



دانشگاه صنعتی شاهرود

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و چهارم، شماره اول، ۱۳۹۶

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

گزارش کوتاه علمی

## کاربرد روش برنامه‌ریزی بیان ژن در تعیین ضریب هوادهی دریچه تخلیه‌کننده تحتانی سدها

\*صمد امامقلی‌زاده<sup>۱</sup> و راضیه کریمی‌دمنه<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه آب و خاک، دانشگاه صنعتی شاهرود، <sup>۲</sup>دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۶

### چکیده

سابقه و هدف: استفاده از سدهای مخزنی، نقش مهمی را در توسعه صنعت، کشاورزی و اشتغال جوامع، بر عهده دارد. یکی از اجزای جانبی این سدها، تونل تخلیه‌کننده تحتانی است که نقش مهمی را در تخلیه و کنترل سیلاب بر عهده دارد. این سازه مشتمل بر یک مجرای ورودی، تونل اصلی انتقال و سازه‌های کنترل و تنظیم جریان، شامل دریچه‌ها و شیرها می‌باشد. بروز فشارهای منفی و پدیده کاویتاسیون از جمله مشکلاتی است که تخلیه‌کننده‌های تحتانی سدها در دبی‌های بالا با آن مواجه هستند. این پدیده سبب بروز مشکلاتی از جمله تخریب سطح سازه خواهد شد. یکی از متداول‌ترین روش‌های کاهش و حذف خطر وقوع کاویتاسیون، هوادهی جریان می‌باشد. در این راستا، میزان هوادهی و هواگیری جریان آب در سرریزها و پایین‌دست دریچه‌های تونل تخلیه‌کننده تحتانی سدها، یکی از مباحث مهم می‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر پیش‌بینی و برآورد ضریب هوادهی دریچه تخلیه‌کننده تحتانی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر، روش برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) جهت برآورد ضریب هوادهی دریچه تخلیه‌کننده تحتانی مورد استفاده قرار گرفت. برای آموزش و صحت‌سنجی مدل، از داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده از مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی چهار سد البرز، زاوه، گتوندعلیا و جره، که در آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیکی مؤسسه تحقیقات آب تهران ساخته شده، استفاده گردید. ضریب هوادهی تابعی از دو پارامتر عدد فرود جریان در محل فشردگی آن ( $Fr_c$ ) و نسبت سطح مقطع هواده به سطح مقطع تونل در محل دریچه ( $A_d/A_g$ ) در نظر گرفته شد. جهت اجرای مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، ۳۰ کروموزوم و ۳ ژن انتخاب شد و توانایی این روش به کمک دو پارامتر آماری مانند ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که روش برنامه‌ریزی بیان ژن با ضرایب همبستگی ۰/۸۰۳ و ۰/۶۳۹ و جذر میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۰۹۶ و ۰/۱۲۵ به ترتیب در دو بخش آموزش و آزمون، ضریب هوادهی دریچه تخلیه‌کننده تحتانی را برآورد نمود. مدل مذکور در مقایسه با نتایج رابطه رگرسیونی با ضرایب همبستگی ۰/۷۱۸ و ۰/۴۰۲ و جذر میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۱۱۴ و ۰/۱۷۱ در بخش‌های آموزش و آزمون نتایج بهتری را ارائه می‌نماید. به عبارتی، استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن موجب کاهش ۲۸ درصدی خطای پیش‌بینی ضریب هوادهی دریچه تخلیه‌کننده تحتانی سدها شده است.

\* مسئول مکاتبه: [s\\_gholizadeh517@shahroodut.ac.ir](mailto:s_gholizadeh517@shahroodut.ac.ir)

**نتیجه‌گیری:** نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد مدل هوشمند برنامه‌ریزی بیان ژن، به‌خوبی توانسته است ضریب هوادهی دریچه‌های تخلیه‌کننده تحتانی سدها را پیش‌بینی کند و استفاده از آن موجب بهبود نتایج پیش‌بینی در مقایسه با روش‌های مرسوم حاصل از مدل‌های رگرسیونی شود. به‌عبارتی، نتایج به‌دست آمده، بیانگر توانایی روش برنامه‌ریزی بیان ژن در تعیین ضریب هوادهی دریچه‌های تخلیه‌کننده تحتانی سدها و در نتیجه برآورد صحیح این پارامتر، به‌منظور جلوگیری از وقوع پدیده کاویتاسیون می‌باشد. بنابراین استفاده از این روش در مسایل مرتبط با موضوع پژوهش پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** ضریب هوادهی، برنامه‌ریزی بیان ژن، کاویتاسیون، دریچه تخلیه‌کننده تحتانی

### مقدمه

می‌گردند. فلزات، پلاستیک، شیشه و بتن از جمله مواد مستعد تخریب بر اثر کاویتاسیون هستند. با توجه به اجتناب‌ناپذیر بودن این پدیده و تأثیر مخرب آن در فرسایش سد و سازه‌های هیدرولیکی، کنترل آن امری ضروری خواهد بود. هوادهی جریان یکی از روش‌های کنترل کاویتاسیون به‌شمار می‌رود که توسط پترکا در سال ۱۹۵۳ مورد پژوهش قرار گرفت و به‌عنوان مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش کنترل کاویتاسیون مطرح گردید (۸). هوادهی فرایندی طبیعی یا مکانیکی است که در آن ارتباط و تماس آب و هوا برای دستیابی به مقاصد مختلف از جمله انتشار گاز، افزایش اکسیژن و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب صورت می‌پذیرد (۸). این تکنولوژی در سال ۱۹۶۰ به‌شکل موفقیت‌آمیزی در سد گراند گلوئی در امریکا انجام شد و امروزه به‌شکلی گسترده، به‌منظور کاهش اثرات ناشی از کاویتاسیون در سدهای بزرگ، کاربرد دارد (۵). میزان هوادهی به جریان، از جمله مواردی است که باید مورد توجه قرار گیرد. این میزان که تحت عنوان ضریب هوادهی نامیده می‌شود، به‌صورت نسبت دبی هوا به دبی جریان ( $Q_a/Q_w$ ) تعریف می‌گردد و پژوهشگران متعددی بر رابطه ریاضی آن مطالعه کرده‌اند. ضریب هوادهی در آزمایشات پترکا،  $0.07/4 - 0.04/4$  بود. پترکا دریافت که صدای حاصل از کاویتاسیون با افزایش هوادهی کاهش یافته و در  $0.07/4$  هوادهی به‌طور کامل حذف می‌گردد (۸). ژئی‌یانگ و پی‌لان (۲۰۰۶) نیز بیان

یکی از سازه‌های اصلی سدها، تونل تخلیه‌کننده تحتانی است. این سازه با توجه به نقش مهم و کاربردی در تخلیه و کنترل سیلاب، کنترل تراز سطح مخزن به‌هنگام آبریزی و نیز تخلیه رسوبات در مواقع ضروری، نیازمند طراحی دقیق می‌باشد. این تونل به‌همراه سرریز، قادر به تخلیه حجم سیلاب محتمل در حوضه آبریز سد، طی مدت زمان مشخص می‌باشد. این سازه شامل یک مجرای ورودی، تونل اصلی انتقال، سازه‌های کنترل و تنظیم جریان مانند شیرها و دریچه‌ها و نیز تبدیل‌ها و شیرهای هواگیر می‌باشد. یکی از پدیده‌های مخرب و نام آشنا در سازه‌های هیدرولیکی مانند سرریز تونل‌ها، سرریز سدها، شوت‌های سازه‌های بلند و تخلیه‌کننده تحتانی سدها، پدیده کاویتاسیون است که بر اثر افزایش دبی و بروز فشار منفی به‌وقوع می‌پیوندد. کاویتاسیون در لحظه‌ای که سرعت جریان به‌حد مشخصی برسد و فشار جریان از فشار بخار اشباع کم‌تر باشد، رخ می‌دهد (۱۱). در دریچه تخلیه‌کننده تحتانی سدها، به‌هنگام بازشدگی، به‌علت سرعت بالای جریان، فشار پشت دریچه افت نموده و به کم‌تر از فشار اتمسفر کاهش می‌یابد. افت فشار به‌وجود آمده، وقوع کاویتاسیون را محتمل می‌نماید. این پدیده سبب تخریب سطح سازه و بروز صدمات جبران‌ناپذیر به آن خواهد شد. در اثر کاویتاسیون، مواد سازنده سطح سازه از آن جدا شده و مرزهای صلب سازه تخریب

مدل فیزیکی چهار سد البرز، ژاوه، گتوندعلیا و جره استفاده شد و نتایج این روش با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. به این منظور، مکانیسم هوادهی در پایین دست دریاچه‌های تخلیه‌کننده مورد بررسی قرار گرفت. شاخص این ارزیابی، ضریب هوادهی ( $\beta$ ) می‌باشد که در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش از روش برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) که توسط فریرا (۱۹۹۹) ابداع گردید، استفاده شده است، اطلاعات بیش‌تر در رابطه با این روش در منابع ۲، ۳، ۶ و ۱۰ ارائه گردیده است (۲، ۳، ۶، ۱۰). جهت برآورد ضریب هوادهی دریاچه‌های تخلیه‌کننده تحتانی، از مدل فیزیکی چهار سد، شامل سدهای البرز، ژاوه، گتوندعلیا و جره استفاده شد. در جدول ۱، اطلاعات سدها و مدل‌های فیزیکی ارائه گردیده است:

داشته‌اند که فرسایش کاویتاسیونی به شکل قابل توجهی در غلظت ۲-۱٪ هوادهی نزدیک دیواره کاهش یافته و در ۷-۵٪ هوادهی اثرات ناشی از آن به‌طور کامل حذف می‌گردد (۱۱). پژوهش‌های دیگری از جمله چانسن (۱۹۹۵)، جیان‌هوا و چاو (۲۰۱۱) و سوتاپو و همکاران (۲۰۱۵)، بر روی میزان هوادهی و تأثیر آن در سازه‌ها پژوهش نموده‌اند (۹، ۴، ۱). در این پژوهش‌ها از روش‌های تجربی با اندازه‌گیری در مدل‌های آزمایشگاهی و یا مدل‌های عددی سه‌بعدی، جهت تعیین ضریب هوادهی بهره گرفته شده است. همچنین اوزکان و کایا (۲۰۱۰) از روش شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاجی تطبیقی عصبی فازی، به‌منظور تعیین ضریب هوادهی در ونتوری استفاده کردند و نتایج آن‌ها بیانگر توانایی هر دو روش مذکور در برآورد ضریب هوادهی بوده است (۷). در پژوهش حاضر، از روش برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) جهت برآورد ضریب هوادهی دریاچه‌های تخلیه‌کننده تحتانی

جدول ۱- اطلاعات سدها و مدل‌های فیزیکی.

Table 1. Information of dams and physical models.

توضیحات Comments	مقیاس مدل فیزیکی Scale of physical model	موقعیت جغرافیایی Geographical location	نام سد Name of dam
تخلیه‌کننده عمقی این سد، شامل دو دریاچه اضطراری کشویی به ابعاد (۲×۱/۵ متر) و (۸×۱/۵ متر) طراحی و اجرا شده است. به‌منظور جلوگیری از پدیده کاویتاسیون، در پایین دست دریاچه‌ها، هواده به قطر ۰/۴۹ متر تعبیه شده است. پس از دریاچه اضطراری، یک هواده به قطر ۵۰ میلی‌متر و پس از دریاچه سرویس، دو هواده به قطر ۵۰ میلی‌متر نصب شده‌اند. Bottom outlet of this dam includes two emergency valves with dimensions of 2 m × 1.5 m and 1.8 m × 1.5 m designed and implemented. In order to prevent cavitation, aerators with diameter of 0.49 m considered at the downstream of these valves. After the emergency valve, an aerator with diameter of 50 mm and after service gate, two aerators with diameter of 50 mm have been installed.	1:10	۴۵ کیلومتری شهرستان بابل، واقع بر روی رودخانه بابل 45 km from the city of Babol, located on the river of Babol	البرز Alborz
مدل شامل لوله ورودی مجرا، تبدیل‌ها، شیارها و اتا‌فک‌های دریاچه اضطراری و سرویس، مجرای میانی، هواده‌های بین دو دریاچه و مجرای پایین دست دریاچه سرویس است. The model includes the inlet pipe conduit, transitions, grooves and emergency service valve chamber, central duct, aerators between two valves and the downstream channel service gate.	1:10	۳۵ کیلومتری شهرستان سنندج، بر روی رودخانه ژاوه 35 km from the city of Sanandaj, located on the river of Zhavh	ژاوه

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

توضیحات Comments	مقیاس مدل فیزیکی Scale of physical model	موقعیت جغرافیایی Geographical location	نام سد Name of dam
تخلیه‌کننده عمقی مجرای به طول ۱۱۹ متر است که از دو قسمت به طول‌های ۷۲/۸ و ۴۶/۲ متر تشکیل شده است. Bottom outlet includes channel length of 119 m which formed of two parts of 72.8 m and 46.2 m.	1:17	۲۵ کیلومتری شهرستان شوشتر 25 km from the city of Shushtar	گتوندعلیا
تخلیه‌کننده عمقی شامل دو دریچه سرویس (۱/۵×۱/۸۵ متر) و دریچه اضطراری (۱/۷۵×۱/۵ متر) از نوع کشویی می‌باشد. قطر هواده پس از دریچه اضطراری در مدل، ۵۰ میلی‌متر است. Bottom outlet includes two service gates (1.85m × 1.5m) and emergency gates (1.5m × 1.75m) is the type of gate valve. Diameter of aerator after an emergency valve is 50 mm.	1:13	۳۵ کیلومتری شهرستان رامهرمز 35 km from the city of Ramhormoz	جره

پارامترهای اندازه‌گیری شده، شامل دبی آب ( $Q_w$ )، دبی جریان هوا در هواده ( $Q_{av}$ )، درصد بازشدگی دریچه اضطراری ( $E$ )، درصد بازشدگی دریچه سرویس ( $S$ )، هد کل بالادست دریچه ( $H_t$ ) و هد فشار بالادست دریچه ( $H_p$ ) می‌باشد. همچنین پارامترهای هندسی تخلیه‌کننده، شامل ارتفاع تونل در محل دریچه ( $h_g$ )، عرض تونل در محل دریچه ( $b_g$ )، سطح مقطع تونل پایین‌دست دریچه ( $A_d$ )، سطح مقطع هواده ( $A_a$ ) و مقیاس مدل  $S_c$  می‌باشد. به کمک پارامترهای فوق، پارامترهای محاسباتی مورد نیاز تعیین شده‌اند که عبارتند از ضریب هواده‌ی ( $\beta = Q_{av} / Q_w$ )، سرعت جریان آب در محل دریچه ( $V_g = Q_w / A_w$ )، سرعت جریان آب در محل فشردگی جریان پس از دریچه ( $V_c = Q_w / A_c$ )، عدد فرود جریان آب در محل دریچه ( $Fr_g$ )، عدد فرود جریان در محل فشردگی ( $Fr_c$ )، عدد رینولدز جریان آب ( $Re = V_c h_c / \nu$ )، عدد وبر جریان در محل فشردگی ( $We_c$ )، بازشدگی نسبی دریچه اضطراری و سرویس ( $G$ )، سطح مقطع جریان در محل دریچه ( $A_w = h_w b_g$ )، ارتفاع جریان آب در محل دریچه

تخلیه‌کننده عمقی شامل دو دریچه سرویس (۱/۵×۱/۸۵ متر) و دریچه اضطراری (۱/۷۵×۱/۵ متر) از نوع کشویی می‌باشد. قطر هواده پس از دریچه اضطراری در مدل، ۵۰ میلی‌متر است.  
Bottom outlet includes two service gates (1.85m × 1.5m) and emergency gates (1.5m × 1.75m) is the type of gate valve. Diameter of aerator after an emergency valve is 50 mm.

با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر ضریب هواده‌ی ( $\beta = Q_{av} / Q_w$ )، مانند  $\Delta P_a$  اختلاف فشار اتمسفر و فشار هوا در انتهای بالادست مجرا، طول تونل پایین‌دست دریچه،  $\rho_w$  چگالی آب،  $\rho_a$  چگالی هوا،  $\sigma_w$  کشش سطحی آب و  $V_w$  لزجت سینماتیکی آب و همچنین برخی از پارامترها که در بالا به آن‌ها اشاره شد، از لحاظ ریاضی می‌توان نوشت:

$$\beta = f \left( V_c, g, h_c, b_g, h_g, h_{g-w}, G, H_t, L_t, \rho_a, \rho_w, A_a, A_d, \Delta P_a, \sigma_w, V_w \right) \quad (1)$$

چون امامقلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵)، تابع پیوند جمع (+)، انتخاب شد. نتایج مطالعات، بیانگر برتری پارامتر جبری جمع بر دیگر پارامترها، در حصول نتایج بهینه است (۲). تولید نسل نیز در ۱۵۰۰۰۰ به‌علت عدم تغییر در نتایج و مقادیر تابع برازش، متوقف گردید. با استفاده از مدل GEP رابطه ریاضی زیر جهت پیش‌بینی ضریب  $\beta$  به‌دست آمد:

$$\beta = [(2(A_a / A_g) / 98.743) / \cos(-5.613 (A_a / A_g))] + [(Fr_c - \frac{Fr_c}{-5.109}) + 0.012] + [(\tan^{-1}((Fr_c - 6.477)^2 \times 2Fr_c)) / Fr_c] \quad (4)$$

با توجه به رابطه فوق، ضریب هوادهی تابعی از عدد فرود جریان می‌باشد. به‌منظور ارزیابی و مقایسه نتایج دو روش برنامه‌ریزی بیان ژن و روش رگرسیونی، نتایج حاصل از هر دو روش در جدول ۳ ارائه شده است. بنابراین، نتایج نشان می‌دهد رابطه رگرسیونی ارائه‌شده توسط نرم‌افزار SPSS، با ضرایب همبستگی ۰/۷۱۸ و ۰/۴۰۲ و خطای ۰/۱۱۴ و ۰/۱۷۱ به‌ترتیب در مراحل آموزش و آزمون، از دقت کافی در تعیین ضریب هوادهی در پیچه تخلیه‌کننده تحتانی سدها، برخوردار نیست. نتایج اجرای روش برنامه‌ریزی بیان ژن، با ضرایب همبستگی ۰/۸۰۳ و ۰/۶۳۹ و خطای ۰/۰۹۶ و ۰/۱۲۴ در دو بخش آموزش و آزمون، بیانگر توانمندی این روش در برآورد ضریب هوادهی در پیچه تخلیه‌کننده تحتانی سدها می‌باشد. مقایسه بین نتایج رابطه رگرسیونی و مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در جدول ۱ آمده است. همچنین مقایسه بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی‌شده ضریب هوادهی ( $\beta$ ) در دو مرحله آموزش و آزمون با استفاده از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن و رگرسیونی در شکل ۱ در مرحله آزمون نشان داده شده است.

با استفاده از آنالیز ابعادی، فرض  $V_c$ ،  $h_c$  و  $P_w$  به‌عنوان پارامترهای تکراری، حذف پارامترها با مقادیر عددی ثابت و عدد رینولدز به‌علت آشفتگی جریان، رابطه زیر به‌دست آمد:

$$\beta = f(Fr_c, A_a / A_g) \quad (2)$$

### نتایج و بحث

لازم به ذکر است که در این پژوهش تعداد ۱۰۸ داده مورد استفاده قرار گرفت. در این میان ۷۰٪ داده‌ها برای آموزش و ۳۰٪ باقی‌مانده برای آزمون مدل در نظر گرفته شدند. دامنه تغییرات پارامترهای  $\beta$ ،  $Fr_c$  و  $A_a / A_g$  به‌ترتیب برابر با ۰/۹۳-۰/۰۳، ۰/۴-۰/۰۱ و ۰/۴۶-۰/۰۴ می‌باشد. با استفاده از داده‌های آموزش، رابطه رگرسیونی جهت برآورد ضریب هوادهی، با استفاده از نرم‌افزار SPSS، به‌صورت زیر حاصل گردید:

$$\beta = 0.017Fr_c - 0.113(A_a / A_g) + 0.134 \quad (3)$$

با توجه به رابطه فوق، ضریب هوادهی تابعی از عدد فرود و نسبت سطح مقطع هواده به سطح مقطع در پیچه تعریف می‌گردد. همچنین، با توسعه مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، انتخاب تابع برازش  $RRSE_i$  و انتخاب ۳ ژن، ضریب هوادهی مدل‌سازی شد. همچنین، پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که انتخاب ۲۰ تا ۳۰ کروموزوم در اندازه جمعیت، موجب دستیابی به بهترین پاسخ خواهد شد (۲). بنابراین ۳۰ کروموزوم برای تشکیل جمعیت اولیه در نظر گرفته شد. اندازه سر نیز به کمک سعی و خطا برابر با ۷ انتخاب شد. در جدول ۲، آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی به مدل ارائه شده است. همچنین در مرحله آخر، با توجه به مطالعات پیشین پژوهشگرانی

جدول ۲- آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی به مدل برنامه‌ریزی بیان ژن.

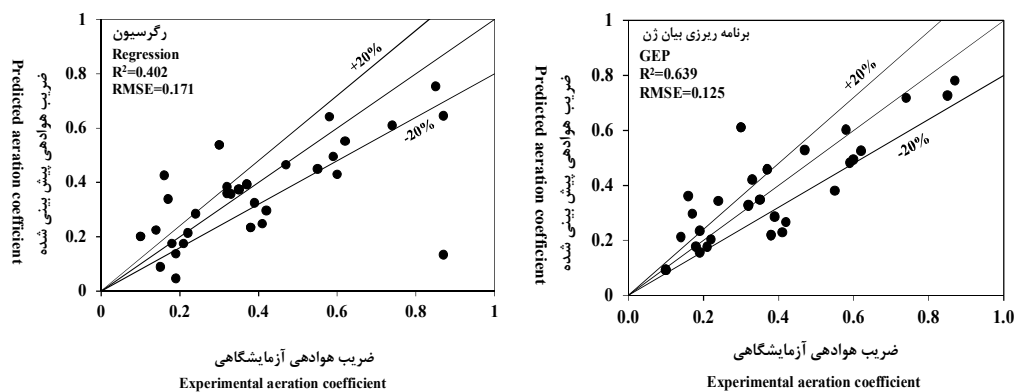
Table 2. Sensitive analysis of input variables to the Gene Expression Programming.

جذر میانگین مربعات خطا Root of Mean Square Error (RMSE)		ضریب همبستگی Correlation Coefficient (R <sup>2</sup> )		پارامتر Parameter
آزمون Test	آموزش Train	آزمون Test	آموزش Train	
0.127	0.105	0.60	0.76	1
0.123	0.104	0.61	0.76	2
0.125	0.096	0.639	0.803	3
0.123	0.104	0.62	0.76	20
0.127	0.109	0.60	0.74	25
0.125	0.096	0.639	0.803	30
0.170	0.161	0.35	0.42	1
0.120	0.114	0.63	0.71	2
0.142	0.129	0.52	0.64	3
0.137	0.103	0.56	0.77	4
0.140	0.108	0.59	0.75	5
0.144	0.109	0.50	0.74	6
0.125	0.096	0.639	0.803	7
0.127	0.102	0.61	0.77	8

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

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

جذر میانگین مربعات خطا Root of Mean Square Error (RMSE)		ضریب همبستگی Correlation Coefficient (R <sup>2</sup> )		روش Method
آزمون Test	آموزش Train	آزمون Test	آموزش Train	
0.171	0.114	0.402	0.78	رگرسیونی Regression
0.125	0.096	0.639	0.803	برنامه‌ریزی بیان ژن GEP



شکل ۱- رابطه بین ضریب هوادهی (β) آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده در مرحله آزمون با استفاده از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن و رگرسیونی.

Figure 1. Relation between experimental and predicted data of aeration coefficient (β) at training and testing stages using GEP and regression models.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از روش برنامه‌ریزی بیان ژن به‌منظور تعیین ضریب هوادهی دریچه تخلیه‌کننده تحتانی سدها استفاده گردید و نتایج مدل مذکور با نتایج رابطه رگرسیونی حاصل از مطالعات آزمایشگاهی مقایسه گردید. بدین‌منظور، اطلاعات آزمایش‌های هوادهی مدل‌های فیزیکی چهار سد البرز، زاوه، گتوندعلیا و جره، ساخته‌شده در آزمایشگاه هیدرولیکی مؤسسه تحقیقات آب تهران جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفت. نتایج آنالیز ابعادی، ضریب هوادهی را پارامتری از عدد فرود جریان و نسبت

سطح مقطع هواده به سطح مقطع دریچه معرفی کرد. نتایج نشان داد استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن، ضریب همبستگی را به‌میزان ۱۱٪ و ۵۸٪، به‌ترتیب در دو بخش آموزش و آزمون افزایش داده است. همچنین این روش موجب کاهش خطا به‌میزان ۱۵٪ و ۲۸٪ در دو بخش آموزش و آزمون گردیده است. این نتایج، بیانگر برتری این روش در بهبود امر تعیین ضریب هوادهی دریچه تخلیه‌کننده تحتانی سدها، با دقت بیش‌تر و خطای کم‌تر می‌باشد.

## منابع

- 1.Chanson, H. 1995. Predicting oxygen content downstream of weirs, spillways and waterways. Proc. Inst. Civil Eng-Water Maritime Energy. 112: 1. 20-30.
- 2.Emamgholizadeh, S., Bateni, S.M., Shahsavani, D., Ashrafi, T., and Ghorbani, H. 2015. Estimation of soil cation exchange capacity using Genetic Expression Programming (GEP) and Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS). J. Hydrol. 529: 1590-1600.
- 3.Ferreira, C. 2001. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. J. Complex Syst. 13: 2. 87-129.
- 4.Jian-hua, W., and Chao, L. 2011. Effects of entrained air manner on cavitation damage. J. Hydrodyn. 23: 3. 333-338.
- 5.Kavianpour, M.R. 1997. The Reattaching Flow Downstream of Deflectors Including the Effect of Air Injection. A thesis submitted to the University of Manchester Institute of Science and Technology for the degree of PHD. Manchester, UK.
- 6.Kisi, O., Hosseinzadeh Dalir, A., Cimen, M., and Shiri, J. 2012. Suspended sediment modeling using genetic programming and soft computing techniques. J. Hydrol. 450-451: 48-58.
- 7.Ozkan F., and Kaya T. 2010. Using intelligence methods to predict air-demand ratio in venturi weirs. Advances in Engineering Software. 41: 1073-1079.
- 8.Peterka, A.J. 1953. The effect of entrained air on cavitation pitting. In: Proc. IAHR Minnesota conference, Minnesota, USA, Pp: 507-518.
- 9.Sutopo, Y., Wignyosukarto, B.S., Yulistyanto, B., and Istiarto. 2015. Self and artificial air entrainment in steep channel. Procedia Engineering. 125: 158-165.
- 10.Zahiri, A., Dehghani, A.A., and Azamathulla, H.Md. 2015. Application of Gene-Expression Programming in Hydraulic Engineering. Chapter Handbook of Genetic Programming Applications. Pp: 71-97.
- 11.Zhi-yong, D., and Pei-lan, S. 2006. Cavitation control by aeration and its compressible characteristics. J. Hydrodyn. 18: 4. 499-504.

Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(1), 2017*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

### Short Technical Report

## Application of gene expression programming approach to estimate the aeration coefficient of bottom outlet gates of dams

\*S. Emamgholizadeh<sup>1</sup> and R. Karimi Demneh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Associate Prof., Dept. of Water and Soil, Shahrood University of Technology, Shahrood,

<sup>2</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Water Structure, Shahrood University of Technology, Shahrood

Received: 01/16/2016; Accepted: 05/27/2017

### Abstract

**Background and Objectives:** The use of storage dams plays a key role in the development of industry, agriculture and employment communities. Bottom outlet tunnels are one of the most significant components of the reservoir dams which are used in flood evacuation and control. They consist of inlet duct, main conveyance tunnel and flow regulator structures including gates and valves. A major problem with bottom outlet gate of dams is cavitation which happens in the high flow discharge. This phenomenon would destroy the surface of structure. It has been demonstrated that flow aeration is an effective way to reduce the cavitation damages. In this regard, the flow aeration rate is an important discussion that must be noted. Since, in this paper aeration coefficient evaluation is assessed.

**Materials and Methods:** This study, is to estimate the aeration coefficient of bottom outlet gate of four dams (Alborz, Zhavah, Gotvand Olia, Jareh) using Gene Expression Programming (GEP) approach. To achieve this aim, experimental data were used collecting from hydraulic structures laboratory of Tehran Water Research Institute to train and test the model. The aeration coefficient was influenced by compressed Froude number ( $Fr_c$ ) and aerator area to gate area ratio ( $A_a/A_g$ ). 30 chromosomes and 3 genes were chosen to GEP performance. The model ability was assessed by two statistical parameters of correlation coefficient ( $R^2$ ) and root of mean square error (RMSE).

**Results:** The results show that GEP predicted the aeration coefficient of bottom outlet gates of dams with  $R^2$  of 0.803 and 0.639 and RMSE of 0.096 and 0.125 for training and testing stages, respectively. This model gave better results compared by regression equation with  $R^2$  of 0.718 and 0.402 and RMSE of 0.114 and 0.171 for training and testing parts, respectively. In the other words, the error of aeration coefficient prediction was decreased about 28% using GEP approach.

**Conclusion:** The results show that GEP intelligence approach is an adequate model to predict aeration coefficient of bottom outlet gates of dams. Also, the results of traditional regression equations were improved using this method. In the other words, these results indicated that GEP is reliable to evaluate the aeration coefficient of bottom outlet gates of dams by more accurate estimation to prevent cavitation phenomenon. So, use of this way is suggested in future studies related to this topic.

**Keywords:** Aeration coefficient, Gene expression programming, Cavitation, Bottom outlet gate

---

\* Corresponding Author; Email: [s\\_gholizadeh517@shahroodut.ac.ir](mailto:s_gholizadeh517@shahroodut.ac.ir)