



بهینه سازی چندهدفه مخازن با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محمد نوری ، شرکت مهندسی مشاور طوس آب مشهد

دکتر محمدباقر شریفی - استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه فردوسی

دکتر حبیب رجبی مشهدی - دانشیار گروه مهندسی برق دانشگاه فردوسی

پست الکترونیک : Mohammad80_noori@yahoo.com

چکیده

در سیستم مخازن چندهدفه، معمولاً بعضی اهداف در تضاد با هدف های دیگر قرار می گیرند. به عنوان مثال بالا نگه داشتن حجم ذخیره آب یک مخزن سبب افزایش تولید نیروی برق و نیازهای آبی دیگر شده در حالی که به علت کاهش فضای لازم جهت کنترل سیلاب، سبب ایجاد خسارت می شود. لذا بهینه سازی عملکرد مخازن از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی عملکرد سد پیرتقی که در حال حاضر توسط شرکت مهندسی مشاور طوس آب در دست مطالعه می باشد استفاده شده است.

در این مطالعه با در نظر گرفتن افق دید برنامه ریزی یک ساله و بازه های زمانی ماهانه، این الگوریتم اجرا گردیده است.

کلید واژه ها : الگوریتم ژنتیک ، بهینه سازی چند هدفه ، جبهه پاراتو ، اهداف ناسازگار

۱- مقدمه

آب از عوامل بسیار عمده ای است که به صورت مستقیم و غیر مستقیم در حیات موجودات زنده از جمله انسان و نیز در تمدن بشری نقش بسزایی داشته و احتیاج به آن دائماً افزایش می یابد. محدود بودن منابع آب قابل دسترس از یک سو و نیاز روزافزون بشر به آن از سوی دیگر ایجاب می کند تا با اعمال مدیریت صحیح، در ضمن بهره برداری بهینه از آن، از این منابع حیاتی حفاظت شود.

پیچیدگی های موجود در مدل های بهینه سازی بهره برداری از سیستم های چند هدفه از جمله غیر خطی و غیر محدب بودن توابع آنها باعث شده تا با استفاده از الگوریتم های جستجوی تکاملی مانند الگوریتم های ژنتیک جهت حل چنین مدل هایی مورد توجه قرار گیرد. توانایی این روش ها جهت یافتن جواب های مناسب حتی زمانی که توابع مدل غیر خطی، ناپیوسته و غیر مشتق پذیر هستند باعث توجه روز افزون به آنها گشته است.

در کنار تمام این قابلیت ها یافتن جواب در مدل های بزرگ مقیاس توسط این روش ها متضمن صرف زمان نسبتاً طولانی است، از طرفی در استفاده از این روش ها هرچند احتمال رسیدن به جواب نزدیک به بهینه کلی بسیار نزدیک است، هیچ گاه تضمینی قطعی برای رسیدن به جواب بهینه کلی و همگرایی مدل وجود ندارد.

در این مقاله یک مدل بهره برداری از یک مخزن دو هدفه که شامل بیشینه سازی سود خالص حاصل از فروش انرژی برقایی تولید شده و بیشینه سازی حجم ذخیره مخزن جهت کنترل سیلاب می باشد ارائه شده است. تا با استفاده از آن ضمن بهره گیری از ویژگی های الگوریتم های ژنتیک بتوان در مدت زمان کمتری به جواب مناسبی برای مدل دست یافت.

در ادامه فرمول بندی روش پیشنهادی و نتایج آن در یک مطالعه موردی ارائه خواهد شد.

۲- مواد و روش ها

۱-۲- الگوریتم های ژنتیک

الگوریتم ژنتیک روشی است بر پایه جستجو که با الهام از فرضیه تکامل تدریجی داروین در سال ۱۹۷۵ توسط آقای هولاند مطرح شد و تا امروز جهت حل انواع مختلف مسائل بهینه سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

در الگوریتم ژنتیک سعی بر آن است تا با شبیه سازی فرآیند بهگزینی افراد یک جمعیت و توسعه نسل از آنها در یک مدل بهینه سازی به سوی نسل هایی که در آنها جواب های بهتری جهت حل مدل وجود دارد حرکت نماید [۱].

آنچه الگوریتم های ژنتیک را از سایر روش های بهینه سازی متمایز می سازد را می توان در موارد زیر خلاصه نمود [۲]:

- الگوریتم های ژنتیک در هر تکرار، جمعیتی از جواب ها را در فضای امکانپذیر مسئله ایجاد می کند نه فقط یک نقطه را. و الگوریتم در جمعیت های متوالی در جهت یافتن جواب های بهینه حرکت می نماید.
- الگوریتم های ژنتیک هر جمعیت را با استفاده از قوانینی که بر پایه احتمالات و انتخاب تصادفی قرار دارد از جمعیت قبلی شکل می دهند.
- معیار الگوریتم های ژنتیک جهت حرکت به سمت جواب های بهتر تنها مقادیر تابع هدف هر جواب می باشد و نه مشتق توابع یا اطلاعات کمکی دیگر.

اصول اساسی حاکم بر الگوریتم های ژنتیک را می توان به صورت زیر بیان نمود [۳]:

- ۱- تشکیل جمعیت (population) اولیه از جواب ها به صورت تصادفی و کدگذاری جواب ها به صورت کروموزوم (chromosom).
- ۲- ارزیابی جواب ها و انتخاب جواب های مناسب تر با بکارگیری قواعد انتخاب (selection rules) به صورت احتمالاتی، جواب های انتخاب شده والدین (parents) نامیده می شوند.
- ۳- ایجاد جواب های جدید با اعمال قوانین ترویج (crossover rules) و جهش (mutation rules) بر روی والدین جهت تولید نسل (generation) بعد.

این روند ایجاد نسل به صورت تدریجی در جهت تکامل و بهبود بخشی جواب ها ادامه پیدا می کند [۴].

۲-۲- معرفی بهینه سازی

از دیدگاه علوم ریاضی فرایند محاسبه حداقل یا حداکثر تابع هدف بهینه سازی نامیده می شود. تاریخ علم بهینه سازی به اوایل قرن نوزدهم باز می گردد. تمامی روش های بهینه سازی قدیمی بر اساس مفهوم مشتق جزئی توابع چندمتغیره بیان شده اند. چنین روش هایی با عنوان روش های تحلیلی شناخته می شوند. در این روش ها محاسبات از یک نقطه شروع می شود و با توجه به گرادیان توابع هدف به صورت خطی به نقطه دیگری منتقل می شود. محاسبات مذکور برای نقطه جدید تکرار می شوند تا نقاط بعدی بدست آیند. بدیهی است که عملیات تکراری روش های تحلیلی تا حصول همگرایی ادامه می یابد. در روش های بهینه سازی برگرفته از طبیعت ابتدا جمعیتی از نقاط به طور تصادفی از میان جواب ها انتخاب و سپس مقدار تابع هدف به ازای تک تک نقاط جمعیت محاسبه می شود. در مرحله تولید جمعیت جدید، با کمک جمعیت موجود و استفاده از تابع توزیع احتمال مشخص و یا هر عملگر تصادفی دیگر، جمعیت دیگری تولید و مقدار تابع هدف به

ازای هر یک از افراد جمعیت به وجود آمده، محاسبه می شود. در اینجا جمعیت جدید با جمعیت مولد سنجیده شده و بر اساس این سنجش، افراد جمعیت جدید برای مرحله بعد انتخاب می شوند.

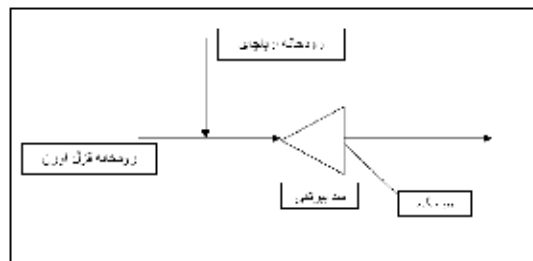
در سال های اخیر الگوریتم ژنتیک با استفاده از مقادیر واقعی، قابلیت استفاده در مسائل بهینه سازی پیوسته از قبیل بهینه سازی منابع آب را دارا می باشد [۵].

۲-۳-۳- اطلاعات پایه منطقه مورد بررسی

۲-۳-۱- موقعیت جغرافیایی سد پیرتقی

حوزه آبریز قزل اوزن بین طول شرقی ۲۷- ۴۶ الی ۶- ۵۱ و عرض شمالی ۳۵ الی ۵۶- ۳۷ قرار گرفته است. سرشاخه های حوزه آبریز این رودخانه از حدود شهرستان قروه در استان کردستان در ارتفاعات ۲۰۰۰ متری سرچشمه می گیرند و در جهت شمال حرکت می کند.

محور سد پیرتقی در طول جغرافیایی چهل و هشت درجه و سیزده دقیقه و عرض جغرافیایی سی و هفت درجه و بیست و هشت دقیقه قرار دارد. این محور در پائین دست سد استور و بعد از اتصال رودخانه آریاچای به رودخانه قزل اوزن قرار دارد. شکل شماتیکی مساله بهینه سازی بصورت زیر است [۶].



شکل ۱: شکل شماتیکی مساله بهینه سازی

۲-۳-۲- پتانسیل آب سطحی

در جدول ۱ میانگین سری بلند مدت آبدهی در محل سد پیرتقی در شرایط طبیعی ارائه شده است. آبدهی در محل سد پیرتقی برابر با آبدهی رودخانه های آریاچای و قزل اوزن می باشد که بر اساس ۴۳ سال آمار بدست آمده است.

جدول ۱- میانگین سری بلند مدت آبدهی در ساختگاه مورد بررسی [۶]

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	رودخانه
۴/۱	۲/۷	۱۳/۲	۷۶/۶	۲۳۲/۷	۲۲۵/۹	۹۲/۸	۴۸	۴۲/۱	۴۳/۱	۳۸/۴	۱۷/۹	قزل اوزن
۲/۸۵	۲/۲	۸/۵	۴۹/۲	۱۴۷	۱۴۳	۵۶/۲	۲۹/۶۵	۲۵/۶۵	۲۶/۱۵	۲۴/۲۵	۱۱/۱	آریاچای

۲-۳-۳- تبخیر از سطح آزاد آب

میزان تبخیر از سطح آزاد آب، براساس مطالعات هواشناسی مطابق جدول ۲ در محل ساختگاه مورد بررسی ، برآورد و مورد استفاده قرار داده شده است .

جدول ۲: توزیع ماهیانه تبخیر از سطح آزاد آب در ساختگاه مورد بررسی [۶]

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر
۲۰۷	۲۲۰	۲۱۰/۷	۱۶۶/۲	۱۲۵/۹	۹۰/۵	۵۹/۵	۴۲/۷	۳۴/۷	۴۸/۶	۸۴/۳	۱۳۶

۲-۳-۴- بارندگی

میزان بارندگی در سطح حوضه نیز براساس مطالعات هواشناسی مطابق جدول ۳ در محل ساختگاه مورد بررسی، برآورد و مورد استفاده قرار داده شده است.

جدول ۳- توزیع ماهیانه بارندگی در سطح مخزن مورد بررسی [۶]

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر
۴/۹	۴/۳	۷/۵	۲۶/۵	۵۸/۵	۴۴/۵	۳۷	۳۵/۳	۳۶/۶	۲۱/۹	۳۲	۱۸

۲-۴- توابع هدف

مدل پیشنهادی دارای دو تابع هدف می باشد. توابع هدف مدل بهینه سازی پیشنهاد شده در این طرح، به صورت زیر می باشند [۸ و ۷]:

$$f(1) \text{ Maximize } \sum_{t=1}^T pwp^t \cdot E^t \quad (1)$$

$$f(2) \text{ Maximize } \sum_{t=1}^T c^t \cdot (S^n - S^t) \quad (2)$$

T : افق زمانی مدل بهره برداری (۱۲ ماه)

pwp^t : درآمد حاصل از فروش یک واحد انرژی تولید شده در ماه t بر حسب ریال بر مگاوات ساعت

c^t : ضریب ثابت سیلاب در ماه t که در ماههای سیلابی برابر ۱ و در سایر ماه ها برابر صفر است.

S^n : حجم مخزن در تراز نرمال بر حسب متر مکعب

S^t : حجم مخزن در ماه t بر حسب متر مکعب

E^t : انرژی تولید شده در ماه t بر حسب مگاوات ساعت

۲-۵- قیود مدل

۲-۵-۱- بیلان آب در مخزن

بیلان آب در مخزن مورد بررسی براساس معادله پیوستگی که به صورت زیر تعریف می شود استوار می باشد [۹]:

(۳)

$$S^{t+1} = S^t + I_1^t - I_2^t - P^t + E^t + R^t - Spill^t$$

S^t و S^{t+1} : حجم ذخیره آب در مخزن (مترمکعب) به ترتیب در ابتدا و انتهای دوره زمانی t

- I^t : دبی رودخانه ورودی به مخزن در ماه t
- P^t : میزان بارندگی در سطح مخزن در ماه t
- E^t : میزان تبخیر از سطح مخزن در ماه t
- R^t : میزان آب خروجی از نیروگاه در ماه t
- $Spill^t$: میزان آب سرریزی از مخزن در ماه t

حجم آب تبخیر شده از سطح مخزن و حجم آب ناشی از بارندگی بر سطح مخزن تابعی از سطح آب مخزن می باشد. باین وجود روابط و قیود منطقی بین آنها برقرار می باشد. حجم آب مخزن سد در هر دوره زمانی محدود به دو مقدار حجم حداکثر مخزن (S_{max}) و حجم مرده مخزن (S_{dead}) می باشد [۹]:

$$S_{dead} \quad S_t \quad S_{max} \quad (4)$$

۲-۵-۲- محدودیت میزان رهاسازی آب
میزان آب ورودی به نیروگاه در فاصله تراز بهره برداری نیروگاه تا تراز نرمال مخزن با تغییرات هد افزایش می یابد به طوری که [۱۰]:

$$R_{min} \quad R_t \quad R_{max} \quad (5)$$

مقدار R_{min} در این مساله برابر صفر می باشند، اما برای محاسبه R_{max} از رابطه دبی در آبگیرها استفاده می شود [۱۱].

$$R_{max} = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot H_{max}} \quad (6)$$

C_d : ضریب جریان که برابر است با ۰/۶ [۱۱].

A : سطح مقطع ورودی آبگیر یا تونل آب بر نیروگاه

H : هد خالص آب بالای توربین

۲-۵-۳- وجود حداقل جریان در پایین دست جهت حفظ زیست محیطی

جهت حفظ محیط زیست منطقه نیاز به وجود یک دبی حداقل در رودخانه یا به عبارتی در پایین دست سد می باشد. بنابراین مجموع آب خروجی نیروگاه و آب سرریزی باید حداقل نیاز پایین دست را تامین کند. این قید به صورت زیر تعریف می شود [۱۲].

$$R_{spill} \geq MDT \quad (7)$$

که در آن MDT حداقل نیاز آب در پایین دست مخزن بر حسب متر مکعب می باشد. این مقدار برابر است با بیشترین مقدار آبدهی ماهانه در ماهی که در طی ۴۳ سال آمار دارای کمترین مقدار آبدهی متوسط می باشد و برابر ۶۶/۹۶ میلیون متر مکعب می باشد.

۲-۶- توابع جریمه

۲-۶-۱- تابع جریمه مربوط به حجم مخزن

با توجه به قید بیلان آب در مخازن، حجم آب مخزن سد نباید از حجم مرده مخزن (S_{dead}) کمتر باشد. در صورتیکه این قید ارضا نشود تابع جریمه‌ای بصورت زیر تعریف می‌شود [۵]:

$$if \quad S^t < S_{dead} \quad : P_s \quad \sum_{t=1}^T (1 - k [S^t - S_{dead}]^2) \quad (8)$$

۲-۶-۲- تابع جریمه مربوط به رهاسازی

با توجه به قید میزان رهاسازی آب، این مقدار نباید از حداقل رهاسازی کمتر باشد. حال چنانچه در انتخاب جوابهای اولیه این شرط برقرار نشود، تابع جریمه‌ای بصورت زیر بر توابع هدف اعمال می‌شود [۵]:

$$if \quad R^t < R_{min} \quad : P_R \quad \sum_{t=1}^T (1 - k [R^t - R_{min}]^2) \quad (9)$$

۲-۶-۳- تابع جریمه مربوط به نیاز زیست محیطی پایین دست

با توجه به قید مربوط به حداقل نیاز پایین دست جهت حفظ مسایل زیست محیطی، این مقدار نباید از حداقل جریان مورد نیاز برای این هدف کمتر باشد. چنانچه این شرط برقرار نشود، تابع جریمه‌ای بصورت زیر بر توابع هدف اعمال می‌شود [۱۲]:

$$if \quad (R^t - Spill^t) < MDT \quad : P_{MDT} \quad \sum_{t=1}^T (1 - k [R^t - Spill^t - MDT]^2) \quad (10)$$

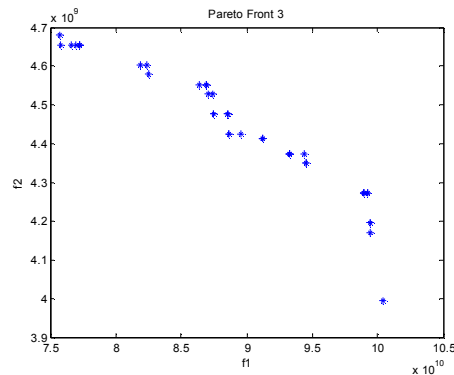
۳- جمع بندی و نتیجه گیری

۳-۱- ساختار مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک

بر اساس موارد فوق برنامه کامپیوتری مدل الگوریتم ژنتیک قطعی در محیط برنامه‌نویسی Matlab نوشته شده است. این مدل درازای هر ترکیب منطقی از متغیرهای حالت اجرا می‌شود. بهینه کردن توابع هدف حاصل اجرای این مدل است. میزان آب رها شده برای نیروگاه، حجم مخزن و میزان انرژی تولید شده در هر دوره و آب سرریز شده از مخزن در هر دوره زمانی، سایر متغیرهای مجهولی هستند که در این میان محاسبه خواهند شد.

۳-۲- نتایج اجرای مدل

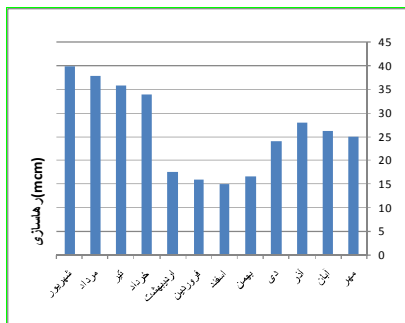
با توجه به مطالب فوق و این نکته که در ماه‌های پنجم تا هشتم مدل دارای دو هدف ناسازگار می‌باشد و با اعمال قیدها و جریمه‌های حاکم، مدل الگوریتم ژنتیک در حالت‌های مختلف اجرا گردیده است. چون توابع هدف مساله ناسازگار^۱ می‌باشند، بنابراین با افزایش مقدار یکی از توابع از مقدار تابع دیگری کاسته می‌شود و بالعکس. در این حالت جبهه پاراتو تشکیل می‌شود. شکل ۲ جبهه پاراتوی مساله مورد بررسی را نشان می‌دهد. مجموع توابع جریمه در ۵۰۰ نسل تکرار مدل الگوریتم ژنتیک، صفر شده است که نشان‌دهنده ارضا شدن قیدها می‌باشد.



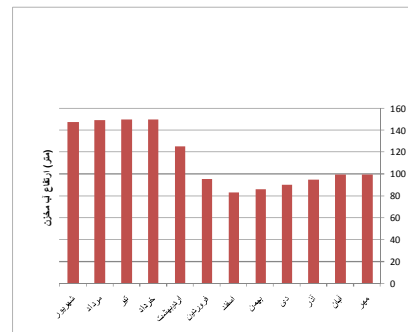
شکل ۲: جبهه پاراتو در حالت بهینه (جواب بهینه)

تغییرات ارتفاع آب مخزن مورد بررسی در طول دوره در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق شکل مذکور ارتفاع آب و حجم مخزن به دلیل حفظ حجم مخزن جهت کنترل سیلاب در ماه های سیلابی سال به طور محسوسی کاهش می یابند و پس از آن به طور چشمگیری افزایش می یابند تا اینکه به حجم حداکثر می رسد و در ماه های باقیمانده سال مجددا کاهش می یابند. دلیل این امر اینست که چون پس از ماه هشتم تنها هدف مساله حداکثر نمودن تولید انرژی و درآمد حاصل از فروش آن می باشد مدل در جهت حداکثر نمودن ارتفاع آب و حجم مخزن پیش می رود اما با توجه به نگهداشت حجم مخزن برای دوره های بعدی ارتفاع آب و حجم مخزن بار دیگر کاهش می یابد تا اینکه در ماه انتهایی دوره ذخیره کافی جهت پاسخگویی به نیازهای دوره بعدی وجود داشته باشد.

میزان رهاسازی جریان از مخزن به نیروگاه جهت تولید انرژی برقی در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود این مقدار در ماه های سیلابی نسبت به سایر ماه ها کمتر می باشد دلیل این امر خالی نگه داشتن مخزن در این ماه ها جهت کنترل سیلاب های محتمل می باشد.



شکل ۴: میزان رهاسازی جریان از مخزن به نیروگاه



شکل ۳: تغییرات ارتفاع آب در مخزن

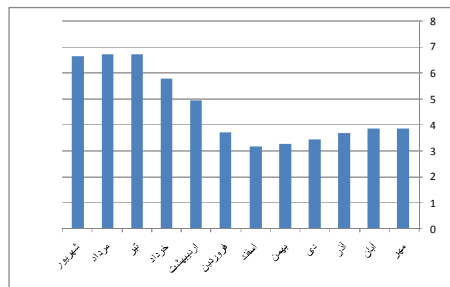
۳-۳- نتایج و تحلیل اقتصادی در حالت بهینه

حالت بهینه، حالتی است که با در نظر گرفتن پارامترهای موثر در حداکثر کردن توابع هدف مساله، میزان رهاسازی آب به نیروگاه ها طوری صورت بگیرد که از یک سو در ماه های سیلابی سال حجم مناسبی از مخزن جهت کنترل سیلاب های محتمل در نظر گرفته شود و از سوی دیگر درآمد حاصل از فروش انرژی تولید شده بیشینه شود. نتایج این محاسبات در ادامه بحث بیان شده است.

۴-۳- شاخص‌های مدل در حالت بهینه

درآمد کل در این طرح با ضرب قیمت فروش هر واحد انرژی تولیدی در کل انرژی تولید شده در هر نیروگاه به دست می‌آید.

با توجه به شکل ۵ درآمد کل حاصل از فروش انرژی در فصل تابستان بیشترین مقدار و در فصل زمستان کمترین مقدار را دارا می‌باشد زیرا تقاضای برق در فصل تابستان بیشترین و در فصل زمستان کمترین می‌باشد، در نتیجه در تابستان نیاز به تولید انرژی بیشتر و در زمستان نیاز به تولید انرژی کمتری می‌باشد. بنابراین درآمد خالص طرح در این فصل تابستان حداکثر می‌باشد.



شکل ۵: درآمد کل حاصل از فروش انرژی (میلیارد ریال)

۵-۳- پیشنهادات

روش الگوریتم ژنتیک در حوزه مدیریت منابع آب کمتر مورد استفاده قرار گرفته است اما بدلیل سرعت عمل و قدرت محاسباتی بالا، روش مناسبی جهت بهینه سازی در زمینه های آب می باشد و همچنین زمینه های تحقیقاتی زیادی در این حوزه وجود دارد که به طور مختصر می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- استفاده از سایر روش های بهینه سازی از قبیل کلونی مورچه ها و تلفیق آن با الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی عملکرد سدها.
- ۲- بهینه یابی محل دریاچه ها و سرریز های یک سد و چگونگی طراحی آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک.
- ۳- استفاده از الگوریتم ژنتیک در سایر قسمت های مدیریت منابع آب از قبیل: بهینه سازی سیستم آبرسانی شهری و یا کشاورزی، مدیریت بهره برداری از آبهای زیرزمینی.

۴- مراجع

- [1]Tadahiko Murata,Hisao Ishibuchi,(2000),MOGA:Multi-objective Genetic Algorithms,Department of industrial Engineering,University of Osaka Prefecture
- [2]Ying Gao,Lei Shi,Pinggjing Yao,(2000),Study on multi-objective Genetic Algorithm,Institute of Process systems Engineering,Dalian University of Technology
- [3]Zitzler Eckart,(1999),Evolutionary Algorithms for Multiobjective Optimization:Methods and Applications,A dissertation submitted to the swiss Federal Institute of Technology Zurich for the degree of Doctor of Technical Sciences

[۴] امینی، بهینه سازی عملکرد مخازن چند منظوره - مطالعه موردی سد دز، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[۵] قدمی، م.، ۱۳۸۵، بهینه سازی بهره برداری از سیستم های چند مخزنی منابع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک، پایان نامه

کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد

- [۶] شرکت مهندسی مشاور طوس آب ، مطالعات مرحله اول احداث سد مخزنی در حوزه آبریز قزل اوزن
- [۷] اکبرپور، م.ج. و موسوی.ج. ، بهره برداری از سیستم های چند مخزنی بوسیله الگوریتم ژنتیک و برنامه ریزی خطی، هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران
- [۸] اکبرپور، م.ج. و موسوی.ج. ، بهینه سازی بهره برداری از سیستم های چند مخزنه با استفاده از ترکیب الگوریتم های ژنتیک و برنامه ریزی خطی، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران
- [۹] قهرمان - ب، سپاسخواه - ع، ۱۳۸۴، "مدیریت بهره برداری از مخازن سدها"، مجله تحقیقات منابع آب ایران، انجمن علوم و مهندسی منابع آب، سال اول، شماره ۲، صفحه ۱۵-۱.
- [۱۰] گرشاسبی، س. و منتصری. م. ، بهینه سازی بهره برداری استوکستیک از مخازن چندگانه با استفاده از روش الگوریتم های ژنتیک

[۱۱] عباسپور، م، ۱۳۶۶ نیروگاه های آبی، جلد اول، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی

[12] Leite .p.T, Carneiro.A, Energetic Operation Planning Using Genetic Algorithms, IEEE Transactions on Power Systems, Vol 17, No.1, February 2002