بهینه سازی بهره برداری از مخزن سد طالقان با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری و هیبرید آن با الگوریتم ژنتیک

اردوان دوانی مطلق[۱] ، محمد صادق صادقیان[۲]*، امیرحسین جاوید[۳]، محمد صادق عسگری[۴]

۱- گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ، ایران

۲- گروه مهندسی عمران ، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی ، تهران، ایران .m.sadeghian@iauctb.ac.ir

۳- گروه مهندسی محیط زیست ، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- گروه ریاضی ، واحد تهران مرکزی ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۲

چکیده

با توجه به افزایش جمعیت، کمبود و محدودیت شدید منابع آب، یکی از گام های اساسی در زمینه مدیریت و برنامه ریزی آب بهینه سازی مخازن می باشد. در پژوهش حاضر، پس از معرفی الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری، عملکرد این الگوریتم به تنهایی و در حالت ترکیب با الگوریتم ژنتیک در مساله ی بهینه سازی بهره برداری از مخزن سد طالقان ارزیابی شده است. تابع هدف به صورت حداقلسازی مجموع مجذور کمبودهای نسبی در تخصیص به آن در هر ماه و ماکزیمم کردن اعتمادپذیری، در طول دوره آماری۱۱ ساله ی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ تعریف‌گردید. همچنین محدودیت های معادله ی پیوستگی مخزن، حجم ذخیره ی مخزن و حجم رهاسازی مخزن بر تابع هدف مساله اعمال شدند. نتایج به دست آمده از شاخص های ارزیابی عملکرد مدل ها نشان دادند از نظر شاخص های اطمینان پذیری زمانی و آسیب پذیری و پایداری الگوریتم هیبریدی گرگ خاکستری – ژنتیک با ۷۲,۷۳ ، ۰,۲۸ ، ۲۴,۶۶ بهتر از الگوریتم گرگ خاکستری با ۶۸,۹۳ ، ۰,۲۹ ، ۲۱,۴۸ و الگوریتم ژنتیک با ۶۶,۶۶ ، ۰,۴۱ ، ۲۱,۳۴ می باشد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، سدطالقان، الگوریتم گرگ خاکستری، الگوریتم ژنتیک

مقدمه

در سال های اخیر افزایش جمعیت، نیاز روز افزون به آب، محدودیت منابع آب و توزیع غیر یکنواخت آن و مصرف بی رویه از این منابع محدود، افزایش نیاز به منابع آبی را سبب گردیده است. تجربه خشکسالی ها ایجاب می کند که در سیاست بهره برداری از آب سدها بازنگری لازم به عمل آید. روشهای مختلفی برای بهره برداری از آب ذخیره شده در مخازن وجود دارد. کلیه ی این روشها بر مبنای یک نظام ساده ی ذخیره و آب در یک دوره ی زمانی معین بنا شده اند، طوری که بر اساس مشاهدات تاریخی آورد رودخانه و نیازها، رهاسازی آب با روشهای علمی به مرحله اجرا درآید. اخیراً الگوریتم های تقریبی توانایی قابل ملاحظه ای در دستیابی به بهره برداری بهینه از مخازن سدها را از خود نشان داده اند. این روش ها به عنوان روش های فرا ابتکاری شناخته می شوند(۱). جیان و همکاران (۲۰۰۵) از الگوریتم ژنتیک برای تخصیص بهینه آب خروجی از مخزن استفاده کردند. آن ها حساسیت احتمالاتی عملگرهای الگوریتم ژنتیک مانند تقاطع و جهش را مورد بررسی قرار دادند. نتایج الگوریتم ژنتیک نشان داد می تواند به عنوان یک گزینه مناسب برای استفاده در مسائل بهینه سازی عمل کند (۲). سمندی زاده و همکاران (۲۰۱۱) بهره برداری بهینه از مخزن سد امیرکبیر را با روش الگوریتم ژنتیک و برنامه ریزی پویا برای سناریو های مارکوفی و سری مشاهداتی انجام دادند. نتایج نشان داد که الگوریتم ژنتیک در تمامی سناریو ها توانایی ارائه نتیجه بهتری را دارد (۳). آذر افزا و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی به بررسی مساله بهینه سازی سد شهرچای با هدف تامین نیاز پایین دست از جمله شرب، کشاورزی و محیط زیست پرداختند. در این مطالعه مقایسه ای بین الگوریتم های آنلینگ، ژنتیک و ازدحام ذرات انجام گرفت که برای هر کدام با ۱۰ مرتبه اجرای برنامه پارامترهای بهینه بدست آمد و با مقایسه نتایج، نشان داده شد که الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات به صورت موثرتری نسبت به سایر روش ها در این مساله عمل می کند (۴). دین پژوه و همکاران (۲۰۱۷) به بهره برداری بهینه از آب سد علویان با استفاده از دو روش فراابتکاری مجموعه ذرات و الگوریتم ژنتیک پرداختند. نتایج نشان داد که الگوریتم مجموعه ذرات با شاخص های قابلیت اعتماد، آسیب پذیری و پایداری به ترتیب معادل با ۸۰,۱۱، ۸۴,۹۱ و ۵۵,۸۹ مناسبتر از الگوریتم ژنتیک می باشد (۵). یاسین

و همکارانش(۲۰۱۸) به بهینه سازی بهره برداری از مخزن سد کارون ۴ با استفاده از الگوریتم هیبریدی جدید ازدحام ماهی مصنوعی – ازدحام ذرات پرداختند. نتایج پژوهش آن ها نشان داد الگوریتم هیبریدی در مقایسه با الگوریتم های تشکیل دهنده آن پایداری و برگشت پذیری بیشتر و آسیب پذیری کمتری داشته است (۶). محمدی و همکارانش (۲۰۱۸) به بهینه سازی بهره برداری از مخزن سد سلمان فارسی با استفاده از الگوریتم هیبریدی جدید وال – ژنتیک پرداختند. نتایج پژوهش آن ها نشان داد الگوریتم هیبریدی پتانسیل بهینه سازی مسائل پیچیده را داراست و در مقایسه با الگوریتم های وال و ژنتیک، پایداری بیشتری داشته است (۷).

در پژوهش حاضر پس از معرفی الگوریتم گرگ خاکستری، عملکرد این الگوریتم با الگوریتم ژنتیک و در حالت هیبرید با الگوریتم ژنتیک در مساله ی بهره برداری بهینه از مخزن سد طالقان ارزیابی شده است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

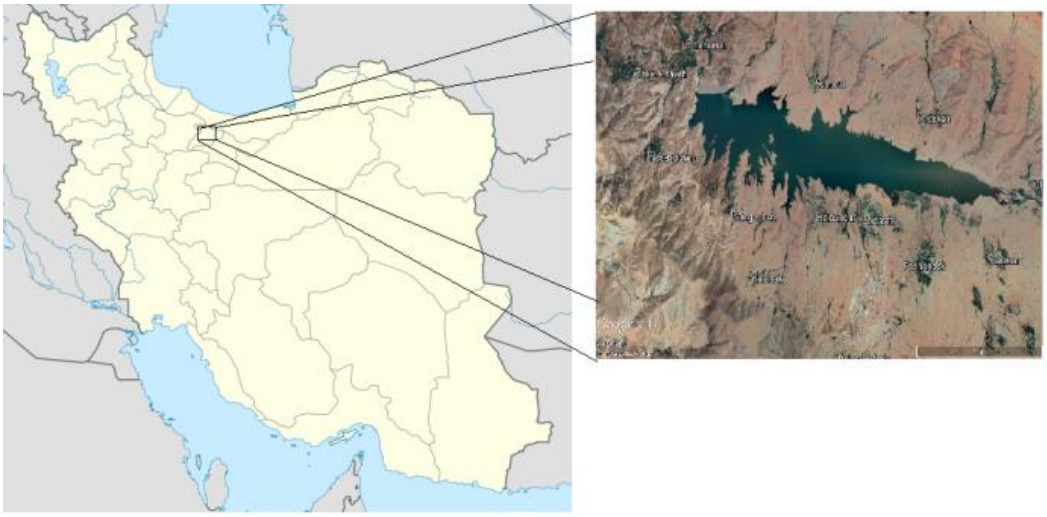
سد طالقان در ۱۳۵ کیلومتری شمال‌غرب تهران باطول جغرافیایی ′۳۷ و °۵۰ الی ′۱۰ و °۵۱ و عرض جغرافیایی ′۵ و °۳۶ الی ′۲۵ و °۳۶ احداث شده است. سد طالقان بر روی رودخانه طالقان در حوضه آبریز سفید رود واقع شده است. این سد خاکی و از جنس سنگریزه با هسته رسی است با تاجی به طول ۱۱۱۱ متر و با ارتفاع ۱۰۹ متر از پی و دارای حجم کل ۴۲۰ میلیون مترمکعب و حجم مرده ۹۱ میلیون متر مکعب است. در جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب رژیم جریان ورودی به مخزن و توزیع نیازماهانه پایاب سد ارائه شده است. در این‌مطالعه، دوره آماری ۱۱ ساله استفاده شد. برای‌تخمین حجم تبخیر خالص (تفاضل تبخیر و بارش) از دریاچه رابطه زیر استخراج ومورد استفاده واقع شد.

$$\mathrm{Loss_t} = \mathrm{A_t} \times (\mathrm{Ev_t} - \mathrm{R_t}) \qquad (۱)$$

$$A_t = a \times e^{(b \times S_t)} + c \times e^{(d \times S_t)} \qquad (۲)$$

که در آن A_t و S_t به ترتیب مساحت دریاچه (km^2) و حجم آب ذخیره شده در سد در ماه t ام (MCM)، E_{vt} و R_t به ترتیب ارتفاع تبخیر و ارتفاع بارش در ماه t ام می باشد، $Loss_t$ میزان تلفات مخزن و a و b و c و d به ترتیب برابر است با:

۸۹۰۸۰۰۰ و $۱۰^{-۱۰}$ × ۸,۷۹ و ۸۶۲۱۰۰۰- و $۱۰^{-۹}$ × ۶,۰۲۶- . در معادله ۱، سطح دریاچه یک پارامتر متغیر است . ضرایب معادله ۲ ، از رسم نمودار سطح-حجم مخزن سد و برازش منحنی بهترین معادله با کمترین خطا تعیین گردید و سطح دریاچه تابعی از حجم دریاچه شد (۸). در این مقاله اطلاعات ورودی به مدل شامل سری زمانی ماهانه حجم آورد رودخانه، حجم تبخیر از سطح مخزن و حجم نیازهای سد می باشد. در مساله ی بهینه سازی حاضر، حجم رهاسازی از مخزن به عنوان متغیر تصمیم می باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی سد طالقان.

جدول ۱ - متوسط جریان ورودی ماهانه به سد طالقان (سالهای ۱۳۹۸- ۱۳۸۸) MCM .

جریان ورودی	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
میانگین	۷۶,۸۰	۱۰۲,۱۰	۷۳,۶۲	۲۹,۵۰	۱۳,۷۱	۹,۸۹	۸,۶۶	۱۶,۲۵	۱۳,۰۵	۱۱,۴۹	۱۳,۷۳	۳۰,۱۷
کمینه	۴۱,۱۱	۶۴,۱۰	۳۲,۲۲	۱۵,۷۴	۶,۹۴	۴,۰۱	۳,۹۱	۷,۶۸	۵,۸۱	۴,۱۲	۸,۳۰	۲۰,۳۳
بیشینه	۱۲۹,۲۱	۱۷۸,۸۱	۱۷۴,۴۱	۵۷,۴۸	۲۱,۴۱	۱۸,۹۴	۱۰,۸۲	۳۳,۹۲	۲۲,۱۴	۱۶,۵۳	۲۳,۹۶	۴۶,۱۹

جدول ۲ - نیاز آبی در ماه‌های مختلف در سد طالقان MCM

نیاز	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
شرب	۱۴,۸۸	۱۶,۹۸	۱۹,۷۷	۲۲,۷۵	۲۲,۴۰	۲۱,۳۵	۱۸,۷۲	۱۶,۴۵	۱۴,۵۲	۱۴,۰۰	۱۳,۶۵	۱۴,۵۲
کشاورزی	۷,۵	۲۸,۳	۲۷,۵	۲۴,۸	۲۳,۳	۱۴,۱	۲۳,۱	۱,۴	۰	۰	۰	۰
تغذیه مصنوعی	۱,۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴,۷	۵,۶	۴,۳	۴,۳
محیط زیست	۷,۹	۱۲,۵	۹,۳	۵,۴	۶,۴	۴,۳	۴,۷	۵,۱	۳,۹	۳,۹	۴,۱	۹
جمع	۳۱,۸۸	۵۷,۷۸	۵۶,۵۷	۵۲,۹۵	۵۲,۱	۳۹,۷۵	۴۶,۵۲	۲۲,۹۵	۲۳,۱۲	۲۳,۵	۲۲,۰۵	۲۷,۸۲

با توجه به جدول ۱ و ۲ مجموع سالانه نیازهای شرب و کشاورزی و تغذیه مصنوعی و محیط زیست MCM ۴۵۶,۹۹ می باشد.

الگوریتم گرگ خاکستری (GWO)

این الگوریتم از زندگی گرگ های خاکستری الهام گرفته است (۹). آن ها علاقه خاصی به سلسله مراتب اجتماعی دارند. رهبران یک مرد و یک زن به نام آلفا می باشند. آلفا عمدتاً مسئول تصمیم گیری در مورد شکار، مکان خواب، زمان برای بیدار کردن و غیره است. تصمیم گیری های آلفا به بقیه انجمن دیکته می شود. این موضوع نشان می دهد که سازمان و نظم و انضباط در یک انجمن با اهمیت تر از قدرت

است. درسطح دوم در سلسله مراتب گـرگ خاکسـتری بتـا اسـت. بتاهـا گـرگ تـابعی می باشند که به آلفا در تصمیم گیـری یـا سـایر فعالیـت هـای انجمـن کمـک مـی کننـد. کمتـرین رتبه بندی گرگ خاکستری امگا است. امگا نقش گوسفند قربانی را دارد. گرگ امگـا همیشـه باید در خدمت دیگر گرگ های غالب باشد. آن ها آخرین گرگ انجمـن مـی باشـند کـه اجـازه ی غذا خوردن دارند. اگر گرگی نه آلفا، نه بتا و نه امگا باشد در نتیجه به آن دلتا گوینـد. آن هـا در خدمت گرگ های آلفا و بتا می باشند و باید به آن ها خدمت کنند. سلسله مراتب اجتماعی در گروه گرگهای خاکستری در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. مهـم تـرین فازهـای شـکار در انجمن گرگ خاکستری شامل موارد زیر است.

۱. دنبال کردن ۲. رسیدن به شکار ۳. دوره کردن ۴. موقعیت حمله گرفتن ۵. حمله کردن.

به منظور مدل سازی ریاضیاتی این فرآیند معادلات زیر در نظر گرفته می‌شوند

$$\vec{X}_{(t+1)} = \overrightarrow{Xp}_{(t)} - \left(\vec{A} \times \overrightarrow{D_t}\right) \qquad (۳)$$

t تعداد تکرار، $\overrightarrow{A}$ و $\vec{D}$ بردار ضرایب هستند$\overrightarrow{Xp}$ موقعیت طعمه است و $\vec{X}$ موقعیت گرگهای خاکستری می باشد.

$$\vec{D} = \left|(\vec{C} \times \overrightarrow{Xp}_t) - \vec{X}_t\right| \qquad (٤)$$

$$\vec{A} = a(۲r_۱ - ۱) \qquad (٥)$$

$$\vec{C} = ۲r_۲ \qquad (٦)$$

که در آن مولفه ی a در طول دوره ی تکرار از ۲ تا ۰ به صورت خطی کاهش پیدا می کند، $r_۱$ و $r_۲$ بردارهای تصادفی دربازه ی[۱و۰] است.

به منظور مدلسازی ریاضی رفتار شکار گرگ خاکستری از α (بهترین راهحل نامزد)، β (دوم بهترین راهحل نامزد)، δ (سومین بهترین راهحل نامزد) با این فرض که بهترین دانش در مورد موقعیت طعمه را دارند، استفاده می کنیم. بنابراین سه بهترین جوابی را که تاکنون داریم حفظ کرده و سایر عاملهای جستجو از قبیل امگا را مجبور می کنیم تا موقعیت خودشان را با توجه به موقعیت بهترین عاملهای جستجو بروزرسانی کنند. برای بروزرسانی موقعیت گرگها ازمعادله ۷ استفاده می کنیم.

$$\vec{X}_{(t+1)} = \frac{\overrightarrow{X1}_t + \overrightarrow{X2}_t + \overrightarrow{X3}_t}{۳} \qquad (۷)$$

که در آن $\vec{X}3$، $\vec{X}2$، $\vec{X}1$ در معادلات ۸، ۹ و ۱۰ تعریف شدند.

$$\overrightarrow{X1}_t = \left|\overrightarrow{X\alpha}_t - (\overrightarrow{A1} \times \overrightarrow{D\alpha}_t)\right| \qquad (۸)$$

$$\overrightarrow{X2}_t = \left|\overrightarrow{X\beta}_t - (\overrightarrow{A2} \times \overrightarrow{D\beta}_t)\right| \qquad (۹)$$

$$\overrightarrow{X3}_t = \left|\overrightarrow{X\delta}_t - (\overrightarrow{A3} \times \overrightarrow{D\delta}_t)\right| \qquad (۱۰)$$

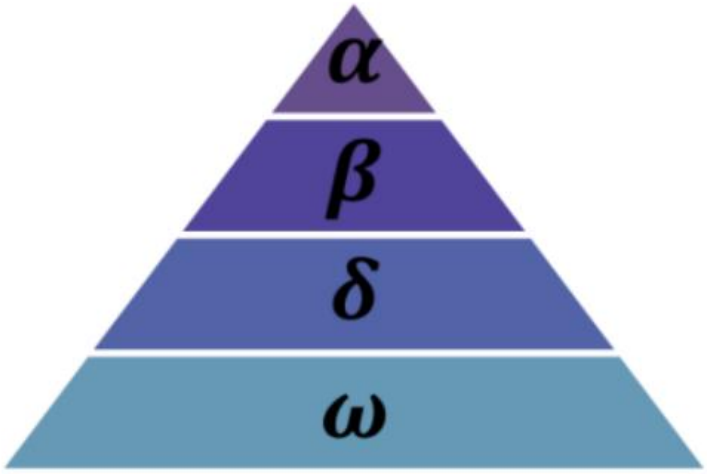
که در آن $\overrightarrow{X\alpha}$ و $\overrightarrow{X\beta}$ و $\overrightarrow{X\delta}$ موقعیت اولین سه بهترین راه حل در یک t تکرار داده می شود. $\overrightarrow{A1}$ و $\overrightarrow{A2}$ و $\overrightarrow{A3}$ از معادله ۵ و $\overrightarrow{D\alpha}$ و $\overrightarrow{D\beta}$ و $\overrightarrow{D\delta}$ به ترتیب در معادلات ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ تعریف شدند.

$$\overrightarrow{D\alpha}_t = \left|(\overrightarrow{C1} \times \overrightarrow{X\alpha}) - \vec{X}\right| \qquad (۱۱)$$

$$\overrightarrow{D\beta}_t = \left|(\overrightarrow{C2} \times \overrightarrow{X\beta}) - \vec{X}\right| \qquad (۱۲)$$

$$\overrightarrow{D\delta}_t = \left|(\overrightarrow{C3} \times \overrightarrow{X\delta}) - \vec{X}\right| \qquad (۱۳)$$

که در آن $\overrightarrow{C1}$ و $\overrightarrow{C1}$ و $\overrightarrow{C1}$ سه بردار تصادفی هستند که در معادله ۶ تعریف شدند.



شکل ۲ - سلسله مراتب اجتماعی در گروه گرگهای خاکستری

الگوریتم ژنتیک (GA)

این الگوریتم اولین بارتوسط هالند (۱۹۷۵) ارائه و به عنوان یک ابزارقوی بهینه سازی توسعه یافت(۱۰) .

اساس این روش مبتنی برنظریه داروین وتنازع بقاءاست که بیان می کند همواره موجوداتی ادامه حیات دارندکه ازهمه پایدارترند. الگوریتم ژنتیک ازمجموعه ای ازجوابهای تصادفی اولیه به نام جمعیت آغاز به کار می

کند. هرجمعیت ازمجموعه کروموزومها که هرکدام یک جواب مسئله هستند، تشکیل می گردد و هرکروموزوم ازمجموعه ای از ژنها یا در واقع متغیرهای تصمیم مسئله تشکیل شده است. بزرگی جمعیت برعملکرد **GA** تأثیر می گذارد به طوری که اگرجمعیت خیلی کم باشد، به دلیل عدم جستجوی تمام فضای جواب، ممکن است الگوریتم به جواب مطلوب همگرا نگردد واگرخیلی زیاد باشد،گرچه فضای بیشتری جستجومی شود ولی سرعت همگرایی به سمت جواب بهینه کند خواهد بود و زمان اجرای برنامه طولانی می گردد. در الگوریتم ژنتیک دونوع عملگر موجود است، عملگرهای تکاملی مانند انتخاب وعملگرهای ژ نتیک مانند تلاقی و جهش. فرآیند انتخاب برمبنای میزان شایستگی توابع هدف متناظر با هرکروموزوم درهر نسل بوده و معیار انتخاب کروموزومها نیز براساس شایستگی آنها می باشد.

الگوریتم گرگ خاکستری-ژنتیک (GWOGA)

هر الگوریتم بهینه سازی در مواجهه با مسائل مختلف ضعف ها و قوت های فراوانی دارد. هدف از ایجاد الگوریتم های ترکیبی آن است که بتواند با استفاده از قوت های الگوریتم های ترکیب شونده، عملکرد بهتری را در مسائل بهینه سازی مختلف داشته باشند. الگوریتم هیبریدی گرگ خاکستری-ژنتیک با اضافه کردن عملگرهای الگوریتم ژنتیک شامل احتمال ترکیب و احتمال جهش به الگوریتم گرگ خاکستری تولید گردید. در این پژوهش کد نویسی الگوریتم های مورد نظر در نرام افزار MATLAB R۲۰۲۰a انجام شد و نتایج الگوریتم ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

شاخص‌های‌عملکردمخزن

به‌منظور امکان بررسی عملکرد الگوریتم های GWO و GA از شاخص‌های قابلیت اعتماد، آسیب پذیری و پایداری استفاده شد. شاخص قابلیت اعتماد احتمال اینکه سامانه درطول دوره عملکرد خود در حالت بهره‌برداری نرمال(عدم‌شکست) قرارگیرد را ارائه می‌دهد. این‌شاخص به دو صورت حجمی و زمانی به شرح زیرقابل‌تعریف است.

قابلیت اعتمادحجمی نسبت حجم آب رها شده در کل دوره (Re_t) به مقدار حجم

آب مورد نیازپایین‌دست‌مخزن است (D_{et}) که از رابطه زیربه‌دست آمد.

$$\delta_v = ۱۰۰ \times \left(\frac{Re_t}{De_t}\right) \qquad (۱٤)$$

قابلیت اعتماد زمانی

درصدی از زمان است که مخزن قادر به تأمین تقاضا است (یعنی‌باشکست روبرونمی‌شود) (۱۰).

$$\delta_t = ۱۰۰ \times \left[۱ - \frac{NDef}{T}\right] \qquad (۱٥)$$

$$NDef = Number\ (\alpha \times Det > Ret)$$

که در آن NDef وt به‌ترتیب تعداد دوره‌های مواجه با شکست و کل دوره‌های بهره‌برداری می‌باشد. α ضریب اطمینان است که نشان می دهد شکست در محاسبه شاخص قابلیت اعتماد زمانی تا چه اندازه قابل قبول است. در این مطالعه، α=۰,۹ استفاده شد. به طور کلی ضریب اطمینان مصرف شرب ۰,۹۵، برای نیازهای زیست محیطی ۰,۹ و برای کشاورزی ۰,۸۵ است. در این مطالعه از آنجا که کل تخصیص را بررسی می کنیم از ۰,۹ = α استفاده کردیم که می تواند به عنوان یک مقدار متوسط برای α در نظر گرفته شود.

شاخص آسیب‌پذیری

بیانگر بزرگی شکست‌های سامانه می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه شد.

$$\eta = \max_{t=۱,۲,\dots,T}\left(\frac{De_t - Re_t}{De_t}\right) \qquad (۱٦)$$

که در آن D_{et} و R_{et} به ترتیب حجم آب مورد تقاضا و رهاشده در دوره t ام و T تعدادکل دوره‌های بهره‌برداری می‌باشد.

شاخص‌پایداری

لاکس (۱۹۹۷) شاخص‌پایداری را به‌شرح زیرمعرفی‌نمود (۱۱):

$$\Phi = \delta\ \gamma\ (۱ - \eta) \qquad (۱۷)$$

که در آن δ و η به ترتیب شاخص‌های اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری می‌باشد و γ سرعت برگشت‌پذیری بوده که از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$\gamma = ۱/f/fs \qquad (۱۸)$$

که در آن f_s تعداد دوره‌های شکست به‌طور پیوسته و f تعدادکل دوره‌های زمانی می‌باشد.

مدل ریاضی بهره‌برداری بهینه از مخزن

در این مطالعه تابع‌هدف به صورت کمینه سازی مجموع مربعات نسبت کمبود به تقاضا و ماکزیمم کردن اعتماد پذیری تعریف شد. تابع هدف و قیدها به شرح زیرمی باشد:

$$min\ F = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{R_t - D_t}{D_t}\right)^2 + \frac{1}{\delta_t} + P \qquad (19)$$

Subject to:

$$S_{t+1} = S_t + Q_t + Loss_t + Re_t + Spill_t \qquad (20)$$

$$R_{min} \le R_t \le R_{max} \qquad (21)$$

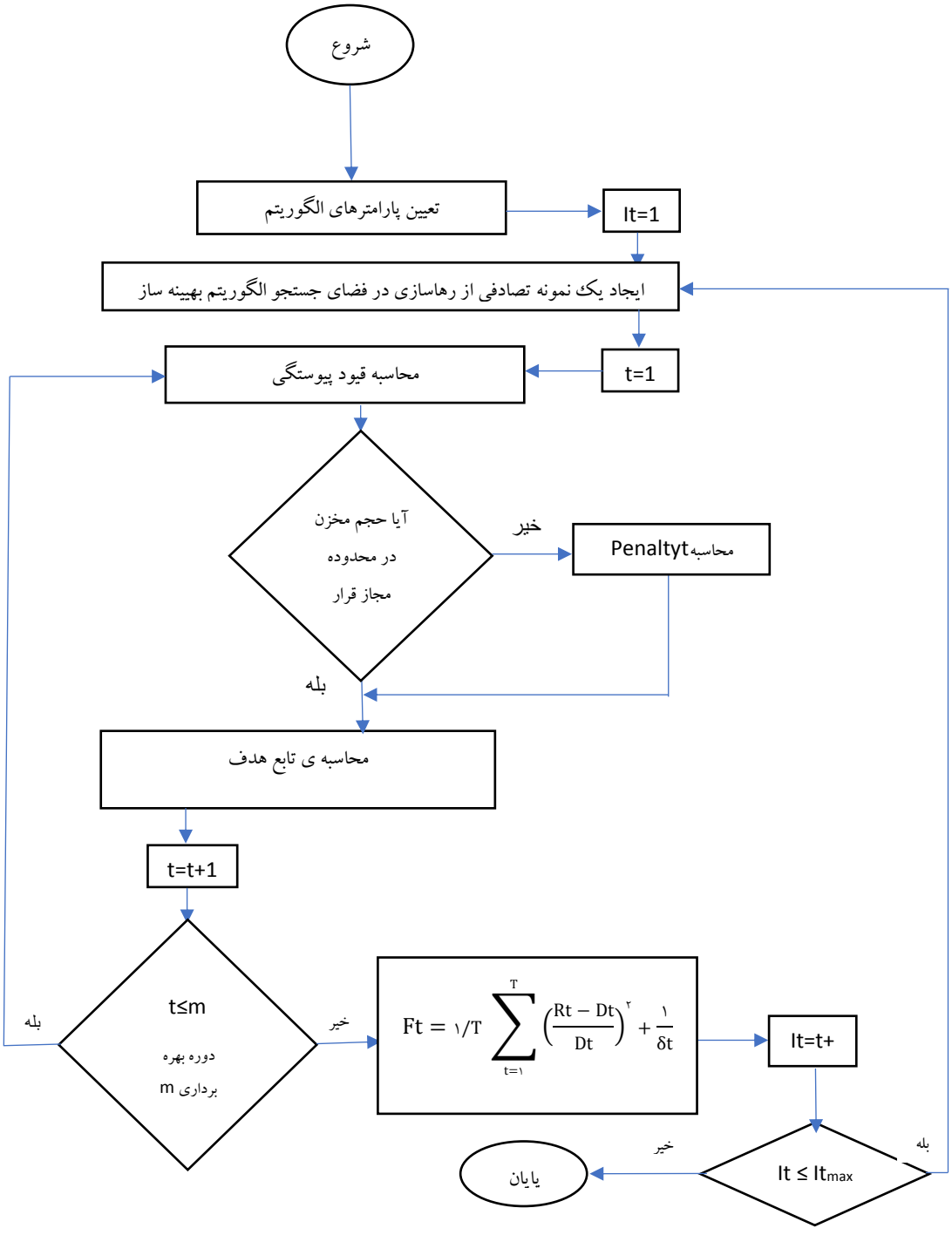
$$S_{min} \le S_t \le S_{max} \qquad (22)$$

$$P = \begin{cases} \sum_{t=1}^{T} \frac{S_{min} - S_t}{S_{min}} & if\ (S_t < S_{min}) \\ \sum_{t=1}^{T} \frac{S_t - S_{max}}{S_{max}} & If\ (S_t < S_{max}) \end{cases} \qquad (23)$$

.

که در آن R_t میزان‌حجم آب رهاسازی، D_t میزان‌حجم آب موردتقاضا، δt اعتماد پذیری زمانی، S_{t+1} مقدارحجم آب ذخیره شدهدر مخزن در ماه بعد، S_t مقدارحجم آب ذخیره شده در مخزن، R_{min} و R_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر آب رها شده از مخزن، S_{min} و S_{max} به‌ترتیب کمینه و بیشینه آب ذخیره‌شده در مخزن،P تابع جریمه مربوط به حجم مخزن، Q_t حجم‌جریان ورودی به‌مخزن، $Loss_t$ میزان تلفات مخزن، $Spill_t$ حجم آب سرریز شده و اندیس t شماره ماه است.

شکل شماره ۳ فلوچارت مدل بهره برداری بهینه از مخزن سد طالقان را نشان می دهد.



شکل ۳- فلوچارت مدل بهره برداری بهینه از مخزن سد

نتایج و بحث

در اغلب الگوریتم های بهینه سازی پارامتر های قابل تنظیم مختلفی تعریف شده اند که تغییر هر یک از این پارامترها به تغییر در زمان اجرای الگوریتم و مقدار جواب بهینه ی تابع هدف منجر می شود. مقادیر مناسب پارامترهای قابل تنظیم در مدل های الگوریتم ژنتیک، الگوریتم گرگ خاکستری و الگوریتم هیبریدی گرگ خاکستری-ژنتیک در جدول ۳ تا ۵ نشان داده شده است.

جدول ۳ -مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم ژنتیک

نام پارامتر	مقدار مناسب
تعداد تکرار	۲۵۰۰
تعداد جمعیت	۵۰۰
احتمال ترکیب	۰,۹
احتمال جهش	۰,۳
نوع انتخاب والدین	چرخه ی رولت

جدول ۴ -مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم گرگ خاکستری

نام پارامتر	مقدار مناسب
تعداد تکرار	۲۵۰۰
تعداد جمعیت	۵۰۰

جدول ۵ –مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم گرگ خاکستری-ژنتیک

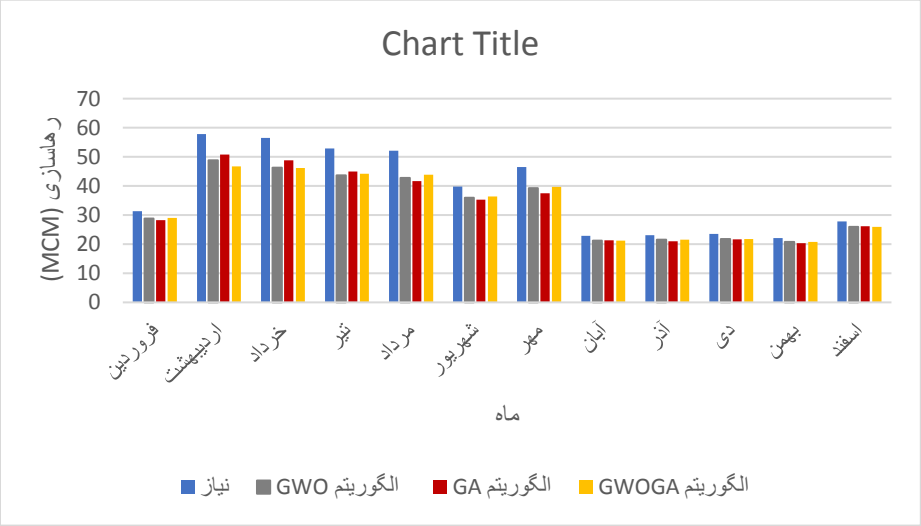
نام پارامتر	مقدار مناسب
تعداد تکرار	۲۵۰۰
تعداد جمعیت	۵۰۰
احتمال ترکیب	۱
احتمال جهش	۰,۳
نوع انتخاب والدین	چرخه ی رولت

مقادیر تابع هدف، شاخص های اطمینان پذیری حجمی، اطمینان پذیری زمانی، آسیب پذیری و پایداری برای مدل های الگوریتم گرگ خاکستری، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم هیبریدی گرگ خاکستری-ژنتیک در جدول شماره ۶ نشان داده شده است. از نظر مینیمم کردن تابع هدف الگوریتم هیبریدی گرگ خاکستری-ژنتیک در رتبه اول، الگوریتم گرگ خاکستری و الگوریتم ژنتیک در رتبه های بعدی قرار می گیرند. از نظر اطمینان پذیری حجمی، هر سه مدل توانسته اند مقدار قابل قبولی از نیازهای سد را تامین کنند اما الگوریتم ژنتیک با ۸۷,۱۲ درصد در رتبه نخست جای دارد. از نظر اطمینان پذیری زمانی الگوریتم هیبریدی گرگ خاکستری-ژنتیک با ۷۲,۷۳ درصد بهترین عملکرد را نشان داده است. همچنین در شرایط خشکسالی با ۰,۲۸ شامل کمترین آسیب پذیری می باشد. با توجه به تابع هدف (مینیمم کردن آسیب پذیری و ماکزیمم کردن اعتماد پذیری) الگوریتم گرگ خاکستری-ژنتیک در مقایسه با الگوریتم های تشکیل دهنده خود عملکرد بهتری را نشان می دهد. نهایتا از نظر شاخص پایداری هم که یک شاخص کلی می باشد و شاخص های دیگر را نیز در بر می گیرد، الگوریتم هیبریدی با ۲۴,۶۶ نسبت به الگوریتم گرگ خاکستری و الگوریتم ژنتیک با ۲۱,۴۸ و ۲۱,۳۴ بالاتر می باشد.

جدول ۶- مقادیر تابع‌هدف و شاخص‌های‌عملکرد مخزن در بهره‌برداری از مخزن‌سدطالقان‌با روش‌هایGWO و GAو GWOGA

مدل	تابع هدف	کمبود (MCM)	اعتمادپذیری حجمی(٪)	اعتمادپذیری زمانی(٪) α=۰,۹	آسیب پذیری	پایداری(٪)
GWO	۰,۰۳۳۰۶	۶۵۵,۹۲	۸۶,۹۳	۶۸,۹۳	۰,۲۹۰۳	۲۱,۴۸
GA	۰,۰۳۸۸۶	۶۴۶,۳۷۷	۸۷,۱۲	۶۶,۶۶	۰,۴۱۳۱	۲۱,۳۴
GWOGA	۰,۰۳۲۴۲	۶۵۰,۹۳	۸۷,۰۳	۷۲,۷۳	۰,۲۸	۲۴,۶۶

شکل۴ متوسط ماهانه برداشت آب را در مدل GA،GWO، GWOGA و نیاز ماهانه سد رانشان می دهد. باتوجه به شکل۴ مدل GWOGA با ذخیره‌سازی آب در ماه‌های اردیبهشت و خرداد مقدار بیشتری از نیاز را در ماه‌های مرداد، شهریور و مهر تامین می‌کند. همچنین الگوریتم GWOGA کمبود ها را یکنواخت و شدت آن ها را در ماه‌های بحرانی‌کاهش می‌دهد.



شکل ۴- متوسط‌ماهانه رهاسازی در GA، GWO، GWOGA و نیاز ماهانه سد

نتیجه گیری کلی

در پژوهش حاضر عملکرد الگوریتم گرگ خاکستری و ژنتیک به تنهایی و در حالت ترکیب با هم در مساله ی بهینه سازی بهره برداری سد مورد ارزیابی قرار گرفت. منطقه ی مطالعه شده سد مخزنی طالقان در ۱۳۵ کیلومتری شمال‌غرب تهران می باشد. افق برنامه ریزی شامل یک دوره ی ۱۳۲ ماهه است. هر مساله ی بهینه سازی از سه بخش متغیر های تصمیم و حالت، تابع هدف و قیود مساله تشکیل شده است. در مساله ی بهینه سازی حاضر، حجم رهاسازی از مخزن بعنوان متغیر تصمیم و سری زمانی ماهانه ی حجم آورد رودخانه بعنوان متغیر حالت تعیین شد. تابع هدف مدل بهینه سازی به صورت حداقلسازی مجموع مجذور کمبودهای نسبی در تخصیص به آن در هر ماه و ماکزیمم کردن اعتمادپذیری تعریف شد. محدودیت های معادله ی پیوستگی مخزن، حجم ذخیره ی مخزن و حجم رهاسازی از مخزن به تابع هدف مساله اعمال شدند. عملکرد الگوریتم های پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از الگوریتم های رایج در این زمینه مقایسه شد. عملکرد مدل ها بر اساس معیارهای اطمینان پذیری زمانی و حجمی، آسیب پذیری و پایداری ارزیابی شدند. نتایج به دست آمده از جوابهای بهینه نشان دادند مقدار جواب بهینه مدل الگوریتم هیبریدی گرگ خاکستری-ژنتیک با ۰,۰۳۲۴۲ بهتر از مدل الگوریتم گرگ خاکستری و ژنتیک با ۰,۰۳۳۰۶ و ۰,۰۳۸۸۶ می باشد. همچنین از نظر معیار های اطمینان پذیری زمانی، آسیب پذیری و پایداری الگوریتم پیشنهادی هیبریدی با ۷۲,۷۳، ۰,۲۸ و ۲۴,۶۶ بهترین عملکرد را دارا می باشد. نتایج پژوهش حاضر با یاسین و همکارانش که نشان دادند الگوریتم هیبریدی عملکرد بهتری نسبت به هر یک از الگوریتم های تشکیل دهنده خود دارد نیز مطابقت دارد. در ادامه پیشنهاد می شود کارایی مدل الگوریتم گرگ خاکستری-ژنتیک در بهره برداری از سیستم های چند مخزنه بررسی شود.

منابع

1. Othman, F., Sadeghian, M.S. 2012. Investigate the Potential and Limitations of Meta-heuristics Algorithms Applied in Reservoir Operation Systems, 6th Symposium on Advances in Science and Technology (6thSASTech).

2. Jian-Xia, C., Qiang, H. and Yi-Min, W. 2005. Genetic algorithms for optimal reservoir dispatching. Water Resources Management, 19(4): 321-331

3. Samadianfard, S., Delirhasannia, R. 2015. Forecasting Shaharchay river flow in lake Urmia basin using Genetic programming and M5 model tree. Journal of Water and Soil, 29(5) 1190-1206.

4. Azarafza, H., and Rezaei, H., and Behmanesh, J., and Besharat, S. 2012. Comparison of the results of using PSO, GA and SA algorithms in optimization of single reservoir systems (Case study: Shahrshachay Dam, Urmia). Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries), 26 (5), 1101-1108.

5. Dinpashoh, Y., Sattari, M.T., Ebrahimi, S., Darbandi, S. 2017. Optimum operation of reservoir using the Genetic Algorithm and Particle Swarm optimization (case study: Alavian dam). Soil and Water Journal, 27(2) 17-29.

6. Yaseen, ZM., Karami, H., Ehteram, M., Mohd, NS., Mousavi, SF., Hin, LS., Kisi, O., Farzin, S., Kim, S., El-Shafie, A. 2018. Optimization of Reservoir Operation Using New Hybrid Algorithm. KSCE Journal of Civil Engineering.:1-3

7. Mohammadi, M., Mousavi, S., Farzin, S., Karami, H. 2019. Optimal operation of Salman Farsi dam reservoir using Wall algorithm and its hybrid with genetic algorithm based on multi-criteria decision method. Echo Hydrology, 6 (2), 281-293.

8. Kia, I., Emadi., A, Gholami, M. 2018. Efficiency of different optimization methods in the operation of Haraz dam reservoir. Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 8 (4), 184-196.

9. Mirjalili, S., Mirjalili, S.M. and Lewis, A. 2014. Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*. ٦٩, .٦١٤٦.

١٠. Holland, J.H. ١٩٧٥. Adaption in Natural and Artificial Systems. The *University of Michigan Press, Ann Harbor*, MI.

11. Hashimoto, T., Stedinger, J.R., Louck, D.P. 1982. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research* 18(1): 14- 20.

12. Loucks, D.P. 1997. Quantifying trends in system sustainability. *Hydrological Sciences Journal* 42(4):513-530.