

بهینه یابی هندسه سرریز کنگره‌ای مثلثی با استفاده از مدل فازی - عصبی و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی سد Hyrum در ایالت یوتای آمریکا)

مهدی اژدری مقدم^۱، نصرت اله امانیان^۲، احسان جعفری ندوشن^{۳*}

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: مرداد ۱۳۸۸ پذیرش مقاله: آذر ۱۳۸۸	سرریزهای کنگره‌ای بعنوان گزینه‌ای مناسب برای اصلاح سرریزهایی که برای عبور دبی حداکثر محتمل با مشکل روبرو هستند مطرح می‌شوند. این سرریزها دارای تاج غیر خطی بوده و در یک عرض معین، نسبت به سرریزهای با تاج مستقیم در یک ارتفاع مشابه، دبی عبوری از این سرریزها بیشتر از سرریز مستقیم خواهد بود. سرریزهای کنگره‌ای به دلیل زیاد بودن دبی عبوری از روی آنها تحت بارهای هیدرولیکی کم و نیاز به جا و مکان کمتر در پلان نسبت به انواع دیگر سرریزها، سازه‌هایی اقتصادی محسوب می‌شوند. بنابراین استفاده از بهینه ترین شکل هندسی که بیشترین گذردهی جریان را تحت شرایط خاص هیدرولیکی به همراه کاهش هزینه ساخت را داشته باشد امری ضروری است. به این منظور در این تحقیق از قابلیت سیستم استنتاج فازی و الگوریتم ژنتیک جهت بهینه کردن هندسه سرریز و ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب استفاده گردید. برای ساخت سیستم استنتاج فازی و سپس محاسبه ضریب گذردهی جریان بر پایه الگوهای ورودی - خروجی در دسترس، از مدل سیستم استنتاج فازی - عصبی ANFIS استفاده گردید. در این بخش در مدل ANFIS به آموزش داده های ورودی زاویه دیواره سرریز نسبت به امتداد جریان (α) و نسبت ارتفاع کل آب روی سرریز به ارتفاع سرریز ($\frac{H_t}{p}$) و خروجی ضریب گذردهی جریان Cd با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی پرداخته شد. در نهایت با بکارگیری الگوریتم ژنتیک و با استفاده از خروجی مدل ANFIS به بهینه‌یابی هندسه سرریز با تعریف تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌های (حجم بتن‌ریزی) سرریز با ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب پرداخته شد.

واژگان کلیدی:

سرریز کنگره‌ای مثلثی
بهینه یابی هندسه سرریز
مدل فازی - عصبی
الگوریتم ژنتیک

۱- مقدمه
به صورت غیر مستقیم بوده. و در نمایش سطح افقی، سرریز از دیواره‌های متصل به هم تشکیل شده و با هندسه 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 به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالا دست سرریز بوده است. سابقه ساخت سرریزهای کنگره‌ای به قبل از سال ۱۹۲۰ می‌رسد [۱]، لیکن تا قبل از سال ۱۹۶۸

سرریزهای کنگره‌ای از جمله سازه‌های هیدرولیکی جهت تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها به شمار می‌آیند. محور تاج این نوع سرریزها

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: ehsan_jafari64@yahoo.com

۱. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲. استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه یزد

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

داراست می‌باشد. به همین منظور از مدل سیستم استنتاج فازی - عصبی ANFIS و الگوریتم ژنتیک برای بهینه یابی استفاده گردیده است. برای ساخت سیستم استنتاج فازی و سپس محاسبه ضریب گذردهی جریان بر پایه الگوی ورودی و خروجی در دسترس می‌توان از مدل ANFIS بهره جست. برای این منظور مجموعاً ۳۴ زوج داده استفاده گردید. که ۸۰ درصد داده ها برای آموزش مدل ANFIS و ۲۰ درصد داده ها برای ارزیابی مدل بکار گرفته شده است. در قسمت ANFIS سعی شده است تا با استفاده از داده‌های موجود شامل دو متغیر ورودی زاویه دیوار سرریز نسبت به امتداد جریان و نسبت ارتفاع کل آب روی سرریز به ارتفاع سرریز ($\frac{H_t}{p}$) و متغیر خروجی ضریب گذردهی جریان (C_d) به ساخت مدل فازی عصبی ANFIS پرداخته شود. بدین صورت می‌توان با استفاده از مدل ساخته شده به محاسبه ضریب گذردهی جریان از روی داده‌های ورودی جدید پرداخت. با بکار گیری الگوریتم ژنتیک و تعریف تابع هدف کمینه سازی هزینه (حجم بتن ریزی) سرریز با ارضای شرایط هیدرولیکی دلخواه و مناسب به بهینه یابی هندسه سرریز پرداخته شد.

۲- بررسی پارامترهای سرریز کنگره‌ای

ظرفیت یک سرریز کنگره‌ای، تابعی از ارتفاع کل، طول سرریز و ضریب تخلیه سرریز می‌باشد. ضریب تخلیه سرریز نیز به ارتفاع کل آب (H_t) که برابر با مجموع ارتفاع آب روی سرریز (H) و ارتفاع سرعت ($\frac{V^2}{2g}$) می‌باشد، ارتفاع سرریز (P)، ضخامت سرریز (T_w)، شکل تاج و زاویه دیواره سرریز نسبت به امتداد جریان (α) بستگی دارد. رابطه محاسبه دبی در سرریزهای کنگره‌ای بصورت زیر می‌باشد [۵].

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

مطالعات اندکی به منظور بررسی و شناخت رفتار هیدرولیکی این نوع سرریزها انجام شده است. اکثر تحقیقات صورت گرفته بر روی سرریزهای کنگره‌ای مثلثی و ذوزنقه‌ای شکل در پلان می‌باشند. اولین مطالعه بر روی سرریزهای کنگره‌ای بوسیله تیلور در سال ۱۹۶۸ انجام گرفت [۲]. هی و تیلور در سال ۱۹۷۰ روشی برای محاسبه دبی و طراحی این نوع سرریزها ارائه نمودند [۲]. در ادامه مطالعات آنها، روش دیگری بوسیله دارواس در سال ۱۹۷۱ برای طراحی این سرریزها ارائه گردید. پس از سال ۱۹۸۰ مؤسسات تحقیقاتی و فنی دیگر مانند دانشگاه جورجیا، اداره 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 [۳، ۴ و ۵]. مهم‌ترین امتیازات توسعه کاربرد سرریزهای کنگره‌ای در رودخانه‌ها و مخازن سدها عبارتند از:

۱- محدودیت عرضی مقطع احداث سرریز جهت انتقال سیلاب حداکثر طراحی در مخازن سدها و نیز در شرایط رودخانه‌های نیمه کوهستانی و یا رودخانه‌های سیلاب دشتی با مقطع مرکب؛

۲- محدودیت ارتفاع سطح آب در بازه بالا دست سرریز و خطر آبرفتگی اراضی بالا دست بخصوص در رودخانه 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 اقتصادی و سهولت مدیریت بهره برداری در مقایسه با گزینه سرریزخطی با کنترل دریچه‌ای [۱ و ۲].

با توجه به مزایای ذکر شده در مورد سرریزهای کنگره‌ای هدف این تحقیق بهینه کردن هندسه سرریز که بیشترین دبی عبوری را با توجه به شرایط ذکر شده در تحقیق را

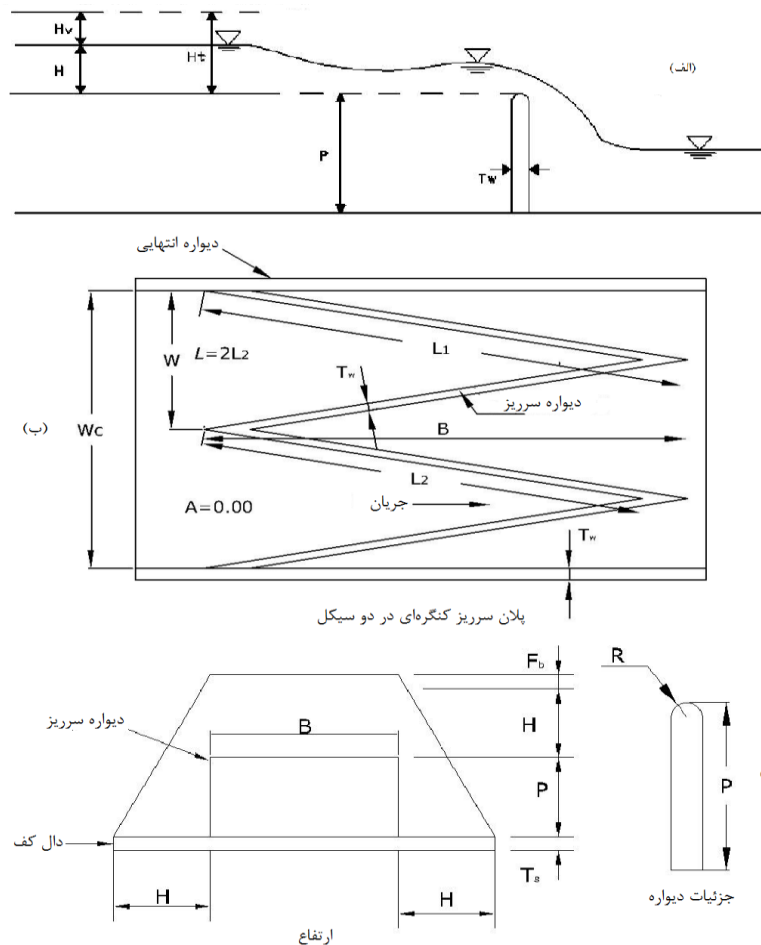
از مزایای این سرریزها در مقایسه با سایر سرریزهای استاندارد می‌توان به عبور مقدار جریان زیاد با تغییرات ناچیز ارتفاع آب عبوری از روی سرریز، امکان افزایش طول مؤثر هیدرولیکی سرریز برای عرض محدود جریان، فراهم کردن حداقل نوسان جریان از دهانه آبگیر کانال و عدم وقوع استغراق تا ارتفاع آب خیلی زیاد اشاره نمود. شکل ۱ نمای شماتیک از پروفیل جریان عبوری از روی سرریز کنگره ای مثلثی در مقطع و پلان نمایش می‌دهد که در این اشکال:

که در آن C_d ضریب تخلیه، Q (m^3/s) دبی، H_t (m) ارتفاع کل آب، و L_e (m) طول مؤثر می‌باشند. بطور کلی می‌توان رابطه زیر را جهت نمایش پارامترهای دخیل در تعیین ضریب گذردهی استفاده نمود:

$$C_d = f(H_t, P, T_w, L_e, W, \text{شکل تاج سرریز}) \quad (۲)$$

که با استفاده از آنالیز ابعادی می‌توان رابطه (۳) را نشان داد.

$$C_d = f\left(\frac{H_t}{P}, \frac{T_w}{P}, L_e, \text{شکل تاج سرریز}\right) \quad (۳)$$



شکل ۱- الف) نمایش پروفیل جریان عبوری از روی سرریز کنگره ای. ب) پلان سرریز کنگره ای مثلثی ای. ج) مقطع سرریز کنگره ای

مثلی

طول واقعی دیواره سرریز (L_1) ^۱	طول مؤثر دیواره سرریز (L_2) ^۲
ضخامت سرریز (T_w)	طول سرریز (B) ^۳
عرض کل سرریز (WC)	طول سرریز در یک سیکل (L)
عرض هر سیکل سرریز (W)	تعداد سیکل‌ها (N) ^۴

¹ Actual Length of Side Leg

² Effective Length of Side Leg

³ Length of Labyrinth

⁴ Number of cycles

۳- پارامترهای لازم جهت طراحی و بهینه سازی

۳-۱- نسبت هد آبی^۱

نسبت هد آبی برابر حاصل تقسیم هد ارتفاع انرژی به ارتفاع سرریز ($\frac{H_t}{P}$) می‌باشد. به دلیل اینکه ضریب تخلیه با افزایش انرژی کل کاهش می‌یابد لذا بالاترین کارایی سرریز های فوق در ارتفاع های کم می‌باشد. حداکثر نسبت ارتفاع آبی کل بیشتر در مدل های آزمایشگاهی ارزیابی می‌شود. حداکثر نسبت هد آبی برای آزمایشات تویس و امانیان معادل $\frac{H_t}{P} < 0.9$ در نظر گرفته می‌شود [۵].

۳-۲- نسبت ظاهری عمودی^۲

نسبت ظاهری عمودی برابر حاصل تقسیم عرض هریک از سیکل های سرریز به ارتفاع سرریز ($\frac{W}{P}$) می‌باشد. تیلور بمنظور کاهش اثرات تلاقی جت های آب نسبت ظاهری عمودی را بزرگتر از ۲ پیشنهاد کرد [۴]. برای اهداف طراحی مقادیر حداقل ۲/۵ و ۲ به ترتیب برای پلان های ذوزنقه‌ای و مثلثی توسط لوکس پیشنهاد گردید [۴].

۳-۳- نسبت بزرگنمایی^۳

نسبت بزرگنمایی بصورت حاصل تقسیم طول تاج سرریز کنگره‌ای در یک سیکل به عرض هر سیکل سرریز ($\frac{L}{W}$) می‌باشد. در آزمایشات انجام شده تویس و امانیان حداقل زاویه دیواره سرریز نسبت به امتداد جریان شش درجه می‌باشد. که معادل نسبت بزرگنمایی حدودا ۹/۵ می‌باشد. کارایی سرریز کنگره‌ای هنگامی که نسبت بزرگنمایی از ۱۰ تجاوز می‌کند. به شدت کاهش می‌یابد. برای نسبت بزرگنمایی کمتر از ۲ نیز بایستی تمهیداتی را جهت عریض کردن ورودی با استفاده از تاج اوجی شکل در

پلان بجای استفاده از سرریز کنگره‌ای در نظر گرفت [۴ و ۵].

۳-۴- زاویه دیوار هادی^۴

در یک سرریز گنکره ای مثلثی و ذوزنقه ای زاویه دیواره‌های هادی نسبت به امتداد جریان (α) به ترتیب در رابطه (۴) و (۵) نشان داده شده است. A طول دماغه می‌باشد که در سرریز کنگره‌ای مثلثی برابر صفر در نظر گرفته شده است.

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{w}{2L_2} \right) \quad (4)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{w - 2A}{2L_2} \right) \quad (5)$$

۳-۵- شکل تاج^۵

در این تحقیق با توجه به مطالعات انجام شده توسط امانیان (۱۹۹۵) بهترین شکل تاج که بیشترین گذردهی را دارد تاج نیم دایره‌ای استفاده شده است [۵].

۳-۶- نسبت دماغه^۶

کاهش نسبت $\frac{A}{W}$ کارایی سرریز افزایش می‌یابد و حالت بهینه هنگامی است که شکل پلان سرریز مثلثی باشد. از طرف دیگر تداخل لایه‌های سرریز شونده تاثیر منفی بیشتری روی عملکرد سرریزهای با پلان مثلثی نسبت به سرریزهای با پلان ذوزنقه‌ای دارد. تویس و امانیان رابطه $T_w < A < 2T_w$ را برای سرریز کنگره‌ای مثلثی پیشنهاد کردند [۲].

۳-۷- نسبت طول آشفتگی (تداخلی)

نسبت طول آشفتگی به طول دیواره هادی اهمیت بسیار مهمی را جهت محدود کردن اثرات تداخل جت ها ایفا

⁴ Sidewall Angle

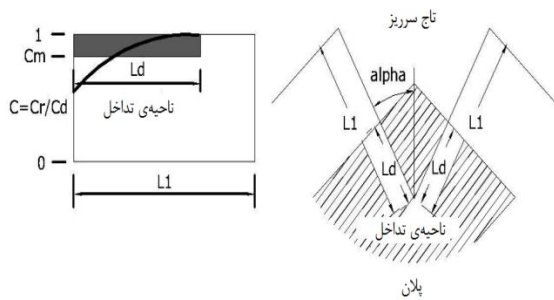
⁵ Crest Shape

⁶ Apex Ratio

¹ Headwater Ratio

² Vertical Aspect Ratio/Sidewall Angle

³ Magnification Ratio



شکل ۲- ناحیه تداخل جریان در پلان سرریز کنگره ای

۴- سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی (ANFIS)

مدل‌های فازی- عصبی که در سال ۱۹۹۳ توسط جنگ^۲ گسترش یافت، منطق فازی را با شبکه‌های عصبی- مصنوعی (Artificial Neural Networks) ANN، جهت تسهیل فرآیند یادگیری و انطباق ترکیب می‌نماید [۶]. بدین صورت که مشکل اصلی در طراحی سیستم‌های فازی که همان بدست آوردن قواعد "اگر-آنگاه" فازی است را بوسیله استفاده مؤثر از قابلیت یادگیری ANN جهت تولید خودکار این قواعد و بهینه‌سازی پارامترها مرتفع می‌کند. مدل ANFIS از جمله مدل‌های فازی- عصبی است [۷].

۴-۱- معماری مدل ANFIS

نکته اصلی در طراحی مدل ANFIS، انتخاب سیستم استنتاج فازی (Fuzzy Inference System) FIS است. برای سادگی کار، فرض می‌شود که FIS مورد بررسی از دو ورودی x و y و یک خروجی f تشکیل شده و همچنین پایگاه قانون در آن شامل دو قانون "اگر-آنگاه" از نوع تاکاگی-سوگنو باشد، همانند شکل ۳(a). قوانین موجود در این سیستم عبارتند از:

قانون اول: اگر x مساوی $A1$ و y مساوی $B1$ باشد، آنگاه طبق رابطه (۱۰)،

می‌کند. ایندوکوفر و رو^۱ (۱۹۷۵) با انجام آزمایشات به این نتیجه رسیدند که زاویه تداخل یا ناحیه آشفستگی تابعی از ارتفاع آب روی سرریز (H)، ارتفاع سرریز (P)، و زاویه دیواره هادی نسبت به امتداد جریان (α) می‌باشد. طول تداخل تابعی از طول سرریز L_1 و زاویه دیواره هادی است. بنابراین طول تداخل را می‌توان بصورت رابطه (۶) بیان کرد. در شکل ۲. ناحیه تداخل جریان را نشان داده شده است.

$$L_d = f(H, p, \alpha) = f\left(\frac{H}{p}, \alpha\right) \quad (6)$$

ایندوکوفر و رو به این نتیجه رسیدند که طول آشفستگی به صورت خطی با افزایش ارتفاع آب روی سرریز افزایش می‌یابد. بنابراین آنها ضریب آشفستگی را بصورت رابطه (۷) تعریف کردند

$$C(l) = \frac{C_r}{C_d} \quad (7)$$

در رابطه (۷)، C_r ضریب تخلیه کاهش یافته برای سرریز به علت تداخل و C_d ضریب تخلیه سرریز مستقیم بدون تداخل می‌باشد. در شکل (۳) آشفستگی $C_d(l)$ در طول تاج و مقدار متوسط ضریب تخلیه کاهش یافته C_m نشان داده شده است. ایندوکوفر و رو دو نوع طول برای آشفستگی تعریف کردند. یکی طول آشفستگی (L_d) و دومی طول مؤثر آشفستگی (L_{de}) که رابطه بین این دو طول در رابطه (۸) نشان داده شده است [۶].

$$L_{de} = (1 - C_m) \cdot L_d$$

$$L_{de} = L_1 - \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot C_d \sqrt{2gH^{1.5}}} \quad (8)$$

بر اساس مدل‌های مطالعاتی سرریز کنگره ای به کار گرفته توسط ایندوکوفر و رو نسبت طول آشفستگی مؤثر به طول دیواره های هادی بایستی کوچکتر یا مساوی 0.3 باشد. بیان دیگر مطلب اخیر بصورت رابطه (۹) ارائه شده است [۶].

$$\frac{L_{de}}{L_1} = \frac{H}{L_1} \times 6.1 \times e^{-0.052\alpha} \leq 0.3 \quad (9)$$

² - Jang

¹ - Indlekofer & Rouve

لایه ۲، سیگنال‌های ورودی به گره‌های دایره‌ای، در هم ضرب می‌شوند - که با علامت Π مشخص شده است - و خروجی OP_1^2 که نشان دهنده قدرت عملکرد یا وزن یک قانون است، مطابق رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$OP_1^2 = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), \quad i = 1,2 \quad (15)$$

در لایه ۳، گره i ام این لایه، که با N مشخص شده است، قدرت عملکرد نرمال شده را مطابق رابطه (۱۶) محاسبه می‌کند.

$$OP_1^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1,2 \quad (16)$$

در لایه ۴، گره i ام در این لایه، وزن قانون i ام را به سمت خروجی مدل با استفاده از رابطه (۱۷) محاسبه می‌کند.

$$OP_1^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (17)$$

که در آن \bar{w}_i ، خروجی لایه سوم و $\{p_i, q_i, r_i\}$ مجموعه پارامترهای خروجی هستند.

در لایه ۵، تنها گره موجود در این لایه، خروجی نهایی ANFIS را مطابق رابطه (۱۸) محاسبه می‌کند.

$$OP_1^5 = \text{Overall Output} = \frac{\sum_i \bar{w}_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (18)$$

این شبکه بر اساس یادگیری نظارت شده آموزش داده می‌شود. بنابراین هدف ما دادن آموزش به شبکه تطبیقی است تا بتواند توابع غیر معین داده شده توسط داده‌های آموزش را تخمین زده 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 بکار می‌گیرد تا پارامترها را بهینه نماید. روش کاهش شیب برای تنظیم پارامترهای غیرخطی بخش فرض $(\{\sigma_i, c_i\})$ و روش حداقل مربعات برای تعیین پارامترهای خطی بخش نتیجه $(\{p_i, q_i, r_i\})$ بکار می‌روند [۱۰].

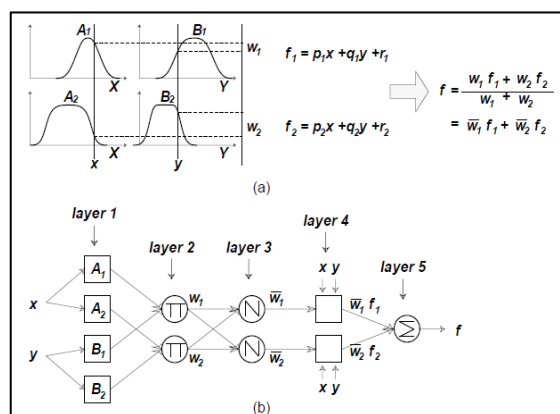
نوع سیستم استنتاج فازی بکار رفته در این تحقیق همانطور که قبلاً نیز ذکر شد، سیستم سوگنو با توابع عضویت گوسین می‌باشد. برای آموزش مدل از الگوریتم آموزش ترکیبی با تعداد تکرار epoch=30 استفاده گردید.

$$f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1 \quad (10)$$

قانون دوم: اگر x مساوی A_2 و y مساوی B_2 باشد، آنگاه طبق رابطه (۱۱)،

$$f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2 \quad (11)$$

که در روابط فوق A_1, A_2, B_1 و B_2 به ترتیب توابع عضویت برای ورودی‌های x و y بوده و $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2$ پارامترهای تابع خروجی هستند.



شکل ۳- (a) سیستم استنتاج فازی سوگنو با دو ورودی، دو قانون و یک خروجی؛ (b) معماری مدل ANFIS معادل سیستم استنتاجی سوگنوی بخش a [۶].

معماری ANFIS معادل نیز در شکل ۳ (b) ارائه شده است. کارکرد مدل ANFIS مورد بحث، به شرح ذیل است [۷ و ۸]. در لایه ۱، درجه عضویت هر متغیر ورودی توسط گره‌های مربعی مشخص شده و خروجی OP_1^1 توسط روابط (۱۲) و (۱۳) تعریف می‌گردد.

$$OP_1^1 = \mu_{A_i}(x) \quad \text{for } i = 1,2 \quad (12)$$

$$OP_1^1 = \mu_{B_{i-2}}(y) \quad \text{for } i = 3,4 \quad (13)$$

در روابط بالا x (یا y) ورودی به گره و A_i (یا B_{i-2}) مجموعه فازی مرتبط با این گره بوده که بوسیله شکل توابع عضویت آن مشخص می‌شود. با فرض تابع گوسین به عنوان تابع عضویت، خروجی OP_1^1 مطابق رابطه (۱۴) قابل محاسبه است.

$$OP_1^1 = \mu_{A_i}(x) = e^{-\frac{(x-c_i)^2}{2\sigma_i^2}} \quad (14)$$

در رابطه فوق، $\{\sigma_i, c_i\}$ مجموعه پارامترهایی هستند که شکل تابع عضویت را در بازه‌ی [۰ و ۱] تغییر می‌دهند. در

۴-۲- داده‌های مورد استفاده

با توجه به توضیحات داده شده، در این تحقیق از داده‌های آزمایشگاهی ارائه شده توسط تولیس و امانیان (۱۹۹۵) برای ساخت مدل استفاده گردید. سرریزهای مورد مطالعه در تحقیق مذکور به شکل کنگره‌ای مثلثی با تاج نیم دایره‌ای به شعاع $\frac{P}{12}$ و ضخامت $\frac{P}{6}$ بوده و برای عرض ثابت w و تعداد سیکل‌های $1/5$ و همچنین مقادیر α با تغییرات ۴۹، ۳۲، ۲۱، ۱۶، $10/5$ ساخته شده‌اند که α عبارتست از زاویه دیواره‌های سرریز. آنها با گذراندن دبی‌های مختلف از روی هرکدام از این سرریزها و با به دست آوردن H_t ، نمودارهایی بر حسب $\frac{H_t}{P}$ و C_d برای مقادیر مختلف α ترسیم نمودند. سپس از این نمودارها برای طراحی سرریز کنگره‌ای استفاده نمودند. مشخصات سرریز آزمایشگاهی مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. در تحقیق حاضر سعی شده است تا با استفاده از داده‌های موجود شامل دو متغیر ورودی، زاویه دیواره سرریز نسبت به امتداد جریان (α) و نسبت ارتفاع کل آب به ارتفاع سرریز ($\frac{H_t}{P}$) و متغیر خروجی ضریب گذردهی جریان (C_d) به ساخت مدل‌های فازی-عصبی ANFIS پرداخته شود. بدین صورت می‌توان از روابط بدست آمده از مدل استفاده نموده و به محاسبه ضریب گذردهی جریان از روی داده‌های ورودی جدید پرداخت.

جدول ۱- مشخصات مدل سرریز کنگره‌ای مثلثی به کار رفته

جهت مدل سازی ANFIS

نسبت عرض به ارتفاع سرریز	نسبت طول به عرض سرریز	ارتفاع سرریز (m)	عرض سرریز (m)	طول سرریز (m)	زاویه	تعداد سیکل
۶/۰۴	۵/۵	۰/۱۵۲	۰/۹۲	۵/۰۵	۱۰/۵	۱/۵
۶/۰۴	۵/۵	۰/۱۵۲	۰/۹۲	۳/۱۸	۱۶	۱/۵
۶/۰۴	۵/۵	۰/۱۵۲	۰/۹۲	۲/۵۶۲	۲۱	۱/۵
۶/۰۴	۵/۵	۰/۱۵۲	۰/۹۲	۱/۷۳۶	۳۲	۱/۵
۶/۰۴	۵/۵	۰/۱۵۲	۰/۹۲	۱/۲۲	۴۹	۱/۵

۴-۳- ساختار مدل‌ها

برای ساخت سیستم استنتاج فازی و سپس محاسبه ضریب گذردهی جریان بر پایه الگوهای ورودی-خروجی در دسترس، از مدل ANFIS استفاده گردید. برای این منظور مجموعاً ۳۴ زوج داده مورد استفاده قرار گرفت که ۸۰ درصد آن برای آموزش مدل ANFIS و ۲۰ درصد آن برای ارزیابی مدل بکار رفت. قوانین فازی با استفاده از روش خوشه بندی کاهشی ساخته شد. آنالیز خوشه‌بندی، تکنیکی است برای دسته‌بندی داده‌ها که طی آن مجموعه داده‌ها براساس شباهتشان، به مجموعه‌ای از خوشه‌ها (کلاس‌ها) تبدیل می‌شوند. در انجام خوشه‌بندی این نکته باید مدنظر قرار بگیرد که داده‌های موجود در یک خوشه، حداکثر شباهت را نسبت به هم و حداکثر تفاوت را با داده‌های خوشه‌های دیگر داشته باشند. برای استخراج قوانین سیستم فازی-عصبی با استفاده از روش خوشه‌بندی معمولی، مقادیر ورودی در لایه ۱، به چند خوشه تقسیم شده و هر قانون فازی با استفاده از دو یا تعداد بیشتری از توابع عضویت در لایه ۲ ساخته می‌شود. در نتیجه با افزایش تعداد قوانین، تعداد پارامترهای مربوط به آن نیز زیاد می‌گردد. برای حل این مشکل می‌توان از تکنیک خوشه‌بندی کاهشی استفاده نمود که در آن قوانین بر اساس رابطه بین متغیرهای ورودی-خروجی ساخته می‌شوند. خوشه‌بندی کاهشی بر اساس اندازه چگالی هر داده در فضای ورودی‌ها کار می‌کند. بدین صورت که در ابتدا، فضای ورودی نرمال شده و در مرحله بعد، هر داده به عنوان نقطه‌ای با پتانسیل قرار گرفتن در مرکز خوشه در نظر گرفته می‌شود. سپس اندازه چگالی در نقطه x_i با استفاده از رابطه (۱۹) تعریف می‌شود:

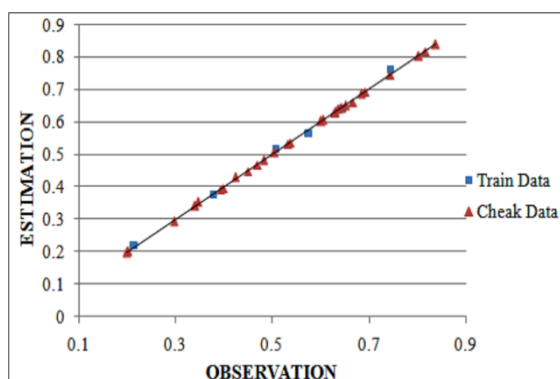
$$D_i = \sum_{j=1}^n \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{(r_a/2)^2}\right) \quad (19)$$

در رابطه فوق، r_a یک ثابت مثبت است. یک مجموعه داده هنگامی مقدار دانسیته (D_i) بالایی دارد که تعداد نقاط همسایگی آن زیاد باشد. بعد از محاسبه مقدار همسایگی

زده شده را ارزیابی می‌نماید. این شاخص فرض می‌کند که خطاهای بزرگتر، از اهمیت بیشتری نسبت به خطاهای کوچکتر برخوردارند. MAE نیز میانگین وزنی خطاهای مطلق می‌باشد. لازم به ذکر است که RMSE و MAE نزدیک‌تر به صفر، تناسب بیشتر بین متغیرها را نشان می‌دهند [۹ و ۱۰]. جدول ۲. شامل ارزیابی نتایج بدست آمده از مدل با توجه به پارامترهای فوق می‌باشد همچنین نمودار پراکندگی زیر نیز به مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی C_d می‌پردازد:

جدول ۲- نتایج ارزیابی مدل ANFIS ساخته شده

تعداد نمونه	آموزش		ارزیابی	
		CORR	۰/۹۹۹۹	CORR
۹	RMSE	۰/۰۰۲۷	RMSE	۰/۰۰۸۷
	MAE	۰/۰۰۱۸۶	MAE	۰/۰۰۷۷۳



شکل ۴- نمودار پراکندگی مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده C_d

شکل ۵ سطح ایجاد شده بین متغیرهای ورودی شامل زاویه سرریز در امتداد جریان و نسبت $\frac{H_t}{P}$ و همچنین متغیر خروجی شامل ضریب گذردهی جریان (C_d) می‌باشد که با استفاده از مدل ANFIS بدست آمده است را نشان می‌دهد.

برای هر نقطه، نقطه‌ای که دانسیته همسایگی بالاتری دارد به عنوان مرکز اولین خوشه انتخاب می‌گردد. اگر x_{c1} یک نقطه انتخاب شده با دانسیته D_{c1} باشد، آنگاه اندازه دانسیته برای هر داده x_i با استفاده از رابطه (۲۰) اصلاح خواهد شد.

$$D_i^{new} = D_i - D_{c1} e^{\left[-\frac{\|x_i - x_{c1}\|^2}{(r_b/2)^2} \right]} \quad (20)$$

در رابطه فوق، r_b یک ثابت مثبت برابر با $r_a = 1.5 r_b$ است. مقدار بهینه r_a و نسبت یادگیری بوسیله سعی و خطا مشخص می‌شود. فرآیند تعیین مرکز خوشه و دانسیته متناظر آن تا جایی تکرار می‌شود که تعداد مناسبی از مراکز خوشه‌ها تولید شوند [۸].

۴-۴ نتایج بدست آمده از مدل‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی ساخته شده در این تحقیق، از سه شاخص آماری زیر استفاده شده است:

۱- ضریب همبستگی CORR (Correlation Coefficient) مطابق با رابطه (۲۱)،

$$CORR = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i^o - \bar{x}^o)(x_i^p - \bar{x}^p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^o - \bar{x}^o)^2 \sum_{i=1}^n (x_i^p - \bar{x}^p)^2}} \quad (21)$$

۲- ریشه میانگین مربعات خطا RMSE (Root Mean Square Error) مطابق با رابطه (۲۲)،

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^o - x_i^p)^2}{n}} \quad (22)$$

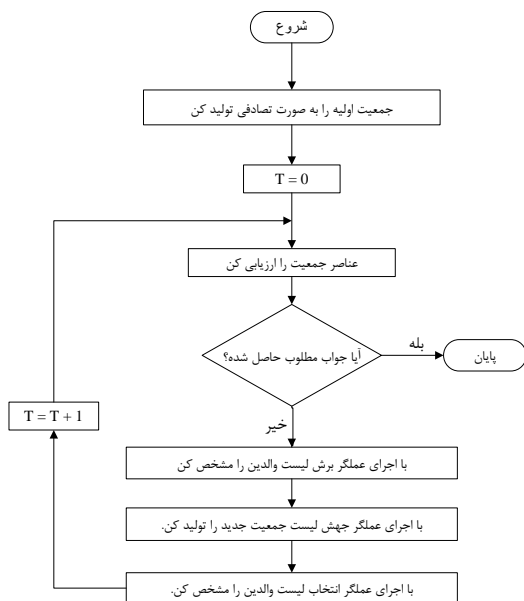
۳- میانگین قدر مطلق خطا MAE (Mean Absolute Error) مطابق با رابطه (۲۳)،

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i^o - x_i^p|}{n} \quad (23)$$

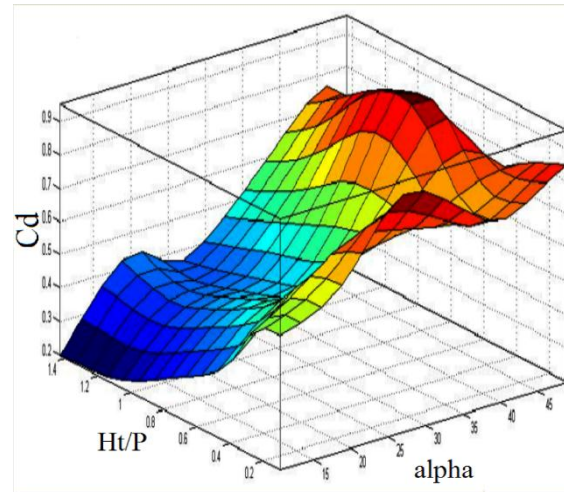
که در روابط فوق، x_i^o پارامتر مشاهده شده، x_i^p پارامتر تخمین زده شده و n تعداد داده‌هاست. شاخص CORR سزده شده است. این ضریب در بازه -1 و $+1$ تغییر و هرچه مقدار آن به $+1$ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده قوی‌تر بودن رابطه مستقیم بین متغیرهای مورد بررسی می‌باشد. RMSE باقیمانده بین داده‌های مشاهده شده و تخمین

۱-۶- چارچوب کلی یک الگوریتم ژنتیک

این الگوریتم‌ها با شروع از یک جمعیت اولیه (Initialize) (Population) و سعی می‌کند در هر نسل (Generation) به جمعیت بهتری دست یابد. برای تولید جمعیت اولیه، جواب‌های ممکن (Possible Solution) به صورت تصادفی با یک توزیع احتمال از فضای جستجو (فضایی که شامل تمام جواب‌های ممکن مسئله مورد نظر است) انتخاب می‌شوند. جواب‌های ممکن انتخابی به صورت مستقیم اعضای جمعیت اولیه را نمی‌سازند بلکه نسخه رمزی شده متناظر آنها از طریق یک روش رمزگذاری (Encoding) جمعیت اولیه را می‌سازند. هر جواب ممکن، به صورت رشته‌ای از کارکتر است که کروموزوم (Chromosome) نامیده می‌شود. متناظر هر تابع رمزگذاری (Encoding Function) تابع کشف رمز (Decoding Function) در پایان هر تناوب تولید، هر کروموزوم را به جواب ممکن متناظرش تبدیل می‌کند. عناصر جمعیت در هر مرحله کروموزوم‌ها هستند و عملگرهای برش (Crossover)، جهش (Mutation) و انتخاب (Selection) در هر نسل روی کروموزوم‌ها عمل می‌کنند و جمعیت جدید را از جمعیت فعلی به وجود می‌آورند. شکل ۶ ساختار اصلی یک الگوریتم ژنتیک به صورت نمودار گردش نمایش می‌دهد.



شکل ۶- نمودار گردش ساختار اصلی الگوریتم‌های ژنتیک



شکل ۵- سطح ایجاد شده بین متغیرهای ورودی و خروجی

۵- نتایج مدل سازی توسط مدل ANFIS

نظر به نتایج به دست آمده از آموزش و ارزیابی مدل ANFIS می‌توان برای مقادیر مختلف α و $\frac{H_t}{P}$ با دقت قابل قبولی مقدار Cd را برای سرریز بدست آورد و در مطالعات سرریزهای کنگره‌ای از آنها بهره گرفت. نتایج این مطالعات برای سرریز سد Hyrum در ایالت یوتای آمریکا که در ادامه آمده است بکار گرفته شده است.

۶- الگوریتم ژنتیک (GA)

طی دهه اخیر، الگوریتم‌های ژنتیک (GAs) به طور گسترده‌ای در حوزه وسیعی از مسائل علوم، بازرگانی و مهندسی به عنوان ابزارهای جستجو و بهینه‌یابی به کار گرفته شده‌اند. دلیل عمده موفقیت این الگوریتم‌ها، قابلیت کاربرد وسیع آنها، سهولت در استفاده و چشم‌انداز عمومی آنها است [۱۱].

مفهوم الگوریتم ژنتیک برای اولین بار توسط جان هولند مطرح گردید. الگوریتم‌های ژنتیک، یک روش جستجوی مؤثر در فضاهای بسیار وسیع و بزرگ است که در نهایت منجر به جهت گیری به سمت یافتن یک جواب بهینه می‌گردد.

(Q_{design}) ، ارتفاع آزاد (F_b) ، ضخامت دیوار سرریز (T_w) ، ضخامت دال سرریز (T_s) .

در این تحقیق از یک کروموزوم چهار ژنی استفاده گردیده است. ژن های این کروموزوم به ترتیب، ارتفاع تاج سرریز (P) ، ارتفاع کل آب روی تاج سرریز (H_t) ، تعداد سیکل ها سرریز (N) و زاویه دیواره سرریز نسبت به امتداد جریان (α) می باشند. کلیه متغیرها از نوع پیوسته بوده، بجز تعداد سیکل های سرریز که از نوع متغیر گسسته محسوب می شوند.

تابع هدف: تابعی است که نتیجه جمع زدن پارامترهای حجمی در هزینه ساخت سرریز کنگره ای توام با ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب با افزایش گذردهی جریان می باشد.

$$\text{minimize} \rightarrow f(x) = LPT_w + (P + H_t + F_b) \times (B + H_t) \times 2T_w + (B + 2H_t) \times w_c \times T_s$$
 قیود: اولین و مهمترین قید، ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب سرریز و یا ارضای شرط هیدرولیکی می باشد. سایر قیود بر اساس پارامترهای موثر ارائه گردیده اند.

$$Q_1 = \frac{2}{3} C_d L_e \sqrt{2gH_t}^{1.5} \geq Q_{design} \quad (1)$$

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

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

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

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

روش در نظر گرفتن جهش، تابع انتخابی، مهاجرت و مقیاس گذاری در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- پارامترهای بهینه سازی

پارامتر	روش در نظر گرفته شده
جهش (Mutation)	تطابقی (Uniform)
تقاطع (Cross over)	حسابی (Heuristic)
تابع انتخابی (Selection Function)	احتمالی (Roulette)
مهاجرت (Migration)	پیشرونده (Direction Forward)
تناسب مقیاسی (Fitness Scaling)	ترتیبی (Rank)

مبنای تمام روش های انتخاب بر این امید استوار است که والدین خوب، فرزندان بهتری را تولید می کنند. از این رو والدین با برازندگی (Fitness) بالا برای بقاء انتخاب می شوند. [۱۲].

۷- روابط بین پارامترهای سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای

با توجه به شکل ۱. روابط موجود بین پارامترهای سرریز کنگره‌ای مثلثی جهت بهینه‌یابی در زیر توضیح داده شده است.

عرض هریک از سیکل‌ها: $w = \frac{W_c}{N}$ ، زاویه دیواره هادی:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{W}{2B} \right)$$

$$L_2 = \frac{W}{2 \sin \alpha} \quad (L_2): \text{طول موثر یک زانو از تاج سرریز}$$

$$L_1 = L_2 + \frac{T_w}{\sin \alpha} \quad (L_1): \text{طول کل دیواره‌ها (L)}$$

$$L = 2N \cdot L_1 \quad (B): \text{عرض سرریز به موازات جریان ورودی}$$

$$B = L_2 \cdot \cos \alpha + \frac{T_w}{\sin \alpha} \quad (L_e = 2N \cdot L_2): \text{طول موثر کل}$$

و هد روی سرریز: H می باشد.

۸- محاسبات احجام برای تخمین مصالح و هزینه‌ها

دیواره های سرریز: $V_w = L \cdot P \cdot T_w$ ، دیواره های انتهایی:

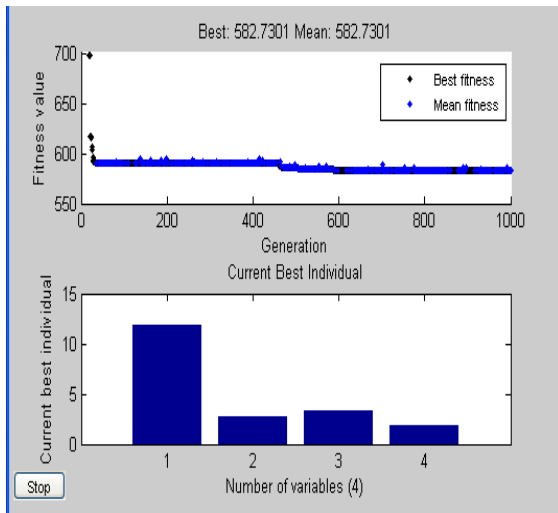
$$V_e = (P + H_t + F_b) \cdot (B + H_t) \cdot 2 \cdot T_w$$

$$V_s = (B + 2H_t) \cdot w_c \cdot T_s \quad \text{دال: می باشد.}$$

۹- 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

همچنین پارامترهای هندسی طرح پیشنهادی و طرح موجود به شرح جدول ۴ می‌باشد.



شکل ۷- بهترین مقادیر تابع صلاحیت در هر نسل

جدول ۴- مقایسه طرح فعلی با طرح پیشنهادی

پارامتر	طرح موجود	طرح بهینه
ارتفاع سرریز (P)	۳/۷	۳/۳۳
ارتفاع کل آب روی سرریز (Ht)	۱/۶۸	۱/۸
عرض تک سیکل (W)	۹/۱۴	۷/۳۱
طول دماغه (A)	۱/۴	۰
تعداد سیکل های سرریز (N)	۲	۲/۵
نسبت بزرگنمایی ($\frac{L}{W}$)	۵	۵/۶۲
عرض سرریز در امتداد جریان (B)	۲۱/۸	۲۰/۷
طول کل تاج (L)	۹۱/۴۴	۱۰۲

۱۲- نتیجه گیری

مدل تئوری ارائه شده در این تحقیق، مدل بهینه‌سازی شکل سرریز کنگره ای مثلثی با تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها (حجم بتن سرریز) و ارضای شرایط هیدرولیکی و محدود بودن پارامترهای موثر می‌باشد. در این تحقیق همانطور که توضیح داده شد از مدل فازی- عصبی جهت آموزش داده‌ها و الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌یابی استفاده

۱۰- مطالعه موردی سد Hyrum در آمریکا

این سد بر روی رودخانه خرس کوچک در جنوب ایالت یوتای امریکا واقع است که در سال ۱۹۳۵ ساخته شد و دارای سرریز دریچه دار بود. سیل ورودی طراحی^۱ IDF در سال ۱۹۸۱ مورد بررسی مجدد قرار گرفت و سرریز موجود قابلیت عبور دبی سیل بازنگری شده را نداشت که برای عبور آن طرح سرریز کمکی از نوع کنگره ای ارائه شد. مطالعات این سرریز با استفاده از نمودارهای هی و تیلور و اصلاحات USBR انجام گرفت. بدین لحاظ یک سرریز کنگره‌ای برای همان عرض کل ۱۸/۲۸ متر به تعداد ۲ سیکل و طول معادل ۹۱/۴۴ متر ساخته شد. این سرریز که در سال ۱۹۸۳ تکمیل شد می‌تواند تحت بار هیدرولیکی ۱/۶۷ متر، سیلابی معادل ۲۵۶ متر مکعب در ثانیه را از خود عبور دهد.

۱۱- نتایج بدست آمده از مدل بهینه‌سازی

در این تحقیق همان‌طور که ذکر شد ابتدا از مدل فازی - عصبی جهت آموزش داده‌ها و الگوریتم ژنتیک جهت بهینه کردن هندسه سرریز کنگره‌ای مثلثی جهت کاهش هزینه ساخت و ارضای شرایط هیدرولیکی مناسب مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از اجرای برنامه به 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 ۱۲/۳۵٪ صرفه جویی در هزینه‌هایی اجرایی را نیز در بر دارد. شکل ۷ نتایج بهترین مقادیر تابع صلاحیت در هر نسل را نشان می‌دهد.

¹ Inflow design flood

گردید. انتخاب روش جهش و تقاطع و همچنین فرمولاسیون مسئله منجر به همگرا شدن نتایج شده است. که این مسئله گواهی بر صحت روش‌ها و مدل ذکر شده می‌باشد. مقایسه نتایج حاصل از این روش با مقادیر موجود از وزن بتن بکار رفته در وضعیت فعلی تا ۱۲/۳۵٪ کاهش هزینه‌های سرریز را نشان می‌دهد که این مسئله بیانگر نتایج بسیار مناسب این روش می‌باشد.

مراجع

- [1] Falvey, H. (2003). Hydraulic Design of Labyrinth Weirs. ASCE Press Pub., Virginia, USA.
- [2] Taylor, G. (1968). The performance of labyrinth weirs, PhD thesis, Univ. of Nottingham, U.K.
- [3] Lux III, F.L., and Hinchcliff, D. (1985). Design and Construction of Labyrinth Spillways, Proc. 15th International Congress on Large Dam, Vol. 4, Q. 59, R, PP.249-274, International commission on Large Dams, Paris, France,
- [4] Falvey, H. T. (2002) "Hydraulic Design of Labyrinth Weirs", ASCE PRESS, 162p.
- [5] Tullis, J. P., Nosratollah, A., and Waldron, D. (1995) Design of labyrinth spillways, J. Hydraul. Eng., 121_3_, 247-255.
- [6] Jang, J.-S.R. (1993) ANFIS: adaptive network based fuzzy inference system. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 23 (3), 665-683.
- [۷] انوری ص. (۱۳۸۷)، ارتقاء مدل‌های هوشمند جهت پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از داده‌های توزیع مکانی اقلیمی و سطح برف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- [8] Nayak, P., Sudheer, K., Rangan, D., Ramasa, K. (2004) A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series, Journal of Hydrology, Vol. 291, pp. 52-66.
- [9] Chang, F. -J., Chang Y. -T. (2006) Adaptive neuro-fuzzy inference system for prediction of water level in reservoir, Advances in Water Resources, Vol. 29, pp. 1-10.
- [۱۰] حسین‌پور نیک‌نام، ح. (۱۳۸۸)، استفاده از مدل فازی-عصبی و شاخص‌های اقلیمی جهت پیش‌بینی خشکسالی مطالعه موردی زاهدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران آب، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.
- [11] Goldberg, D.E. (1989) Genetic Algorithm for search, Optimization and Machine Learning, Reading, MA; Addison-Wesley.
- [۱۲] ملابهرامی، ا.، محمودی م. (۱۳۸۴)، مقدمه‌ای بر الگوریتم‌های ژنتیک، چاپ اول، آراسته، قم.

GEOMETRY OPTIMIZATION OF TRIANGLE LABYRINTH SPILLWAY USING ANFIS MODELS AND GENETIC ALGORITHMS

M. Azhdary Moghaddam¹, N. Amanian², E. Jafari Nodoshan^{3,*}

1. Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan - Science and Research Branch of Tehran
2. Department of Civil Engineering, University of Yazd, Yazd
3. MSc Student of Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan

*Corresponding Author: ehsan_jafari64@yahoo.com

ARTICLE INFO

Keywords:

Triangle labyrinth spillway, Optimization of spillway geometry, ANFIS, Genetic algorithms.

ABSTRACT

Labyrinth spillways were considered as one of the appropriate options to pass PMF discharge where the system had difficulties. In a certain width in similar head these spillways with nonlinear crest can pass greater discharges compare to spillways with frontal crest. Since they pass large discharge under low hydraulic heads and need to smaller place in plane compare to other types of spillways, they are considered as economical structures. Therefore it is essential to apply optimum geometry with maximum passing discharge under specific hydraulic conditions with minimum construction cost. For this purpose in this research fuzzy inference system and genetic algorithms to optimize the spillway's geometry which satisfy the hydraulic conditions were used. To apply fuzzy inference system and to evaluate the coefficient based on available input - output pattern, from it ANFIS was employed. In this section in ANFIS model using experimental data input data such as angle of spillway walls along the flow (α), ratio of total head to spillway height (H_t/p), and discharge coefficient (C_d) were trained. Finally, using genetic algorithm and ANFIS model output, optimum geometry was found with defining the minimum cost function to satisfy appropriate hydraulic conditions.
