نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم / شماره سی و ششم / زمستان ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Powerplant
10th Year/ No. 36/ March 2024

بهینه‌سازی عملکرد نیروگاه سد گتوند علیا در شرایط توسعه‌ی ظرفیت با لحاظ محدودیت‌های سد تنظیمی گتوند

محمدرضا جلالی*[۱]
سعید جمالی[۲]
صبا خلدی[۳]

چکیده

با توجه به اهمیت بهره‌برداری بهینه از منابع آب، مطالعات دوباره و توسعه‌ی طرح‌های موجود به ویژه در خصوص سدها و نیروگاه‌های برق‌آبی مزایای بسیاری دارد. نقش حوضه‌ی آبریز کارون در تأمین نیاز آب و برق کشور بسیار حیاتی می‌باشد. از این رو، با توجه به طرح توسعه‌ی نیروگاه گتوند علیا تا ظرفیت ۱۶۴۰ مگاوات، بیشینه‌سازی عملکرد آن از اهداف این پژوهش به شمار می‌آید. در این راستا، مدل بهینه‌سازی عملکرد نیروگاه سد گتوند علیا توسعه یافت. در مدل بهینه‌سازی، از بیشینه‌سازی ارزش انرژی تولیدی در نیروگاه سد گتوند علیا با استفاده از ارزش ترکیبی و همچنین، کمینه‌سازی تفاوت رهاسازی ساعتی از سد تنظیمی گتوند استفاده شد. بر اساس نتایج مدل بهینه‌سازی، در هر گام زمانی (ساعت)، ظرفیت بهینه‌ی عملکرد نیروگاه در یک سال نرمال، با ترکیبی از ۴ واحد ۲۵۰ مگاواتی و ۴ واحد ۱۶۰ مگاواتی (جمعاً ۱۶۴۰ مگاوات)، پیشنهاد گردید. در راستای محاسبه‌ی ظرفیت نصب نیروگاه سد تنظیمی گتوند نیز، شبیه‌سازی برای ۶۴ سال و در گام زمانی ساعتی و متناسب با شرایط پایین دست و محدودیت‌های مخزن صورت گرفت. پس از انجام محاسبات هیدروانرژی، ظرفیت نصب ۵۰ تا ۶۰ مگاوات به عنوان ظرفیت نصب بهینه پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی

نیروگاه سد گتوند، بهینه‌سازی، ارزش انرژی، ساعات بهینه کارکرد نیروگاه، سد تنظیمی گتوند

[۱]*استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران. mr.jalali@iau.ac.ir
[۲]استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و منابع زمین دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.
[۳]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

مقدمه

در دهه‌ی اخیر با توجه به رشد روزافزون جمعیت، رشد تقاضای آب و انرژی و محدودیت در منابع طبیعی، اهمیت مدیریت منابع و بهره‌برداری بهینه از آن، افزایش یافته است. از سوی دیگر تشدید پیامدهای تغییر اقلیم و افزایش شدت تغییرات، فشار مضاعفی بر تأمین منابع آب وارد کرده است. در ایران، سدها نقش مهمی در ذخیره‌سازی و تأمین نیاز آبی بر عهده دارند. در شش دهه گذشته، نزدیک به ۵۲ میلیارد مترمکعب مخزن سد با هدف تأمین نیازهای شرب، صنعت، کشاورزی و تولید برق ساخته شده است. ارزیابی عملکرد این زیرساخت‌های مهم تأمین آب، نقش مهمی در شناسایی نقاط ضعف و قوت آن‌ها دارد. با درک درست از این نقاط ضعف و قوت می‌توان برنامه‌های اصلاحی تدوین کرد تا این زیرساخت‌های خاکستری تبدیل به زیرساخت‌های سبز شوند. در این میان بررسی عملکرد نیروگاه‌های آبی از اهمیت دو چندان برخوردار است. پروژه‌های سد و نیروگاه برقآبی در بیشتر اوقات در دسته‌ی گران‌ترین پروژه‌های توسعه‌ای قرار دارند که اجرای آن‌ها نیز بسیار زمان‌بر است. این زیرساخت‌ها در برابر تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیری زیادی دارند زیرا منافع حاصل از آن‌ها (تولید برق) وابسته به منابع آب ورودی به مخزن است. هر عاملی که بر میزان و زمانبندی جریان ورودی بر مخزن تأثیر گذارد، به عنوان چالشی در تأمین منافع این دست از زیرساخت‌ها شناخته می‌شود.

در حل مسائل مرتبط با مدیریت و مهندسی منابع آب به دلیل پیچیدگی‌های سیستمی و وجود متغیرهای بسیار، بررسی اثرات سیستماتیک و ساده‌سازی مسائل ضرورت دارد. از این رو، از روش‌های بهینه‌سازی در کنار مدل‌های مرسوم شبیه‌سازی در حل این مسائل استفاده می‌شود. در چند دهه‌ی اخیر، یکی از راهکارهای افزایش کارایی بهینه‌سازی مسائل پیچیده، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی همراه با بهره‌گیری از الگوریتم‌های تکاملی است. این الگوریتم‌ها با الگو برداری از طبیعت شکل گرفته و توسعه یافته‌اند. یکی از مشکلات عمده در تعیین سیاست بهره‌برداری با در نظر گرفتن مدل‌های بهینه‌سازی همراه با مدل شبیه‌سازی، تعیین تابع هدف است. از این رو، انتخاب متغیرهای تصمیم از حساسیت بالایی برخوردار است (جلالی[1] و همکاران، ۱۳۸۷).

بازار برق به دلیل پویایی و پیچیدگی‌های ساختاری، همواره موجب ایجاد عدم اطمینان برای ذی‌نفعان می‌گردد. از این رو، ذی‌نفعان با تلاش بر بهینه‌سازی قیمت‌گذاری، تلاش می‌کنند تا ریسک موجود در بازار را حداقل کرده و همچنین سود خود را به حداکثر برسانند (وحیدی نسب و جدید[2]، ۲۰۱۰). در سال ۲۰۱۹ متوسط استفاده از انرژی تجدیدپذیر در حدود ۱۸.۲ درصد کل انرژی مصرفی برآورد شده است. در این میان، سهم انرژی برقآبی از کل انرژی تجدیدپذیر ۸۰ درصد بوده است (رن ۲۱[3]، ۲۰۲۲). با توجه به ویژگی‌های تولید انرژی از طریق توان آب، از قبیل هزینه‌ی به نسبت کم، عدم تولید گازهای گلخانه‌ای و انعطاف پذیری بالای نیروگاه‌ها در تولید برق این منبع جز منابع محبوب در تولید انرژی به شمار می‌آید و از این رو تبدیل به گزینه‌ای ارزشمند در راستای سرمایه‌گذاری شده است (جمالی[4]، ۱۳۹۱). از سایر خدمات مهم سامانه‌های برقآبی می‌توان به حفظ ثبات و امنیت شبکه برق اشاره کرد. بنابراین، بررسی بیشتر راهکارهای لازم در راستای افزایش سازگاری و بهینه‌سازی و بهبود عملکرد این نیروگاه‌ها ضرورت دارد. از این رو، مطالعات بسیاری در راستای بهینه‌سازی عملکرد سامانه‌های برقآبی با استفاده از سیاست‌های بهره‌برداری صورت گرفته است.

ردی و کومار[5]، ۲۰۰۵، در پژوهشی با استفاده از روش الگوریتم تکاملی چند هدفه (MOEA[6])، به بهره‌برداری بهینه از مخزن چندهدفه بهادرا در هند پرداختند. این مخزن به منظور تأمین نیاز آب کشاورزی و تولید برق احداث شده است. در این حالت افزایش تولید برق و تأمین نیاز آبی کشاورزی، دو تابع هدف این مدلسازی است. این دو تابع هدف در عمل در تضاد با یکدیگر می‌باشند. از این رو بهینه‌سازی برای سه سناریوی

[1] Jalali
[2] Vahidinasab and Jadid
[3] REN21
[4] Jamali
[5] Reddy and Kumar
[6] Multi-objective Evolutionary Algorithm

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

مختلف انجام گردید که نشان‌دهنده‌ی موفقیت الگوریتم تکامل چندهدفه بود.

جلالی و همکاران، ۱۳۸۷، پژوهشی با مطالعه‌ی سد و نیروگاه سیمره انجام دادند. در این پژوهش، منحنی فرمان مشخصی برای مخزن سد سیمره تهیه گردید که در آن، شرایط ساعات موظفی تولید انرژی پیک و همچنین برخی از مشخصات نیاز ماهانه برق به همراه ارزش انرژی تولیدی مد نظر قرار گرفت. بررسی نتایج این پژوهش حاکی از افزایش ارزش متوسط سالانه‌ی انرژی تولیدی در صورت استفاده از منحنی فرمان نسبت به شرایط طراحی است.

کنفن[1]، ۲۰۱۳، با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه به تعیین عملکرد بهینه‌ی سیستم چندمخزنه‌ی حوضه‌ی رودخانه چی پرداختند. این سیستم، شامل چهار مخزن و چهار هدف اصلی است: تأمین نیاز شرب، کشاورزی، تولید برق و کنترل سیلاب. نتایج پژوهش نشان داد که تنها با استفاده از دو متغیر تصمیم (رهاسازی و حجم مخزن) مدل بهینه‌ساز موجب بهبود مدیریت مخازن شده است.

ژانگ[2] و همکاران، ۲۰۱۳، پژوهشی در راستای بهینه‌سازی مقدار رهاسازی از سیستم برق‌آبی چند مخزنه با هدف کمینه کردن کمبود انرژی انجام دادند و در این راستا، به توسعه‌ی مدل بهینه‌سازی پرداختند. آنها از الگوریتم MGPSO [3]که ویرایشی از روش PSO [4]است، استفاده کردند.

جهان دیده تهرانی[5] و همکاران، ۲۰۱۴، در پژوهشی به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر دبی رودخانه‌ی کارون و اثر آن بر عملکرد نیروگاه‌های برق‌آبی پرداختند. در این پژوهش مخازن خرسان ۱، کارون ۳ و کارون ۴ مورد مطالعه قرار گرفت. با استفاده از قاعده‌ی بهره‌برداری SOP [6]و لحاظ تابع هدف در راستای کمینه کردن کمبود آب، مدلسازی انجام شد. نتایج این پژوهش، نشان دهنده‌ی تأثیر مثبت بهینه‌سازی در تولید برق مخزن خرسان ۱ با رویکرد سازگاری با تغییر اقلیم است.

اکبری الاشتی و بزرگ حداد[7]، ۱۳۹۳ در پژوهشی به مقایسه روش‌های بهره‌برداری برنامه‌ریزی خطی (NLD[8])، الگوریتم ژنتیک (GA[9])، برنامه‌ریزی ژنتیک (GP[10]) و برنامه‌ریزی ژنتیک با موقعیت ثابت ژن (FLGGP[11]) در بهره‌برداری بهنگام مخزن کارون ۳ و با استفاده از دو رویکرد استخراج قواعد ایستا و پویا با هدف تأمین نیاز برق‌آبی پرداختند. نتایج این پژوهش، حاکی از آن است که رویکرد استخراج قواعد بهره‌برداری پویا نسبت به رویکرد ایستا برتری قابل توجهی در توان تولیدی و بهره‌برداری دارد. از نتایج دیگر این پژوهش، می‌توان به عملکرد بهتر روش FLGGP اشاره نمود.

افشار[12] و همکاران، ۱۳۹۳ در پژوهشی با مطالعه‌ی سد دز و بهره‌گیری از چهار الگوریتم مختلف بر مبنای الگوریتم جامعه مورچگان به بهینه‌سازی قواعد بهره‌برداری از مخزن سد به منظور تأمین آب مورد نیاز و تولید انرژی برق‌آبی پرداختند. طی این تحقیق، الگوریتم سیستم مورچگان بیشینه-کمینه نتایج مناسبی را پدید آورد.

احمدیان فر و ادیب[13]، ۱۳۹۳ در راستای بهبود روش همگرایی زودرس الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، از ترکیب الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک استفاده کردند. تحقیقات با مطالعه‌ی موردی بهره‌برداری انرژی برق‌آبی سد دز نشان داد که ترکیب این دو روش کارایی بسیاری در حل مسائل بهینه‌سازی بهره‌برداری منابع آب دارد.

ژانگ[14] و همکاران، ۲۰۱۶ چارچوبی در راستای بهینه‌سازی سیستم برق‌آبی چند مخزنه با استفاده از الگوریتم ECLPSO [15]ارائه داده‌اند. چارچوب توسعه یافته موفق به ارائه‌ی سیاست‌های بهره برداری مناسبی شد.

---

1 Kunphon
2 Zhang
3 multi-elite guide particle swarm optimization
4 Particle swarm optimization
5 Jahandiedeh-tehrani
6 Standard operating procedure
7 AkbariAlashti and Bozorg Hadad
8 Non-Linear Programming
9 Genetic Algorithm
10 Genetic Programming
11 Fixed Location Gene Genetic Programming
12 Afshar
13 Ahmadianfar and Adib
14 Zhang
15 Enhanced comprehensive learning particle swarm optimizations

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

حاتم‌خانی[1] و همکاران، ۲۰۲۰، در راستای بهینه‌سازی طراحی سامانه‌های برق‌آبی گرشا، کوران بوزان، سازبن و تنگ‌معشوره در حوضه‌ی آبریز کرخه از مدل WEAP [2]استفاده کردند. در این پژوهش، الگوریتم PSO در حل بهینه‌سازی و جهت برطرف کردن محدودیت‌های این نرم افزار، مورد استفاده قرار گرفت. تابع هدف انتخابی در این پژوهش بر اساس دو رویکرد متفاوت انتخاب گردید. رویکرد اول روش قیمت بازار است که در این حالت تابع هدف کمینه کردن مقدار خالص هزینه است. رویکرد دوم، روش جایگرینی نیروگاه‌های حرارتی است که تابع هدف آن در راستای بیشینه نمودن سود خالص است. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار انرژی کل تولیدی و انرژی مطمئن در روش جایگرینی نیروگاه‌های حرارتی و انرژی پیک تولید شده در روش قیمت بازار بیشتر است.

چونگ[3] و همکاران، ۲۰۲۱ با مطالعه پژوهش‌های پیشین در راستای بهینه‌سازی بهره‌برداری مخازن برق‌آبی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های فراکاوشی، به این نتیجه رسیدند که انجام پژوهش در زمینه اثرگذاری روش‌های بهینه سازی ضرورت دارد.

پرهیزکاری و مازندرانی زاده[4]، ۱۴۰۰، به مقایسه‌ی عملکرد الگوریتم NSGA-II[5] و MOPSO در بهینه‌سازی چندهدفه‌ی بهره‌برداری از مخزن برق‌آبی پرداختند. مطالعات بهینه‌سازی برای سد کارون ۵ صورت گرفت. نتایج این پژوهش، نشان دهنده‌ی دقت بهتر روش NSGA-II علی الرغم زمان اجرا طولانی آن است.

یاوری[6] و همکاران، ۱۴۰۱، به بهینه سازی بهره‌برداری انرژی برق‌آبی مخزن جیرفت با استفاده از الگوریتم WCA [7]پرداختند. الگوریتم WCA بر اساس شبیه‌سازی چرخه‌ی هیدرولوژی در طبیعت به دست آمده است. در این پژوهش، از مقایسه‌ی دو روش WCA و ICA[8]، الگوریتم WCA در بهینه‌سازی انرژی برق‌آبی نتایج مطلوب‌تری را نشان داد.

در پژوهش حاضر، کوشش می‌شود تا اثر تغییرات ایجاد شده در چارچوب تنظیم مجدد آب در ساختگاه سد تنظیمی گتوند بررسی شود. در این راستا، حداکثر سازی ارزش انرژی تولیدی در نیروگاه گتوند علیا و حداقل‌سازی تفاوت رهاسازی ساعتی از سد تنظیمی گتوند به عنوان توابع هدف در نظر گرفته شدند. در این پژوهش، از الگوریتم‌های فراکاوشی برای بهینه‌سازی استفاده نشده و با توسعه‌ی مدل ریاضی مربوطه، از نرم‌افزارهای حل مدل‌های ریاضی بهینه‌سازی استفاده شده است. با این حال نوآوری این پژوهش را می‌توان در تعیین ارزش‌های نسبی تولید انرژی در ساعات مختلف و همچنین بهره‌برداری توامان سد و نیروگاه گتوند علیا و سد تنظیمی گتوند دانست. از وظایف اصلی سد تنظیمی گتوند، تنظیم ساعتی آب رها شده از سد گتوند علیا، هدایت آب به کانال‌های واقع در ساحل راست و چپ جهت تأمین نیاز کشاورزی و نهایتاً تولید انرژی در نیروگاه پیشنهادی پایاب آن است. پژوهش حاضر، کاملاً کاربردی بوده و منطبق بر واقعیات بهره‌برداری است. شکل (۱) چارچوب اجرای کلی این پژوهش را نشان می‌دهد.

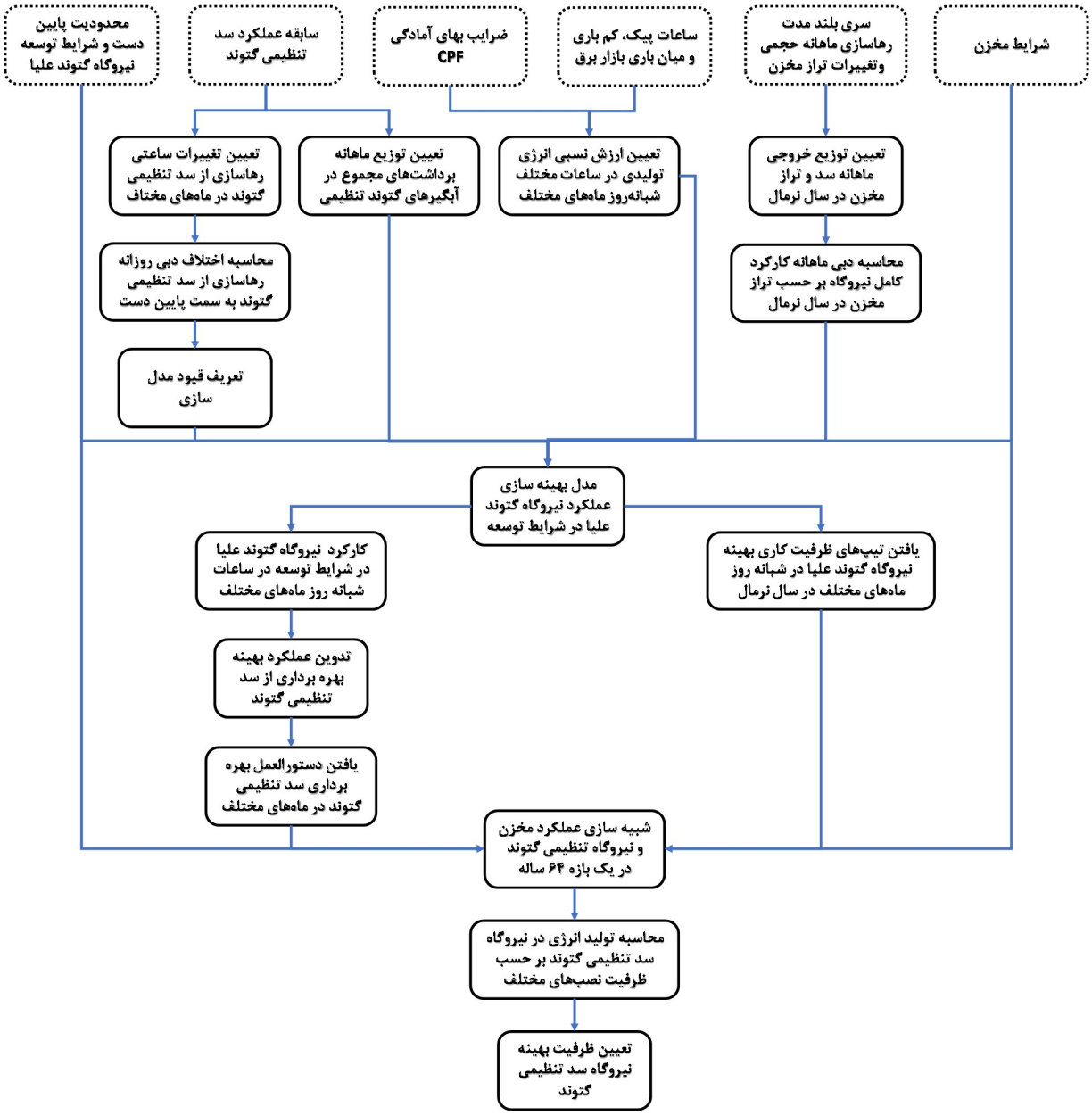
منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ، رودخانه‌ی کارون و دز را در خود جای داده است. این حوضه از نظر تأمین نیازهای آبی شرب، کشاورزی و صنعت و تولید انرژی برق‌آبی اهمیت بسیاری در کشور و به ویژه در استان‌های خوزستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و لرستان دارد. حوضه‌ی آبریز رودخانه کارون بخشی از حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ و خلیج‌فارس است. موقعیت حوضه‌ی آبریز به نحوی است که از غرب و شمال به حوضه‌ی آبریز دز، از شرق و شمال به حوضه آبریز زاینده‌رود و از جنوب به حوضه‌های آبریز زهره، مارون و رامهرمز محدود می‌گردد. حوضه آبریز کارون به دلیل نقش مهم در تأمین نیاز آبی و تولید برق از گذشته مورد توجه تصمیم گیران بوده است. به همین دلیل طرح‌های متعددی در راستای مدیریت و

[1] Hatamkhani
[2] Water Evaluation And Planning
[3] Chong
[4] Parhizkari and Mazandarani Zadeh
[5] Non-Domitated Sorting Genetic Algorithm
[6] Yavari
[7] Water cycle algorithm
[8] Imperialist Competitive Algorithm

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

برنامه‌ریزی منابع آب در این حوضه اجرا شده و یا در حال توسعه هستند.



شکل (۱): ساختار کلی پژوهش

سدهای در حال بهره برداری بر رودخانه کارون شامل سدهای شهید عباسپور (کارون ۱)، کارون ۳، کارون ۴، مسجد سلیمان و گتوند علیا هستند. از سوی دیگر، سد خرسان ۳ بر روی شاخه‌ی خرسان در حال ساخت و سدهای خرسان ۱، خرسان ۲ و کارون ۲ در حال مطالعه می‌باشند. موقعیت مکانی و اطلاعات این سدها در جدول (۱) آورده شده است.

رودخانه کارون، بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌ی ایران محسوب می‌گردد. این رودخانه از به هم پیوستن شاخه‌های متعددی شکل‌گرفته است. از مهم‌ترین رودخانه‌ها، می‌توان به

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

آب کوهرنگ، بهشت‌آباد، آب ونک، بازفت و خرسان در بالادست سدهای کارون۴ و ۳ اشاره کرد. در حدفاصل سد شهید عباسپور تا سد گتوند علیا نیز رودخانه‌های مرغاب، شوراندیکا و شور به رودخانه کارون متصل می‌شوند.

سد گتوند علیا، آخرین سد احداث شده بر روی رودخانه‌ی کارون قبل از ورود به دشت خوزستان است که از ابتدای دهه‌ی ۱۳۹۰ به بهره‌برداری رسیده است. سد تنظیمی گتوند نیز در پایین دست محل سد گتوند علیا و در فاصله ۱۱ کیلومتری و در بالادست شهرگتوند و در حدود ۴ کیلومتری از آن قرار گرفته است. این سد تنظیمی در سال ۱۳۵۵ و همزمان با بهره‌برداری سد شهید عباسپور وارد مدار شده و هدف آن تنظیم روزانه‌ی جریان خروجی از سد شهید عباسپور در جهت تأمین نیاز کشاورزی دشت‌های گتوند و عقیلی (کانال‌های چپ و راست) و رهاسازی و تنظیم جریان به پایین‌دست بوده است. به منظور تأمین انرژی و استفاده‌ی بهینه از منابع موجود، نیروگاه برق‌آبی سد گتوند علیا به شرح جدول (۲) احداث شده است.

جدول (۱): سدهای حوضه‌ی آبریز کارون و دز

نام سد	استان	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	هدف	سال بهره‌برداری	رودخانه
کارون ۴	چهارمحال و بختیاری	31°35'53"	50°24'5"	تولید برق	1390	کارون
خرسان ۳	چهارمحال و بختیاری	31°14'50"	50°58'25"	تولید برق، کنترل سیلاب	مرحله‌ی اجرا	خرسان
خرسان ۲	چهارمحال و بختیاری	31°25'00"	50°36'00"	تولید برق	مطالعاتی	خرسان
خرسان ۱	چهارمحال و بختیاری	31°49'00"	50°45'00"	تولید برق	مطالعاتی	خرسان
کارون ۳	خوزستان	31°48'00"	50°05'47"	تولید برق	1383	کارون
شهید عباسپور (کارون ۱)	خوزستان	32°03'24"	49°36'21"	کشاورزی، تولید برق	1355	کارون
گدارلندر (مسجد سلیمان)	خوزستان	32°01'36"	49°24'49"	کشاورزی، تولید برق	1380	کارون
گتوند علیا	خوزستان	32°15'55"	48°55'57"	کشاورزی، تولید برق، کنترل سیلاب	1391	کارون

جدول (۲): مشخصات نیروگاه سد گتوند علیا و تنظیمی گتوند در شرایط توسعه

مشخصات نیروگاه	سد گتوند علیا	سد تنظیمی گتوند	واحد
هد طراحی	133	14	متر
ظرفیت نصب	1640 (ظرفیت موجود ۴ واحد ۲۵۰ مگاواتی و ظرفیت در حال توسعه ۴ واحد ۱۶۰ مگاواتی)	هدف پژوهش	مگاوات
راندمان در نقطه بهینه	93	91	درصد
ضریب دبی حداکثر	1.1	1.1	-
ضریب اضافه بار	1	1	-

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

مواد و روش‌ها

سد گتوند علیا به عنوان آخرین سد در مجموعه سدهای رودخانه‌ی کارون، تا حدود زیادی وظیفه سد شهید عباسپور را به همراه سد دز در تأمین نیازهای دشت خوزستان به عهده دارد. کارکرد نیروگاه سد گتوند علیا وابسته به رهاسازی برای نیازهای پایین دست و درخواست شبکه برق کشور است. وظیفه‌ی اصلی سد تنظیمی گتوند علاوه بر آبگیری کانال‌های چپ و راست برای اراضی عقیلی و گتوند، تبدیل دبی پیک رهاسازی شده از سد گتوند علیا به دبی روزانه‌ی هموارتر است تا امکان استفاده از آن در پایین دست ایجاد گردد. لذا عملکرد سد تنظیمی گتوند به صورت حجمی است. بنابراین اولین عامل تأثیرگذار بر عملکرد سد تنظیمی گتوند، حجم رهاسازی از سد گتوند علیا در زمان‌های مختلف است. از طرف دیگر همان‌گونه که عنوان شد وظیفه سد تنظیمی گتوند، هموار کردن دبی روزانه‌ی خروجی از نیروگاه گتوند علیا است. با توجه به حجم مفید بسیار کم سد تنظیمی گتوند (حتی با افزایش ارتفاع صورت گرفته)، این وظیفه‌ی سد تنظیمی گتوند بسیار وابسته به عملکرد ساعتی نیروگاه گتوند علیا در روزها و ماه‌های مختلف است.

با توجه به موارد فوق می‌توان عنوان کرد که دو عامل اصلی تأثیرگذار بر عملکرد سد تنظیمی، تغییرات حجم رهاسازی روزانه از مخزن سد گتوند علیا و تغییرات ساعتی عملکرد نیروگاه سد گتوند علیا در روزهای مختلف است.

آبگیری کانال‌های چپ و راست سد تنظیمی گتوند

هدف سد تنظیمی گتوند علاوه بر تنظیم روزانه جریان رهاسازی شده از نیروگاه بالادست، تامین آب دشت‌های عقیلی و گتوند است. دهانه‌ی آبگیر سمت چپ، تأمین کننده‌ی دشت عقیلی و دهانه‌ی آبگیر سمت راست، تأمین کننده اراضی دشت گتوند است. حداکثر ظرفیت کانال چپ و راست به ترتیب ۶ و ۶۰ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. با این حال، مقادیر ماهانه‌ی انحراف آب از این دو آبگیر متفاوت است. به منظور تعیین مقادیر ماهانه‌ی انحراف آب، عملکرد ساعتی برداشت آب در این دو آبگیر در طول ۴.۵ سال گذشته (از ابتدای سال ۱۳۹۷ تا پایان شهریور ۱۴۰۱) از دستگاه بهره‌بردار سد تنظیمی دریافت و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، نشان دهنده‌ی توزیع ساعتی تقریباً یکسان آبگیرها به صورت ماهانه است. از این رو می‌توان توزیع ماهانه‌ی برداشت‌های مجموع را مطابق شکل (۲) تعیین کرد.

عملکرد مخزن سد گتوند علیا

از آنجایی که شبیه‌سازی کل حوضه از اهداف پژوهش حاضر نبوده است، لذا عملکرد حجمی مخزن سد گتوند علیا با اثر تمامی طرح‌های بالادست و نیازهای پایین‌دست در یک دوره‌ی ۶۴ ساله از نتایج شبیه‌سازی طرح مطالعات سیستمی دز و کارون شرکت دز آب (به کارفرمایی شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران) برداشت گردید. لازم به ذکر است که به دلیل آنکه بهره‌برداری حجمی از مخزن سد گتوند علیا وابسته به نیازهای پایین‌دست (دشت خوزستان) و نیز بهره‌برداری همزمان با شاخه دز است، اطلاعات برداشت شده از مطالعات شرکت دز آب به صورت تغییرات حجم رهاسازی و تراز مخزن در ماه‌های مختلف دوره شبیه‌سازی بوده است. در راستای تحلیل بهتر عملکرد نیروگاه در شرایط یک سال نرمال، منحنی تداوم جریان خروجی و تراز مخزن به صورت ماهانه بررسی شد. از این رو، نتایج به صورت توزیع ماهانه جریان خروجی از سد و تراز مخزن در شرایط نرمال بهره برداری به صورت جدول (۳) است.

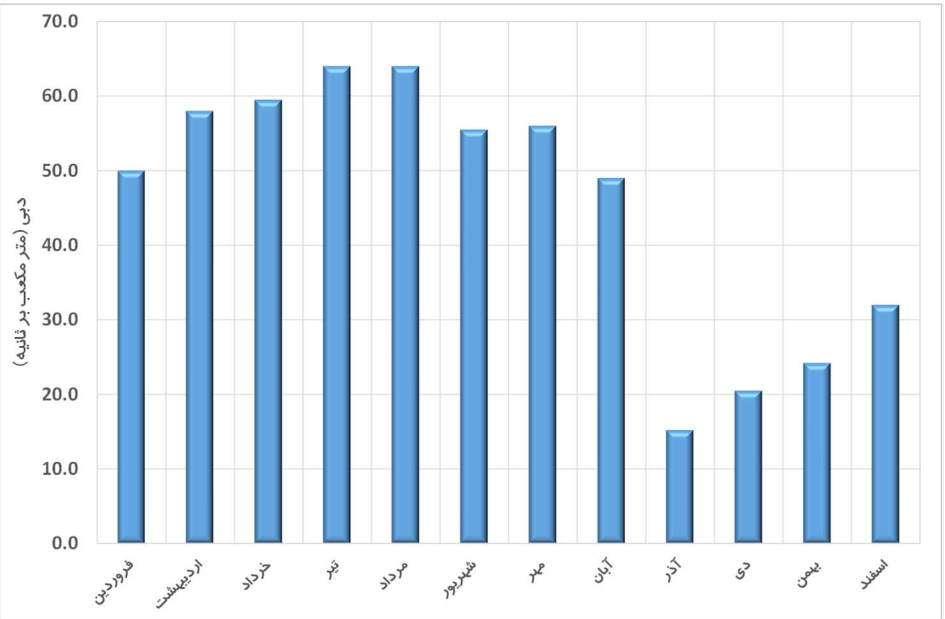
در راستای سنجش عملکرد نیروگاه با استفاده از توزیع ماهانه‌ی استخراج شده در یک سال نرمال و مشخصات نیروگاه، هد و دبی نیروگاه با توجه به روابط (۱) و (۲) محاسبه گردید.

$$\boldsymbol{h_{net} = EL - TW - h_f} \qquad (۱)$$

$$\boldsymbol{Q = \frac{P \times 1000}{9.81 \times e \times h_{net}}} \qquad (۲)$$

در رابطه (۱) EL تراز آب مخزن (متر از سطح دریا)، TWL تراز پایاب نیروگاه (متر از سطح دریا) و h_f افت هد در مجاری آب بر نیروگاه (متر) و در رابطه (۲) P ظرفیت نصب نیروگاه (مگاوات) و e راندمان کل نیروگاه است. از این رو تغییرات ماهانه‌ی هد خالص متوسط نیروگاه گتوند علیا (h_{net}) و به تبع آن دبی مورد نیاز برای کارکرد کامل نیروگاه (Q) به صورت جدول (۴) حاصل شده است.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]



شکل (۲): توزیع ماهانه مجموع برداشت آبگیرهای چپ و راست سد تنظیمی گتوند

جدول (۳): توزیع ماهانه‌ی خروجی و تراز مخزن گتوند علیا در سال نرمال بهره‌برداری

پارامتر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
حجم خروجی (MCM)	۱۲۰۰	۸۳۰	۷۲۰	۹۰۰	۱۲۹۰	۷۳۰	٤٤۰	٤۳۰	۶۰۰	۸۵۰	۸۵۰	۱۰۶۰
تراز مخزن (masl)	۲۲۶.۵	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۲۸.۵

جدول (۴): توزیع ماهانه‌ی هد خالص و دبی نیروگاه گتوند علیا در ماه‌های مختلف یک سال نرمال بهره‌برداری

پارامتر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
هد نیروگاه (m)	۱۳۳.۵	۱۳۷.۰	۱۳۷.۰	۱۳۷.۰	۱۳۷.۰	۱۳۷.۰	۱۳۷.۰	۱۳۷.۰	۱۳۷.۰	۱۳۷.۰	۱۳۷.۰	۱۳۵.۵
دبی نیروگاه (cms)	۱۳٤۶.۵	۱۳۱۲.۱	۱۳۱۲.۱	۱۳۱۲.۱	۱۳۱۲.۱	۱۳۱۲.۱	۱۳۱۲.۱	۱۳۱۲.۱	۱۳۱۲.۱	۱۳۱۲.۱	۱۳۱۲.۱	۱۳۲۶.۶

تغییرات ساعتی عملکرد نیروگاه گتوند علیا

با توجه به تأیید طرح توسعه‌ی نیروگاه گتوند علیا معادل ۶۴۰ مگاوات (۴ واحد ۱۶۰ مگاواتی) و تقدم طرح توسعه‌ی گتوند علیا بر احداث نیروگاه تنظیمی گتوند، در ابتدا می‌بایست شرایط آینده‌ی عملکرد بهینه نیروگاه گتوند علیا تعیین گردد. از این رو، شبیه‌سازی عملکرد ساعتی نیروگاه سد گتوند علیا در قالب یک مدل بهینه‌سازی و با توجه به محدودیت‌های موجود در حجم مفید سد تنظیمی گتوند و همچنین شرایط پایین‌دست و برداشت‌های کانال چپ و راست سد تنظیمی مدنظر قرار گرفته و پس از تعیین عملکرد ساعتی بهینه‌ی نیروگاه گتوند علیا، به انجام محاسبات هیدروانرژی در نیروگاه سد تنظیمی پرداخته شد.

همانگونه که پیش از این نیز عنوان شد، یکی از اهداف این پژوهش تعیین عملکرد ساعتی بهینه نیروگاه گتوند علیا در شرایط توسعه‌ی ظرفیت، بر حسب میزان احجام رهاسازی از

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

مخزن در مواقع مختلف سال است. بدین منظور، سه هدف و قید زیر می‌بایست در این محاسبات مدنظر قرار گیرد:

- در سال‌های نرمال و با توجه به احجام رهاسازی از سد گتوند علیا، در مواقع مختلف سال باید از تمام رهاسازی برای تولید انرژی استفاده شود و یا به عبارت دیگر، حتی‌الامکان در سال‌های نرمال سرریزی از سد گتوند علیا وجود نداشته باشد.
- تولید ساعتی در نیروگاه گتوند علیا در مواقع مختلف سال می‌بایست با حداکثر ارزش انرژی صورت گیرد.
- در سال‌های نرمال، تولید ساعتی و رهاسازی از نیروگاه سد گتوند علیا باید علاوه بر تأمین نیازهای کانال‌های چپ و راست سد تنظیمی گتوند در طول شبانه روز به گونه‌ای باشد که با استفاده از حجم مفید مخزن سد تنظیمی گتوند، کمترین تغییرات ساعتی در رهاسازی از سد تنظیمی گتوند رخ دهد (و یا به عبارت دیگر، بیشینه کردن میزان هموارسازی جریان خروجی از سد تنظیمی گتوند).

با توجه به توزیع ماهانه‌ی احجام خروجی از مخزن سد گتوند علیا در سال‌های نرمال (جدول ۳)، لازم است با در نظر گرفتن تمامی اهداف و قیود ذکر شده، احجام ماهانه تبدیل به دبی‌های ساعتی خروجی از نیروگاه سد گتوند علیا گردد. بدین منظور از یک مدل بهینه‌سازی استفاده شده است. اهداف اصلی مدل بهینه سازی، همانگونه که پیش از این نیز عنوان گردید، حداکثرسازی ارزش تولیدی در نیروگاه گتوند علیا و حداقل‌سازی تفاوت رهاسازی ساعتی یا به عبارت دیگر هموار نمودن رهاسازی از سد تنظیمی گتوند است.

تعیین ارزش نسبی انرژی تولیدی

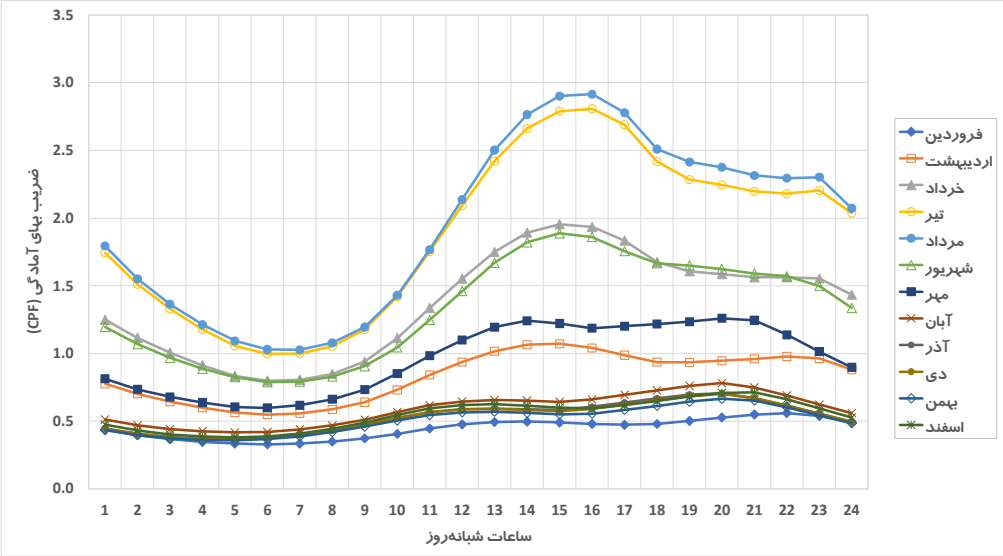
به جهت تعیین ارزش نسبی انرژی تولیدی در ساعات مختلف برای تعیین عملکرد نیروگاه، استفاده از ضرایب بهای آمادگی (CPF[1]) نیروگاه‌ها و نیز استفاده از ساعات پیک، میان‌باری و کم‌باری در بازار برق مدنظر قرار گرفته است.

هر ساله با توجه به شرایط، پیش‌بینی برای پرداخت آمادگی نیروگاه‌ها در ساعات مختلف شبانه‌روز و در مواقع مختلف سال توسط مدیریت شبکه صورت گرفته و به نیروگاه‌ها اعلام می‌گردد. این ضرایب می‌تواند مبنای ارزش انرژی تولیدی ساعتی نیروگاه‌ها قرار گیرد. به منظور استفاده از این ضرایب، از میانگین ضرایب ساعتی در دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ (دریافتی از مدیریت شبکه برق کشور) استفاده شده است. این ضرایب برای تمام ۸۷۶۰ ساعت در یک سال (۸۷۸۴ ساعت در سال‌های کبیسه) تعیین می‌گردد. با توجه به اینکه صرفاً ساعات شبانه‌روز در ماه‌های مختلف مدنظر این مطالعات است، از میانگین ضرایب ساعات مختلف در روزهای مختلف یک ماه استفاده شده است. به این ترتیب میانگین ماهانه ضرایب بهای آمادگی در ساعات شبانه‌روز بر اساس میانگین‌گیری دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ تعیین گردید که توزیع آن در شکل (۳) نمایش داده شده است.

بر اساس اطلاعات سامانه بازار برق (دریافتی از شرکت توسعه‌ی منابع آب و نیروی ایران)، تفکیک ساعات پیک، میان‌باری و کم‌باری در ماه‌های مختلف سال مطابق جدول (۵) مشخص شده است. جهت استفاده و تأثیر بخشی این اطلاعات و با استناد به مقاله جلالی و همکاران، ۱۳۸۷، به تفکیک برای مقادیر پیک، میان باری و کم باری به ترتیب ارزش نسبی ۱۰، ۳ و ۱ در نظر گرفته شده است.

[1] Capacity Payment Factor

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]



شکل (۳): تغییرات میانگین ماهانه‌ی ضرایب بهای آمادگی نیروگاه‌ها در ساعات مختلف شبانه روز (متوسط سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰)

جدول (۵): تفکیک ساعات پیک، میان‌باری و کم‌باری در ماه‌های مختلف سال (بازار برق)

ساعات شبانه‌روز	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
فروردین	L	L	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	P	P	M	M
اردیبهشت	L	L	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	P	P	M	M
خرداد	M	M	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	P	P	P	P	P	M	M	M	M	M	M
تیر	M	M	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	P	P	P	P	P	M	M	M	M	M	M
مرداد	M	M	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	P	P	P	P	P	M	M	M	M	M	M
شهریور	M	M	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	P	P	P	P	P	M	M	M	M	M	M
مهر	L	L	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M
آبان	L	L	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M
آذر	L	L	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M
دی	L	L	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M
بهمن	L	L	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M
اسفند	L	L	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M

L= ساعات کم باری M= ساعات میان باری P= ساعات پیک

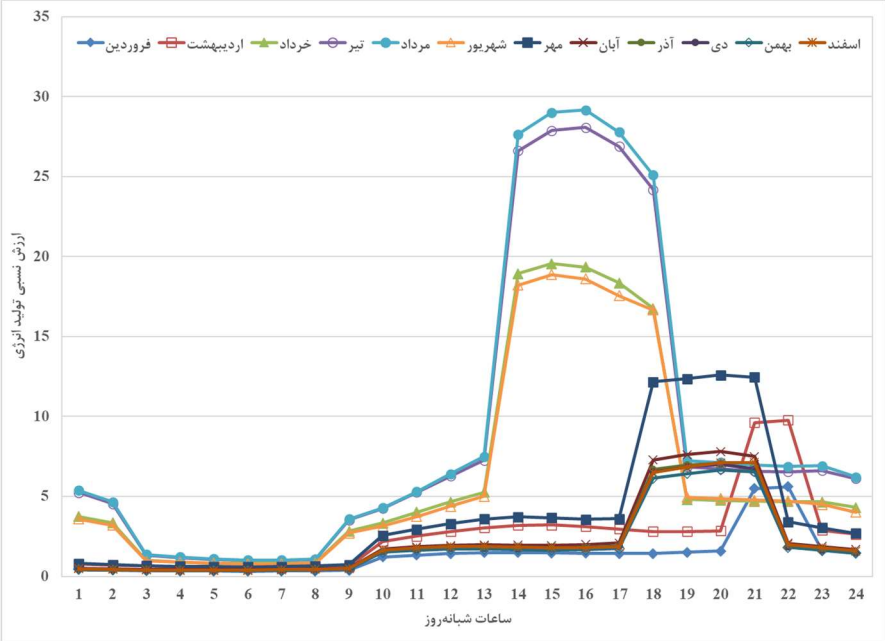
لذا، با توجه به اهداف اصلی بهینه‌سازی در بیشینه نمودن ارزش انرژی تولیدی و با توجه به تعاریف و نتایج فوق‌الذکر در تعیین ارزش انرژی، در مدل بهینه‌سازی از ترکیب این دو عامل استفاده شده است. به این ترتیب، ارزش ترکیبی انرژی تولیدی در ساعات مختلف شبانه روز و در ماه‌های مختلف سال معادل شکل (۴) حاصل شده و در مدل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت.

هموارسازی رهاسازی ساعتی از سد تنظیمی گتوند

هدف دوم در مدل بهینه‌سازی حداقل کردن تفاوت بین حداکثر و حداقل رهاسازی از سد تنظیمی گتوند در طول شبانه‌روز منظور شده است (بیشینه کردن میزان هموارسازی جریان خروجی از سد تنظیمی گتوند). بدین منظور و برای بررسی شرایط پایین دست، از شواهد بهره‌برداری صورت گرفته در سد تنظیمی گتوند استفاده شد. در این روش اطلاعات بهره‌برداری ساعتی سد تنظیمی گتوند در طول چهار سال ۱۳۹۷ الی ۱۴۰۰ مورد ارزیابی قرار گرفت و تغییرات ساعتی رهاسازی از سد تنظیمی در ساعات شبانه‌روز ماه‌های مختلف تعیین گردید. بررسی‌های صورت گرفته نشان داد که در بیشتر ماه‌ها در دوره ۴ ساله مذکور (به غیر از مواقع سیلابی) تفاوت بین حداقل و حداکثر رهاسازی در طول شبانه‌روز به بیش از ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه نیز رسیده است. لذا به نظر می‌رسد بر اساس روندیابی صورت گرفته در طول رودخانه در پایین‌دست سد تنظیمی گتوند تا بند قیر، رودخانه شرایط تحمل هیدروگراف پله‌ای تا تفاوت‌های ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه را خواهد داشت.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

از جمله موارد دیگری که از بررسی عملکرد ساعتی ۴ ساله مذکور حاصل گردید، حداقل رهاسازی از سد تنظیمی به پایین‌دست است. بررسی‌ها نشان داد که در تمامی مواقع حداقل ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه از سد تنظیمی گتوند به پایین‌دست رها شده که می‌تواند تأمین کننده حداقل‌های زیست محیطی پایین‌دست باشد.



شکل (۴): ارزش نسبی ترکیبی انرژی تولیدی در ساعات مختلف شبانه‌روز و در ماه‌های مختلف

نتایج

بهینه سازی عملکرد نیروگاه گتوند علیا

همانطور که گفته شد، شبیه سازی عملکرد نیروگاه سد گتوند علیا مستلزم تعیین دستورالعملی برای تغییرات ساعتی دبی خروجی از نیروگاه گتوند علیا است که در تعیین این دستورالعمل باید محدودیت‌های حجم مفید مخزن سد تنظیمی گتوند، شرایط پایین دست و افزایش ظرفیت نصب نیروگاه به میزان ۶۴۰ مگاوات نیز لحاظ گردد. بدین منظور، از یک مدل بهینه‌سازی بهره گرفته شد.

در راستای بهینه سازی عملکرد نیروگاه گتوند علیا، از بیشینه سازی ارزش انرژی تولیدی با استفاده از ارزش ترکیبی و همچنین، کمینه سازی تفاوت رهاسازی ساعتی از سد تنظیمی گتوند استفاده شد.

با توجه به مدل بهینه‌سازی، دبی ساعتی رهاسازی شده از نیروگاه سد گتوند علیا در طول شبانه‌روز ماه‌های مختلف در یک سال نرمال حاصل شده است. مطابق دبی رهاسازی شده، کوشش شده است در هر گام زمانی (ساعت)، از ترکیب ۴ واحد ۲۵۰ مگاواتی و ۴ واحد ۱۶۰ مگاواتی (جمعاً ۱۶۴۰ مگاوات) ظرفیت بهینه عملکرد نیروگاه در یک سال نرمال بر اساس جدول (۶) پیشنهاد گردد.

نتایج حاصل از مدل بهینه‌سازی تهیه شده منجر به تدوین عملکرد بهینه بهره‌برداری از مخزن سد تنظیمی گتوند نیز خواهد شد. با توجه به قیود مطرح شده برای حجم حداقل و حداکثر مخزن و همچنین نیازهای کانال‌های چپ و راست، تغییرات رهاسازی از مخزن سد تنظیمی گتوند و نیز تغییرات تراز و حجم مخزن در ساعات شبانه‌روز ماه‌های مختلف یک سال نرمال مطابق شکل (۵) تعیین گردید.

همانگونه که ملاحظه می‌گردد، حداکثر رهاسازی از سد تنظیمی در این شرایط به حدود ۴۳۰ متر مکعب بر ثانیه رسیده و در هیچ ماهی، اختلاف مقادیر حداقل و حداکثر خروجی از ۲۸۳ متر مکعب بر ثانیه تجاوز ننموده است. همچنین به غیر از ماه مهر و آبان در مابقی ماه‌ها حداقل

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

رهاسازی ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه نیز رعایت شده است. ملاحظه می‌گردد که در ماه‌های فروردین، مرداد، مهر، آبان و اسفند تقریباً بهترین تنظیم خروجی نیروگاه گتوند علیا در سد تنظیمی گتوند اتفاق افتاده است که دلیل آن شرایط عملکرد ساعتی نیروگاه گتوند علیا بوده است.

جدول (۶): ظرفیت‌های بهینه پیشنهادی عملکرد نیروگاه سد گتوند علیا در طول شبانه‌روز ماه‌های مختلف یک سال نرمال

ساعات شبانه‌روز	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲٤
فروردین	۵۷۰	۵۷۰	۱۶۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۷۰	۵۷۰	۵۷۰	۵۷۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۲۵۰	۰	۰	۰	۵۷۰	۵۷۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۱۳۲۰	۵۷۰
اردیبهشت	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵۰	۶۶۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۱۳۹۰	۲۵۰	۰	۰	۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۲۵۰	۲۵۰
خرداد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۰	۲۵۰	۵۰۰	۱۳۹۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۶۶۰	۶۶۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
تیر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶۰	۲۵۰	۶۶۰	۶۶۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۱٤۸۰	۶۶۰	۶۶۰	۶۶۰	۲۵۰	۰	۱۶۴۰	۲۵۰
مرداد	۶۶۰	۶۶۰	۶۶۰	۲۵۰	۰	۰	۰	۰	۶۶۰	۶۶۰	۶۶۰	۶۶۰	۶۶۰	۶۶۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۱۳۹۰	۶۶۰	۶۶۰	۶۶۰	۶۶۰	۰	۱۲۳۰	۶۶۰
شهریور	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵۰	۶۶۰	۱۳۹۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۶۶۰	۶۶۰	۶۶۰	۳۲۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
مهر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵۰	۸۲۰	۰	۰	۰	۲۵۰	۲۵۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۲۵۰	۰	۰
آبان	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۷۰	۰	۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۲۵۰	۲۵۰	۰	۰
آذر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۶۰	۰	۰	۲۵۰	۵۷۰	۱۲۳۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۵۷۰	۲۵۰	۰	۰
دی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	٤۱۰	۶۶۰	۱۶۴۰	۰	۰	۵۷۰	۵۷۰	۵۷۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۱۲۳۰	۵۷۰	۰	۰
بهمن	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۲۰	۱۲۳۰	۱۶۴۰	۰	۰	۰	۵۷۰	۵۷۰	۱۳۲۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۵۷۰	۰	۰
اسفند	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵۰	۵۷۰	۵۷۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۰	۰	۰	۱۶۰	۵۷۰	۱۳۲۰	۱۶۴۰	۱۶۴۰	۵۷۰	۵۷۰	۵۷۰

دستورالعمل بهره‌برداری سد تنظیمی گتوند

بر اساس نتایج ارائه شده و با توجه به عملکرد ساعتی نیروگاه گتوند علیا در یک سال نرمال، تغییرات ورودی به سد تنظیمی گتوند و نحوه‌ی رهاسازی به سمت پایین‌دست پس از آبگیری در کانال‌های چپ و راست مشخص گردید. از آنجایی که تأمین آب برای کانال‌های چپ و راست سد تنظیمی در تمام ساعات شبانه‌روز در اولویت قرار دارد، لذا باید دستورالعمل بهره‌برداری این سد تنظیمی به گونه‌ای باشد که این تأمین را با کمترین مشکل مواجه سازد. از این رو، بر اساس نتایج مذکور می‌توان دستورالعمل بهره‌برداری از سد تنظیمی گتوند را به صورت قوانین زیر مطرح کرد:

ماه‌های اردیبهشت تا تیر و ماه‌های شهریور تا بهمن:

۱- در صورتی که ورودی به سد تنظیمی در هر ساعت کمتر از دبی مورد نیاز مجموع کانال‌های چپ و راست به همراه ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه (حداقل رهاسازی به پایین‌دست) باشد، اگر حجم مفید موجود در مخزن جوابگوی حداقل ۶ ساعت نیاز کانال‌های چپ و راست باشد، رهاسازی به سمت پایین‌دست (نیروگاه) معادل ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه خواهد بود، در غیر اینصورت هیچ رهاسازی به سمت پایین‌دست صورت نخواهد گرفت.

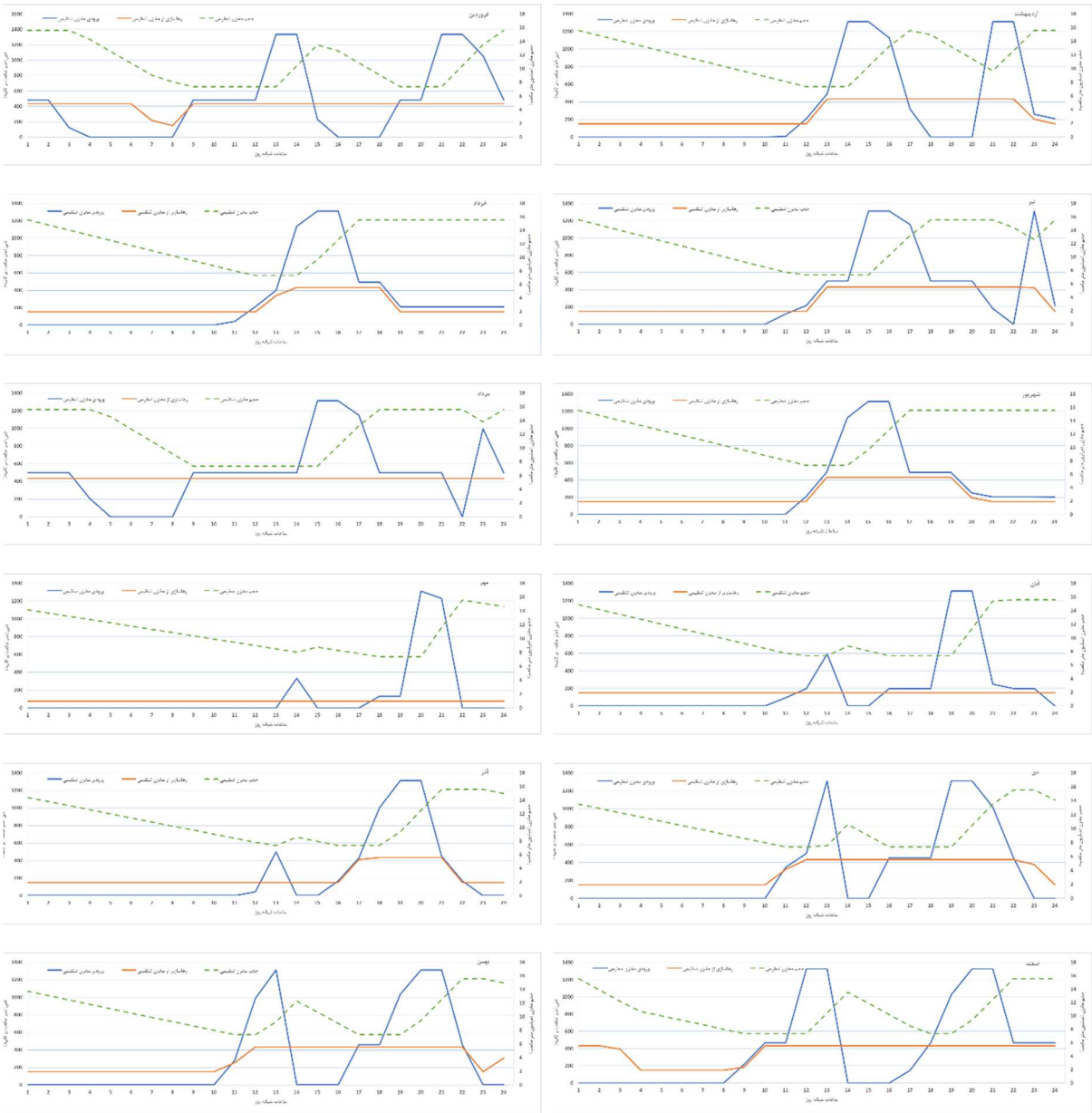
۲- در صورتی که ورودی به سد تنظیمی در هر ساعت بیش از دبی مورد نیاز مجموع کانال‌های چپ و راست به همراه ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه باشد، پس از آبگیری کانال‌های چپ و راست سعی می‌گردد که بیشینه دو مقدار ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه و دبی مورد نیاز برای کارکرد کامل نیروگاه تنظیمی گتوند رهاسازی گردد.

ماه‌های فروردین، مرداد و اسفند:

۱- در این ماه‌ها و در تمام ساعات، پس از آبگیری کامل کانال چپ و راست سد تنظیمی گتوند، سعی می‌گردد که بیشینه دو مقدار ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه و دبی مورد نیاز برای کارکرد کامل نیروگاه تنظیمی گتوند رهاسازی گردد.

همانگونه که عنوان شد، این دستورالعمل که منتج از مدل بهینه‌سازی تشریح شده در یک سال نرمال است، عملاً در ابتدا متضمن تأمین حداکثری آبگیری کانال چپ و راست سد تنظیمی گتوند و پس از آن حداقل رهاسازی ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه پایین دست سد تنظیمی گتوند است.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

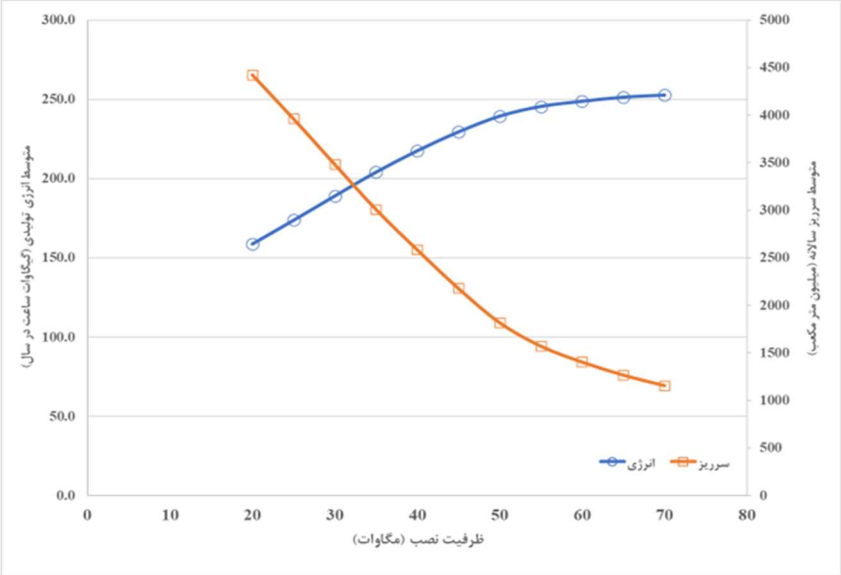


شکل (۵) :تغییرات بهینه دبی ورودی، دبی رهاسازی به سمت پایین دست و نیز تغییرات حجم مخزن سد تنظیمی گتوند در ساعات شبانه‌روز ماه‌های مختلف یک سال نرمال

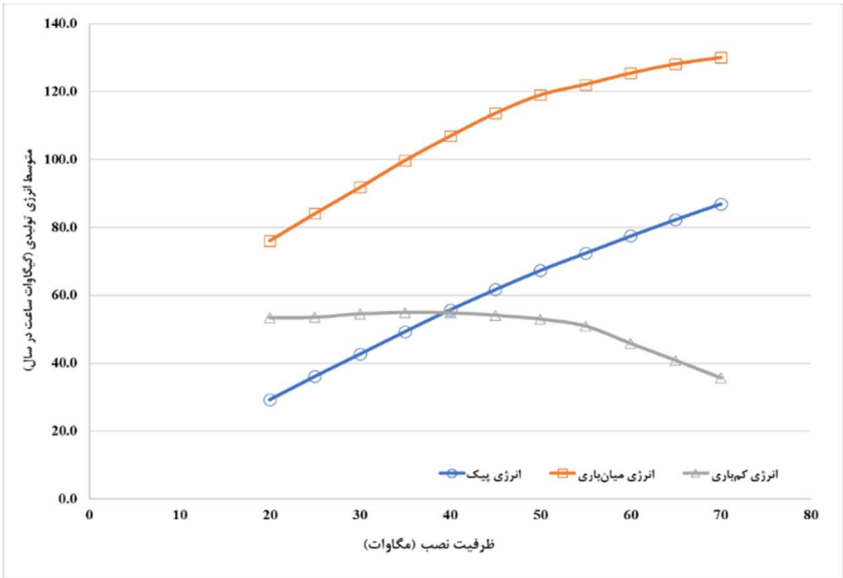
تعیین ظرفیت نیروگاه تنظیمی گتوند

با توجه به دستورالعمل تعریف شده فوق و نیز بر اساس شرایط شبیه‌سازی شده حجمی مخزن سد گتوند علیا که پیش از این تشریح گردید، شبیه‌سازی ساعتی در یک دوره ۶۴ ساله برای عملکرد نیروگاه سد گتوند علیا و پس از آن مخزن تنظیمی گتوند و نیروگاه آن صورت گرفت. نتایج تولید انرژی در ظرفیت‌های مختلف نیروگاه سد تنظیمی گتوند به تفکیک پیک، میان‌باری و کم‌باری بر اساس ساعات بازار برق، در شکل (۶) و (۷) نشان داده شده است.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]



شکل (۶): تغییرات انرژی کل تولیدی در نیروگاه سد تنظیمی گتوند و سرریز متوسط سالانه در ظرفیت‌های نصب مختلف



شکل (۷): تغییرات انرژی پیک، میان‌باری و کم‌باری تولیدی در نیروگاه سد تنظیمی گتوند در ظرفیت‌های نصب مختلف

مطابق نتایج، شیب منحنی تغییرات انرژی تولیدی کل در ظرفیت‌های بالاتر از ۶۰ مگاوات روندی بسیار کاهشی دارد. در حالیکه انرژی پیک تولیدی همچنان شیب افزایشی دارد. در ظرفیت‌های پایین‌تر، میزان سرریز (آب رهاسازی شده به پایین‌دست سد تنظیمی گتوند، مازاد بر ظرفیت نیروگاه) سالانه بسیار زیاد می‌شود به گونه‌ای که در ظرفیت ۳۰ مگاوات، سرریز متوسط سالانه حدود ۴ میلیارد مترمکعب (تقریبا معادل ۳۸ درصد از آورد ورودی به سد تنظیمی گتوند) خواهد بود.

تغییرات ضریب کارکرد درازمدت نیروگاه نیز نشان می‌دهد که ظرفیتی در حدود ۵۵ مگاوات می‌تواند ضریب کارکرد حدود ۵۰ درصد داشته باشد که معیار مناسبی برای سرمایه‌گذاران است. بر این اساس، انتخاب ظرفیتی بین ۵۰ تا ۶۰ مگاوات می‌تواند یک انتخاب بهینه باشد.

نتیجه‌گیری

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

بیشتر مسائل بهینه سازی مورد بحث در حوزه‌ی مدیریت منابع آب از جمله مسائل بهره‌برداری بهینه از مخازن و نیروگاه‌ها مسائلی پیچیده هستند. در این پژوهش، ضمن مطالعه حوضه‌ی آبریز سد گتوند علیا و سد تنظیمی گتوند، سعی گردید با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی، نحوه بهره‌برداری بهینه از نیروگاه سد گتوند علیا در شرایط افزایش ظرفیت نصب به میزان ۶۴۰ مگاوات و با لحاظ محدودیت‌های سد تنظیمی گتوند، مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، در این پژوهش، محاسبه‌ی ظرفیت نصب بهینه نیروگاه برق‌آبی سد تنظیمی گتوند نیز مدنظر بوده است. به دلیل در دسترس نبودن سابقه‌ی تاریخی از کارکرد ۱۶۴۰ مگاواتی نیروگاه سد گتوند علیا، در ابتدا بهینه‌سازی کارکرد این نیروگاه با رویکرد بیشینه‌سازی ارزش انرژی تولیدی و کمینه‌سازی اختلاف رهاسازی سد تنظیمی گتوند در طول شبانه‌روز انجام شد. در این مرحله، متناسب با ظرفیت نصب جدید، در هر گام زمانی ترکیبی از ۴ واحد ۲۵۰ و ۴ واحد ۱۶۰ مگاواتی پیشنهاد گردیده است. تدوین دستورالعمل بهره‌برداری از سد تنظیمی گتوند، از دیگر نتایج بهینه‌سازی است. پس از آن، با توجه به عملکرد بهینه‌ی نیروگاه سد گتوند علیا و نیز دستورالعمل تعریف شده برای مخزن سد تنظیمی گتوند، در راستای محاسبه‌ی ظرفیت نصب بهینه برای نیروگاه سد تنظیمی گتوند از شبیه سازی با گام زمانی ساعتی در یک دوره‌ی ۶۴ ساله استفاده شده است. تحلیل ظرفیت نصب‌های مختلف نشان داد که ظرفیت ۵۰ تا ۶۰ مگاواتی، عملکردی بهینه برای نیروگاه تنظیمی گتوند ایجاد می‌کند.

لذا می‌توان به برخی از نتایج این پژوهش به شرح زیر اشاره نمود:

۱- تغییر عملکرد نیروگاه سد گتوند علیا پس از توسعه‌ی ظرفیت و با توجه به وضعیت ساعات پیک بازار برق و همچنین محدودیت‌های سد تنظیمی گتوند، ضروری است.

۲- ارزش نسبی انرژی تولیدی در ساعات شبانه‌روز ماه‌های مختلف، بر اساس تقسیم‌بندی ساعات بازار برق و ضریب بهای آمادگی نیروگاه‌ها به خوبی می‌تواند مبنای عملکرد بهینه نیروگاه گتوند علیا باشد.

۳- با توجه به محدودیت حجم مخزن سد تنظیمی گتوند و شرایط عملکردی نیروگاه سد گتوند علیا، امکان هموارسازی کامل رهاسازی از سد تنظیمی گتوند وجود نداشته و می‌توان با تعریف یک دستورالعمل بهینه، ضمن محدود کردن حداکثر خروجی از سد تنظیمی گتوند، اختلاف بین حداقل و حداکثر رهاسازی در طول شبانه‌روز را کمینه نمود.

۴- ظرفیت بهینه‌ی نیروگاه سد تنظیمی گتوند، با توجه به عملکرد نیروگاه سد گتوند علیا در شرایط افزایش ظرفیت و همچنین لحاظ کردن کلیه محدودیت‌های موجود، بین ۵۰ تا ۶۰ مگاوات خواهد بود.

منابع

Afshar, M.H., Rezaee, S.E. and Moeini, R. (2014)." *Ant Colony Optimization Algorithms for Optimal Operation of Reservoirs: A Comparative Study of Four Algorithms"*. Ferdowsi Civil Engineering.25(2): (In Persian)

Ahmadianfar, I. and Adib, A. (2014*)." Optimizing Hydropower Dams Operation Using Hybrid of PSO and GA (Case Study: Dez Dam)"*. Journal of Irrigation Sciences and Engineering. 38(3):63-71 (In Persian)

AkbariAlashti, H. and Bozorg Hadad, O. (2014). *"Extraction of Static and Dynamic Reservoir Operation Rules by Genetic Programming"*. Journal of Water and Soil,28(3):492-502 (In Persian)

Chong K. L., Lai S. H., Ahmed A. N., Zaafar W. Z. W., Rao R. V., Sherif M., Sefelnasr A. and El-Shafie A., (2021). "*Review on Dam and Reservoir Optimal Operation for Irrigation and Hydropower Energy Generation Utilizing Meta-*

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

Reddy, M. J., and Kumar, D. N. (2006). "*Optimal reservoir operation using multi-objective evolutionary algorithm".* Water Resources Management, 20: 861-878.

REN21, 2022

Spanmanesh, V., Zahraie, B.and Poorsepahi Samian, H. (2013*)." Application of SDDP Approach in optimizing mid-time operation in multi-reservoir in Karoon basin"*. 12th Iranian Hydraulic Conference (In Persian)

Vahidinasab, V., and Jadid, S. (2010). *"Normal boundary intersection method for suppliers' strategic bidding in electricity markets: An environmental/economic approach".* Energy Conversion and Management, 51(6), 1111-1119.

Wurbs, R. A., (1993). *"Reservoir-system simulation and optimization models"*. J. Water Resource Planning and Management.119(4): 455-472.

Yavari, H.,Robati, A. and Jalalkamali, N.(2022*)." Optimization of Hydropower Reservoirs Operation Using Metaheuristic Algorithms (Case Study: Jiroft Dam)".* Iranian Water Research Journal, 16(3):61-72 (In Persian)

Zhang, R., Zhou, J., Ouyang, S., Wang, X., and Zhang, H. (2013*)." Optimal operation of multi-reservoir system by multi-elite guide particle swarm optimization"*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 48, 58-68.

Zhang, X., Yu, X., and Qin, H. (2016). *"Optimal operation of multi-reservoir hydropower systems using enhanced comprehensive learning particle swarm optimization"*. Journal of Hydro-Environment Research, 10, 50-63

Heuristic Algorithms". IEEE Access, vol. 9, pp. 19488-19505.

Hatamkhani, A., Moridi, A., and Yazdi, J. (2020). *"A simulation–optimization models for multi-reservoir hydropower systems design at watershed scale".* Renewable Energy, 149, 253-263.

Jahandideh-Tehrani, M., Bozorg Haddad, O., and Marino, M. A. (2014). *"Power generation simulation of a hydropower reservoir system using system dynamics: case study of Karoon reservoir system"*. Journal of Energy Engineering, 140(4), 04014003.

Jalali, M., Sharifi, F. and Aghamohamadi, H. (2008). *"The rule curve of Seimare 's Water power plant and Reservoir"*. 2th conference of Journal of Iranian Dam and Hydroelectric power plant (In Persian)

Jamali, S. (2012*)." Evaluating the consequences of climate change on hydroelectric energy production in Karkheh basin and investigating solutions"*. [Doctoral dissertation, Sharif University] (In Persian)

Kumphon, B. (2013*)."Genetic algorithms for multi-objective optimization: application to a multi-reservoir system in the Chi River Basin, Thailand".* Water resources management, 27, 4369-4378.

Parhizkari,M. and Mazandarani Zadeh,H.(2021). *"Multi-objective optimization of hydropower reservoir operation case study, Karoon 5"*. Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant. 30(8):24-32 (In Persian)

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم / شماره سی و ششم / زمستان ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Powerplant
10th Year/ No. 36/ March 2024

Optimum Operating of Gotvand Hydropower Plant in case of Capacity Expansion and Considering Gotvand Regulating Dam Limitations

Mohammad Reza Jalali*[1]
Saeed Jamali[2]
Saba Kholdi[3]

Abstract

Importance of optimal use of water resources is one of the factors of necessity of restudying of existing water projects, particularly dams and power plants. Therefore, according to the expansion of the capacity of Gotvand power plant up to 1640 megawatts, maximizing its performance is the main driver of this research. One of the objectives of optimization model developed for optimum performance of Gotvand power plant is maximizing of the value of the produced energy using a proposed combined value. Also, another objective is minimizing of the difference between maximum and minimum hourly release from the Gotvand regulation dam. Based on the results of the optimization model, the optimal power plant performance capacity was proposed according to the combination of 4 units of 250 MW and 4 units of 160 MW (1640 MW in total). In order to determine installed capacity of the Gotvand regulation power plant, a simulation was done for 64 years, in an hourly time step, by considering the downstream conditions and reservoir limitations. The results showed that optimum installed capacity is 50 to 60 megawatts.

Keywords:

Gotvand dam, Optimization, Energy value, Optimum power plant operating hours, Gotvand regulating dam

[1]* Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Arak branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. mr.jalali@iau.ac.ir
[2] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Centeral Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[3] MSc Student, Department of Civil Engineering, Centeral Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran..

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-08-23]

Received: 2023/08/19 Accepted: 2024/01/06