

بهینه‌یابی هندسه سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با استفاده از مدل فازی-عصبی و الگوریتم ژنتیک

(مطالعه موردی سد Ute در ایالات متحده آمریکا)*

(یادداشت پژوهشی)

احسان جعفری ندوشن^(۱)مهدی اژدری مقدم^(۲)

چکیده سرریزهای کنگره‌ای به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای اصلاح سرریزهایی که برای عبور دبی ماکزیمم محتمل با مشکل روبه‌رو هستند مطرح می‌شوند. از مزایای این نوع سرریزها می‌توان به بالا بودن ظرفیت سرریز، هوادهی آسان جریان و پایین بودن نوسانات سطح آب در آستانه‌ی عبوری جریان از روی سرریز اشاره کرد. بنابراین، استفاده از بهینه‌ترین شکل هندسی که بیش‌ترین گذردهی جریان تحت شرایط خاص هیدرولیکی همراه با کاهش هزینه‌ی ساخت را داشته باشد امری ضروری است. به این منظور در این تحقیق از قابلیت سیستم استنتاج فازی و الگوریتم ژنتیک برای بهینه کردن هندسه‌ی سرریز و ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب استفاده گردید. برای ساخت سیستم استنتاج فازی و سپس محاسبه‌ی ضریب گذردهی جریان بر پایه‌ی الگوهای ورودی-خروجی در دسترس، از مدل سیستم استنتاج فازی-عصبی ANFIS استفاده گردید. در این بخش در مدل ANFIS به آموزش داده‌های ورودی زاویه‌ی دیواره‌ی سرریز در امتداد جریان (α)، طول دماغه (A) و نسبت ارتفاع کل آب به ارتفاع سرریز ($\frac{H_t}{p}$) و خروجی ضریب گذردهی جریان C_d با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی موجود پرداخته شد. در نهایت با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک و با استفاده از خروجی مدل ANFIS به بهینه‌یابی هندسه‌ی سرریز با تعریف تابع هدف کمینه‌ی سازی هزینه‌های (حجم بتن‌ریزی) سرریز با ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب پرداخته شد.

واژه‌های کلیدی سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای، بهینه‌یابی هندسه‌ی سرریز، مدل فازی-عصبی، الگوریتم ژنتیک.

Optimization of Geometry of trapezoid labyrinth Spillway with using ANFIS Models and Genetic Algorithms (Ute Dam Case Study in the United States of America)

M. Azhdary Moghaddam

E. jafari nodoushan

Abstract Labyrinth spillway is an appropriate option to pass PMF discharge. The most advantages of this type of spillway are higher discharge capacity, easy aeration as well as low fluctuations of flow surface. It is essential to find the optimum geometry considering the maximum passing discharge under specific hydraulic conditions with minimum construction cost. In this study, fuzzy inference system (FIS) and genetic algorithm (GA) were used to optimize the spillway's geometry and satisfy the hydraulic conditions. Applying FIS to evaluate coefficient based on available input - output pattern, ANFIS was employed. Finally, based on GA and ANFIS model output a cost function was defined to minimize the expense under appropriate hydraulic condition.

Key Words Trapezoidal Labyrinth Spillway, Optimization of Spillway Geometry, ANFIS, Genetic Algorithms.

★ تاریخ دریافت مقاله ۸۹/۷/۱۱ و تاریخ پذیرش آن ۹۰/۱۰/۱۰ می‌باشد.

(۱) نویسنده‌ی مسؤول: دانشیار، دانشکده‌ی فنی، گروه مهندسی عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان.

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی فنی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

مقدمه

سرریزهای کنگره‌ای از جمله سازه‌های هیدرولیکی برای تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها به‌شمار می‌آیند. محور تاج این نوع سرریزها به‌صورت مستقیم است و در نمایش سطح افقی، سرریز از دیواره‌های متصل به هم تشکیل شده و با هندسه‌ی مثلثی، دوزنقه‌ای، مستطیلی و قوسی با تناوب در عرض جریان تکرار می‌گردد. معیار اصلی در طرح کنگره‌ای سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز با تاج ثابت و به‌ازای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز بوده است. سابقه‌ی ساخت سرریزهای کنگره‌ای به قبل از سال ۱۹۲۰ می‌رسد [1]، لیکن تا قبل از سال ۱۹۶۸ مطالعات اندکی به‌منظور بررسی و شناخت رفتار هیدرولیکی این نوع سرریزها انجام شده است. اکثر تحقیقات صورت‌گرفته بر سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و دوزنقه‌ای شکل در پلان می‌باشند. اولین مطالعه بر سرریزهای کنگره‌ای به‌وسیله‌ی تیلور در سال ۱۹۶۸ انجام گرفت [2]. هی و تیلور در سال ۱۹۷۰ روشی برای محاسبه‌ی دبی و طراحی این نوع سرریزها ارائه نمودند [3]. در ادامه‌ی مطالعات آن‌ها، روش دیگری به‌وسیله‌ی دارواس در سال ۱۹۷۱ برای طراحی این سرریزها ارائه گردید [1]. پس از سال ۱۹۸۰ مؤسسات تحقیقاتی و فنی دیگر مانند دانشگاه جورجیا، اداره‌ی عمران ایالات متحده (USBR) و مرکز تحقیقات آب دانشگاه یوتا مطالعات جامع‌تری را انجام دادند. مطالعاتی تجربی نیز توسط لاکس و هینچلوف (۱۹۸۵)، ماگالاس (۱۹۸۵) و تولیس و امانیان (۱۹۹۵) انجام گردیده است [1,4,5]. مهم‌ترین امتیازات توسعه‌ی کاربرد سرریزهای کنگره‌ای در رودخانه‌ها و مخازن سدها عبارتند از:

۱- محدودیت عرضی مقطع احداث سرریز جهت انتقال سیلاب ماکزیمم طراحی در مخازن سدها و نیز در شرایط رودخانه‌های نیمه‌کوهستانی و یا

رودخانه‌های سیلاب دشتی با مقطع مرکب.
 ۲- محدودیت ارتفاع سطح آب در بازه‌ی بالادست سرریز و خطر آب‌گرفتگی اراضی بالادست به‌خصوص در رودخانه‌ی سیلاب دشتی.
 ۳- افزایش حجم مفید مخزن سدها از طریق افزایش ارتفاع ثابت سرریز با تأمین ظرفیت انتقال سیلابی سرریز.
 ۴- اصلاح و توسعه طرح سرریزهای موجود جهت افزایش ظرفیت انتقال سیلاب؛ و
 ۵- سادگی ساخت، توجیه برتر اقتصادی و سهولت مدیریت بهره‌برداری در مقایسه با گزینه‌ی سرریز خطی با کنترل درپچه‌ای [1,2].
 با توجه به مزایای ذکرشده در مورد سرریزهای کنگره‌ای هدف این تحقیق بهینه‌کردن هندسه‌ی این نوع سرریز با توجه به شرایط ذکرشده در تحقیق می‌باشد. به همین منظور از مدل سیستم استنتاج فازی-عصبی ANFIS و الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌یابی استفاده گردیده است. برای ساخت سیستم استنتاج فازی و سپس محاسبه‌ی ضریب گذردهی جریان بر پایه‌ی الگوی ورودی و خروجی در دسترس می‌توان از مدل ANFIS بهره جست. برای این منظور مجموعاً ۹۶ زوج داده گردید که ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش مدل ANFIS و ۲۰ درصد داده‌ها برای ارزیابی مدل به‌کار گرفته شده است. در مدل ANFIS با استفاده از داده‌های موجود شامل سه متغیر ورودی زاویه‌ی دیوار سرریز در امتداد جریان و نسبت ارتفاع کل آب به ارتفاع سرریز $(\frac{H_t}{p})$ ، طول دماغه (A) و متغیر خروجی ضریب گذردهی جریان (C_d) به ساخت مدل فازی عصبی ANFIS پرداخته شد. بدین صورت می‌توان با استفاده از مدل ساخته شده به محاسبه ضریب گذردهی جریان از روی داده‌های ورودی جدید پرداخت. با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک و تعریف تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌ی (حجم بتن

رابطه‌ی محاسبه‌ی دبی در سرریزهای کنگره‌ای به صورت زیر می‌باشد [2].

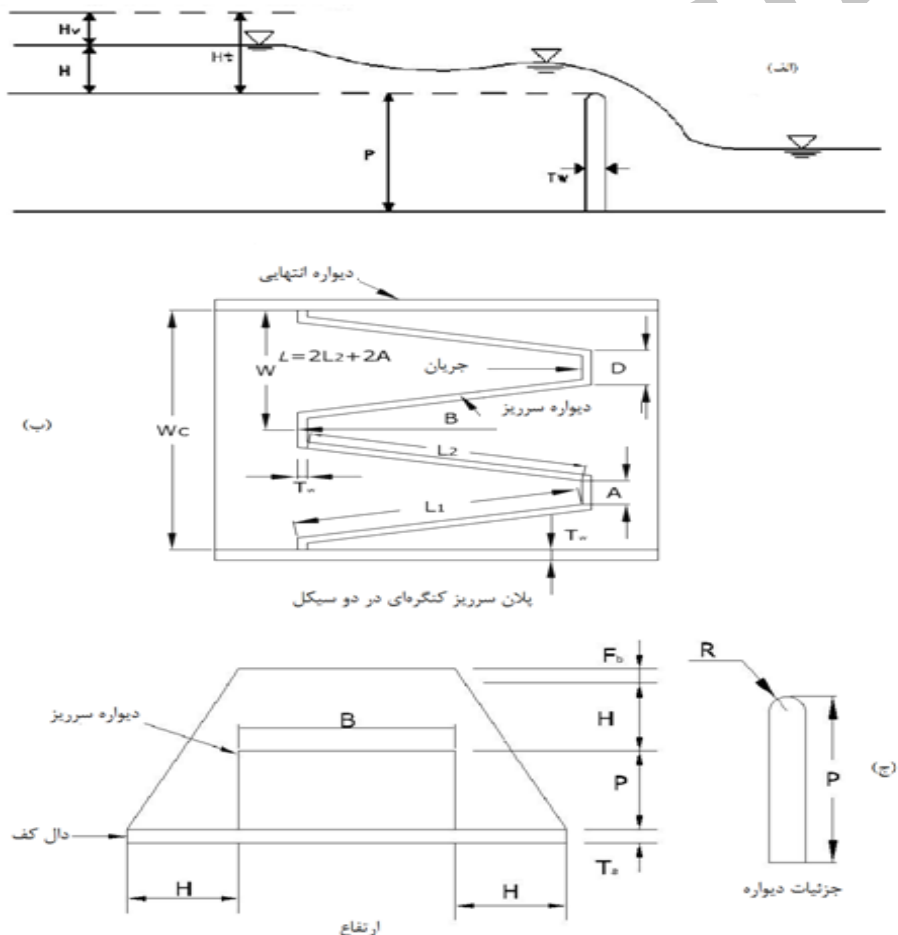
$$Q = \frac{2}{3} C_d L_e \sqrt{2g} H_t^{1.5} \quad (1)$$

که در آن C_d ضریب تخلیه، Q (m³/s) دبی، H_t ارتفاع کل آب، و L_e طول مؤثر می‌باشند. شکل (۱) نمای شماتیک از پروفیل جریان عبوری از روی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای در مقطع و پلان را نمایش می‌دهد.

ریزی) سرریز با ارضای شرایط هیدرولیکی دل‌خواه و مناسب به بهینه‌یابی هندسه‌ی سرریز پرداخته شد.

بررسی پارامترهای سرریز کنگره‌ای

ظرفیت یک سرریز کنگره‌ای، تابعی از هد کل، طول سرریز و ضریب تخلیه‌ی سرریز می‌باشد. ضریب تخلیه‌ی سرریز نیز به ارتفاع کل آب (H_t)، ارتفاع سرریز (P)، ضخامت سرریز (T_w)، شکل تاج و زاویه‌ی دیواره‌ی سرریز در امتداد جریان (α) بستگی دارد.



شکل ۱ نمایش پروفیل جریان عبوری از روی سرریز کنگره‌ای، (الف) پلان سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای، (ب) مقطع سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای

زاویه دیوار هادی (Sidewall Angle). در یک سرریز کنگره‌ای مثلثی و دوزنقه‌ای زاویه دیواره‌های هادی در امتداد جریان (α) به ترتیب در رابطه (۳ و ۲) نشان داده شده است [1].

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{w}{2L_2} \right) \quad (2)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{w - 2A}{2L_2} \right) \quad (3)$$

شکل تاج (Crest Shape). در این تحقیق با توجه به مطالعات انجام شده توسط امانیان (۱۹۹۵) به‌ترین شکل تاج که بیش‌ترین گذردهی را دارا می‌باشد، تاج نیم دایره‌ای انتخاب شده است [2].

نسبت دماغه (Crest Shape). با کاهش نسبت $\frac{A}{w}$ کارایی سرریز افزایش می‌یابد اما از طرف دیگر تداخل لایه‌های سرریزشونده تأثیر منفی بیش‌تری روی عملکرد سرریزهای با پلان مثلثی نسبت به سرریزهای با پلان دوزنقه‌ای دارد. بنابراین، به‌دست آوردن طول دماغه‌ی مناسب که هم کارایی سرریز را افزایش دهد و هم از تداخل لایه‌های سرریزشونده جلوگیری کند، امری ضروری است. بنابراین، در این تحقیق از سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با طول دماغه‌های مختلف استفاده گردید تا با انتخاب مناسب دماغه بهینه‌ترین حالت که کارایی بیش‌تری را داراست حاصل گردد.

نسبت طول آشفتگی (تداخلي). نسبت طول آشفتگی به طول دیواره‌ی هادی اهمیت بسیار زیادی را برای محدود کردن اثرات تداخل جت‌ها ایفا می‌کند. ایندوکوفر و رو (Indlekofer&Rouve) (۱۹۷۵) با انجام آزمایش‌ها به این نتیجه رسیدند که زاویه‌ی تداخل یا ناحیه‌ی آشفتگی تابعی از ارتفاع آب روی سرریز (H)، ارتفاع سرریز (P)، و زاویه‌ی دیواره‌ی

طول واقعی دیواره سرریز (L_1) Actual Length of (Side Leg	طول موثر دیواره سرریز (L_2) Effective Length of) (Side Leg
ضخامت سرریز (T_w)	طول سرریز (B) (Length of Labyrinth)
عرض کل سرریز (w_c)	طول سرریز در یک سیکل (l)
عرض هر سیکل سرریز (w)	تعداد سیکل‌ها (N) (Number of cycles)

پارامترهای لازم برای طراحی و بهینه‌سازی

نسبت هد آبی (Headwater Ratio). نسبت هد آبی برابر حاصل تقسیم هد کل به ارتفاع سرریز ($\frac{H_t}{P}$) می‌باشد. به‌دلیل این‌که ضریب تخلیه با افزایش هد کل کاهش می‌یابد لذا بالاترین کارایی سرریزهای فوق در هدهای کم می‌باشد. حداکثر نسبت هد آبی کل بیش‌تر به‌صورت پاسخ مدل‌های آزمایشگاهی ارزیابی می‌شود. حداکثر نسبت هد آبی برای آزمایشات تولیس و امانیان معادل $\frac{H_t}{P} < 0.9$ در نظر گرفته می‌شود [2].

نسبت ظاهری عمودی (Vertical Aspect Ratio/Sidewall Angle). نسبت ظاهری عمودی برابر حاصل تقسیم عرض هر یک از سیکل‌های سرریز به ارتفاع سرریز ($\frac{W}{P}$) می‌باشد. تیلور به‌منظور کاهش اثرات تلاقی جت‌های آب نسبت ظاهری عمودی را بزرگ‌تر از ۲ پیشنهاد کرد [4]. برای اهداف طراحی مقادیر حداقل ۲ و ۲/۵ به‌ترتیب برای پلان‌های دوزنقه‌ای و مثلثی توسط لوکس پیشنهاد گردید [5].

نسبت بزرگنمایی (Magnification Ratio). نسبت بزرگنمایی به‌صورت حاصل تقسیم طول تاج سرریز کنگره‌ای در یک سیکل به عرض هر سیکل سرریز ($\frac{l}{w}$) می‌باشد. در آزمایش‌های انجام‌شده توسط تولیس و امانیان حداقل زاویه‌ی دیواره‌ی سرریز در امتداد جریان شش درجه می‌باشد که معادل نسبت بزرگنمایی حدوداً ۹/۵ می‌باشد [5].

فازی است به وسیله‌ی استفاده‌ی مؤثر از قابلیت یادگیری ANN جهت تولید خودکار این قواعد و بهینه‌سازی پارامترها برطرف می‌کند. مدل ANFIS از جمله مدل‌های فازی-عصبی است [۷]. این شبکه براساس یادگیری نظارت شده آموزش داده می‌شود. بنابراین، هدف ما دادن آموزش به شبکه‌ی تطبیقی است تا بتواند توابع غیرمعیین داده‌شده توسط داده‌های آموزش را تخمین بزند و سپس مقادیر دقیق پارامترهای فوق را بیابد. در این روش، ANFIS یک الگوریتم آموزش ترکیبی شامل روش کاهش شیب و روش حداقل مربعات را به کار می‌گیرد تا پارامترها را بهینه نماید [9].

نوع سیستم استنتاج فازی به کار رفته در این تحقیق سیستم سوگنو با توابع عضویت گوسین می‌باشد. برای آموزش مدل از الگوریتم آموزش ترکیبی با تعداد تکرار epoch=30 استفاده گردید.

داده‌های مورد استفاده. با توجه به توضیحات داده‌شده، در این تحقیق از داده‌های سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای استفاده گردید. سرریزهای مورد مطالعه در تحقیق مذکور به شکل کنگره‌ای دوزنقه‌ای با تاج نیم‌دایره‌ای به شعاع و ضخامت $\frac{P}{6}$ بوده و برای عرض ثابت W و تعداد سیکل‌های $\frac{1}{5}$ و همچنین مقادیر α با تغییرات ۴۹، ۳۲، ۲۱، ۱۶، ۱۰/۵ ساخته شده‌اند که α عبارتست از زاویه‌ی دیواره‌های سرریز. با گذراندن دبی‌های مختلف از روی هر کدام از این سرریزها و با به دست آوردن H_t ، نمودارهایی بر حسب C_d برای α های مختلف ترسیم شده‌اند. سپس از این نمودارها برای طراحی سرریز کنگره‌ای استفاده نمودند. مشخصات در تحقیق حاضر سعی شده است تا با استفاده از داده‌های موجود شامل سه متغیر ورودی، زاویه‌ی دیواره‌ی سرریز در امتداد جریان (α)، نسبت ارتفاع کل آب به ارتفاع سرریز ($\frac{H_t}{p}$) و طول دماغه (A)

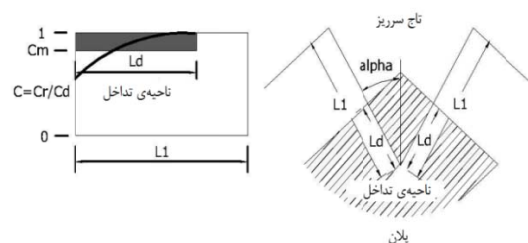
هادی در امتداد جریان (α) می‌باشد. طول تداخل تابعی از طول سرریز L_1 و زاویه‌ی دیواره‌ی هادی است. بنابراین، طول تداخل را می‌توان به صورت رابطه‌ی (۴) بیان کرد. در شکل (۲) ناحیه‌ی تداخل جریان نشان داده شده است.

$$L_d = f(H, p, \alpha) = f\left(\frac{H}{p}, \alpha\right) \quad (4)$$

ایندکوفر و رو به این نتیجه رسیدند که طول آشفته‌گی به صورت خطی با افزایش ارتفاع آب روی سرریز افزایش می‌یابد [1].

براساس مدل‌های مطالعاتی سرریز کنگره‌ای ایندکوفر و رو نسبت طول آشفته‌گی مؤثر به طول دیواره‌های هادی بایستی کوچک‌تر یا مساوی $\frac{0}{3}$ باشد. بیان دیگر مطلب اخیر به صورت رابطه‌ی (۵) ارائه شده است [1].

$$\frac{L_{de}}{L_1} = \frac{H}{L_1} \times 6.1 \times e^{-0.052\alpha} \leq 0.3 \quad (5)$$



شکل ۲ ناحیه‌ی تداخل جریان در پلان سرریز کنگره ای [1].

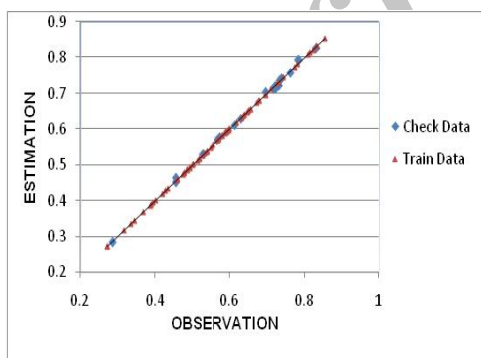
سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)

مدل‌های فازی-عصبی که در سال ۱۹۹۳ توسط جنگ گسترش یافت، منطق فازی را با شبکه‌های عصبی-مصنوعی (Artificial Neural Networks) ANN، برای تسهیل فرآیند یادگیری و انطباق ترکیب می‌نماید [6]؛ بدین صورت که مشکل اصلی در طراحی سیستم‌های فازی را که همان به دست آوردن قواعد «اگر-آنگاه»

تخمین زده شده است. این ضریب در بازه ۱- و ۱+ تغییر و هرچه مقدار آن به ۱+ نزدیکتر باشد، نشان دهنده قوی تر بودن رابطه مستقیم بین متغیرهای مورد بررسی می باشد. RMSE باقیمانده بین داده های مشاهده شده و تخمین زده شده را ارزیابی می نماید. این شاخص فرض می کند که خطاهای بزرگتر از اهمیت بیش تری نسبت به خطاهای کوچکتر برخوردارند. MAE نیز میانگین وزنی خطاهای مطلق می باشد. لازم به ذکر است که RMSE و MAE نزدیک تر به صفر، تناسب بیشتر بین متغیرها را نشان می دهند [9 و 10]، جدول (۱). شامل ارزیابی نتایج به دست آمده از مدل با توجه به پارامترهای فوق می باشد هم چنین نمودار شکل (۳) نیز به مقایسه ی پراکندگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی C_d می پردازد:

جدول ۱ نتایج ارزیابی مدل ANFIS ساخته شده [۱۱]

ارزیابی		آموزش		تعداد داده ها
	CORR		CORR	
۰/۹۹۹۳	CORR	۱	CORR	10
۰/۰۰۵۱	RMSE	۰/۰۰۰۲۲۲۷	RMSE	
۰/۰۰۴۲۳	MAE	۰/۰۰۰۱۷۱	MAE	



شکل ۳ نمودار پراکندگی مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده

[۱۱] C_d

در تحقیق حاضر ابتدا مدل فازی-عصبی ANFIS در تخمین ضریب گذردهی جریان سرریزهای کنگره ای پرداخته شد. اگرچه داده های در دسترس به

با متغیر خروجی ضریب گذردهی جریان (C_d) به ساخت مدل های فازی-عصبی ANFIS پرداخته شود. بدین صورت می توان از روابط به دست آمده از مدل استفاده نمود و به محاسبه ی ضریب گذردهی جریان از روی داده های ورودی جدید پرداخت. برای ساخت سیستم استنتاج فازی و سپس محاسبه ی ضریب گذردهی جریان بر پایه ی الگوهای ورودی-خروجی در دسترس مجموعاً ۹۶ زوج داده مورد استفاده قرار گرفت که ۸۰ درصد آن برای آموزش مدل ANFIS و ۲۰ درصد آن برای ارزیابی مدل به کار رفت. قوانین فازی با استفاده از روش خوشه بندی کاشی ساخته شد.

نتایج به دست آمده از مدل ها. به منظور ارزیابی

عملکرد مدل های پیش بینی ساخته شده در این تحقیق، از سه شاخص آماری زیر استفاده شده است:

۱- ضریب هم بستگی CORR (Correlation Coefficient) مطابق با رابطه ی (۶).

$$CORR = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i^o - \bar{x}^o)(x_i^p - \bar{x}^p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^o - \bar{x}^o)^2 \sum_{i=1}^n (x_i^p - \bar{x}^p)^2}} \quad (6)$$

۲- ریشه ی میانگین مربع های خطا RMSE (Root Mean Square Error) مطابق با رابطه ی (۷).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^o - x_i^p)}{n}} \quad (7)$$

۳- میانگین قدر مطلق خطا (Mean Absolute Error) MAE مطابق با رابطه (۸)،

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i^o - x_i^p|}{n} \quad (8)$$

که در روابط فوق، پارامتر مشاهده شده، پارامتر تخمین زده شده و n تعداد داده هاست. شاخص CORR نمایانگر میزان رابطه بین داده های مشاهده شده و

معرفی متغیرها و پارامترهای بهینه سازی

داده‌های ورودی شامل حداکثر مجموع ارتفاع تاج سرریز و ارتفاع آب روی تاج آب در مخزن $(P + H_t)$ ، دبی طرح (Q_{design}) ، ارتفاع آزاد (F_b) ، ضخامت دیوار سرریز (T_w) ، ضخامت دال سرریز (T_s) .

در این تحقیق از یک کروموزوم پنج ژنی استفاده گردیده است. ژن‌های این کروموزوم به ترتیب، ارتفاع تاج سرریز (P) ، ارتفاع کل آب روی تاج سرریز (H_t) ، تعداد سیکل سرریز (N) ، درصد طول دماغه و زاویه دیواره‌ی سرریز در امتداد جریان (α) می‌باشند. کلیه‌ی متغیرها از نوع پیوسته‌اند، به جز تعداد سیکل‌های سرریز که از نوع متغیر گسسته محسوب می‌شوند.

تابع هدف در این تحقیق تابعی است که نتیجه‌ی جمع زدن پارامترهای حجمی در هزینه‌ی ساخت سرریز کنگره‌ای توأم با ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب با افزایش گذردهی جریان می‌باشد.

$$\text{minimize} \rightarrow f(x) = NLPT_w + (P + H_t + F_b) \times (B + H_t) \times 2T_w + (B + 2H_t) \times w_c \times T_s$$

اولین و مهم‌ترین قید، ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب سرریز یا ارضای شرط هیدرولیکی می‌باشد. سایر قیود بر اساس پارامترهای مؤثر ارائه گردیده‌اند.

$$Q_l = \frac{2}{3} C_d L e \sqrt{2gH_t}^{1.5} Q_{design} \quad (1)$$

$$\frac{H_t}{P} < 0.9 \quad (2)$$

$$\frac{w}{p} > 2. \quad (3)$$

$$\frac{l}{w} < 9.5 \quad (4)$$

$$\frac{L_{de}}{L_1} = \frac{H}{L_1} \times 6.1 \times e^{-0.052\alpha} \leq 0.3 \quad (5)$$

دلیل هزینه‌های زیاد مدل‌های آزمایشگاهی و همچنین وقت گیر بودن آن معمولاً محدودند، اما می‌توان با استفاده از روش ارائه‌شده در این تحقیق، الگوی موجود بین متغیرهای مختلف ورودی و خروجی را تشخیص داد و با صرف کم‌ترین هزینه و زمان نسبت به ارائه‌ی نتایج برای بازه‌ی تغییرات پارامترهای دخیل با دقت مناسب اقدام نمود.

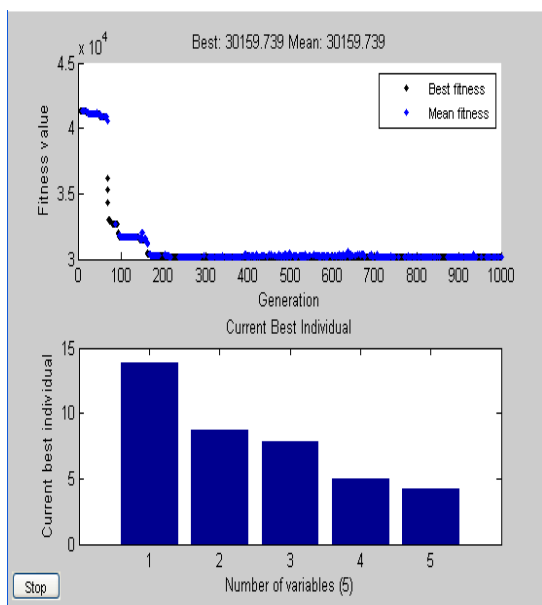
روابط بین پارامترهای سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای

با توجه به شکل (۱) روابط موجود بین پارامترهای سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای جهت بهینه‌یابی در زیر توضیح داده شده است. عرض هر یک از سیکل‌ها: $w = \frac{W_c}{N}$ ، زاویه‌ی دیواره‌ی هادی: $\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{W-2A}{2B} \right)$ ، طول دماغه (A) : $A = x\% \frac{W}{2\sin\alpha}$ می‌باشند. در این تحقیق طول دماغه به صورت درصدی از طول کل سرریز کنگره‌ای مثلثی با طول دماغه‌ی صفر در نظر گرفته شده است. طول خارجی دماغه (D) : $D = A + 2T_w \cdot \tan \left(45 - \frac{\alpha}{2} \right)$ ، طول ساخته‌شده‌ی یک زانو از تاج سرریز (L_1) : $L_1 = \frac{W-A-D}{2\sin\alpha}$ ، طول مؤثر یک زانو از تاج سرریز (L_2) : $L_2 = L_1 - (L_2)$ ، طول کل دیواره‌ها (L) : $L = N \cdot (2L_1 + D + A)$ ، عرض سرریز به موازات جریان ورودی (B) : $B = L_1 \cdot \cos\alpha + T_w$ می‌باشند. طول مؤثر کل: $L_e = 2N(L_2 + A)$ و ارتفاع آب روی سرریز H می‌باشد.

محاسبات احجام برای تخمین مصالح و هزینه‌ها

در محاسبه مجموع عملیات زیر در نظر گرفته شد. دیواره‌های سرریز: $V_w = N \cdot L \cdot P \cdot T_w$ ، دیواره‌های انتها: $V_e = (P + H_t + F_b) \cdot (B + H_t) \cdot 2 \cdot T_w$ ، دال: $V_s = (B + 2H_t) \cdot w_c \cdot T_s$ می‌باشند.

دارد. پارامترهای هندسی طرح پیشنهادی و طرح موجود به شرح جدول (۲) می‌باشد. هم‌چنین شکل (۴) نتایج به‌ترین مقادیر تابع صلاحیت در هر نسل را نشان می‌دهد.



شکل ۴ بهترین مقادیر تابع صلاحیت در هر نسل [۱۱]

جدول ۲ مقایسه‌ی طرح فعلی با طرح پیشنهادی [۱۱].

طرح بهینه	طرح موجود	پارامتر
۷/۸۵	۹/۱	ارتفاع سرریز (p)
۵	۵/۷۹	ارتفاع کل آب روی سرریز (Ht)
۳۰	۱۸/۳	عرض تک سیکل (w)
۲/۶۴	۱/۵	طول دماغه (A)
۸/۵	۱۴	تعداد سیکل‌های سرریز (N)
۳/۵۶	۴	نسبت بزرگنمایی ($\frac{L}{w}$)
۴۷/۶	۳۸/۸۳	عرض سرریز در امتداد جریان (B)
۸۷۲/۷۶	۱۰۳۱/۸	طول کل تاج (L)

نتیجه‌گیری

مدل تئوری ارائه‌شده در این تحقیق، مدل بهینه‌سازی هندسه‌ی سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای با تابع هدف

مطالعه موردی سد Ute در آمریکا

سد Ute یک سد خاکی به ارتفاع ۳۷ متری باشد. ساخت سد در سال ۱۹۶۳ به اتمام رسید. این سد بر روی رودخانه Canadian در نیو مکزیکوی مرکزی احداث گردیده است. سرریز اولیه‌ی این سد یک سرریز روگذر اوجی با طول ۲۵۶ متر بود و به گونه‌ای طراحی شده بود که بتوان به‌منظور افزایش مخزن از سیستم کنترل دریچه‌ای در آن استفاده نمود. پس از چند سال مسئولین امر از USBR خواستند تا راه‌حل‌هایی را به‌منظور اصلاح سیستم موجود ارائه دهند. ارزیابی طرح‌ها نشان داد که هزینه‌ی نصب سیستم کنترل دریچه‌ای بالغ بر ۳۴ میلیون دلار خواهد شد. پس از بررسی چند راه‌حل دیگر استفاده از سرریز کنگره‌ای با هزینه‌ی ۱ میلیون دلار با صرفه‌ترین راه‌حل تشخیص داده شد. بدین لحاظ یک سرریز کنگره‌ای برای همان عرض کل ۲۵۶ متر به تعداد ۱۴ سیکل و طول معادل ۱۰۲۴ متر ساخته شد. این سرریز که در سال ۱۹۸۳ تکمیل شد می‌تواند تحت بار هیدرولیکی ۵/۷۹ متر، سیلابی معادل ۱۵۵۷۵ متر مکعب در ثانیه را از خود عبور دهد.

نتایج به‌دست‌آمده از مدل بهینه‌سازی

در این تحقیق همان‌طور که ذکر شد از مدل فازی عصبی برای آموزش داده‌ها و الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌کردن هندسه‌ی سرریز کنگره‌ای برای کاهش هزینه‌ی ساخت و ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج به‌دست‌آمده از اجرای برنامه طرز مناسبی نشان می‌دهد که طرح بهینه جای‌گزین مناسبی برای طرح کنونی می‌باشد. این در حالی است که طرح پیشنهادی ظرفیت عبوری مورد نظر را داشته و در عین حال در حدود ۱۳/۳۴٪ صرفه‌جویی در هزینه‌هایی اجرایی را نیز در بر

خروجی مدل ANFIS و الگوریتم ژنتیک با تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها (حجم بتن سرریز) و ارضای شرایط هیدرولیکی و محدود بودن پارامترهای مؤثر به بهینه‌سازی هندسه‌ی سرریز پرداخته شد. انتخاب روش جهش و تقاطع و همچنین فرمولاسیون مسأله منجر به همگرا شدن نتایج شده است که این مسأله دلیلی بر صحت روش‌ها و مدل ذکر شده می‌باشد. مقایسه‌ی نتایج حاصل از این روش با مقادیر موجود از وزن بتن به کار رفته در وضعیت فعلی تا ۱۳/۳۴٪ کاهش هزینه‌ها را نشان می‌دهد که این مسأله بیانگر نتایج بسیار مناسب این روش می‌باشد.

کمینه‌سازی هزینه‌ها (حجم بتن سرریز) و ارضای شرایط هیدرولیکی و محدود بودن پارامترهای مؤثر می‌باشد. در این تحقیق ابتدا با مدل فازی-عصبی (ANFIS) در تخمین ضریب گذردهی جریان سرریز پرداخته شد. اگرچه داده‌های در دسترس به دلیل هزینه‌های زیاد مدل‌های آزمایشگاهی و همچنین وقت گیر بودن آن معمولاً محدودند، اما می‌توان با استفاده از روش ارائه‌شده در این تحقیق، الگوریتم موجود بین متغیرهای مختلف ورودی و خروجی را تشخیص داد و با صرف کم‌ترین هزینه و زمان نسبت به ارائه‌ی نتایج برای بازه‌ی تغییرات پارامترهای دخیل با دقت مناسب اقدام نمود. در انتها با استفاده از

مراجع

1. Falvey, H., "Hydraulic Design of Labyrinth Weirs," ASCE Press Pub., Virginia, USA, (2003).
2. Tullis, J. P., Nosratollah, A. and Waldron, D., "Design of labyrinth spillways", *J. Hydraul. Eng.*, 121_3_, 247-255, (1995).
3. بارانی، غ.، ناصری، س.، «بهینه‌سازی سرریزهای کنگره‌ای با استفاده از مدل‌های فیزیکی»، چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شیراز، (۱۳۸۲).
4. Taylor, G., "The performance of labyrinth weirs", PhD thesis, Univ. of Nottingham, U.K. (1968).
5. Lux III, F.L. and Hinchcliff, D., "Design and Costruction of Labyrinth Spilways", *Proc. 15th International Congress on Large Dam*, Vol. 4, Q. 59, R, PP.249-274, International commission on Large Dams, Paris, France, (1985).
6. Jang, J.-S.R., "ANFIS: adaptive network based fuzzy inference system", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 23 (3), 665-683, (1993).
7. انوری ص.، «ارتقای مدل‌های هوشمند جهت پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از داده‌های توزیع مکانی اقلیمی و سطح برف»، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، (۱۳۸۷).
8. Nayak, P., Sudheer, K., Rangan, D. and Ramasa, K., "A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series", *Journal of Hydrology*, Vol. 291, pp. 52-66, (2004).
9. Chang, F. -J., Chang, Y. -T., "Adaptive neuro-fuzzy inference system for prediction of water level in reservoir", *Advances in Water Resources*, Vol. 29, pp. 1-10, (2006).
10. حسین‌پور نیکنام، ح.، «استفاده از مدل فازی-عصبی و شاخص‌های اقلیمی برای پیش‌بینی خشکسالی مطالعه موردی زاهدان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران آب، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، (۱۳۸۸).

۱۱. جعفری ندوشن، ا.، «بررسی ضریب گذردهی سرریزهای کنگره‌ای به روش CFD و بهینه‌سازی هندسه سرریز با استفاده از مدل فازی-عصبی و الگوریتم ژنتیک»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران سازه های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، (۱۳۸۹).

12. Goldberg, D.E., "Genetic Algorithm for Search", *Optimization and Machine Learning*, Reading, MA; Addison-Wesley, (1989).

۱۳. ملاپهرامی ا.، محمودی م.، «مقدمه‌ای بر الگوریتم‌های ژنتیک»، چاپ اول، آراسته، قم، (۱۳۸۴)

Archive of SID