

بهینه‌سازی هندسی سرریز کنگره‌ای و بهبود کارایی هیدرولیکی با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری

عاطفه سادات حسینی^{۱*}، محمدگیوه‌چی^۲، جعفر جعفری‌اصل^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۲۳

چکیده

در این تحقیق با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری (GWO) به طراحی بهینه سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با توجه به شرایط هیدرولیکی مورد نظر پرداخته شده است. با انتخاب حجم بتن مصرفی سرریز به عنوان تابع هدف، پس از چندین بار اجرای مدل و سعی و خطا، مقادیر پارامترهای الگوریتم نظیر تعداد تکرار، تعداد گرگ و ضریب جریمه به ترتیب، ۱۰۰۰، ۳۰ و ۱۰^{۱۱} تعیین گردید و با پنج بار آزمایش، در تکرار ۹۹۶، پاسخ بهینه تابع هدف حاصل شد. مقدار به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی با مقدار واقعی و همچنین نتایج الگوریتم‌های جستجوی فاخته، ژنتیک و تکامل تقاضی در مطالعات پیشین مقایسه گردید. استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری در طراحی ابعاد سرریز کنگره‌ای سد مورد نظر، کاهش ۴۰/۹۲۸ درصدی حجم بتن ریزی و افزایش ۱۰/۷۱ درصدی دبی عبوری نسبت به مقدار واقعی را در پی داشت که در مقایسه با الگوریتم‌های فوق‌الذکر عملکرد بهتری از خود نشان داد. کاهش قابل ملاحظه حجم بتن مصرفی در سرریز پیشنهادی با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری نسبت به نمونه اجرا شده، نماینگر توانایی و لزوم استفاده از این الگوریتم جهت حل مسائل بهینه‌سازی در حوزه سرریزها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم‌های فراکاوشی، بهینه‌سازی، سازه‌های هیدرولیکی، سرریز کنگره‌ای، ضریب آبگذری

مقدمه

سرریز یکی از مهمترین و اصلی‌ترین بخش‌های یک سد می‌باشد، که وظیفه انتقال آب اضافی مخزن و نیز سیلاب بالادست به پایین دست سد را دارد. حجم دبی عبوری جریان از یک سرریز همواره تحت تاثیر دو عامل طول و شکل تاج بوده است. سرریزهایی با پلان غیرخطی مانند مثلثی، دوزنقه‌ای، دایروی و سهموی، با افزایش طول موثر دهانه سرریز، باعث افزایش ظرفیت آبگذری می‌شوند. به این نوع سرریزها سرریز کنگره‌ای می‌گویند. بارزترین و مهمترین ویژگی و برتری این نوع سرریزها بر سرریزهای خطی، افزایش حجم عبوری جریان حتی در شرایطی که امکان افزایش عرض دهانه سرریز وجود ندارد، می‌باشد (Darvas., 1971). در طراحی بهینه این نوع سرریزها به علت رفتار پیچیده جریان و

نیز پارامترهای هندسی متعدد، پیچیدگی‌های خاصی وجود دارد به همین خاطر از گذشته تاکنون مطالعات زیادی در زمینه سرریزهای کنگره‌ای انجام شده که منجر به معرفی روش‌های مختلف طراحی گردیده است (شکویی بناب، ۱۳۹۱). جینتیلینی جز اولین کسانی بود که به مطالعه سرریز کنگره‌ای پرداخت (Gentilini., 1941). در سال ۱۹۷۰ هی و تیلور در بررسی و مطالعات خود در خصوص شکل و تعداد سیکل‌های سرریز کنگره‌ای، به این نتیجه رسیدند که کارایی سرریز مستقل از تعداد سیکل‌ها بوده است (Hay and Taylor., 1970). چندی بعد دارواس رابطه‌ای برای ضریب تخلیه و همچنین منحنی‌هایی مربوط به ضریب تخلیه ارائه داد (Darvas., 1971). ماگالاس و لورنا به توسعه منحنی‌های ارائه شده توسط دارواس و در نهایت معرفی یک رابطه بدون بعد برای ضریب تخلیه پرداختند (Megalhaes and Lorena., 1989). لوکس تعریف کرد (Lux., 1989). تولیس و همکارانش با معرفی یک روش طراحی، رابطه‌ای برای ضریب آبگذری ارائه دادند (Tullis et al., 1995). همچنین در مطالعه‌ای دیگر رابطه‌ای بی‌بعد برای هد استغراق و تخلیه بدست آوردند (Tullis, Young and Chandler., 2007). در سال ۲۰۰۴ ویلمور یکی از اشتباهات صورت

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۳- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، دانشکده شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
* - نویسنده مسئول: (Email: a_hoseyni5758@pgs.usb.ac.ir)

بعنوان یک ابزار سودمند در بهینه‌سازی مسائل از جمله طراحی ابعاد بهینه سرریز کنگره‌ای توسعه داشته است. الگوریتم‌های فراکاوشی یا فراابتکاری با الهام از پدیده‌های طبیعی در طبیعت به جستجو در مسئله و بهینه‌سازی آن می‌پردازند. تاکنون الگوریتم‌های گوناگونی معرفی شده‌اند که بخاطر ساده بودن، انعطاف پذیر بودن و نیز توانایی پیدا کردن نقاطی جز نقاط محلی، مورد توجه محققان بوده‌اند (Mirjalili et al., 2014).

حسینی و همکاران در پژوهشی با هدف اثربخشی به پروژه با بهینه کردن ابعاد سرریز و در نهایت صرفه‌جویی در هزینه‌ها با استفاده از عملکرد الگوریتم‌های فراکاوشی، یک نمونه سرریز کنگره‌ای آزمایشگاهی را با استفاده از الگوریتم دیفرانسیل تکاملی بهینه‌سازی کردند و سپس نتایج را با جواب‌های الگوریتم ژنتیک مقایسه کردند که در نهایت الگوریتم دیفرانسیل تکاملی با ۱۹/۳ درصد کاهش هندسه نسبت به الگوریتم ژنتیک با ۱۶/۶ درصد عملکرد بهتری از خود نشان داد (Hosseini et al., 2016). حقیابی و همکاران با استفاده از سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی^۱ و نیز سیستم شبکه عصبی پروسپترون چند لایه^۲ به پیش‌بینی ضریب تخلیه سرریز کنگره‌ای مثلثی پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که (ANFIS) درصد خطای کمتری نسبت به مدل (MLP) دارد، اما هر دو عملکرد مناسبی دارند (Haghyabi et al., 2018). اژدری مقدم و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای به بهینه‌سازی هندسه سرریز کنگره‌ای مثلثی با استفاده از مدل فازی عصبی و الگوریتم ژنتیک پرداختند، که در نهایت منجر به کاهش ۱۲/۳۵ درصدی هزینه‌های اجرایی سد مورد مطالعه شد. جزائری فارسانی و معینی (۱۳۹۵) با استفاده از الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی (ABC) بهینه‌سازی یک سرریز پلکانی را انجام دادند و نتایج آن را با روش طراحی ویتال-پوری مقایسه کردند. در نهایت الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی با ۷/۶ درصد بهبود نتایج نسبت به روش ویتال-پوری عملکرد بهتری از خود نشان داد. فردوسی و همکاران (۱۳۹۷) نیز در پژوهشی به طراحی بهینه ابعاد سرریز کنگره‌ای با استفاده از الگوریتم فراکاوشی جستجوی فاخته پرداختند که در نهایت نتیجه مطالعات آنها کاهش ۳۸/۹ درصدی بتن مصرفی نسبت به نمونه واقعی و نیز افزایش دبی عبوری را به دنبال داشت.

اهمیت انتخاب الگوریتمی مناسب برای مسائل از این بابت است که ممکن است برخی از آنها برای مسائل نتایجی امید بخش داشته باشد اما در برخی مسائل دیگر کارآمد نباشد (Mirjalili et al., 2014). الگوریتم فراابتکاری گرگ خاکستری روشی جدید و قدرتمند در حل مسائل بهینه‌سازی است که تا کنون در مطالعات انجام شده نتایج

گرفته در روش طراحی تئوری (۱۹۹۵) را اصلاح کرد (Willmore., 2004). امیرغلو و همکاران مطالعات خود بر روی ظرفیت تخلیه یک سرریز کنگره‌ای تک سیکلی به عنوان یک سرریز جانبی در یک کانال مستقیم شروع کردند. در نهایت معادله‌ای تجربی برای تخلیه ارائه دادند (Emiroglu et al., 2010). کروکستون و تولیس با مطالعات و انجام آزمایشات مختلف بر روی نحوه‌ی قرارگیری سرریز بر روی مخزن به این نتیجه رسیدند که قرارگیری سرریز در داخل مخزن و به صورت قوسی افقی بهترین و بیشترین ضریب دبی را در پی دارد، که این در نتیجه جهت گیری مناسب سیکل‌های تعریف شده نسبت به جریان آب ورودی می‌باشد (Crookston and Tullis., 2012).

در این زمینه تحقیقات متعددی نیز در داخل کشور انجام شده است. سنگ سفیدی و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه آزمایشگاهی رژیم جریان در سرریزهای کنگره‌ای پرداختند. آنها با بررسی عوامل مؤثر بر روی جریان و نیز ضریب تخلیه سرریز مورد آزمایش، به این نتیجه رسیدند که زاویه انحنای سرریز، زاویه دیواره و ارتفاع تاج سرریز از عوامل تأثیرگذار بر روی ضریب دبی سرریز می‌باشد. گودرزی و همکاران (۱۳۹۶) در یک پژوهش آزمایشگاهی، تأثیر شیب دیواره پایین دست سرریز بر روی ضریب آبگذری را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج بدست آمده مشاهده شد که شیب دیواره پایین دست سرریز باعث کاهش ضریب آبگذری می‌شود. آنها همچنین رابطه‌ای برای تخمین ضریب تخلیه برای شیب‌های بررسی شده، ارائه دادند. قادری (۱۳۹۵) در مطالعه آزمایشگاهی خود به بررسی تأثیر عوامل هندسی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای - مثلثی با مستهلک کننده انرژی، بر روی آبستگی پایین دست پرداخت. در نتایج بدست آمده مشاهده شد که افزایش زاویه دیواره و ارتفاع سرریز کنگره‌ای باعث کاهش حداکثر عمق آبستگی می‌شود. علت آن کاهش طول تاج سرریز و افزایش تداخل جریان عبوری از روی سرریز کنگره‌ای می‌باشد. ضمیری و همکاران (۱۳۹۶) با شبیه‌سازی سرریز کنگره‌ای در نرم افزار Flow-3D به جهت بررسی پارامترهای هندسی مؤثر بر ضریب تخلیه، به این نتیجه رسیدند که افزایش ضخامت دیواره سرریز کنگره‌ای، سبب افزایش عمق و سرعت جریان عبوری از سرریز شده که منجر به کاهش مقدار ضریب آبگذری می‌شود. نتایج بدست آمده تاکنون باعث معرفی انواع سرریزهای کنگره‌ای از نظر شکل و پلان و نیز شناخت پارامترهای بی‌بعد مؤثر در ضریب آبگذری شده‌است که با بهینه‌سازی این پارامترها می‌توان راندمان سازه را نسبت به هزینه‌های اجرایی بالا برده و نتایج مطلوبی گرفت (فردوسی و همکاران، ۱۳۹۷).

امروزه با پیشرفت علم ریاضی روش‌های زیادی برای حل تقریبی و نیز طراحی بهینه مسائل ارائه شده است. از جمله این تکنیک‌ها می‌توان به الگوریتم‌های فراکاوشی و تکاملی اشاره نمود که اخیراً

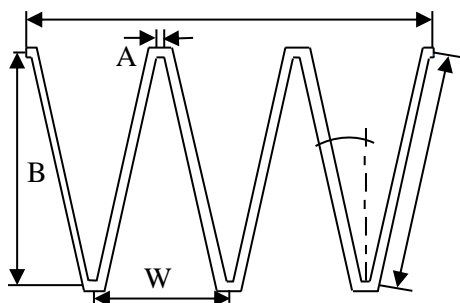
1 - Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS)

2 - Multi-Layer Perceptron (MLP)

به آن پرداخته می‌شود و نیز نتایج سایر پژوهش‌های انجام شده بر روی سرریز مورد مطالعه مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

سرریزهای کنگره‌ای از نظر شکل پلان دارای انواع مختلفی همانند؛ مستطیلی، نیم دایره‌ای، دوزنقه و مثلثی هستند. دبی عبوری از روی این سرریزها به عواملی همچون ویژگی‌های هیدرولیکی جریان و هندسه سرریز وابسته می‌باشد. شکل ۱ نمایی از پلان یک سرریز کنگره‌ای را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- نمایی از پلان یک سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای دارای ۳ سیکل (Crookston.,2010)

صورت افزایش هد در مطالعات و بررسی‌های انجام شده تاکنون، حد بالایی برابر با ۰/۹ برای آن تعریف شده‌است (Tullis et al.,1995). در مطالعات صورت گرفته توسط کروکستون بازه این نسبت بین ۰/۵ تا ۰/۹ می‌باشد (Crookston.,2010).

نسبت ظاهر عمودی (W/P)

از حاصل تقسیم عرض کل سیکل‌های سرریز به ارتفاع کل سرریز تعیین می‌شود. تیلور معتقد است برای کاهش اثرات تلاقی جت‌های آب، این نسبت بهتر است از ۲ بزرگتر باشد (Taylor.,1968). همچنین طبق بررسی‌های لوکس مقدار این نسبت برای طراحی (Lux.,1989) پیشنهاد شده است (W/P ≥ 2). توصیه تولیس و همکاران برای نسبت عرض سیکل، بازه‌ی ۳ تا ۴ است (Tullis et al.,1995).

نسبت رأس (A/W)

A معرف طول داخلی رأس سرریز کنگره‌ای است. اگرچه به تنهایی در طراحی بهینه نقش بسزایی ندارد، اما طبق توصیه تولیس بازه‌ی آن بصورت زیر معین می‌شود (Tullis et al.,1995):

مطلوبی داشته است. در راستای تکمیل مطالعات انجام شده بر روی سرریزهای کنگره‌ای در این پژوهش، از یک الگوریتم فراابتکاری نوظهور تحت عنوان الگوریتم گرگ خاکستری برای بهینه‌سازی هندسه سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای سد Ute واقع در ایالات متحده آمریکا استفاده شده است (Houston.,1982). بدین منظور، بعد از معرفی پارامترهای مؤثر در طراحی، تعیین قیود مسأله، کمینه کردن حجم بتن‌ریزی و در نهایت کاهش هزینه‌های اجرایی بعنوان تابع هدف مسئله در نظر گرفته شد. پس از تعیین بهترین مقادیر پارامترهای الگوریتم مذکور، بهینه‌سازی ابعاد سرریز در محیط نرم‌افزار MATLAB بعد از ۵ مرتبه اجرای تصادفی تعیین شد. در نهایت نتایج بدست آمده از عملکرد این الگوریتم با نمونه واقعی که در ادامه

که معرف عرض کل سرریز، W عرض یک تک سیکل، A طول داخلی رأس سرریز، L_s طول یک دیواره، α زاویه هادی دیواره و B طول سرریز (موازی جریان) می‌باشد.

پارامترهای مؤثر در طراحی سرریز کنگره‌ای

دبی عبوری

در حالت کلی، دبی عبوری از روی سرریز کنگره‌ای طبق رابطه ۱ تعیین می‌شود (Tullis et al.,1995; Crookston and Tullis.,2012).

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

$$t_w \leq A \leq 2t_w$$

که Q دبی عبوری سرریز، C_d ضریب بی‌بعد دبی سرریز، g شتاب ثقل، L طول مؤثر سرریز و H_t مجموع هد بالادست سرریز می‌باشد.

نسبت هد آبی (H_t/P)

نسبت هد آبی از تقسیم هد کلی آب (H_t = h + $\frac{V^2}{2g}$) به ارتفاع تاج سرریز بدست می‌آید که با توجه به کاهش ضریب تخلیه در

مطالعات ویلمور برابر با ۸ در نظر گرفته شده است (Tullis et al., 1995; Willmore., 2004).

شکل تاج

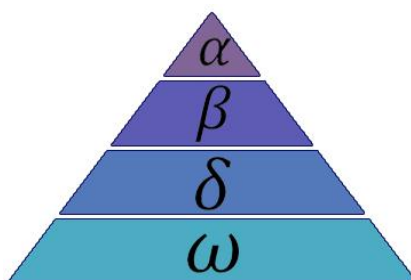
شکل تاج یک سرریز می تواند بر روی کارایی هیدرولیکی و ضریب آبگذری آن تأثیر بسزایی داشته باشد. از شکل های متعارف در سرریز کنگره ای می توان به شکل تاج ربع دایره ای و نیم دایره ای اشاره نمود. سرریزهایی با شکل تاج دایره ای و گرد، ضریب آبگذری بیشتری نسبت به سرریزهایی با شکل تاج صاف و تیز دارند (Tullis et al., 1995) در پژوهش حاضر، شکل تاج نیم دایره ای لحاظ شده است.

تعداد سیکل (N)

طبق اظهارات هی و تیلور، کارایی هیدرولیکی سرریز مستقل از تعداد سیکل های آن است و می توان گفت که تأثیری بر روی ضریب تخلیه نخواهد داشت (Hay and Taylor., 1970). اما تعداد سیکل در بحث هزینه یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار خواهد بود.

معرفی الگوریتم گرگ خاکستری

در سال ۲۰۱۴ الگوریتم فراکاوشی جدیدی به نام الگوریتم گرگ خاکستری توسط میرجلیلی و همکارانش معرفی شد (Mirjalili et al., 2014). این الگوریتم الهام گرفته شده از زندگی گروهی گرگ ها و طریقه شکار آنهاست. زندگی گروهی گرگ ها دارای سلسله مراتب اجتماعی دقیق و بسیار منظمی است. این سلسله مراتب را در شکل ۲ می توان مشاهده کرد.



شکل ۲ - سلسله مراتب گرگ خاکستری (کاهش اختیارات از بالا به پایین) (Mirjalili et al., 2014)

مسئولیت گرگ بتا کمک در تصمیم گیری به گرگ آلفا و نیز سایر فعالیت های گروه می باشد. پایین ترین دسته در این سلسله مراتب، گرگ امگا است (ω). گرگ امگا معمولاً از تمام گرگ های سطوح بالا پیروی می کند. سطح دیگری از این سلسله مراتب به دسته گرگ دلتا

T_w ضخامت دیواره سرریز می باشد. برای کارایی بهتر سرریز مقدار این نسبت معمولاً برابر و یا کوچکتر از 0.0765 در نظر گرفته می شود (Hepler., 1992).

نسبت بزرگنمایی طول (L_c/W)

این نسبت برابر است با حاصل تقسیم طول یک سیکل از سرریز کنگره ای به عرض همان سیکل. بازه این نسبت بین ۳ تا $9/5$ مشخص شده است (Karden et al., 2017).

زاویه دیواره های هادی (α)

با کاهش زاویه دیواره های هادی، طول کل تاج سرریز افزایش می یابد (Taylor., 1968). زاویه این دیواره ها طبق رابطه ۲ مشخص می شود.

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{W-2A}{L_c-2A} \right) \quad (2)$$

نسبت ضخامت دیواره (A/T_w)

از حاصل تقسیم عرض رأس به ضخامت دیواره سرریز، نسبت ضخامت دیواره بدست می آید. طبق مطالعات انجام شده، بهترین نتایج برای این مقدار، در ازای مقادیر بین ۱ و ۲ حاصل می شود (Karden et al., 2017).

نسبت ضخامت نسبی (P/T_w)

این نسبت از تقسیم ارتفاع سرریز به ضخامت سرریز بدست می آید که در عمل حداقل ضخامت لازم دیواره های سرریز را طراحی و آنالیز می کند. کاهش نسبت ضخامت نسبی، باعث افزایش کارایی هیدرولیکی سرریز و نیز عملکرد بهتر سازه ای می شود. طی تحقیقات و آزمایشات انجام شده توسط تولیس و همکاران مقدار این نسبت ۶ و

رأس هرم متعلق به گروه آلفا (α) می باشد، که رهبران گروه اند. آلفا مسئولیت تمام تصمیم گیری ها و مدیریت گله را برعهده دارد. گرگ آلفا به گرگ غالب نیز معروف می باشد، زیرا که در تمام گروه باید دستورات او اجرا شود. سطح دوم این هرم، گروه بتا (β) است.

$$\begin{cases} \overrightarrow{D_\alpha} = |C_1 \times X_\alpha - X| \\ \overrightarrow{D_\beta} = |C_2 \times X_\beta - X| \\ \overrightarrow{D_\delta} = |C_3 \times X_\delta - X| \end{cases} \Rightarrow C_t = 2 \times r_1 \quad (3)$$

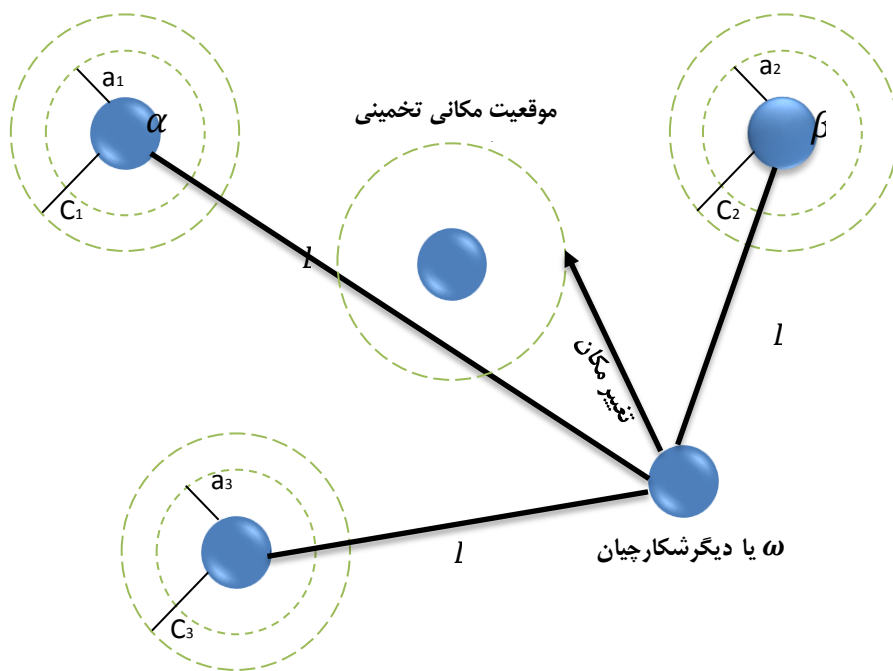
$$\begin{cases} X_1 = X_\alpha - A_1 \times \overrightarrow{D_\alpha} \\ X_2 = X_\beta - A_2 \times \overrightarrow{D_\beta} \\ X_3 = X_\delta - A_3 \times \overrightarrow{D_\delta} \end{cases} \Rightarrow A_t = 2 \times a \times r_2 - a \quad (4)$$

$$X_{t+1} = \text{mean}(X_1, X_2, X_3) \quad (5)$$

در روابط بالا، C_t و A_t به ترتیب معرف بردارهای ضرایب به سمت بهترین مکان و r_1 و r_2 بردارهای تصادفی در بازه (۰-۱) می‌باشند. a ضریبی است که در طول تکرار در بازه ۰ تا ۲ بصورت خطی کاهش می‌یابد. X موقعیت مکانی متغیر در وضعیت فعلی، X_{t+1} موقعیت مکانی متغیر در وضعیت بعدی و X_α ، X_β و X_δ به ترتیب موقعیت گرگ آلفا، بتا و دلتا می‌باشند. شکل ۳ چگونگی محاصره جواب نهایی در درون یک دایره بواسطه ۳ دسته آلفا، بتا و دلتا در فضای جستجو، و نیز مشخص شدن موقعیت گروه امگا را نشان می‌دهد (Mirjalili et al., 2014).

(δ) تعلق دارد. این گرگ تحت پیروی از فرمان گرگ آلفا و بتا است، با این حال بر گرگ امگا غالب می‌باشد (Mirjalili et al., 2014). شکار گروهی گرگ خاکستری طبق گفته مارو و همکاران شامل مراحل زیر می‌باشد (Muro et al., 2011):

- ردیابی، تعقیب و نزدیک شدن به طعمه
 - دنبال کردن، محاصره و خسته کردن شکار تا زمان توقف کامل آن
 - حمله به طعمه
- در شبیه‌سازی ریاضی گرگ خاکستری، فرض بر این است که سه دسته اول تا سوم، آلفا (بهترین راه حل کاندید)، بتا و دلتا از لحاظ موقعیت شکار و طعمه، ارزش و دانش بهتری دارند. این ۳ راه حل به عنوان بهترین جواب‌ها در فضای جستجو ذخیره می‌شوند، سپس مابقی گرگ‌ها (امگا) باید نسبت به بهترین موقعیت (راه‌حل)، موقعیت خود را در فضای جستجو به‌روز رسانی کنند. به عبارت دیگر، موقعیت شکار به‌واسطه ۳ گروه آلفا، بتا و دلتا تخمین زده می‌شود، آنگاه دیگر گرگ‌ها متناسب با موقعیت بدست آمده بطور تصادفی حول شکار حلقه می‌زنند. روابط ۳، ۴ و ۵ چگونگی این تغییر مکان‌ها را بیان می‌کند.



شکل ۳ - موقعیت به روزرسانی GWO (Mirjalili et al., 2014)

مهندسی و تجربه پیشین برای حصول نتایج مطلوب و نیز صرفه جویی در زمان بصورت ثابت در فرایند طراحی توسط الگوریتم در نظر گرفته می‌شوند. این پارامترها شامل: شکل تاج، تعداد سیکل در پلان، ضخامت دال کف و ارتفاع قائم آزاد می‌باشند که مقادیر آنها قبل از

فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی سرریزهای کنگره‌ای

پارامترهای دخیل در طراحی سرریز کنگره‌ای در مبحث بهینه‌سازی به چند دسته تقسیم می‌شوند. اولین گروه از این پارامترها متعلق به متغیرهای ثابت است. این متغیرها بر اساس قضاوت

اجرای الگوریتم مشخص شده است (جدول ۱- ورودی (مقادیر ثابت))

جدول ۱ - ورودی (مقادیر ثابت)

توضیحات	نماد	پارامتر
شکل تاج	-	ربع دایره‌ای
تعداد سیکل‌ها در پلان	N	۱۴
ضخامت دال کف	T_s	۰/۳۰
ارتفاع قائم آزاد	F_b	۰/۶۰

متغیرهای تصمیم

دسته دوم پارامترها، متغیرهای تصمیم هستند که در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. بعضی از این پارامترها مستقل و بعضی از آنها وابسته به یکدیگر می‌باشند. در اجرای الگوریتم، متغیرهای تصمیم با توجه به اهداف مسأله، ضمن حفظ و رعایت قیود هیدرولیکی بهینه می‌شوند.

جدول ۲ - متغیرهای تصمیم

توضیحات	نماد	پارامتر
$P \sim 1.0H_t$	P	ارتفاع سرریز (تاج)
$T_w \sim P/8$	T_w	ضخامت سرریز
$h + (v^2/2g)$	H_t	مجموع هد بالادست
-	B	طول سرریز (موازی جریان)
$\sim 6^\circ - 35^\circ$	α	زاویه دیواره
$A \sim T_w$	A	عرض داخلی رأس سرریز (مرکز)
$B/\cos\alpha$	L_s	طول یک دیواره
$2 \times (L_s + A)$	L_c	طول یک سیکل
$N \times L_s$	L	طول کل سرریز
$2 \times [L_s \times \sin\alpha + A]$	W	عرض یک سیکل
$\sim N \times W$	W_s	عرض کل سرریز

تابع هدف بهینه سازی

هدف از بهینه‌سازی سرریز کنگره‌ای، تعیین ابعاد بهینه سرریز با حداقل کردن حجم بتن مصرفی که با کاهش هزینه نیز همراه است، می‌باشد. تابع هدف که بصورت تابعی از متغیرهای تصمیم بیان می‌شود در اصل کارایی خط مشی کاهش بتن مصرفی را بیان می‌کند. الگوریتم حاضر با بهینه‌سازی ابعاد بدنه سرریز با در نظر گرفتن تمام محدودیت‌های هیدرولیکی، کمترین مقدار حجم بتن ریزی را ارائه می‌دهد. تابع هدف در این پژوهش طبق روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$V_t = V_w + V_e + V_s \quad (6)$$

$$V_w = N \times P \times L_c \times T_w \quad (7)$$

$$V_e = 2 \times (P + H_t + F_b) \times (B + H_t) \times T_w \quad (8)$$

$$V_s = (B + 2H_t) \times W_s \times T_s \quad (9)$$

که در آن (V_t) حجم کلی بدنه سرریز، (V_w) حجم دیواره‌های سرریز، (V_e) حجم دیواره‌های انتهایی و (V_s) حجم دال کف می‌باشد (Felvay.,2003).

قیود

گروه دیگری از این پارامترها که از ترکیب پارامترهای مستقل بدست آمده و محدودیت‌هایی برای شرایط هیدرولیکی و طراحی ابعاد بحساب می‌آیند، قیود مسأله یا محدودیت‌های طراحی نام دارند. مقادیر این قیود از نتیجه مطالعات آزمایشگاهی، مدلسازی و عددی محققین، تجارب مهندسی و نیز ضوابط آیین‌نامه‌ها بدست آمده است. در جدول ۳ قیود استفاده شده در این پژوهش لحاظ شده است (Karden et al.,2017).

جدول ۳ - قیود

ردیف	قیود
۱	$Q_{optimal} \geq Q_{design}$
۲	$3 \leq L_c/W \leq 9.5$
۳	$2 \leq W/P \leq 4$
۴	$0.05 \leq H_t/P \leq 0.90$
۵	$A/W \leq 0.0765$
۶	$1 \leq A/T_w \leq 2$
۷	$6 \leq P/T_w \leq 8$

سرریز مورد مطالعه

در این پژوهش به بهینه‌سازی ابعاد هندسی سرریز کنگره‌ای سد خاکی Ute در نزدیکی Logan، در New Mexico، واقع در ایالات متحده آمریکا پرداخته شده است. سد Ute با ارتفاع ۳۶/۸۸ متر، دارای ۱۴ سیکل و با دبی طراحی ۱۵۵۷۰ cms بر روی رودخانه Canadian احداث گردیده است. در شکل ۴ سرریز کنگره‌ای این سد قابل مشاهده می‌باشد (Houston.,1982).



شکل ۴ - نمای از سرریز کنگره‌ای سد Ute (Houston.,1982)

نتایج و بحث

با استفاده از مدل بهینه‌سازی تهیه شده مبتنی بر الگوریتم گرگ خاکستری، پارامترهای موثر در طراحی سرریز کنگره‌ای سد Ute تعیین شد. بهترین مقادیر پارامترهای الگوریتم GWO پس از چندین بار اجرای مدل با مقادیر مختلف به نحوی تنظیم شد که الگوریتم GWO بهترین عملکرد را داشته باشد، این مقادیر در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین مقدار ضرایب جریمه (α) نیز پس از سعی و خطا برابر (10^{11}) تعیین گردید.

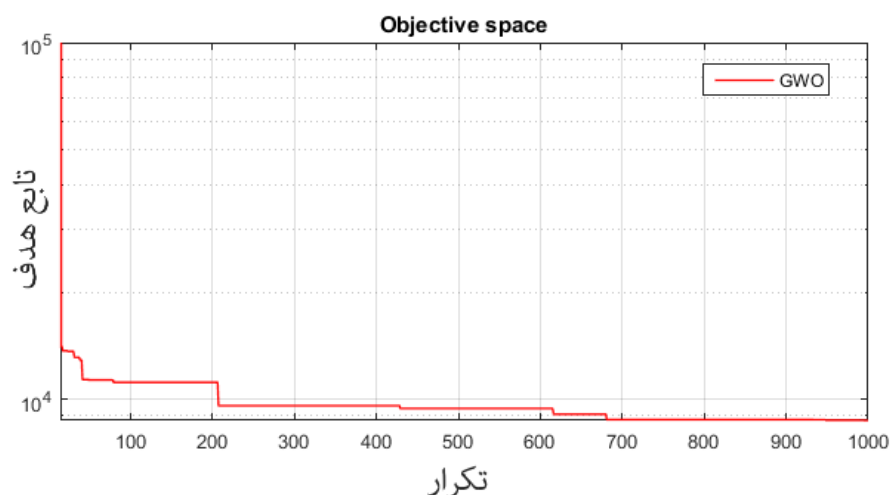
جدول ۴ - پارامترهای مربوط به الگوریتم گرگ خاکستری

پارامتر	نماد	مقدار
تعداد گرگ‌ها	n	۳۰
حداکثر تعداد تکرار	t	۱۰۰۰

برای ارزیابی توانایی مدل تهیه شده با تنظیم پارامترها برابر مقادیر جدول ۲، مدل ۵ بار مورد آزمایش قرار گرفت. بهترین پاسخ بدست آمده برای تابع هدف در این ۵ بار آزمایش برابر ۸۷۳۶/۳۲۳ می‌باشد. شکل ۵ نیز نمودار همگرایی الگوریتم به سمت بهینه را نشان می‌دهد. چنانکه ملاحظه می‌شود در این حل پس از گذشت ۹۹۶ تکرار پاسخ بهینه تابع هدف حاصل شد.

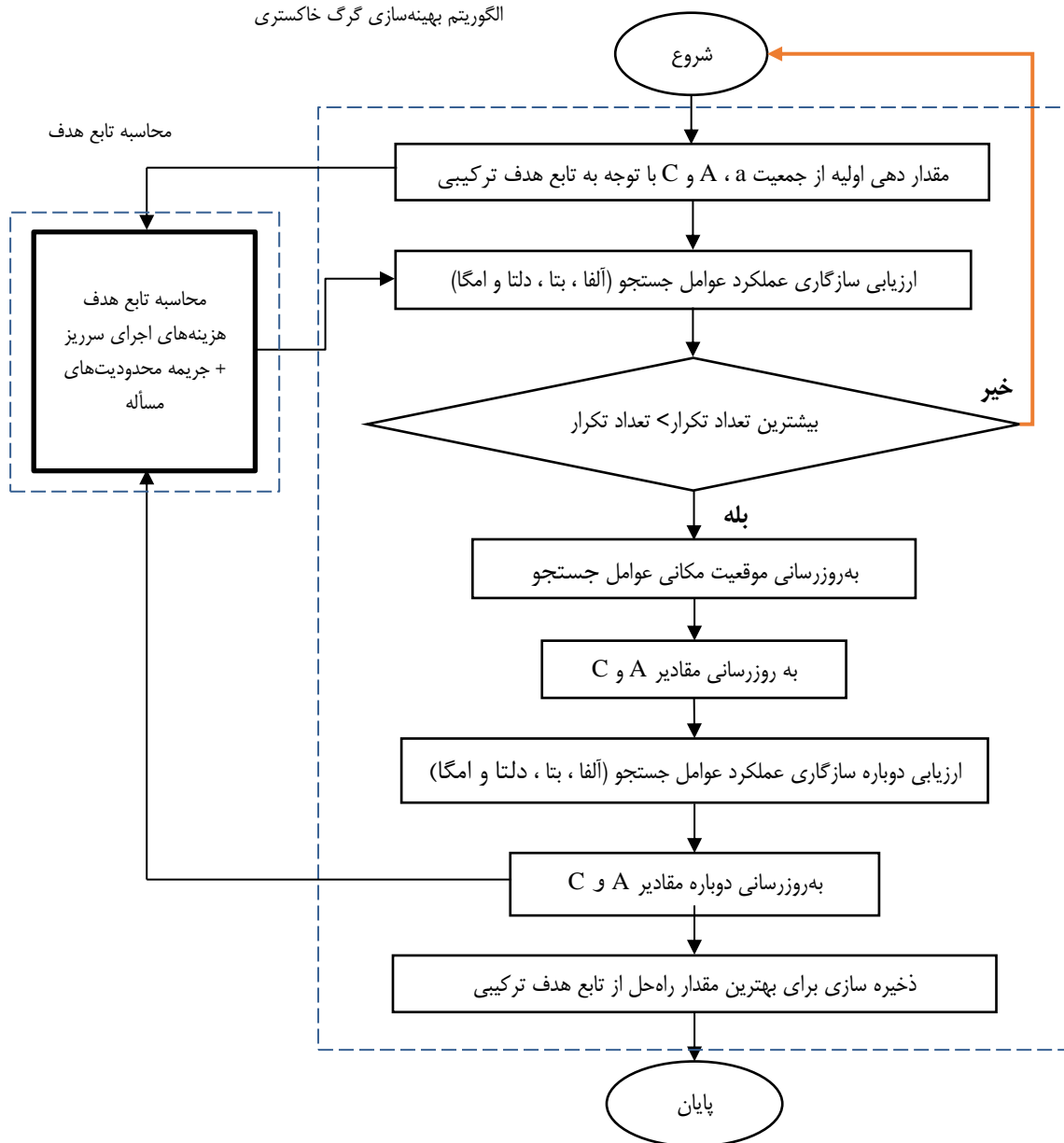
در شکل ۶ روند انجام بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری در قالب فلوجارت قابل مشاهده می‌باشد.

نتایج به دست آمده از مدل پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم گرگ خاکستری در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به اهمیت دبی عبوری از روی سرریز کنگره‌ای، مشاهده می‌شود که در مدل پیشنهادی علاوه بر کاهش هزینه‌های اجرا، عملکرد هیدرولیکی سرریز نیز بهبود داده شده است. با توجه به اینکه تابع هدف مورد استفاده در این سرریز کاهش حجم بتن مصرفی و در نتیجه کمینه کردن هزینه‌های طراحی می‌باشد، مشاهده می‌شود که با استفاده از الگوریتم GWO میزان حجم بتن ریزی بطور حدودی از ۱۴۷۸۹ به ۸۷۳۶ کاهش یافته است. در واقع این میزان حاکی از کاهش ۴۰/۹ درصدی حجم بتن مصرفی می‌باشد.



شکل ۵ - نمودار همگرایی رسیدن به بهترین پاسخ توسط GWO

الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری



شکل ۶ - فلوجارت مربوط به عملکرد الگوریتم گرگ خاکستری در بهینه‌سازی

همراه بوده است که در نهایت عملکرد هیدرولیکی بهتر سرریز را به‌دنبال دارد. همچنین مقادیر تمام محدودیت‌ها و قیدهای ذکر شده که برای بهبود عملکرد هیدرولیکی سرریز در نظر گرفته شدند، رعایت شده است.

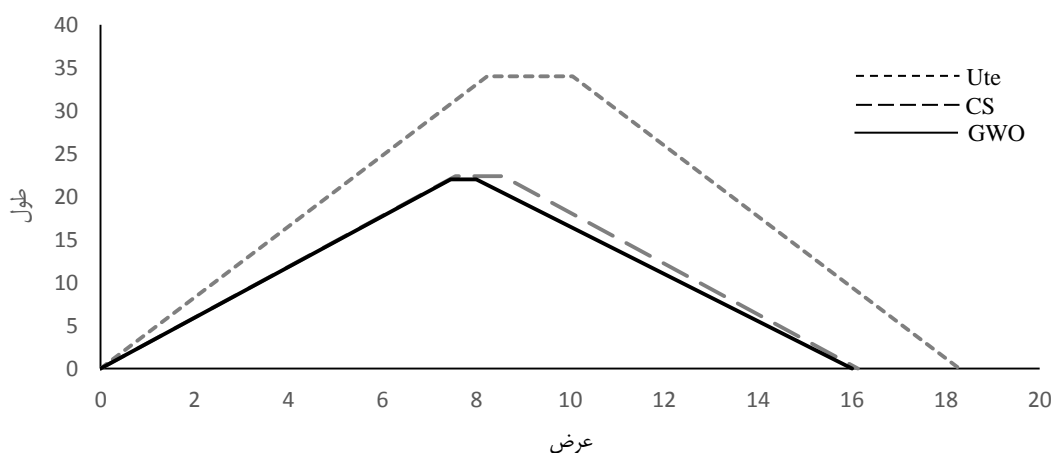
در شکل ۷ مقایسه‌ی شکل یک سیکل از سرریز کنگره‌ای سد Ute با سرریز مدل شده با الگوریتم CS و نیز مدل پیشنهادی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری در بازطراحی این سرریز باعث کاهش زاویه‌ی دیواره،

با توجه به جدول ۵ و مقایسه مقادیر پارامترهای بدست آمده از الگوریتم GWO با پارامترهای سرریز مورد نظر، می‌توان نشان داد که مدل پیشنهادی باعث کاهش حدودی ابعاد، نظیر: ۶٪ در ضخامت، ۱۲/۵٪ در ارتفاع، ۳۴٪ در طول دیواره، ۱۲/۵٪ در عرض سیکل و ۴۰٪ در عرض دماغه شده‌است که با توجه به طول زیاد سرریز موردنظر، نقش مهمی در حجم بتن مصرفی و در نتیجه هزینه خواهد داشت. علاوه بر این، این مدل پیشنهادی با افزایش برخی پارامترها مانند: ظرفیت آبگذری، زاویه دیواره، هد بالادست و دبی عبوری

عرض سیکل و طول دیواره می‌شود که در نهایت به کاهش بتن مصرفی نسبت به سرریز واقعی و همچنین سرریز مدل شده با الگوریتم جسجوی فاخته می‌انجامد.

جدول ۵ - مشخصات سرریز مورد مطالعه ، بهینه شده با الگوریتم CS و GWO

پارامتر	Ute	CS	GWO
N	۱۴	۱۴	۱۴
P	۹/۱۴۰	۸/۰۶۶	۸
T_w	۱/۰۶۵	۱/۰۰۸	۱
H_t	۵/۷۹۰	۷/۲۹۲	۷/۰۰۵
B	۳۳/۹۹۰	۲۲/۳۸۵	۲۲/۰۰۰
α	۱۲/۱۶۲	۱۷/۴۹۸	۱۷/۴۵۴
A	۱/۸۲۰	۱/۰۰۸	۱/۰۸۷
W	۱۸/۲۹۰	۱۶/۱۳۳	۱۶/۰۰۹
W_s	۲۵۶/۰۶۰	۲۲۵/۸۶۱	۲۲۴/۱۳۰
Q	۱۶۱۴۳	۱۶۱۴۵	۱۷۸۷۳
C_d	-/۳۸۳	۰/۴۰۵	-/۴۸۲
L_s	۳۴/۷۷۰	۲۳/۴۷۱	۲۳/۰۶۱
L_c	۷۳/۱۸۱	۴۸/۹۵۹	۴۸/۲۹۸
L	۱۰۲۴/۵	۶۸۵/۴	۶۷۶/۱
W/P	۲/۰۰۱	۲/۰۰۰	۲/۰۰۱
L_c/W	۴/۰۰۱	۳/۰۳۵	۳/۰۱۶
H_t/P	-/۶۳۴	۰/۹۰۴	-/۸۷۵
A/W	-/۰۹۹	۰/۰۶۲	-/۰۶۷
A/T_w	۱/۷۰۹	۱/۰۰۰	۱/۰۸۷
P/T_w	۸/۵۸۲	۸/۰۰۰	۷/۹۹۹
V_w	۹۹۷۲/۹	۵۵۷۴/۹	۵۴۰۹/۶
V_e	۱۳۱۵/۸	۹۵۵	۹۰۵/۳
V_s	۳۵۰۰/۵	۲۵۰۴/۹۳۶	۲۴۲۱/۳
V_T	۱۴۷۸۹/۳	۹۰۳۴/۹	۸۷۳۶/۳
اختلاف (%)	-	۳۸/۹۱	۴۰/۹۲



شکل ۷- نمایی از تک سیکل سرریز مورد مطالعه و بهینه سازی شده با الگوریتم CS و الگوریتم پیشنهادی (GWO)

کاهش ۲۶/۴۸ درصدی حجم بتن مصرفی توانستند طرح‌های پیشین را بهبود دهند. همچنین فردوس و همکاران (۱۳۹۷) نیز با استفاده از الگوریتم جستجوی فاخته، حجم بتن مصرفی را ۳۹ درصد کاهش دادند. در مطالعه حاضر، استفاده از توانمندی الگوریتم گرگ خاکستری باعث کاهش میزان حجم بتن مصرفی به مقدار ۴۰/۹۲ درصد و افزایش میزان دبی عبوری از سرریز از ۱۶۱۴۳ به ۱۷۸۷۳ مترمکعب بر ثانیه شد. مقادیر مقایسه مطالعه حاضر با مطالعات پیشین در جدول ۶ ارائه شده است.

با توجه به اینکه سرریز کنگره‌ای سد Ute از بزرگترین سرریزهای کنگره‌ای در جهان به شمار می‌آید. مطالعات زیادی در رابطه با طراحی بهینه سازی این سرریز صورت گرفته است. برخی از این مطالعات در جدول ۶ ارائه شده است. حسینی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکامل تفاضلی، حجم بتنی مصرفی استفاده شده در سرریز Ute را به ترتیب برابر ۱۹/۳ و ۱۶/۶ درصد با ۱۲ سیکل به صورت کنگره‌ای مثلثی کاهش دادند. در ادامه کاردان و همکاران (۲۰۱۷) با طراحی سرریز مذکور به صورت دوزنقه‌ای با ۱۴ سیکل و استفاده از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک با

جدول ۶- مقایسه نتایج بدست آمده از الگوریتم‌های مختلف

پژوهش	شکل سرریز	تعداد سیکل	الگوریتم	حجم اولیه	حجم بهینه شده	درصد بهینه شده
حسینی و همکاران (۲۰۱۶)	کنگره‌ای مثلثی	۱۲	ژنتیک	۳۴۳۱۰	۲۸۶۱۵	۱۶/۶
حسینی و همکاران (۲۰۱۶)	کنگره‌ای مثلثی	۱۲	تکاملی تفاضلی	۳۴۳۱۰	۲۷۶۹۱	۱۹/۳
کاردان و همکاران (۲۰۱۷)	کنگره‌ای دوزنقه‌ای	۱۴	ژنتیک	۹۹۷۲/۳۵۳	۷۳۳۱/۸۴۵	۲۶/۴۸
فردوسی و همکاران (۱۳۹۷)	کنگره‌ای دوزنقه‌ای	۱۴	جستجوی فاخته	۱۴۷۸۹/۳۹۱	۹۰۳۴/۹۰۱	۳۸/۹۱
پژوهش حاضر	کنگره‌ای دوزنقه‌ای	۱۴	گرگ خاکستری	۱۴۷۸۹/۳۹۱	۸۷۳۶/۳۲۳	۴۰/۹۲

نتیجه گیری

پس از چندین بار اجرا و سعی و خطا توسط الگوریتم گرگ خاکستری مقادیر مطلوب برای تعداد گرگ‌ها، تعداد تکرارها و ضرایب جریمه به ترتیب برابر با ۳۰، ۱۰۰۰ و ۱۰^{۱۱} نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این مطالعه شامل موارد زیر است:

حجم محاسبه شده بتن مصرفی در سرریز کنگره‌ای سد Ute با استفاده از الگوریتم GWO نسبت به مقدار واقعی ۴۰/۹ درصد کاهش یافته است؛ به صورت جزء احجام دیواره‌های انتهایی، دال کف سرریز و دیواره‌های زیگزاگی به ترتیب ۳۱/۲، ۳۰ و ۴۵/۷۵ درصد کاهش یافته‌اند. نتایج حاصله بیانگر آن است که الگوریتم گرگ خاکستری نسبت به الگوریتم جستجوی فاخته عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد.

بهینه سازی انجام شده با در نظر گرفتن تمام قیود و محدودیت‌های سازه‌ای جهت ارضای شرایط هیدرولیکی انجام شد که در نهایت علاوه بر کاهش حجم بتن مصرفی، افزایش ظرفیت آبگذری را از مقدار ۱۶۱۴۳/۵۵۳ به مقدار ۱۷۸۷۳ متر مکعب بر ثانیه به همراه داشت. این مقدار نسبت به ظرفیت آبگذری بدست آمده توسط الگوریتم جستجوی فاخته ۱۰ درصد افزایش یافته است.

نتایج به دست آمده حاکی از آن است که الگوریتم گرگ خاکستری، علاوه بر سرعت و همگرایی مطلوب از قدرت و توانایی بالایی در حل مسائل بهینه سازی برخوردار می‌باشد.

منابع

اژدری مقدم، م.، امانیان، ن.، و جعفری ندوشن، ا. ۱۳۸۸. بهینه‌یابی هندسه سرریز کنگره‌ای مثلثی با استفاده از مدل فازی-عصبی و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی سد Hyrum در ایالت یوتای آمریکا). مدل سازی در مهندسی. ۱۹۰. ۷: ۵۷-۶۸.

جزائرئ فارسانی، س. پ. و معینی، ر. ۱۳۹۵. استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی در طراحی بهینه سرریز پلکانی. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. آذر ماه، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین.

سنگ سفیدی، ی.، مهرآیین، م.، قدسیان، م. و قلی زاده، ع. ۱۳۹۳. رژیم جریان در سرریزهای کنگره‌ای قوسی. سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. آبان ماه، دانشگاه تبریز.

شکویی بناب، ب. ۱۳۹۱. طراحی بهینه سرریزهای کنگره‌ای با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

ضمیری، ا.، فرزین، س. و کرمی، ج. ۱۳۹۶. مطالعه عددی عوامل موثر بر عملکرد هیدرولیکی جریان عبوری از سرریز کنگره‌ای. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱. ۵: ۸۶۵-۸۷۵.

فردوسی، ا.، موسوی، س. ف.، فرزین، س.، کرمی، ج.، احترام، م. و ولیخن

- 96.11: 2337-2357.
- Hepler, T. 1992. Innovative Spillway Designs. U.S. Bureau of Land Management Papers, 32: 1222-1227
- Hosseini, K., Nodoushan, E.J., Barati, R. and Shahheydari, H. 2016. Optimal design of labyrinth spillways using meta-heuristic algorithms. KSCE Journal of Civil Engineering. 20.1: 468- 477.
- Houston, K.L. 1982. Hydraulic model study of Ute Dam labyrinth spillway. Report No. GR-82-7, US Bureau of Reclamation, Denver.
- Kardan, N., Hassanzadeh, Y and Bonab, B.S. 2017. Shape optimization of trapezoidal labyrinth weirs using genetic algorithm. Arabian Journal for Science and Engineering. 42:1219-1229.
- Lux, F. 1989. Design and application of labyrinth weirs. Design of hydraulic structures. 89:205-215.
- Megalháes, A.P. and Lorena, M. 1989. Hydraulic design of labyrinth weirs. Report No736. National Laboratory of Civil Engineering. Lisbon. Portugal.
- Mirjalili, S.A., Mirjalili, S.M and Lewis, A. 2014. Grey Wolf Optimizer. Advances in Engineering Software. 69: 46-61.
- Muro, C., Escobedo, R., Spector, L and Coppinger, R. 2011. Wolf-pack (Canis lupus) hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations. Behavioural processes. 88:192-197.
- Taylor, G. 1968. The performance of labyrinth weirs, Ph.D. dissertation, University of Nottingham.
- Tullis, J.P., Amanian, N and Waldron, D. 1995. Design of labyrinth spillways. Journal of hydraulic engineering. 121.3: 247-255.
- Tullis, B.P., Young, J.C and Chandler, M.A. 2007. Head-Discharge Relationship for Submerged Labyrinth Weirs. Journal of Hydraulic Engineering. 133.3: 248-254.
- Willmore, C.M. 2004. Hydraulic characteristics of labyrinth weirs. MSc. Thesis, Utah State University, Logan, Utah.
- انارکی، م. ۱۳۹۷. طراحی بهینه و بهبود عملکرد هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای با استفاده از الگوریتم جستجوی فاخته. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲. ۵: ۱۰۸۶-۱۰۹۷.
- قادری، ا. ۱۳۹۵. بررسی آزمایشگاهی تأثیر پارامترهای هندسی سرریز کنگره‌ای با مستهلک کننده انرژی در آبشستگی پایین دست. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی، دانشگاه مراغه.
- گودرزی، م.، قدسیان، م و مهرآیین، م. ۱۳۹۶. تأثیر شیب دیواره پایین دست بر ضریب آبگذری سرریز کنگره‌ای انحنادار. مهندسی عمران فردوسی. ۳۰. ۱: ۱-۱۲.
- Crookston, B.M. and Tullis, B.P. 2012. Arced labyrinth weirs. Journal of Hydraulic Engineering. 138.6: 555-562
- Crookston, B.M. 2010. Labyrinth weirs. Ph.D. dissertation, Utah State University., Logan, Utah.
- Darvas, L. 1971. Discussion of performance and design of labyrinth weirs, by Hay and Taylor. Journal of hydraulic engineering. 97.80:1246-1251.
- Emiroglu, M.E., Kaya, N. and Agaccioglu, H. 2010. Discharge Capacity of Labyrinth Side Weir Located on a Straight Channel. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 136.1:37-46.
- Falvey, H.T. 2003. Hydraulic design of labyrinth weirs. ASCE Press. Reston, Virginia, USA. 84-86.
- Gentilini, B. 1941. Stramazzi con cresta a pianta obliqua e a zig-zag (Weirs with oblique and zig-zag crests). L'Energia Elettrica 18.10: 653-664 (in Italian).
- Haghiabi, A.H., Parsaie, A. and Ememgholizadeh, S. 2018. Prediction of discharge coefficient of triangular labyrinth weirs using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. Alexandria Engineering Journal. 57:1773-1782.
- Hay, N and Taylor, G. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. Journal of the Hydraulics Division, ,

Geometric Optimization of Labyrinth Spillways and Improvement of Hydraulic Performance Using Gray Wolf Algorithm

A.S. Hoseyni^{1*}, M. Givehchi², J. Jafarasl³

Recived: Jun.11, 2019

Accepted: Aug.14, 2019

Abstract

In this research, optimal design of trapezoidal labyrinth spillway has been investigated using Gray Wolf Optimization (GWO) algorithm with respect to hydraulic conditions. By choosing the assumed volume of spillway concrete as the objective function, after several running the model and trial & error, parameters of the algorithm such as iteration, number of wolves and the penalty coefficient were determined to be 1000, 30 and 10^{11} , respectively and by five times of testing, at the 996th iteration, the optimal response of objective function was achieved. The obtained value from the proposed algorithm was compared to the real value and also the results of the Cuckoo Search (CS) algorithm, Genetic Algorithm (GA) and Differential Evolution (DE) in previous studies. Using GWO algorithm for designing the considered dam's spillway, made reduction of 40.928% in amount of assumed concrete volume and increase the rate of discharge to 10.71% than to real value, which showed a better performance compared to above algorithms. Significant reduction of the consumed concrete volume in the proposed spillway by using GWO algorithm indicates ability and necessity of using this algorithm to solve optimization problems in the field of spillways.

Keywords: Discharge Coefficient, Hydraulic Structures, Labyrinth Spillway, Metaheuristi Algorithm, Optimization

1- M.Sc. Student of Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures, Faculty of Shahid Nikbakht, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Shahid Nikbakht, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

3- Ph.D. Student of Civil Engineering-Water Resources Management, Faculty of Shahid Nikbakht, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

(*- Corresponding Author Email: a_hoseyni5758@pgs.usb.ac.ir)