فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
سال پنجم، شماره‌ی ۱۷، بهار ۱۳۹۵
صفحات: ۱۹۹-۲۲۴

ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه برق‌آبی (تلمبه - ذخیره‌ای) در سدهای مخزنی کشور
مطالعه موردی: سد و نیروگاه پیرتقی

مهدی خداپرست مشهدی[۱]
اعظم قزلباش[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۰۲

چکیده

امروزه در صنعت برق طراحی و بهره‌برداری بهینه و مؤثر اقتصادی همواره موردنظر بوده و در توسعه و بهره‌برداری از صنعت برق، توزیع اقتصادی بار بین نیروگاه‌های سوخت فسیلی و حداقل کردن هزینه بهره‌برداری از اهداف اصلی به شمار می‌آیند. یکی از مسائل مورد توجه در توزیع اقتصادی بار، هماهنگی بین نیروگاه‌ها است. نیروگاه‌های تلمبه-ذخیره‌ای از انواع نیروگاه‌های برق‌آبی هستند که با عملکرد موتوری، انتقال انرژی را از ساعت‌های کم‌مصرف به ساعت‌های پرمصرف انجام می‌دهند که در نتیجه آن مازاد نیروی برق تولیدی و غیرقابل‌مصرف شبکه در ساعات غیر پیک به انرژی پتانسیل تبدیل می‌گردد.

این تحقیق احداث نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در کنار سد مخزنی پیرتقی را از لحاظ اقتصادی با استفاده از معیارهای اقتصاد مهندسی در سال ۱۳۹۳ بررسی کرده است. برای این منظور از چهار سناریوی؛ حجم مخزن ۱/۵، ۲، ۳ و ۴ میلیون مترمکعب استفاده‌شده است. نتایج تحقیق بهترین حالت را در حجم مخزنی ۳ میلیون مکعب برآورد کرده است. مقادیر ارزش خالص فعلی کل طرح در گزینه‌های مختلف بین حداقل ۲۲۱۷ میلیارد ریال در گزینه ۱/۵ میلیون مترمکعب تا حداکثر ۳۷۵۰ میلیارد ریال در گزینه ۳ میلیون مترمکعب تغییر نموده است. مقدار این شاخص معیار مناسبی برای انتخاب گزینه برتر از بین گزینه‌های اقتصادی می‌باشد.

بررسی نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای اقتصادی نسبت به تغییرات نرخ بهره نیز نشان می‌دهد که با افزایش نرخ بهره گرچه پارامترهای اقتصادی کاهش می‌یابد اما همچنان حجم مخزن ۳ میلیون مترمکعب دارای توجیه اقتصادی است. بررسی نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای اقتصادی تغییرات هزینه آلاینده محیط‌زیست نیز نشان می‌دهد که حذف هزینه آلاینده‌های محیط‌زیست و یا افزایش آن‌ها تا ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیز در هر یک از ساختگاه‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص‌های اقتصادی آن‌ها ندارد.

کلیدواژه‌ها: نیروگاه تلمبه‌ای-ذخیره‌ای، نیروگاه برق‌آبی، ارزیابی اقتصادی، سد

طبقه‌بندی JEL: L94 ,Q42

۱. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد
Email: mh_khodaparast@um.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری علوم اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد
Email: a.ghezelbash@stu-mail.um.ac.ir
(*نویسنده مسئول)

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

توسعه صنعت برق به عنوان یک عامل زیربنایی در پیشرفت اقتصادی کشور از ویژگی‌های خاصی برخوردار است که آن را از سایر خدمات زیربنایی مجزا می‌نماید. صنعت برق به‌طور جداناپذیری از نظر مقدار تولید به مصرف‌کنندگان خود وابسته بوده و به روش‌های عمومی قابل ذخیره‌سازی نیست همچنین مقدار مصرف دارای تغییرات وسیع شبانه‌روزی، هفتگی و فصلی می‌باشد.

نیروگاه‌های تلمبه–ذخیره‌ای به عنوان یکی از مناسبت‌ترین انتخاب‌ها جهت تنظیم بار شبکه برق به کار می‌روند. انتقال انرژی از ساعت‌های کم‌مصرف به ساعت‌های پرمصرف با استفاده از نیروگاه‌های تلمبه– ذخیره‌ای با تلمبه کردن آب از یک مخزن تحتانی به مخزن فوقانی انجام می‌شود که در نتیجه آن مازاد نیروی برق تولیدی و غیرقابل‌مصرف شبکه در ساعات غیر پیک به انرژی پتانسیل تبدیل می‌گردد (به صورت ذخیره آب در یک مخزن در ارتفاع بالاتر). در ساعاتی که نیاز به مصرف بیش از ظرفیت تولید می‌باشد آب ذخیره‌شده در مخزن بالایی توربین نیروگاه تلمبه– ذخیره‌ای را مانند نیروگاه‌های برق‌آبی معمولی به گردش درآورده و تولید برق می‌نماید. با این کار در حقیقت آب ذخیره‌شده از حالت انرژی پتانسیل به انرژی الکتریکی تبدیل می‌گردد (اصلانی و همکاران، ۱۳۸۲).

برق موردنیاز جهت تلمبه در این نیروگاه توسط نیروگاه‌های بار پایه تأمین می‌گردد، بنابراین می‌توان گفت که نیروگاه تلمبه– ذخیره‌ای نیروگاهی است که برق پایه تولیدشده مازاد، در نیروگاه‌های پایه را ذخیره و به برق پیک تبدیل می‌کند؛ لذا در ساعاتی از شبانه‌روز که ظرفیت نیروگاه‌های پایه از بار پایه روزانه بیشتر است، برق پایه را می‌توان توسط این نیروگاه ذخیره نموده و به برق پیک تبدیل کرد. امروزه در صنعت برق طراحی و بهره‌برداری بهینه و مؤثر اقتصادی همواره موردنظر بوده و در توسعه و بهره‌برداری‌از صنعت برق، توزیع اقتصادی بار بین نیروگاه‌های سوخت فسیلی و حداقل کردن هزینه بهره‌برداری، حداقل کردن آلودگی و حتی‌المقدور حفظ منابع سوختی از اهداف اصلی به شمار می‌آیند. که یکی از مسائل موردتوجه در توزیع اقتصادی بار، هماهنگی بین نیروگاه‌های حرارتی، آبی و نیروگاه‌های آبی تلمبه– ذخیره‌ای است (موحد، ۱۳۸۶).

در راستای مدیریت انرژی، سیستم تلمبه– ذخیره با وجود هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا می‌تواند اقتصادی باشد، زیرا این نیروگاه‌ها نسبت به نیروگاه‌های گازی تـولید برق پیک که به هزینه‌های سرمایه‌ای بالا نیاز داشته و سوخت‌های فسیلی گران‌قیمتی نیز مصرف می‌کنند هزینه کمتری داشته و به کنترل فرکانس شبکه برق کمک کرده و زمینه تولید برق پیک را فراهم می‌آورند. به عبارتی بزرگترین مزیت سیستم‌های آبی حذف هزینه سوخت است. همچنین این نیروگاه‌ها نسبت به نیروگاه‌های حرارتی با سوخت فسیلی دارای عمر طولانی‌تری می‌باشند، از طرف دیگر نیروگاه‌های حرارتی، خیلی کم قادر به پاسخگویی به تغییرات ناگهانی بار الکتریکی که عامل ناپایداری ولتاژ و

Archive of SID

www.SID.ir

فرکانس است، می‌باشند؛ اما نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای به مانند دیگر نیروگاه‌های برق‌آبی می‌توانند در زمان کوتاهی به تغییرات بار پاسخ دهند.

رودخانه قزل‌اوزن با طول حدود ۶۵۰ کیلومتر با جهت جریان کلی غربی- شرقی و با مساحت حوضه آبریز حدود ۴۹۵۰۰ کیلومترمربع به عنوان دومین حوضه آبریز کشور محسوب می‌شود. با توجه به آورد قابل‌توجه این رودخانه، طرح‌های متعدد آبی از قبیل سدهای مخزنی، طرح‌های نیروگاهی برق‌آبی و سدهای انحرافی بر روی رودخانه در حال بهره‌برداری، در دست اجرا و یا در حال مطالعه است. در این تحقیق با استفاده از معیارهای اقتصاد مهندسی و ارزیابی طرح‌ها، احداث نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در کنار سد مخزنی پیرتقی ارزیابی‌شده است.

ساختار مقاله بدین‌گونه است که بعد از مقدمه، مروری بر کارهای انجام‌شده در بخش ۲، دسترسی به محل ساختگاه نیروگاه پیرتقی در بخش ۳، روش تحقیق در بخش ۴، پیش‌بینی هزینه‌ها و منافع طرح در بخش ۵، یافته‌های تحقیق در بخش ۶ و در انتها در بخش ۷، نتیجه‌گیری بیان‌شده است.

۲. مروری بر کارهای انجام‌شده

مسئله عملکرد نیروگاه‌های تلمبه‌ای ذخیره‌ای با توجه به اهداف مختلف ساخت آن‌ها، به شکل‌های مختلف موردتوجه و بررسی قرارگرفته است. هادجی پاسچالیس و همکارانش[1](۲۰۰۹) در مطالعه خود بدین نتیجه رسیده است که در روند مطالعات استفاده از نیروگاه‌های تلمبه- ذخیره‌ای ابتدا بررسی‌ها در خصوص عملکرد بهینه این نیروگاه‌ها با هدف یکنواخت کردن منحنی بار و کاهش پیک مصرف بوده است. اینگرام[2](۲۰۰۹) نیز معتقد است با توسعه بازار برق و ورود نیروگاه‌های تلمبه- ذخیره‌ای به این عرصه، کسب حداکثر سود و همچنین عملکرد نیروگاه‌ها برای رسیدن به حداکثر سود مورد توجه قرار گرفته است. گارسیا و همکاران[3](۲۰۰۸) نیز بیان می‌کنند که امروزه نیاز به طرح‌های تلمبه- ذخیره‌ای به‌عنوان کمک و جبران‌گر عدم قطعیت‌های تولید انرژی از منابع نو در جهان مورد توجه قرار گرفته است. آکسویا و همکاران[4](۲۰۱۲) و رواوی و همکارانش[5](۲۰۱۲) در مطالعات خود بدین نتیجه رسیدند که با ورود انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در دهه اخیر، نحوه تعیین ظرفیت نیروگاه تلمبه- ذخیره‌ای مورد نیاز با توجه به شرایط عدم قطعیت انرژی‌های نو به خصوص انرژی بادی مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه نواک[6](۲۰۰۵) ترکیب برنامه‌ریزی ورود و خروج نیروگاه‌ها با در نظر

1. Hadjipaschalis *et al.*
2. Ingram.
3. Garcia *et al*.
4. Xiaoya *et al*
5. Ruiwei *et al*.
6. Nowak

Archive of SID

www.SID.ir

گرفتن تصمیم‌گیری‌های مالی ارائه گردیده است و در مطالعه گولمر و همکاران[1](۲۰۱۱) مدلی برای تعیین استراتژی بهینه با توجه به عدم قطعیت موجود برای یک نیروگاه برق‌آبی ارائه شده است.

اصلانی و همکاران (۱۳۸۲) در مطالعه خود به بررسی اثرات احداث نیروگاه‌های تلمبه- ذخیره‌ای در بهبود عملکرد سیستم تولید برق کشور پرداختند. این محققان با اشاره به اینکه به‌کارگیری نیروگاه‌های تلمبه- ذخیره‌ای موجب اصلاح منحنی تداوم بار و بهبود عملکرد سیستم تولید می‌گردد، فواید متعددی برای عملکرد شبکه برق، خدمات جنبی، زیست‌محیطی و اقتصادی برشمرده‌اند. محسن موحد (۱۳۸۶) در مطالعه خود با عنوان ارزیابی اقتصادی نیروگاه تلمبه- ذخیره‌ای سد سیاه‌بیشه، بر اساس مشخصات فنی نیروگاه در شرایط پمپاژ آب و تولید برق، با مقایسه مؤلفه‌های مختلف هزینه (سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و خاموشی) مناسب‌ترین سال جهت ورود به مدار نیروگاه را تعیین کرده و عملکرد نیروگاه تلمبه- ذخیره‌ای در مورد سد سیاه بیشه را ۷۷/۹ درصد اعلام کرده است. نوشاد و همکاران (۱۳۹۰) امکان‌سنجی احداث نیروگاه تلمبه- ذخیره‌ای و آبی کوچک به‌طور همزمان با هدف تأمین قابلیت اعتماد برای شبکه سراسری برق ایران از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ را انجام داده‌اند. آنها در مطالعه خود دو سناریوی وجود و عدم وجود نیروگاه‌های تلمبه- ذخیره‌ای و آبی کوچک را بررسی کرده و بهترین حالت یکنواختی بار را در حالت وجود هر دو نیروگاه بیان کرده‌اند. شریعت‌زاده (۱۳۹۲) به بررسی بهینه‌سازی بهره‌برداری از نیروگاه تلمبه- ذخیره‌ای سیاه بیشه به کمک روش برنامه‌ریزی پویای تصادفی پرداخته است. این محقق عملکرد مالی نیروگاه را در فصول تابستان و زمستان به دلیل تبعیت از رفتار بار بررسی کرده و به این نتیجه رسیده است که در برخی از ایام سال، این عملکرد منفی است. همچنین تأثیر عملکرد نیروگاه بر روی منحنی پیک شبکه در شرایط مختلف ارائه‌شده است.

۳. دسترسی به محل ساختگاه

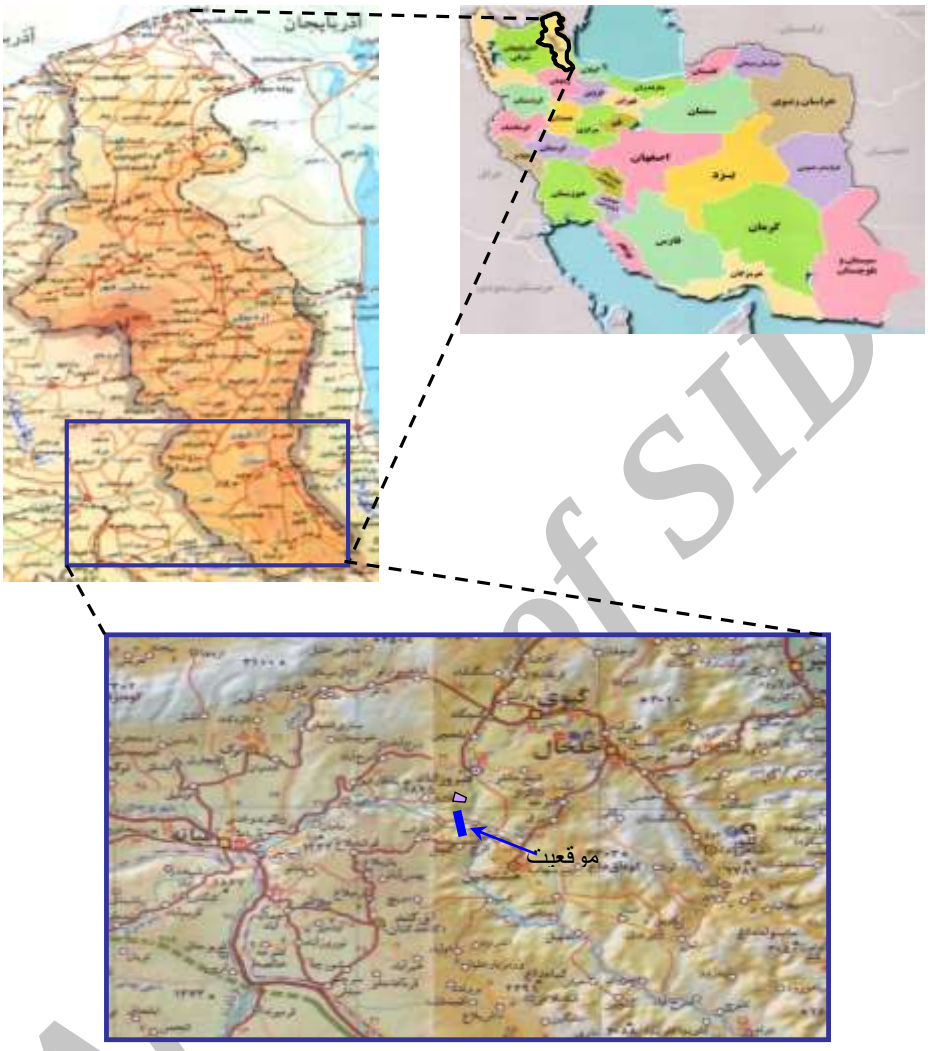
دسترسی به سایت نیروگاه پیرتقی از دو مسیر کلی امکان‌پذیر است. مسیر اول اتوبان زنجان- میانه که پس از طی ۷۰ کیلومتر از زنجان به طرف شهر کاغذکنان (آفکند) و سپس از مسیر جاده گنگاه- سرخ‌آباد تا محل محور سد در مجاور تونل ۷۰۰ متری است. دسترسی به موقعیت مخزن بالا و نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای آن نیز از همان مسیر جاده مذکور به روستای مشکول و یا از مسیر جاده فیروزآباد به همان روستا امکان‌پذیر است.

مسیر دوم از شهر اردبیل به طرف شهر هشتجین از مسیر جاده گنجگاه- سرخ‌آباد و یا جاده فیروزآباد است. در شکل (۱) موقعیت طرح و نحوه دسترسی به ساختگاه نشان داده شده است.

1 . Golmer *et al.*

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱: پلان موقعیت ساختگاه سد و نیروگاه پیرتقی

۴. روش تحقیق

ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها معمولاً با محاسبه هزینه‌های اجرای پروژه و درآمدهای حاصله از آن و به دست آوردن شاخص‌های اقتصادی شامل مقدار نسبت درآمد به هزینه (B/C)، ارزش خالص فعلی (NPV)، بهای هر مترمکعب آب کنترل و تنظیم‌شده و یا هر کیلووات ساعت برق تولیدی و نرخ بازگشت سرمایه انجام می‌گیرد. بدیهی است که در هر پروژه، با توجه به اهداف طرح یک یا چند شاخص اقتصادی معیار انتخاب گزینه برتر و ارزیابی اقتصادی طرح قرار می‌گیرند.

Archive of SID

www.SID.ir

اجرای هر پروژه دارای دو نوع تأثیر در حوزه نفوذ خود می‌باشد که می‌توان آن را به منافع قابل‌تبدیل به درآمد ریالی یا درآمد ملموس و منافع غیرملموس تقسیم‌بندی نمود. محاسبات اقتصادی و تبدیل درآمد و هزینه‌های طرح به نرخ ارزش فعلی برای مقایسه و به‌دست آوردن شاخص‌های اقتصادی از روابط و مبانی ذیل انجام‌شده است. انتقال هزینه‌ها و درآمدها از حال به آینده با استفاده از معادله زیر صورت گرفته است:

$$FVF = (1+i)\ n \qquad (۱)$$

که در آن:

FVF: ضریب تبدیل ارزش در سال n ام به ارزش فعلی

i: نرخ تنزیل یا بهره

n: فاصله سال مربوطه تا سال مبنا می‌باشند.

انتقال و تبدیل هزینه‌ها یا درآمدها از آینده به حال با استفاده از معادله زیر انجام‌یافته است:

$$PVF = \frac{1}{(1+i)^n} \qquad (۲)$$

که در آن:

PVF: نرخ تبدیل ارزش آینده سال nام به سال مبنا

i: نرخ تنزیل

n: فاصله هزینه‌ها و درآمدها از سال مبنا می‌باشند.

جهت محاسبه ارزش حال درآمدها یا هزینه‌های سالانه یکسان از معادله زیر استفاده‌شده است:

$$CRF = \frac{(1+i)^n - 1}{i\,(1+i)^n} \qquad (۳)$$

که در آن:

CRF: ضریب تبدیل هزینه یا درآمد یکسان در n سال به ارزش حال

i: نرخ بهره یا تنزیل

n: تعداد سال‌ها

به استثنای نرخ بازده داخلی، سایر شاخص‌های ارزیابی اقتصادی تابعی از نرخ تنزیل هستند. با توجه به شرایط جاری اقتصادی کشور در این محاسبات، نرخ تورم منظور نشده و از تأثیر تورم بر هزینه‌ها و درآمدهای پروژه در آینده صرف‌نظر شده است. در این مطالعات نرخ تنزیل پایه ۸ درصد در نظر گرفته‌شده است. در ارزیابی پروژه‌های ملی و از دیدگاه اقتصاد کلان نرخ بهره ۷ درصد نیز می‌تواند

Archive of SID

www.SID.ir

قابل‌قبول می‌باشد. به هر حال در ارزیابی شاخص‌های اقتصادی علاوه بر نرخ ۸ درصد، شاخص‌های اقتصادی با نرخ‌های تنزیل ۶، ۱۰ و ۱۲ درصد نیز محاسبه و ارائه‌شده است.

در مطالعات سد و نیروگاه پیرتقی، مطالعات سد پایین و نیروگاه برق آبی آن به‌طور مستقل مورد ارزیابی اقتصادی قرارگرفته و موقعیت و مشخصات آن بهینه‌یابی شده است. در این تحقیق با فرض احداث سد پایین، ساختگاه مجاور روستای مشکول جهت احداث سیستم نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای انتخاب و با استفاده از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی شاخص‌های اقتصادی آن محاسبه و ارزیابی اقتصادی طرح نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای پیرتقی انجام شده است.

در این ارزیابی هزینه‌های سرمایه‌ای و بهره‌برداری و نگهداری ناشی از اجرای طرح تلمبه ذخیره‌ای محاسبه‌شده است. درآمدهای ناشی از طرح نیز معادل هزینه‌های نیروگاه گازی معادل منظور شده است. در گام بعدی بر اساس روش اقتصاد مهندسی و محاسبه ارزش فعلی هزینه‌های سرمایه‌ای و بهره‌برداری و نگهداری و درآمدهای حاصله (هزینه نیروگاه گازی معادل برق تولیدی) شاخص‌های اقتصادی طرح شامل مقدار نسبت درآمد به هزینه (B/C)، ارزش خالص فعلی (NPV)، هزینه و درآمد هر کیلووات برق تولیدی و نرخ بازده داخلی به‌دست آمده‌اند.

شاخص‌های مورداستفاده در این ارزیابی که با روش‌ها تنزیلی محاسبه‌شده‌اند، عبارت‌اند از: هزینه تمام‌شده هر کیلووات برق تولیدی، نسبت فایده به هزینه (B/C)، ارزش خالص فعلی (NPV)، نرخ بازده داخلی (IRR).

در این تحلیل سال مبنای هزینه‌ها و درآمدهای طرح سه‌ماهه چهارم سال ۱۳۹۳ می‌باشد که به عنوان سال مبنای مطالعات اقتصادی منظور شده است. دوره بررسی اقتصادی شامل پنجاه سال بهره‌برداری از طرح در نظر گرفته‌شده است.

۵. شناسایی هزینه‌ها و منافع حاصل از طرح

۵-۱. هزینه‌های طرح

اجزاء اصلی در برآورد هزینه‌های اجرایی طرح نیروگاه‌های تلمبه- ذخیره‌ای پیرتقی به شرح ذیل در نظر گرفته شده‌اند:

۱- سد و تأسیسات مخزن بالا، ۲- مسیر انتقال و ساختمان نیروگاه، ۳- تهیه و نصب تجهیزات مکانیکال، الکتریکال و ابزار دقیق نیروگاه و پنستاک و ۴- خسارت‌های طرح.

۵-۱-۱. هزینه‌های ساختمانی

هزینه‌های ساختمانی در هر ساختگاه بر حسب احجام اجرایی تعیین‌شده هر یک از اجزاء و تعیین قیمت واحد بر حسب آیتم‌های کلی صورت گرفته است. تعیین قیمت واحد با توجه به نوع کار، مصالح مصرفی، هزینه تأمین و حمل آن‌ها بررسی و سایر شرایط تأثیرگذار بر هزینه بر اساس ریز آیتم‌های فهرست

Archive of SID

www.SID.ir

بهای سال ۱۳۹۳ انجام‌شده است. سپس هزینه‌های تجهیز کارگاه ۱/۱۵ و کارهای پیش‌بینی‌نشده ۱/۲۵ و هزینه مشاور و کارفرما (۱/۱۰) در تمام ساختگاه‌ها محاسبه‌شده است.

آیتم‌های کلی ضروری جهت برآورد هزینه‌های ساختمانی هر بخش به تفکیک اجزاء طرح به شرح زیر تعیین‌شده است.

الف- سد و تأسیسات مخزن پایین

چون نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای به‌عنوان یک نیروگاه تک مخزنی تلقی می‌گردد، هزینه سد و تأسیسات نیروگاه پیرتقی (مخزن پایین) جزء هزینه‌های طرح لحاظ نمی‌گردد.

ب-سد و تأسیسات مخزن بالا

اجزاء اصلی مخزن بالا شامل سد، سنگ‌برداری مخزن و عنصر آب‌بند جدار مخزن می‌باشند که برآورد هزینه‌های هر بخش با توجه به حجم مخزن نهایی انجام‌شده است.

ج- تیپ‌های بدنه سد در مخازن بالا

با توجه به این‌که بخشی از جدار مخزن بالا نیاز به احداث سد خواهد داشت، لذا به تناسب مصالح در دسترس و شرایط ساختگاه محل سد بالا تیپ محتمل پیشنهاد و موردبررسی قرار گرفته است.

د- سنگ‌برداری مخزن بالا

بخش عمده‌ای از مخزن بالا به‌صورت سنگ‌برداری کامل احداث می‌گردد. بر این اساس در برآورد احجام مخزن بالا، عملیات سنگ‌برداری که شامل سنگ‌برداری در زمین‌های سنگی بدون مواد منفجره، با مصرف مواد منفجره، حمل مصالح سنگی و هزینه ایجاد شکاف در زمین‌های سنگی به روش پیش شکافتن در برآورد هزینه‌های سنگ‌برداری مخازن بالا در نظر گرفته‌شده است. شیب سنگ‌برداری دیوار و جدارها با توجه به پیش‌بینی عنصر آب‌بندی، با توجه به نتایج مطالعات زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه تعیین‌شده است.

ذ- آب‌بندی مخزن بالا

در طرح‌های نیروگاهی تلمبه- ذخیره‌ای، حفظ آب در گردش بین مخازن تأثیر مستقیم بر عملکرد نیروگاه تلمبه- ذخیره‌ای خواهد داشت و لذا با توجه به حجم محدود مخزن بالا، کنترل نشت و آب‌گذری حائز اهمیت خواهد بود. روش‌های نسبتاً متنوعی برای آب‌بندی مخازن بالا وجود دارد. ایده عمومی آن است مصالحی که بدین منظور به کار می‌روند باید در برابر اثرات پر و خالی شدن روزانه مخزن مقاوم بوده و شرایط جوی حاکم بر مخازن بالا که عموماً در ارتفاع بالا هستند بر حفظ کارایی عنصر آب‌بند تأثیر کمی داشته باشد.

در برآورد هزینه‌های آب‌بندی مخازن بالا بر حسب نیاز کارهای پایدارسازی و نگهداری سطوح ترانشه‌ها، قالب‌بندی و اجرای بتن و بتن‌پاشی، تهیه و اجرای بتن آسفالتی، تهیه و نصب ژئوممبران و همچنین تهیه مصالح از منابع قرضه منظور شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

ر- راه‌های دسترسی و ساختمان‌های بهره‌برداری

به‌طورکلی به منظور دسترسی به بخش‌های مختلف سد و تأسیسات وابسته در دوران ساخت و بهره‌برداری، احداث راه دسترسی ضروری است. برآورد هزینه راه‌های دسترسی اعم از راه دسترسی به تاج سد، راه‌های دسترسی به مخزن پایین و تونل نیروگاه با توجه به موقعیت سد پایین، بالا و تونل نیروگاه انجام‌شده است. با توجه به وجود راه‌های دسترسی تنها هزینه بهسازی راه موجود در برآوردها لحاظ شده است.

ساختمان‌های بهره‌برداری مشتمل بر اتاق کنترل مرکزی سد، اتاقک نگهبانی، مهمانسرا، اتاق دیزل ژنراتور و انبار با متراژ تقریباً ۷۰۰ مترمربع پیش‌بینی شده است.

۵-۱-۲. مسیر انتقال و ساختمان نیروگاه

اجزای نیروگاه که مشتمل بر ساختمان نیروگاه نیز می‌باشد؛ به‌طورمعمول به صورت زیرزمینی احداث می‌شود. همچنین تجهیزات هیدرومکانیکال و الکترومکانیکال نیروگاه که بنا به نیازهای طرح به صورت اختصاصی طراحی، تهیه و نصب می‌گردد به صورت هزینه واحد هر کیلووات نصب به تناسب در برآوردها لحاظ شده است. ازآنجاکه در این مطالعات ۴ حجم مخزن ۱/۵، ۲، ۳ و ۴ میلیون مترمکعب مورد بررسی برای انتخاب مخزن بهینه قرار گرفته است، متناسب با ظرفیت نصب تولیدی برای مخزن ۱/۵ میلیون مترمکعب، هزینه تجهیزات برای هر کیلووات انرژی تولیدی ۳۵۰ دلار، برای مخزن ۲ میلیون مترمکعب ۴۰۰ دلار، برای مخزن ۳ میلیون مترمکعب ۴۵۰ دلار و برای مخزن ۴ میلیون مترمکعب ۵۵۰ دلار در نظر گرفته شده است.

هزینه‌های ساختمانی نیروگاه شامل هزینه‌های تونل سراب، تونل پایاب، شافت قائم و مایل، تونل دسترسی به نیروگاه، مغار نیروگاه و ترانسفورمر و ساختمان نیروگاه است.

با توجه به حداقل ابعاد لازم متناسب با ظرفیت نصب نیروگاه ابعاد هندسی مغار نیروگاه (طول، عرض و ارتفاع) و ترانسفورمر و نیز هزینه‌ها برآورد شده است.

۵-۱-۳. تهیه و نصب تجهیزات هیدرومکانیکال و الکتریکال

به‌طور بهره‌برداری از طرح نیروگاه‌های تلمبه- ذخیره‌ای در هر یک از بخش‌های مخزن بالا، نیروگاه و مسیر انتقال نیاز به تجهیزات هیدرومکانیکال، الکتریکال و ابزار دقیق، تجهیزات مکانیکال و الکتریکال نیروگاهی و همچنین بخش فولادی مسیر انتقال می‌باشد که در برآورد هزینه‌ها لحاظ شده است. لازم به ذکر است که هزینه‌های فوق با توجه به نوع تأسیسات، نوع نیروگاه و ظرفیت نصب و قطر و طول مسیر انتقال تعیین‌شده است.

الف- هزینه‌های تجهیزات هیدرومکانیکال و الکتریکال و ابزار دقیق مخزن بالا

این تجهیزات شامل تجهیزات کنترل از رأس و سرویس تأسیسات آبگیری از مخزن بالا می‌باشد. در این بخش هزینه تهیه و نصب ابزار دقیق جهت کنترل رفتار سدها و تأسیسات نیز در سطح مطالعات

Archive of SID

www.SID.ir

به‌طور مستقل تعیین‌شده است. هزینه این بخش با توجه به تجربیات مشابه سایر طرح‌های کشوری به صورت درصدی از هزینه‌های ساختمانی طرح (بین ۳ تا ۵ درصد) تعیین و ارائه‌شده است.

ب- تجهیزات مکانیکال و الکتریکال نیروگاه

این تجهیزات شامل مجموعه تجهیزات الکتریکال، مکانیکال، کنترل و ابزار دقیق نیروگاه می‌باشد که متناسب با ظرفیت نصب‌شده و مشابه سایر طرح‌های کشوری تعیین‌شده است. هزینه پنستاک نیز با توجه به هزینه تهیه مصالح، ساخت و نصب به صورت قیمت واحد متر طول متناسب با قطر، فشار کار و شرایط تکیه‌گاهی برآورد شده است.

۵-۱-۴. خسارت طرح

با توجه به ساخت سد بالا، مخزن بالا و نیروگاه، خسارتی ناشی از احداث موارد اشاره‌شده به طرح اعمال می‌شود که هزینه‌های آن در بخش خسارت مخزن در جدول هزینه‌ها لحاظ شده است.

هزینه‌های خسارت طرح به تناسب ناحیه آب گرفته در مخزن بالا به صورت مستقیم در موارد زیر برآورد شده است:

- اراضی کشاورزی (باغی و زراعی): که بر حسب قیمت واحد سطح به تناسب مرغوبیت و منطقه مورد مطالعه به‌صورت تملیکی تعیین‌شده است.
- اراضی منابع طبیعی: که به صورت هزینه‌های تملیکی در نظر گرفته‌شده است.
- روستا: هزینه خسارت به ابنیه مسکونی و سایر تأسیسات روستایی به صورت تملیکی در برآوردها لحاظ شده است.
- دکل‌های برق و انتقال نیرو: هزینه این بخش با توجه به تعداد و ظرفیت انتقال خط به صورت مسیر جایگزین در خسارت طرح لحاظ شده است.
- سایر تأسیسات مهم داخل مخزن: در این تأسیسات هزینه به صورت تملیکی در برآوردها تعیین‌شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱: خلاصه هزینه‌های طرح نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای (مخزن بالا، نیروگاه و مسیر انتقال)

نام ساختگاه		سنگریزه ای باروکش پلی اتیلنی			
حجم مخزن	میلیون مترمکعب	۱/۵	۲	۳	۴
هزینه مخزن بالا	ساختمانی (با ضرایب)	۲۴۸/۴۲	۳۹۱/۷۰	۶۲۶/۰۲	۹۲۷/۸۷
هزینه نیروگاه و مسیر انتقال	ساختمانی (با ضرایب)	۵۷۷/۶۴	۶۲۹/۴۰	۷۳۰/۵۹	۷۹۲/۵۸
هزینه‌های جاده دسترسی	ساختمانی (با ضرایب)	۲۱/۵۶	۲۲/۱۰	۲۲/۶۵	۲۳/۷۴
تجهیزات مکانیکال والکتریکال	تجهیزات (هیدرومکانیکال و ابزاردقیق)	۷			
	تهیه و نصب تجهیزات نیروگاه	۱۵۲۱/۱۰	۲۳۳۲	۳۹۱۱/۴۰	۶۳۵۴/۷۰۰
	تهیه و نصب پنستاک	۱۲۸	۱۵۰/۴۰	۱۹۶/۸۰	۲۴۳/۲۰
هزینه خسارت مخزن		۰/۷۰	۰/۹۰	۱/۵۰	۲/۲۰
هزینه‌های ساختمانی کل طرح *		۸۴۷/۶۲	۱۰۴۳/۲۱	۱۳۷۹/۲۶	۱۷۴۴/۱۹
هزینه‌های کل طرح		۲۰۵۴/۴۲	۳۵۳۳/۵۱	۵۴۹۴/۹۶	۸۴۵۱/۲۹

منبع: محاسبات تحقیق

۵-۲. منافع طرح

به‌طورکلی در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های ملی، به جای درآمدهای مستقیم قابل استحصال، درآمدهای حاصله از دیدگاه اقتصاد ملی مدنظر قرار می‌گیرد. در این تحقیق، منافع مستقیم احداث نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای به طریق زیر مورد مقایسه قرار می‌گیرد:

Archive of SID

www.SID.ir

درآمدهای ناشی از احداث سد و نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای، با هزینه نیروگاه جایگزین که بتواند همان میزان انرژی مطمئن را تولید کند، سنجیده شده است. با توجه به اطلاعات موجود و روش‌های معمول به منظور برآورد منافع اقتصادی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای، هزینه احداث و بهره‌برداری از نیروگاه گازی معادل استفاده‌شده است. بدین منظور کلیه هزینه‌های سرمایه‌ای و بهره‌برداری و نگهداری نیروگاه گازی که بتواند برق معادل نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای را تولید کند محاسبه و به‌عنوان درآمد نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای منظور شده است.

در محاسبات هزینه نیروگاه گازی معادل از مبانی زیر استفاده شده است:

- نیروگاه گازی معادل در ۱۰٪ دوره بهره‌برداری به خاطر از کار افتادگی تأسیسات کار نمی‌کند.
- ضریب کارکرد طرح معادل با ۰/۱۷ در نظر گرفته‌شده است، بنابراین نیروگاه جایگزین طرح، نیروگاه گازی بزرگ خواهد بود و هزینه‌های سرمایه‌ای و بهره‌برداری و نگهداری نیروگاه گازی جایگزین به‌عنوان منافع این طرح منظور شده‌اند.
- با توجه به پارامترهای در نظر گرفته‌شده، پارامترهای ظرفیت نصب، انرژی تولیدی سالیانه، کل هزینه سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری سالانه (ثابت و متغیر)، هزینه سوخت سالانه و کل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سالانه برای نیروگاه جایگزین در هر گزینه محاسبه‌شده است.

در گام بعدی میزان انرژی تولیدی بر اساس مدل بهینه‌سازی، با لحاظ ضریب کارکرد ۰/۱۷ و درجه اعتمادپذیری ۹۵ درصد محاسبه‌شده است.

- هزینه‌های سرمایه‌ای نیروگاه برای هر کیلووات ظرفیت نصب بر اساس جدول ۲ و به نرخ پایه سال ۱۳۹۳، نرخ یورو ۴۳۲۲۰ ریال و نرخ دلار ۳۱۸۴۰ به صورت معادل ریالی محاسبه‌شده است (بانک مرکزی، ۱۳۹۳).

جدول ۲: پارامترهای اقتصادی در تحلیل نیروگاه گازی جایگزین

توضیحات	واحد	مقدار	پارامتر
نرخ متوسط ۱۳۹۳	ریال	۴۳۲۲۰	نرخ یورو
نرخ متوسط ۱۳۹۳	ریال	۳۱۸۴۰	نرخ دلار
۷۵ درصد سوخت مصرفی	ریال	۱۰۸۰	گاز (مترمکعب)
۲۵ درصد سوخت مصرفی	ریال	۱۵۷۰	گازوئیل (لیتر)
	درصد	۳۴/۳	راندمان نیروگاه گازی
	درصد	۵۰	راندمان نیروگاه سیکل ترکیبی

منبع: یافته‌های تحقیق

Archive of SID

www.SID.ir

بنابراین نیروگاه جایگزین طرح، نیروگاه گازی بزرگ خواهد بود و با توجه به پارامترهای ظرفیت نصب، انرژی تولیدی سالیانه، کل هزینه سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری سالانه (ثابت و متغیر)، هزینه سوخت سالانه و کل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سالانه برای نیروگاه جایگزین در ساختگاه پیرتقی محاسبه و به‌عنوان درآمد نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در نظر گرفته‌شده است.

- محاسبه هزینه سالانه سوخت نیروگاه گازی با احتساب ۷۵ درصد گاز و ۲۵ درصد گازوئیل انجام‌شده است. قیمت هر مترمکعب گاز ۱۰۸۰ ریال و هر لیتر گازوئیل ۱۵۷۰ ریال است.

یکی از منافع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای منافع دینامیک این طرح‌ها می‌باشد. منافع دینامیک در این‌گونه طرح‌ها تابع عوامل متعددی است که برخی از آنها به ویژگی‌های سیستم تولید، توزیع و مصرف برق در هر کشور بستگی دارد. در کشورهای مختلف دنیا در این مورد مطالعات مختلفی صورت گرفته ولی نتایج به‌دست آمده برای همان کشور اعتبار خواهد داشت. در کشور ایران نیز تنها نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای اجراشده طرح سیاه‌بیشه است.

الف- طول دوره ساخت

طول دوره ساخت و درصد عملیات اجرایی در نظر گرفته‌شده در هر سال برای سد و نیروگاه برق‌آبی و نیروگاه گازی جایگزین به صورت جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳: طول دوره ساخت و درصد عملیات اجرایی

نیروگاه معادل گازی	سد و نیروگاه	سال
۰	۱۵	۱
۰	۲۰	۲
۵۰	۲۵	۳
۵۰	۴۰	۴

منبع: توانیر (۱۳۹۳)

ب- عمر اقتصادی هزینه‌های جایگزینی و ارزش اسقاط

عمر مفید اجزاء مختلف طرح بر اساس اطلاعات و استانداردهای اعلام‌شده از سوی وزارت نیرو به شرح زیر در محاسبات منظور شده است.

سد و سازه‌های وابسته ۱۰۰ سال

نیروگاه برق‌آبی ۵۰ سال

نیروگاه گازی بزرگ ۱۲ سال

شایان‌ذکر است که پس از سپری شدن عمر هر یک از بخش‌های طرح در طول دوره محاسبات اقتصادی (۵۰ سال)، هزینه‌های جایگزینی بر پایه عمر اقتصادی اجزای متشکله طرح و دوره بهره‌برداری

Archive of SID

www.SID.ir

در هزینه‌های همان سال منظور شده است. چنانچه هر یک از اجزاء طرح، عمر اقتصادی بیش از دوره بررسی اقتصادی داشته باشند برای زمان باقی‌مانده، عمر اقتصادی ارزش اسقاط منظور شده است.

۶. یافته‌های تحقیق

۶-۱. ارزیابی و بررسی اقتصادی گزینه‌ها

در این بخش با استفاده از هزینه‌ها و درآمدهای محاسبه‌شده برای هر گزینه و محاسبه ارزش فعلی هزینه‌ها و درآمدها، محاسبه و تحلیل شاخص‌های اقتصادی هر یک از حجم مخزن بالا در نیروگاه تلمبه- ذخیره‌ای پیرتقی انجام‌شده و نتایج به‌دست آمده ارائه شده‌اند.

۶-۱-۱. حجم مخزن ۱/۵ میلیون مترمکعب

الف- هزینه‌های سرمایه‌ای

در ساختگاه نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای پیرتقی برای حجم مخزن ۱/۵ میلیون مترمکعب انواع مختلف سد مخزنی شامل سنگ‌ریزه‌ای با هسته رسی، خاکی با هسته رسی، سنگ‌ریزه‌ای با هسته آسفالتی، سنگ‌ریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی مورد بررسی قرار گرفته است. گزینه منتخب سد مخزنی در این ساختگاه سد سنگ‌ریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی می‌باشد.

بر اساس برآوردهای انجام‌شده در بخش فنی کل هزینه‌های سرمایه‌ای سد، تأسیسات و تجهیزات نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در ساختگاه پیرتقی برابر با ۲۵۰۴ میلیارد ریال می‌باشد (جدول ۱). ظرفیت نصب برابر با ۴۱۰ مگاوات و برق مصرفی برابر با ۸۲۹ گیگاوات می‌باشد.

ب- هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای شامل دو بخش هزینه بهره‌برداری، نگهداری و هزینه برق مصرفی برای پمپاژ آب به مخزن بالادستی می‌باشد. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سد و تأسیسات شامل سد بالادستی و تجهیزات الکترومکانیکال نیروگاهی در گزینه سنگ‌ریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی جمعاً ۲۷۴۶۶ میلیون ریال در سال محاسبه‌شده است. بخش دوم هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالانه شامل هزینه برق مصرفی سیستم تلمبه است که به شرح زیر محاسبه‌شده است.

تأمین برق مورد نیاز پمپاژ از نیروگاه سیکل ترکیبی در نظر گرفته‌شده است. هزینه‌های سوخت نیروگاه سیکل ترکیبی برای تأمین برق مورد نیاز تلمبه‌کردن آب (۵۶۹-۸۲۹ GWH در سال) معادل ۴۳۹۰۰۳ میلیون در سال محاسبه‌شده است. هزینه بهره‌برداری و نگهداری متغیر نیروگاه سیکل ترکیبی برای تولید برق مورد نیاز تلمبه نیز ۲۶۷۲ میلیون ریال در سال محاسبه‌شده است. بدین ترتیب هزینه هر کیلووات برق مصرفی برای تلمبه کردن آب به مخزن بالا حدود ۵۳۴ ریال به‌دست می‌آید.

Archive of SID

www.SID.ir

ج- درآمدهای اقتصادی طرح

درآمدهای طرح معادل هزینه نیروگاه گازی معادل در نظر گرفته‌شده است. با توجه به پارامترهای تولید برق در این نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای، در بخش شاخص‌های اقتصادی، پارامترهای زیر برای نیروگاه جایگزین گازی معادل محاسبه‌شده است.

جدول ۴: مشخصات نهایی اقتصادی نیروگاه گازی جایگزین در حجم مخزن ۱/۵ میلیون مترمکعب

پارامتر	واحد	نیروگاه گازی جایگزینی پیرتقی
ظرفیت نصب	مگاوات	۴۶۹
معادل ظرفیت مطمئن	مگاوات	۴۱۰
انرژی تولیدی سالیانه	گیگاوات ساعت در سال	۵۶۹
کل هزینه سرمایه‌گذاری	میلیون ریال	۲۴۳۳۰۷۲
بهره‌برداری و نگهداری سالانه (ثابت و متغیر)	میلیون ریال	۱۷۱۷۱
هزینه سوخت سالانه	میلیون ریال	۴۳۸۹۸۴
تفاوت آلاینده‌های زیست‌محیطی سالانه	میلیون ریال	۱۴۵۵۷
کل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سالانه	میلیون ریال	۴۷۰۷۱۲
منافع دینامیک سالانه	میلیون ریال	۸۲۵۷۴

منبع: محاسبات تحقیق

د- شاخص‌های اقتصادی

در این حجم مخزن، سد سنگ‌ریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی پیشنهادشده است؛ بنابراین محاسبات اقتصادی در این ساختگاه بر اساس هزینه این نوع سد انجام‌شده و نتایج به‌دست آمده از تحلیل اقتصادی در این گزینه ارائه شده است. بر اساس محاسبات انجام‌شده در گزینه حجم مخزن ۱/۵ میلیون مترمکعب، خلاصه شاخص‌های اقتصادی طرح و در این گزینه با نرخ بهره مختلف به شرح جدول ۵ می‌باشد.

جدول ۵: نتایج عملکرد اقتصادی نیروگاه معادل گازی در ساختگاه پیرتقی مخزن ۱/۵ میلیون مترمکعب

کیلووات برق (ریال)		شاخص اقتصادی			نرخ تنزیل به درصد	نوع سد
درآمد	هزینه	درصد IRR	$\frac{B}{C}$	B-C میلیارد ریال		
۱۴۹۰	۱۱۵۴	۲۹/۴	۱/۲۹	۳۰۱۶	۶	سد سنگریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی
۱۵۶۱	۱۲۴۲		۱/۲۶	۲۲۱۷	۸	
۱۶۳۶	۱۳۳۸		۱/۲۲	۱۶۸۱	۱۰	
۱۷۱۶	۱۴۴۱		۱/۱۹	۱۳۰۱	۱۲	

منبع: محاسبات تحقیق

Archive of SID

www.SID.ir

۶-۱-۲. حجم مخزن ۲ میلیون مترمکعب

الف- هزینه‌های سرمایه‌ای

بر اساس برآوردهای انجام‌شده در بخش فنی هزینه‌های سرمایه‌ای سد، تأسیسات و تجهیزات نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در ساختگاه پیرتقی برابر با ۳۵۳۴ میلیارد ریال می‌باشد (جدول ۱). ظرفیت نصب برابر با ۵۵۰ مگاوات و برق مصرفی برابر با ۱۱۲۹ گیگاوات می‌باشد.

ب- هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای شامل دو بخش هزینه بهره‌برداری، نگهداری و هزینه برق مصرفی برای پمپاژ آب به مخزن بالادستی می‌باشد. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سد و تأسیسات شامل سد بالادستی و تجهیزات الکترومکانیکال نیروگاهی در گزینه سنگ‌ریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی جمعاً ۴۰۶۸۲ میلیون ریال در سال محاسبه‌شده است. هزینه برق مصرفی سیستم تلمبه نیز از جمله هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالانه است که عبارت است از: تأمین برق مورد نیاز پمپاژ از نیروگاه سیکل ترکیبی در نظر گرفته شده است. هزینه‌های سوخت نیروگاه سیکل ترکیبی برای تأمین برق مورد نیاز تلمبه‌کردن آب (۷۶۳-GWH۱۱۲۹ در سال) معادل ۵۹۷۸۷۰ میلیون ریال محاسبه‌شده است. هزینه بهره‌برداری و نگهداری متغیر نیروگاه سیکل ترکیبی برای تولید برق مورد نیاز تلمبه نیز ۵۰۰۱ میلیون ریال در سال محاسبه‌شده است. بدین ترتیب هزینه هر کیلووات برق مصرفی برای تلمبه کردن آب به مخزن بالا حدود ۵۳۴ ریال به‌دست می‌آید.

ج- درآمدهای اقتصادی طرح

درآمدهای طرح معادل هزینه نیروگاه گازی معادل در نظر گرفته‌شده است. با توجه به پارامترهای تولید برق در این نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای، در بخش شاخص‌های اقتصادی، پارامترهای زیر برای نیروگاه جایگزین گازی معادل محاسبه‌شده است.

جدول ۶: مشخصات نهایی اقتصادی نیروگاه گازی جایگزین در حجم مخزن ۲ میلیون مترمکعب

نیروگاه گازی جایگزینی پیرتقی	واحد	پارامتر
۶۳۰	مگاوات	ظرفیت نصب
۵۵۰	مگاوات	معادل ظرفیت مطمئن
۷۶۳	گیگاوات ساعت در سال	انرژی تولیدی سالیانه
۳۲۶۳۸۷۸	میلیون ریال	کل هزینه سرمایه‌گذاری
۲۳۰۴	میلیون ریال	بهره‌برداری و نگهداری سالانه (ثابت و متغیر)
۵۸۸۸۸۱	میلیون ریال	هزینه سوخت سالانه
۱۶۴۸۱	میلیون ریال	تفاوت آلاینده‌های زیست‌محیطی سالانه
۶۰۷۶۶۶	میلیون ریال	کل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سالانه
۱۱۰۷۷۰	میلیون ریال	منافع دینامیک سالانه

منبع: محاسبات تحقیق

Archive of SID

www.SID.ir

د- ارزیابی و بررسی اقتصادی

در این حجم مخزن، سد سنگ‌ریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی پیشنهادشده است؛ بنابراین محاسبات اقتصادی در این ساختگاه بر اساس هزینه این نوع سد انجام‌شده و نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل اقتصادی در این گزینه ارائه‌شده است. بر اساس محاسبات انجام‌شده در گزینه حجم مخزن ۲ میلیون مترمکعب، خلاصه شاخص‌های اقتصادی طرح و در این گزینه با نرخ بهره مختلف به شرح جدول (۷) می‌باشد.

جدول ۷: نتایج عملکرد اقتصادی نیروگاه معادل گازی در ساختگاه پیرتقی مخزن ۲ میلیون مترمکعب

کیلووات برق (ریال)		شاخص اقتصادی			نرخ تنزیل به درصد	نوع سد
درآمد	هزینه	درصد IRR	$\frac{B}{C}$	B-C میلیارد ریال		
۱۴۸۶	۱۱۹۰	۲۴/۷	۱/۲۵	۳۵۶۱	۶	سد سنگ‌ریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی
۱۵۵۷	۱۲۹۳		۱/۲۱	۲۵۶۲	۸	
۱۶۳۲	۱۳۸۳		۱/۱۸	۱۸۸۸	۱۰	
۱۷۱۲	۱۴۹۰		۱/۱۵	۱۴۰۸	۱۲	

منبع: محاسبات تحقیق

۶-۱-۳. حجم مخزن ۳ میلیون مترمکعب

الف- هزینه‌های سرمایه‌ای

گزینه منتخب سد مخزنی در این ساختگاه نیز سد سنگ‌ریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی می‌باشد. بر اساس برآوردهای انجام‌شده در بخش فنی هزینه‌های سرمایه‌ای سد، تأسیسات و تجهیزات نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در ساختگاه پیرتقی برابر با ۵۴۹۶ میلیارد ریال برآورد شده است (جدول ۱). ظرفیت نصب برابر با ۸۲۰ مگاوات و برق مصرفی نیز ۱۶۵۰ گیگاوات می‌باشد.

ب- هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سالانه

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سد و تأسیسات شامل سد بالادستی و تجهیزات الکترومکانیکال نیروگاهی در گزینه سنگ‌ریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی جمعاً ۶۶۱۸۸ میلیون ریال در سال محاسبه‌شده است. تأمین برق مورد نیاز پمپاژ از نیروگاه سیکل ترکیبی در نظر گرفته‌شده است. هزینه‌های سوخت نیروگاه سیکل ترکیبی برای تأمین برق مورد نیاز تلمبه کردن آب (۱۱۳۷-۱۶۵۰ GWH در سال) معادل ۸۷۳۷۶۹ میلیون ریال محاسبه‌شده است. هزینه بهره‌برداری و نگهداری متغیر نیروگاه سیکل ترکیبی برای تولید برق مورد نیاز تلمبه نیز ۷۳۰۹ میلیون ریال در سال محاسبه‌شده است. بدین ترتیب هزینه هر کیلووات برق مصرفی برای تلمبه کردن آب به مخزن بالا حدود ۵۳۴ ریال به‌دست می‌آید.

Archive of SID

www.SID.ir

ج- درآمدهای اقتصادی طرح

درآمدهای طرح معادل هزینه نیروگاه گازی معادل در نظر گرفته‌شده است. با توجه به پارامترهای تولید برق در این نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای، در بخش شاخص‌های اقتصادی، پارامترهای زیر برای نیروگاه جایگزین گازی معادل محاسبه‌شده است.

جدول ۸: مشخصات نهایی اقتصادی نیروگاه گازی جایگزین در حجم مخزن ۳ میلیون مترمکعب

پارامتر	واحد	نیروگاه گازی جایگزینی پیرتقی
ظرفیت نصب	مگاوات	۹۳۹
معادل ظرفیت مطمئن	مگاوات	۸۲۰
انرژی تولیدی سالیانه	گیگا وات ساعت در سال	۱۱۳۷
کل هزینه سرمایه‌گذاری	میلیون ریال	۴۸۶۶۱۴۵
بهره‌برداری و نگهداری سالانه (ثابت و متغیر)	میلیون ریال	۳۴۳۴۱
هزینه سوخت سالانه	میلیون ریال	۸۷۷۹۶۸
تفاوت آلاینده‌های زیست‌محیطی سالانه	میلیون ریال	۳۰۵۵۴
کل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سالانه	میلیون ریال	۹۴۲۸۶۳
منافع دینامیک سالانه	میلیون ریال	۱۶۵۱۴۸

منبع: محاسبات تحقیق

د- ارزیابی و بررسی اقتصادی

بر اساس اطلاعات هزینه، خلاصه شاخص‌های اقتصادی طرح و در این گزینه با نرخ بهره مختلف به شرح جدول (۹) می‌باشد.

جدول ۹: نتایج عملکرد اقتصادی نیروگاه معادل گازی در ساختگاه پیرتقی مخزن ۳ میلیون مترمکعب

نوع سد	نرخ تنزیل به درصد	شاخص اقتصادی			کیلووات برق (ریال)	
		B-C میلیارد ریال	$\frac{B}{C}$	درصد IRR	هزینه	درآمد
سد سنگ‌ریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی	۶	۵۲۷۸	۱/۲۵	۲۲/۷	۱۱۹۷	۱۴۹۲
	۸	۳۷۵۰	۱/۲۱		۱۲۹۳	۱۵۶۲
	۱۰	۲۷۱۸	۱/۱۷		۱۳۹۷	۱۶۳۸
	۱۲	۱۹۷۹	۱/۱۴		۱۵۰۸	۱۷۱۸

منبع: محاسبات تحقیق

۶-۱-۴. حجم مخزن ۴ میلیون مترمکعب

الف- هزینه‌های سرمایه‌ای

در ساختگاه نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای پیرتقی برای حجم مخزن ۴ میلیون مترمکعب بر اساس برآوردهای انجام‌شده، هزینه‌های سرمایه‌ای سد، تأسیسات و تجهیزات نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در ساختگاه پیرتقی

Archive of SID

www.SID.ir

به میزان ۸۳۵۱ میلیارد ریال می‌باشد (جدول ۱). ظرفیت نصب ۱۰۹۰ مگاوات و برق مصرفی برابر با ۲۱۸۸ گیگا وات می‌باشد.

ب- هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سد و تأسیسات شامل سد بالادستی و تجهیزات الکترومکانیکال نیروگاهی در گزینه سنگ‌ریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی جمعاً ۱۰۴۸۰۸ میلیون ریال در سال محاسبه‌شده است. هـزینه‌های سوخت نیروگاه سیکل ترکیبی برای تـأمین برق مورد نیاز تلـمبه کـردن آب (۱۵۰۲- ۲۱۸۸ GWH در سال) معادل ۱۱۵۸۶۷۰ میلیون ریال محاسبه‌شده است. هزینه بهره‌برداری و نگهداری متغیر نیروگاه سیکل ترکیبی برای تولید برق موردنیاز تلمبه نیز ۹۶۹۲ میلیون ریال در سال محاسبه‌شده است. بدین ترتیب هزینه هر کیلووات برق مصرفی برای تلمبه کردن آب به مخزن بالا حدود ۵۳۴ ریال به دست می‌آید.

ج- درآمدهای اقتصادی طرح

درآمدهای طرح معادل هزینه نیروگاه گازی معادل در نظر گرفته‌شده است. با توجه به پارامترهای تولید برق در این نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای، در بخش شاخص‌های اقتصادی، پارامترهای زیر برای نیروگاه جایگزین گازی معادل محاسبه‌شده است.

جدول ۱۰: مشخصات نهایی اقتصادی نیروگاه گازی جایگزین در حجم مخزن ۴ میلیون مترمکعب

پارامتر	واحد	نیروگاه گازی جایگزینی پیرتقی
ظرفیت نصب	مگاوات	۱۲۴۸
معادل ظرفیت مطمئن	مگاوات	۱۰۹۰
انرژی تولیدی سالیانه	گیگا وات ساعت در سال	۱۵۱۲
کل هزینه سرمایه‌گذاری	میلیون ریال	۶۶۶۸۴۱۲
بهره‌برداری و نگهداری سالانه (ثابت و متغیر)	میلیون ریال	۴۵۶۴۹
هزینه سوخت سالانه	میلیون ریال	۱۱۶۷۰۵۵
تفاوت آلاینده‌های زیست‌محیطی سالانه	میلیون ریال	۴۱۵۶۷
کل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سالانه	میلیون ریال	۱۲۵۴۲۷۱
منافع دینامیک سالانه	میلیون ریال	۲۱۹۵۲۶

منبع: محاسبات تحقیق

د- ارزیابی و بررسی اقتصادی

بر اساس محاسبات انجام‌شده در گزینه حجم مخزن ۴ میلیون مترمکعب، خلاصه شاخص‌های اقتصادی طرح و در این گزینه با نرخ بهره مختلف به شرح جدول زیر می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۱: نتایج عملکرد اقتصادی نیروگاه معادل گازی در ساختگاه پیرتقی مخزن ۴ میلیون مترمکعب

کیلووات برق (ریال)		شاخص اقتصادی			نرخ تنزیل به درصد	نوع سد
درآمد	هزینه	درصد IRR	$\frac{B}{C}$	B-C میلیارد ریال		
۱۴۹۲	۱۲۶۲	۱۶/۰	۱/۱۸	۵۴۹۷	۶	سد سنگریزه‌ای با روکش پلی‌اتیلنی
۱۵۶۳	۱۳۷۰		۱/۱۴	۳۵۶۸	۸	
۱۶۳۸	۱۴۸۸		۱/۱۰	۲۲۵۲	۱۰	
۱۷۱۸	۱۶۱۵		۱/۰۶	۱۲۹۸	۱۲	

منبع: محاسبات تحقیق

با بررسی جدول (۱۲) می‌توان نتیجه گرفت که با در نظر گرفتن معیارهای مختلف اقتصادی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها، نتایج متفاوتی نیز به دست خواهد آمد. با این حال دو معیار برق تولیدی و مقادیر خالص ارزش فعلی (سود خالص ناشی از اجرای طرح) و نرخ بازگشت سرمایه (درصد سوددهی پروژه) می‌توانند معیارهای مناسبی برای اولویت‌بندی طرح‌ها باشند.

از سوی دیگر بایستی به این نکته نیز توجه داشت که این شاخص‌ها حاصل برآورد و محاسبه پارامترهای مهمی از هزینه‌ها و درآمدهای هر گزینه است که تغییر هریک از آن‌ها ممکن است ترتیب این اولویت‌بندی‌ها را تغییر دهد؛ بنابراین با مقایسه پارامترهای موردنظر، گزینه ۳ میلیون مترمکعب پیشنهاد و توصیه می‌شود.

جدول ۱۲: خلاصه نتایج شاخص‌های اقتصادی و اولویت‌بندی پیشنهادی

اولویت پیشنهادی	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
		برق تولیدی در سال (GWH)		نرخ بازگشت سرمایه (درصد)		هزینه کیلووات برق تولیدی (ریال)		B-C (میلیارد ریال)	$\frac{B}{C}$	
مخزن ۳MCM	۱۵۱۲	مخزن ۴MCM	۲۹/۴	مخزن ۱/۵MCM	۴۲۴۹	مخزن ۱/۵MCM	۳۷۵۰	مخزن ۳MCM	۱/۲۶	مخزن ۱/۵MCM
مخزن ۴MCM	۱۱۳۷	مخزن ۳MCM	۲۴/۷	مخزن ۲MCM	۴۲۴۸	مخزن ۲MCM	۳۵۶۸	مخزن ۴MCM	۱/۲۱	مخزن ۲MCM
مخزن ۲MCM	۷۶۳	مخزن ۲MCM	۲۲/۷	مخزن ۳MCM	۴۲۹۳	مخزن ۳MCM	۲۵۶۲	مخزن ۲MCM	۱/۲۱	مخزن ۳MCM
مخزن ۱/۵MCM	۵۶۹	مخزن ۱/۵MCM	۱۶	مخزن ۴MCM	۴۳۲۰	مخزن ۴MCM	۲۲۱۷	مخزن ۱/۵MCM	۱/۱۴	مخزن ۴MCM

منبع: محاسبات تحقیق

۶-۲. تحلیل حساسیت

هدف از بررسی اقتصادی انجام‌شده در این تحقیق، ارزیابی شاخص‌های اقتصادی حجم‌های مختلف مخزن بالا در احداث نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای پیرتقی و اولویت‌بندی آن‌ها از دید اقتصاد ملی و کلان

Archive of SID

www.SID.ir

بوده است. در نتیجه این بررسی‌ها مخزن حائز اولویت، حجم مخزن ۳ میلیون مترمکعب می‌باشد. ازآنجاکه برخی پارامترهای مؤثر در ارزیابی اقتصادی با عدم قطعیت مواجه می‌باشد، بنابراین در صورت انتخاب این حجم مخزن برای اجرای پروژه، شناخت و بررسی حساسیت شاخص‌های اقتصادی این دو گزینه نسبت به تغییر پارامترهای اساسی مؤثر در ارزیابی اقتصادی نظیر هزینه‌ها، درآمدها و نرخ تنزیل ضروری خواهد بود. شایان‌ذکر است که در تحلیل حساسیت انجام‌شده در حالات تغییرات درآمدها و هزینه‌های طرح نرخ بهره ۸ درصد (نرخ بهره موردقبول در طرح‌های ملی) منظور شده است.

۶-۲-۱. تغییرات نرخ بهره

در این قسمت، حساسیت شاخص‌های اقتصادی (B/C و B-C) طرح تلمبه ذخیره‌ای پیرتقی نسبت به تغییرات نرخ بهره ارزیابی می‌گردد. ازاین‌رو بازه ۶ تا ۱۲ درصد برای تغییرات نرخ بهره اختیار می‌شود. نتایج این بررسی در جدول (۱۳) آمده است.

جدول ۱۳: نتایج تحلیل حساسیت شاخص‌های اقتصادی طرح نسبت به تغییرات نرخ بهره

نرخ تنزیل (درصد)	هزینه‌ها (میلیون ریال)	منافع (میلیون ریال)	B-C	$\frac{B}{C}$
۶	۲۱۴۶۲۴۷۳	۲۶۷۴۰۷۵۰	۵۲۷۸۲۷۷	۱/۲۵
۸	۱۷۹۸۸۰۶۴	۲۱۷۳۸۵۰۵	۳۷۵۰۴۴۱	۱/۲۱
۱۰	۱۵۷۵۰۲۳۳	۱۸۴۶۸۰۰۰	۲۷۱۷۷۶۷	۱/۱۷
۱۲	۱۴۲۴۳۲۰۳	۱۶۲۲۱۹۹۹	۱۹۷۸۷۹۶	۱/۱۴

منبع: محاسبات تحقیق

بررسی نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای اقتصادی نسبت به تغییرات نرخ بهره نشان می‌دهد که با افزایش نرخ بهره گرچه پارامترهای اقتصادی کاهش می‌یابد، اما همچنان حجم مخزن ۳ میلیون مترمکعب دارای توجیه اقتصادی است.

۶-۲-۲. افزایش هزینه‌ها

به منظور ارزیابی اثر افزایش هزینه‌ها در شاخص‌های اقتصادی، تحلیل اقتصادی حجم مخزن ۳ میلیون مترمکعب با فرض ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد افزایش هزینه‌ها (هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری) انجام‌شده است. در جدول زیر، نتایج بررسی و تحلیل حساسیت شاخص‌های اقتصادی نسبت به افزایش هزینه‌های طرح ارائه‌شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۴: نتایج تحلیل حساسیت شاخص‌های اقتصادی طرح نسبت به افزایش هزینه‌ها (میلیون ریال)

تغییرات هزینه‌ها	B-C	$\frac{B}{C}$	IRR
هزینه معادل مقادیر محاسبه‌شده	۳۷۵۰۴۴۱	۱/۲۱	۲۲/۷
افزایش هزینه به میزان ۱۰ درصد مقادیر محاسبه‌شده (سرمایه‌ای و بهره‌برداری)	۱۹۵۱۶۳۵	۱/۱۰	۱۴/۵
افزایش هزینه به میزان ۲۰ درصد مقادیر محاسبه‌شده (سرمایه‌ای و بهره‌برداری)	۱۵۲۸۲۸	۱/۰۸	۸/۵۵
افزایش هزینه به میزان ۳۰ درصد مقادیر محاسبه‌شده (سرمایه‌ای و بهره‌برداری)	-۱۶۴۵۹۷۸	۰/۹۸	۳/۱

منبع: محاسبات تحقیق

بررسی نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای اقتصادی گزینه موردبررسی نشان می‌دهد که افزایش هزینه‌های طرح تا حدود ۲۰ درصد، اگرچه موجب کاهش شاخص‌های اقتصادی آن می‌شود، لیکن در این گام افزایش هزینه‌ها نیز، شاخص‌های اقتصادی مثبت بوده و اجرای طرح حتی با افزایش ۲۰ درصدی کل هزینه‌ها دارای توجیه اقتصادی خواهد بود.

با این حال افزایش ۳۰ درصدی هزینه‌ها در هر گزینه موجب منفی شدن ارزش خالص فعلی طرح‌ها و کاهش نسبت سود به هزینه به کمتر از یک در آن خواهد شد.

۶-۲-۳. کاهش درآمدها

به منظور ارزیابی اثر کاهش درآمدها در شاخص‌های اقتصادی، تحلیل اقتصادی حجم مخزن ۳ میلیون مترمکعب با فرض ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش درآمدها (کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری نیروگاه گازی معادل) انجام‌شده است. در جدول ۱۵ نتایج بررسی و تحلیل حساسیت شاخص‌های اقتصادی به کاهش درآمدهای طرح ارائه‌شده است.

جدول ۱۵: نتایج تحلیل حساسیت شاخص‌های اقتصادی طرح نسبت به کاهش درآمدها (میلیون ریال)

تغییرات درآمدها	B-C	$\frac{B}{C}$	IRR
درآمد معادل مقادیر محاسبه‌شده	۳۷۵۰۴۴۱	۱/۲۱	۲۲/۷
کاهش درآمد به میزان ۱۰ درصد مقادیر محاسبه‌شده (سرمایه‌ای و بهره‌برداری)	۱۵۷۶۵۹۰	۱/۰۹	۱۳/۸
کاهش درآمد به میزان ۲۰ درصد مقادیر محاسبه‌شده (سرمایه‌ای و بهره‌برداری)	-۵۹۷۲۵۰	۰/۹۷	۱۰/۹
کاهش درآمد به میزان ۳۰ درصد مقادیر محاسبه‌شده (سرمایه‌ای و بهره‌برداری)	-۲۷۷۱۱۱۱	۰/۸۵	--

منبع: محاسبات تحقیق

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای اقتصادی گزینه مورد بررسی به این پارامتر نشان می‌دهد که کاهش درآمدهای طرح تا ۱۰ درصد، اگر چه موجب کاهش شاخص‌های اقتصادی آن می‌شود، لیکن در این گام کاهش درآمدها نیز شاخص‌های اقتصادی مثبت بوده و اجرای طرح حتی با کاهش ۱۰ درصدی کل درآمدها دارای توجیه اقتصادی خواهد بود.

کاهش ۲۰ و ۳۰ درصدی درآمدها در این گزینه موجب منفی شدن ارزش خالص فعلی طرح‌ها و کاهش نسبت سود به هزینه به کمتر از یک در آن‌ها خواهد شد.

۶-۳. هزینه آلاینده‌های محیطزیست

یکی از پارامترهای مؤثر در ارزیابی اقتصادی گزینه‌ها که ممکن است بر شاخص‌های اقتصادی پروژه تأثیرگذار باشد، هزینه آلاینده‌های محیطزیست در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و گازی است. در برآورد شاخص‌های اقتصادی، مقادیر این هزینه‌ها برای نیروگاه‌های سیکل ترکیبی (برق مصرفی) ۷۶۹ ریال و در نیروگاه‌های گازی (برق تولیدی) ۹۱۷ ریال بر کیلووات ساعت منظور شده است (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳).

هرگونه عدم قطعیت در این هزینه نیز ممکن است شاخص‌های اقتصادی گزینه‌های منتخب را تغییر دهد. به منظور ارزیابی تأثیر تغییر این هزینه‌ها در شاخص‌های اقتصادی، تحلیل شاخص‌های اقتصادی طرح تلمبه ذخیره‌ای پیرتقی با سه فرض حذف هزینه‌های آلاینده‌های محیطزیست و افزایش حدود ۵۰ و ۱۰۰ درصدی آن‌ها نیز محاسبه‌شده است. در جدول زیر، نتایج بررسی و تحلیل حساسیت شاخص‌های اقتصادی به تغییر هزینه‌های آلاینده‌های محیطزیست ارائه‌شده است.

جدول ۱۶: نتایج تحلیل حساسیت شاخص‌های اقتصادی طرح نسبت به تغییرات هزینه آلاینده‌ها (میلیون ریال)

تغییرات هزینه آلاینده‌ها	B-C	$\frac{B}{C}$	IRR
بدون منظور کردن هزینه آلاینده‌های محیطزیست	۳۳۷۶۶۶۰	۱/۱۹	۲۱/۵
هزینه آلاینده‌ها- سیکل ترکیبی ۷۶۹ و گازی ۹۱۷ ریال بر کیلووات ساعت	۳۷۵۰۴۴۱	۱/۲۱	۲۲/۷
هزینه آلاینده‌ها- سیکل ترکیبی ۱۱۵۴ و گازی ۱۳۷۶ ریال بر کیلووات ساعت	۳۹۳۷۳۳۱	۱/۲۲	۲۳/۳
هزینه آلاینده‌ها- سیکل ترکیبی ۸۴۶ و گازی ۱۰۰۸ ریال بر کیلووات ساعت	۴۱۲۴۲۲۲	۱/۲۳	۲۳/۹

منبع: محاسبات تحقیق

بررسی نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای اقتصادی گزینه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که حذف هزینه آلاینده‌های محیطزیست و یا افزایش آن‌ها تا ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیز در هر یک از ساختگاه‌ها

Archive of SID

www.SID.ir

تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص‌های اقتصادی آنها ندارد؛ بنابراین می‌توان گفت که پارامترهای اقتصادی این پروژه حساسیت قابل‌توجهی به این پارامتر دخیل در محاسبات ندارند.

۷. نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج استخراج‌شده مقادیر نسبت فایده به هزینه $(\frac{B}{C})$ در گزینه‌های مختلف بین حداقل ۱/۱۴ در گزینه ۴ میلیون مترمکعب تا حداکثر ۱/۲۶ در گزینه ۱/۵ میلیون مترمکعب تغییر می‌نمایند. مقدار این شاخص نشان‌دهنده اقتصادی بودن یا غیراقتصادی بودن هر گزینه است و استفاده از آن به عنوان معیار گزینه برتر از بین گزینه‌های اقتصادی توصیه نمی‌شود.

نتایج به‌دست آمده مقادیر ارزش خالص فعلی کل طرح (B-C) در گزینه‌های مختلف بین حداقل ۲۲۱۷ میلیارد ریال در گزینه ۱/۵ میلیون مترمکعب تا حداکثر ۳۷۵۰ میلیارد ریال در گزینه ۳ میلیون مترمکعب تغییر می‌نمایند. مقدار این شاخص نشان‌دهنده درآمد خالص طرح در دوران بهره‌برداری می‌باشد و معیار مناسبی برای انتخاب گزینه برتر از بین گزینه‌های اقتصادی می‌باشد.

مقادیر ارزش هزینه تمام‌شده هر کیلووات برق تولیدی در گزینه‌های مختلف بین حداقل ۴۲۴۸ ریال در گزینه ۲ میلیون مترمکعب تا حداکثر ۴۳۰۲ ریال در گزینه ۴ میلیون مترمکعب تغییر می‌نمایند. مقدار این شاخص نشان‌دهنده هزینه تولید هر کیلووات برق در هر حجم مخزن بالا می‌باشد.

آخرین معیار موردبررسی برای مقایسه گزینه‌ها مقادیر نرخ بازگشت سرمایه در گزینه‌های مختلف است. این معیار مستقل از نرخ بهره بوده و بین حداقل ۱۶ درصد در گزینه ۴ میلیون مترمکعب تا حداکثر ۲۹/۴ در گزینه ۱/۵ میلیون مترمکعب تغییر می‌نمایند. مقدار این شاخص نشان‌دهنده نرخ بازگشت سرمایه در هر حجم مخزن بالا می‌باشد.

با بررسی یافته‌های تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که با در نظر گرفتن معیارهای مختلف اقتصادی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها، نتایج متفاوتی نیز به دست خواهد آمد. با این حال دو معیار برق تولیدی و مقادیر خالص ارزش فعلی (سود خالص ناشی از اجرای طرح) و نرخ بازگشت سرمایه (درصد سوددهی پروژه) می‌توانند معیارهای مناسبی برای اولویت‌بندی طرح‌ها باشند. از سوی دیگر بایستی به این نکته نیز توجه داشت که این شاخص‌ها حاصل برآورد و محاسبه پارامترهای مهمی از هزینه‌ها و درآمدهای هر گزینه است که تغییر هریک از آن‌ها ممکن است ترتیب این اولویت‌بندی‌ها را تغییر دهد.

بنابراین با در نظر گرفتن معیارهای فوق و نتایج ارزیابی اقتصادی احجام مختلف مخزن برای نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای پیرتقی، گزینه ۳ میلیون مترمکعب پیشنهاد و توصیه می‌شود...

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای اقتصادی نسبت به تغییرات نرخ بهره نشان می‌دهد که با افزایش نرخ بهره اگرچه پارامترهای اقتصادی کاهش می‌یابد اما همچنان حجم مخزن ۳ میلیون مترمکعب دارای توجیه اقتصادی است.

افزایش هزینه‌های طرح تا حدود ۲۰ درصد، اگرچه موجب کاهش شاخص‌های اقتصادی آن می‌شود، لیکن در این گام افزایش هزینه‌ها نیز، شاخص‌های اقتصادی مثبت بوده و اجرای طرح حتی با افزایش ۲۰ درصدی کل هزینه‌ها دارای توجیه اقتصادی خواهد بود. با این حال افزایش ۳۰ درصدی هزینه‌ها در هر این گزینه موجب منفی شدن ارزش خالص فعلی طرح‌ها و کاهش نسبت سود به هزینه به کمتر از یک در آن خواهد شد.

بررسی نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای اقتصادی تغییرات درآمدها نشان می‌دهد که کاهش درآمدهای طرح تا ۱۰ درصد، اگرچه موجب کاهش شاخص‌های اقتصادی آن می‌شود، لیکن در این گام کاهش درآمدها نیز شاخص‌های اقتصادی مثبت بوده و اجرای طرح حتی با کاهش ۱۰ درصدی کل درآمدها دارای توجیه اقتصادی خواهد بود.

بررسی نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای اقتصادی تغییرات هزینه آلاینده محیطزیست نیز نشان می‌دهد که حذف هزینه آلاینده‌های محیطزیست و یا افزایش آن‌ها تا ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیز در هر یک از ساختگاه‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص‌های اقتصادی آن‌ها ندارد؛ بنابراین می‌توان گفت که پارامترهای اقتصادی این پروژه حساسیت قابل‌توجهی به این پارامتر دخیل در محاسبات ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

اصلانی، معصومه(شهلا) و موحد، محسن (۱۳۸۲)؛ اثرات احداث نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در بهبود عملکرد سیستم تولید برق کشور، کنفرانس ملی نیروگاه‌های آبی کشور، ۶ و ۷ خردادماه ۱۳۸۲، تهران.

بانک مرکزی (۱۳۹۳)؛ آمارهای اقتصادی، قیمت نرخ ارز.

رحیمی، نسترن؛ کارگری، نرگس؛ صمدیار، حسن و نیکخواه منفرد، محمد (۱۳۹۳)؛ تعیین هزینه‌های اجتماعی (خارجی) انتشار SO_2، NOX و CO_2 در بخش انرژی کشور (نیروگاه‌ها)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره شانزدهم، شماره سه، پائیز.

شریعت‌زاده، سید مجید (۱۳۹۲)؛ بهینه‌سازی بهـره‌برداری از نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سیاه بیشه به کمک روش برنامه‌ریزی پویای تصادفی، بیست و هشتمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران.

موحد، محسن (۱۳۸۶)؛ ارزیابی اقتصادی نیروگاه تلمبه–ذخیره‌ای سیاه بیشه، بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران.

نوشاد، بهرام؛ گودرزی، مینا؛ رزاز، مرتضی و سیف السادات، سیدقدرت اله (۱۳۹۰)؛ تأثیر احداث نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای و نیروگاه آبی کوچک به‌طور همزمان بر قابلیت اطمینان شبکه سراسری برق ایران، سومین کنفرانس سراسری اصلاح و بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی، ۲ و ۳ اسفندماه ۱۳۹۰، شهرک نفت، مجتمع امام رضا (ع).

توانیر (۱۳۹۰)؛ قیمت برق بر حسب بخش‌های مختلف. www.tavanir.org.ir

Hadjipaschalis, E.; Poullikkas, A. and Efthimiou, V. (2009); Overview of current and future energy storage technologies for electrix power applicatios, Renewable and Sustainablr Energy Reviews, 1513-1522.

Garcia-Gonzalez, J.; Moraga, R. and Matersand, M. (2008); Stochastic Joint optimization of wind generation and pumped-storage units in an electricity market, IEEE Trans, Power System, vol. 23, 460-467.

Golmer, R.; Uwe, G. and Ridiger, S. (2011); A note on second-order stochastic dominance constrains induced by mixed-integer linear recourse, Mathematical Prigramming 126.1, 179-190.

Ingram, E. (2009); Pumped storage development activity snapshots, Hydro Review, December, 12-25.

Nowak, M. P.; Rudiger, S. and Markus, W. (2005); A stochastic integer programming model for incorporating day-ahead trading of electricity into hydro-thermal unit commitment, Optimization and Engineering, vol 6.2, 163-176.

Ruiwei, J. and Jianhui Wang and Yongpei, G. (2012); Robust Unit Commitment with Wind Power and Pumped Storage Hydro, IEEE Trans Power System, vol. 27, 800-810.

Xiaoyu, H. and et al (2012); Multi-Objective Optimal Design of Wind/PV/Pumped-Storage System Based on GA, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Asia Pacific, IEEE.

Archive of SID

www.SID.ir

Economic assessment of the construction of hydroelectric power plant (pumped-storage) in Iranian reservoir dams: case study of Pirtaghi damandpower plant

Abstract

Nowadays, the optimal and cost effective design and operation in power industry has always been of interest and in development and operation of the power industry, economic distribution of the load among fossil fuel power plants and minimizing operation cost are considered among main goals. One of the issues considered in load economic distribution is coordination between plants. Pump – storage power plants are of the type of hydroelectric power plants with motor function transfer energy from low-consumption hours to high-consumption hours. As a result, unusable and produced electric power surplus in off-peak hours is converted to potential energy.

This study has economically examined the construction of pumped-storage power plant next to the Pir-Taghi reservoir dam using the measures of engineering economics in 2014.Forthispurpose, the four scenarios of reservoir capacity of 1.5,2, 3and4million cubic meters were used. Results indicated that the best case is the reservoir capacity of 3million cubic meters. The value of net present value of the project has varied in various cases from the minimum of 2217 billion Rials in the case of 1.5 million cubic meters up to 3750 billion Rials in the case of 3 million cubic meters.The value of this index is a proper criterion for selecting the preferred case among economic options. The values of finished expenseper kilowhat of generated electricity vary from a minimum of 4248 Rials in the case of 2 million cubic meters up to 4302 Rials in the case of 4 million cubic meters.

In addition, the results of sensitivity analysis of the economic parameters to changes in the interest rate show that although by increasing interest rate the value of economic parameters is decreased, but the reservoir capacity of 3 million cubic meters has still economic justification. The results of sensitivity analysis of the economic parameters to the cost of the environment pollutants indicate that the elimination of the costs of the environment pollutants or increase them by 50% and 100% in each of the sites will not have a significant impact on their economic indicators.

Keywords: pumped-storage power plant; hydroelectric power plant; economic assessment; dam

Archive of SID

www.SID.ir