

## استفاده از الگوریتم جهش قورباغه و سیستم اطلاعات مکانی برای کمک به بهره‌برداری بهینه از مخزن سد (مطالعه موردی: مخزن سد درودزن)

زهرا گودرزی<sup>۱</sup>، علیرضا وفائی‌نژاد<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲. استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۲/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۵/۱۵)

### چکیده

منابع آب شیرین در جهان محدود است و بهره‌برداری از آن در درازمدت موجب کم‌آبی یا بی‌آبی خواهد شد. کشور ایران از نظر جغرافیایی در بخش خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته، به طوری که میانگین بارش در ایران حدود یک‌سوم میانگین جهانی است. به این منظور، افزایش رقابت بر سر آب، نیاز به تأمین غذا برای جمعیت در حال رشد و افزایش کم‌آبی در بسیاری از مناطق، لزوم استفاده از شیوه‌های مدیریتی برای پیشگیری از بحران آب و پیشامدهای ناشی از آن را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، پیامدهای ناشی از خشکسالی‌های متوالی اهمیت مدیریت صحیح منابع آب را دوچندان کرده است. با توجه به تأثیر زیاد مخازن بر تأمین نیازهای آبی برای بخش‌های مختلف مصرف، بهره‌برداری بهینه از آنها یکی از راهکارهای مهم مقابله با مشکلات منابع آب و عدم توزیع زمانی و مکانی متناسب آن است. در پژوهش حاضر، از الگوریتم جهش قورباغه که به عنوان نوعی روش فراابتکاری برای حل مسائل بهینه‌سازی در سیستم‌های منابع آب مطرح است و سیستم اطلاعات مکانی به‌منظور بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد درودزن استفاده شده است. نتیجه تحقیق در منطقه مد نظر بیان می‌کند که الگوریتم یادشده به‌خوبی امکان بهینه‌سازی و تخصیص آب مخزن به پایین‌دست را دارد، به گونه‌ای که ۹۹/۹ درصد نیاز پایین‌دست سد درودزن طی دوره مطالعه‌شده، توسط آن تأمین شده است. به علاوه، رویکرد ترکیبی این الگوریتم با سیستم اطلاعات مکانی، بستری را برای بررسی دقیق‌تر نتایج بهینه‌سازی فراهم کرده است.

**کلیدواژه‌گان:** الگوریتم جهش قورباغه، بهره‌برداری بهینه، سیستم اطلاعات مکانی، مخزن سد.

## مقدمه

امروزه آب به عنوان یکی از سه عامل تشکیل و بقای محیط زیست (خاک، هوا و آب) بیش از هر زمان دیگر مورد توجه است. بی‌شک در زمان حاضر، حفظ و صیانت از منابع آب و بهره‌برداری بهینه، اقتصادی و عادلانه از آن، مسئله‌ای جهانی است و به همین دلیل، در قرن ۲۱ از تنش‌های آبی به عنوان نوعی چالش فراگیر بشری یاد می‌شود. افزایش روزافزون تقاضای آب در بخش‌های مختلف، آلودگی منابع آب، افزایش میزان آسیب‌پذیری سیستم‌های مختلف تأمین آب با توجه به پیچیده‌تر شدن آنها، تغییرات اقلیمی و ضرورت پیش‌بینی‌های بلندمدت را می‌توان از دلایل عمده تنش‌های آبی برشمرد که نقش مدیریت و توسعه پایدار منابع آب و ضرورت بهینه‌سازی را برجسته‌تر می‌کند، به طوری که استفاده بهینه از منابع موجود یکی از ارکان اساسی مدیریت منابع آب محسوب می‌شود [۱]. پیشرفت علم در روش‌های بهینه‌سازی سبب شده است که در سال‌های اخیر الگوریتم‌های بهینه‌سازی قدرتمندی در زمینه بهینه‌کردن منابع ارائه شود که کارکرد بیشتر این روش‌ها با الهام‌گیری از طبیعت است. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر اهمیت موضوع کمبود آب در بیشتر جوامع بشری افزایش یافته است، برای پیدا کردن راه‌کارهای مختلف به منظور کنترل منابع آب و جلوگیری از هدر رفتن آن سعی می‌شود.

به دلیل ناکارآمدی روش‌های کلاسیک در مسائل پیچیده مهندسی از جمله بهره‌برداری از مخازن سدها، می‌توان از روش‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی این مسائل بهره جست [۲]. از جمله این روش‌ها می‌توان الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup>، جامعه مورچگان<sup>۲</sup>، ازدحام ذرات<sup>۳</sup> و الگوریتم تکامل تفاضلی<sup>۴</sup> را نام برد [۳]. اما در کنار این روش‌ها Eusuff و Lansey (۲۰۰۳) برای نخستین‌بار از الگوریتم جهش قورباغه<sup>۵</sup> برای حل مسائل ترکیبی مختلف بهره بردند و آن را به عنوان نوعی روش مفید برای یافتن جواب‌های عمومی معرفی کردند. آنها از این الگوریتم برای تعیین قطر بهینه لوله‌ها در طراحی و توسعه شبکه توزیع آب شهری استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج الگوریتم‌های ژنتیک و

بازپخت شبیه‌سازی شده<sup>۶</sup> مقایسه شد و نشان داد سرعت همگرایی و عملکرد این الگوریتم نسبت به سایر روش‌ها بهتر بوده است [۴]. به دنبال آن، Elbeltagi و همکاران (۲۰۰۵) با تغییر در الگوریتم جهش قورباغه سبب بهبود در الگوریتم شدند. آنها الگوریتم یادشده را با چهار الگوریتم تکاملی فراابتکاری دیگر (الگوریتم ژنتیک (GA)، محاسبات تکاملی (MA)، ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم جامعه مورچگان (ACO)) مقایسه کردند و روش‌هایی برای تعیین مقادیر بهینه پارامترهای آن و تحلیل حساسیت آنها ارائه دادند [۵]. Eusuff و همکاران (۲۰۰۶) با توسعه الگوریتم جهش قورباغه، از آن برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی استفاده کردند. همچنین، آن را برای واسنجی مدل آب‌های زیرزمینی و طراحی شبکه توزیع آب به کار بردند [۶]. به علاوه، از الگوریتم جهش قورباغه برای حل چندین مسئله بهینه‌سازی مانند مسئله گسسته فروشنده دوره‌گرد [۷]، بهینه‌سازی یک سیستم پیچیده تأمین آب [۸] و خوشه‌بندی [۹] با موفقیت استفاده شده است. این الگوریتم قابلیت زیادی برای جست‌وجوی سراسری دارد و پیاده‌سازی آن نسبتاً آسان است. علاوه بر این، می‌توان از آن برای حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده‌ای که غیرخطی<sup>۷</sup>، تشخیص‌ناپذیر<sup>۸</sup> و چندوجهی<sup>۹</sup> هستند، استفاده کرد. از آنجا که الگوریتم جهش قورباغه به عنوان یک روش بهینه‌سازی نسبتاً جدید مطرح است که در سال‌های اخیر قابلیت‌های خود را اثبات کرده است، در پژوهش حاضر، از الگوریتم یادشده، برای بهینه‌سازی کمی در بهره‌برداری از مخزن سد درودزن استفاده شده است. بهینه‌سازی اطلاعات مربوط به مخزن سد با داده‌های مکانی در ارتباط است. از طرفی، GIS توانمندی‌های بسیار زیادی در مدیریت داده‌های مکانی دارد، بنابراین از قابلیت‌های GIS می‌توان در مدیریت بهره‌برداری و فرایند تخصیص آب بهره برد [۱۰-۱۲].

## مواد و روش‌ها

## الگوریتم جهش قورباغه

SFLA یک روش فراابتکاری جدید است که از تکامل رفتاری گروهی از قورباغه‌ها هنگام جست‌وجوی غذا الهام

6. Simulated Annealing  
7. Nonlinear  
8. Non Differentiable  
9. Multi Modal

1. Genetic Algorithm  
2. Ant Colony Optimization  
3. Particle Swarm Optimization  
4. Differential Evolution  
5. Shuffled Frog-Leaping Algorithm (SFLA)

نسبت به موقعیت قبلی داشته باشد، پاسخ جدید جایگزین بدترین پاسخ ( $X_w$ ) می‌شود. در غیر این صورت، محاسبات در معادلات ۲ و ۳ با جایگزین کردن  $X_b$  با  $X_g$  در معادله ۲ تکرار می‌شوند. اگر در این شرایط هیچ پیشرفتی به دست نیاید، آن‌گاه یک قورباغه (راه حل) جدید به طور تصادفی برای جایگزینی  $X_w$  تولید می‌شود. سپس، زیرمجموعه‌ها دوباره مرتب شده و جست‌وجوی محلی انجام می‌شود. در ادامه، به منظور تبادل اطلاعات، همهٔ زیرمجموعه‌ها با هم ترکیب می‌شوند و برای انجام فرایند جست‌وجوی بعدی، دوباره تقسیم‌بندی جمعیت صورت می‌گیرد [۱۶]. فلوجارت این الگوریتم در شکل ۱ قابل مشاهده است.

#### منطقه مطالعه شده

حوضه سد درودزن جزئی از حوضهٔ فرعی طشک، بختگان، مهارلو بوده و مساحت آن حدود ۴۵۶۵ کیلومترمربع است. منطقهٔ مطالعه شده بین طول‌های ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و عرض‌های ۲۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۷ دقیقه شمالی واقع شده است. سد مخزنی درودزن روی رودخانهٔ کر احداث شده است. رودخانهٔ کر از جمله رودخانه‌های پر آب استان فارس است که از شمال غربی استان فارس و از بلندی‌های سلسله‌کوه‌های زاگرس جریان پیدا می‌کند. طول رودخانهٔ کر از سراب تا محل سد درودزن ۱۸۵ کیلومتر و تا دریاچهٔ بختگان ۳۵۱/۵ کیلومتر است. در نهایت، آب رودخانه به دریاچهٔ بختگان می‌ریزد. هدف از احداث این سد، تأمین آب مورد نیاز کشاورزی و صنعت، تأمین بخشی از آب شرب شهر شیراز و روستاهای بین راه بوده است [۱۷]. شکل ۲ موقعیت جغرافیایی این سد را نشان می‌دهد.

متوسط دبی ورودی درازمدت سالانه به مخزن ۳۰/۸۶ مترمکعب بر ثانیه و آبدهی حداقل و حداکثر آن به ترتیب ۶/۰۲ و ۲۱۸/۰۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. در جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب مشخصات هندسی مخزن و توزیع نیاز ماهانهٔ پایین دست سد به تفکیک شرب، کشاورزی و صنعت ارائه شده است. در پژوهش حاضر سری زمانی ۱۲۰ ماههٔ جریان ورودی به مخزن سد استفاده شده است.

گرفته شده است [۱۳]. الگوریتم قورباغه در واقع ترکیبی از مزایای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات است [۱۴]. هر قورباغه نشان‌دهندهٔ یک راه حل امکان‌پذیر برای مسئله بهینه‌سازی است. در این الگوریتم، جمعیت مربوطه از گروهی قورباغه (راه حل‌ها) تشکیل شده است که به چند زیرمجموعه<sup>۱</sup> تقسیم می‌شوند و هر یک از این زیرمجموعه‌ها یک جست‌وجوی محلی را انجام می‌دهند [۱۵، ۱۶]. در ادامه، روند کار الگوریتم جهش قورباغه مطرح می‌شود. فرض کنید که جمعیت اولیه متشکل از  $P$  قورباغه به صورت تصادفی ایجاد شده است. برای مسائل با  $L$  بعد ( $L$  متغیر)، موقعیت قورباغه  $i$  به صورت رابطهٔ ۱ نمایش داده می‌شود.

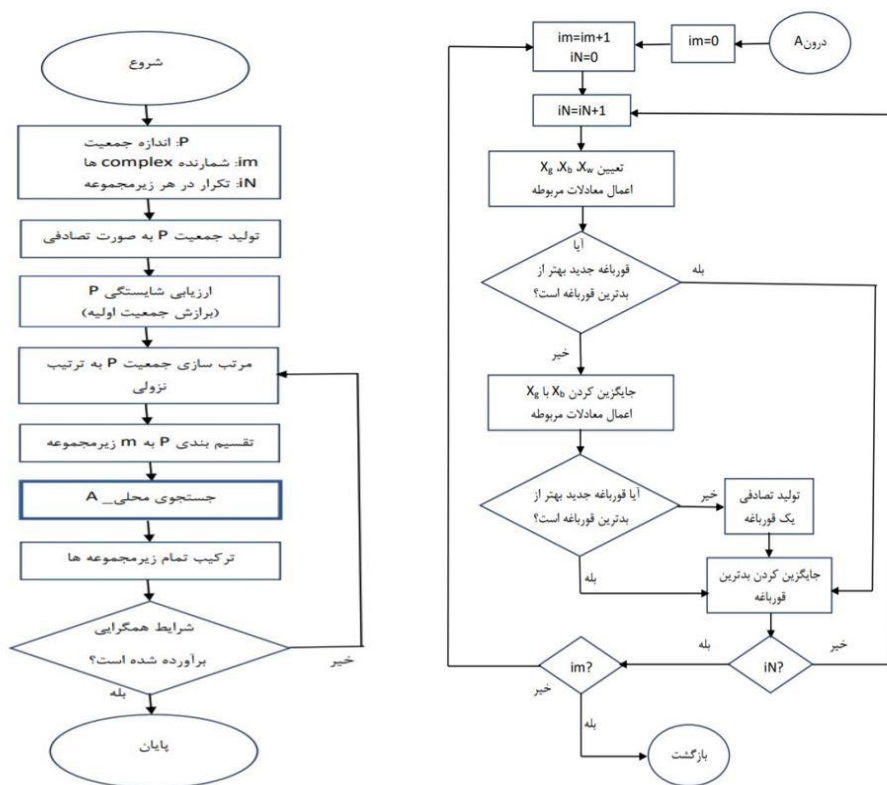
$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iL}) \quad (1)$$

که در رابطهٔ ۱،  $i$  شمارنده و  $X_i$  قورباغهٔ  $i$ ام در مسئله است. پس از آن، قورباغه‌ها بر اساس شایستگی‌هایی که دارند، به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. در این مرحله، کل جمعیت به  $m$  زیرمجموعه تقسیم می‌شود که هر یک شامل  $n$  قورباغه است (یعنی  $P=m*n$ ). در این فرایند، قورباغهٔ نخست در زیرمجموعهٔ نخست، قورباغهٔ دوم در زیرمجموعهٔ دوم و به همین ترتیب، قورباغهٔ  $m$ ام در زیرمجموعهٔ  $m$ ام قرار می‌گیرد. در نهایت، قورباغهٔ  $m+1$ ام دوباره در زیرمجموعهٔ نخست قرار می‌گیرد. این روند تا پر شدن همهٔ زیرمجموعه‌ها ادامه می‌یابد. در هر زیرمجموعه، بهترین و بدترین قورباغه به ترتیب با  $X_b$  و  $X_w$  نشان داده می‌شوند. به علاوه، قورباغه‌ای که در کل جمعیت بهترین جواب را دارد، با  $X_g$  نشان می‌دهند. در اینجا، یک فرایند مشابه الگوریتم ازدحام ذرات برای بهبود  $X_w$  (نه همهٔ قورباغه‌ها) در هر یک از گروه‌های کوچک اعمال می‌شود. در ادامه، داریم:

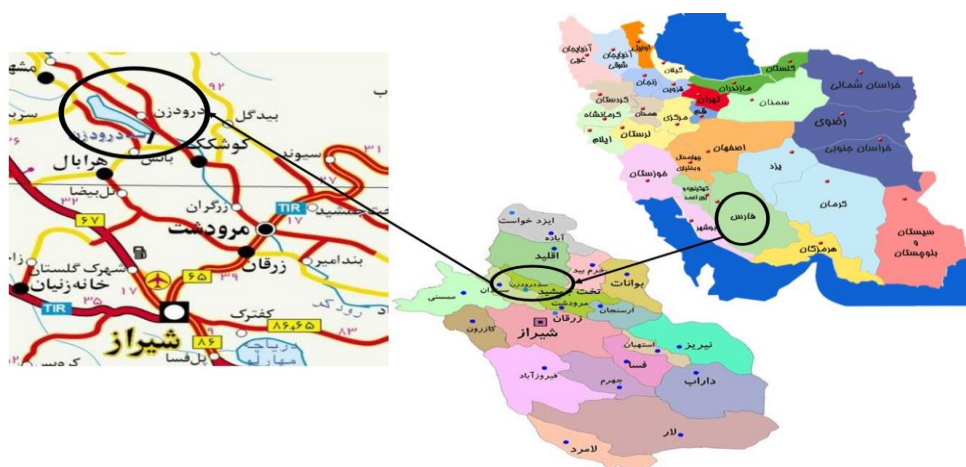
$$S = rand () * (X_b - X_w) \quad (2)$$

$$X_{new} = X_w + S, -S_{max} \leq S \leq S_{min} \quad (3)$$

در روابط ۲ و ۳،  $rand ()$  یک عدد تصادفی بین صفر و یک است.  $S_{max}$  بیشترین تغییر در موقعیت یک قورباغه است. اگر قورباغه در موقعیت جدید ( $X_{new}$ ) جواب بهتری



شکل ۱. فلوجارت الگوریتم جهش قورباغه SFLA [۱۵]



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی سد مخزنی درودزن

جدول ۱. مشخصات هندسی مخزن سد درودزن

۱۶۸۳/۵	تراز تاج (m. a. s. l.)
۱۶۷۶/۵	تراز شمال (m. a. s. l.)
۱۶۲۳/۵	تراز بستر (m. a. s. l.)
۶۰	ارتفاع سد از بستر (m)
۹۹۳	حجم مخزن در تراز شمال (MCM)
۱۳۳	حجم مخزن در تراز حداقل (MCM)
۸۰۰	حجم مفید مخزن (MCM)

m. a. s. l. متر از سطح دریا

جدول ۲. توزیع نیاز ماهانه پایین دست سد درودزن (MCM)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه	مصرف
														کشاورزی
	۲۵/۳۲	-	-	-	-	-	۱۰۴/۰۴	۱۶۷/۹۱	۱۵۵/۳۲	۱۳۶/۳۰	۱۴۴/۳۴	۱۴۱/۴۰	۸۴۹/۳۱	
	۳/۸۹	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۴/۰۲	۴/۰۲	۴/۰۲	۴/۰۲	۴/۰۲	۴/۰۲	۵۲/۰۱	شهری و صنعتی
	۲۹/۲۱	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۱۰۸/۰۶	۱۷۱/۹۳	۱۵۹/۳۴	۱۴۰/۳۲	۱۴۸/۳۶	۱۴۵/۴۲	۹۲۷/۶۴	مجموع

تابع هدف

تابع هدف تحقیق حاضر به صورت تابع عرضه و تقاضاست. عملکرد تابع هدف به این صورت است که با توجه به نیاز آبی پایین دست در هر ماه، میزان رهاسازی آب از مخزن سد در هر ماه را طی یک دوره چندساله تنظیم و بهینه خواهد کرد [۱۸]. در رابطه ۴ تابع هدف مربوط به این مسئله نشان داده شده است:

$$MinZ = \sum_{i=1}^T \left( \frac{D(i) - R(i)}{Dmax} \right)^2 \quad i = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

در این رابطه، Z تابع هدف، T طول دوره آبی، D(i) میزان تقاضا در پایین دست در ماه نام برحسب میلیون مترمکعب، Dmax بیشینه میزان تقاضا طی دوره برحسب میلیون مترمکعب، R(i) میزان رهاسازی آب از مخزن به پایین دست در ماه نام برحسب میلیون مترمکعب و متغیر تصمیم مسئله است.

معادله پیوستگی که یکی از قیود مسئله است، به صورت رابطه ۵ قابل نمایش است:

$$S_{t+1} = S_t + Q_t + P_t - R_t - E_t - Spill_t \quad (5)$$

که در آن:

S<sub>t+1</sub> حجم ذخیره مخزن در دوره t+1 حجم ذخیره مخزن در دوره t؛ Q<sub>t</sub> حجم جریان ورودی به مخزن در ماه نام؛ P<sub>t</sub> حجم بارش بر سطح دریاچه در ماه نام؛ R<sub>t</sub> حجم رهاسازی از مخزن سد در ماه نام؛ E<sub>t</sub> حجم تبخیر از سطح دریاچه در ماه نام و Spill<sub>t</sub> حجم سرریز در ماه نام است. معادله ۵ مبنای همه شبیه‌سازی‌هاست، ولی عاملی که شبیه‌سازی‌ها را از یکدیگر متمایز می‌کند و سبب به وجود آمدن سیاست‌های مختلف بهره‌برداری می‌شود، مقدار و زمان برداشت آب (R<sub>t</sub>) است.

شایان یادآوری است که در پژوهش حاضر از تلفات ناشی از تبخیر و سرریز صرف نظر شده است. علاوه بر این روابط،

قیودی نیز در نظر گرفته شده که در روابط ۶ و ۷ نشان داده شده‌اند. میزان رهاسازی از هر یک از مخازن در هر دوره نباید از حدودی کمتر یا بیشتر باشد. به بیان دیگر، همان طور که در معادله ۶ مشخص است، رهاسازی در هر بازه (R(i)) باید بین میزان رهاسازی کمینه (R<sub>min</sub>) و میزان رهاسازی بیشینه (R<sub>max</sub>) باشد. به علاوه، میزان حجم مخازن در هر دوره (S<sub>i</sub>) نیز مطابق با رابطه ۴ باید بین حداقل حجم مجاز مخزن (S<sub>min</sub>) و حداکثر حجم مجاز آن (S<sub>max</sub>) باشد.

$$R_{min} \leq R(i) \leq R_{max} \quad (6)$$

$$S_{min} \leq S_i \leq S_{max} \quad (7)$$

با توجه به مقادیر آبدهی حداقل و حداکثر سد یادشده، در پژوهش حاضر، میزان R به طور پیش فرض بین ۶ و ۲۱۸ مترمکعب بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

یافته‌ها

در تحقیق حاضر، الگوریتم جهش قورباغه به عنوان یکی از روش‌های فراابتکاری جدید در حل مسئله بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد درودزن بررسی شده است. به منظور حصول عملکرد بهتر، تحلیل حساسیت برای چندین مورد از متغیرهای مهم در کارکرد الگوریتم انجام شد. سپس، نتایج در کدهای الگوریتم که در نرم‌افزار MATLAB نوشته شدند، اعمال شد. به این منظور، الگوریتم SFLA با مقادیر مختلف هر یک از متغیرها اجرا شد و در نهایت، ترکیبی از مقادیر که تابع هدف را بهتر کاهش داده و روند بهبود بیشتری را ارائه دادند، به عنوان مقادیر مناسب انتخاب شد. در اینجا به طور پیش فرض، تعداد کل جمعیت قورباغه‌ها برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. هر یک از قورباغه‌ها بیان‌کننده راه حل ممکن برای حل مسئله‌اند. این قورباغه‌ها در ۵ زیرمجموعه یا گروه

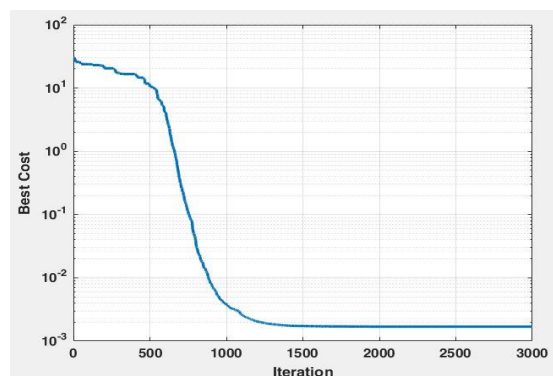
دسته بندی می شوند که در هر گروه ۲۰ قورباغه قرار می گیرد. مقادیر پارامترهای فرض شده برای حل مسئله با الگوریتم SFLA در جدول ۳ نشان داده شده است. به علاوه، جدول ۴ مقادیر تابع هدف را به ازای تکرارهای مختلف نشان می دهد. در ادامه، روند همگرایی الگوریتم SFLA در شکل ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳. پارامترهای تنظیم الگوریتم SFLA برای مخزن درودزن

پارامتر انتخابی	شرح
۱۰۰	تعداد کل جمعیت
۵	تعداد زیرمجموعه ها
۲۰	تعداد جمعیت در هر زیرمجموعه

جدول ۴. مقادیر تابع هدف به ازای تکرارهای مختلف

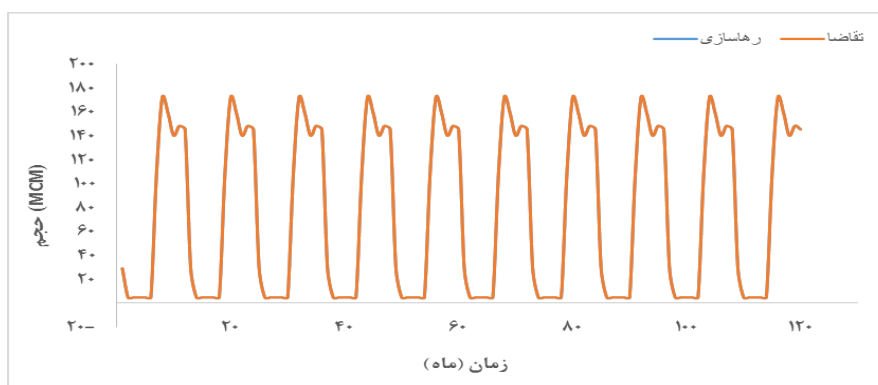
تعداد تکرار	مقدار بهینه تابع هدف	زمان اجرای الگوریتم (s)
۵۰۰	۵/۲۳۸۴	۲۰/۵۹۶۳
۱۰۰۰	۰/۰۰۲۱۰۷	۴۰/۱۵۱۱
۲۰۰۰	۰/۰۰۱۷۰۳	۸۲/۸۷۴۶
۳۰۰۰	۰/۰۰۱۶۹۱	۱۲۳/۵۷۲۴



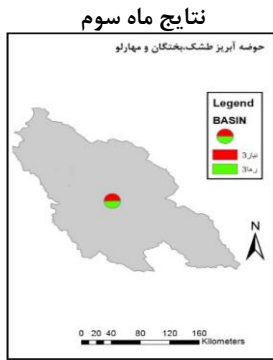
شکل ۳. چگونگی همگرایی الگوریتم SFLA

طبق جدول ۴، مقدار تابع هدف در الگوریتم SFLA برابر ۰/۰۰۱۶۹۱ به دست آمد. همان طور که در جدول ۴ مشاهده می شود، سرعت همگرایی الگوریتم SFLA زیاد است و در تکرارهای پایین و در نتیجه صرف زمان بسیار کم، می توان به بهینه ترین پاسخ ممکن رسید. مجموع میانگین ماهانه رهاسازی به دست آمده از الگوریتم برابر ۹۲۶/۷۸ میلیون مترمکعب محاسبه شده است و این در حالی است که مجموع میانگین ماهانه نیاز پایین دست سد برابر ۹۲۷/۶۴ میلیون مترمکعب است. با تقسیم مقدار رهاسازی بر نیاز، درصد تأمین برابر ۹۹/۹ درصد به دست می آید. شکل ۴ مقدار رهاسازی به دست آمده از الگوریتم جهش قورباغه در مقابل نیاز پایین دست مخزن سد طی دوره مطالعه شده را نشان می دهد.

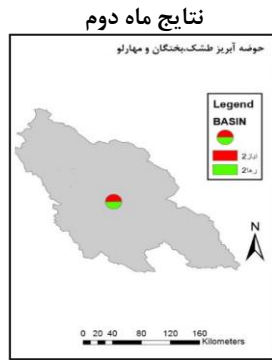
همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، در مسئله بهینه سازی بهره برداری از مخزن سد درودزن با هدف حداقل کردن کمبود کل طی دوره ۱۰ ساله، مقدار رهاسازی به دست آمده از الگوریتم جهش قورباغه بسیار نزدیک به مقدار کل نیازهای پایین دست سد مطالعه شده بوده و مقدار کمبود کل به کمترین میزان خود رسیده است. بنابراین، میزان خروجی حاصل از اجرای الگوریتم SFLA، قادر به تأمین ۹۹/۹ درصد نیاز کل پایین دست سد درودزن طی دوره مطالعه شده است. برای درک بهتر بهینه سازی و مشاهده نتایج به صورت مکانی، نمودار مقدار متوسط رهاسازی با الگوریتم مربوطه نسبت به مقدار نیاز در هر ماه در محیط GIS رسم شده است که در شکل ۵ مشاهده می شود. درخور یادآوری است که مشاهده نتایج بهینه سازی به صورت مکانی نسبت به یکسری ارقام و اعداد، دید بهتری از مسئله و چگونگی حل آن به ما می دهد. با توجه به نمودارهای به دست آمده مشخص می شود که در بیشتر ماهها نیاز پایین دست سد تأمین شده است.



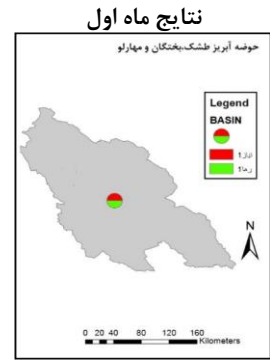
شکل ۴. مقدار حجم آب رهاسازی شده بهینه خروجی از الگوریتم SFLA و تقاضای ماهانه



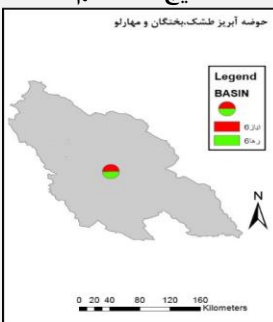
نیاز = ۵  
رهاسازی = ۴/۸۴



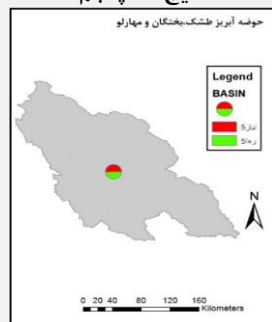
نیاز = ۵  
رهاسازی = ۴/۸۴



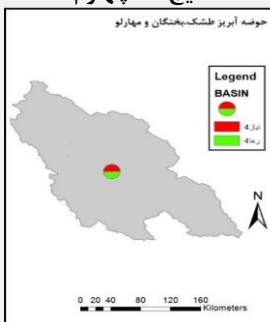
نیاز = ۲۹/۲۱  
رهاسازی = ۲۹/۲۰



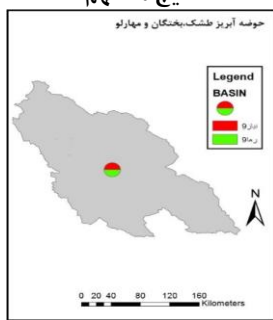
نیاز = ۵  
رهاسازی = ۴/۸۴



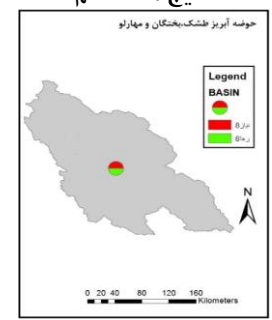
نیاز = ۵  
رهاسازی = ۴/۸۴



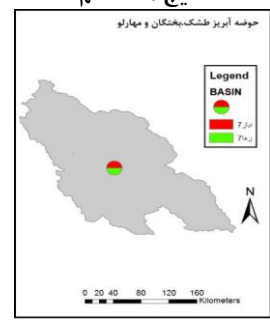
نیاز = ۵  
رهاسازی = ۴/۸۴



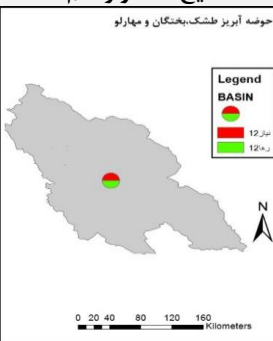
نیاز = ۱۵۹/۳۴  
رهاسازی = ۱۵۹/۳۳



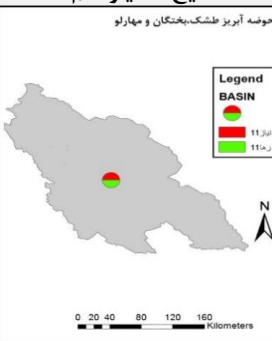
نیاز = ۱۷۱/۹۳  
رهاسازی = ۱۷۱/۹۲



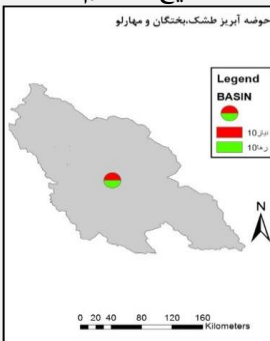
نیاز = ۱۰۸/۰۶  
رهاسازی = ۱۰۸/۰۴



نیاز = ۱۴۵/۴۲  
رهاسازی = ۱۴۵/۴۱



نیاز = ۱۴۸/۳۶  
رهاسازی = ۱۴۸/۳۵



نیاز = ۱۴۰/۳۲  
رهاسازی = ۱۴۰/۳۲

شکل ۵. نمودارهای مقایسه‌ای مقدار میانگین رهاسازی شده و مقدار نیاز در هر ماه

## بحث و نتیجه‌گیری

امروزه در دنیا شاهد مشکلات زیادی در زمینه کمبود منابع آب شیرین هستیم. کشور ایران نیز از این قاعده جدا نیست و با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی آن و خشکسالی‌های مکرر، وضعیت آب در کشور به سطح بحرانی رسیده است. این موارد اهمیت و لزوم مدیریت صحیح منابع آب را آشکار می‌سازد. از آنجا که مخازن نقش مهمی در تأمین نیازهای آبی برای بخش‌های مختلف مصرف دارند، بهره‌برداری بهینه از آنها یکی از راه‌کارهای بسیار مهم به منظور مقابله با مشکلات منابع آب و عدم توزیع زمانی و مکانی متناسب آن است.

به منظور تحقق اهداف یادشده، مقاله حاضر، استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جهش قورباغه (SFLA) و سیستم اطلاعات مکانی (GIS) را برای حل مسائل بهینه‌سازی مد نظر قرار داد که این امر، دستیابی به الگوی تخصیص به منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن سد را محقق ساخت. نتایج به دست آمده بیانگر آن بود که الگوریتم SFLA قادر به تأمین ۹۹/۹ درصد نیاز کل پایین دست سد درودزن طی دوره مطالعه شده است. به این معنا که استفاده از الگوریتم فراابتکاری SFLA و تلفیق آن با سیستم اطلاعات مکانی، موجب تخصیص بیشترین آب به پایین دست نسبت به نیاز آبی موجود، با کمترین هدررفت شده است. به علاوه، رویکرد ترکیبی این الگوریتم با سیستم اطلاعات مکانی، بستری را برای بررسی دقیق تر نتایج بهینه‌سازی فراهم می‌کند. به منظور تکمیل پژوهش حاضر، موارد زیر به عنوان پیشنهادهای آتی به سایر محققان و علاقه‌مندان توصیه می‌شود.

- اعمال توابع جریمه در صورت تخطی از قوانین بهره‌برداری
- مقایسه نتایج این روش با روش‌های سنتی یا سایر روش‌های بهینه‌سازی
- تا کنون از روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها استفاده شده است که از جمله آنها می‌توان به روش‌های برنامه‌ریزی خطی (LP)، برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP)، برنامه‌ریزی پویا (DP)، برنامه‌ریزی پویای تصادفی (SDP) و الگوریتم‌های فراابتکاری همچون الگوریتم ژنتیک، ازدحام ذرات و... اشاره کرد.
- در نظر گرفتن تبخیر و سرریز

در پژوهش حاضر از تلفات ناشی از سرریز و تبخیر صرف نظر شده است. با داشتن مقادیر یادشده، می‌توان آنها را در معادله پیوستگی وارد کرد.

## منابع

- [1]. Karamouz M, Ahmadi A, Nazif S. Challenges and opportunities for using optimal utilization models of water resources systems, 1st Conference on Optimum Utilization of Water Resources, 2006.[persian].
- [2]. Weise T. Global optimization algorithms-theory and application. Self-Published Thomas Weise. 2009 Jun 26.
- [3]. Sharma S, Sharma TK, Pant M, Rajpurohit J, Naruka B. Centroid mutation embedded shuffled frog-leaping algorithm. Procedia Computer Science. 2015;46:127-134.
- [4]. Eusuff MM, Lansey KE. Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm. Journal of Water Resources planning and management. 2003;129(3):210-225.
- [5]. Elbeltagi E, Hegazy T, Grierson D. Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms. Advanced engineering informatics. 2005;19(1):43-53.
- [6]. Eusuff M, Lansey K, Pasha F. Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization. Engineering optimization. 2006;38(2):129-154.
- [7]. Luo XH, Yang Y, Li X. Solving TSP with shuffled frog-leaping algorithm. In 2008 Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications 2008; 3: 228-232. IEEE.
- [8]. Chung G, Lansey K. Application of the shuffled frog leaping algorithm for the optimization of a general large-scale water supply system. Water resources management. 2009;23(4):797-823.
- [9]. Amiri B, Fathian M, Maroosi A. Application of shuffled frog-leaping algorithm on clustering. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2009;45(1-2):199-209.
- [10]. Vafaeinejad A. Cropping Pattern Optimization by Using of TOPSIS and Genetic Algorithm Based on the Capabilities of GIS, Iranian Journal of Ecohydrology, 2016; 3(1): 69 – 82.[persian].
- [11]. Vafaeinejad A, Yousefzadeh J, Yousefi H, Mohamadi Varzaneh N. Using GIS and linear programming to manage water distribution in irrigation networks and cropping pattern allocation (Case study: Downstream lands of Aq-chay Dam), Iranian Journal of Ecohydrology, 2014; 1(2): 123 – 132.[persian].



- [12]. Mohamadi Varzaneh N, Vafaeinejad A. Water Allocation in Irrigation Networks by using of Decision Support System Based on the Geospatial Information System (GIS) and Particle Swarm Optimization (PSO), Iranian Journal of Ecohydrology, 2015; 2(1): 39 – 49.[*persian*].
- [13]. Luo J, Chen MR. Improved shuffled frog leaping algorithm and its multi-phase model for multi-depot vehicle routing problem. Expert Systems with Applications. 2014;41(5):2535-2545.
- [14]. Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization (PSO). In Proc. IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia 1995;1942-1948.
- [15]. Liping Z, Weiwei W, Yi H, Yefeng X, Yixian C. Application of shuffled frog leaping algorithm to an uncapacitated SLLS problem. AASRI Procedia. 2012;1:226-231.
- [16]. Jaafari A, Zenner EK, Panahi M, Shahabi H. Hybrid artificial intelligence models based on a neuro-fuzzy system and metaheuristic optimization algorithms for spatial prediction of wildfire probability. Agricultural and forest meteorology. 2019;266:198-207.
- [17]. Yamani M, Moghimi E, Jodari-E-Eyvazi J, Mohamadi H, Issaee A. Effects of Ecogeomorphological Parameters on Chemical Water Quality Case Study: Kor River and Doroodzan Dam Lake. Geography and Environmental Planning, 2010; 21(1): 17 – 32.[*persian*].
- [18]. Hosseini Moghari S, Banihabib M. Optimizing operation of reservoir for agricultural water supply using firefly algorithm. Journal of Soil and Water Resources Conservation, 2014; 3(4): 17-31. [*persian*].