

توسعه مدل شبیه‌سازی تولید انرژی برق‌آبی مخزن با رویکردی جدید

سیداحسان فاطمی^{*}، مزگان پاک‌بین^۲ و مریم حافظ‌پرست‌مودت^۳^۱ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی

* نویسنده مسئول

دریافت ۹۵/۱/۲۳ پذیرش ۹۵/۷/۳

چکیده

امروزه توجه به طرح‌های توسعه برق‌آبی با توجه به ضرورت دستیابی به منابع انرژی پاک از اهمیت ویژه‌ای در جهان برخوردار است. نیروگاه‌های برق‌آبی یک پتانسیل بزرگ جهانی تولید برق می‌باشند که مشکلات زیست محیطی بسیار کمتری به همراه دارند. انرژی برق‌آبی در حدود ۱۹٪ از کل انرژی الکتریکی تولیدی جهان را در سال ۲۰۰۳ پوشش داده که این نسبت به سرعت در حال گسترش است. موضوع میزان انرژی تولیدی در فصول مختلف سال یا ساعات مختلف شبانه روز از مهم‌ترین موضوعات قابل بررسی در نیروگاه‌های آبی است. به عبارت دیگر تعیین ظرفیت نصب (دبی طراحی)، از عوامل مهم در طراحی نیروگاه به شمار می‌آید. بر این اساس در این تحقیق یک الگوریتم توسعه‌یافته شبیه‌سازی تولید انرژی برق‌آبی به کمک نرم‌افزار MATLAB توسعه داده شده است. این مدل توسعه یافته جهت مدل‌سازی برق‌آبی سیستم حوضه آبریز سد ابوالعباس که در محدوده جنوب غربی کشور در استان خوزستان واقع شده است، به کار برده شده است. در این شرایط شبیه‌سازی تولید انرژی سد مذکور برای ظرفیت نصب‌های نیروگاهی مختلف انجام شد و نهایتاً با اعمال شاخص اطمینان‌پذیری ۹۰ درصد، ظرفیت نصب نیروگاه برابر ۲/۷ مگاوات تعیین گردید. در این ظرفیت نصب، انرژی اولیه و مازاد در اغلب ماه‌ها اتفاق افتاده است. همچنین در ۳۳ درصد مواقع که مخزن در حداکثر تراز خود قرار دارد انرژی اضافی تولید شده است. همچنین میزان انرژی اولیه و متوسط انرژی مازاد سرریزی به ترتیب برابر ۲۰/۸ و ۱۳/۲ گیگاوات ساعت در سال به صورت ۲۴ ساعته تعیین شد. این الگوریتم و مدل توسعه یافته قابلیت به کارگیری در هر مخزنی را دارد.

واژگان کلیدی: انرژی برق‌آبی، اطمینان‌پذیری، ظرفیت نصب، انرژی اولیه و مازاد، سد ابوالعباس.

۱- مقدمه

رهاسازی گردد، تعیین می‌نماید [۲]. فن بهره‌برداری از نیروی هیدروالکتریک به‌عنوان انرژی تجدیدشدنی از نظر تاریخی پیش از بهره‌برداری از سوخت‌های فسیلی وجود داشته و در حال حاضر حدود ۲۰ درصد برق جهان را تولید می‌کند [۳]. با این که سوخت‌های فسیلی تسلط گسترده‌ای بر تولیدات برق سراسر جهان داشته‌اند، اما حدود ۶۰ کشور جهان بیش از نیمی از نیازهای برق خود را با استفاده از نیروی برق‌آبی برآورده می‌کنند. این فناوری به دلایل زیادی از محبوب‌ترین منابع تجدیدپذیر تولید برق به شمار می‌آید. موضوع میزان انرژی تولیدی در ساعات مختلف شبانه‌روز و یا فصول مختلف سال از مهم‌ترین موضوعات قابل بررسی در نیروگاه‌های آبی است. لازم به یادآوری است که با افزایش روزافزون جمعیت جهان در حال رشد و صنعتی شدن سریع، تقاضا برای انرژی به طور مداوم در حال افزایش است. استفاده از سوخت‌های فسیلی باعث گرم شدن کره زمین از طریق انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. برق‌آبی یک

در سال‌های اخیر افزایش جمعیت، محدودیت منابع آب و توزیع غیر یکنواخت آن و همچنین استفاده بی‌رویه از این منابع محدود، لزوم مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع موجود را بیش از پیش نمایان ساخته است. از جمله سازه‌هایی که در حوزه منابع آب به منظور ذخیره و استفاده از منابع آب سطحی استفاده می‌گردد، مخزن سطحی است. در حالت واقعی معمولاً برای بهره‌برداری از یک مخزن، اهداف متفاوتی نظیر تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت در مناطق پایین‌دست، تولید انرژی برق‌آبی و کنترل سیلاب و تفریحات تعریف می‌شوند که می‌توانند همسو یا ناهمسو با یکدیگر باشند [۱]. بهره‌برداری از مخزن یکی از موضوعات کلیدی در بین مسائل گوناگون منابع آب می‌باشد. یک سیاست بهره‌برداری شامل مجموعه‌ای از قوانین است که در شرایط مختلف بهره‌برداری، مقدار آبی را که بایستی ذخیره یا

مگاوات به صورت خطی کاهش می‌یابد و در تراز ۱۹۲ متر (معادل ۷۷ متر هد مؤثر) به ۱۰۰ مگاوات می‌رسد. ضمن این که راندمان نیروگاه نیز از تراز ۲۰۳ متر (معادل ۸۸ متر هد مؤثر) به طور محسوسی کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که این امر نقش به‌سزایی در میزان تولید انرژی و درآمد حاصل از نیروگاه دارد.

همگام با توسعه نیروگاه‌های برق‌آبی و واگذاری آن‌ها به بخش خصوصی در زمینه فروش انرژی تولیدی این نیروگاه‌ها رقابتی به وجود آمده است. به دلیل این مسائل و موضوعات مرتبط با آن‌ها شرکت‌ها برای جلوگیری از خطاهای تصمیم‌گیری در موارد حساس، به سمت کنترل سیستم‌ها به صورت خودکار پیش رفته و از سیستم‌های شبیه‌ساز در مراکز کنترل نیروگاهی خود استفاده می‌نمایند.

حسینی و همکاران [۸]، به بررسی یک نمونه از این شبیه‌سازها، شبیه‌ساز یکپارچه نیروگاه‌های برق‌آبی و بازار انرژی پرداختند. این شبیه‌ساز توسط نرم‌افزار متلب^۲ طراحی گردیده و شامل دو بخش شبیه‌ساز سیستم قدرت و شبیه‌ساز بازار برق و آب می‌باشد. این دو شبیه‌ساز به صورت هم‌زمان به آنالیز هر بخش خواهند پرداخت و نتایج حاصله از هر یک بر روی دیگری اثر گذاشته و در نهایت بر روی تصمیم‌گیری نهایی توسط اپراتور اطاق کنترل اثر خواهد داشت.

امامی و همکاران [۹]، با استفاده از مدل بهینه‌سازی-شبیه‌سازی PSO-MODISMS به طراحی و بهره‌برداری بهینه از سیستم سه مخزنه برق‌آبی خرسان پرداختند. در این مدل ترکیبی هر بار ارزیابی تابع هدف مدل مستلزم فراخوانی و اجرای مدل MODISMS می‌باشد. مدل پیشنهادی در تعیین مشخصات بهینه سیستم سه سدی خرسان شامل ظرفیت مخازن و توان تولید نیروگاه‌ها به عنوان مطالعه موردی استفاده و نتایج حاصل از آن تحلیل شده است. باتوجه به سرعت مدل توسعه یافته MODISMS در شبیه‌سازی سیستم‌های چند مخزنه برق-آبی و انعطاف الگوریتم‌های فراکوشی در اتصال به مدل‌های شبیه‌ساز و احتساب خصوصیات غیرخطی، مدل ترکیبی PSOPSO-MODISMS از قابلیت مناسبی در حل مسائل طراحی و بهره‌برداری بهینه از این سیستم‌ها برخوردار است.

شهبازی و صادقیان [۱۰]، به بررسی بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم مخازن سدهای برق‌آبی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی در محیط برنامه‌نویسی Lingo پرداختند و هدف از این تحقیق توسعه یک مدل برنامه‌ریزی خطی (LP) در محیط نرم‌افزاری

منبع قابل اعتماد و تجدیدپذیر برای تولید برق است. با توجه به اثرات زیست‌محیطی کم آن و پایین بودن هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری آن در سراسر جهان به ویژه در کشورهای در حال توسعه در حال رشد است [۴].

نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک با بهره‌گیری از سازه‌های هیدرولیکی ساده، صرف هزینه‌های اجرائی نسبتاً کم و زمان‌بری میان‌مدت (در مقایسه با نیروگاه‌های بزرگ) مورد توجه قرار گرفته‌اند و اهمیت ویژه‌ای یافته‌اند. این نیروگاه‌ها در زمره نیروگاه‌های جریانی^۱ قرار دارند، که تولید برق متکی به جریان انحراف یافته از رودخانه است و شامل بند انحرافی، آبگیر، سازه رسوب‌گیر، کانال انتقال، راه دسترسی، مخزن ذخیره، حوضچه تعادل، ساختمان نیروگاه و تجهیزات برق و مکانیک می‌باشد. یکی از مهم‌ترین موضوعات در طراحی نیروگاه‌های آبی، تعیین ظرفیت نصب بهینه نیروگاه و یا به عبارتی برآورد میزان انرژی تولیدی سالیانه بهینه آن است. ظرفیت نصب بهینه در نیروگاه‌ها بایستی به گونه‌ای باشد که شاخص‌های فنی، اقتصادی و قابلیت اطمینان در مصالحه متقابل قرار داشته باشند. در این راستا ابتدا میزان انرژی سالیانه بهینه از آمار دسته‌بندی شده دبی روزانه و منحنی تداوم جریان (قابل برداشت) در ماه‌های مختلف تعیین می‌شود [۵].

جلالی و افشار [۶]، به شبیه‌سازی پویایی سیستم تولید انرژی مخازن برق‌آبی پرداختند. این روش یک روش شبیه‌سازی شیء‌گرا بر اساس روابط بازخور می‌باشد. از عوامل جذابیت این روش می‌توان به افزایش سرعت ایجاد یک مدل، امکان توسعه گروهی مدل‌ها و قابلیت و سادگی اصلاح مدل در واکنش به تغییرات سیستم اشاره نمود. آن‌ها با استفاده از روش پویایی سیستم، عملکرد یک مخزن برق‌آبی را به صورت کامل مدل‌سازی کردند و جهت بررسی نتایج، مطالعه موردی را بر روی سد تنگ معشوره در سرشاخه‌های کرخه انجام دادند.

مرادی و دارابی [۷]، به بررسی تغییرات ارتفاع مخزن سد بر میزان تولید انرژی و راندمان واحدهای نیروگاه سد کرخه پرداختند و نتایج حاصله از این بررسی‌ها در نیروگاه کرخه که ظرفیت اسمی هر واحد آن ۱۳۳ مگاوات بوده و در مجموع دارای توان نیروگاهی ۴۰۰ مگاوات می‌باشد حاکی از آن است که ابزار توان از نیروگاه همواره امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ به طوری که از تراز ۲۰۷ متر (معادل ۹۲ متر هد مؤثر در شرایط عادی) به پایین که هد اسمی نیروگاه محسوب می‌شود، توان تولید نیروگاه از ۱۳۳

اصلی نیروگاه‌ها در مرحله مطالعات مقدماتی بسیار مناسب و کارا می‌باشد.

احمدیان‌فر و ادیب [۱۳]، با استفاده از ترکیب دو الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک به بهینه‌سازی انرژی برق‌آبی سد دز پرداختند. در این الگوریتم خصوصیات خوب هر دو الگوریتم با هم ترکیب شده و الگوریتمی با کارایی بالا حاصل شد. این الگوریتم برای دو دوره ۶۰ و ۲۴۰ ماهه به کار گرفته شد. با توجه به نتایج به دست آمده از روش ترکیبی در مقایسه با روش‌های مینا، جواب‌های حاصل شده بهبود قابل توجهی داشته‌اند.

معینی [۱۴]، مسأله بهره‌برداری بهینه از سدها به منظور تولید انرژی برق‌آبی را مورد بررسی قرار داد. با توجه به قابلیت‌های الگوریتم‌های فراکاوشی در حل مسائل بهینه‌سازی، در این تحقیق از الگوریتم بهینه‌سازی سیستم مورچگان ترتیبی به منظور حل مسأله بهره‌برداری بهینه برق‌آبی از سدها استفاده کرد. بنابر این مسأله بهره‌برداری بهینه از سد دز در دو دوره بهره‌برداری ۵ و ۲۰ ساله مدل‌سازی شده و با به کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی سیستم مورچگان ترتیبی حل و نتایج آن بررسی و مقایسه شد. مقایسه این نتایج نشان داده‌اند که با استفاده از این الگوریتم جواب مناسبی همراه با هزینه محاسباتی مناسب حاصل می‌شود.

افشار [۱۵]، از یک مدل بهینه‌سازی با استفاده از روش برنامه‌نویسی پویا استفاده کرد. این مدل میزان تخصیص مناسب را با توجه به فشار موجود سایت‌های برق‌آبی تعیین کرده و قطر بهینه لوله را مشخص می‌کند. در عمل این مدل در یک مثال برای یک سیستم عرضه به چهار شهر به کار برده شده است. این مدل مجموعه‌ای از ظرفیت‌های توربین، قطر لوله، تخصیص هد و در نتیجه حداکثر سود خالص را برای یک مقدار معین از آب و تقاضا را معین می‌کند.

Afzali و همکاران [۱۶]، یک مدل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مبتنی بر قابلیت اطمینان (RBS) جهت تجزیه و تحلیل سیستم برق‌آبی تک مخزنه (مطالعه موردی خرسان) را به کار بردند که تابع هدف به حداقل رساندن مجموع رهاسازی از مخزن یا ماکزیمم کردن مجموع ذخیره مخزن در هر دوره زمانی با در نظر گرفتن قید قابلیت اطمینان عملکرد انرژی سیستم بود. نتایج نشان دادند که مدل چند مخزنه در مقایسه با مدل تک مخزنه قابلیت اطمینان‌پذیری بیشتری دارد.

Lingo می‌باشد. در این مطالعه تابع هدف در مدل بهینه‌سازی، حداکثرسازی انرژی تولیدی اولیه و ثانویه با توجه به هزینه‌های مختلف سالیانه در جهت تولید سود بیشتر می‌باشد. نتایج کاربرد این مدل نشان می‌دهد که، این مدل به لحاظ کیفیت جواب‌های حاصل، عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های مشابه دارد. جهت ارزیابی کارایی مدل، سد و نیروگاه کارون ۴ به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. مدل مورد نظر برای هر مخزن در سه سناریو اجرا می‌شود، در سناریوی اول تمامی مقادیر مشخص می‌باشند، در سناریوی دوم توان متغیر و ضریب کارکرد ثابت است و در سناریوی سوم توان ثابت و ضریب کارکرد متغیر می‌باشد. سپس بعد از اجرای مدل، نتایج به دست آمده در هر ۳ سناریو با یکدیگر مقایسه و در نهایت سناریوی مطلوب‌تر انتخاب می‌شود.

مستوفی و همکاران [۱۱]، جهت محاسبه هزینه نهایی نیروگاه ترکیبی مستقل از شبکه قدرت، از الگوریتم تجمعی زنبور عسل استفاده کردند. سیستم مورد بررسی دارای طول عمر ۲۰ سال بوده و اطلاعات مربوط به دبی آب خروجی از دریچه سد، شدت تابش خورشیدی و وزش باد از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی منطقه اخذ و در شبیه‌سازی اعمال شده است. جهت یافتن ظرفیت بهینه سیستم ترکیبی پیشنهادی، از الگوریتم تجمعی زنبور عسل استفاده کردند و برای ارزیابی صحت و دقت الگوریتم پیشنهادی، نتایج حاصله با نتایج حاصل از نرم‌افزار HOMER مقایسه شده است. ارزیابی نتایج حاکی از دقت و کارایی مناسب الگوریتم تجمعی زنبور عسل در تعیین ظرفیت بهینه سیستم ترکیبی برق‌آبی، بادی، خورشیدی و هیدروژنی در مقایسه با نرم‌افزار HOMER است.

شمسایی و همکاران [۱۲]، به تعیین ظرفیت بهینه نصب نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی ذرات باردار پرداختند. با گسترش و پیشرفت نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک، به کارگیری ابزارهایی جهت کاهش هزینه‌ها امری ضروری می‌باشد. استفاده از روش‌های سنتی به دلیل پیچیده بودن مسئله، کار دشواری است. در همین جهت تعیین ظرفیت بهینه نصب نیروگاه‌های برق‌آبی به منظور رسیدن به یک طرح اقتصادی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جست‌جوی ذرات باردار که از جمله روش‌های جدید بهینه‌سازی فراکاوشی است. چنان که نتایج حاصل از تحلیل‌های صورت گرفته نشان داده‌اند، روش ارائه شده برای بررسی اقتصادی و تعیین مشخصات فنی

Lu و همکاران [۲۱]، مطالعه‌ای را بر روی تولید برق‌آبی بهینه از مخزن Zhelin انجام دادند. مطرح شده که به دلیل روند کاهش بارش در سال‌های اخیر ظرفیت ذخیره‌سازی مخزن نمی‌تواند به طور کامل پر باشد و بنابر این قادر به تحقق هدف مورد نظر یعنی تولید قدرت برق نمی‌باشد. به منظور اطمینان از ایمنی سد و تأمین منافع اقتصادی بیشتر از تولید انرژی برق‌آبی، قانون اساسی بهره‌برداری از مخزن نیاز به بهبود دارد. همچنین باید مزایای عملکرد بهینه ارزیابی شود. در این تحقیق سه الگوریتم بهینه‌سازی از جمله الگوریتم بهینه‌سازی پیشرونده (PSO) و الگوریتم ژنتیک (GA) استفاده شده است. با توجه به یک سری داده آب-دهی دراز مدت، به حداقل رساندن میزان مصرف آب همراه با چند محدودیت فیزیکی و عملیاتی به عنوان تابع هدف انتخاب شد. پس از مقایسه نتایج حاصل از سه روش، الگوریتم بهینه‌سازی پیشرونده برای این مخزن مناسب‌تر شناخته شده است. همچنین حساسیت الگوریتم‌های بهینه‌سازی شده نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار داده شده است. اندازه سطح آب از مخزن برای الگوریتم بهینه‌سازی پیشرونده، اندازه جمعیت برای بهینه‌سازی دسته ذرات و الگوریتم ژنتیک نیز به جستجو برای بهترین پارامترها مناسب‌تر است.

در طول دهه اخیر، نگرش یکپارچه در توسعه طرح‌های منابع آب افزایش یافته است و نیازها، مسائل کیفی، مسائل اقتصادی و سایر موارد مربوط به منابع آب در کنار هم مورد توجه قرار می‌گیرند. این نگرش در کنار ایجاد مدل‌ها و نرم‌افزارهای نوین، باعث حرکت به سمت تجمیع این ابزارها در راستای ایجاد سیستم‌های پشتیبان برای تصمیم‌گیران شده است [۱۸]. هدف از این تحقیق تعیین ظرفیت نصب بهینه نیروگاه و یا به عبارتی برآورد میزان توان تولیدی سالیانه بهینه آن با توجه به جریان ورودی به مخزن با یک روش و شکل جدید به صورت عملکرد ۲۴ ساعته نیروگاه است. در این رویکرد جدید انرژی‌های اولیه و مازاد سرریزی با ضریب عملکرد نیروگاه به سادگی قابل محاسبه خواهد بود.

۲- مواد و روش‌ها

با تغییر سری زمانی بلندمدت دبی ورودی به مخزن سد، حالات متعددی در ایجاد سرریز در مخزن سد و تولید توان‌های اولیه و اضافی سرریزی در نیروگاه ایجاد می‌شود. در این مقاله سعی شده است که حداکثر میزان توان تولیدی نیروگاه، به ازای

Chen و همکاران [۱۷]، با استفاده از نوع خاصی از الگوریتم ژنتیک مصارف مخزن FeiTsu در تایوان را بر اساس توابع هدف حداکثر تولید نیروگاه و ذخیره آب بهینه‌سازی کردند.

Hadad و همکاران [۱۸]، کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبور عسل HBMO را در سیستم‌های برق‌آبی بزرگ و کوچک با هدف کاهش هزینه‌های خالص فعلی سیستم با توجه به افزایش رشد انرژی برق‌آبی و توجه به اهمیت نصب مخزن مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر این بودند که در مورد مسائل چند مخزنه یک برنامه‌نویسی کارآمد توسط Lingo در جهت یافتن جواب بهینه و برای مشکل طراحی برق‌آبی مسائل تک مخزنه روش HBMO پیشنهاد می‌شود.

Yoo [۱۹]، تأثیر خروجی و ذخیره مخزن بر روی حداکثر انرژی برق‌آبی تولید شده از سد را با رویکرد بهینه‌سازی بررسی کرد. سیاست بهینه‌سازی را با توجه به نسبت بین دو پارامتر خروجی‌ها و ذخیره مخزن مورد بررسی قرار داد و تابع هدف را خطی در نظر گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر تولید انرژی سالانه مدل حدود ۱۸۴ گیگاوات ساعت است که نشان می‌دهد ۸۶٪ از سطح تولید انرژی پتانسیل می‌باشد.

Zhou و Yong [۲۰]، بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم تک مخزنه‌ای در چین را انجام دادند. تابع هدف ماکزیمم نمودن تولید انرژی برق‌آبی در شرایط عدم قطعیت جریان ورودی به مخزن است که با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شده است که نتایج کارایی الگوریتم ژنتیک در شرایط عدم قطعیت را نشان می‌دهد.

Sharifi و همکاران [۴]، به ارزیابی تولید انرژی برق‌آبی در حوضه رودخانه کرخه با استفاده از سیستم پویا پرداختند. این سیستم پویا، جهت بررسی تغییرات هیدرولوژیکی در زیر حوضه رودخانه کرخه و اثرات آن بر تولید انرژی برق‌آبی نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که توسعه بالادست می‌تواند انرژی سالانه در آینده را به میزان ۲۵۴ گیگاوات در ساعت کاهش دهد. انتقال آب از حوضه سیروان که در نزدیکی حوضه کرخه قرار دارد به عنوان یک گزینه برای افزایش تولید انرژی برق‌آبی در آینده مد نظر قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که ۸۸ گیگاوات ساعت در سال، افزایش انرژی برق‌آبی می‌تواند به مقدار ۱۰۰ میلیون متر مکعب در سال برای تأمین نیاز زیست‌محیطی از حوضه سیروان به حوضه کرخه وارد شود.

$$H_{net} = EL_t - \text{tail water level} - h_f \quad (۴)$$

$PP =$ ظرفیت نصب فرض شده اولیه (مگاوات)

$H_t =$ ارتفاع سطح آب مخزن سد (متر)

$\eta =$ راندمان نیروگاه (%)

$EL_t =$ ارتفاع سطح آب (متر)

$h_f =$ افت (متر)

(۵) تعیین مقدار ذخیره در انتهای دوره به کمک رابطه پیوستگی:

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - E_t - R_t \quad \text{if } S_{t+1} < K \quad (۵)$$

$$\text{otherwise} \quad S_{t+1} = K$$

$S_{t+1} =$ حجم مخزن در انتهای دوره (میلیون متر مکعب)

$K =$ ظرفیت گنجایش مخزن سد (میلیون متر مکعب)

(۶) محاسبه میانگین حجم مخزن:

$$S^* = \frac{S_t + S_{t+1}}{2} \quad (۶)$$

(۷) اگر پارامتر به دست آمده طبق رابطه (۵)، تقریباً برابر با

حجم فرضی اولیه مخزن باشد، مقادیر تعیین شده برای H_t ، t

و E_t قابل قبول هستند؛ در غیر این صورت مراحل ۲ به بعد تکرار می‌شوند.

(۸) محاسبه توان اولیه بر اساس فرمول زیر [۲۲، ۲۳]:

$$FP_t = 0.003785 \times \eta \times H_t \times R_t \quad \text{if } FP_t < PP \quad (۷)$$

$FP_t = PP$: otherwise

(۹) محاسبه سرریز جهت محاسبه توان مازاد سرریزی:

$$Spill_t = 0 \quad \text{if } s_t + Q_t - E_t - R_t \leq K$$

$$\text{otherwise} \quad Spill_t = s_t + Q_t - E_t - R_t - K \quad (۸)$$

(۱۰) محاسبه توان مازاد سرریزی:

$$SP_t = 0.003785 \times \eta \times H_{max} \times spill_t \quad (۹)$$

(۱۱) محاسبه انرژی‌های اولیه و مازاد سرریزی:

$$FE_t = FP_t \times t \quad (۱۰)$$

$FP_t =$ توان اولیه (مگاوات بر ماه) و t زمان بر حسب ماه

سری‌های زمانی ورودی به مخزن سد تعیین گردد. دوره شبیه‌سازی با توجه به آمار در دسترس، ۴۹ سال بوده که بر اساس اطلاعات ماهانه طی سال‌های ۱۳۳۲ تا ۱۳۸۰ محاسبه شده است. روند محاسبه توان تولیدی نیروگاه به قرار زیر می‌باشد:

۲-۱- رابطه پیوستگی مخزن

در عملکرد مخازن، اصلی‌ترین رابطه همان رابطه پیوستگی است (رابطه (۱))، که میزان تغییرات حجم مخزن در هر دوره زمانی را در اثر میزان ورودی و خروجی تعیین می‌کند. بدین ترتیب ۴ متغیر اصلی موجود در مدل را می‌توان با توجه به رابطه (۱) به صورت حجم ذخیره مخزن، جریان ورودی، جریان رهاسازی شده و تبخیر تعریف کرد.

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - E_t - R_t - Spill_t \quad (۱)$$

$S_t =$ حجم مخزن در آغاز دوره t (میلیون متر مکعب)

$Q_t =$ دبی ورودی به مخزن در دوره t (متر مکعب بر ثانیه)

$R_t =$ رهاسازی در دوره t (میلیون متر مکعب)

$E_t =$ تلفات تبخیر در دوره t ، که متناسب با مساحت سطح آب در حجم میانگین است (متر)

$Spill_t =$ میزان سرریز در دوره t (میلیون متر مکعب)

۲-۲- الگوریتم محاسبه انرژی برق‌آبی اولیه و اضافی به

طور تکراری

(۱) فرض می‌شود $S_t = \bar{S}_t$ (میانگین حجم در ابتدا و انتهای دوره t برابر حجم مخزن در ابتدای دوره t).

(۲) متناسب با \bar{S}_t ، مقادیر H_t و A_t به وسیله روابط حجم، سطح و ارتفاع مخزن محاسبه می‌گردند.

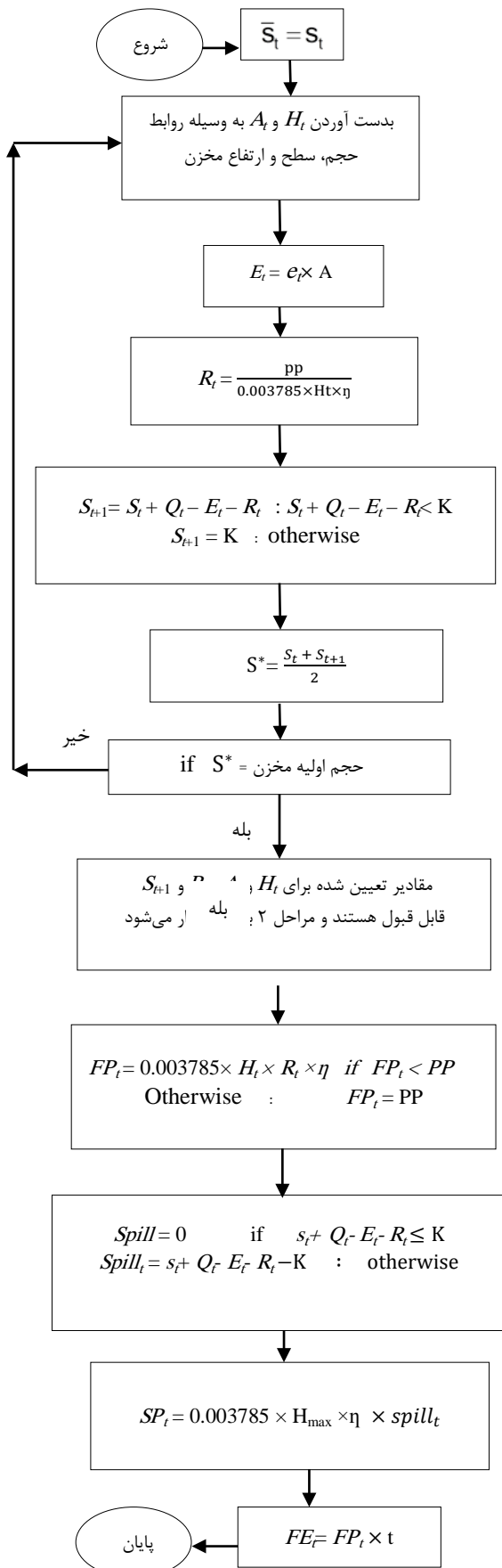
(۳) میزان حجم تبخیر E_t ، با توجه به A_t و ارتفاع تبخیر در هر دوره محاسبه می‌گردد.

$$E_t = e_t \times A_t \quad (۲)$$

$e_t =$ ارتفاع تبخیر (میلی‌متر)

(۴) دبی مورد نیاز برای تولید یک ظرفیت نصب مشخص:

$$R_t = \frac{PP}{0.003785 \times H_{net} \times \eta}$$



شکل ۱- الگوریتم توسعه یافته محاسبه انرژی برق آبی

با توجه به داده‌های حجم-سطح-ارتفاع مخزن سد، منحنی‌های ذخیره-ارتفاع و ذخیره-مساحت مخزن به همراه معادله خطوط برازش داده شده ترسیم شدند و معادلات مساحت و ارتفاع مخزن سد، بر اساس حجم مخزن به دست آمدند. طبق این الگوریتم در هر گام زمانی، ذخیره مخزن در دو معادله به دست آمده از منحنی‌ها (معادلات (۱۱) و (۱۲)) جایگزین می‌شود، ارتفاع و سطح متناظر با آن به دست می‌آید و روند حل این برنامه براساس الگوریتم نوشته شده پیش می‌رود. لازم به ذکر است هر بار ارزیابی تابع هدف مستلزم فراخوانی و اجرای مدل نوشته شده در محیط MATLAB می‌باشد.

$$H_t = a \times S_t + b \quad (11)$$

$$A_t = C \times S_t + d \quad (12)$$

A_t = مساحت متناظر با حجم مخزن سد (Km^2)

H_t = ارتفاع آب درون مخزن متناظر با حجم مخزن سد (m)

a, b, c, d = ضرایب ثابت که از روابط مخزن قابل محاسبه‌اند.

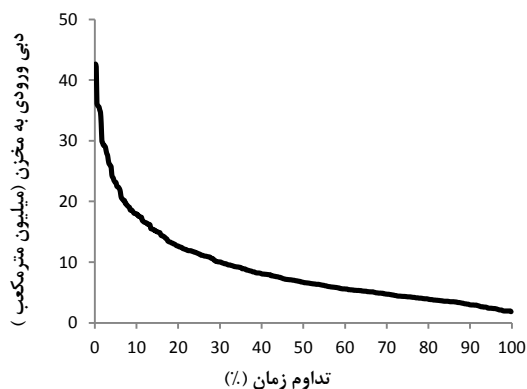
۲-۳- معیار محاسبه ضریب کارکرد نیروگاه

پارامتر اطمینان‌پذیری^۱ بر مبنای احتمال وقوع تأمین توان تولیدی در هر ماه نسبت به ظرفیت نصب نیروگاه محاسبه می‌شود. در محاسبات اطمینان‌پذیری، دوره‌ای (بر حسب ماه) را به عنوان دوره شکست در نظر می‌گیرند که در آن دوره، توان تولیدی کمتر از میزان توان در نظر گرفته شده باشد. در این پژوهش معیار انتخاب توان را بر مبنای احتمال وقوع تأمین توان تولیدی بیش از ۹۵ درصد ظرفیت نصب در نظر گرفته شده می‌باشد. چنانچه مقادیر توان محاسبه شده در خارج از این فاصله قرار گیرند به عنوان شکست در نظر گرفته می‌شوند.

ظرفیت نصب اولیه نیروگاه به عنوان یک پارامتر فرضی اولیه در نظر گرفته شده سپس اطمینان‌پذیری میزان توان تولیدی در آن ظرفیت نصب محاسبه شده و در نهایت با این معیار، ظرفیت نصب مناسب انتخاب می‌گردد [۱۶].

$$0.9 < \text{Reliability} = \frac{\text{تعداد ماه‌های موفقیت}}{\text{تعداد کل سال‌ها}} \quad (13)$$

شکل (۱) الگوریتم توسعه یافته محاسبات تولید انرژی برق آبی را برای یک ظرفیت نصب اولیه نشان می‌دهد.



شکل ۳- منحنی تداوم جریان دبی ورودی به مخزن سد

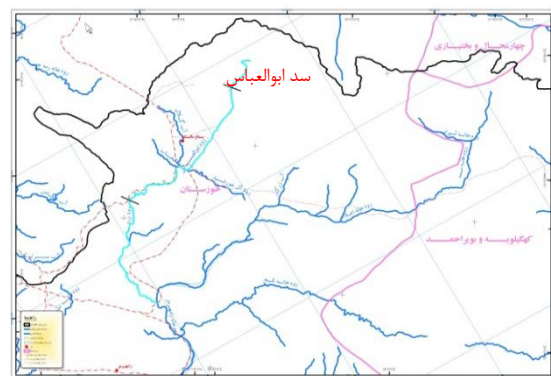
۳- نتایج

در محاسبه توان تولید انرژی برق آبی مخازن، یک سری پارامترهای غیر قطعی دخالت دارند که این پارامترها عبارتند از: سری زمانی دبی ورودی (Q_t)، حجم تبخیر (e_t)، حجم ذخیره در ابتدای دوره (S_t)، ارتفاع آب در مخزن (H_t) و ظرفیت مخزن (K). با توجه به رابطه حجم- سطح- ارتفاع مخزن، می توان متناسب با تغییرات حجم ذخیره مخزن در هر دوره، ارتفاع آب در مخزن و مساحت سطح آب متناظر با حجم مخزن را جهت محاسبه تلفات تبخیر را با توجه به روابط ۱۱ و ۱۲ به دست آورد. ضرایب a ، b ، c و d به ترتیب برابر $۰/۹۵۴۴$ ، $۱۰/۵۸۷$ ، $۰/۲۱۳$ و $۰/۹۰۸$ محاسبه گردید.

با استفاده از الگوریتم معرفی شده برای داده های مخزن و نیروگاه سد ابوالعباس، متغیرهای A_t ، H_t ، S_{t+1} ، E_t ، R_t و $spill$ و سایر پارامترها برای ۴۹ سال دوره آماری در ظرفیت نصب های مختلف محاسبه شدند. طبق محاسبات انجام شده، در هر گام زمانی میزان ظرفیت نصب مخزن با پتانسیل مخزن مقایسه شده و کمترین مقدار در این بین به توان خروجی اختصاص داده شده است. به ازای هر ظرفیت نصب طبق جدول (۲)، بر اساس الگوریتم گفته شده و پس از سعی و خطا، ظرفیت نصب مخزن بر پایه ضریب اطمینان پذیری، مطابق شکل (۴) برابر $۲/۷$ مگاوات تعیین شد. بنابر این بیلان آب مخزن سد ابوالعباس در شرایطی که توان تولیدی $۲/۷$ مگاوات باشد، در جدول (۳) آورده شده است. مطابق با این جدول، متوسط دراز مدت سالانه ورودی به مخزن سد ابوالعباس در شرایط طبیعی برابر $۱۰۶/۸$ میلیون متر مکعب در سال است که از این میزان $۴/۹۲$ میلیون متر مکعب در سال از سطح مخزن سد تبخیر شده. لذا خروجی سد برابر با $۱۰۱/۸۸$ میلیون متر مکعب در سال محاسبه می گردد. از آن-

۲-۴- بکارگیری الگوریتم توسعه یافته در مطالعه موردی

محدوده مطالعاتی شامل حوضه آبریز سد ابوالعباس است که در جنوب غربی کشور و در استان خوزستان با موقعیت جغرافیایی ۴۸ تا ۴۹ طول شرقی و ۳۰ تا ۳۱ عرض شمالی واقع گردیده است. هدف از احداث سد ابوالعباس تأمین آب شرب و حقایق کشاورزی و تولید برق می باشد. محدوده مورد مطالعه و محل مخزن سد ابوالعباس در شکل (۲) ارائه شده است. همچنین مشخصات فیزیکی مخزن سد در جدول (۱) ذکر شده است.



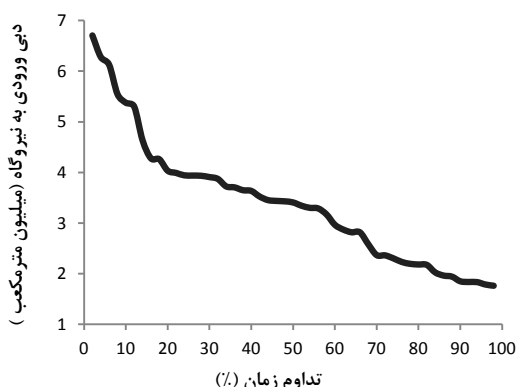
شکل ۲- محدوده مورد مطالعه و محل مخزن سد ابوالعباس

جدول ۱- مشخصات فیزیکی مخزن سد ابوالعباس

(برحسب میلیون متر مکعب)

رقوم نرمال	رقوم حداقل	حجم مخزن در تراز حداقل بهره- برداری مخزن	حجم مخزن در تراز نرمال
سد (masl)	بهره برداری (masl)	۱/۳۷	۱۱۳/۳۷
۱۱۶۷	۱۰۶۰		

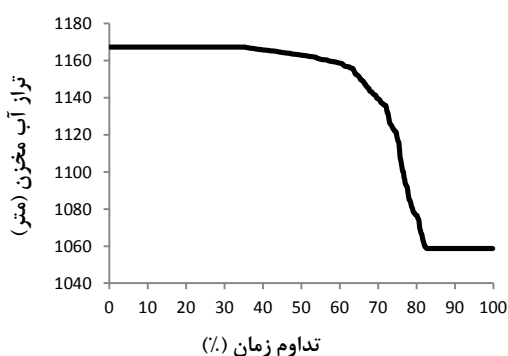
سد از نوع بتنی دو قوسی است که حجم مفید آن ۱۱۲ میلیون متر مکعب می باشد. نمودار منحنی تداوم جریان ورودی به مخزن سد برای ۴۹ سال آمار (سال های آبی ۱۳۳۲-۱۳۳۳ تا ۱۳۸۱-۱۳۸۰) مطابق با شکل (۳) ترسیم شده است. همان گونه که مشاهده می شود، حداکثر و حداقل میزان دبی جریان به ترتیب برابر با $۴۲/۲$ و $۱/۹۸$ میلیون متر مکعب است. در نیمی از اوقات، دبی ورودی به نیروگاه برابر ۷ میلیون متر مکعب است. نیروگاه سد ابوالعباس در پای سد با تراز آبیگری ۱۰۱۸ متر از سطح دریا واقع شده است. با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات دقیق نیروگاهی سد، ضریب راندمان نیروگاه و افت مجاری انتقال آب به نیروگاه به ترتیب برابر ۱ درصد و صفر متر در محاسبات منظور گردید.



شکل ۵- منحنی تداوم جریان دبی ورودی به نیروگاه سد

مطابق شکل (۵)، دبی حداکثر و حداقل ورودی به نیروگاه در شرایط ظرفیت نصب ۲/۷ مگاواتی، به ترتیب برابر ۶/۷ و ۱/۷۸۵ متر مکعب بر ثانیه می باشد و در نیمی از اوقات برابر ۳/۴ متر مکعب بر ثانیه است. این بدان معنی است که در این محدوده دبی، نیروگاه قابلیت تولید توان اولیه در همه اوقات سال را دارد و همچنین با توجه به شکل (۳) حدود ۱۰ درصد دبی ورودی به مخزن سد (محدوده ۷ تا ۴۲ میلیون متر مکعب) قابلیت تولید توان اضافی را دارد.

منحنی تداوم جریان ارتفاع سطح آب مخزن در ظرفیت نصب انتخابی در شکل (۶) ترسیم شده است. همان گونه که مشاهده می شود، در ۳۳ درصد اوقات مخزن سد کاملاً پر بوده و در ۲۰ درصد اوقات مخزن خالی است. فاصله بین ۳۳ درصد ابتدای مخزن و ۲۰ درصد انتهایی آن، به عبارتی همان قسمتی است که انرژی برقی آبی در حال تولید شدن می باشد. در ۳۳ درصد مواقعی که مخزن در حداکثر تراز خود قرار دارد، بیشترین توان ممکن در حال تولید شدن است.



شکل ۶- منحنی تراز آب مخزن سد

جایی که سرریز از سد یکی از مهم ترین اجزای آن به شمار می رود و جهت محاسبه انرژی اضافی نیاز به محاسبه دقیق آن می باشد از این رو در این تحقیق میزان سرریز سد ابوالعباس برابر با ۳۲/۵۲ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. این بدان معنی است که مخزن سد ابوالعباس در ظرفیت نصب ۲/۷ مگاواتی قادر به تنظیم حجم آبی معادل ۶۹/۳۶ میلیون متر مکعب در سال برای نیروگاه خواهد بود.

جدول ۲- ضریب عملکرد توان تولیدی در ظرفیت نصب های

مختلف (%)

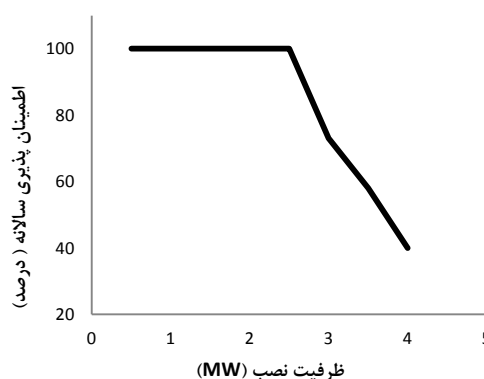
ظرفیت نصب	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴
ضریب عملکرد	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۳	۵۸	۴۰

جدول ۳- بیلان مخزن سد ابوالعباس (میلیون متر مکعب در

سال)

ورودی	تبخیر	سرریز	تنظیمی	خروجی
۱۰۶/۸	۴/۹۲	۳۲/۵۲	۶۹/۳۶	۱۰۱/۸۸

با محاسبه درصد اطمینان پذیری مخزن سد ابوالعباس مطابق بند ۲-۳ و ضریب عملکرد نیروگاه در ظرفیت نصب های گوناگون مطابق شکل (۴)، در ۹۰ درصد اوقات ظرفیت نصب نیروگاه برابر ۲/۷ مگاوات می باشد.



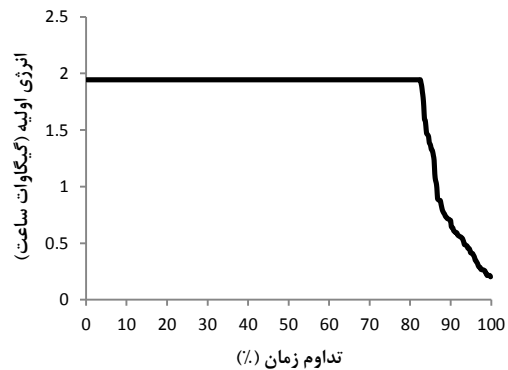
شکل ۴- درصد اطمینان پذیری مخزن سد ابوالعباس

میزان متوسط سالانه انرژی اولیه و اضافی تولیدی به ترتیب برابر ۲۰/۸ و ۱۳/۲ گیگاوات ساعت در ظرفیت نصب بهینه ۲/۷ مگاوات می‌باشد.

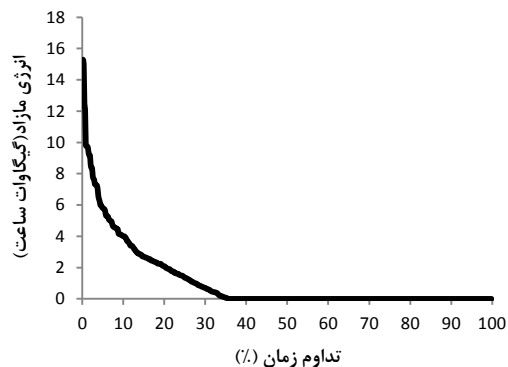
۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، یک الگوریتم جدید جهت شبیه‌سازی سیستم برق‌آبی مخزن، به صورت پایه و تولید حداکثر توان تولیدی نیروگاه در محیط نرم‌افزار MATLAB توسعه داده شده است. در این الگوریتم میزان انرژی اولیه و مازاد سرریزی در یک فرآیند تکراری با حل معادله بیلان آبی مخزن سد، محاسبه می‌گردند. بدین صورت که به کمک فرآیند تعریف شده و فرض یک ظرفیت نصب ثابت، مقادیر دبی ورودی به نیروگاه، هد خالص، دبی سرریزی و تبخیر در هر دوره تعیین شده سپس به کمک معیار اطمینان‌پذیری تعریف شده، میزان ظرفیت نصب بهینه تعیین می‌گردد. در این ظرفیت نصب میزان انرژی تولیدی اولیه و ثانویه به کمک توان‌های اولیه و اضافی محاسبه شده، حاصل می‌گردند. کاربرد این روش در پتانسیل‌یابی انرژی تولیدی در مخازن به صورت پایه (۲۴ ساعته) بوده و در شرایطی که هدف اول مخزن تأمین نیروی برق‌آبی باشد، مناسب است. این مدل قابلیت اضافه نمودن محاسبات انرژی پیک و غیر پیک را دارا بوده که توسط نویسندگان در حال توسعه می‌باشد.

مدل توسعه داده شده بر روی یک مخزن واقعی در جنوب کشور اعمال گردید. سد ابوالعباس با قابلیت ذخیره‌سازی ۱۱۲ میلیون متر مکعب و هد خالص بیشینه و کمینه به ترتیب ۱۴۹ و ۴۲ متر و همچنین متوسط سالانه دبی ورودی ۷ میلیون متر مکعب است. نتایج شبیه‌سازی تولید انرژی برق‌آبی برای ظرفیت نصب‌های مختلف محاسبه و نهایتاً ظرفیت نصب ۲/۷ مگاوات به عنوان ظرفیت نصب بهینه انتخاب گردید. در این ظرفیت نصب بهینه، متوسط درازمدت سالانه ورودی و خروجی مخزن، به ترتیب برابر ۱۰۶/۸ و ۱۰۱/۸۸ میلیون متر مکعب در سال و تبخیر از سطح مخزن سد برابر ۴/۹۲ میلیون متر مکعب در سال محاسبه می‌گردد. حجم آب سرریزی و حجم آب تنظیمی برای نیروگاه به ترتیب معادل ۳۲/۵۲ و ۶۹/۳۶ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. همچنین میزان متوسط سالانه انرژی اولیه و مازاد سرریزی تولیدی در ظرفیت نصب بهینه، به ترتیب برابر ۲۰/۸ و ۱۳/۲ گیگاوات ساعت به صورت ۲۴ ساعته (پایه) محاسبه گردید.



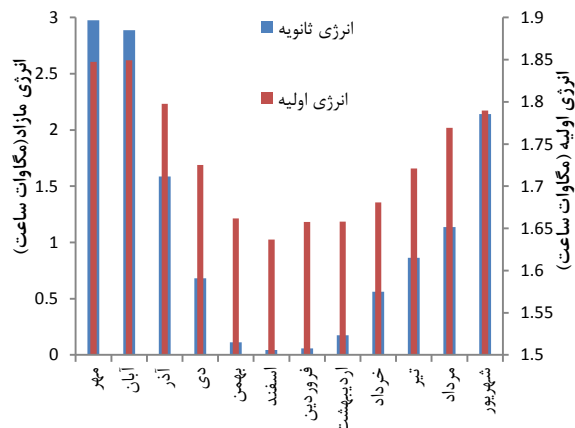
شکل ۷- منحنی تداوم انرژی اولیه- گیگاوات ساعت



شکل ۸- منحنی تداوم انرژی مازاد سرریزی- گیگاوات ساعت

با محاسبه انرژی اولیه و اضافی نیروگاه مطابق شکل‌های (۷) و (۸)، انرژی اولیه در ۸۳ درصد مواقع به صورت کامل تولید شده است و در ۳۳ درصد مواقعی که مخزن پر بوده انرژی مازاد سرریزی تولید گشته است.

همان‌گونه که از شکل (۹) مشاهده می‌شود، از بهمن ماه تا فروردین مقدار انرژی مازاد سرریزی تولیدی ناچیز بوده و بیشترین مقدار آن در ماه‌های مهر و آبان مشاهده می‌شود.



شکل ۹- متوسط انرژی اولیه و مازاد سرریزی تولیدی ماهانه

- ۵- مراجع
- [۱۰] شهبازی، ت.، صادقیان، م. ص.، "بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم مخازن سدهای برق‌آبی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی در محیط برنامه‌نویسی Lingo"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، ۱۳۸۷، تبریز.
- [۱۱] مستوفی، ف.، شایقی، ح.، کاظمی‌کارگر، ح.، "پتانسیل‌سنجی و طراحی بهینه سیستم ترکیبی انرژی‌های تجدیدپذیر جهت تأمین برق مورد نیاز ایستگاه‌های پمپاژ آب سایت مشکین‌شهر"، نشریه انرژی ایران، ۱۳۹۱، دوره ۱۵ (۲)، ۸۳-۱۰۲.
- [۱۲] شمسایی، ا.، مهروند، ش.، شیخ‌الاسلامی، س. ر.، "تعیین ظرفیت بهینه نصب نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک با استفاده از الگوریتم جست و جوی ذرات باردار (مطالعه موردی: نیروگاه کهنه لاهیجان)"، سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۳.
- [۱۳] احمدیان‌فر، ا.، ادیب، آ.، "بهینه‌سازی بهره‌برداری انرژی برق‌آبی از سدها با استفاده از روش ترکیبی الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: سد دز)"، مجله علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، ۱۳۹۴، ۳۸ (۴)، ۶۳-۷۰.
- [۱۴] معینی، ر.، "بهینه‌سازی مسأله بهره‌برداری برق‌آبی از سد دز با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی سیستم مورچگان ترتیبی"، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت، ۱۳۹۳، بابل.
- [15] Afshar, A., "Optimization of Hydropower Plant Integration in Water Supply System", *Water Resource and Planning Management*, 1990, 116 (5), 665-675.
- [16] Afzali, R., Mousavi, S. J., Ghaheer, A., "Reliability-Based Simulation Optimization Model for Multi-Reservoir Hydropower Systems Operation: Khersan Experience", *Water Resource Planning and Management*, ASCE, 2008, 134(1), 24-33
- [17] Chen, L., Mcphee, J., William, W., Yeh, G., "A Diversified Multiobjective GA for Optimizing Reservoir Rule Curves", *Advanced in Water Resources*, 2007, 30 (5), 1082-1093.
- [18] Bozorg hadad, O., Afshar, A., Marino, M., "Design Operation of Multi-Hydropower Reservoirs: HBMO Approach", *Water Resource Management*, 2008, 22 (12), 1709-1722.
- [۱] فلاح مهدی‌پور، ا.، بزرگ حداد، ا.، "بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدهای چند منظوره با کاربرد روش بهینه‌سازی مجموع ذرات"، مجله آب و فاضلاب، ۱۳۹۱، ۴، ۹۷-۱۰۵.
- [2] Wurbs, R. A., "Reservoir-System Simulation and Optimization Models", *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 1993, 119 (4), 455-472.
- [۳] مأم‌پوش هرندی، ع.، فصیحی، م.، "استفاده از نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک برای آبیاری زمین‌های مرتفع کشاورزی"، مجله آب و فاضلاب، ۱۳۸۰، ۳۹، ۵۰-۵۲.
- [4] Sharifi, A. R., Kalin, L., Tajrishi, M., "A System Dynamics Approach for Hydropower Generation Assessment in Developing Watersheds: A Case Study of Karkheh River Basin", *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, 2013, 18 (8), 1007-1017.
- [۵] حسینی، س. م. ح.، هارون آبادی، ح.، براتی، ح.، فروزبخش، ف.، "تعیین ظرفیت نصب بهینه نیروگاه‌های آبی کوچک با استفاده از ترازبایی شاخص‌های فنی-اقتصادی و قابلیت اطمینان"، کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۸۸، ایران، تهران.
- [۶] جلالی، م. ر.، افشار، ع.، "شبیه‌سازی پویای سیستم تولید انرژی مخازن برق‌آبی"، اولین کنفرانس مدیریت منابع آب، ۱۳۸۳، ایران، تهران.
- [۷] مرادی، م.، دارابی، ب. ش.، "بررسی تغییرات ارتفاع مخزن سد بر میزان تولید انرژی و راندمان واحدهای نیروگاه سد کرخه"، ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۳۸۶، ایران، شهرکرد.
- [۸] حسینی، ع.، ایزدجو، ف.، حسینی، ی.، ناصری، ع.، "طراحی شبیه‌ساز یکپارچه نیروگاه‌های برق‌آبی و بازار انرژی"، دومین کنفرانس ملی نیروگاه‌های آبی کشور، ۱۳۸۷، تهران.
- [۹] امامی‌تبریزی، س.، موسوی، س. ج.، افضلی، ر.، "مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی در طراحی و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های چند مخزنه برق‌آبی PSO-MODSIM"، نشریه مهندسی عمران و نقشه‌برداری، ۱۳۹۰، دوره ۴۵ (۷)، ۷۶۲-۷۵۳.

- [19] Yoo, J. H., "Maximization of Hydropower Generation through the Application of A Linear Programming Model", *Journal of Hydrology*, 2009, 182-187.
- [20] Zhou, R., Yong, K., "Optimal Operation Study of Qingrivrr Cascade Reservoirs Based on GA with Uncertainty and Flow Transmission Considered", *Procedia Engineering*, 2012, 44-48.
- [21] Lu, B., Li, K., Zhang, H., Wang, W., Gu, H., "Study on the Optimal Hydropower Generation of Hydro-Environment Research", 2013, 7, 270-278.
- [22] Loucks, D. P., Van Beek, E., "Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications", UNESCO, 2005.
- [23] Mays, L. W., Tung, Y. K., "Hydrosystems Engineering and Management", McGraw Hill, US, 1992.

EXTENDED ABSTRACT

Development of Reservoir Hydropower Generation Modelling by a New Approach

Seyed Ehsan Fatemi *, Mozhgan Pakbin, Maryam Hafezparast Mavadat

Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah 6715685438, Iran

Received: 11 April 2016; **Accepted:** 24 September 2016

Keywords:

Hydropower energy, Reliability, Installed capacity, Firm and second energy, Abolabas reservoir

1. Introduction

By increasing of population rate in the world, the energy demand is increasing simultaneously. Nowadays, regarding to hydropower developing plans for achieving to clean energy sources has particular importance in the world. Hydropower plants are the one of the biggest world potential in energy generation having the minimum environmental problems [1]. Reservoir operation is one of the most important issues in the various problems of water resources. A reservoir operation policy is consist of rules which are determined the amount of water allocated or released from a reservoir [2]. Integrated water resources management is more considered to operate reservoirs in the water basin rather than past. It considers the hydropower demand as an independent water user with other water demands to reservoirs operation policy [3].

The subject matter of energy generation is the most important issue on hydropower plants in the seasons of a year or in the hours of daylight. In the other words, determination of installed capacity and designed discharge are the important factors in designing of hydropower plants. In case, a new developed algorithm of hydropower energy generation simulation is introduced by Matlab software in this study. This developed model is applied to simulate power generation of Abolabas reservoir system which is located in the west south of Iran, Khozestan province.

2. Methodology

2.1. Hydropower generation algorithm

The most common equation in reservoir operation is the reservoir continuity equation. On the other hands, there is a general hydropower generation equation. To obtain produced power from reservoir released there are 4 unknown variables in these equations. A new hydropower generation algorithm is developed to solve this problem.

By variation of reservoir inflow time series, the several cases would be occurred in primal and additional power generation. In this study, maximum power generation of power plant would be achieved for variable reservoir inflow time series by developing a new hydropower generation algorithm in MATLAB software.

2.2. Case study

The developed model is applied to Abolabas reservoir dam located in Khozestan province in the south west of Iran. The net storage capacity of reservoir is about 112 million cubic meters (MCM). The reservoir inflow historical time series is considered from 1953 to 2002 years and also the minimum, maximum and median reservoir inflows are about 2, 42 and 7 MCM, respectively.

3. Results and discussion

3.1. Obtaining the installed capacity

According to developed new algorithm, the installed capacity is compared by potential produced power in each time step and the minimum of them is selected. Then, the turbine reliability is obtained for all of time step in each

* Corresponding Author

E-mail addresses: se.fatemi@razi.ac.ir (Seyed Ehsan Fatemi), mozhganpakbin92@gmail.com (Mozhgan Pakbin), m.hafezparast@razi.ac.ir (Maryam Hafezparast Mavadat).

installed capacity. Finally, the best installed capacity is determined by 2.7 megawatt (MW) based on the reliability of 90% (Fig. 1). In this installed capacity, Abolabas reservoir could be able to regulate about 69.4 MCM per year.

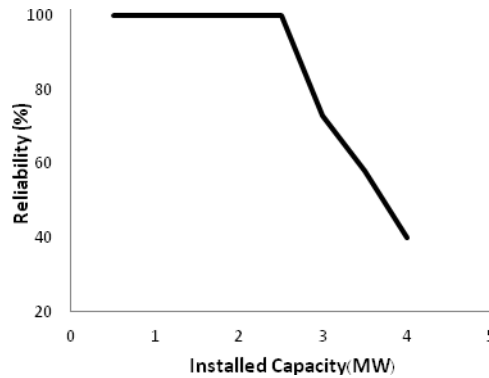


Fig. 1. The reliability of produced power in each installed capacity

3.2. Result in determined installed capacity

The annual water balance of reservoir in determined installed capacity 2.7 MW is presented in Table 1. As well as, the Firm and secondary energy exceedance duration curves are presented in Fig. 2. As well as, the monthly average firm and secondary produced energy in installed capacity 2.7 MW are calculated and presented in Fig. 3. The annual average of firm and secondary energy are determined about 20.8×10^3 and 13.2×10^3 MW in hours.

Table 1. The annual results of Reservoir balance in installed capacity 2.7 MW (MCM)

Outflow	Regulated	Spill	Evaporation	Inflow
101.9	69.4	32.5	4.9	106.8

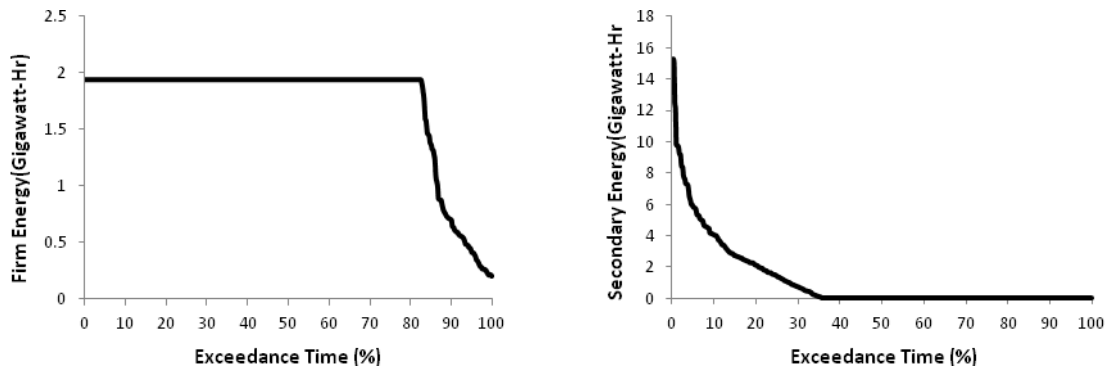


Fig. 2. The exceedance duration curves of Firm and Secondary Energy

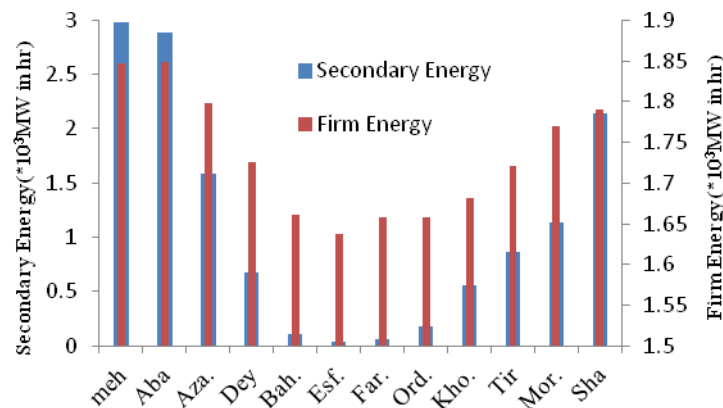


Fig. 3. The monthly average Firm and Secondary Energy

4. Conclusions

A new basic hydropower generation algorithm was developed based on hydropower generation calculation in 24 hours in Matlab environment. The developed model was applied to the Abolabas reservoir dam which is located on the south west of Iran to find the best installed capacity. The storage capacity of this reservoir is 112 MCM, maximum and minimum net head of 149 and 42 meters and also annual average inflow 106 MCM could produce 2.7 MW power as the install capacity. The annual average regulated and spilled water were calculated about 69 and 33 MCM in this hydropower demand, respectively. Finally, the annual average of firm and secondary energy were determined 20.8 and 13.2 GW in hours in the optimal installed capacity.

5. References

- [1] Wurbs, R. A., "Reservoir-system Simulation and Optimization Models", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 1993, 119 (4), 455-472.
- [2] Sharifi, A. R., Kalin, L., Tajrishi, M., "A System Dynamics Approach for Hydropower Generation Assessment in Developing Watersheds: A Case Study of Karkheh River Basin", Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 2013, 18 (8), 1007-1017.
- [3] Bozorg Hadad, O., Afshar, A., Marino, M., "Design Operation of Multi-hydropower Reservoirs: HBMO Approach", Water Resource Management, 2008, 22 (12), 1709-1722.