نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال ششم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۶

ISSN 2251-7480

ارزیابی عملکرد الگوریتم تکاملی تفاضلی در بهره‌برداری بهینه از سیستم تک مخزنه سد علویان

رضا دشتی[1*]، محمدتقی ستاری[2] و وحید نورانی[3]

۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب؛ دانشکده عمران؛ دانشگاه تبریز؛ تبریز؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: dashti.reza.crs@gmail.com

۲) استادیار؛ گروه مهندسی منابع آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تبریز؛ تبریز؛ ایران

۳) استاد؛ گروه مهندسی منابع آب؛ دانشکده عمران؛ دانشگاه تبریز؛ تبریز؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰٤/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۹

چکیده

یکی از چالش‌های مهم در مدیریت منابع آب، بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدهاست. در واقع نیاز مبرم به استفاده صحیح و مؤثر از منابع آب، انجام برنامه‌ریزی جامع و بهره‌برداری صحیح از سدها را بیش از پیش ضروری می‌سازد. در این تحقیق، عملکرد الگوریتم تکامل تفاضلی در مقایسه با الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح‌شده و برنامه‌ریزی غیرخطی به‌منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن سد علویان بر روی رودخانه صوفی چای به‌عنوان یکی از سدهای نسبتاً مهم در حوضه دریاچه ارومیه، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اهمیت حیاتی جریان زیست‌محیطی جهت جلوگیری از مرگ دریاچه ارومیه، مدل بهینه‌سازی با در نظر گرفتن تأمین کامل حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه صوفی چای، تأمین صد در صد نیاز شرب، صنعت و به حداقل رساندن شدت کمبودهای کشاورزی توسعه داده شد. جهت بررسی عملکرد الگوریتم‌های مورد بررسی در بهره‌برداری بهینه از مخزن، از شاخص‌های عملکرد مخزن شامل قابلیت اعتماد، آسیب‌پذیری و شاخص پایداری مخزن استفاده گردید. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از عملکرد بالای الگوریتم تکامل تفاضلی در مقایسه با دیگر روش‌های مورد بررسی در بهره‌برداری بهینه از سیستم تک مخزنه سد علویان بود.

کلیدواژه‌ها: الگوریتم اصلاح‌شده جستجوی هارمونی؛ الگوریتم تکامل تفاضلی؛ بهره‌برداری بهینه؛ سد علویان

مقدمه

ایران کشوری است که از نظر اقلیمی در کمربند خشک و نیمه‌خشک قرارگرفته است. کمبود منابع آب در ایران در شرایطی احساس می‌شود که افزایش جمعیت و سطح زندگی مقدار سرانه مصرف آب را به‌ویژه در بخش کشاورزی شدیداً بالابرده است. سد علویان بر روی رودخانه صوفی چای قرار داشته و یکی از سدهای نسبتاً مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. در شرایطی که بحران خشک شدن دریاچه ارومیه جدی است، ارائه سیاست بهره‌برداری بهینه از مخزن این سد با لحاظ تأمین نیاز زیست‌محیطی بسیار ضروری است. در سال‌های اخیر با پیشرفت در علوم رایانه‌ای اقبال به کاربرد روش‌های نوین بهینه‌سازی فراکاوشی در بهره‌برداری از مخازن سدها نیز در ایران و خارج از ایران افزایش چشم‌گیری داشته است.

Jian-Xia و همکاران (۲۰۰۵)، از الگوریتم ژنتیک برای تخصیص بهینه آب خروجی از مخزن استفاده کردند. آن‌ها حساسیت احتمالاتی عملگرهای الگوریتم ژنتیک مانند تقاطع و جهش را موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، الگوریتم ژنتیک می‌تواند به‌عنوان یک گزینه

Archive of SID

www.SID.ir

مناسب برای استفاده در مسائل بهینه‌سازی عمل کند. Geem (۲۰۰۷)، الگوریتم جستجوی هارمونی[1] را در بهینه‌سازی چند هدفه یک سیستم چند مخزنه برای دوره یک‌ساله بکار گرفت و نتایج این روش را با نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک مقایسه کرد. نتایج نشان داد که هر دو الگوریتم جواب نزدیک به بهینه سراسری می‌دهند با این تفاوت که الگوریتم جستجوی هارمونی خیلی سریع‌تر همگرا می‌شود. Mahdavi و همکاران *(۲۰۰۷)*، الگوریتم اصلاح‌شده جستجوی هارمونی[2] را پیشنهاد نمودند. آن‌ها با مقایسه نتایج حاصل از کاربرد الگوریتم IHS و HS دریافتند که سرعت همگرایی به‌مراتب در IHS سریع‌تر بوده و نتایج بهتری ارائه می‌دهد. Sattari و همکاران *(۲۰۰۹)*، کارآیی سیستم مخزن سد علویان را در طی سه فاز مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها تابع هدف را به‌صورت بیشینه‌سازی مجموع آب خروجی مورد نیاز کشاورزی تعریف کردند. نتیجه حاصل از تحقیقات آن‌ها نشان داد که ظرفیت برآورده شده در طول مطالعات مقدماتی نسبتاً صحیح بوده و عملیات بهره‌برداری انجام‌گرفته در طول دوره مورد مطالعه در حد نسبتاً رضایت‌بخشی بوده است عدم لحاظ جریان زیست‌محیطی رودخانه به‌عنوان ضعف اساسی مدل ایشان قابل ارزیابی است. رزاقی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل MODSIM8.1 سیاست جیره‌بندی بهره‌برداری از مخزن چندمنظوره سد نمرود را در شرایط محدودیت منابع آب توسعه دادند. الگوریتم جیره‌بندی توسعه داده‌شده توانست سیاست جیره‌بندی و شاخص‌های اعتمادپذیری و پایداری سیستم را به‌ترتیب ۱۰ و ۷ درصد افزایش دهد. حسینی موغاری و بنی حبیب (۱۳۹۳)، الگوریتم کرم شب‌تاب را برای بهره‌برداری بهینه از مخزن سد بازفت برای یک دوره ۱۲۰ ماهه بکار گرفتند. آن‌ها عملکرد این الگوریتم را با الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات مقایسه و ارزیابی کردند؛ که نتایج حاکی از عملکرد بهتر الگوریتم کرم شب‌تاب نسبت به دو روش دیگر بود. Kougias و Theodossiou (۲۰۱۳)، کاربرد الگوریتم جستجوی هارمونی در برنامه‌ریزی سیستم سد چهار مخزنه، با مقاصد آبیاری و برق‌آبی را مورد بررسی قراردادند. تابع هدف ایشان بیشینه‌سازی سود روزانه از سیستم مخزن برای گام‌های زمانی ۲ ساعته بود. ایشان با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از این روش با سایر روش‌ها نشان دادند که الگوریتم جستجوی هارمونی پتانسیل بهینه‌سازی مسائل پیچیده را داراست. Bashiri-Atrabi و همکاران (۲۰۱۵)، کاربرد الگوریتم جستجوی هارمونی را در بهره‌برداری بهینه از مخزن نرماب مورد مطالعه قرار داده و نتایج حاصله را با روش بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل و روش برنامه‌ریزی غیرخطی مورد مقایسه قراردادند. نتایج نشان داد که الگوریتم جستجوی هارمونی، برای بهینه کردن مقدار تابع هدف نتایج رضایت‌بخشی در سرعت همگرایی نسبت به سایر روش‌ها دارا می‌باشد. الگوریتم تکامل تفاضلی[3] که اولین بار توسط Storn و Price (۱۹۹۵) معرفی شد، کلاسی از الگوریتم‌های تفاضلی می‌باشد که از نظر مفهوم و پیاده‌سازی ساده می‌باشد. این الگوریتم یک روش بهینه‌سازی کارآمد در محیط‌های پیوسته است و در طیف وسیعی از مهندسی به کار می‌رود. Storn و Price (۱۹۹۷) در تحقیق بعدی خود، با استفاده از توابع محک بسیار متنوعی عملکرد الگوریتم خود را با تعدادی از مشهورترین روش‌های بهینه‌سازی مقایسه کردند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان‌دهنده برتری الگوریتم تکامل تفاضلی بود. این الگوریتم در مسائل مهندسی آب، به‌ویژه در مسائل بهینه‌سازی سیستم پمپاژ آب مورداستفاده قرار گرفت (Angira and Babu, 2003). Vasan و Raju (۲۰۰۷)، الگوریتم تکامل تفاضلی را برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری در هندوستان بکار بردند. Reddy و Kumar (۲۰۰۷)، الگوریتم تکامل تفاضلی را در

[1] Harmony Search Algorithm
[2] Improved Harmony Search Algorithm
[3] Differential Evolution Algorithm

Archive of SID
www.SID.ir

بهینه‌سازی چندهدفه سیستم مخزن استفاده کردند. آن‌ها از الگوریتم تکامل تفاضلی چندهدفه برای تولید جواب‌های بهینه پارتو استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم تکامل تفاضلی چندهدفه دارای همگرایی مناسبی در پیدا کردن راه‌حل صحیح پارتو می‌باشد. Regulwar و همکاران (۲۰۱۰)، در پژوهشی از الگوریتم تکامل تفاضلی باهدف به حداکثر رساندن تولید برق‌آبی برای بهره‌برداری بهینه از مخازن چندمنظوره استفاده کردند و استراتژی‌های مختلف الگوریتم تکامل تفاضلی و الگوریتم ژنتیک را مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل الگوریتم تکامل تفاضلی در مورد سیاست بهره‌برداری از مخزن نتیجه مطلوب‌تری داشته و همبستگی بهتری از خود نشان می‌دهد. Qin و همکاران (۲۰۱۰)، از الگوریتم تکامل تفاضلی فرهنگی چندهدفه[4] برای تولید جواب بهینه مشابه و جایگزین در بهره‌برداری از کنترل سیلاب مخزن استفاده کردند. آن‌ها در یک مطالعه موردی به این نتیجه رسیدند که الگوریتم تکامل تفاضلی فرهنگی چندهدفه همگرایی مناسبی برای پیدا کردن راه‌حل صحیح پارتو در یک‌زمان کوتاه را دارا می‌باشد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای تولید جواب‌های بهینه در بهره‌برداری چند هدفه کنترل سیلاب مخزن باشد. Guo و همکاران (۲۰۱۳)، کاربرد الگوریتم تکامل تفاضلی پیچیده درهم چندهدفه[5] در بهینه‌سازی پارامترهای مدل هیدرولوژیکی ارزیابی کردند. آن‌ها بعد از دستیابی به عملکرد رضایت‌بخش در آزمون‌های متفاوت، به بهینه‌سازی پارامتر چندهدفه یک مدل هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی رواناب روزانه استفاده کردند و نتایج قابل‌قبولی به دست آوردند. Mansouri و همکاران (۲۰۱۵)، از الگوریتم تکامل تفاضلی برای بهینه‌سازی شبکه آب‌رسانی اسماعیل‌آباد استفاده کرده و با روش تجربی کلاسیک مقایسه کردند. مقایسه نتایج نشان داد که هزینه پیاده‌سازی شبکه با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی پایین‌تر از روش تجربی کلاسیک است.

هدف از این تحقیق بررسی عملکرد الگوریتم نوین بهینه‌سازی تکامل تفاضلی در مقایسه با الگوریتم اصلاح‌شده جستجوی هارمونی و برنامه‌ریزی غیرخطی در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد علویان با لحاظ تأمین کامل جریان زیست‌محیطی و حق آبه دریاچه ارومیه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

سد علویان در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه، بر روی رودخانه صوفی چای در ۳/۵ کیلومتری شمال غربی شهر مراغه در استان آذربایجان شرقی احداث شده است (شکل ۱). حجم‌های حداقل و حداکثر سد به‌ترتیب برابر ۳ و ۶۰ میلیون مترمکعب است. مساحت حوضه سد ۹۱٤/۳ کیلومترمربع بوده و از اهداف اصلی احداث سد تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در محدوده شهرستان مراغه و بناب با وسعتی برابر با ۱۲۰۰ هکتار، تأمین بخشی از آب شرب شهرستان مراغه، تأمین آب مورد نیاز صنایع منطقه و هم‌چنین مهار کردن سیلاب رودخانه صوفی چای است. در شکل ۲ رژیم جریان ورودی به مخزن و توزیع نیاز ماهانه پایین‌دست سد ارائه‌شده است. در این مطالعه دوره آماری ۱٤ ساله (از سال آبی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹٤) جریان ورودی به مخزن سد مورداستفاده قرارگرفته است. برای محاسبه مقدار حجم تبخیر از سطح دریاچه و همچنین بارندگی مستقیم به سطح دریاچه سد، مساحت دریاچه با استفاده از منحنی سطح- حجم- ارتفاع سد و با رابطه ریاضی (۱) حاصل گردید.

$$A_t = -0.0006S_t^2 + 0.072S_t + 0.123 \quad (R^2 = 0.993) \qquad (۱)$$

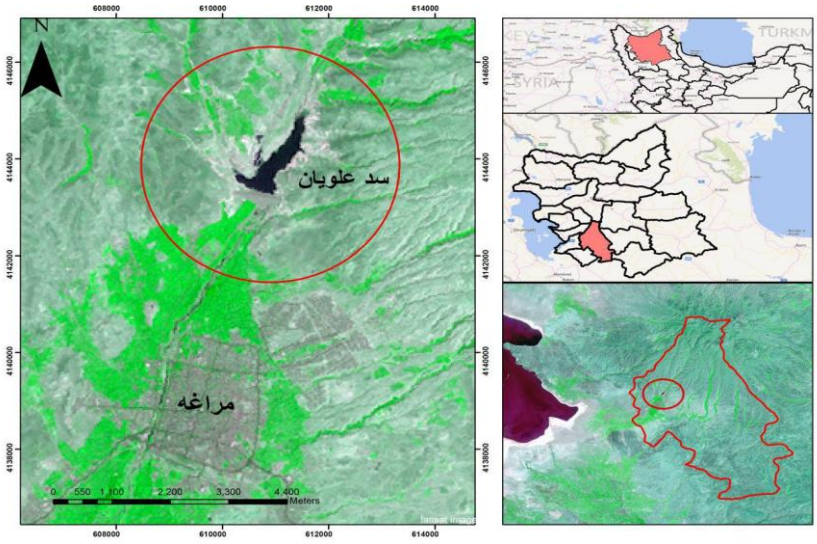
که در آن، A_t مساحت دریاچه سد علویان در ماه t ام به کیلومترمربع و S_t حجم آب ذخیره‌شده در مخزن سد علویان به میلیون مترمکعب می‌باشد.

[4] Multi-objective Cultured Differential Evolution Algorithm

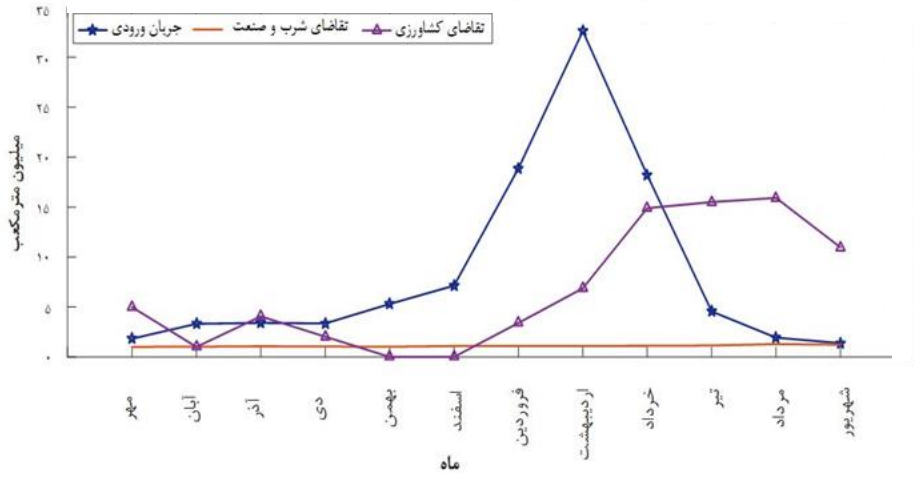
[5] Multi-Objective Shuffled Complex Differential Evolution Algorithm

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی سد علویان



شکل ۲. متوسط جریان ورودی ماهانه و توزیع نیاز بخش کشاورزی و شرب و صنعت در مقیاس ماهانه در مخزن سد علویان در دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹٤

نیاز زیست‌محیطی

از عوامل اصلی بحران دریاچه ارومیه، کاهش سهم جریان ورودی از رودخانه‌ها به دریاچه در سال‌های گذشته، در اثر مصرف زیاد آب در بخش کشاورزی بوده است. درروند احیای دریاچه ارومیه، تخصیص سهم جریان زیست‌محیطی برای هر یک از ده رودخانه اصلی و تضمین تداوم جریان تا دریاچه، از راهکارهای اصلی و پایدار است (احمدی پور و یاسی، ۱۳۹۳).

روش‌های محاسبه تقاضای زیست‌محیطی رودخانه‌ها در چهار گروه کلی روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، شبیه‌ساز زیستگاه و روش‌های جامع طبقه‌بندی می‌شوند (Arthington *et al.*, 2006 ،Tharme, 2003). در این پژوهش از روش هیدرولوژیکی تنانت برای محاسبه حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه صوفی چای استفاده‌شده است. این روش درصدی از متوسط جریان سالیانه را برای تعیین کیفیت زیستگاه ماهیان به کار می‌برد تنانت از ۵۸ مقطع عرضی ۱۱ رودخانه در مونتانا، نبراسکا و وایومینگ نتیجه گرفت که ۱۰ درصد متوسط جریان سالیانه (AAF)، حداقل جریان برای بقای کوتاه‌مدت ماهی‌ها می‌باشد. ۳۰ درصد AAF در نظر گرفته‌شده قادر

www.SID.ir

به حفظ وضعیت‌های بقای نسبتاً خوب بوده و ٦٠ درصد AAF برای زیستگاه مطلوب مناسب می‌باشد (Tennant, 1976). سطح قابل‌قبول از این روش با توجه به دستورالعمل ابلاغ‌شده وزارت نیرو معادل ۳۰ درصد دبی متوسط سالانه برای فروردین تا شهریور (به‌عنوان دوره پرآبی) و ۱۰ درصد دبی متوسط سالانه برای مهر تا اسفند (به‌عنوان دوره کم‌آبی) می‌باشد. در این تحقیق از روش تنانت اصلاح‌شده با توجه به دبی رودخانه، ماه‌های بهمن تا تیر به‌عنوان دوره‌های پرآبی و ماه‌های مرداد تا دی به‌عنوان دوره‌های کم‌آبی در نظر گرفته‌شده است. مقادیر نیاز زیست‌محیطی با روش تنانت اصلاح‌شده مطابق جدول ۱ می‌باشد.

روش‌ها

الگوریتم تکامل تفاضلی

الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) یکی از روش‌های مؤثر بر مبنای جستجو است. همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم با ایجاد یک جمعیت اولیه شروع به کار می‌کند. سپس با اعمال عملگرهایی شامل ترکیب، جهش و تقاطع، نسل نوزاد تشکیل‌شده و در مرحله بعد که مرحله انتخاب نام دارد، نسل نوزاد با نسل والد برای میزان شایستگی که توسط تابع هدف سنجیده می‌شود، مقایسه می‌گردد. سپس بهترین اعضا به‌عنوان نسل بعدی وارد مرحله بعد می‌گردند. این عمل تا رسیدن به نتایج مطلوب ادامه می‌یابد. یکی از مزایای این الگوریتم داشتن حافظه می‌باشد که اطلاعات جواب‌های مناسب را در جمعیت فعلی حفظ می‌کند. دیگر مزیت این الگوریتم مربوط به عملگر انتخاب آن می‌باشد. در این الگوریتم، همه اعضای یک جمعیت شانس مساوی برای انتخاب شدن به‌عنوان یکی از والدین را دارند به این صورت که نسل نوزاد با نسل والد از نظرمیزان شایستگی که توسط تابع هدف سنجیده می‌شود، مقایسه می‌گردد. سپس بهترین اعضا به‌عنوان نسل بعدی وارد مرحله بعد می‌گردند. مهم‌ترین ویژگی‌های الگوریتم DE، سرعت‌بالا، سادگی و قدرتمند بودن آن است. در این قسمت، به ترتیب مراحل عملکرد این الگوریتم بیان‌شده است (Price *et al.*, 2005).

ایجاد جمعیت اولیه

تعداد متغیرهای مسئله در این الگوریتم با D نشان داده می‌شود. هر یک از این متغیرها دارای یک حد بالا و پایین هستند. جمعیت اولیه در اندازه NP در D به‌صورت تصادفی مطابق رابطه (۲) تشکیل می‌شود.

$$X_{io} = X_{i\,min} + round\left(\delta_i . \left(X_{i\,max} - X_{i\,min}\right)\right) \quad i = 1,2,\ldots,NP \qquad (۲)$$

که δ_i عددی تصادفی در بازه [۰،۱) $X_{i\,max}$ و $X_{i\,min}$ حدود بالا و پایین متغیرهای مسئله و NP تعداد اعضاء هستند.

جهش

در این الگوریتم از پنج استراتژی برای ترکیب و تولید نوزاد می‌توان بهره جست. در این مقاله از استراتژی شخص بهترین- شخص رندوم- شخص رندوم برای انجام جهش به‌صورت رابطه (۳) استفاده شده‌است (Price *et al.*, 2005).

$$Z_{i,g} = X_{best,g} + F.\left(X_{r1,g} - X_{r2,g} + X_{r3,g} - X_{r4,g}\right) \qquad (۳)$$

که در این رابطه، F فاکتور معیار نامیده می‌شود. Xrها اعضای انتخابی به‌صورت تصادفی هستند.

جدول ۱. حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه صوفی چای در مقیاس ماهانه (MCM)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
حجم جریان	۰/۸۴۹	۰/۸۴۹	۰/۸۴۹	۰/۸۴۹	۲/۵۴۸	۲/۵۴۸	۲/۵۴۸	۲/۵۴۸	۲/۵۴۸	۲/۵۴۸	۰/۸۴۹	۰/۸۴۹

Archive of SID

www.SID.ir

همچنین X_{best} بهترین عضو جمعیت حاضر است. برای هر متغیر از هر عضو جمعیت یک عدد رندوم K در بازه[D،۱] و یک عدد تصادفی u در بازه [۱،۰] انتخاب شده، جهش مطابق با رابطه (٤) انجام می‌گیرد که j شماره هر متغیر از i امین عضو جمعیت است. همچنین ضریب CR عددی بین ۰ و ۱ انتخاب می‌شود.

$$\begin{aligned}&\text{If } u \le CR \text{ or } j = k\\&\text{then} Z_{i,j} = X_{r1,j} + f(X_{r3,j} - X_{r2,j})\\&\text{else}\\&Z_{i,j} = X_{i,j}\end{aligned} \qquad (٤)$$

پارامتر مقیاس (beta)، این مقدار حتماً باید تغییر علامت ندهد و مثبت یا منفی باشد در غیر این صورت باعث ناپایدار شدن الگوریتم می‌شود. با کاهش اندازه پارامتر مقیاس، طول گام جهش کم‌تر می‌شود و لذا زمان بیش‌تری برای همگرایی الگوریتم نیاز است. با افزایش پارامتر مقیاس، طول گام‌ها افزایش و درنتیجه قابلیت جستجوی الگوریتم افزایش می‌یابد؛ اما این امر ممکن است منجر به ناپایداری و عدم همگرایی صحیح الگوریتم شود.

مرحله تخمین و انتخاب

در این مرحله، نوزادها و والدها با توجه به تابع هدف، ارزش‌دهی می‌شوند و درصورتی‌که نوزاد، ارزشی بیش از والد داشته باشد، جایگزین والد می‌گردد (رابطه ۵). در غیر این صورت، والد خود به همراه نسل بعدی به مرحله بعد می‌رود.

$$Z_{i,g+1} = \text{argmax}(f(Z_i, g), f(Z_i, g+1)) \qquad (۵)$$

در این رابطه ۵، اندیس g نشان‌دهنده نسل است، $Z_{i,g+1}$ جمعیت نسل جدید (نوزادها) و $Z_{i,g}$ جمعیت نسل قبل (والدها) هستند. تابع f همان تابع هدف مسئله می‌باشد. پارامتر احتمال تقاطع (PCR)، بیش‌تر شدن این پارامتر باعث افزایش سهم پاسخ‌های موقت در ایجاد پاسخ‌های جدید خواهد شد و درنتیجه تنوع پاسخ‌ها افزایش خواهد یافت. این امر باعث بهبود قابلیت جستجوی الگوریتم خواهد شد (Price *et al*., 2005).

تکرار

انجام مراحل جهش و تخمین و انتخاب تا رسیدن به ماکزیمم تکرار یا همگرایی کل جمعیت ادامه می‌یابد.

مدل ریاضی بهره‌برداری بهینه از مخزن

مقدار خروجی و حجم مخزن به‌ترتیب متغیر تصمیم و حالت می‌باشد. هدف مسئله در بهینه‌سازی، حداقل کردن مجذور شدت کمبودهای کشاورزی در طول دوره بهره‌برداری است. تابع هدف مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد علویان به‌صورت معادله (٦) ارائه گردیده است (دشتی و همکاران، ۱۳۹۵). تحقیق مورد نظر دارای ۱٦۸ متغیر تصمیم می‌باشد و تابع هدف از نوع غیرخطی می‌باشد و به همین دلیل برای حل تابع مورد نظر بهترین روش استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی یا روش‌های فراابتکاری می‌باشد.

$$Minimize\ F = \sum_{t=1}^{T} \left(\frac{R(t) - D(t)}{D_{max}}\right)^2 \qquad t = 1,2,\dots T \qquad (٦)$$

در تمامی مراحل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن باید موازنه جرمی بین مقادیر ورودی و خروجی و حجم ذخیره مخزن برقرار باشد. رابطه پیوستگی مورداستفاده در این پژوهش به‌صورت رابطه (۷) می‌باشد. میزان تبخیر از سطح مخزن و همچنین میزان بارش به سطح مخزن برای محاسبه میزان ذخیره مخزن، در هرماه طبق رابطه (۸) بیان‌شده است.

$$\begin{aligned}&S(t+1) = S(t) + Q(t) + PP(t) -\\&EV(t) - Spill(t) - R(t) - DM(t) -\\&DE(t)\end{aligned} \qquad (۷)$$

$$\begin{cases}PP(t) = P(t) * A(t)\\EV(t) = E(t) * A(t)\end{cases} \qquad (۸)$$

همچنین روابط (۹) و (۱۰) محدودیت‌های مدل بهینه‌سازی را نشان می‌دهد.

$$S_{min} \le S(t) \le S_{max} \qquad (۹)$$

Archive of SID
www.SID.ir

$$0 \le R(t) \le D(t) \qquad (۱۰)$$

در روابط بالا، $R(t)$ میزان حجم آب رهاسازی ماهانه، $D(t)$ میزان حجم آب مورد نیاز کشاورزی در هرماه، D_{max} حداکثر نیاز ماهانه کشاورزی در طول دوره بهره‌برداری، S_{min} حداقل حجم مخزن، S_{max} حداکثر حجم مخزن، $S(t+1)$ مقدار حجم آب ذخیره‌شده در مخزن در دوره t+1، $S(t)$ مقدار حجم آب ذخیره‌شده در مخزن در دوره t، $Q(t)$ حجم جریان ورودی به مخزن در ماه t ام، $PP(t)$ حجم بارش به‌صورت مستقیم بر سطح دریاچه سد در ماه t ام، $EV(t)$ حجم آب تبخیر شده از سطح دریاچه در ماه t ام، $Spill(t)$ حجم آب سرریز شده در ماه t ام و $DM(t)$ مجموع حجم نیاز شرب و صنعت در ماه t ام، $DE(t)$ حداقل حجم حقابه زیست‌محیطی رودخانه در ماه t ام، $A(t)$ سطح مخزن که از رابطه (۱) به دست می‌آید.

در این پژوهش الگوریتم‌های مورد بررسی (DE, IHS)، در نرم‌افزار MATLAB (R2015a) و روش برنامه‌ریزی غیرخطی در نرم‌افزار GAMS کد نویسی و اجرا شده است.

شاخص‌های عملکرد مخزن

به‌منظور امکان بررسی عملکرد الگوریتم‌های به کار گرفته‌شده (IHS, DE) از سه شاخص قابلیت اعتماد، آسیب‌پذیری و پایداری مخزن استفاده می‌شود که در ادامه به‌اختصار شرح داده می‌شود.

شاخص قابلیت اعتماد

شاخص قابلیت اعتماد، احتمال اینکه سیستم در طول دوره‌ی عملکرد خود در حالت بهره‌برداری نرمال (عدم شکست) قرار گیرد را ارائه می‌دهد. این شاخص به دو صورت زمانی و حجمی قابل‌تعریف است. قابلیت اعتماد حجمی عبارت است از نسبت مقدار حجم آب رهاشده در کل دوره (Re_T) به مقدار کل حجم آب مورد نیاز پایین‌دست مخزن (De_T). برای محاسبه این شاخص از رابطه (۱۱) استفاده می‌شود (Hashimoto *et al.*, 1982).

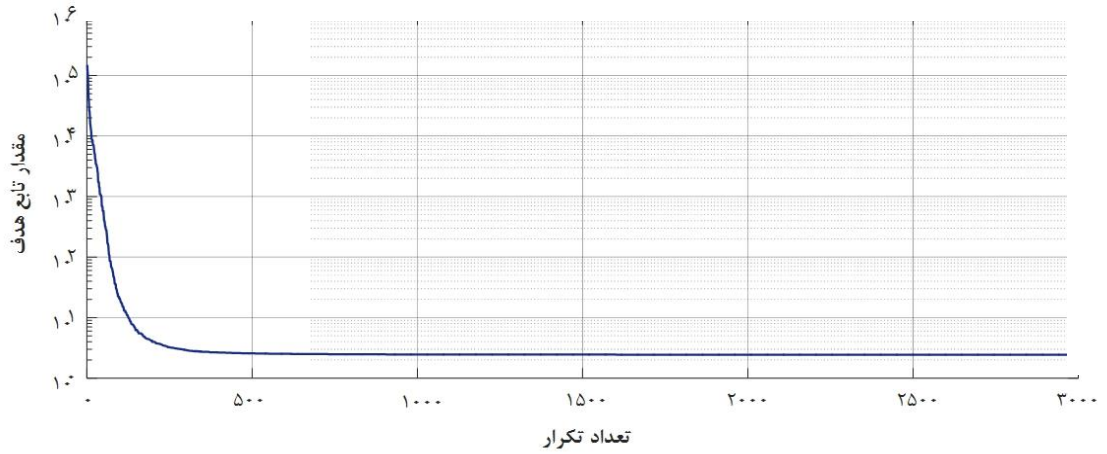
$$\delta_v = 100 * \frac{R_{eT}}{D_{eT}} \qquad (۱۱)$$

شاخص آسیب‌پذیری

بیانگر شدت کمبود در طی دوره شکست می‌باشد، که به‌صورت نسبت کل آب عرضه‌شده در طول دوره‌های شکست به‌کل تقاضا در طول همان دوره‌های که شکست اتفاق افتاده است می‌باشد که به‌صورت رابطه (۱۲) تعریف می‌گردد (رزاقی و همکاران، ۱۳۹۲).

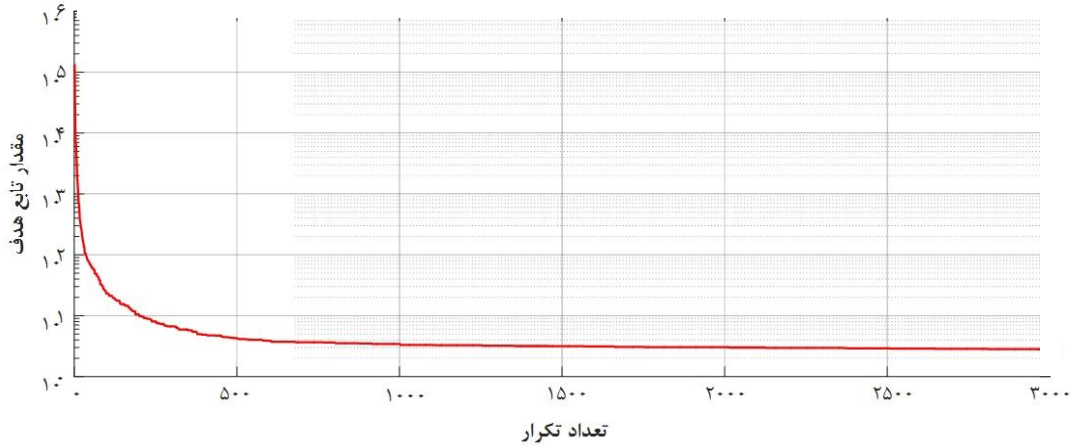
$$\eta = \frac{(\sum_{t\in f} R_t^* - \sum_{t\in f} R_t)}{\sum R_t^*} \qquad (۱۲)$$

که در آن η بزرگی شکست، R_t^* تقاضای مورد نظر در طول t امین دوره شکست، R_t مقدار آب رهاشده از سیستم در طول t امین دوره شکست، f تعداد کل دوره‌های شکست می‌باشد.



شکل ۳. تغییرات تابع هدف با تعداد تکرار متفاوت در بهترین اجرای الگوریتم DE

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ٤. تغییرات تابع هدف با تعداد تکرار متفاوت در بهترین اجرای الگوریتم HIS

شاخص پایداری (انعطاف‌پذیری)

با توجه به عدم وجود رابطه‌ی همگرایی بین شاخصه‌ای عملکرد مخزن در برخی بررسی‌ها، Loucks شاخص پایداری را که ترکیبی از سه شاخص فوق بود را معرفی نمود. گزینه‌ای که بیش‌ترین شاخص پایداری را داشته باشد به‌عنوان گزینه بهینه معرفی می‌شود. شاخص پایداری از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود (رزاقی و همکاران، ۱۳۹۲).

$$\varphi = \delta\gamma(1-\eta) \qquad (۱۳)$$

که در آن φ شاخص پایداری، δ شاخص اعتمادپذیری، γ شاخص سرعت برگشت‌پذیری و η شاخص آسیب‌پذیری می‌باشد. در رابطه بالا شاخص سرعت برگشت‌پذیری از رابطه (١٤) محاسبه می‌شود.

$$\gamma = \frac{1}{f/f_s} \qquad (١٤)$$

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

نتایج و بحث

با توجه به اینکه متغیرهای تصمیم در این تحقیق پیوسته می‌باشد و همچنین باوجود تابع هدف غیرخطی در مسئله موجود، یکی از جایگزین‌های مناسب روش‌های فراکاوشی، روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی می‌باشند.

بنابراین برای مقایسه روش‌های مورد بررسی کدنویسی در محیط نرم‌افزار GAMS انجام و مدل با استفاده از حل‌کننده MINOS اجرا گردید. به دلیل پیچیدگی مسئله مدل اجرا شده غیرخطی نتوانست به بهینه سراسری دست یابد و برای تابع هدف مقدار جواب محلی ۲۹/٦ حاصل گردید. جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد علویان با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی تفاضلی (DE) و اصلاح‌شده جستجوی هارمونی (IHS) در یک شرایط کاملاً یکسان با تعداد جمعیت برابر ۲۰۰۰ در محیط نرم افزار متلب کد مربوطه نوشته شده و اجرا گردید. اشکال ۳ و ٤ میزان تغییرات تابع هدف برحسب تعداد توابع ارزیابی در هر دو الگوریتم را نشان می‌دهند.

جدول ۲. مقادیر تابع هدف برای ۱۰ بار اجرای برنامه برای الگوریتم DE

	تعداد اجرا									
تعداد ارزیابی	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
۱۰۰۰	۲/۹٥	۲/۹۰	۳/۰۱	۲/۸۲	۲/۷٥	۲/۸۳	۲/۸۹	۲/۸۹	۲/۷۷	۲/۹٤
۲۰۰۰	۲/۷۰	۲/٦٥	۲/٥۹	۲/۷٦	۲/٥٤	۲/٥۱	۲/٤۹	۲/٥٥	۲/٥۲	۲/٥۷
۳۰۰۰	۲/٥۰	۲/٤۸	۲/٥٤	**۲/٤٤**	۲/٤۹	۲/٥۲	۲/٤٥	۲/٤۷	۲/٥۱	۲/٤۸

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. مقادیر مطلوب پارامترهای مورد نیاز برای الگوریتم DE

PCR	$beta_{max}$	$beta_{min}$
۰/۸۰	۰/۲۰	۰/۱۰

همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ٤ ملاحظه می‌گردد، الگوریتم DE در تکراری کم‌تر از ۵۰۰ به جواب بهینه همگرا شده درحالی‌که الگوریتم IHS در تکراری کم‌تر از ۱۰۰۰ به جواب بهینه همگرا شده و همچنین مدت‌زمان کل اجرای الگوریتم DE برابر با ۲۸ دقیقه و الگوریتم IHS برابر با ۲/۵ ساعت می‌باشد. این موضوع قابلیت بالای الگوریتم DE را نشان می‌دهد (این زمان در سیستم لپ‌تاپ با مشخصات ویندوز ۱۰، CPU Corei7 و RAM 16 GB ثبت گردیده است).

ازجمله دلایل اصلی طولانی بودن زمان اجرای الگوریتم IHS نسبت به الگوریتم DE مربوط به تولید جواب‌های جدید می‌باشد که تعداد فراخوانی تابع تصادفی (rand) در IHS بیش‌تر از الگوریتم DE می‌باشد؛ زیرا تولید جواب‌ها توسط تابع تصادفی زمان طولانی‌تری می‌طلبد. با اجرای ۱۰ بار الگوریتم DE و IHS با تعداد جمعیت ثابت ۲۰۰۰ و تعداد ارزیابی‌ها و پارامترهای مختلف که در جدول ۲ و ٤ نشان داده‌شده است، کم‌ترین مقدار تابع هدف برای الگوریتم DE برابر ۲/٤٤ و برای الگوریتم IHS برابر ۲/۸۱ به دست آمد. در جدول ۳ مقادیر مطلوب پارامترهای مورد نیاز الگوریتم DE و در جدول ۵ مقادیر مطلوب پارامترهای مورد نیاز الگوریتم IHS نشان داده شده است.

به‌منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌های DE و IHS در بهره‌برداری از مخزن سد علویان، نتایج هر یک از الگوریتم‌ها با یکدیگر و روش برنامه‌ریزی غیرخطی مورد مقایسه قرارگرفت. مقدار تابع هدف و شاخص‌های عملکرد مخزن حاصل از اجرای الگوریتم‌ها بر روی تابع هدف در کل دوره آماری (۱٦۸ ماه) در جدول ٦ آورده شده است.

همان‌طور که در جدول ٦ مشاهده می‌شود مقدار تابع هدف در الگوریتم تکامل تفاضلی ۲/٤٤ به‌دست‌آمده درحالی‌که در الگوریتم اصلاح‌شده جستجوی هارمونی برابر با ۲/۸۱ و روش برنامه‌ریزی غیرخطی جواب بهینه محلی ۲۹/٦ می‌باشد.

جدول ٤. مقادیر تابع هدف برای ۱۰ بار اجرای برنامه برای الگوریتم IHS

تعداد ارزیابی	تعداد اجرا									
	۱	۲	۳	٤	۵	٦	۷	۸	۹	۱۰
۱۰۰۰	۳/۱۱	۳/۰۲	۲/۹۹	۲/۹۵	۳/۰۱	۲/۹٦	۲/۹۸	۲/۹٤	۲/۹۹	۲/۹۵
۲۰۰۰	۲/۹۲	۲/۹۰	۲/۸۵	۲/۹۰	۲/۸۸	۲/۹٤	۲/۸٦	۲/۸۵	۲/۹۰	۲/۸۷
۳۰۰۰	۲/۸۵	**۲/۸۱**	۲/۸٦	۲/۸۵	۲/۸۲	۲/۸۸	۲/۸۹	۲/۸٦	۲/۸۸	۲/۸۳

جدول ۵. مقادیر مطلوب پارامترهای مورد نیاز برای الگوریتم IHS

bw_{max}	bw_{min}	PAR_{max}	PAR_{min}	HMCR	HMS
۰/۱۵۸	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۸۰	۰/۰۰۰۰۱	۰/۹۵	۵۰

Archive of SID

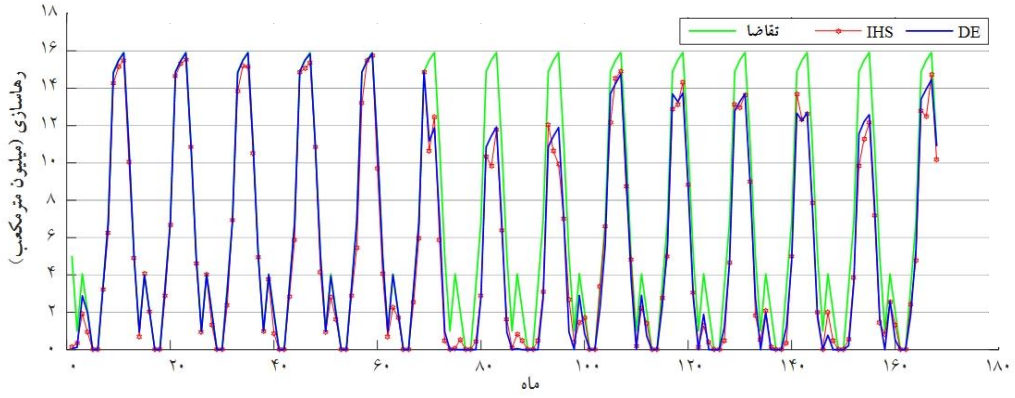
www.SID.ir

جدول ٦. مقدار تابع هدف و شاخص‌های عملکرد حاصل از اجرای الگوریتم در بهره‌برداری از مخزن سد علویان

روش‌ها	تابع هدف	مجموع کمبودها (MCM)	قابلیت اعتماد حجمی (درصد)	آسیب‌پذیری (درصد)	شاخص پایداری
DE	۲/٤٤	۲۱۱	۸۱/۱۰	۲۷/۱۵	۱۲
IHS	۲/۸۱	۲۳۷	۷۸/۷۸	۲۳/۰۵	۱۱
NLP	۲۹/٦	٤۸٤	٥٦/٥۷	٥۳/٤۹	٥

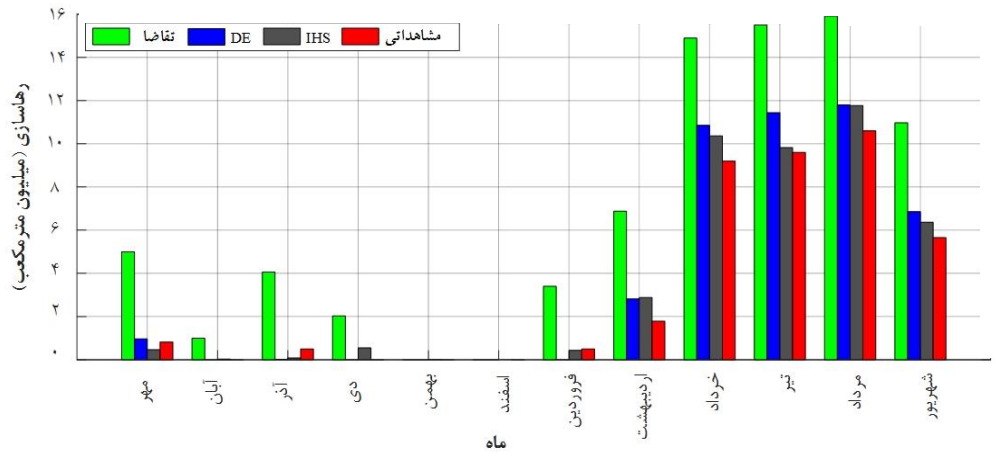
با توجه به شاخص‌های عملکرد مخزن الگوریتم تکامل تفاضلی توانسته است ۸۱/۱۰ درصد و الگوریتم اصلاح‌شده جستجوی هارمونی ۷۸/۷۸ درصد و روش برنامه‌ریزی غیرخطی ٥٦/٥۷ درصد از نیاز آبی کشاورزی پایین‌دست سد علویان را تأمین کند. همچنین شاخص پایداری برای الگوریتم DE، IHS و NLP به‌ترتیب برابر ۱۲، ۱۱ و ٥ می‌باشد؛ و با در نظر گرفتن زمان اجرای الگوریتم DE نسبت به IHS می‌توان نتیجه گرفت الگوریتم DE برای مسائل بزرگ دارای عملکرد مناسبی می‌باشد؛ باید توجه داشت که روش‌های حل بهینه‌سازی غیرخطی بر پایه گرادیان، با شروع محاسبات از یک نقطه فرضی و با محاسبه گرادیان موجود در نقطه ابتدایی و نقاط مجاور آن به سمت جواب بهینه حرکت می‌کند و با ارضا شدن شرایط مسئله متوقف شده و به‌این‌ترتیب جواب بهینه ارائه می‌گردد. از این‌روی روش‌های حل بر پایه گرادیان در حل مسائل بزرگ دچار مشکل گردیده و جواب بهینه موضعی را ارائه می‌دهد (جنت رستمی و همکاران، ۱۳۸۹). شکل ٥ مقادیر رهاسازی به‌دست‌آمده از هر دو الگوریتم، در مقابل نیاز کشاورزی پایین‌دست سد علویان را نشان می‌دهد.

همان‌طور که از شکل ٥ می‌توان استنباط کرد، گرچه عملکرد هر دو الگوریتم موردبررسی قابل‌قبول بوده و با دقت مناسبی توانسته‌اند مقدار نیاز پایین‌دست سد مورد نظر را تأمین کنند، با این حال، الگوریتم DE نسبت به الگوریتم IHS بهتر عمل کرده و توانسته مقادیر نیاز را با اطمینان بیش‌تری تأمین کند. سال بحرانی به سالی اطلاق می‌شود که میانگین و حجم ورودی به مخزن سد در آن سال نسبت به بقیه سال‌ها کم‌ترین مقدار باشد. شکل ٦ مقادیر تقاضای کشاورزی، مقادیر رهاسازی به‌دست‌آمده توسط الگوریتم DE و IHS و مقادیر رهاسازی انجام‌گرفته باسیاست فعلی سد علویان در بحرانی‌ترین سال آبی را نشان می‌دهد.



شکل ٥. مقادیر تقاضای کشاورزی و رهاسازی به‌دست‌آمده از الگوریتم DE و IHS برای سد علویان در دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹٤

Archive of SID
www.SID.ir

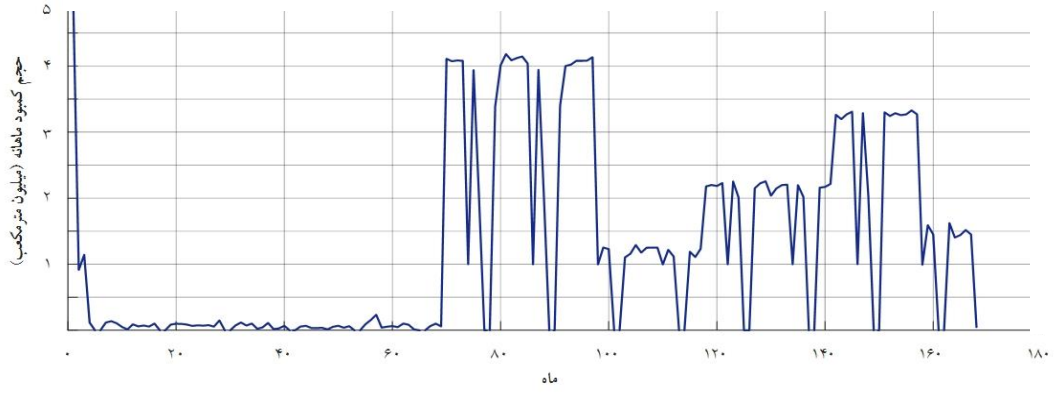


شکل ٦. مقایسه مقادیر تقاضای کشاورزی، مقادیر رهاسازی به‌دست‌آمده توسط الگوریتم DE، IHS و مقادیر رهاسازی مشاهداتی سد علویان در بحرانی‌ترین سال آبی

همان‌طور که در شکل ٦ مشاهده می‌شود برای بحرانی‌ترین سال آبی در طول دوره بهره‌برداری الگوریتم DE برابر ٥٦/١٥ درصد و الگوریتم IHS برابر ٥٣/٨٤ درصد و رهاسازی مشاهداتی توانسته است ٤٨/٥٠ درصد از نیازهای کشاورزی پایین‌دست را برآورده سازند. این نتایج نیز برتری نسبی الگوریتم DE را نشان می‌دهد. شکل‌های ۷ و ۸ مقادیر کمبودهای کل دوره را برای سد علویان نشان می‌دهند.

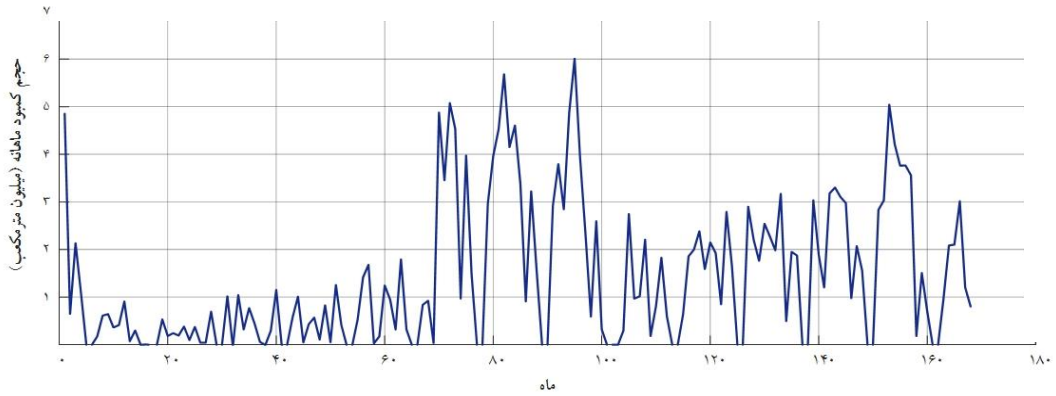
مجموع کل کمبودها در طول کل دوره بهره‌برداری برای الگوریتم DE و IHS از مجموع تقاضای کل ۱۱۱۵ میلیون مترمکعب به‌ترتیب ۲۱۱ و ۲۳۷ میلیون مترمکعب می‌باشد. الگوریتم DE به‌اندازه ۲٦ میلیون مترمکعب بیش‌تر از الگوریتم IHS توانسته است نیازها را برآورده سازد. بیش‌ترین کمبود در طول کل دوره برحسب ماه برای الگوریتم DE برابر ٤/٩١ و برای الگوریتم IHS برابر ٦ میلیون مترمکعب می‌باشد.

در این تحقیق جریان ورودی ماهانه و تقاضای کشاورزی پارامترهای حساس برای مدل بهینه‌سازی می‌باشند. با توجه به اینکه جریان ورودی ماهیت تصادفی داشته و غیر قابل تغییر است، لذا تحلیل حساسیت صرفا براساس تقاضای کشاورزی با توجه به دو سناریوی محتمل زیر انجام گرفت.



شکل ۷. مقادیر حجم کمبود آب ماهانه به‌دست‌آمده سد علویان از الگوریتم DE برای سد علویان در دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹٤

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۸. مقادیر حجم کمبود آب ماهانه به‌دست‌آمده سد علویان از الگوریتم IHS برای سد علویان در دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹٤

سناریوی اول، کاهش تقاضای کشاورزی ماهانه پایین‌دست مخزن سد علویان به میزان ۱۰ درصد. سناریوی دوم، افزایش تقاضای کشاورزی ماهانه پایین‌دست مخزن سد علویان به میزان ۱۰ درصد.

مدل بهینه‌سازی برای هر دو سناریوی فوق الذکر اجرا و مقادیر تابع هدف و شاخص‌های عملکرد مخزن در کل دوره آماری (۱٦۸ ماه) در جدول ۷ ارائه گردید.

از جدول ۷ مشاهده می‌شود که در سناریوی اول نسبت به حالت اصلی (جدول ٦)، مقدار تابع هدف در روش IHS ۱/۹۲ و مجموع کمبودها ۱۷٦/۸۹ میلیون مترمکعب و در روش DE مقدار تابع هدف ۱/۵۲ و مجموع کمبودها ۱٤۰/٦۰ میلیون مترمکعب کاهش چشمگیری داشته و همچنین شاخص قابلیت اعتماد حجمی برای IHS افزایش ۳/۵۹ درصدی و برای DE افزایش ٤/۸۸ درصدی و شاخص پایداری برای IHS افزایش ۱/۳۰ درصدی و برای DE افزایش ۱/۷۰ درصدی نسبت به حالت اولیه محاسبه‌شده در این تحقیق داشته است (جدول ٦)؛ اما برای سناریوی دوم همان‌طور که از جدول ۷ مشاهده می‌شود، دقیقاً برعکس سناریوی اول بوده بطوریکه مقدار تابع هدف در روش IHS ۳/۹٤ و کمبودها ۳۲٦/۵۱ میلیون مترمکعب و برای DE با تابع هدف ۳/٤۹ و مجموع کمبودهای ۲۹۹/۳۳ میلیون مترمکعب افزایش داشته و شاخص قابلیت اعتماد حجمی برای IHS کاهش ۵/٤۱ درصدی و برای DE کاهش ۵/۵۱ درصدی و شاخص پایداری برای IHS کاهش ۱/٤۰ درصدی و برای DE کاهش ۱/۵۰ درصدی نسبت به حالت اولیه محاسبه‌شده در این تحقیق داشته است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، از الگوریتم تکامل تفاضلی به‌عنوان یکی از روش‌های فرااِبتکاری، جهت ارائه سیاست بهره‌برداری بهینه از سیستم تک مخزنه سد علویان با در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی رودخانه صوفی چای بر اساس روش تنانت استفاده گردید.

جدول ۷. مقادیر تابع هدف و شاخص‌های عملکرد مخزن حاصل از اجرای مدل بهینه‌سازی برای سناریوی اول و دوم

	روش‌ها	تابع هدف	مجموع کمبودها (MCM)	قابلیت اعتماد حجمی (درصد)	آسیب‌پذیری (درصد)	شاخص پایداری
IHS	سناریوی اول	۱/۹۲	۱۷٦/۸۹	۸۲/۳۷	۱۸/٤۷	۱۲/۳۰
	سناریوی دوم	۳/۹٤	۳۲٦/۵۱	۷۳/۳۷	۲٦/۷۷	۹/٦۰
DE	سناریوی اول	۱/۵۲	۱٤۰/٦۰	۸۵/۹۸	۲۲/٦۳	۱۳/۷۰
	سناریوی دوم	۳/٤۹	۲۹۹/۳۳	۷۵/۵۹	۲۷/۱٤	۱۰/۵۰

Archive of SID
www.SID.ir

همچنین عملکرد الگوریتم مورد نظر با استفاده از شاخص‌های عملکرد مخزن (قابلیت اعتماد حجمی، آسیب‌پذیری و پایداری) بررسی شد و نتایج حاصل از آن با روش برنامه‌ریزی غیرخطی و الگوریتم اصلاح‌شده جستجوی هارمونی مورد مقایسه قرار گرفت. روش برنامه‌ریزی غیرخطی که در نرم‌افزار GAMS کد نویسی و اجرا شد، نتوانست به بهینه سراسری دست یابد و در مقدار بهینه محلی ۲۹/٦ برای تابع هدف متوقف گردید؛ اما تابع هدف برای الگوریتم DE برابر ۲/٤٤ و برای الگوریتم IHS برابر ۲/۸۱ حاصل گردید. نتایج نشان داد، میزان خروجی حاصل از روش‌های DE، IHS و NLP به‌ترتیب قادر به تأمین ۸۱/۱۰، ۷۸/۷۸ و ٥٦/٥۷ درصد از نیاز کل پایین‌دست سد علویان در طول دوره موردمطالعه (۱۳۸۰ تا ۱۳۹٤) بوده که عملکرد مناسب‌تر الگوریتم DE را نسبت به دو روش دیگر نشان می‌دهد. همچنین میزان کل کمبودها در الگوریتم DE برابر ۲۱۱ و در الگوریتم IHS برابر ۲۳۷ و در NLP برابر ٤۸٤ میلیون مترمکعب محاسبه گردید. بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص‌های عملکرد مخزن مشخص گردید که الگوریتم تکامل تفاضلی نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری ارائه می‌کند. ازاین‌روی استفاده از روش الگوریتم تکامل تفاضلی در مطالعات بهینه‌سازی بهره‌برداری مخازن با توابع هدف پیچیده غیرخطی توصیه می‌شود.

فهرست منابع

احمدی‌پور، ظ. و یاسی، م. ۱۳۹۳. مقایسه روش‌های اکو- هیدرولوژیکی- هیدرولیکی در ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها (رودخانه نازلو، حوضه دریاچه ارومیه). نشریه هیدرولیک، ۹(۲): ٦۹-۸۲.

جنت‌رستمی، س.، خلقی، م. و بزرگ‌حداد، ا. ۱۳۸۹. مدیریت بهره‌برداری از سدهای مخزنی با استفاده از الگوریتم اصلاح‌شده جستجوی هارمونی. مجله دانش آب‌وخاک، ۲۰/۱ (۳): ٦۱-۷۱.

حسینی‌موغاری، س.م. و بنی‌حبیب، م.ا. ۱۳۹۳. بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن برای تامین آب کشاورزی با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب. نشریه حفاظت آب‌وخاک، ۳(٤): ۱۷-۳۱.

دشتی، ر.، ستاری، م.ت.، نورانی، و. وعباس فام، ج. ۱۳۹٥. بهره‌برداری بهینه از سیستم تک مخزنه با استفاده از الگوریتم اصلاح‌شده جستجوی هارمونی (مطالعه موردی: سد علویان). دومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۳۱ اردیبهشت‌ماه.

رزاقی، پ.ن.، بابازاده، ح. و شوریان، م. ۱۳۹۲. توسعه سیاست جیره‌بندی بهره‌برداری از مخزن چندمنظوره در شرایط محدودیت منابع آب با استفاده از مدل MODSIM 8.1. نشریه حفاظت منابع آب‌وخاک،۳(۲): ۱۱-۲۳.

Arthington, A., Bunn, S., Poff, N. and Naiman, R. 2006. The challenge of providing environmental flow rules tosustain river ecosystems. Jourrnal of Ecological Applications, 16(4): 1311-1318.

Babu, B.V. and Angira, R. 2003. Optimization of water pumping system using differential evolution strategies. In Proceedings of the Second International Conference on Computational Intelligence, Robotics, and Autonomous Systems. Singapore, December.

Bashiri-Atrabi H., Qaderi K., E. Rheinheimer D., Sharifi E. 2015. Application of Harmony Search Algorithm to Reservoir Operation Optimization. Water Resources Management, 29: 5729–5748.

Geem, Z.W. 2007. Optimal scheduling of multiple dam system using harmony search algorithm. Lecture Notes in computer Science, 45(7): 316-323.

Guo, J., Zhou, J., Zou, Q., Liu, Y. and Song, L. 2013. A novel multi-objective shuffled complex differential evolution algorithm with application to hydrological model parameter optimization. Water Resources Management, 27(8): 2923-2946.

Archive of SID
www.SID.ir

Hashimoto T, Stediger J R and Loucks DP, 1982. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water Resources Research, 18(1): 14- 20.

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

Kougias I.P. and Theodossiou, N.P., 2013. Application of the Harmony Search optimization algorithm for the solution of the multiple dam system scheduling. Journal of Optimization and Engineering, 14: 331-344.

Mahdavi, M., Fesanghary, M. and Damangir, E. 2007. An improved harmony search algorithm for solving optimization problems. Applied Mathematics and Computation, (18)8: 1567-1579.

Price, K.V., Storn, R.M. and Lampinen, J.A. 2005. The differential evolution algorithm. Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization, 37-134.

Qin, H., Zhou, J., Lu, Y., Li, Y. and Zhang, Y. 2010. Multi-objective cultured differential evolution for generating optimal trade-offs in reservoir flood control operation. Water Resources Management, 24(11): 2611-2632.

Reddy, M.J. and Kumar, D.N. 2007. Multiobjective differential evolution with application to reservoir system optimization. Journal of Computing in Civil Engineering, 21(2): 136-146.

Regulwar ,D,G. Choudhari, S,A. Anand Raj,P. 2010. Differential evolution algorithm with application to optimal operation of multipurpose reservoir. Journal of Water Resource and Protection, 2: 560-568

Sattari, M.T., Apaydin, H. and Ozturk, F. 2009. Operation analysis of Eleviyan irrigation reservoir dam by optimization and stochastic simulation. Journal of Stoch Environ Res Risk Assess, 23: 1187–1201.

Storn, R. and Price, K. 1997. Differential evolution–a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. Journal of Global Optimization, 11(4): 341-359.

Storn, R. and Price, K. 1995. Differential evolution-a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces. Berkeley, 3: ICSI.

Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries, 1(4): 6-10.

Tharme, R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. Journal of River Research and Applications, 19(5-6): 397-441.

Vasan, A. and Raju, K. 2007. Application of differential evolution for irrigation planning: An Indian case study. Water Resources Management, 21(8): 1393-1407.

Mansouri, R., Torabi, H., Hoseini, M., and Morshedzadeh, H. 2015. Optimization of the Water Distribution Networks with Differential Evolution and Mixed Integer Linear Programming. Journal of Water Resource and Protection, 7(09): 715-729.

Archive of SID

www.SID.ir

ISSN 2251-7480

Performance evaluation of differential evolution algorithm in optimum operating of Eleviyan single-reservoir dam system

Reza Dashti[1*], Mohamahtaghi Sattari[2] and Vahid Nourani[3]

1*)M.Sc., Department of water Resource Engineering, Civil Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran
*Corresponding author email: dashti.reza.crs@gmail.com
2) Assistant Professor, Department of Water Engineering, Agriculture Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran
3) Professor, Department of Water Resource Engineering, Civil Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran

Received: 23-06-2016 Accepted: 09-11-2016

Abstract

Optimum operating of reservoir dams is one of the most important challenges in the water resources management. In fact, integrated water resource management is necessary for an optimum and efficient operating of these resources. In this research the performance of differential evolution algorithm is compared with the improved harmony search algorithm and nonlinear programming method in optimized operating of the Eleviyan single reservoir dam on Soofi-chay River which is one of the most important dams in the Urmia lake basin. Considering the vital importance of the ecological flow to prevent the death of Urmia Lake, an optimization model is developed to determine the minimum required ecological flow of the Soofi-chay River, besides to the water flow needs such as the municipal, industrial demands, and also minimizing the water shortage for agricultural targets. The reservoir parameters including reliability, vulnerability and sustainability indicators are used to evaluate the performance of the studied algorithms in an optimal utilization of the reservoir. The results showed that using the differential evolution algorithm gives a higher-performance compared to the other methods employed in this study in efficient operation of the Eleviyan dam system.

Keywords: differential evolution algorithm; Eleviyan dam; improved harmony search algorithm; optimal operation

Archive of SID

www.SID.ir