₀ , h/H, b/Z, Fr d	b/B, D ₉₀ /D ₅₀ , h/H, b/Z, Fr d
P ₃	Number of inputs	5	5
P ₄	Fitness function	RMSE	RMSE
P ₅	Error type	error function	error function
P ₆	Crossover rate	0.85%	0.85%
P ₇	Mutation rate	0.1%	0.1%
P ₈	Gene reproduction rate	0.05%	0.05%
P ₉	Population size	250	350
P ₁₀	Number of generation	120	150
P ₁₁	Tournament type	regular	regular
P ₁₂	Tournament size	6	6
P ₁₃	Max tree depth	4	4
P ₁₄	Max node per tree	Inf	Inf
P ₁₅	Constants range	[-10, +10]	[-10, +10]

از برنامه‌سازی ژنتیک از توابع تحلیل گر خطا استفاده شده است و نتایج حاصله در جدول (۴) نشان داده شده‌اند.

شکل‌های (۶) الی (۹) نحوه برآزش مدل‌های حاصل از برنامه‌سازی ژنتیک را در مقابل نتایج آزمایشگاهی پارامترهای s/z , XS/z , h_d/z , XD/z را نشان می‌دهند. به‌منظور ارزیابی نتایج حاصل

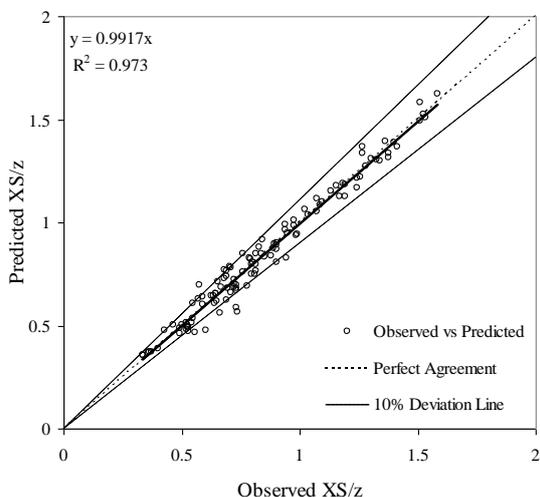


Fig. 7- Comparison between observed and predicted from GP for estimating XS/z .

شکل ۷- مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی برنامه‌سازی ژنتیک با مشاهدات آزمایشگاهی برای تخمین XS/z

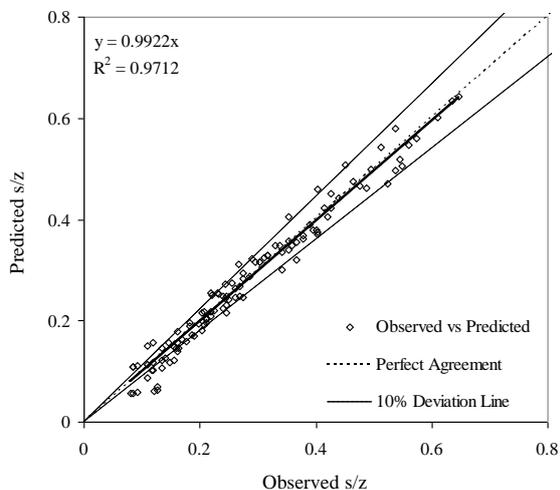


Fig. 6- Comparison between observed and predicted from GP for estimating s/z .

شکل ۶- مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی برنامه‌سازی ژنتیک با مشاهدات آزمایشگاهی برای تخمین s/z

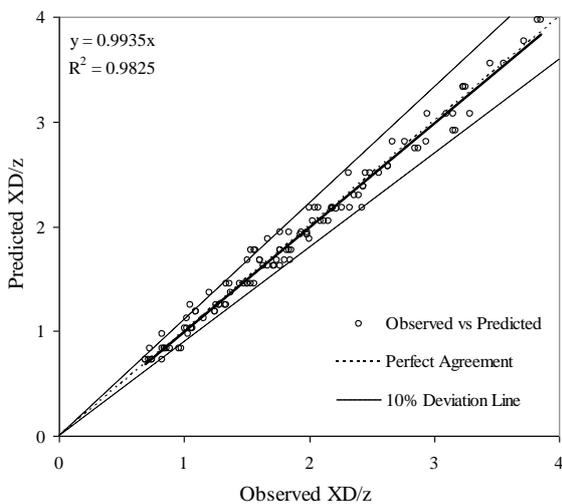


Fig. 9- Comparison between observed and predicted from GP for estimating XD/z .

شکل ۹- مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی برنامه‌سازی ژنتیک با مشاهدات آزمایشگاهی برای تخمین XD/z

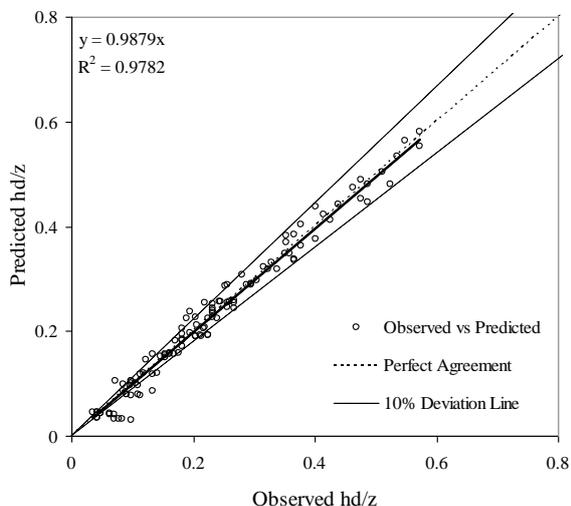


Fig. 8- Comparison between observed and predicted from GP for estimating h_d/z .

شکل ۸- مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی برنامه‌سازی ژنتیک با مشاهدات آزمایشگاهی جهت تخمین h_d/z

جدول ۴- توابع خطای حاصل از نتایج مدل برنامه‌سازی ژنتیک در مقابل مشاهدات آزمایشگاهی

Table 4- Error function of GP model against experimental observations.

Parameter	RMSE	MPE	SEE	EF	m	R ²
s/z	0.0243	-2.068	0.0243	0.9697	0.9922	0.971
XS/z	0.0513	-0.7946	0.0512	0.972	0.9917	0.973
h_d/z	0.0208	-4.3586	0.0204	0.9766	0.9879	0.978
XD/z	0.105	-0.3607	0.105	0.9823	0.9935	0.982

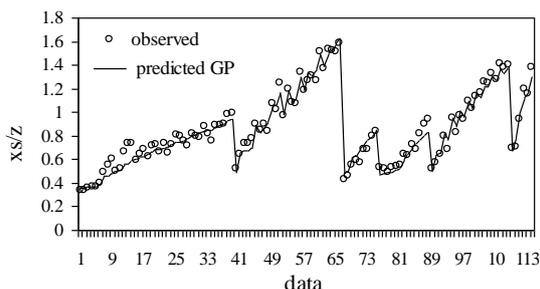


Fig. 11- GP estimations of XS/z versus measured ones

شکل ۱۱-مقادیر پیش بینی شده XS/z توسط برنامه سازی ژنتیک

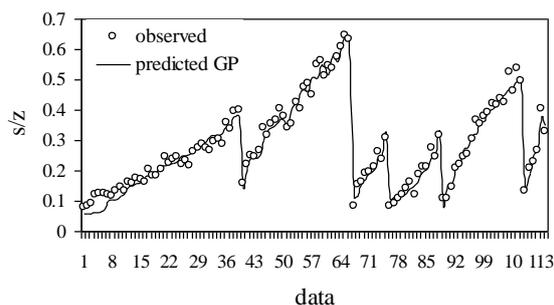


Fig. 10- GP estimations of s/z versus measured ones

شکل ۱۰-مقادیر پیش بینی شده s/z توسط برنامه سازی ژنتیک

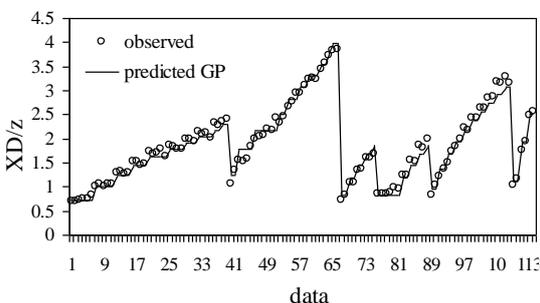


Fig. 13- GP estimations of XD/z versus measured ones.

شکل ۱۳-مقادیر پیش بینی شده XD/z توسط برنامه سازی ژنتیک

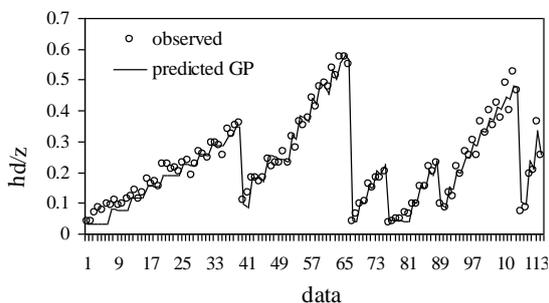


Fig. 12- GP estimations of h_d/z versus measured ones.

شکل ۱۲-مقادیر پیش بینی شده h_d/z توسط برنامه سازی ژنتیک

مخفی از تابع فعال ساز سیگموئید استفاده شده است. تابع S شکل یا سیگموئید به صورت زیر تعریف می شود:

$$f(z) = \frac{1}{1 + \exp(-z)} \quad (19)$$

بنابراین می توان نوشت:

$$y_J = f(S_J) = \frac{1}{1 + \exp(-S_J)} \quad (20)$$

$$S_J = \sum_{i=1}^N W_{Ji} X_i + b_J \quad (21)$$

که در آن W_{Ji} : وزن خط اتصال نرون J ام در یک لایه با نرون I ام در مرحله قبل و X_i : مقدار موجود برای نرون i ام در لایه قبل و b_J : وزن مربوط به بایاس (Bias) برای نود J ام. مقدار خروجی از این تابع بین (۰ - ۱) محدود می شود. مقدار نرون در لایه پنهان اول به همین طریق لایه پنهان دوم به همین شکل تا لایه خروجی منتقل می گردد. در اینجا از ضریب مومنتم ۰/۸ که برای پایداری و همگرایی محاسبات می باشد، استفاده گردیده است. و از نرخ یادگیری ۰/۰۱ استفاده گردیده است.

برای این منظور از مجموع ۱۱۵ مرحله نتایج آزمایشگاهی، ۸۰ درصد آن ها معادل ۹۲ مرحله آزمایش برای آموزش شبکه و ۲۰

در شکل های (۱۰) الی (۱۳) مقادیر پیش بینی شده پارامترهای XS/z , s/z , h_d/z , XD/z توسط برنامه سازی ژنتیک نشان داده شده اند. ضریب زاویه خط برازش شده از بین نتایج حاصل از مدل های ساخته شده گویای این مطلب است که برنامه سازی ژنتیک، مقادیر پارامترهای بدون بعد s/z , XS/z , h_d/z , XD/z را به ترتیب ۰/۷۸، ۰/۹، ۱/۲، و ۰/۶۵ درصد کمتر از مقادیر مشاهداتی تخمین می زند. باندهای تخمین پارامترهای چهارگانه فوق برای تخمین ابعاد حفره آبستنگی توسط برنامه سازی ژنتیک در شکل های (۶) الی (۹) نمایش داده شده اند. چولگی نتایج حاصل از پیش بینی پارامترهای بدون بعد s/z , XS/z , h_d/z , XD/z توسط سیستم داده کاوی برنامه سازی ژنتیک رضایت بخش می باشد.

روش شبکه عصبی مصنوعی

در این مقاله برای مدل شبکه عصبی از نرم افزار Qnet 2000 که بر اساس روش پیشخور (Feed Forward) کار می کند، استفاده شده است. در اینجا از شبکه پیشرو پرسپترون چند لایه (MLP) استفاده شده است. که شامل یک لایه ورودی و یک یا چند لایه مخفی از گره های محاسباتی و یک لایه خروجی می باشند. در هر لایه تعدادی نرون در نظر گرفته می شود که به وسیله اتصالات به نرون های لایه مجاور وصل می شوند. در اینجا در لایه

در جدول (۵) مشاهده گردید که مدل‌های شبکه‌عصبی تشکیل یافته از ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۹۷ برخوردار است و این امر نشانگر آن است که آموزش و آزمون شبکه با موفقیت صورت گرفته است. جزئیات معماری شبکه عصبی در جدول (۶) نشان داده شده است. شکل‌های (۱۴) الی (۱۷) نشان می‌دهند که داده‌های آموزش دیده و آزمایش شده توسط شبکه‌عصبی در مقابل مشاهده‌های آزمایشگاهی در محدوده باند تخمین ۹۰ درصد قرار دارند. همچنین می‌توان دریافت که شبکه عصبی پارامترهای s/z ، h_d/z ، XS/z را در مرحله آموزش به ترتیب ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۸ درصد کمتر از نتایج مشاهداتی و در مرحله آزمون پارامتر s/z را ۰/۲ درصد بیشتر و پارامترهای h_d/z ، XS/z را به ترتیب ۰/۳، ۰/۴ درصد کمتر از نتایج مشاهداتی پیش‌بینی می‌نماید. باندهای تخمین پارامترهای چهارگانه فوق برای تخمین ابعاد حفرة آبخستگی توسط مدل شبکه‌عصبی در شکل‌های (۱۴) الی (۱۷) نمایش داده شده‌اند. چولگی نتایج حاصل از پیش‌بینی پارامترهای بدون بعد s/z ، h_d/z ، XS/z توسط سیستم داده کاوی مدل شبکه‌عصبی مصنوعی رضایت بخش می‌باشد.

درصد باقی‌مانده معادل ۲۳ مرحله آزمایش برای کنترل نتایج مورد استفاده قرار گرفت. این روش برای رسیدن به بهترین عملکرد ۱۰۰۰ بار تکرار شده است. پارامترهای Fr_{D50} ، b/z ، h/H ، D_{90}/D_{50} ، b/B به‌عنوان پارامترهای ورودی به مدل معرفی و مدل برای تخمین پارامترهای s/z ، h_d/z ، XS/z به‌عنوان خروجی ساخته شد. پس از تشکیل معماری شبکه و تعیین تابع آموزش بهترین مقدار R^2 و کمترین مقدار RMSE و همچنین تقرب ضریب زاویه خط رگرسیون برازش داده شده از بین نتایج به خط ۴۵ درجه به‌عنوان معیار انتخاب شبکه بهینه در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری صورت گرفته در مراحل مختلف آموزش و آزمون شبکه عصبی برای تخمین ابعاد حفرة آبخستگی در جدول (۵) خلاصه شده است. شکل‌های (۱۴) الی (۱۷) عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی را در تخمین پارامترهای s/z ، h_d/z ، XS/z ، XD/z بعد از آموزش و پس از این مرحله با استفاده از ۲۰ درصد داده‌هایی که در مرحله آموزش هیچ نقشی را ایفا نکرده‌اند نسبت به کنترل و بررسی عملکرد مدل، را نشان می‌دهند. نتایج با توجه به تجزیه و تحلیل آماری ارائه شده

جدول ۵- نتایج توابع خطا حاصل از شبکه عصبی مصنوعی در تخمین ابعاد حفرة آبخستگی در بهترین معماری شبکه

Table 5- Statistical error functions of ANN for estimating scour hole dimensions for best network architecture

Parameter	Training				Testing			
	MPE	RMSE	EF	R^2	MPE	RMSE	EF	R^2
s/z	0.2514	0.0082	0.9811	0.9853	0.0345	0.0133	0.9908	0.9911
XS/z	1.6163	0.0326	0.9492	0.9737	-1.9160	0.0494	0.9793	0.9837
h_d/z	2.8802	0.0081	0.9756	0.9899	-2.1214	0.0186	0.9864	0.9885
XD/z	0.4463	0.0258	0.9937	0.9933	1.8970	0.0737	0.9935	0.9933

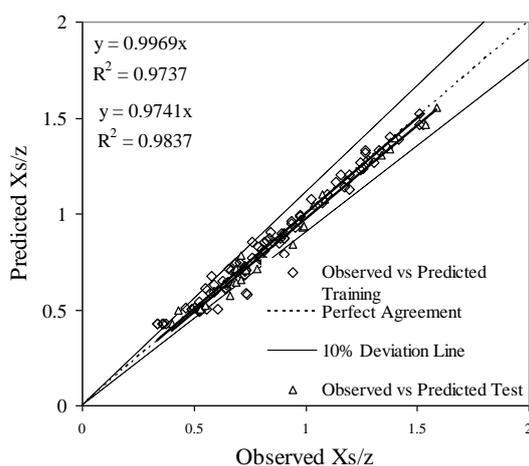


Fig. 15- Comparison between observed and predicted XS/z of ANN in training and testing stages.

شکل ۱۵- نتایج حاصل از شبکه‌عصبی برای تخمین پارامتر XS/z در مقابل مشاهدات آزمایشگاهی در مرحله آموزش و آزمون

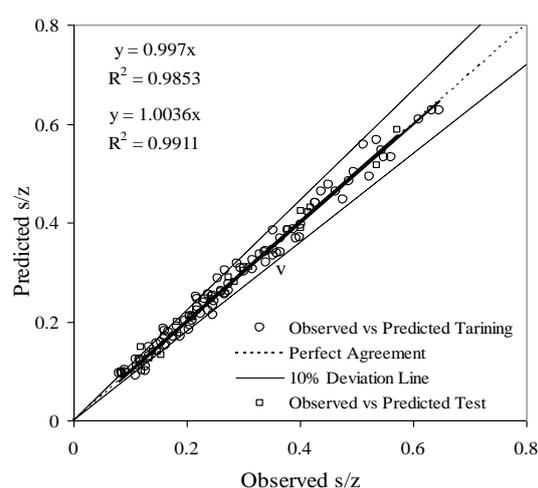


Fig. 14- Comparison between observed and predicted s/z of ANN in training and testing stages.

شکل ۱۴- نتایج حاصل از شبکه‌عصبی برای تخمین پارامتر s/z در مقابل مشاهدات آزمایشگاهی در مرحله آموزش و آزمون

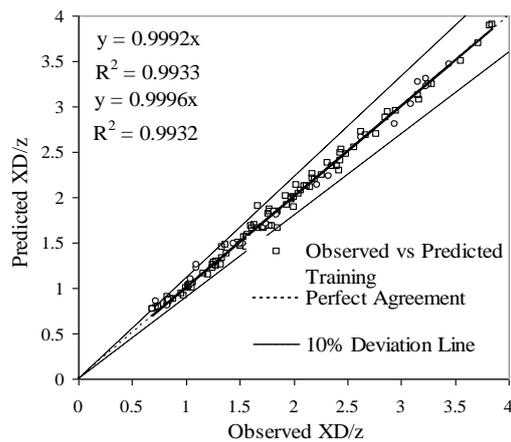


Fig. 17- Comparison between observed and predicted XD/z of ANN in training and testing stages

شکل ۱۷- نتایج حاصل از شبکه عصبی برای تخمین پارامتر XD/z در مقابل مشاهدات آزمایشگاهی در مرحله آموزش و آزمون

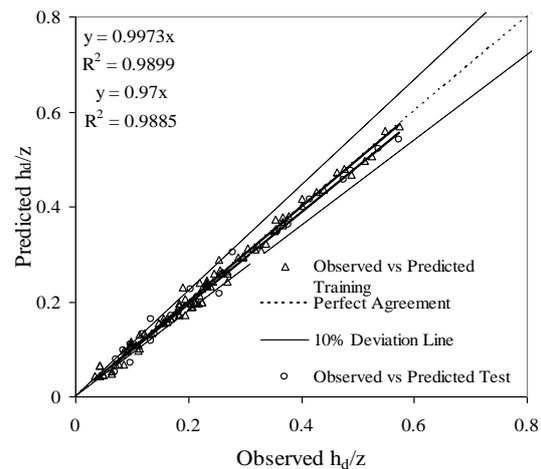


Fig. 16- Comparison between observed and predicted h_d/z of ANN in training and testing stages

شکل ۱۶- نتایج حاصل از شبکه عصبی برای تخمین پارامتر h_d/z در مقابل مشاهدات آزمایشگاهی در مرحله آموزش و آزمون

جدول ۶ - جزئیات معماری شبکه عصبی

Table 6- Details of Artificial Neural Network Architecture.

Parameter	Network model	Input layer	Hidden layer	Hidden layer	Output layer	Momentum Coefficient	Learning rate
s/z	MLP	5	6	4	1	0.8	0.01
XS/z	MLP	5	4	2	1	0.8	0.01
h_d/z	MLP	5	4	3	1	0.8	0.01
XD/z	MLP	5	3	1	1	0.8	0.01

نتایج معادله پیشنهادی (۲۲) الی (۲۵) در مقابل مشاهده‌های آزمایشگاهی در جدول (۷) نشان داده شده است.

$$\frac{s}{z} = 0.541 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{0.294} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-0.008} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.608} \times (Fr_{D_{50}})^{0.561} \quad (22)$$

$$\frac{XS}{z} = 1.833 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{-0.002} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-0.734} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.500} \times (Fr_{D_{50}})^{0.395} \quad (23)$$

$$\frac{h_d}{z} = 1.344 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{1.141} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-1.601} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.276} \times (Fr_{D_{50}})^{0.753} \quad (24)$$

$$\frac{XD}{z} = 4.629 \times \left(\frac{b}{B}\right)^{0.489} \times \left(\frac{D_{90}}{D_{50}}\right)^{-0.567} \times \left(\frac{b}{z}\right)^{0.373} \times (Fr_{D_{50}})^{0.522} \quad (25)$$

تحلیل حساسیت

در بخش پایانی تحقیق به تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر در تخمین ابعاد حفره آبستگي پرداخته شده است. این امر در راستای تدقیق روابط (۱۱) الی (۱۴) صورت پذیرفت. روش‌های متنوع و گوناگونی برای تحلیل حساسیت ارائه شده است که در این میان می‌توان به روش‌های آماری، ریاضی و گرافیکی اشاره نمود. Patil و Christopher Frey (2002) از زاویه‌ای دیگر، تحلیل حساسیت را به روش‌های آزمایشی، محلی، و کلی تقسیم‌بندی نموده اند. نتایج تحلیل حساسیت در این تحقیق به روش گرافیکی نشان داد که اثر پارامتر h/H بر تخمین ابعاد حفره آبستگي ناچیز است. لذا پس از حذف این پارامتر در معادله‌های (۱۱) الی (۱۴) و پردازش مجدد تجزیه و تحلیل آماری به روش رگرسیون غیر خطی منجر به ارائه روابط (۲۲) الی (۲۵) گردید. توابع خطای حاصل از

جدول ۷- توابع خطای حاصل از نتایج معادله پیشنهادی (۲۲) الی (۲۵) در مقابل مشاهدات آزمایشگاهی
Table 7- Error functions from results suggested by equations (22) -(25) against experimental observations.

Parameter	RMSE	MPE	SEE	EF	m	R ²
s/z	0.0289	1.8434	0.0285	0.9570	0.9915	0.9552
XS/z	0.0756	0.4802	0.0743	0.9392	0.9926	0.9364
h_d/z	0.0201	1.9659	0.0200	0.9781	0.991	0.9777
XD/z	0.0874	0.0665	0.0878	0.9877	0.9979	0.9877

از سوی دیگر، از آنجایی که استفاده از معادله‌های رگرسیون غیرخطی ارائه شده برای تخمین پارامترهای آبستگي نیازمند حضور کامپیوتر نمی‌باشد لذا می‌توان چنین ادعا نمود که استفاده از روش رگرسیون غیرخطی در مقایسه با روش برنامه‌سازی ژنتیک و مدل شبکه عصبی در تخمین ابعاد حفره آبستگي در پايين دست سازه‌های کنترل شیب از کارایی مناسب تری برخوردار است.

سپاسگزاری

بدینوسیله نگارندگان از دانشگاه صنعتی جندی شاپور به پاس فراهم آوردن امکانات این تحقیق کمال تشکر را دارند.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که به کارگیری روش های آماری و الگوریتم های فرا ابتکاری در تخمین مشخصات چاله ی آبستگي و تپه ی رسوبی در پايين دست سازه‌های متقاطع با رودخانه از موفقیت بالایی برخوردارند. مقایسه عملکرد این روش‌ها در تخمین پارامترهای s/z , XS/z , h_d/z , XD/z در پايين دست سازه‌ی سيفون معکوس بالارود نشان داد که موفقیت نسبی شبکه عصبی در مقایسه با برنامه سازی ژنتیک و رگرسیون غیر خطی بالاتر است. همچنین نتایج حاصل از تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر در آبستگي نشان داد که اثر پارامتر h/H ناچیز می‌باشد و حذف آن از معادله‌های اثر معنی‌داری در تخمین ابعاد حفره آبستگي ندارد.

References

- 1- Bormann, N.E. and Julien, P.Y., 1991. Scour Downstream of Grade-Control Structures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(5), pp.579-594.
- 2- Christopher Frey, H. and S.R. Patil, 2002. Identification and review of sensitivity analysis methods. *Risk analysis*, 22(3): 553-578.
- 3- Coello, C.A.C., Lamont, G.B. and Van Veldhuizen, D.A., 2007. *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems* New York: Springer. (5),131-154.
- 4- D'Agostino, V., 1996. La progettazione delle controbriglie. *XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Politec. di Turin, Turin, Italy*, pp.16-18.
- 5- D'Agostino, V., 1994. Indagine Sullo Scavo a Valle Di Opere Trasversali Mediante Modello Fisico a Fondo Mobile. *L'Energia elettrica*, 71(2), pp.37-51.
- 6- Doddiah, D., Albertson, M.L. and R.K. Thomas, 1953. Scour from jets. *CER*; 54-4.
- 7- D'Agostino, V. and Ferro, V., 2004. Scour on Alluvial Bed downstream of Grade-Control Structures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(1), pp.24-37.
- 8- Falciai, M. and Giacomini, A., 1978. Indagine Sui Gorgi Che Si Formano a Valle Delle Traverse Torrentizie. *Italia Forestale Montana*, 23(3), pp.111-123.
- 9- Koza, J.R., 1994. Genetic Programming: on the Programming of Computers by Means of Natural Selection, Cambridge, Bradford Book.
- 10- Lenzi, M.A., Marion, A., Comiti, F. and Gaudio, R., 2000. Riduzione Dello Scavo a Valle di Soglie Di Fondo Per Effetto Dell'interferenza Tra le Opere. *Proc., 27th Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova*, 3, pp.271-278.
- 11- Mason, P.J. and Arumugam, K., 1985. Free Jet Scour Below Dams and Flip Buckets. *Journal of Hydraulic Engineering*, 111(2), pp.220-235.

-
- 12-McCulloch, W.S. and Pitts, W., 1943. A logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), pp.115-133.
- 13-Mossa, M. "Experimental study on the scour downstream of grade-control structures." *Proc., 26th Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania 3* (1998): 581-594.
- 14-Robinson, K.M., Cook, K.R. and G.J., 2000. Velocity field measurements at an overfall, *Transactions of the ASAE*. 43(3):665-670.
- 15-Rouse, H., 1940. Criteria for Similarity in the Transportation of Sediment. *University of Iowa Studies in Engineering*, 20, pp.33-49.
- 16-Soltani, A., Gorban, M., Fakheri Fard, A., Darbandi, S., Farsadizadeh, D. (2011). 'Genetic Programming and Its Application in Rainfall-Runoff Modeling', *Water and Soil Science*, 20(4), pp. 62-71. (In Persian).
- 17-Veronese, A., 1937. Erosioni di fondo a valle di uno scarico. *Annal. Lavori Pubbl*, 75(9), pp.717-726.
- 18-Yen, C.L. 1987. Discussion on 'Free jet Scour Below Dams and Flip Buckets, by Peter J. Mason and Kanapathypilly Arumugam, *Journal of Hydraulic Engineering*, 113(9): 1200-1202.