بررسی ساختارهای جدید از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی بهره برداری از مخازن

مهیار شفیعی* ، امید بزرگ حداد** و عباس افشار***

چکیده

با ساخت سدهای بزرگ در کشورهای متفاوت دنیا، بالا بردن بازده و کارایی این سیستم های مخزنی و حداکثر سازی منافع ناشی از آنها از مهم ترین مباحث مورد بررسی در سال های اخیر است. الگوریتم های تکاملی (Evolutionary Algorithms) از قبیل الگوریتم ژنتیک(GA) در بسیاری از مقوله های علمی و مهندسی به عنوان ابزارهای جستجو و بهینه سازی مورد استفاده قرار می گیرند. کاربردهای بسیاری از این روشها در مورد مساله بهره برداری بهینه از مخازن گزارش شده است. در این تحقیق سعی بر آن ست تا با ارزیابی پتانسیل فرمول بندی های جدید و کاربردی الگوریتم ژنتیک در حل مسایل مهندسی، ساختاری نوین به منظور بهینه سازی بهره برداری از مخازن با استفاده از GA تهیه و ارزیابی شود. در این مطالعه ساختارهای جدید از الگوریتم ژنتیک با انجام آنالیزهای متفاوت حساسیت مورد بررسی قرار گرفته و بهترین آنها برای تعیین آزاد سازی های بهینه از خروجی مخازن مورد استفاده قرار خواهد گرفت. نتیجه های به دست آمده حاکی این مطلب است که GA قابلیت ارایه پاسخ های خوبی در زمینه بهره برداری بهینه از مخازن را داراست. بر اساس این نتیجه ها، الگوریتم ژنتیک با نخبه گرایی به همراه عملگرهای جا به جایی برش دو نقطه ای و جهش با احتمال پایین، بهترین جواب را تولید می کند. این نتیجه ها دلالت بر پتانسیل نسبتا مناسب الگوریتم های ژنتیک در حل مسایل بزرگ مقیاس که دارای تابع های هدف پیچیده هستند دارد.

واژه های کلیدی: بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، عملگرهای ژنتیکی، جا به جایی، جهش، سیستم تک مخزنه

۱- مقدمه

با ساخت سدهای بزرگ با مخازن حجیم در بیشتر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، بالا بردن بازده و کفایت سیستمهای مخزنی موجود و حداکثر سازی منافع ناشی از آنها، جزو مهمترین مسایل مورد بحث در سالیان اخیر بوده است. به همین منظور بسیاری از روشهای قدیمی و نوین بهینه سازی، مورد استفاده کارشناسان قرار می گیرند.

در چند دهه اخیر، برای فایق آمدن به مشکل ها و ایرادهای احتمالی روشهای سنتی جستجو، تلاش های گسترده ای به منظور تهیه و ارایه الگوریتم های مناسب تر صورت پذیرفته است. الگوریتم های تکاملی[1] از جمله این روش ها هستند که در سال های اخیر در بسیاری از مقوله های علمی مورد استفاده قرار می گیرند. الگوریتمهای ژنتیک[2] در بین این روش ها، به عنوان شناخته شده ترین روش ها مورد استفاده، مطرح بوده و در حیطه های متفاوت علمی از جمله علوم پایه، اقتصاد، بیولوژی و علوم مهندسی به عنوان ابزاری قدرتمند در حل مسایل بهینه سازی مورد استفاده قرار می گیرند [۱و۲و۳].

مطالعه های الگوریتم های ژنتیک در اواسط دهه ۱۹۷۰ بنا نهاده شد [۴] و باگذشت زمان در فرایندهای بهینه سازی در مهندسی منابع آب کاربردهای فراوانی پیدا نمود. وانگ (۱۹۹۱) برای کالیبره کردن مدل بارش-رواناب، گلدبرگ (۱۹۸۷)، دندی و همکاران (۱۹۹۶) در طراحی

*- دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
**- دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
***- استاد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران (نویسنده مسئول) پست الکترونیکی: a_afshar@iust.ac.ir

[1]. Evolutionary Algorithms
[2]. Genetic Algorithms

بهینه شبکه آب رسانی، ریتزل و همکاران (۱۹۹۶) درمسایل آلودگی آبهای زیرزمینی و دیگر پژوهشگران در بخش های متفاوت مهندسی منابع آب از این روش استفاده کرده اند.

تاکنون در مورد استفاده از GA در مسایل بهینه سازی بهره برداری از سیستم های مخزنی نیز گزارش هایی ارایه شده است که به عنوان نمونه می توان به این موارد اشاره کرد. اسات و هال (۱۹۹۴) مطالعاتی در مورد استفاده از الگوریتم های ژنتیک در بهینه سازی مخزن انجام داده و به نتیجه های مطلوبی رسیده اند [۳]. مطالعات این پژوهشگران نمایانگر مزیت های GA نسبت به برخی دیگر از روشهای بهینه سازی از قبیل برنامه ریزی پویا[1] بوده است. واردلا و شریف نیز از GA برای بهینه سازی بهره برداری از مساله تک مخزنی به خوبی استفاده کرده اند [۱]. الیویرا و لاکس نیز با استفاده از GA اقدام به ارزیابی منحنی های فرمان بهره برداری برای سیستمهای چند مخزنه کرده و نشان دادند الگوریتم ژنتیک قابلیت استفاده برای تعیین سیاستهای کارآمد بهره برداری را دارا هستند [۹].

هدف از انجام این مطالعه معرفی و بررسی فرمول بندی های جدید و کاربردی الگوریتم ژنتیک در حل مسایل بهینه سازی بهره برداری از سیستم مخازن و تاثیر آنها بر روی جواب ها می باشد. در این تحقیق سعی بر آن است تا با استفاده از ساختار های متفاوت الگوریتم ژنتیک، اقدام به حل مساله بهینه سازی بهره برداری از سیستم تک مخزنه کرد [۱]. هدف از بهینه سازی سیستم تک مخزنه حاضر، حداکثر ساختن منافع ناشی از بهره برداری از مخزن با هدف تامین نیاز پایین دست است.

۲- الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم های ژنتیک فن های جستجوی تصادفی هستند که بر پایه مکانیسم ژنتیک و انتخاب طبیعی بنا شده اند. شکل معمول الگوریتم ژنتیک نخستین بار توسط گلدبرگ ارایه شد [۶]. الگوریتم های ژنتیک از مجموعه ای از راه حل های تصادفی اولیه به نام «جمعیت» آغاز می شوند. هر جزء از جمعیت «کروموزوم» نامیده می شود که بیانگر یک پاسخ مسأله است. کروموزوم ها در تکرارهای موفق که «نسل» نامیده می شوند متحول می گردند. در هر نسل کروموزوم ها با محاسبه تابع برازش ارزیابی می شوند. برای ایجاد نسل بعد کروموزوم های جدید که «فرزندان» نامیده می شوند به وسیله یکی از دو عملگر جابجایی و جهش ژنی ایجاد می شوند. نسل جدید نیز از روی انتخاب بر اساس مقدار تابع برازش والدین و فرزندان و یا حذف دیگران برای ثابت نگهداشتن جمعیت شکل می گیرد. بعد از چندین نسل الگوریتم به سمت بهترین کروموزوم هدایت می شود که در بهترین حالت ارایه دهنده پاسخی شبه بهینه از مسأله است.

به طور معمول انتخاب اولیه به صورت تصادفی انجام می شود. در نمونه گیری تصادفی تعداد واقعی کروموزوم های مورد تکثیر بر اساس احتمال زنده ماندن آن کروموزوم تعیین می شود. شناخته شده ترین این دسته روش ها «انتخاب نسبی هلند[2]» یا «انتخاب برپایه چرخ رولت[3]» است که احتمال زنده ماندن برای هر کروموزوم بر اساس مقدار تابع برازش آن تعیین می شود. برای کروموزوم k با تابع برازش f_k احتمال انتخاب P_k به شکل زیر محاسبه می شود:

$$p_k = \frac{f_k}{\sum f_j} \qquad (۱)$$

جا به جایی مهمترین عملگر ژنتیک است که برای ترکیب دو کروموزوم از والدین و ایجاد فرزندان جدید انجام می شود. روشهای جا به جایی برش یک نقطه ای، برش دو نقطه ای، برش چند نقطه ای و جا به جایی یکنواخت، از انواع متداول جابجایی است. در این عملگر آهنگ جا به جایی (P_c) به صورت نسبتی از تعداد فرزندان تولید شده از هر نسل به مقدار نسل حاضر تعریف می‌شود.

جهش ژنی نیز عملگر دیگری است که می تواند تغییرهایی در یک یا چند ژن از یک کروموزوم به وجود آورد. در الگوریتم های ژنتیک جهش ژنی نقش حساسی را به یکی از دو شکل جا به جایی ژنهای گمشده نسل در طول فرایند انتخاب به شکل یک کروموزوم جدید و یا داخل کردن ژنهایی که در نسل حاضر موجود نیستند به نسل جدید، ایفا می نماید. آهنگ جهش (P_m) به صورت درصدی از مجموعه ژنهای هر نسل بیان می شود.

[1]. Dynamic Programming

[2]. Holland

[3]. Roulette-Wheel Selection

۳- بهینه سازی بهره برداری از سیستم تک مخزن

به منظور تعیین و استفاده از تابع هدف مناسب در بهینه سازی بهره برداری از سیستم مخازن عامل هایی از قبیل بازده سیستم و پایداری[1] آن مورد ارزیابی قرار می گیرد. در سیستم تک مخزنه مورد بررسی در این مقاله، تابع هدف حداقل ساختن عدم تامین نیاز پایین دست بوده و به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$Min\ TSD = \sum_{t=1}^{nt}((R_{(t)} - D_{(t)})/D_{\max})^2 \qquad (۲)$$

که در آن TSD مقدار مربع انحرافات آزاد سازی ها از نیاز های مورد نظر، R(t) مقادیر آزادسازی، D(t) نیاز ها و Dmax بالاترین نیاز ماهانه در سال می باشند. دینامیک سیستم و معادله های مورد استفاده در فرایند بهینه سازی بر اساس قانون بقای جرم[2] به صورت زیر نوشته می شوند:

$$S(t) = S(t+1) - Q(t) + R(t) \quad ;\forall t \qquad (۳)$$

که در آن: S(t) بردار ذخیره مخزن در ابتدای دوره t، Q(t) بردار مقدار جریان ورودی به مخزن در طول دوره t وR(t) بردار مقادیر آزادسازی در دوره t، هستند. قیود مورد استفاده در فرایند بهینه سازی بهره برداری از سیستم تک مخزنه شامل محدودیت های حجم ذخیره مخزن و مقدارهای آزاد سازی ها در هر ماه است. با در نظر گرفتن حجم کنترل سیلاب (Cap) و حداقل حجم مفید مخزن (Smin(t))، حدود بالا و پایین حجم مخزن در طول فرایند شبیه سازی به صورت زیر هستند که به صورت یک قید به سیستم وارد می شوند:

$$S_{Min}(t) \le S(t) \le Cap \quad ;\forall t \qquad (۴)$$

قید مورد استفاده برای اعمال محدودیت های مقدارهای آزاد سازی در هر ماه نیز به صورت زیر هستند:

$$R_{Min}(t) \le R(t) \le R_{Max}(t) \quad ;\forall t \qquad (۵)$$

۴- روش شناسی و فرمولبندی GA

در مطالعه حاضر به منظور بهینه سازی بهره برداری از مخازن با استفاده از الگوریتم ژنتیک، با تهیه و تدوین زیر روال های شبیه سازی و بهینه سازی در محیط Visual Basic و پس از انجام تحلیل حساسیت لازم، کارایی استفاده از فرمول بندی های ابتکاری GA در مسأله بهره برداری از سیستم تک مخزن مورد بررسی قرار گرفته و نتیجه نهایی استخراج شده است.

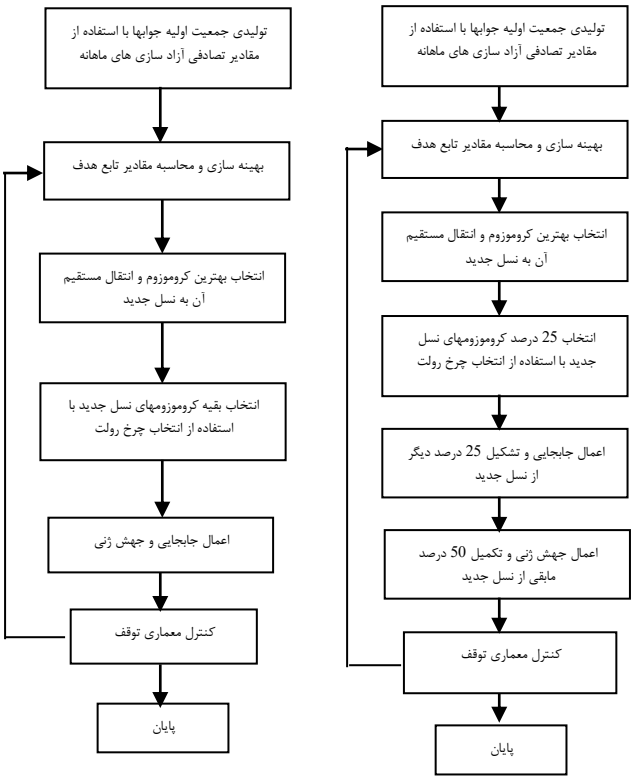
در این تحقیق دو فرمول بندی جدید الگوریتم ژنتیک از کدگذاری مقدار درست[3] معرفی و مورد مقایسه قرار گرفته اند. در مساله مورد بررسی در این مطالعه هر کدام از ژنهای موجود در کروموزوم نمایانگر یک مقدار آزاد سازی ماهانه است که بدین ترتیب ریسه پاسخ شامل ژن هایی به تعداد ماه های دوره شبیه سازی است. برای مثال با در نظر گرفتن دوره ۵ ساله، تعداد ژن های موجود در یک کروموزوم ۶۰ است. در طول انجام مقایسه فرمول بندی ها و آنالیزهای حساسیت، اندازه جمعیت پاسخ ها به تعداد ۸۰ کروموزوم است که در اجرای نهایی به ۴۰۰ کروموزوم افزایش خواهد یافت.

نخستین فرمول بندی مورد استفاده، الگوریتم ژنتیک نخبه گرایی است که از این به بعد Elitism-GA خوانده می شود. در این فرمول بندی پس از تولید تصادفی کروموزوم ها با در نظر گرفتن قیود مساله و به تعداد جمعیت پاسخ (۸۰)، کروموزوم ها بر اساس مقدار برازندگی[4] مرتب شده و بهترین آنها به طور مستقیم به نسل[5] بعد انتقال می یابد. سپس با استفاده از انتخاب چرخ رولت کروموزوم های لازم برای تکمیل نسل دوم از مجموعه جواب نسل قبل انتخاب می شوند. بعد از این مرحله عملگر جا به جایی[6] وارد عمل شده و بر اساس احتمال مورد نظر (Cp) بر روی جفت کروموزومهای نسل جدید اعمال می شود. نکات قابل توجه در این زمینه استفاده از انواع روشهای جا به جایی، احتمال های متفاوت و انتخاب بهترین عملگر در طی آنالیز حساسیت مربوط می باشد. در ضمن هر کدام از کروموزوم ها حداکثر یکبار مورد جا به جایی ژنی قرار می گیرند. عملگر جهش ژنی[7] در مرحله بعد و بر اساس احتمال مورد نظر (Mp) روی ژن های اطلاعاتی کروموزوم های نسل جدید اعمال می شود. در این مرحله نیز امکان استفاده از انواع روشها و احتمال های متفاوت برای عملگر جهش وجود دارد. با پایان اعمال عملگرهای ژنتیکی، مجموعه‌ی پاسخ جدید بر اساس برازندگی مرتب شده و بهترین پاسخ اعلام می شود. فرایند

1. Sustainability
2. Mass Balance
3. Real Value Coding
4. Fitness
5. Generation
6. Crossover
7. Mutation

بالا تا جایی ادامه می یابد که معیار توقف برنامه که در این حالت رسیدن به تعداد تکرار های ویژه است ارضاء شود.

فرمول بندی دوم الگوریتم ژنتیک طبقه بندی شده[1] است که از این به بعد CPGA نامیده می شود. در این روش مانند ساختار قبلی، پس از تولید تصادفی پاسخ ها و مرتب کردن آنها، بهترین پاسخ به نسل جدید منتقل می شود. سپس کروموزوم های لازم برای تشکیل ۲۵ درصد مجموعه پاسخ جدید از کروموزوم های انتخابی از نسل قبل در نظر گرفته می شوند. در مرحله بعد با استفاده از عملگرهای جا به جایی ۲۵ درصد دیگر از جمعیت جواب های جدید ساخته می شود. ۵۰ درصد مابقی با استفاده از عملگرهای متنوع جهش ژنی تولید شده و بدین ترتیب تولید نسل جدید خاتمه می یابد. سپس کروموزوم ها بر اساس مقدار تابع هدف مرتب شده و بهترین آنها به عنوان پاسخ برتر اعلام می شود. این فرایند تکرار شده و مشابه فرایند ذکر شده در فرمول بندی قبل، با رسیدن به تعداد تکرارهای ویژه متوقف می شود. شکل زیر به طور نمادین نحوه انجام فرایند الگوریتم های ژنتیک نوع اول و دوم را نمایش می دهد:



شکل ۱. الگوریتمهای ژنتیک نخبه گرایی (چپ) و طبقه بندی شده (راست)

[1]. Classified Population GA

۵- محدوده مورد مطالعه

به منظور ارزیابی کارایی و کاربرد مدل حاضر در مسأله بهینه سازی بهره برداری از مخازن، سد دز که در جنوب ایران واقع شده است به عنوان مطالعه موردی تحت بررسی قرار گرفته و بهره برداری از این سد بهینه می شود. مقدار متوسط جریان سالانه ورودی به مخزن و مقدار متوسط نیاز آبی محدوده مورد مطالعه، به ترتیب ۵/۹ و ۵/۳۰۳ میلیارد متر مکعب در نظر گرفته شده اند. حجم مفید مخزن ۲/۵۱ میلیارد متر مکعب است. این مسأله ابتدا در سال ۲۰۰۴ توسط برخی از محققین، با استفاده از یکی از روش های تکاملی[2] و با گسسته سازی مقدارهای آزاد سازی ها به ۱۴ تراز، مورد بررسی قرار گرفته است [۱۰]. در تحقیق حاضر مقادیر آزاد سازی ها و احجام ذخیره مخزن در ماههای متفاوت به صورت پیوسته در نظر گرفته خواهد شد.

۶- تحلیل حساسیت

برای در نظر گرفتن حالت های متفاوت قابل استفاده، در روش الگوریتم ژنتیک نخبه گرا عملگر انتخاب چرخ رولت، عملگر های جا به جایی برش تک نقطه ای[3] و دو نقطه‌ای[4] با احتمال بین ۰/۴ تا ۰/۸ و عملگر جهش ژنی یکنواخت با احتمال بین ۰/۰۱ تا ۰/۱ در اجراهای ۱۰۰۰ تکراری مورد بررسی قرار گرفته اند. در فرمول بندی طبقه بندی شده (CPGA) نیز عملگر انتخاب چرخ رولت، عملگر های جا به جایی برش تک نقطه ای و دو نقطه ای با احتمال ثابت ۲۵ درصد و عملگر جهش ژنی یکنواخت با احتمال بین ۰/۰۱ تا ۱,۰، مد نظر قرار گرفته اند.

جداول ۱ و ۲ حاوی نتیجه های به دست آمده با در نظر گرفتن احتمال های و انواع متفاوت جا به جایی و جهش ژنی، به ترتیب برای فرمول بندی های نخبه گرا و طبقه بندی شده می باشند. در این جدول ها مقدارهای حداقل، میانگین، حداکثر، انحراف از معیار و ضریب تغییرهای مقدارهای تابع هدف ارایه شده اند.

[2]. Honey Bees Mating Optimization
[3]. One-Point Cut
[4]. Two-Point Cut

جدول ۱. مقدارهای تابع هدف برای Elitism-GA

نوع جابجایی	احتمال جابجایی (درصد)	احتمال جهش (درصد)	مقدارهای تابع هدف				
			حداقل	متوسط	حداکثر	انحراف از معماری	ضریب تغییرها
برش تک نقطه ای	40	1	1.333	1.655	2.001	0.228	0.138
	40	5	4.367	4.653	4.942	0.186	0.040
	40	10	4.655	5.106	5.808	0.357	0.070
	60	1	1.426	1.691	2.148	0.191	0.113
	60	5	4.332	4.784	5.230	0.282	0.059
	60	10	4.277	4.938	5.543	0.444	0.090
	80	1	1.745	1.969	2.420	0.236	0.120
	80	5	4.129	4.720	5.156	0.375	0.079
	80	10	3.907	4.830	5.433	0.464	0.096
برش دو نقطه ای	40	1	1.299	1.548	1.754	0.171	0.110
	40	5	3.800	4.587	5.300	0.473	0.103
	40	10	4.481	4.822	5.304	0.311	0.065
	60	1	1.202	1.438	1.680	0.173	0.120
	60	5	4.251	4.664	5.007	0.267	0.057
	60	10	4.540	4.978	5.407	0.314	0.063
	80	1	1.283	1.461	1.721	0.142	0.097
	80	5	3.928	4.748	5.551	0.427	0.090
	80	10	4.398	5.036	5.419	0.304	0.060

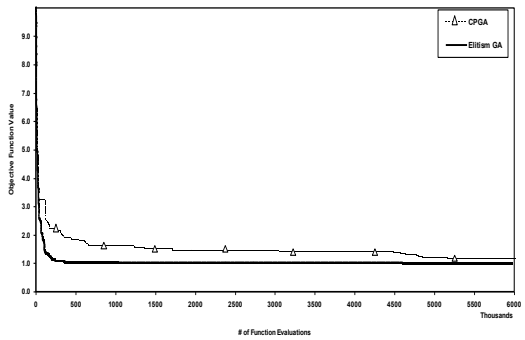
جدول ۲. مقدارهای تابع هدف برای CPGA

نوع جابجایی	احتمال جهش (درصد)	مقدارهای تابع هدف				
		حداقل	متوسط	حداکثر	انحراف از معماری	ضریب تغییرها
برش تک نقطه ای	1	2.468	3.556	4.888	0.632	0.178
	2	3.365	4.048	4.804	0.465	0.115
	3	2.995	3.896	5.438	0.954	0.245
	4	2.971	4.060	5.024	0.793	0.195
	5	2.064	4.468	5.606	1.089	0.244
	6	2.785	4.531	5.572	0.851	0.188
	7	3.318	4.286	5.931	0.880	0.205
	8	3.223	4.772	5.820	0.811	0.170
	9	3.186	4.538	5.846	0.838	0.185
	10	2.324	4.054	5.390	1.098	0.271
برش دو نقطه ای	1	2.340	3.323	3.950	0.512	0.154
	2	2.393	3.711	5.341	1.049	0.283
	3	3.289	4.029	4.904	0.635	0.158
	4	2.320	3.706	5.130	0.872	0.235
	5	2.520	3.808	5.173	0.942	0.247
	6	3.234	4.319	5.370	0.686	0.159
	7	3.078	4.216	5.528	0.747	0.177
	8	2.921	4.008	5.200	0.725	0.181
	9	2.428	3.149	4.363	0.632	0.201
	10	1.654	3.011	4.918	1.168	0.388

با ملاحظه نتیجه های حاصل می توان دریافت، الگوریتم ژنتیک نخبه گرا به همراه عملگر جا به جایی برش دو نقطه ای با احتمال ۰/۶ به همراه عملگر جهش ژنی با احتمال ۰/۰۱ کمترین مقادیر حداقل تابع هدف را تولید نوده و بدین جهت به عنوان بهترین گزینه برای اجرای نهایی مسأله انتخاب می شود.

۷- نتایج نهایی

همان طور که در قسمت تحلیل حساسیت و در جدول های ۱ و ۲ ملاحظه گردید، الگوریتم ژنتیک نخبه گرا با جا به جایی برش دو نقطه ای با احتمال ۰/۶ و جهش با احتمال ۰/۰۱ به عنوان های بهترین ساختار قابل استفاده در مسأله مورد انتخاب واقع شد. با در نظر گرفتن این ساختار با اندازه‌ی جمعیت ۴۰۰ کروموزوم و ۵۰۰۰ تکرار، ده اجرا برای مسأله بهینه سازی بهره برداری از مخزن سد دز مورد استفاده قرار گرفت که نتیجه های بدست آمده در شکل ۲ نمایش داده شده اند. این شکل نمایانگر مینیمم مقدارهای تابع هدف در ۱۰ اجرای مذکور هستند.



شکل ۲. مقدارهای حداقل تابع هدف در ۱۰ اجرای نهایی

جدول ۳ نیز حاوی مقدارهای بهینه تابع هدف برای دو فرمول بندی مورد بررسی است. مقدارهای پارامترهای آماری نتایج بدست آمده نیز در جدول ۴ ارایه شده است.

جدول ۳. مقادیر تابع هدف در طول ۱۰ اجرای نهایی

نوع فرمول بندی	شماره اجرا									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Elitis m GA	1.029	1.020	1.023	0.996	1.037	1.031	1.015	1.049	1.004	0.979
CPGA	3.018	1.717	2.121	1.657	1.148	1.448	1.916	1.821	1.693	1.552

جدول ۴. مقادیر پارمترهای آماری جوابهای بدست آمده از ۱۰ اجرای نهایی

نوع فرمولبندی	پارامترهای آماری				
	حداقل	متوسط	حداکثر	انحراف از معمار	ضریب تغییرات
Elirism GA	0.979	1.018	1.049	0.021	0.020
CPGA	1.148	1.809	3.018	0.500	0.276

همان گونه که در جدول ۴ ملاحظه می شود، در بین ۱۰ جواب به دست آمده از حل مسأله طی ۱۰ اجرای متفاوت، بهترین جواب برابر با ۰/۹۷۹ می باشد که معادل با کمترین مجموع مربع های مقدار انحرافات از نیازها در یک دوره ۵ ساله می باشد.

۸- جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق با در نظر گرفتن مفاهیم کلی الگوریتم های ژنتیک، دو فرمول بندی GA معرفی و در حل مسأله بهینه سازی بهره برداری از سیستم تک مخزنه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به نتیجه های بدست آمده و مقایسه آنها با سوابق مطالعاتی موجود معلوم شد، این ساختارهای جدید GA در حل مسایل بهینه سازی بهره برداری از مخازن قابل استفاده بوده و نتیجه های مناسبی ارایه می کند. در این بین الگوریتم ژنتیک نخبه گرایی (Elitism-GA) با کدگذاری مقدار درست، جا به جایی برش دو نقطه ای و جهش با احتمال پایین، بهترین پاسخ را ارایه می نمایند. نتیجه های بدست آمده از مطالعه حاضر دلالت بر این دارند که GA از پتانسیل مناسبی برای استفاده به منظور حل مسایل بهینه سازی سیستم های چند مخزنه که دارای توابع هدف و قیود پیچیده ای هستند، برخوردار است.

۹- مراجع

[1] Wardlaw, R., and Sharif, M., Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation, J. Water Res. Plng. and Mgmt., ASCE, 125(1), 25-33, **1999.**

[2] Gen, M., and Cheng, R.W., Genetic Algorithms and Engineering Design, John Wiley & Sons, Inc, **1997.**

[3] Esat, V., and Hall, M.J., Water resources system optimization using genetic algorithms. Hydroinformatics '94, Proc., 1st Int. Conf. on Hydroinformatics, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 225-231, **1994.**

[4] Holland, J.H., Adaption in natural and artificial systems, The University of Michigan Press, Ann Harbor, MI, **1975.**

[5] Wang, Q. J. The genetic algorithm and its application to calibrating conceptual rainfall-runoff models, Water Resour. Res., 27(9), 2467-2471, **1991.**

[6] Goldberg, D.E., and Richardson, J., Genetic algorithms with sharing for multimodal function optimization, In Genetic Algorithms and their Applications, J. J. Grefenstette, Ed.
Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 41–49, **1987.**

[7] Dandy, G. C., Simpson, A. R. and Murphy, L. J. *An improved genetic algorithm for pipe network optimization*, Water Resour. Res., 32(2), 449-458, **1996.**

[8] Ritzel, B., Ebeart, J. W. and Ranjithan, S. Use genetic algorithms to solve a multiple objective ground water pollution problem, Water Resour. Res., 30(5), 1589-1603, **1994.**

[9] Oliviera, R. and Loucks, D. P., Operating rules for multireservoir systems, Journal of Water Resour. Res., Vol.33, No.4, pp. 1589–1603, **1997.**

[10] Bozorg Haddad, O., and Afshar, A., (**2004**). "MBO (Marriage Bees Optimization), A New Heuristic Approach in Hydrosystems Design and Operation." Proceedings of 1st International Conference on Managing Rivers In The 21st Century: Issues and Challenges, Penang, Malaysia, 21-23 Sep, 499-504, **2004.**