

## بهینه‌سازی تولید انرژی برقابی با حفظ اعتماد پذیری تأمین نیازهای کشاورزی در سیستم چند مخزنی کارون و دز

مهرداد تقیان\*<sup>۱</sup>، هوشنگ حسونی زاده<sup>۲</sup>، داریوش بهارلویی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس دفتر برنامه‌ریزی منابع آب سازمان آب و برق خوزستان

۲- معاون مطالعات پایه سازمان آب و برق خوزستان

۳- مدیر دفتر برنامه‌ریزی منابع آب سازمان آب و برق خوزستان

\*mehرداد.taghian@gmail.com

### خلاصه

در سیستم‌های منابع آب با مخازن چند منظوره، معمولاً برخی اهداف در تضاد با یکدیگر قرار دارند. یکی از رایج‌ترین موارد، تقابل هدف برقابی با سایر اهداف تامین آب است. در این شرایط، بالا نگه داشتن تراز حداقل بهره‌برداری، سبب افزایش ارتفاع آب (هد موثر) و تولید انرژی برقابی بیشتر می‌شود. اما این سیاست بهره‌برداری، منجر به محدود شدن دامنه تغییرات ذخیره و کاهش حجم فعال مخزن می‌شود که ممکن است با افزایش خسارت در تامین نیازهای پایاب توأم باشد. بر این اساس، یکی از اهداف اصلی در این پژوهش، حداکثر نمودن انرژی برقابی تولیدی در سیستم‌های پیچیده چند مخزنی و چند هدفه است به طوری که نیازهای پایاب نیز با اعتماد پذیری مورد نظر تامین گردند. جهت نیل به این هدف، تراز بهینه حداقل بهره‌برداری مخازن برآورد می‌گردد. در این راستا، به توسعه یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی در حوضه کارون بزرگ با در نظر گرفتن سیستم ۶ سدی وضع موجود پرداخته شده است. با پیاده‌سازی این مدل، مقادیر انرژی برقابی تولید شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک و طی یک فرآیند تکامل تدریجی حداکثر شده و انحراف از اعتماد پذیری مطلوب برای تامین نیازهای پایاب نیز با اعمال جریمه در تابع هدف، به طور همزمان کنترل می‌گردد. نتایج نشان داد که سیستم ضمن تامین آب نیازها با اعتماد پذیری مطلوب ۷۵ درصد، قادر به تولید انرژی برقابی با میانگین سالانه ۱۸۱۹۳ گیگاوات ساعت بوده است.

کلمات کلیدی: انرژی برقابی، مخازن، چند منظوره، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی.

### ۱. مقدمه

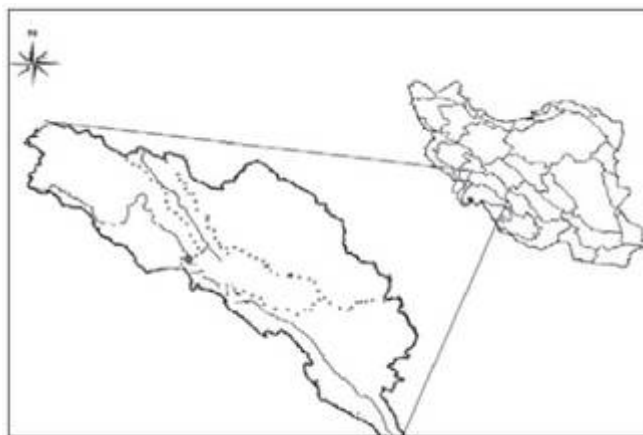
امروزه به دلیل محدودیت سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از آن، توسعه انرژی‌های تجدید پذیر از جمله انرژی برقابی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. از آن جا که در سدهای مخزنی، معمولاً تولید انرژی برقابی در کنار سایر اهداف تامین آب مطرح است، بهره‌برداری از سدهای مخزنی چند منظوره بایستی به گونه‌ای باشد تا ضمن تولید حداکثر انرژی برقابی، تامین سایر نیازها و اهداف را به مخاطره نیندازد. از دیدگاه تولید انرژی برقابی، بهره برداران تمایل به حفظ تراز سطح آب در سطوح بالای مخزن را دارند. در این وضعیت با افزایش هد مؤثر، امکان تولید انرژی برقابی افزایش می‌یابد. این در حالی است که در بسیاری از دوره‌های زمانی بهره‌برداری از جمله دوره خشکسالی، ناگزیر به استفاده از ذخیره مخزن تا پایین ترین سطح ممکن جهت تامین نیازهای کشاورزی، شرب و صنعت، زیست محیطی و ... هستیم. بنابراین، اهداف تولید انرژی برقابی و تامین آب نیازهای مصرفی پایاب در بسیاری از بازه‌های زمانی بهره برداری در تقابل با یکدیگر قرار دارند. در سیستم‌های منابع آبی که دارای مخازن سری و موازی با شبکه‌های متعدد نیاز آبی هستند، حل مساله فوق با پیچیدگی‌های فراوانی توأم خواهد بود. بنابراین، در چنین شرایطی ناگزیر به استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی به منظور تجویز بهترین سیاست بهره برداری هستیم. تلاش محققین برای حل این گونه مسائل، ابتدا بر روش‌های بهینه‌سازی ریاضی کلاسیک مانند برنامه ریزی خطی (پالمرو و همکاران، ۱۹۸۸؛ راندال و همکاران، ۱۹۹۰)، برنامه ریزی پویا (آلن و بریجمن، ۱۹۸۶؛ کارآموز و همکاران، ۱۹۸۷) و برنامه ریزی غیر خطی (سمینویچ و همکاران ۱۹۸۰؛ ارلون و ادسون، ۲۰۰۵) متمرکز بوده است. در دو دهه اخیر، با توسعه الگوریتم‌های فراکاوشی، افق و چشم انداز جدیدی برای حل این گونه مسائل گشوده شده است. با کاربرد مناسب این الگوریتم‌ها می‌توان بر مشکلات مربوط به ساده سازی روابط در مسائل خطی، گرفتار شدن در پاسخ‌های بهینه محلی و عدم دست یابی به پاسخ بهینه مطلق در مسائل غیر خطی، تعداد زیاد متغیرها و

مشکلات ابعادی در مسائل برنامه ریزی پویا غلبه نمود. اولیویرا و لاکس (۱۹۹۷) از پیشگامان کاربرد این نوع الگوریتم‌ها در سیستم بهره‌برداری از سدهای مخزنی بوده‌اند و برای اولین بار الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی سیاست بهره‌برداری یک سیستم منابع آب چند مخزنه به کار بردند. به دنبال آن، کاربرد وسیع انواع مختلف این الگوریتم‌ها را در حل مسائل بهره‌برداری از مخازن را شاهد بوده‌ایم که از آن جمله می‌توان به الگوریتم ژنتیک (چن و همکاران، ۲۰۰۷؛ داریان و ممتحن، ۲۰۰۹؛ هینکال و همکاران، ۲۰۱۱؛ لواتی و همکاران، ۲۰۱۱؛ جائیراکاش و همکاران، ۲۰۱۱)، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (شوریان و همکاران، ۲۰۰۸؛ فلاح و همکاران، ۲۰۱۱؛ استاد رحیمی و همکاران، ۲۰۱۲)، بهینه‌سازی جامعه مورچگان (جلالی و همکاران، ۲۰۰۷؛ مددگار و افشار، ۲۰۰۹)، مدل‌های ترکیبی بهینه‌سازی ریاضی کلاسیک و فراکاوشی (ریس و همکاران، ۲۰۰۵؛ تقیان و همکاران، ۲۰۱۴)، مدل‌های ترکیبی دو الگوریتم فراکاوشی (چانگ و همکاران، ۲۰۱۳) و مدل‌های بهینه‌سازی چند هدفه (ژئو و همکاران، ۲۰۱۳؛ احمدی و همکاران، ۲۰۱۴) اشاره نمود.

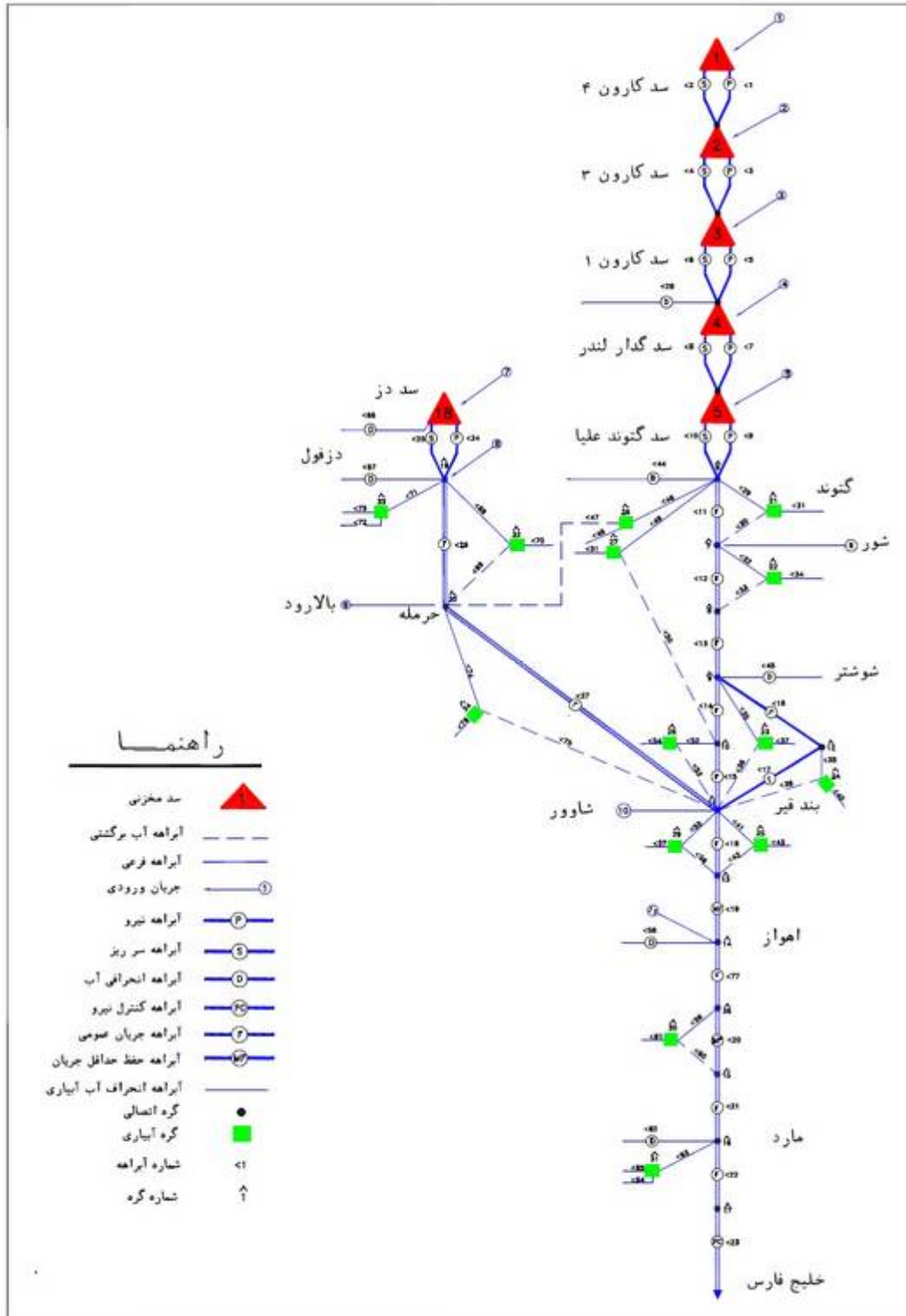
## ۲. مواد و روشها

### ۲.۱. حوضه آبریز کارون و دز

رودخانه‌های پرآب کارون و دز از دامنه‌های غربی رشته کوه زاگرس در غرب ایران سرچشمه می‌گیرند. این رودخانه‌ها پس از خروج از محدوده کوهستان در پهنه دشت خوزستان جریان یافته و پس از تلاقی با یکدیگر کارون بزرگ را تشکیل می‌دهند. حوضه آبریز کارون بزرگ به عنوان پرآب-ترین حوضه آبریز کشور در شرایط وضع موجود شامل سدهای کارون ۳، کارون ۴، دز، شهید عباسپور، گذارلندر و گنوند علیا است. اهمیت پتانسیل آبی موجود در این حوضه و پیچیدگی‌های شبکه منابع و مصارف آن، بهره‌برداری از این سیستم و برنامه‌ریزی برای توسعه آن را با دشواری‌های زیادی همراه ساخته است. بر این اساس، سیستم منابع آب کارون بزرگ در شرایط موجود برای پیاده‌سازی مدل توسعه شده در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است. موقعیت حوضه در شکل (۱)، مشخصات سدهای مخزنی موجود در جدول (۱) و پیکربندی شماتیک آن در شکل (۲) ارائه شده است. این پیکربندی شامل ۷ منبع آب ورودی به سیستم، ۱۴ گره شبکه آبیاری، ۵ آبراهه انحرافی آب جهت تامین نیازهای شرب و صنعت و دو بازه حفظ حداقل جریان در سراب و پایاب شهر اهواز است. اطلاعات مورد نیاز از گزارش برنامه ریزی و مدیریت منابع آب سد کارون ۲ استخراج گردید (شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران ۲۰۱۰).



شکل (۱) - نقشه موقعیت کلی حوضه آبریز کارون



شکل (۲) - پیکربندی شماتیک سیستم منابع آب کارون

جدول ۱- مشخصات سدهای مخزنی مورد بررسی

سد مخزنی	حداقل تراز امکان پذیر متر از سطح آزاد دریا	تراز نرمال	حجم کل مخزن میلیون متر مکعب	ظرفیت نصب نیروگاه مگا وات	راندمان نیروگاه درصد
کارون ۴	۹۸۰	۱۰۲۵	۲۱۹۰	۱۰۰۰	۹۲
کارون ۳	۷۹۰	۸۴۵	۲۹۷۰	۲۰۰۰	۹۴
شهید عباسپور	۴۹۰	۵۳۰	۲۹۹۷	۲۰۰۰	۹۰
گدار لندر	۳۶۰	۳۷۰/۲	۲۱۱	۲۰۰۰	۹۲
گتوند علیا	۱۸۰	۲۳۰	۴۰۹۷	۲۰۰۰	۹۳
دز	۲۹۰	۳۵۲/۵	۲۸۶۴	۵۲۰	۸۹

## ۲.۲. روابط و معادلات

هدف اصلی این تحقیق حداکثر نمودن تولید انرژی برقی برآورد در سیستم پیچیده منابع آب ۶ سدی کارون بزرگ است به طوری که سایر نیازها و مصارف سیستم نیز با اعتماد پذیری مورد نظر تامین گردد. بدین منظور مقادیر بهینه تراز حداقل بهره برداری مخازن محاسبه شده است تا مدل توسعه داده شده ضمن بالا نگه داشتن تراز سطح آب جهت تولید انرژی برقی، تبعات ناشی از کاهش حجم آب قابل برنامه ریزی برای تامین نیازها را مد نظر قرار دهد. بر اساس فرضیات فوق، معادلات اساسی مدل ریاضی توسعه داده شده به شرح زیر است:

$$\text{تابع هدف } \text{Maximize } Z(x_N) = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (\eta_n \gamma R_{t,n} H_{t,n}) \quad (1)$$

که این تابع هدف محدود به روابط زیر است:

$$S_{t+1,n} = S_{t,n} + Q_{t,n} - E_{t,n} - R_{t,n} - O_{t,n} \quad \text{محدودیت بیلان آب} \quad (2)$$

$$O_{t,n} = \max \{0, (S_{t+1,n} - S_{\max-n})\} \quad \text{محدودیت سرریز} \quad (3)$$

$$S_{\min-n} \leq S_{t,n} \leq S_{\max-n} \quad \text{محدودیت ذخیره} \quad (4)$$

$$Re_i \geq Re_{req-i} \quad \text{محدودیت اعتماد پذیری} \quad (5)$$

که در آن:

$Z$  مجموع انرژی تولیدی (تابع هدف)،  $N$  تعداد مخازن در سیستم،  $T$  تعداد دوره‌های زمانی شبیه‌سازی برحسب ماه،  $M$  تعداد گره‌های مصرفی در سیستم،  $x_N$  رقوم حداقل بهره برداری برای هر کدام از  $N$  مخزن است، در حقیقت، حداقل تراز بهره‌برداری شامل  $N$  متغیر تصمیم‌گیری است که بایستی بهینه گردد.  $\eta_n$  راندمان نیروگاه در مخزن  $n$ ،  $\gamma$  وزن مخصوص آب،  $R_{t,n}$  میزان رهاسازی جریان از مخزن  $n$  برای تولید نیرو در گام زمانی  $t$ ،  $H$  هد ذخیره مخزن،  $S$  حجم ذخیره مخزن،  $Q$  جریان ورودی به مخزن،  $E$  تبخیر مخزن،  $O$  سرریز از مخزن،  $S_{\min-n}$ ،  $S_{\max-n}$  حداکثر و حداقل ظرفیت مخزن است. دوره زمانی مدل سازی در این مطالعات، یک بازه زمانی درازمدت آبدهی ۴۱ ساله (۴۹۲ ماه) را در بر می‌گیرد که مشتمل بر دوره‌های خشکسالی، ترسالی و نرمال بوده است.

اعتماد پذیری از قدیمی‌ترین و در عین حال پرکاربردترین شاخص‌ها در مسائل مدیریت منابع آب است که تعریف اولیه آن عبارت است از احتمال (p) این که وضعیت سیستم (S) در شرایط مطلوب (NF) قرار گیرد. رابطه آن به صورت زیر است:

$$Re = P\{S \in NF\} \quad (6)$$

در این حالت اگر T کل گامهای زمانی، J شمارنده رویداد شکست (عدم تامین کامل نیاز)، M تعداد رخدادهای شکست و dj مدت زمانی که سیستم برای بار J ام در یک دوره شکست قرار می‌گیرد باشد، اعتماد پذیری با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$Re = 1 - \frac{\sum_{i=1}^M d_j}{T} \quad (7)$$

با توجه به تعاریف فوق، اگر  $Re_i$  اعتماد پذیری تامین آب شبکه  $i$  در کل دوره شبیه سازی،  $Re_{req-i}$  اعتماد پذیری مورد نیاز (مطلوب) برای تامین آب شبکه  $i$ ،  $V_{req-i}$  میزان انحراف از اعتماد پذیری مورد نیاز شبکه  $i$  و  $V_{req-total}$  مجموع انحرافات کلیه شبکه‌ها باشد، خواهیم داشت:

$$V_{req-i} = \begin{cases} 0 & Re_i \geq Re_{req-i} \\ Re_{req-i} - Re_i & Re_i < Re_{req-i} \end{cases} \quad (8)$$

$$V_{req-total} = \sum V_{req-i} \quad (9)$$

در این مطالعات برای به حداقل رساندن میزان انحرافات از اعتماد پذیری مطلوب، از روش تابع جریمه استفاده گردید که در بخش بعدی به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### ۳.۲ شرح روش تحقیق

در این مطالعات به منظور پیشینه‌سازی تولید انرژی برقایی ضمن حفظ اعتماد پذیری تامین نیازها، از یک مدل شبیه‌سازی - بهینه‌سازی استفاده شده است. در این مدل ترکیبی، مدل شبیه‌سازی بر مبنای معادلات بیلان آب و سایر محدودیت‌ها که در بخش مواد و روشها به کلیت آن پرداخته شد، توسعه یافته و از الگوریتم ژنتیک نیز به عنوان ابزار بهینه‌سازی بهره برداری شده است. در این راستا، ابتدا یک جمعیت از راه حل‌های کاندید به نام کروموزوم با استفاد از فرآیندهای تصادفی تولید شده است. هر کروموزوم شامل ترازهای رقوم حداقل بهره برداری مخازن ( $X_N$ ) است. به ازای هر کروموزوم، مدل شبیه‌سازی یک بار اجرا می‌شود و تابع هدف متناظر با آن و انحراف از اعتمادپذیری محاسبه می‌شود. بدین ترتیب در یک فرآیند تکامل تدریجی، با استفاده از عملگرهای انتخاب، تزویج جهشبه تولید مجدد نسل پرداخته می‌شود و جمعیت جدیدی از کروموزوم‌ها تولید می‌گردد. سپس، دوباره به ارزیابی تابع هدف و انحراف از اعتماد پذیری پرداخته می‌شود. این فرآیند چرخشی تا رسیدن به همگرایی ادامه می‌یابد. عملگرهای منتخب الگوریتم ژنتیک در این مطالعات شامل اندازه جمعیت=40، احتمال تزویج 0/5، احتمال جهش از 0/05 در ابتدای تولید نسل تا 0/005 در زمان همگرایی متغیر بوده است.

در حالت کلی، موقعی که از الگوریتم‌های فراکاوشی مانند الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود، جهت اعمال محدودیت‌ها مانند کنترل اعتماد پذیری، نیاز به یافتن راه حلی متناسب با نوع مساله داریم. در این مطالعه، از روش تابع جریمه استفاده شده است که به صورت زیر محاسبه و اعمال می‌گردد.

$$\psi_i = \begin{cases} 1 & Re_i \geq Re_{req-i} \\ (Re_{req-i} - Re_i) + \varepsilon & Re_i < Re_{req-i} \end{cases} \quad (10)$$

$$\psi_s = \sum \psi_i \quad (11)$$

بنا بر توضیحات فوق، اگر Aim تابع هدف اصلاح شده بهینه‌سازی باشد که بایستی ضمن تامین قیدهای مساله (اعتماد پذیری مطلوب در تامین نیازها) برای کل دوره پیشینه‌سازی شود، به شکل رابطه زیر در مدل اعمال می‌گردد.

$$Aim = Maximize \left[ \frac{Z}{\Psi_s} \right] \quad (12)$$

در این رابطه  $\mathcal{E}$  تحت عنوان ضریب اهمیت شناوری نام گذاری می‌شود که در حقیقت ضریبی برای تنظیم اهمیت تأمین قطعی نیازها با اعتماد پذیری مطلوب در مقابل حداکثر سازی انرژی است. ضریب  $\mathcal{E}$  شامل مقادیر بزرگتر از صفر می‌باشد که با توجه به شکل تابع هدف و اعمال جریمه در این مطالعات، عدد یک ( $\mathcal{E} - 1$ ) در نظر گرفته شده است. این تکنیک برنامه‌ریزی علاوه بر آنکه سبب ساده سازی مسئله و دست یابی به یک مسئله برنامه ریزی غیرخطی نامقید شده است، فضای جستجوی روش حل بهینه سازی را نیز بازتر و منعطف‌تر ساخته که به این ترتیب امکان یافتن پاسخ بهینه مطلقدر مجاورت مرزها بسیار محتمل تر خواهد بود.

#### ۴. نتایج و بحث

پس از پیاده سازی و اجرای مدل، مقدار تابع هدف بهینه سازی ( $Z$ ) که بیشینه سازی تولید انرژی برقابی در کل دوره آماری ۴۱ ساله را مد نظر قرار داشته است، ۷۴۵۹۱۳ گیگا وات ساعت برآورد شده است. نتایج انرژی برقابی، دبی عبوری از نیروگاهها و تراز حداقل بهره برداری در هر یک از سدهای مخزنی به شرح جدول (۲) برآورد شده است. بر این اساس، میانگین سالانه انرژی تولیدی در سیستم ۱۸۱۹۳ گیگا وات ساعت در سال برآورد شده است که سد شهید عباسپور بیشترین سهم را در تولید نیرو داراست و سدهای گذارلندر، کارون ۳ و گنوند علیا با فاصله اندکی از آن قرار دارد. به همین ترتیب، سدهای دز و کارون ۴ در رتبه‌های بعدی تولید انرژی سیستم قرار می‌گیرند.

جدول ۲- خلاصه نتایج خروجی از مدل توسعه یافته

تراز حداقل بهینه	میانگین انرژی تولیدی سالانه (بیشینه سازی شده) گیگاوات ساعت	میانگین دبی سالانه عبوری از نیروگاه متر مکعب در ثانیه	سد مخزنی
۹۹۳/۸	۲۰۰۷/۵	۱۵۳/۹۹	کارون ۴
۸۰۶/۱	۳۳۸۲/۹	۲۵۶/۴۳	کارون ۳
۵۰۲/۱	۳۴۸۳/۱	۳۰۷/۵۸	شهید عباسپور
۳۶۶/۶	۳۴۷۷/۱	۳۳۲/۷۹	گذار لندر
۱۸۵/۳	۳۲۷۳/۵	۳۶۵/۶۹	گنوند علیا
۳۰۷/۶	۲۵۶۸/۹	۲۰۴/۲۳	دز

همانطور که اشاره گردید مدل توسعه داده شده قادر به حفظ اعتماد پذیری مطلوب برای تامین نیازها خواهد بود. بر این اساس، اعتماد پذیری مورد نیاز برای تامین نیازهای کشاورزی در مطالعات بهره برداری از سدها، با توجه به توصیه سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور و وزارت نیرو (نشریه شماره ۲۷۲، ۲۰۰۴) معمولاً ۷۵ درصد است. در این مطالعات تابع جریمه به گونه‌ای تعریف شده است که اعتماد پذیری تامین نیازها در همه ماه‌ها و شبکه‌ها بالغ بر ۷۵ درصد گردد. بر این اساس، مقادیر اعتماد پذیری ماهانه در کلیه شبکه کشاورزی سیستم بر اساس پیکربندی (شکل ۲) در جدول (۳) ارائه شده است. نقاط بحرانی در سیستم که دارای حداقل اعتماد پذیری بوده است در جدول مشخص شده است. بر این اساس، شبکه‌های کشاورزی رودخانه دز و شبکه گرگر بر روی رودخانه گرگر از انشعابات رودخانه کارون، نقاط مرزی بهینه‌سازی برای تامین حداقل اعتماد پذیری قابل قبول هستند و به عنوان شبکه های بحرانی تامین آب شناسایی شدند. لازم به توضیح است تامین نیازهای شرب و صنعت و زیست محیطی به ترتیب در اولویت اول و دوم قرار گرفته‌اند و با اعتماد پذیری نزدیک به ۱۰۰ درصد تامین شده‌اند.

جدول ۳- مقادیر اعتماد پذیری ماهانه تامین آب شبکه های کشاورزی - بر حسب درصد

شماره نگره	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۲۱	۹۰/۲	۹۰/۲	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۲/۷	۹۲/۷	۹۰/۲
۲۲	۹۰/۲	۹۰/۲	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۲/۷	۹۰/۲
۲۳	۹۰/۲	۹۰/۲	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۲/۷	۹۰/۲
۲۴	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۷۵/۶	۸۰/۵	۸۲/۹	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
۲۵	۹۰/۲	۹۰/۲	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۲/۷	۹۲/۷	۹۰/۲
۲۶	۹۰/۲	۹۰/۲	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۲/۷	۹۲/۷	۹۰/۲
۲۷	۹۰/۲	۹۰/۲	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۲/۷	۹۲/۷	۹۰/۲
۲۸	۹۰/۲	۹۰/۲	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۲/۷	۹۲/۷	۹۰/۲
۲۹	۹۰/۲	۹۰/۲	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۰/۲
۳۰	۹۰/۲	۹۰/۲	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۲/۷	۹۲/۷	۹۰/۲
۳۱	۹۰/۲	۹۰/۲	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۲/۷	۹۲/۷	۹۰/۲
۳۲	۹۰/۲	۸۲/۹	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۰/۲	۷۵/۶
۳۳	۸۵/۴	۸۲/۹	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۲/۷	۷۵/۶
۳۴	۹۰/۲	۸۲/۹	۹۲/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۲/۷	۷۵/۶

## ۵. نتیجه گیری

در این مقاله به توسعه یک مدل شبیه سازی- بهینه سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک در سیستم چند مخزنه و چند منظوره کارون و دز شامل ۶ سد کارون ۳، کارون ۴، شهید عباسپور، گذار لندر، گتوند علیا و دز پرداخته شده است. تابع هدف این مدل ترکیبی، بیشینه سازی تولید انرژی برقایی است مشروط بر آن که اعتماد پذیری مطلوب برای تامین نیازها نیز فراهم گردد و مقادیر ماهانه اعتماد پذیری در کل شبکه ها همواره بالغ بر ۷۵ درصد گردد. با توجه به این که الگوریتم های فراکاوشی در حالت معمول، قادر به پذیرش قیده های مساله نیستند و بایستی برای اعمال این محدودیت ها چاره جویی گردد، در مطالعات پیش رو از اعمال جریمه در تابع هدف متناسب با میزان انحراف از اعتماد پذیری مطلوب استفاده گردید. در این حالت، تراز حداقل بهره برداری سدهای مخزنی به عنوان متغیر تصمیم گیری مدل قرار داده شده است. بالا نگه داشتن تراز حداقل بهره برداری، از یک سو میزان انرژی برقایی را افزایش می دهد و از سوی دیگر با کاهش ذخیره مفید و نوسانات مخزن، اعتماد پذیری تامین نیازها را کاهش می دهد. بنابراین مقادیر بهینه آن، در مدل ترکیبی برآورد گردیده است. علاوه بر آن، استفاده از مدل ترکیبی شبیه سازی- بهینه سازی کمک قابل ملاحظه ای به وارد کردن جزئیات سیستم منابع آب در مدل شبیه سازی نموده است. این در حالی است که در شرایط استفاده معمول از مدل های بهینه سازی، نیاز به ساده سازی زیاد مساله است. نتایج حاصل از شبیه سازی و بهینه سازی همزمان منابع آب ۶ سدی کارون و دز نشان داد که سیستم ضمن تامین آب نیازها با اعتماد پذیری مطلوب ۷۵ درصد، قادر به تولید انرژی برقایی با میانگین سالانه ۱۸۱۹۳ گیگاوات ساعت بوده است. بر این اساس، شبکه های کشاورزی رودخانه دز و شبکه گرگر بر روی رودخانه کارون به عنوان شبکه های بحرانی تامین آب شناسایی شدند.

## ۶. قدردانی

بدین وسیله از دفتر تحقیقات سازمان آب و برق خوزستان که حمایت مالی از این مقاله را تقبل نموده و معاونت مطالعات پایه سازمان آب و برق خوزستان که داده های مورد نیاز را فراهم نموده اند، تشکر و قدردانی می نمایم.

## ۷. مراجع

1-Ahmadi, M., Bozorg Hadad, O., and Marino, M.A. 2014. Extraction of flexible multi-objective real time reservoir operation rules. Water Resource Management. 28:131-147.

- 2-Allen, R.B., and Bridgeman, S.G. 1986. Dynamic programming in hydropower scheduling. *Water Resource Planning and Management*. 112:3.339-353.
- 3-Chen, L., Mcphee, J., and Yeh, G.W.W. 2007. A diversified multi-objective GA for optimizing reservoir rule curves. *Advance in Water Resources*. 30:1082-1093.
- 4- Chang, J.X., Bai, T., Huang, Q., and Yang, D.W. 2013. Optimization of Water Resource Utilization by PSO-GA. *Water Resource Management*. 27:3525-3540.
- 5-Darlane, A.B., and Momtahan, Sh. 2009. Optimization of multi-reservoir system operation using modified direct search genetic algorithm. *Water Resource Planning and Management*. 135:3.141-148.
- 6-Erlon, C., and Edson, L. 2005. Solving the commitment problem of hydropower plants via Lagrangian relaxation and sequential quadratic programming. *Computational and Applied Mathematics*. 24:3.317-341.
- 7- Fallah-Mehdipour, E., Bozorg Hadad, O., and Marino, M.A. 2011. MOPSO algorithm and its application in multipurpose multi-reservoir operation. *Hydro informatics*. 13:4.794-811.
- 8-Guo, X., Hu T., Wu, C., Zhang, T., and Lv, Y. 2013. Multi-objective optimization of the proposed multi-reservoir operating policy using improved NSPSO. *Water Resource Management*. 27:2137-2153.
- 9-Hincal, O., Altan-Sakarya, A.B., and Metin Ger, A. 2011. Optimization of multi-reservoir systems by genetic algorithms. *Water Resource Management*. 25:1465-1487.
- 10-Management and planning organization, the ministry of energy, 2004. A manual for studying of reservoir operation. Publication No.272.
- 11-Oliveira, R., and Loucks, D. 1997. Operating rules for multi-reservoir systems. *Water Resource Research*. 33:4.839-852.
- 12-Ostadrahimi, L., Marino, M.A., and Afshar, A. 2012. Multi-reservoir operation rule: multi- swarm PSO based optimization approach. *Water Resources Management*. 26:407-427.
- 13-Palmer, R.N., and Holmes, K.J. 1988. Operational guidance during drought: Expert system approach. *Water Resource Planning and Management*. 114:6.647-666.
- 14- Randall, D., Houck, M.H., and Wright, J.R. 1990. Drought management of existing water supply system. *Water Resource Planning and Management*. 116:1.1-20.
- 15-Reis, L.F.R, Walter, G.A., Savic, D., and Chaudry, F.H. 2005. Multi-reservoir operation planning using hybrid genetic algorithm and linear programming (GA-LP): an alternative stochastic approach, *Water Resource Management*. 19:831-848.
- 16-Shourian, M., Mousavi, S.J., and Tahershamsi A. 2008. Basin-wide water resource planning by integrated PSO algorithm and Modsim. *Water Resource Management*. 22:1347-1366.
- 17-Siminovic, S.P., and Marino, M.A. 1980. Reliability programming in reservoir management: 1.single multiple reservoir. *Water Resource Research*. 16:5.844-848.
- 18- Jalali, M.R., Afshar, A., Marino, M.A. 2007. Multi-colony ant algorithm for continuous multi-reservoir operation optimization problem. *Water Resource Management*. 21:9.1429-1447.
- 19- Jothiprakash, V., Shanthi, G., and Arunkumar, R. 2011. Development of operational policy for a multi-reservoir system in india using genetic algorithm. *Water Resource Management*. 25:2405-2423.
- 20-Karamouz, M. and Houck, M.H. 1987. Comparison of stochastic and deterministic dynamic programming for reservoir operating rule generation, *Water Resource Bulletin*. 23:1.1-9.
- 21-Louati, M.H., Benabdaleh, S., Lebadi, F., and Milutin, D. 2011. Application of a genetic algorithm for the optimization of a complex reservoir system in Tunisia. *Water Resource Management*. 25:2387-2404.
- 22-Madadgar, S., and Afshar, A. 2009. An improved continuous ant algorithm for optimization of water resources problems. *Water Resource Management*. 23:2119-2139.
- 23- Taghian, M., Rosbjerg, D., Haghghi, A., and Madsen, H. 2014. Optimization of conventional rule curve coupled with hedging rule for reservoir operation. *Water Resource Planning and Management*. 140:3.365-374.