

پتانسیل یابی و امکان سنجی نیروگاه های برق آبی با در نظر گرفتن اثر جغرافیا و اقلیم سایت بر هزینه ی تجهیزات الکتریکی، مطالعه ی موردی خطوط انتقال آب استان کرمان

مرضیه ثمره هاشمی^۱*

احسان دریاییگی^۲

چکیده

با توجه به اهمیت موضوع انرژی و آب، مدیریت پتانسیل جریان های آبی مبتنی بر تولید انرژی الکتریکی، در سال های اخیر بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله، پتانسیل یابی انرژی برق آبی در دو بعد فنی و اقتصادی برای مسیرهای انتقال آب از سد صفارود به کرمان، از سد نساء به بم و خروجی کشاورزی و صنعت از سد بافت انجام شده است. در بخش فنی با در نظر گرفتن شرایط بهره برداری از سامانه ی آبی، از نرم افزار واترجمز برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی استفاده شده است و در انتخاب تجهیزات الکتریکی اصلی، شرایط جغرافیایی سایت نیز در نظر گرفته می شود. در بخش اقتصادی با توجه به آخرین قوانین معاملات انرژی در کشور و مصوبات مربوطه، همچنین هزینه های سرمایه گذاری، مطالعات اقتصادی از دیدگاه سرمایه گذار انجام شده است. همچنین، با توجه به شرایط اقتصادی و فنی، الگویی مناسب در راستای افزایش سرمایه پذیری و اجرای طرح مربوطه، پیشنهاد شده است تا در نهایت، بهره برداری از آن بتواند نه تنها در چرخه ی اقتصادی و انرژی کشور وارد شود، بلکه منافی برای سرمایه پذیر (شرکت آب منطقه ای کرمان) به همراه داشته باشد. این منافع، هم می تواند منجر به بهره مندی مستقیم مالی از حقابه های جریان آب شود و هم شامل بهره مندی غیرمستقیم از انرژی برق تولیدی باشد.

واژه های کلیدی

نیروی برق آبی، انتقال آب، نرم افزار واترجمز، تنزل توان الکتریکی نامی، مطالعات اقتصادی.

^۱ استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، samare@uk.ac.ir

^۲ واحد تحقیقات و توسعه شرکت دانش بنیان الکترومغناطیس شارک

علمی-پژوهشی

مقدمه

انرژی برق یا هیدروالکتریسیته، اصطلاحی است که به انرژی الکتریکی تولیدی از نیروی آب اطلاق می‌شود. تولید انرژی الکتریکی توسط انرژی نهفته در آب، یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تولید انرژی می‌باشد. یونانیان باستان از انرژی آب برای آسیاب کردن گندم استفاده می‌کردند. در اوایل قرن نوزدهم، آمریکایی‌ها و اروپایی‌ها از چرخ‌های آبی جهت تأمین توان مورد نیاز ماشین‌های خود استفاده می‌کردند. در اواخر قرن نوزدهم، انرژی آب در حال ریزش، جهت تولید توان الکتریکی مورد استفاده قرار گرفت و اولین نیروگاه برق آبی دنیا در سال ۱۸۸۳ در آبشار نیاگارا ساخته شد. در این بین، با بروز بحران انرژی در دهه ۱۹۷۰ تقاضا برای منابع جایگزین انرژی‌های فسیلی، همچون انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک افزایش یافت و نیروگاه‌های برق آبی مورد توجه قرار گرفتند (انواری^۱ و همکاران ۱۴۰۰). در این راستا استفاده از انرژی موجود در آب رودخانه‌ها و خطوط انتقال آب، همانند بسیاری از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر از قبیل انرژی خورشیدی و انرژی باد مورد توجه بیشتری قرار گرفت. از سوی دیگر طرح‌های انتقال آب در ایران با توجه به کمبود منابع آبی در بخش‌های زیادی از کشور، مورد توجه قرار گرفته‌اند. آنچه که در مورد این طرح‌ها حائز اهمیت است توجه به ابعاد اقتصادی مسأله در کنار ابعاد فنی آن است. یک گزینه‌ی هوشمندانه، برای بهینه کردن اقتصادی طرح‌های انتقال آب، استفاده از انرژی آب جاری در خطوط انتقال آب است. به عبارت دیگر با استفاده از انرژی آب در بخش‌های حرکت ثقلی در خطوط انتقال و تولید انرژی برق آبی به وسیله آن، می‌توان ابعاد اقتصادی طرح‌ها را بهینه نمود. علاوه بر ایجاد درآمد از تولید انرژی برق آبی، توجه به این نکته نیز ضروری است که قیمت انرژی در حال افزایش است؛ بنابراین در آینده، تقاضا برای انرژی‌های تجدیدپذیری چون برق آبی افزایش خواهد یافت (گریفین^۲، ۲۰۰۶). مسأله‌ی

بررسی وضعیت برق و انرژی در اقتصاد جوامع، نیز بسیار موثر است (اسلامی^۳ و همکاران، ۱۴۰۲). در نقاط مختلف دنیا نیز به این مسئله توجه خاصی شده است. در سال ۲۰۰۹، پتانسیل ایجاد تولید نیروگاه‌های برق آبی مقیاس کوچک در تمام نقاط آمریکا مورد بررسی قرار گرفت (کاسنیک^۴، ۲۰۱۰). در انگلستان نیز دستورالعملی برای استفاده از نیروی برق آبی در جنوب شرقی این کشور تهیه گردید (بکون و دیویسون^۵، ۲۰۰۴). اسکاتلند گزارش مشابهی در سال ۲۰۰۸ منتشر نمود (فارست و همکاران^۶، ۲۰۰۸). همچنین مطالعات زیادی در مورد ماهیت نیروی برق آبی، عوامل مؤثر در آن و اهمیت هر یک از آن عوامل انجام شده است که از آن جمله می‌توان به بررسی تجهیزات نیروی برق آبی، سیاست‌گذاری، اثرات زیست‌محیطی، ابعاد فنی و تکنولوژیکی، فاکتورهای موفقیت توسعه اشاره کرد که در مطالعات فالت^۷ و همکاران، ۲۰۲۳، گیمیر^۸ و همکاران، ۲۰۲۱، کورکی^۹ و همکاران، ۲۰۱۹، یانگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۶، براکن^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۴، کارجالاین و جارویکسکی^{۱۲}، ۲۰۱۰، پایش^{۱۳}، ۲۰۰۲ و اسمیت^{۱۴}، ۱۹۹۴ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای ایجاد نیروی برق آبی، دو فاکتور دبی و هد خالص، فاکتورهای اصلی هستند. اگرچه دبی، به دلیل اینکه بستگی به منبع ذخیره‌ی آب و میزان نیاز مقصد دارد، نمی‌تواند به صورت مستقل تحت کنترل قرار گیرد، اما فاکتور هد که وابسته به اختلاف ارتفاع مسیر، طول، قطر و جنس لوله (پوشش داخلی آن)، و مسیر لوله‌گذاری است می‌تواند به‌عنوان یک متغیر منعطف در طراحی مد نظر قرار گیرد. پوشش داخلی لوله‌های آبرسانی می‌تواند به عنوان یک معیار بسیار تعیین‌کننده در پتانسیل برق آبی باشد که توسط ثمره هاشمی (۱۳۹۸) به این مسئله پرداخته شده است.

⁸ Ghimire⁹ Kuriqi¹⁰ Yang¹¹ Bracken¹² Karjalainen and Järviskoski¹³ Paish¹⁴ Smith¹ Anvaari² Griffin³ Eslami⁴ Kosnik⁵ Bacon and Davison⁶ Forrest et al.⁷ Fäth

برای افزایش تولید متوسط سالانه، نوع توربین بهینه و مشخصات کلی بهره‌برداری از آن، می‌تواند منجر به افزایش سرمایه‌پذیری این طرح‌ها شود.

مواد و روش‌ها

مسیر انتقال آب (بخش مسیر ثقلی) از سد صفارود

سد صفا رود در فاصله ۱۸۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان و ۷ کیلومتری شهرستان رابر در نزدیکی روستای صفا واقع شده است. در واقع، هدف از جانمایی و ساخت این سد، تأمین آب آشامیدنی و صنعتی شهرهای کرمان و رابر و مهار سیلاب و روان آب‌های فصلی رودخانه‌های رودبر و رابر بوده است.

حرکت ثقلی آب از خروجی تونل تا شهر کرمان، جهت اجرای پروژه‌ی برق‌آبی، مورد ارزیابی قرار داده می‌شود. مشخصات این بخش در جدول (۱) و پلان کلی آن در شکل (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) مشخصات مسیر انتقال آب از سد صفا (بخش ثقلی)

طول مسیر ثقلی	۶۳ کیلومتر
جنس لوله	فولادی
قطر لوله (ثقلی) تا مخزن ۶۰۰۰	۱۲۰۰ میلی‌متر
از مخزن ۶۰۰۰ تا مخزن شماره ۶	۱۶۰۰ میلی‌متر
دبی هدف خط انتقال	۳ مترمکعب در ثانیه

از نظر اقتصادی، هزینه‌ی تجهیزات الکتریکی، بخش قابل توجهی از سرمایه‌گذاری این نیروگاه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد که این هزینه، ارتباط معناداری با سائز ادوات الکتریکی دارد. در این مورد، ارتفاع از سطح دریا و دمای سایت، به طور قابل توجهی در سائزینگ این تجهیزات، تأثیر می‌گذارند و مقوله‌ای به نام تنزل توان الکتریکی و حفاظت عایقی را پیش می‌کشد (استاندارد آی ای سی^۱، ۲۰۲۰، ۲۰۲۲)، که این مسأله‌ی مهم نیز در مقالات گذشته مطرح نشده است.

با توجه به بحران انرژی در دنیا، توجه به انرژی‌های تجدیدپذیری همچون برق‌آبی، بیش‌ازپیش مورد توجه قرار گرفته است، به‌گونه‌ای که قوانین حمایتی برای سرمایه‌گذاران این بخش، در اکثر کشورهای دنیا تصویب شده و در حال اجرا می‌باشند. به‌علاوه، از آنجا که حدوداً ۸۰٪ مصرف آب در صنعت ایران، صرف تولید برق حرارتی می‌شود، استفاده از انرژی‌های نو، اهمیت دوچندان پیدا خواهد کرد. تنها از منظر صرفه‌جویی معادل آب به ازای تولید هر مگاوات ساعت انرژی الکتریکی پاک، در کشور ایران حدود ۳۷۵ لیتر آب کمتر مصرف می‌شود. البته، در ایران همچنان نیروگاه‌هایی وجود دارند که برای این نرخ تولید، بیش از ۳۰۰۰ لیتر آب مصرف می‌کنند (عیسی پور^۲ و عابدی^۳، ۱۳۹۳).

با درنظرگرفتن طرح‌های انتقال آب در استان کرمان، پتانسیل‌یابی انرژی برق‌آبی، شامل مکان‌یابی بهینه و ظرفیت‌سنجی برای ۳ طرح اصلی، شامل طرح انتقال آب سد صفارود به شهر کرمان، سد نساء به شهرهای بم و بروات و خروجی‌های سد بافت، در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است. این موارد همراه با در نظرگرفتن مطالعات هیدرولیکی و رژیم‌های بهره‌برداری مبتنی بر پیش‌بینی‌های آبی منطقه، مورد بررسی قرار داده شده‌اند. همچنین جغرافیای مکان نصب نیروگاه با در نظر گرفتن المان‌های دمای محیط و ارتفاع از سطح دریا و ضریب مربوط به آنها در طراحی‌ها، لحاظ شده است. مطالعات انجام گرفته در این مقاله شامل انتخاب مناسب مکان نصب نیروگاه، ظرفیت حداکثری آن

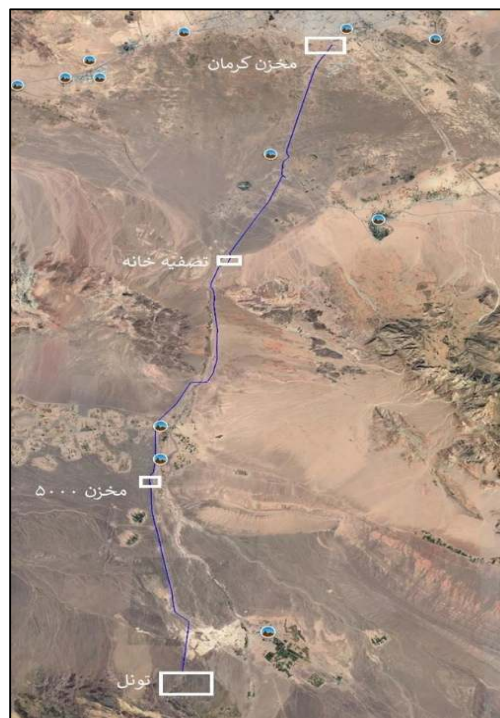
³ Abedi

¹ IEC

² Eisapour



شکل (۲) پلان سامانه‌ی خط انتقال آب از سد نساء بم



شکل (۱) پلان سامانه خط انتقال آب از سد صفارود (بخش حرکت ثقلی آب)

خروجی‌های سد بافت

سد مخزنی بافت در ۴ کیلومتری شمال شرقی شهر بافت واقع شده است. این سد، از نوع خاکی سنگریزه‌ای با هسته‌ی رسی است و به منظور تأمین آب شرب، مصارف صنعتی و تأمین آب کشاورزی شهرهای بافت و بزنجان و همچنین کنترل سیلاب‌ها و رواناب‌های فصلی رودخانه‌ی بافت، احداث شده است. این سد، شامل خروجی‌های کشاورزی، شرب و صنعتی است. سایر مشخصات مربوط به سد بافت، در جدول (۳) آمده است. همچنین پلان خروجی‌ها از سد بافت در شکل (۳) نشان داده شده است.

جدول (۳) مشخصات کلی سد بافت

نوع سد	سد سنگریزه‌ای ECRD
ارتفاع از روی پی	۶۵ متر
طول تاج	۱۱۶۰ متر
حجم مخزن	۴۰ میلیون مترمکعب
حجم بدنه	۲۷۰۰۰۰ مترمکعب
حجم تخلیه‌ی سرریز	۱۰۵۵ مترمکعب بر ثانیه
اراضی تحت پوشش	۸۵۰ هکتار

مسیر انتقال آب از سد نسا به شهرهای بم و بروات:

سد نساء بم نخستین و بزرگترین سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی (CFRD) در ایران است. این سد، در فاصله‌ی ۸۰ کیلومتری شهر بم و ۲۸۰ کیلومتری کرمان واقع شده است. حجم مفید مخزن سد ۱۶۸ میلیون مترمکعب و متوسط آورد سالانه‌ی آن، ۱۱۰ میلیون مترمکعب است. این سد، به منظور تأمین بخشی از آب کشاورزی، صنعتی و شرب شهرهای بم و بروات است. ۶ میلیون مترمکعب از آب سد، در صنعت، ۳۹ میلیون مترمکعب، به منظور تأمین آب شرب، ۴۲ میلیون مترمکعب آب در بخش کشاورزی و ۲۲ میلیون مترمکعب برای محیط زیست استفاده می‌شود. شکل (۲) پلان سامانه‌ی خط انتقال از سد نساء را نشان می‌دهد. بخش ثقلی مسیر که مشخصات آن در جدول (۲) آمده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول (۲) مشخصات مسیر انتقال آب از سد نسا (بخش ثقلی)

طول مسیر ثقلی	۳۶/۵ کیلومتر
جنس لوله	فولادی
قطر لوله (پمپاژ)	۱۲۰۰ میلیمتر
دبی هدف خط انتقال	۱/۴۴ مترمکعب در ثانیه

نیروگاه‌های برق آبی را بر حسب ظرفیت‌شان به دسته‌های میکرو، مینی، کوچک و بزرگ تقسیم‌بندی می‌کنند. هر چند در این زمینه توافق کلی وجود ندارد اما محدوده‌های ذکر شده در این مورد به یکدیگر نزدیک می‌باشند. به عنوان نمونه این طبقه‌بندی بر اساس استاندارد IEEE به صورت زیر می‌باشد (عنایتی^۲ و همکاران، ۱۳۸۴):

الف - نیروگاه‌های برق آبی مینی یا میکرو^۳: واحدهای مینی یا میکرو به واحدهای با خروجی توان کمتر از ۱۰۰ kw گفته می‌شود.

ب-نیروگاه‌های برق آبی کوچک^۴: واحدهای کوچک به واحدهای با خروجی کمتر از ۵MW گفته می‌شود.

توربین نیروگاه‌های آبی کوچک را می‌توان از هر کدام از انواع توربین‌های تجاری انتخاب کرد. در یک دسته‌بندی کلی، هیدروتوربین‌ها، به دو دسته توربین‌های عکس‌العملی و ضربه‌ای تقسیم می‌شوند که هر کدام از این انواع، نمونه‌های تجاری مختلفی دارند.

مهم‌ترین مسئله در احداث نیروگاه‌های برق آبی، تخمین توانمندی یک محل در تولید انرژی یا ظرفیت نصب نیروگاه است که با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود.

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \sigma}{1000} \quad (1)$$

که در آن P توان مکانیکی (نیروی تولید) بر حسب کیلووات برق تولیدی، ρ وزن مخصوص آب، g شتاب ثقل زمین، Q آبدهی رودخانه یا دبی خط انتقال بر حسب مترمکعب بر ثانیه، H ارتفاع مؤثر یا خالص آب بر حسب متر و σ راندمان کل ژنراتور، ترانسفورماتور قدرت، و توربین بوده که از حاصل ضرب راندمان ترانس قدرت (σ_{Te})، ژنراتور (σ_G) در راندمان توربین (σ_{To}) به دست می‌آید.

بنابراین:

$$P = 9.8 Q \cdot H \cdot \sigma \quad (2)$$

مقادیر σ_{Te} ، σ_G ، و σ_{To} به ترتیب حدود ۹۶٪، ۹۳٪، و ۹۰٪ می‌باشد و مقدار σ برابر با ۸۰٪ و رابطه (۲) به شکل رابطه (۳) ساده می‌گردد.

$$P = 7.84 Q \cdot H \quad (3)$$



شکل (۳) پلان (تصاویر ماهواره ای) خروجی شرب، صنعت و کشاورزی از سد بافت

طراحی نیروگاه‌های برق آبی کوچک: ایده نیروگاه‌های کوچک در مواردی استفاده می‌شود که جریان آب یا سایر مایعات دیگر مانند خروجی فاضلاب یا جریان آب شور و ارتفاع (هد) مناسبی هم موجود باشد. واحدها ممکن است بسته به شرایط فیزیکی سایت، شفت‌هایی به صورت عمودی، افقی و یا مورب داشته باشند. در حالت کلی، تفاوتی بین تجهیزات کنترلی واحدها با شفت افقی و عمودی وجود ندارد. تجهیزات موردنیاز، کاملاً به شرایط کاری پروژه موردنظر بستگی دارند (آی تریپل ای^۱، ۱۹۸۸).

در بعضی از خطوط آبرسانی ثقیلی، نیازی به استفاده از همه‌ی انرژی پتانسیل در دسترس، جهت انتقال آب نبوده و مازاد انرژی موردنیاز توسط تجهیزات اتلاف انرژی، نظیر شیرهای فشارشکن مستهلک می‌گردد. در این گونه خطوط انتقال، می‌توان با استفاده از نیروگاه‌های آبی، این انرژی مازاد را بازیافت نموده و انرژی الکتریکی موردنیاز تجهیزات مسیر و یا حتی برق مصرفی روستاهای مسیر خط انتقال را تأمین کرد که معمولاً این امکان در مسیرهای دارای توپوگرافی با شیب تند وجود دارد.

³ Micro/Mini Hydro Electric Power Plant

⁴ Small Hydro Electric Power Plant

¹ IEEE

² Enayati

میزان دسترسی و هزینه مواد، نرخ مبادله دلار و خرید تجهیزات، در نهایت هزینه حمل و نقل؛ نوساناتی است که ممکن است طی دوره زمانی در هزینه حاصل شود. باتوجه به موارد مزبور، رابطه‌ی شماره (۵) به صورت زیر خواهد بود:

$$C_k = L.K (P.H^{0.3})^{0.83} \text{ [\$]} \quad (5)$$

که در آن، L برای شرق آسیا ۰/۷ می‌باشد (کوبینفن و همکاران^۲، ۲۰۱۲)؛ لذا باتوجه به روابط (۳) و (۵)، متوسط هزینه‌ی تقریبی احداث نیروگاه آبی کوچک در ایران را می‌توان به صورت رابطه (۶) در نظر گرفت:

$$C_k = 91449(Q.H^{0.7})^{0.82} \text{ [\$]} \quad (6)$$

که در این رابطه، C_k مجموع هزینه‌های ساختمانی و تجهیزات الکترومکانیکال بر حسب دلار آمریکا، Q دبی خط انتقال بر حسب m^3/s و H ارتفاع مؤثر یا خالص آب بر حسب m می‌باشد. با توجه به تعیین بهای آزاد برق در قانون بودجه‌ی سال ۱۴۰۲ به میزان ۱۸۰۰۰ ریال (۰.۳۷ دلار) به ازای هر کیلووات ساعت و با در نظر گرفتن دوره‌ی بهره‌برداری ۲۰ ساله از نیروگاه‌های برق آبی کوچک، می‌توان میزان سود به هزینه را برای هر کدام از نیروگاه‌های مورد بررسی، محاسبه نمود. از آنجا که این نیروگاه‌ها، در مسیر لوله‌ی آبرسانی، نصب خواهند شد و با فرض اینکه جریان آب در این خطوط، در تمام مواقع برقرار خواهد بود (به استثنای موارد اضطراری که جریان آب به علی مانند شکستن و یا تعمیرات خط لوله، قطع می‌گردد)، پیش‌بینی می‌شود که واحد نصب شده به طور شبانه‌روزی و در اکثر مواقع سال کار خواهد کرد. مسلم است که این واحد گاهی احتیاج به سرویس و یا تعمیرات داشته و در نتیجه متوقف و از خط خارج خواهد شد. با در نظر گرفتن اینکه، اصولاً زمانی که برای سرویس و یا تعمیرات توربین‌های آبی در نظر گرفته می‌شود معمولاً کم است، کل زمان توقف واحد (بدون در نظر گرفتن مواردی که به علت عدم وجود جریان آب در لوله واحد متوقف خواهد بود) حدود ۳ هفته در سال بیشتر نخواهد بود. همچنین، هزینه‌های سالانه تعمیر و نگهداری، معادل ۲٪ از سرمایه اولیه در نظر گرفته می‌شود. مهم‌ترین مسئله تأثیرگذار در بخش سرمایه‌گذاری، هزینه‌های اولیه

مطابق رابطه‌ی (۳)، دو عامل مؤثر در تولید انرژی، مقدار دبی و ارتفاع مؤثر می‌باشند. در نیروگاه‌های کوچک آبی که بر روی خطوط انتقال آب نصب می‌گردند به طور معمول، ارتفاع و دبی برای هر جایگاه ثابت می‌باشند.

ارزیابی اقتصادی: در ارزیابی نیروگاه‌های آبی کوچک، هزینه و درآمدهای طرح، مدت زمان بازگشت سرمایه، قیمت انرژی الکتریکی تولیدی و نرخ بازده داخلی سرمایه، شاخص‌های نهایی برای مقایسه‌ی کامل مؤلفه‌های مختلف می‌باشند. جهت تعیین بهای هر کیلووات ساعت انرژی استحصال‌ی از نیروگاه برق آبی کوچک، هزینه‌ی اولیه سرمایه‌گذاری از عوامل تأثیرگذار اصلی است که باید به طور مناسب پیش‌بینی شود.

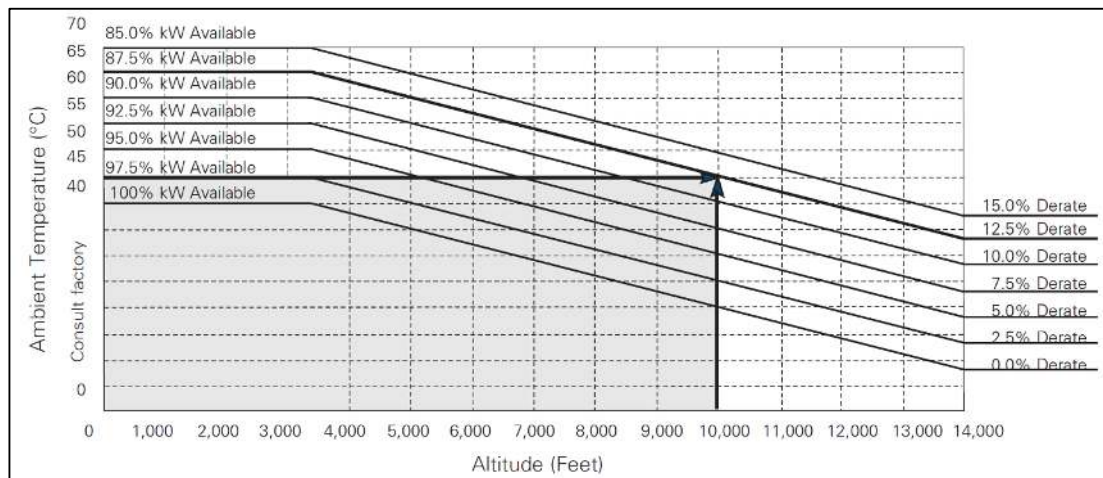
در حال حاضر، اطلاعات جامع از هزینه‌ی این نوع نیروگاه وجود ندارد، اما محاسبات اقتصادی به عمل آمده چندین نیروگاه در حال بهره‌برداری و مطالعه‌ی بیش از یک صد نیروگاه و همچنین تجربه‌ی کشورهای مختلف جهان مبنای محاسبات قرار گرفته است؛ رابطه‌ی (۴)، هزینه متوسط احداث پروژه‌های نیروگاه آبی کوچک مربوط به کشورهای شرق آسیا، کانادا و آمریکا را تخمین می‌زند (کوبینفن و همکاران^۱، ۲۰۱۲).

$$C_k = K (P.H^{0.3})^{0.83} \text{ [\$]} \quad (4)$$

که در آن، C_k هزینه‌ی احداث نیروگاه، بر حسب دلار، P ظرفیت جایگاه، بر حسب کیلووات، H هد جایگاه به متر و K ضریب تجربی است که از اجرای پروژه‌های نیروگاه‌های آبی کوچک در آمریکا و کانادا استخراج گردیده و مقدار آن ۲۲۲۰۰ منظور می‌شود. با توجه به اینکه میزان تغییرات هزینه‌ی کارهای ساختمانی در هر کشور نسبت به کشورهای دیگر، متغیر می‌باشد برای تخمین میزان هزینه‌های ساختمانی کشورها، نسبت به کشور مبنا از ضریب مناسبی استفاده می‌شود که مقدار آن در ایران، ۹۱٪ آمریکا و در شرق آسیا، ۶۰٪ آمریکا می‌باشد. علاوه بر آن عوامل زیر نیز در هزینه‌ی تمام شده نیروگاه آبی کوچک در کشورهای مختلف دخیل می‌باشد؛ میزان دسترسی و هزینه نیروی انسانی، شرایط جغرافیایی و مشکلات دسترسی به محل،

نیروگاه‌های برق آبی به این موضوع، توجه زیادی نشده است، در این مقاله، تأثیر آن در اندازه‌ی ژنراتور پیشنهادی لحاظ می‌گردد. این معیار می‌تواند در شرایط مشابه ظرفیت و مشخصات هیدرولیکی دو سایت، یکی از عوامل مهم در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری باشد. هرچه ضرایب تعدیل به ۱ نزدیک‌تر باشد، ظرفیت نامی استاندارد و ظرفیت مورد نیاز شرایط سایت به هم نزدیک‌تر خواهند بود.

تجهیزات می‌باشد. به عنوان مثال، هزینه‌ی تجهیزات یک نیروگاه در ارتفاع ۲۵۰۰ متر با همان نیروگاه در ارتفاع ۱۵۰۰ متر متفاوت می‌باشد. بنابراین، در این مطالعه، ضرایب منطقه‌ای مربوط به تجهیزات نیز لحاظ می‌گردد تا نتیجه‌ی سرمایه‌گذاری و تحلیل اقتصادی آن، واقع بینانه‌تر باشد شکل (۴)، نمودار مربوط به اصلاح توان تجهیزات الکتریکی نسبت به ارتفاع و دمای حداکثر محیط را نشان می‌دهد. هرچند تا امروز در مقالات اقتصادی و تخمین هزینه‌های



شکل (۴) نمودار اصلاح توان تجهیزات توان الکتریکی نسبت به ارتفاع و دمای حداکثر محیط

محاسبه می‌شوند. هزینه‌های ثابت، هزینه‌هایی هستند که به حجم تولید ارتباطی نداشته ولی هزینه‌های متغیر به میزان تولید وابسته هستند. رابطه‌ی ریاضی محاسبه سود به صورت رابطه‌ی (۷) قابل ارائه است (گاردون و انگ متغیر، می‌توان از حاصل ضرب مقدار فروش و هزینه‌ی متغیر تولید هر واحد (۷) به صورت رابطه‌ی (۱۱) استفاده کرد:

$$V_C = v \cdot Q \quad (11)$$

در نتیجه، الگوی محاسبات سود به صورت رابطه (۱۲) بازتعریف می‌شود:

$$\pi = P \cdot Q - (F_C - v \cdot Q) \quad (12)$$

همچنین، تولید سربه‌سر، به معنای حداقل نرخ تولید و فروش، به صورت رابطه‌ی (۱۳) قابل تعریف است:

$$Q = \frac{F_C}{P-v} \quad (13)$$

محاسبات و معیارهای اقتصادی

در الگوی سود، درآمد از حاصل ضرب مقدار در قیمت فروش تعیین شده و هزینه‌ها نیز از مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر (۲۰۰۳،^۱):

$$\pi = T_R - T_C \quad (7)$$

در اینجا π ، T_R و T_C به ترتیب بیانگر میزان سود، درآمد کل و هزینه کل هستند. درآمد و هزینه کل نیز به صورت رابطه‌های (۸) و (۹) قابل محاسبه می‌باشد:

$$T_R = P \cdot Q \quad (8)$$

$$T_C = F_C + V_C \quad (9)$$

که در آن، P قیمت فروش، Q مقدار فروش، F_C هزینه ثابت و V_C هزینه‌های متغیر هستند. برای محاسبه هزینه‌های

¹ Gardon and Eng

در مجموع، وقتی NPV مورد نظر بیشتر از صفر است، سرمایه‌گذاری سودده خواهد بود. وقتی NPV کمتر از صفر است، سرمایه سودی نخواهد داشت. شایان ذکر است ارزیابی‌های PV و NPV به میزان دقت در تخمین‌هایی که زده می‌شود، بستگی دارند و تغییرات در نرخ بهره، می‌تواند به طور قابل توجهی روی نتیجه، تأثیر بگذارد.

نرخ بازده داخلی

یک روش متداول دیگر، برای ارزیابی سرمایه‌گذاری‌ها، عبارت است از محاسبه‌ی نرخ بازده داخلی (IRR) که روش جریان نقدی تنزیل شده هم نامیده می‌شود. ضرورتاً IRR نرخ‌ی است که در آن NPV مربوط به یک سرمایه‌گذاری، برابر صفر است. معمولاً IRR به صورت درصد بیان می‌شود و اگر بیشتر از نرخ بازده در سرمایه‌گذاری‌های دیگر باشد، به این معنی است که ممکن است این سرمایه‌گذاری ارزش انتخاب و شرکت در آن را داشته باشد.

این روش در بین سرمایه‌گذارانی محبوب است که می‌خواهند از طریق سرمایه‌گذاری‌شان به نرخ درآمد مشخصی دست پیدا کنند. یک محاسبه‌ی سریع نشان می‌دهد که یک سرمایه‌گذاری خاص، چه نرخ بازدهی را طی یک دوره‌ی زمانی مشخص به ارمغان می‌آورد. نرخ بازدهی داخلی از حل معادله غیر خطی زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$C_0 = \sum \frac{C_t}{(1+IRR)^t} \quad (16)$$

در فرمول NPV یا همان خالص ارزش فعلی، زمانی که $NPV=0$ باشد، IRR جایگزین r صورت می‌شود.

معیارهای اصلی در پتانسیل‌سنجی پروژه‌های برق آبی

برای پتانسیل‌سنجی یک طرح برق آبی، نیاز به بررسی ابعاد مشخصی از مسئله است که عبارتند از: هد، دبی، ابعاد عمرانی (سد، مسیر انتقال آب، ساختمان نیروگاه)، ابعاد انتقال برق، محدودیت‌های محیط‌زیست و کیفیت آب. در معیارهای مزبور، دو مورد اول (هد و دبی) مهم‌ترین عوامل برای اجرای پروژه‌های تولید انرژی مبتنی بر نیروگاه برق آبی می‌باشند و معیارهای دیگر، عمدتاً برای اقتصادی‌تر کردن پروژه، مورد مطالعه و ارزیابی قرار می‌گیرند. البته مبحث محیط‌زیست نیز می‌تواند یکی از عوامل تصمیم‌گیری مهم تلقی شود. در برخی موارد، مسیرهای عبور آب، می‌تواند

در این میان، معیارهای سرمایه‌گذاری نیز می‌توانند به شرح زیر تعریف شوند که بر اساس آنها می‌توان نسبت به سرمایه‌گذاری در یک پروژه تصمیم‌گیری نمود:

- ارزش فعلی (PV)
- ارزش فعلی خالص (NPV)
- نرخ بازده داخلی (IRR)

در واقع، این معیارها، پایه‌های تصمیمات سرمایه‌گذاری هستند.

ارزش فعلی (PV - Present Value)

ارزش فعلی (PV) ارزش کنونی میزان پولی است که در آینده دریافت می‌شود. از آن برای پیش‌بینی درآمدهای آینده از یک سرمایه‌گذاری بالقوه، به پول امروز، استفاده می‌شود. برای محاسبه‌ی PV به نرخ بهره نیاز است. نرخ بهره نرخى در نظر گرفته می‌شود که با گذاشتن سرمایه در بانک به دست خواهد آمد و از رابطه‌ی (۱۴) محاسبه خواهد شد.

$$PV = \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (14)$$

C_t : جریان نقدینگی (درآمد) t سال آینده

t : تعداد دوره‌ها (مثلاً برای ۵ سال، $t=5$).

r : نرخ درآمد به صورت کسر

نرخ بازده به کار رفته برای محاسبه‌ی نرخ تنزیل، اغلب هزینه‌ی فرصت سرمایه نامیده می‌شود. هزینه‌ی فرصت عبارت است از هزینه‌ی سرمایه‌گذاری در مقایسه با سرمایه‌گذاری دیگر. اگر سرمایه‌ی «الف» خریداری شود، پس سرمایه‌ی «ب» خریداری نمی‌شود، بنابراین هزینه‌ی فرصت، تفاوت بین درآمد واقعی سرمایه‌ی «ب» و درآمد واقعی سرمایه‌ی «الف» است.

ارزش خالص فعلی

ارزش خالص فعلی (NPV) در سرمایه‌گذاری، یعنی تفاوت بین هزینه برای شروع سرمایه‌گذاری و ارزش کنونی تمام جریان‌های درآمدی که از آن سرمایه‌گذاری ایجاد می‌شود. NPV به صورت رابطه‌ی (۱۵) محاسبه می‌شود:

$$NPV = \sum \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (15)$$

PV = ارزش کنونی

C_0 = هزینه‌ی سرمایه‌گذاری شده

تخمین زده می‌شود، ولی تکنولوژی‌های امروزی راندمان‌های بالاتری را نیز در حدود ۸۵٪ نیز دارا خواهند بود. همچنین،

شرایط طراحی (متوسط)	قطر لوله: ۱۲۰۰ mm لاینینگ: ملات ماسه سیمان
۹۰۱۲۳۶۹	برآورد سرمایه اولیه (\$)
۵۷۰۹۶۵	تولید در سال (MWh)
۶۶۱۷	توان تولیدی خالص (راندمان کل ۸۰٪)
۸۲۷۱	انرژی قابل دسترس (KW)
۱۹۰	افت هد (m)
۲	دبی متوسط (m ³ /s)
۶۵	فاصله طولی (km)
۶۱۲	هد ناخالص (m)

در بحث مطالعات اقتصادی، با توجه به شرایط کنونی و شناور اقتصاد کشور، برای آیت‌های اقتصادی مشخص، ارزیابی و محاسبه انجام شده است. در این راستا، با توجه به مصوبه‌ی ساتبا (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق)^۲، کیلووات خرید تضمینی نیروگاه‌های موضوع تحقیق، معادل ۱۸۰۰۰ ریال بر کیلووات ساعت می‌باشد و همچنین، هزینه‌های ساخت و احداث، نیز بر اساس تحلیل‌ها و برآوردهای ارزی (دلاری) ارائه شده است. اطلاعات لازم جهت برآوردهای فنی تجهیزات نیز بر اساس شرایط سایت و بهره‌برداری برآورد شده است. در جدول‌های (۴) و (۵)، به ترتیب تحلیل هیدرولیکی سیستم، ارزیابی مالی و چیدمان و سایزینگ واحدهای تولیدی آورده شده است.

جدول (۴) خروجی معادلات هیدروپاور و ارزیابی‌های مالی
(مسیر انتقال از سد صفارود)

شماره واحد	G1	G2	G3	G4
نقاط پتانسیل دار نیروگاهی	مخزن تقلیل فشار ۵۰۰۰ مترمکعب	ایستگاه تصفیه‌خانه	مخزن ۶۰۰۰۰ مترمکعب	مخزن شماره ۶

مسیری برای عبور ماهی‌ها باشد که خود چالش‌های جداگانه‌ای را به وجود خواهد آورد. همچنین در انتخاب نوع بهینه‌ی توربین، مقادیر هد و دبی، تعیین‌کننده خواهند بود. عموماً، زمانی که مسیرهای انتقال آب در شرایط ثقیلی قرار دارند، در انتهای مسیر، قبل از ورود به مخازن و یا رسیدن به شیرهای فشارشکن، دارای اینرسی برای به حرکت درآوردن پره‌های توربین خواهند بود و دقیقاً این نقاط پتانسیل اولیه احداث نیروگاه برق آبی را می‌توانند داشته باشند.

نتایج و بحث

طرح انتقال آب از سد صفارود به شهر کرمان

علی‌رغم فقدان اطلاعات طراحی هیدرولیکی مناسب، تحلیل پیشرو، بر اساس حداقل اطلاعات لازم از فایل اتوکد، در نرم‌افزار شبیه‌سازی واترجمز^۱، انجام شد. ضریب زبری هیزن ویلیامز در نرم‌افزار معادل ۱۱۰ در نظر گرفته شده است. باتوجه به شرایط اجرایی کارگاهی و مطالعات میدانی صورت‌گرفته این ضریب می‌تواند برآورد مناسبی از افت هد مسیر را در اختیار مصرف‌کننده قرار دهد. باتوجه به طراحی خط انتقال برای حد متوسط سالانه‌ی ۶۰ میلیون مترمکعب از آورد سد صفارود، دبی متوسط ۲ مترمکعب در نظر گرفته شده است. همچنین، با توجه به محدودیت منابع آب برای شهر کرمان، قابلیت عبور آب تا دبی ۳ مترمکعب در ثانیه نیز مد نظر بوده است. شایان ذکر است، با توجه به مطالعات انجام‌گرفته، عبور آب با این دبی، از سامانه‌ی مزبور، امکان‌پذیر نخواهد بود و بنابراین، همان دبی ۲ مترمکعب بر ثانیه، باید در کل دوره‌ی بهره‌برداری مد نظر قرار گیرد. در ادامه، انرژی آب در مکان‌های منتخب برای احداث نیروگاه برآورد شده است. هرچند بحث انرژی الکتریکی با درنظرگرفتن راندمان معادل توربین، ژنراتور، ترانس (۸۰٪)

جدول (۵) تحلیل بخش چیدمان و سایزینگ ادوات اصلی واحدهای تولیدی (مسیر انتقال از سد صفارود)

شماره واحد	G1	G2	G3	G4
نقاط پتانسیل دار نیروگاهی	مخزن تقلیل فشار ۵۰۰۰ مترمکعب	ایستگاه تصفیه‌خانه	مخزن ۶۰۰۰۰ مترمکعب	مخزن شماره ۶

² Renewable Energy and Energy Efficiency Organization

¹ WaterGEMS

شماره واحد	G1	G2	G3	G4
ظرفیت تولید ژنراتور kw	۳۴۱۰	۲۸۸۱	۱۱۱۷	۸۶۲
توان الکتریکی تزریق به شبکه (kw)	۲۷۲۸	۲۳۰۵	۸۹۴	۶۹۰
چیدمان پیشنهادی نیروگاه	دو واحد	دو واحد	یک واحد	یک واحد
نوع توربین پیشنهادی	پلتون/فرانسس- ظرفیت ۱.۹ مگاوات	پلتون/فرانسس- ظرفیت ۱.۶ مگاوات	فرانسس- ظرفیت ۱.۲۵ مگاوات	فرانسس/کاپلن- ظرفیت ۱ مگاوات
دبی طراحی (m ³ /s)	۲	۲	۲	۲
هد طراحی m	۱۷۴	۱۴۷	۵۷	۴۴
ارتفاع از سطح دریا m	۲۱۱۶	۱۹۱۹	۱۸۲۰	۱۷۶۳
ضریب دمای محیط و ارتفاع	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۰۳
حداقل ظرفیت ژنراتور	۱.۶ مگاوات	۱.۴ مگاوات	۱ مگاوات	۰.۸ مگاوات
نرخ سرمایه گذاری \$/KW	۹۱۵	۹۸۳	۱,۴۷۲	۱,۶۴۴
%IRR	۳۹	۳۷	۲۵	۲۲
برگشت سرمایه (سال)	۳/۱	۳/۳۴	۵	۵/۶
NPV (م ریال)	۱,۷۷۵,۲۹۲	۱,۳۸۸,۸۲۵	۲۹۹,۲۹۹	۹۲,۹۸۰

صورت گرفته، دو مسیر ثقلی برای موضوع تولید برق (قطعه اول: آبگیر تا تصفیه خانه، قطعه دوم: تصفیه خانه تا ایستگاه پمپاژ)، پتانسیل اولیه را دارا هستند. در جدول-های (۶) و (۷) به ترتیب تحلیل هیدرولیکی سیستم، ارزیابی مالی و چیدمان و ساینزینگ واحدهای تولیدی آورده شده است.

شرایط طراحی (متوسط)	قطر لوله: ۱۲۰۰ mm لاینینگ: اپوکسی
۹۸۸	انرژی قابل دسترس (KW)
۵۵	افت هد (m)
۱/۴۴	دبی متوسط (m ³ /s)
۳۶/۵	فاصله طولی (km)
۱۲۵	هد ناخالص (m)

طرح انتقال آب از سد نساء به شهرهای بم و بروات

پس از بررسی مسیر خط انتقال از سد نساء، گرادیان های هیدرولیکی با استفاده از نرم افزار واترجمز استخراج گردیده و مورد مطالعه، قرار گرفت. از آنجا که پوشش داخلی از نوع اپوکسی می باشد، ضریب هیزن ویلیامز، معادل ۱۲۰ در نظر گرفته شد. با توجه به مطالعات

جدول (۶) خروجی معادلات هیدروپاور و ارزیابی های مالی (مسیر انتقال از سد نساء)

شرایط طراحی (متوسط)	قطر لوله: ۱۲۰۰ mm لاینینگ: اپوکسی
۱,۵۱۱,۵۹۳	برآورد سرمایه اولیه (\$)
۶۸۲,۵۶۰	تولید در سال (kWh)
۷۹۰	توان تولیدی خالص (راندمان کل ۸۰٪) (kW)

جدول (۷) تحلیل بخش چیدمان و ساینزینگ ادوات اصلی واحدهای تولیدی (مسیر انتقال از سد نساء)

شماره واحد	G5	G6
چیدمان پیشنهادی نیروگاه	یک واحد	یک واحد
نوع توربین پیشنهادی	بانکی- ظرفیت ۷۰ کیلووات	فرانسس- ظرفیت ۱ مگاوات
دبی طراحی (m ³ /s)	۱/۴۴	۱/۴۴

شماره واحد	G5	G6
نقاط پتانسیل دار نیروگاهی	ایستگاه تصفیه خانه	ایستگاه پمپاژ
ظرفیت تولید kw	۶۳	۸۹۲
توان الکتریکی خروجی kw	۵۰	۷۱۳

شماره واحد	G5	G6
نرخ سرمایه گذاری \$/KW	۲,۵۰۰	۱,۵۱۸
%IRR	۱۴	۲۴
برگشت سرمایه (سال)	۸/۴۵	۵/۱۵
NPV (م ریال)	۲۳,۷۴۳	۱۵۹,۷۴۶

شماره واحد	G5	G6
هد طراحی m	۴۵	۶۵
ارتفاع از سطح دریا m	(۱) ۱۰۹۳	(۱) ۱۰۸۰
ضریب دمای محیط و ارتفاع	۱/۰۲۵	۱/۰۲۵
حداقل ظرفیت ژنراتور	۶۰ کیلووات	۰/۹ مگاوات

جدول (۹) تحلیل بخش چیدمان و سایزینگ ادوات اصلی
واحدهای تولیدی (سد بافت خروجی کشاورزی)

شماره واحد	G1
خروجی آب کشاورزی	نقاط پتانسیل دار نیروگاهی
۲۴۵	ظرفیت تولید kw
۱۹۶	توان الکتریکی خروجی kw
کاپلن	نوع توربین پیشنهادی
۱	دبی طراحی (m ³ /s)
۲۵	هد طراحی m
۱۰۰۰	ارتفاع از سطح دریا m
۱	ضریب دمای محیط و ارتفاع
۲۰۰ kw	حداقل ظرفیت ژنراتور
۲,۳۶۸	\$/KW
۱۴	%IRR
۸/۰۴	برگشت سرمایه (سال)
۷۴,۰۶۲	NPV (م ریال)

جدول (۱۰) خروجی معادلات هیدروپاور و ارزیابی های مالی
(سد بافت خروجی صنعت)

شرایط طراحی (متوسط)	قطر لوله: ۱۲۰۰ mm لاینینگ: ملات ماسه سیمان
۵۸۷۵۰	برآورد سرمایه اولیه (\$)
۱۶۲۴۳۲	تولید در سال (kWh)
۱۸/۸	توان تولیدی خالص (راندمان کل ۸۰٪)
۲۳/۵	انرژی قابل دسترس (KW)
۰/۱	افت هد (m)
۰/۰۸	دبی متوسط (m ³ /s)
۰/۲۲	فاصله طولی (km)
۳۰	هد ناخالص (m)

خروجی های سد بافت

پس از بازدید و بررسی خروجی های سد بافت، محاسبات هیدرولیکی با استفاده از نرم افزار واترجمز انجام گردید. از آنجا که جنس لوله فولادی و پوشش داخلی از نوع ملات ماسه سیمان می باشد، ضریب هیزن ویلیامز ۱۱۰ در نظر گرفته شد. با توجه به طراحی سامانه ی مزبور برای تأمین آب شرب با ظرفیت متوسط ۳۰۰ لیتر بر ثانیه که با توجه به فشار کم (حدوداً ۲۰ متر آب در انتهای خط انتقال در شرایط فعلی) و توضیحات مدیر سد بافت، قابلیت بهره برداری در این خروجی وجود ندارد و مصرف کشاورزی حداقل ۱۵۰ و حداکثر ۲۰۰۰ لیتر بر ثانیه و مصرف صنعت ۵۰ (شرایط فعلی) و ۱۱۴ لیتر بر ثانیه که فاز اجرایی در آینده می باشد، مورد بررسی قرار داده شد. با توجه به مطالعات صورت گرفته، دو مسیر ثقلی مصرف کشاورزی و صنعت برای موضوع تولید برق، پتانسیل اولیه را دارا هستند. جدول های (۸) و (۹) محاسبات مربوط به خروجی کشاورزی و جدول های (۱۰) و (۱۱) محاسبات مربوط به خروجی صنعت را نشان می دهند.

جدول (۸) خروجی معادلات هیدروپاور و ارزیابی های مالی
(سد بافت خروجی کشاورزی)

شرایط طراحی (متوسط)	قطر لوله: ۱۲۰۰ mm لاینینگ: ملات ماسه سیمان
۷	افت هد (m)
۵۸۱۶۰	برآورد سرمایه اولیه (\$)
۱۶۹۳۴۴۰	تولید در سال (kWh)
۱۹۶	توان تولیدی خالص (راندمان کل ۸۰٪)
۲۴۵	انرژی قابل دسترس (KW)
۱	دبی متوسط (m ³ /s)
۰/۱۸	فاصله طولی (km)
۳۲	هد ناخالص (m)

جدول (۱۱) تحلیل بخش چیدمان و ساینینگ ادوات اصلی

واحدهای تولیدی (سد بافت خروجی صنعت)

G2	شماره واحد
خروجی آب صنعت	نقاط پتانسیل دار نیروگاهی
۲۳/۵	ظرفیت تولید kw
۱۸/۸	توان الکتریکی خروجی kw
کاپلن	نوع توربین پیشنهادی
۰/۰۸	دبی طراحی (m ³ /s)
۳۰	هد طراحی m
۱۰۰۰	ارتفاع از سطح دریا m
۱	ضریب دمای محیط و ارتفاع
۲۰	حداقل ظرفیت ژنراتور
۲۵۰۰	\$/KW
۱۴	%IRR
۸/۴۵	برگشت سرمایه (سال)
۸۸۵۶	NPV (م ریال)

نتیجه گیری

تحلیل‌های هیدرولیکی و الکتریکی مربوط به پتانسیل‌های نقاط مختلف، نشان می‌دهد هرچه سامانه دارای هد بالاتری باشد، باتوجه به تکنولوژی‌های ساخت توربین‌های آبی، دارای هزینه کمتری به نسبت ظرفیت اسمی خود، می‌باشد. همچنین، در این مطالعه، بررسی تجهیزات الکترومکانیکی بر اساس شرایط سایت نیز مد نظر قرار گرفته است. به عبارتی، تجهیزات الکتریکی اصلی، مثل ژنراتور و ترانسفورماتورها، در شرایط ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا دچار کاهش توان نامی خواهد شد که این مقاله این موضوع را مدنظر قرار داده است. در نتیجه، در شرایط یکسان، هرچه به شرایط ارتفاع ۱۰۰۰ متر و دمای حداکثر روزانه ۳۵ درجه سانتیگراد نزدیکتر شویم، هزینه‌ی تجهیزات الکتریکی نیز کاهش پیدا خواهد کرد.

با در نظر گرفتن موارد مزبور، می‌توان جهت ورود به اقتصادی-ترین طرح‌ها تصمیم‌گیری مناسب‌تری داشت.

از طرفی، مطالعات بر روی سامانه‌ی انتقال آب از سد صفارود، نشان می‌دهد که علی‌رغم ادعای طراحی آن سامانه برای عبور ۳ مترمکعب بر ثانیه آب، تنها همان مقدار ۲ مترمکعب قابل استناد خواهد بود. در نتیجه، محاسبات برای همین عدد ارائه شده است. شایان ذکر است برای افزایش

سرمایه‌پذیری این نوع طرح‌ها، شرکت آب منطقه‌ای به‌عنوان متولی این سرمایه‌پذیری، می‌تواند به واسطه‌ی سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، نه تنها برای خود یک منبع درآمد، از حقابه‌ی موجود، ایجاد کند، بلکه در این انتقال دارای پتانسیل می‌تواند یک منبع انرژی برای تأسیسات موجود نیز فراهم آورد.

برای مدل جذب سرمایه، مدل BOO پیشنهاد می‌شود، با این شرایط که، جهت افزایش جذابیت موضوع، حقابه‌ی مربوط به شرکت آب منطقه‌ای، بعد از ۳ سال از زمان بهره‌برداری در نظر گرفته شود. به عبارتی، این موضوع، شرایطی را ایجاد می‌کند که هم سرمایه‌گذار، سریع‌تر به بازگشت سرمایه خود برسد و هم برای ورود به این موضوع شرایط را منصفانه و جذاب‌تر ارزیابی کند. به این معنی، سرمایه‌گذار از زمان سوددهی پروژه، درصدی را بر اساس کیلووات فروخته شده به شبکه برق؛ به شرکت آب منطقه‌ای پرداخت خواهد نمود. همچنین، با احداث سریع‌تر این واحدها، تأسیسات نزدیک به آنها نیز می‌تواند به واسطه افزایش ظرفیت شبکه برق، مجدداً برق را با هزینه‌ی پایین‌تر از میزان فروش ریال مصرف نماید و یک برق قابل اطمینان در تأسیسات بدون هیچ هزینه‌ای، می‌تواند مزایای زیادی برای شرکت آب منطقه‌ای ایجاد نماید.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از شرکت آب منطقه‌ای کرمان (مدیریت تحقیقات، برنامه‌ریزی و بررسی‌های اقتصادی) برای حمایت مالی و همکاری در جمع‌آوری داده‌ها جهت انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

- 1- Anvaari E., Farazmand H., Chehrazi Madrese S., (1400), Analysis of the impact of hydro renewable energy on electricity prices in Iran using a long-term dynamic model, Journal of Iranian dam and hydroelectric Powerplant, 8(30) 1-21. (In Persian)
- 2- Bacon, I., Davison, I., (2004) Low Head Hydro Power in the South-East of England: A Review of the Resource and Associated Technical, Environmental and Socio- Economic Issues. England: TV Energy.
- 3- Bracken L.J., Bulkeley H.A., Maynard C.M. (2014) "Micro-hydro power in the UK: The role of communities in an emerging energy resource", Energy Policy, 68, 92-101.

- 20- Qin Fen (Katherine) Zhang Brennan, Smith Wei Zhang , (2012) "Small Hydropower Cost Reference Model", ORNL/TM-2012/501.
- 21- Samareh Hashemi M., (1398), "Investigation of the economic and technical effects of the internal coating of water transmission pipes in the production of hydroelectric power and the importance of head loss calculations", Iranian Water and Irrigation Engineering Journal, 11(42)192-203. (In Persian)
- 22- Smith N.P.A. (1994) "Key factors for the success of village hydro-electric programmes", Renewable Energy, 5(5-8): 1453-1460.
- 23- Tchoquessi Diodjo M.R., Belec L., Aragon E., Perrin F.X., Bonnaudet M., Lanarde L., Meyer M., Joliff Y. (2013) "Numerical modelling of pipe internal stresses induced during the coating process – Influence of pipe geometric characteristics on stress state", Materials and Design 52, 429–440.
- 24- Walker G.M., Albadarin A.B., McGlue A., Brennan S., Bell S.E.J. (2016) "Analysis of friction factor reduction in turbulent water flow using a superhydrophobic coating", Progress in Organic Coatings 90, 472–476.
- 4- Eisapour A., Abedi Sh. (1393) "Investigating water consumption in thermal power plants and providing solutions to improve the consumption pattern", The 7th conference of power plants, Hormozgan. (In Persian)
- 5- Enayati A., Kazemnezhad S. M., Moradi S. H., Mohseni H., (1384) "Using a small hydroelectric power plant in Mazandaran", The fifth national energy conference, Tehran. (In Persian)
- 6- Eslami H., Jamali S., Ayoubkiya R., Eslami K., (1402) "financial and economic assessment for implication of pre-awareness of discharge in dam and hydropower plant projects, (case study: Karoun 4 dam and hydropower plants and Roudbar Lorestan)". Journal of Iranian dam and hydroelectric Powerplant, 10(33) 47-58. (In Persian)
- 7- Fälth H. Ek, Mattsson N., Reichenberg L., Hedr F. (2023) "Trade-offs between aggregated and turbine-level representations of hydropower in optimization models", Renewable and sustainable energy review, 183, 113406.
- 8- Forrest, N., Abell, T., Baker, K., Robertson, K., Duncan, N., Hawkins, S., Baldock, A., Whetter, B., Hieatt, M., (2008) "Scottish hydropower resource study". Scotland: Hydro Sub Group of the Forum for Renewable Energy Development in Scotland.
- 9- Ghimire H. R., Phuyal S., Singh N. R., (2021) "Environmental compliance of hydropower projects in Nepal", Environmental Challenges, 5,100307.
- 10- Gordon, J. L.; Eng, P. (2003) "Turbine Selection for Small Low-Head Hydro Developments ", Hydropower Consultant, Organized by: Natural Resources Canada at Water Power XIII.
- 11- Griffin, Ronald C., (2006) "Water resource economics: the analysis of scarcity, policies, and projects", The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- 12- IEC standard 60071-2:2023 "TC 99 - Insulation co-ordination and system engineering of high voltage electrical power installations above 1,0 kV AC and 1,5 kV DC".
- 13- IEC standard 60664-1:2020 "Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems - Part 1: Principles, requirements and tests."
- 14- IEC standard TS 60034-25:2022, "Rotating electrical machines– Part 25: AC electrical machines used in power drive systems – Application guide."
- 15- IEEE, (1988) "IEEE Guide for Control of Small Hydro Electric Power Plants", IEEE Std 1020.
- 16- Karjalainen T. P., Järviöskö T., (2010) "Negotiating river ecosystems: Impact assessment and conflict mediation in the cases of hydro-power construction", Environmental Impact Assessment Review, 30(5): 319-327.
- 17- Kosnik L. (2010), "The potential for small scale hydropower development in the US", Energy Policy 38, 5512–5519.
- 18- Kuriqi A., Pinheiro A. N., Sordo-Ward A., Garrote L., (2019) "Flow regime aspects in determining environmental flows and maximising energy production at run-of-river hydropower plants", Applied Energy, 256, 113980.
- 19- Paish O. (2002) "Small hydro power: technology and current status", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6(6): 537-556.

Finding the potential and feasibility of using hydroelectric power plants considering site climate effect on electrical equipment prices, in the water transmission lines of Kerman province

Marzie Samare Hashemi^{*1}

Ehsan Daryabeigi²

Abstract

Due to the importance of energy and water, the management of water flows potentials based on the production of electrical energy has received great attention in recent years. In this paper, the potential of producing hydropower considering technical and economic aspects has been detected for the water transmission lines from Safaroud Dam to Kerman, Nisa Dam to Bam, and Baft Dam water outlets. Each system has been simulated by WaterGems, taking into account the operating conditions of the water system and the geographical conditions of the site. During economic investigation, according to the latest laws of energy transactions in the country and relevant approvals, as well as investment costs, economic studies have been conducted from the investor's point of view. Also, according to the economic and technical conditions governing the problem, a suitable model has been proposed in order to increase the capitalization and implementation of the relevant plan. So that, its exploitation can enter not only the economic and energy cycle of the country, but also has benefits for the investee (Kerman Regional Water Company). These benefits can lead to direct financial benefit from water flow rights, and also include indirect benefit from produced electric energy.

Keywords

Hydropower energy, Water transmission, WaterGems, Electric power degradation, Economic studies.

¹ Assistant professor, Agriculture faculty, Shahid Bahonar University, samare@uk.ac.ir

² Research and development unit, Shark Electromagnetism knowledge based company