



## مقایسه کاربرد روش‌های فراکاوشی در بهینه‌سازی سیستم‌های چندهدفه منابع آب (مطالعه موردی: سد استور و پیرتقی در حوضه آبریز قزل اوزن)

علی حجتی<sup>۱\*</sup>، علیرضا فریدحسینی<sup>۲</sup>، بیژن قهرمان<sup>۳</sup> و امین علیزاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۳</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها یکی از مسائل مهم بهینه‌سازی در زمینه مدیریت منابع آب است. سیستم بهره‌برداری از مخزن دارای پیچیدگی‌هایی است که سبب می‌شود بهینه‌سازی آنها با روش‌های تحلیلی دشوار و هزینه‌بر باشد. در سال‌های اخیر برای ارائه راه‌حل‌های مناسب در این خصوص روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی بکار گرفته شده است که در این میان الگوریتم‌های فراکاوشی نیز مورد توجه محققان در حوزه مدیریت منابع آب در سراسر دنیا قرار گرفته و از آن استفاده‌های فراوانی شده است. در تحقیق حاضر برای بهینه‌سازی یک سامانه دو مخزنه با اهداف حداکثر کردن در-آمد حاصل از فروش انرژی نیروگاه و افزایش حجم ذخیره سیلاب در حوضه آبریز قزل اوزن، از الگوریتم‌های ژنتیک ساده و چند هدفه NSGA-II که از روش‌ها مبتنی بر پایه جمعیت هستند، استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصله، الگوریتم NSGA-II جواب‌های مناسب‌تری نسبت به الگوریتم ژنتیک ارائه داده است و با یافتن بهینه بهتر، منجر به دستیابی به درآمد بیشتر به میزان ۱/۸۴ میلیارد ریال و برای کنترل سیلاب حجم ذخیره افزون‌تر به میزان ۱/۱۳ میلیون مترمکعب در دو مخزن مورد نظر شده است.

**کلمات کلیدی:** الگوریتم ژنتیک؛ الگوریتم چند هدفه NSGA-II؛ انرژی برق آبی؛ کنترل سیلاب.

### ۱- مقدمه

یافتن جواب‌های مناسب حتی زمانی که توابع مدل غیرخطی، ناپیوسته و غیر مشتق‌پذیر هستند باعث توجه روزافزون به آنها گشته است. از این‌رو در دهه‌های اخیر محققان توجه زیادی به روش‌های فراکاوشی داشته‌اند. از دهه ۱۹۶۰ توجه به روش‌های الهام گرفته از طبیعت به منظور حل مسائل سیستم افزایش یافت. از میان روش‌های مورد استفاده، الگوریتم ژنتیک به علت قدمت زیاد از شهرت بیشتری برخوردار است. روش ژنتیک توانسته است بر بسیاری از مشکلات روش‌های کلاسیک فایده‌آمده و خود را به عنوان یک روش ممتاز معرفی نماید. اولین الگوریتم چندهدفه به نام الگوریتم ژنتیک برداری VEGA<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۵ توسط شافر<sup>۲</sup>

بسیاری از مسائل بهینه‌سازی مهندسی در جهان به خصوص در سیستم‌های تولید، به طور طبیعی بسیار پیچیده و مشکل هستند و نمی‌توان آنها را به وسیله روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک حل نمود. روش‌های کلاسیک اغلب مشکل بزرگی اندازه مسئله و زمان محاسبات دارند و در مسائل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن با بزرگ شدن سیستم این مشکل شدیدتر می‌شود تا جایی که در سیستم ۵ یا ۶ مخزنی به بالا عملاً امکان استفاده از روش‌های کلاسیک وجود ندارد. همچنین پیچیدگی‌های موجود در مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم‌های چندهدفه از جمله غیرخطی و غیرمحدب بودن توابع آنها و همچنین توانایی یافتن جواب‌های بهتر در فضای جستجوی گسسته، باعث استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی شده است. توانایی این روش‌ها جهت

<sup>۱</sup> Vector Evaluated Genetic Algorithm

<sup>۲</sup> Schaffer

با توجه به مطالب فوق و اینکه الگوریتم NSGA-II براساس الگوریتم ژنتیک بنا شده است. در مقاله حاضر، کاربرد الگوریتم NSGA-II و الگوریتم ژنتیک که توسط نوری در سال ۱۳۸۷ انجام گرفته در بهره‌برداری از سیستم دو مخزنه با اهداف حداکثرسازی درآمد حاصل از فروش انرژی برق‌آبی و حداکثر نمودن کنترل سیلاب بررسی و ارزیابی شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- الگوریتم NSGA-II

الگوریتم NSGA-II که نوعی الگوریتم ژنتیک چندهدفه است در سال ۲۰۰۲ توسط دب و همکاران<sup>۲</sup> معرفی شد. در الگوریتم NSGA-II ایرادهای الگوریتم‌های کلاسیک تکاملی چندهدفه که از طبقه‌بندی غیرپست و پارامتر تسهیم<sup>۳</sup> استفاده می‌کنند، بر طرف شده است. ایرادهای آنها: (۱) پیچیدگی محاسباتی<sup>۴</sup> آنهاست که از درجه  $mN^3$  است، که در آن  $m$  تعداد اهداف و  $N$  اندازه جمعیت می باشد. به عبارتی دیگر با افزایش جمعیت و انجام مرتب سازی برای هر نسل، هزینه محاسباتی الگوریتم‌های کلاسیک تکاملی به شدت افزایش خواهد یافت. (۲) در رسیدن به جواب، از روش نخبه‌گرایی<sup>۵</sup> استفاده نمی‌شود. روش نخبه‌گرایی مبین حفظ افراد خوب نسل قبل هنگام ایجاد نسل جدید پس از اعمال عملگرهای الگوریتم ژنتیک می‌باشد و امکان همگرایی به پاسخ بهینه را سریعتر نموده و کارایی جستجو را ارتقاء می‌بخشد. روش NSGA-II از روش طبقه‌بندی غیرپست با پیچیدگی محاسباتی از درجه  $mN^2$  استفاده می‌کند. این الگوریتم دارای عملکرد انتخابی می‌باشد که ظرف آمیزش را از ترکیب جمعیت‌های والدین<sup>۶</sup> و فرزند<sup>۷</sup> بوجود می‌آورد و بهترین جواب‌ها را با توجه به برازش و گسترش و پراکندگی جواب‌ها انتخاب می‌کند. بنابراین اصل نخبه‌گرایی کاملاً رعایت می‌شود. همچنین این الگوریتم دارای عملگر فاصله ازدحام است. عملگر فاصله ازدحام دو مشکل ذکر شده را تا

[۸] پیشنهاد شد. بعد از آن محققین مختلفی به مطالعه در این زمینه پرداختند که روش‌های مختلفی با قابلیت‌های مختلف بوجود آمد. به طور کلی کارایی روش‌های مختلف بهینه‌سازی برای مسئله مشخص متفاوت است. با این حال کارایی این روش‌ها با هم مقایسه شده است. به طور مثال: در تحقیقی از روش چندهدفه MODE<sup>۱</sup> برای بهینه‌سازی مخزن استفاده و با روش NSGA-II مقایسه شده است [۷]. برای استخراج منحنی‌فرمان و بهبود سیاست بهره‌برداری سیستم مخزنی در هند با هدف کشاورزی و کم آبیاری از الگوریتم ژنتیک استفاده و نتایج آن با برنامه‌ریزی پویا مقایسه شده است. که در پایان الگوریتم ژنتیک پاسخ‌های بهتری را ارائه داده است [۵]. برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سری با اهداف کوتاه مدت مهار سیلاب و بلند مدت تامین نیاز در سیستم سری رودخانه-مخزن در ایران از الگوریتم NSGA-II استفاده شده و از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ELECTRE-TRI برای رتبه‌بندی جواب‌های مدل استفاده شده است. نتایج نشان داده است، روش ELECTRE-TRI قابلیت رتبه‌بندی جواب‌های مدل بهینه‌سازی چندهدفه و انتخاب جواب‌های برتر را با توجه به نظر بهره‌بردار دارا می‌باشد [۶]. برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم تک مخزنه در چین با هدف ماکزیم نمودن تولید انرژی برق‌آبی در شرایط عدم قطعیت جریان ورودی به مخزن، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که نتایج کارایی GA در شرایط عدم قطعیت را نشان می‌دهد [۹]. همچنین الگوریتم NSGA-II با الگوریتم MOPSO در بهره‌برداری سد درودزن با سه تابع هدف مقایسه شده که نتایج نشان از برتری الگوریتم MOPSO داشته است [۱۱]. این بررسی‌ها نشان می‌دهند که به طور قطع نمی‌توان برتری یک روش مشخص را برای بهینه‌سازی نتیجه‌گیری کرد بنابراین چنین مقایسه‌هایی در شرایط گوناگون باید تکرار شوند. البته واضح است که وقتی تصادفی به دنبال چیزی می‌گردیم، قانونمند کردن روش جستجوی تصادفی کار ساده‌ای نیست. حتی یک روش هم ممکن است در دوبار اجرای مدل به یک جواب نرسد.

<sup>2</sup> Deb et al.

<sup>3</sup> sharing parameter

<sup>4</sup> complexity

<sup>5</sup> Elitism

<sup>6</sup> Parent

<sup>7</sup> Offspring

<sup>1</sup> Multi-objective differential evolution

قیود بکار رفته در مدل:

۱- بیلان آب در مخزن

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

در رابطه (۳)  $S^t$  و  $S^{t+1}$ : حجم ذخیره مخزن بترتیب در

ابتدا و انتهای دوره زمانی  $t$  در هریک از مخازن ۱ و ۲.

$I^1$  و  $I^2$ : دبی رودخانه ورودی به مخزن ۱ و ۲ در ماه  $t$ .

$P^1$  و  $P^2$ : میزان بارندگی در سطح مخزن ۱ و ۲ در ماه  $t$ .

$E^1$  و  $E^2$ : میزان تبخیر از سطح مخزن ۱ و ۲ در ماه  $t$ .

$R^1$  و  $R^2$ : میزان آب خروجی از نیروگاه مخزن ۱ و ۲ در ماه  $t$ .

$Spill^1$  و  $Spill^2$ : میزان آب سرریزی از مخزن ۱ و ۲ در ماه  $t$ .

$$S^{t,lead} \# S^t \# S^{t,Max}$$

رابطه (۵) نشان می‌دهد که حجم مخزن در هر دوره زمانی

محدود به حجم حداکثر و حجم مرده مخزن است.

۲- محدودیت میزان رها سازی آب

$$R^{min} \# R^t \# R^{Max}$$

رابطه (۶) قید رها سازی آب توسط مخزن برای نیروگاه‌ها

است که در آن  $R^{min}$  برابر صفر و  $R^{max}$  برای سد پیرتقی

برابر ۵۰ و برای سد استور برابر ۴۰ مترکعب در ثانیه در نظر

گرفته شده است.

۳- وجود حداقل جریان پایین دست برای جهت حفظ مسائل

محیط زیستی

$$R + Spill \geq MD$$

رابطه (۷) قید حداقل جریان جهت حفظ مسائل محیط

زیستی را نشان می‌دهد که در آن  $MD$  حداقل نیاز پایین

دست است. که برای هر یک از مخازن این مقدار برابر

بیشترین مقدار آبدهی ماهانه در ماهی که در طی ۴۲ سال

آمار دارای کمترین مقدار آبدهی متوسط می‌باشد. که برای

مخزن استور و پیرتقی بترتیب برابر ۴۲/۸۵ و ۶۶/۹۶ میلیون

متر مکعب است.

### ۲-۳- ساختار مدل بهینه‌سازی الگوریتم NSGA-II

الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II به دنبال یافتن

کمینه توابع هدف است. برای بهینه‌سازی توابع هدف فوق،

یک کروموزوم متشکل از ۲۴ ژن در دوره زمانی یک ماهه و

برنامه‌ریزی بهره‌برداری از مخزن در یک سال مد نظر قرار

حدی برطرف می‌سازد، در این روش نیازی به تعریف پارامتر

که توسط کاربر جهت حفظ تنوع در اعضا جمعیت وجود

ندارد، همچنین این عملگر پیچیدگی محاسباتی کمتری

دارد [۴].

### ۲-۲- مطالعه موردی

سدهای استور و پیرتقی در حوضه آبریز قزل‌اوزن به ترتیب با

مختصات طول جغرافیایی ۳۰°۴۸' و ۵۹°۰۳' شرقی و ۳۷°۱۳' شمالی

۵۱°۶' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷°۳۰' و ۲۴°۷' شمالی

۳۷°۲۸' و ۴۴° شمالی در بالادست سد سفیدرود در حوضه

آبریز قزل‌اوزن واقع شده‌اند. سیستم، شامل دو مخزن متوالی

است که در پایین دست هر سد یک نیروگاه برق‌آبی واقع شده

است. با توجه به میزان مصرف برق در فصل‌های مختلف،

قیمت فروش برق در هر فصل متفاوت می‌باشد. بطوری که در

فصول بهار و تابستان به علت تقاضای بیشتر قیمت فروش

برق نسبت به پاییز و زمستان بیشتر خواهد بود [۲]. از سویی

دیگر در ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت

رودخانه‌های ورودی به مخازن دارای بیشترین میزان آبدهی

می‌باشند و این چهار ماه به عنوان ماه‌های سیلابی در نظر

گرفته می‌شوند. بنابراین در این ماه‌ها مخازن باید حتی

الامکان خالی نگه‌داشته شوند تا حجم کافی جهت ذخیره

سیلاب محتمل در مخزن این ماه‌ها وجود داشته باشد.

توابع هدف بکار رفته در مدل به شکل زیر می‌باشند:

$$f(1) = \text{Max}_{i=1}^n \sum_{t=1}^T PWP^t * PE^t \quad (1)$$

$$f(2) = \text{Max}_{i=1}^n \sum_{t=1}^T C^t * (S^t - S^i) \quad (2)$$

رابطه (۱) مربوط به حداکثرسازی تولید انرژی برق‌آبی و

رابطه (۲) مربوط به حداکثر سازی حجم ذخیره سیلاب می

باشد. که در آنها:

$T$ : افق زمانی مدل بهره‌برداری (۱۲ ماه)؛

$PWP^t$ : درآمد حاصل از فروش یک واحد انرژی تولید شده در

ماه  $t$  برحسب ریال بر مگاوات ساعت؛

$C^t$ : ضریب ثابت سیلاب در ماه  $t$  که در ماه‌های سیلابی برابر

۱ و در سایر ماه‌ها برابر صفر است؛

$S^i$ : حجم مخزن  $i$  در تراز نرمال بر حسب متر مکعب؛

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

$PE^t$ : انرژی تولید شده در مخزن  $i$  و ماه  $t$  برحسب وات و  $n$

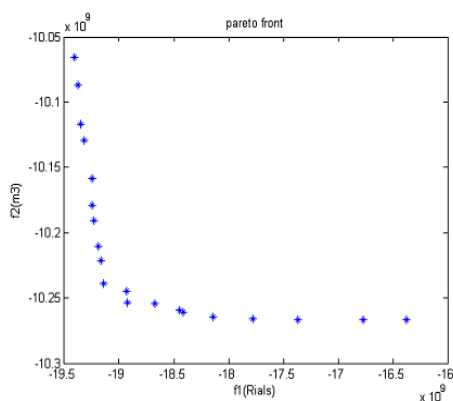
تعداد مخازن مورد مطالعه است.

<sup>1</sup> Minimum Demand

کروموزومی که در مجاورت آن قرار دارد، تعویض می‌شود. آخرین گام در تولید نسل جدید، جهش در کروموزوم‌هاست. فرایند جهش با توجه به میزان احتمال جهش انجام می‌گیرد. احتمال جهش در این روش برابر با  $P_{\text{mutation}}=0.006$  انتخاب شده است. اگر این احتمال از یک عدد تصادفی که برای هر ژن تولید می‌شود، بزرگتر باشد مقدار عددی ژن مذکور از صفر به یک و از یک به صفر تغییر داده می‌شود. پس از انجام این مراحل نسل جدیدی تولید می‌شود که برای تولید نسل بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مراحل تا زمانی تکرار می‌شود که بهترین جواب‌های هر نسل به مقدار ثابتی همگرا شوند [۳].

### ۳- نتایج و بحث

در نهایت الگوریتم ژنتیک با ۵۰۰ نسل و الگوریتم NSGA-II با ۴۰۰ نسل اجرا شده‌اند. در شکل‌های ۱ و ۲، جبهه پارتو برای هر دو مدل نشان داده شده است. برای هر دو مدل جواب‌های غیر پست به دست آمده بخوبی در محدوده باریکی از مقادیر تابع هدف گسترده شده است. با توجه به روابط تابع هدف در مدل NSGA-II منفی تابع هدف مورد نظر کمینه شده است که شکل حاصل محدب است و با مقادیر منفی در محورها نمایان شده است که در حقیقت توابع هدف به مقدار حداکثر خود رسیده‌اند. علت تفاوت منحنی پارتو بدست آمده از دو روش همین مطلب است.



شکل ۱- نقاط بهینه پارتو توسط مدل NSGA-II

گرفته است. بهینه‌سازی با جمعیت اولیه ۲۰ شروع شده است. در ابتدا، جمعیت اولیه شبیه‌سازی می‌شوند و تابع برازندگی آنها تعیین می‌شود، که جمعیت والدین نام دارد. سپس والدین دو به دو در ۱۵ حوضچه آمیزش<sup>۱</sup> قرار می‌گیرند. انتخاب دو به دو بودن (اندازه انتخاب مسابقه‌ای) یا تعداد حوضچه‌های آمیزش که غالباً برابر نصف جمعیت اولیه هستند، می‌تواند متفاوت باشند. در این پروژه انتخاب مسابقه‌ای (Tournament)، با اندازه ۲ بکار گرفته شده است. سپس بر اساس برتری رتبه و برازندگی میان هر دو والدی که در حوضچه قرار گرفته‌اند، بر روی دو به دو آنها عملگر تولید مثل و جهش صورت می‌گیرد. در NSGA-II از یک عملگر تولید مثل به نام SBX<sup>۲</sup> که یک موتور جستجوی مشابه تولید مثل دوگانه تک نقطه‌ای دارد، استفاده شده است. با توجه به عملگر تولید مثل و جهش ذکر شده، مقادیر مربوط به احتمال جهش  $P_{\text{mutation}}=0.1$ ، احتمال تولید مثل  $P_{\text{crossover}}=0.9$ ، پارامتر توزیع جهش برابر ۵۰ و همچنین پارامتر تولید مثل برابر ۳ مقدار دهی شده‌اند. تعداد نسل‌های تولید شده در مدل که شرط توقف مدل نیز محسوب می‌شود پس از سعی و خطا برابر ۴۰۰ نسل می‌باشد.

### ۲-۴- ساختار مدل بهینه سازی الگوریتم ژنتیک

در این روش با استفاده از جمعیت اولیه و ۵۰۰ بار تولید نسل به بهینه‌سازی اهداف مسئله فوق پرداخته شده است. محاسبات برای ۱۲ دوره یک ماهه صورت می‌پذیرد. متغیرهای تصمیم مسئله، میزان رهاسازی آب جهت تولید انرژی می‌باشد. تعداد ژن‌های هر کروموزوم برابر ۱۲۰ خواهد بود. جهت انتخاب کروموزوم‌های نسل بعد، از روش چرخ‌گردان استفاده شده است. گام بعدی جهت تولید نسل بعد، فرایند تولید مثل می‌باشد. در این روش احتمال تولید مثل با سعی و خطا برابر با  $P_{\text{crossover}}=0.7$  در نظر گرفته شده است. به این صورت برای هر کروموزوم عدد تصادفی بین صفر و یک در نظر گرفته می‌شود. اگر این عدد تصادفی از احتمال تولید مثل کوچکتر باشد، برای هر کروموزوم تعدادی ژن به صورت کاملاً تصادفی انتخاب می‌گردد و با ژن‌های

<sup>۱</sup> mating pool

<sup>۲</sup> Simulated Binary Crossover

پیرتقی حجمی از مخزن جهت کنترل سیلاب‌های محتمل خالی نگه داشته می‌شوند که این مقادیر در جداول ۳ و ۴. برای هر دو مدل ارائه شده است.

جدول ۲- درآمد کل هر ماه در مدل ژنتیک

ماه	قیمت فروش هر مگاوات ساعت انرژی (ریال)	درآمد کل در مخزن استور (میلیون ریال)	درآمد کل در مخزن پیرتقی (میلیون ریال)
مهر	۴۶۰۰۰	۱۴۹/۹۰	۴۰۳/۲۴
آبان	۴۶۰۰۰	۱۸۰/۷۱	۴۲۰/۵۰
آذر	۴۶۰۰۰	۱۷۰	۴۹۰/۸۱
دی	۴۴۰۰۰	۱۶۱/۹۳	۴۶۶/۷۰
بهمن	۴۴۰۰۰	۱۰۶/۶۹	۲۹۹/۸۸
اسفند	۴۴۰۰۰	۱۰۵/۵۲	۳۱۱/۲۴
فروردین	۴۹۰۰۰	۱۶۵/۰۳	۴۳۸/۵۴
اردیبهشت	۴۹۰۰۰	۱۹۹/۵۸	۵۷۷/۰۸
خرداد	۴۹۰۰۰	۳۴/۵۸	۷۳۶/۱۴
تیر	۵۷۰۰۰	۳۱۱/۰۶	۷۷۴/۸۴
مرداد	۵۷۰۰۰	۳۷۱/۳۸	۷۹۷/۷۰
شهریور	۵۷۰۰۰	۲۹۱/۷۵	۷۱۴/۵۸

جدول ۳- آب ذخیره شده جهت کنترل سیلاب در مدل

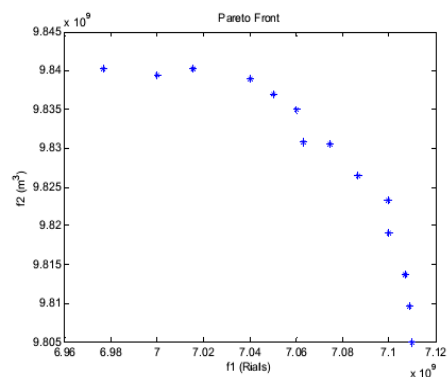
ماه	مخزن استور (میلیون متر مکعب)	مخزن پیرتقی (میلیون متر مکعب)	حجم کل (میلیون متر مکعب)
بهمن	۲۶۱۷/۴۵	۵۵۰/۶۸	۳۱۶۸/۱۳
اسفند	۲۶۹۷/۲۵	۴۸۱/۳۲	۳۱۷۸/۵۷
فروردین	۲۳۶۸/۶۷	۳۷۳/۶۹	۲۷۴۲/۳۶
اردیبهشت	۱۸۴۰/۳	۳۲/۵۸	۱۸۷۲/۸۸

جدول ۴- آب ذخیره شده جهت کنترل سیلاب در مدل ژنتیک

ماه	مخزن استور (میلیون متر مکعب)	مخزن پیرتقی (میلیون متر مکعب)	حجم کل (میلیون متر مکعب)
بهمن	۲۳۱۹/۷۴	۴۵۶/۸۶	۲۶۷۶/۶
اسفند	۲۳۳۹/۷۴	۵۱۰/۹	۲۸۵۰/۶۴
فروردین	۲۱۴۵/۵۳	۳۴۷/۳۷	۲۴۹۲/۹
اردیبهشت	۱۶۹۰/۲۶	۲۰	۱۷۱۰/۲۶

#### ۴- نتیجه گیری

با مشاهده و تحلیل نتایج حاصل از این دو روش می‌توان این گونه نتیجه‌گیری نمود که الگوریتم ژنتیک چند هدفه NSGA-II گرچه برای تعداد کمتری از نسل‌ها اجرا شده است



شکل ۲- نقاط بهینه پارتو توسط مدل ژنتیک

در نیروگاه مربوط به مخزن استور بیشترین درآمد مربوط به ماه مرداد و کمترین درآمد مربوط به ماه اسفند می‌باشد. در مخزن پیرتقی بیشترین و کمترین درآمد به ترتیب در ماه‌های مرداد و بهمن اتفاق می‌افتد. در روش ژنتیک در مخزن استور بیشترین درآمد در ماه مرداد و کمترین درآمد در اسفند ماه می‌باشد. و در مخزن پیرتقی بیشترین و کمترین درآمد به ترتیب در ماه‌های تیر و اسفند است. قیمت هر واحد انرژی و درآمد کل در هر ماه در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است

جدول ۱- درآمد کل هر ماه در مدل NSGA-II

ماه	قیمت فروش هر مگاوات ساعت انرژی (ریال)	درآمد کل در مخزن استور (میلیون ریال)	درآمد کل در مخزن پیرتقی (میلیون ریال)
مهر	۴۶۰۰۰	۱۰۵/۹۶	۲۹۸/۶۵
آبان	۴۶۰۰۰	۹۹/۸۸	۲۹۹/۸۶
آذر	۴۶۰۰۰	۱۴۴/۲۶	۳۷۰/۹۲
دی	۴۴۰۰۰	۱۰۳/۷۸	۳۶۱/۳۴
بهمن	۴۴۰۰۰	۱۰۵/۹۵	۲۸۷/۳
اسفند	۴۴۰۰۰	۹۶/۹۹	۲۶۸/۸۷
فروردین	۴۹۰۰۰	۱۳۰/۲	۳۷۲/۲۵
اردیبهشت	۴۹۰۰۰	۱۸۹/۰۲	۵۵۵/۲۹
خرداد	۴۹۰۰۰	۲۱۳/۴۵	۵۹۴/۵۹
تیر	۵۷۰۰۰	۲۴۸/۹۹	۶۳۸/۱۵
مرداد	۵۷۰۰۰	۲۶۱/۴۳	۵۹۳/۵۱
شهریور	۵۷۰۰۰	۲۲۸/۸۶	۵۱۹/۹۴

در مورد تابع هدف دوم مسئله یعنی حداکثر نمودن حجم ذخیره مخزن در ماه‌های سیلابی باید گفت که در ماه‌های بهمن الی اردیبهشت و در هریک از مخازن استور و

- [۱] رحیمی ا، قادری ک، نظام‌آبادی پور ح (۱۳۹۰) مقایسه عملکرد الگوریتم MOPSO با الگوریتم NSGA-II در بهره‌برداری از مخزن. مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی نیروگاه‌های برق-آبی. تهران.
- [۲] عباسپور م (۱۳۶۶) نیروگاه‌های آبی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، چاپ اول، تهران.
- [۳] نوری م (۱۳۸۷) بهینه‌سازی چند هدفه بهره‌برداری از مخازن با الگوریتم ژنتیک. پایان نامه کارشناسی ارشد عمران-آب، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [4] Deb k, Pratap A, Agarwal S, Meyarivan T (2002) A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Trans Evolutionary Computing, Indian 6(2): 182-197.
- [5] Jothiprakash V, Shanthi G, Arunkumar R (2011) Development of operational policy for a multi-reservoir system in india using genetic algorithm. Water Resource Management 25: 2405-2423.
- [6] Malekmohammadi B, Zahraie B, Kerachian R (2011) Ranking solutions of multi-objective reservoir operation optimization models using multi-criteria decision analysis. Expert Systems With Application 38: 7851-7863.
- [7] Reddy M, Janga M, Kumar D (2007) Multi-objective differential evolution with application to reservoir system optimization. Journal of Computing in Civil 10: 111-120.
- [8] Schaffer JD (1985) Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms. 1<sup>st</sup> International Conference on Genetic Algorithm and their applications, Hillsdale, NJ, USA, Vol. 4: 93-100.
- [9] Zhou R, Yang K (2012) Optimal operation study of qing river cascade reservoirs based on ga with uncertainty and flow transmission considered. Procedia Engineering 28: 44-48.

ولی با توجه به نتایج حاصله، جواب‌های مناسب‌تری نسبت به الگوریتم ژنتیک ارائه داده است و با یافتن بهینه دیگری، منجر به دستیابی به مقادیر تابع هدف، یعنی درآمد بیشتر و حجم ذخیره بیشتری برای کنترل سیلاب در دو مخزن مورد نظر شده است. جدول ۵. مقایسه بین نتایج نهایی دو مدل را نشان می‌دهد که نشان از برتری الگوریتم چند هدفه NSGA-II نسبت به الگوریتم ژنتیک در یافتن بهینه بهتر در این پژوهش داشته است.

برخی از عوامل دخیل در این برتری به دام نیافتادن در نقاط بهینه محلی به علت وجود عملگر جهش و پخش مناسب جمعیت است. همچنین الگوریتم NSGA-II به خاطر دارا بودن عملگر فاصله ازدحام هنگام عمل انتخاب دارای عملکرد بسیار خوبی می‌باشد و تنوع جمعیت را در نسل‌های مختلف اجرای برنامه به خوبی حفظ می‌کند.

جدول ۵- نتایج بدست آمده توسط دو مدل

الگوریتم ژنتیک	الگوریتم چند هدفه ژنتیک	
۷	۸/۹	درآمد فروش انرژی برق آبی (میلیارد ریال)
۹/۸۳	۱۰/۹۶	حجم کنترل سیلاب (میلیارد مترمکعب)

مراجع



shahrood University

Vol. 1, No. 2, Fall 2013: 9- 14

Iranian Journal of

Water & Environment Engineering



---

## The comparison of the application of heuristic methods in optimization of multi-objective water resources systems

A. Hojjati<sup>1\*</sup>, A.R. FaridHoseini<sup>2</sup>, B. Ghahreman<sup>3</sup> and A. Alizadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. Postgraduate Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

<sup>3</sup> Professor Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

*\*Corresponding author: Hojjatim86@gmail.com (A. Hojjati)*

---

### Abstract

The optimal operation of dam reservoirs is one of the important issues in water resources management. These systems are complex, which made it difficult and costly to use the conventional methods to find the optimal solutions. In recent years, numerous researches conducted to find the appropriate solutions for the problem; different methods, including heuristic methods, and algorithms were employed and some successes were made. The aim of this research was to maximize the revenue from the power plant as well as to increase flood storage of two reservoirs in Ghezel Ozon basin using genetic algorithm and multi-objective NSGA-II. These methods are based on the population instead of working with samples. Based on the results, NSGA-II algorithm estimated more appropriate answers in compare with the genetic algorithm. The optimized values with NSGA-II algorithm led to the 1.84 billion Rials more in revenue and controlling 1.13 MCM more flood water for two reservoirs.

**Keywords:** Genetic algorithms, Multi-objective genetic algorithm NSGA-II, Hydroelectric power, Flood control.

---