نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دوازدهم/ شماره سی و هشتم / پاییز ۱۴۰۴
Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
12th Year/ No. 38/ December 2025

پتانسیل‌یابی و امکان‌سنجی نیروگاه‌های برق‌آبی با درنظر گرفتن اثر جغرافیا و اقلیم سایت بر هزینه‌ی تجهیزات الکتریکی، مطالعه‌ی موردی خطوط انتقال آب استان کرمان

مرضیه ثمره هاشمی*[۱]
احسان دریابیگی[۲]

چکیده

با توجه به اهمیت موضوع انرژی و آب، مدیریت پتانسیل جریان‌های آبی مبتنی بر تولید انرژی الکتریکی، در سال‌های اخیر بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله، پتانسیل‌یابی انرژی برق‌آبی 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 نظرگرفتن شرایط بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی، از نرم‌افزار واترجمز برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی استفاده شده است و در انتخاب تجهیزات الکتریکی اصلی، شرایط جغرافیایی سایت نیز در نظر گرفته می‌شود. در بخش اقتصادی با توجه به آخرین قوانین معاملات انرژی در کشور و مصوبات مربوطه، همچنین هزینه‌های سرمایه‌گذاری، مطالعات اقتصادی از دیدگاه سرمایه‌گذار انجام شده است. همچنین، با توجه به شرایط اقتصادی و فنی، الگویی مناسب در راستای افزایش سرمایه‌پذیری و اجرای طرح مربوطه، پیشنهاد شده است تا در نهایت، بهره‌برداری از آن بتواند نه تنها در چرخه‌ی اقتصادی و انرژی کشور وارد شود، بلکه منافعی برای سرمایه‌پذیر (شرکت آب منطقه‌ای کرمان) به همراه داشته باشد. این منافع، هم می‌تواند منجر به بهره‌مندی مستقیم مالی از حقابه‌های جریان آب شود و هم شامل بهره‌مندی غیرمستقیم از انرژی برق تولیدی باشد.

واژه‌های کلیدی

نیروی برق‌آبی، انتقال آب، نرم‌فزار واترجمز، تنزل توان الکتریکی نامی، مطالعات اقتصادی.

[۱] استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، samare@uk.ac.ir
[2] واحد تحقیقات و توسعه شرکت دانش بنیان الکترومغناطیس شارک

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

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 موردنیاز 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 برق‌آبی مورد توجه قرار گرفتند (انواری[1] 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 طرح-های انتقال آب، استفاده از انرژی آب جاری در خطوط انتقال آب است. به عبارت دیگر با استفاده از انرژی آب در بخش-های حرکت ثقلی در خطوط انتقال و تولید انرژی برق‌آبی به وسیله آن، می‌توان ابعاد اقتصادی طرح‌ها را بهینه نمود. علاوه بر ایجاد درآمد از تولید انرژی برق‌آبی، توجه به این نکته نیز ضروری است که قیمت انرژی در حال افزایش است؛ بنابراین در آینده، تقاضا برای انرژی‌های تجدیدپذیری چون برق‌آبی افزایش خواهد یافت (گریفین[2]، ۲۰۰۶). مسأله‌ی بررسی وضعیت برق و انرژی در اقتصاد جوامع، نیز بسیار موثر است (اسلامی[3] و همکاران، ۱۴۰۲). در نقاط مختلف دنیا نیز به این مسئله توجه خاصی شده است. در سال ۲۰۰۹، پتانسیل ایجاد تولید نیروگاه‌های برق‌آبی مقیاس کوچک در تمام نقاط آمریکا مورد بررسی قرار گرفت (کاسنیک[4]، ۲۰۱۰). در انگلستان نیز دستورالعملی برای استفاده از نیروی برق‌آبی در جنوب شرقی این کشور تهیه گردید (بکون و دیویسون[5]، ۲۰۰۴). اسکاتلند گزارش مشابهی در سال ۲۰۰۸ منتشر نمود (فارست و همکاران[6]، ۲۰۰۸). همچنین مطالعات زیادی در مورد ماهیت نیروی برق‌آبی، عوامل مؤثر در آن و اهمیت هریک از آن عوامل انجام شده است که از آن جمله می‌توان به بررسی تجهیزات نیروی برق‌آبی، سیاست‌گذاری، اثرات زیست‌محیطی، ابعاد فنی و تکنولوژیکی، فاکتورهای موفقیت توسعه اشاره کرد که در مطالعات فالت[7] و همکاران، ۲۰۲۳، گیمیر[8] و همکاران، ۲۰۲۱، کورکی[9] و همکاران، ۲۰۱۹، یانگ[10] و همکاران، ۲۰۱۶، براکن[11] و همکاران، ۲۰۱۴، کارجالاینن و جارویکسکی،[12] ۲۰۱۰، پایش،[13] ۲۰۰۲ و اسمیت،[14] ۱۹۹۴ مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

برای ایجاد نیروی برق‌آبی، 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 می‌توانند به عنوان یک معیار بسیار تعیین‌کننده در پتانسیل برق آبی باشند که توسط ثمره هاشمی (۱۳۹۸) به این مسئله پرداخته شده است.

[1] Anvaari
[2] Griffin
[3] Eslami
[4] Kosnik
[5] Bacon and Davison
[6] Forrest et al.
[7] Fälth
[8] Ghimire
[9] Kuriqi
[10] Yang
[11] Bracken
[12] Karjalainen and Järvikoski
[13] Paish
[14] Smith

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

از نظر اقتصادی، هزینه‌ی تجهیزات الکتریکی، بخش قابل توجهی از سرمایه گذاری این نیروگاه ها را به خود اختصاص می‌دهد که این هزینه، ارتباط معناداری با سایز ادوات الکتریکی دارد. در این مورد، ارتفاع از سطح دریا و دمای سایت، به طور قابل توجهی در سایزینگ این تجهیزات، تأثیر می گذارند و مقوله ای به نام تنزل توان الکتریکی و حفاظت عایقی را پیش می‌کشد (استاندارد آی ای سی[1]، ۲۰۲۰، ۲۰۲۲، ۲۰۲۳) 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[2] و عابدی[3]، 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 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 آب های فصلی رودخانه های 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.

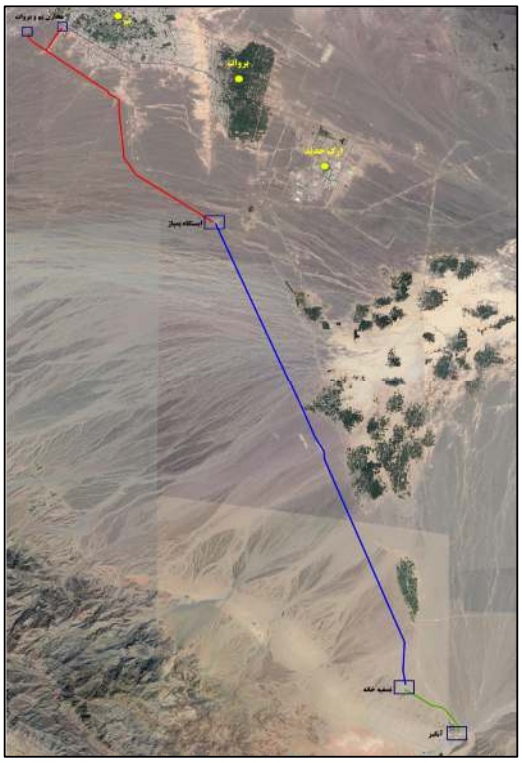
جدول (۱) مشخصات مسیر انتقال آب از سد صفا (بخش ثقلی)

طول مسیر ثقلی	۶۳ کیلومتر
جنس لوله	فولادی
قطر لوله (ثقلی) تا مخزن ۶۰۰۰۰ ازمخزن ۶۰۰۰۰ تا مخزن شماره ۶	۱۲۰۰ میلیمتر ۱۶۰۰ میلیمتر
دبی هدف خط انتقال	۳ مترمکعب در ثانیه

[1] IEC
[2] Eisapour
[3] Abedi

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

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



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

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 میلون 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

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 سنگریزه ایECRD
ارتفاع از روی پی	۶۵ متر
طول تاج	۱۱۶۰ متر
حجم مخزن	۴۰ میلیون مترمکعب
حجم بدنه	۲۷۰۰۰۰۰ مترمکعب
حجم تخلیه‌ی سرریز	۱۰۵۵ مترمکعب بر ثانیه
اراضی تحت پوشش	۸۵۰ هکتار

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

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

طراحی نیروگاه‌های برق‌آبی 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 به‌صورت عمودی، افقی و یا مورب داشته باشند. در حالت کلی، تفاوتی بین تجهیزات کنترلیِ واحدها با شفت افقی و عمودی وجود ندارد. تجهیزات موردنیاز، کاملاً به شرایط کاری پروژه موردنظر بستگی دارند (آی تریپل ای[1]، ۱۹۸۸).

در بعضی از خطوط آبرسانی ثقلی، 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.

نیروگاه‌های برق‌آبی 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. به‌عنوان نمونه این طبقه‌بندی بر اساس استاندارد IEEE به‌صورت زیر می‌باشد (عنایتی[2] و همکاران، ۱۳۸۴):

الف - نیروگاه‌های برق‌آبی مینی یا میکرو[3]: واحدهای مینی یا میکرو به واحدهای با خروجی توان کمتر از ۱۰۰ kw گفته می‌شود.

ب-نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک[4]: واحدهای کوچک به واحدهای با خروجی کمتر از ۵MW گفته می‌شود.

توربین نیروگاه‌های آبی کوچک را می‌توان از هرکدام 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 برق‌آبی، تخمین توانمندی یک محل در تولید انرژی یا ظرفیت نصب نیروگاه است که با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود.

$$P = \frac{\rho.g.Q.H.\sigma}{1000} \quad (۱)$$

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 حاصل‌ضرب راندمان ترانس قدرت (σ_{Te})، ژنراتور(σ_G) در راندمان توربین (σ_{To}) به دست می‌آید.

بنابراین:

$$P = 9.8\, Q.H.\sigma \quad (۲)$$

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

$$P = 7.84\, Q.H \quad (۳)$$

[1] IEEE
[2] Enayati
[3] Micro/Mini Hydro Electric Power Plant
[4] Small Hydro Electric Power Plant

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

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 کیلووات‌ساعت انرژی استحصالی از نیروگاه برق‌آبی 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 به‌عمل‌آمده چندین نیروگاهِ در حال بهره‌برداری و مطالعه‌ی بیش از یک‌صد 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 (کوییننفن و همکاران[1]، ۲۰۱۲).

$$C_k = K\,(P.H^{-0.3})^{0.83}\ [\$] \quad (۴)$$

که در آن، C_k هزینه‌ی احداث نیروگاه، برحسب دلار، P ظرفیت جایگاه، برحسب 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، میزان دسترسی و هزینه مواد، نرخ مبادله دلار و خرید تجهیزات، در نهایت هزینه حمل‌ونقل؛ نوساناتی است که ممکن است طی دوره زمانی در هزینه حاصل شود.

باتوجه به موارد مزبور، رابطه‌ی شماره (۵) به صورت زیر خواهد بود:

$$C_k = L.K\,(P.H^{-0.3})^{0.83}\ [\$] \quad (۵)$$

که در آن، L برای شرق آسیا ۰/۷ می‌باشد (کوییننفن و همکاران[2]، ۲۰۱۲)؛ لذا باتوجه به روابط (۳) و (۵)، متوسط هزینه‌ی تقریبی احداث نیروگاه آبی کوچک در ایران را می‌توان به‌صورت رابطه (۶) در نظر گرفت:

$$C_k = 91449(Q.H^{0.7})^{0.82}\ [\$] \quad (۶)$$

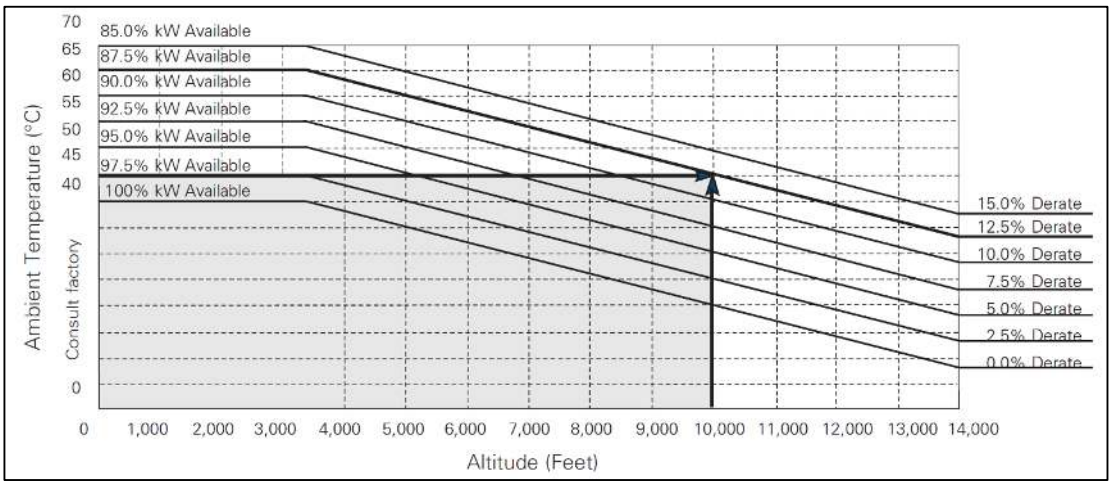
که دراین‌رابطه، C_k مجموع هزینه‌های ساختمانی و تجهیزات الکترومکانیکال بر حسب دلار آمریکا، Q دبی خط انتقال برحسب m^3/s و H ارتفاع مؤثر یا خالص آب بر حسب m می‌باشد. با توجه به تعیین بهای آزاد برق در قانون بودجه‌ی سال ۱۴۰۲ به میزان ۱۸۰۰۰ ریال ($۰.۰۳۷) به‌ازای هر کیلووات‌ساعت و با درنظرگرفتن دوره‌ی بهره‌برداری ۲۰ ساله از نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک، می‌توان میزان سود به هزینه را برای هرکدام 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 عللی 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 نظرگرفتن اینکه، اصولاً زمانی که برای سرویس و یا تعمیرات توربین‌های آبی در نظر گرفته می‌شود معمولاً کم است، کل زمان توقف واحد (بدون در نظرگرفتن 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

[1] Qin fen

[2] Qin fen

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

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 سرمایه گذاری 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 نیروگاه‌های برق‌آبی 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.



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

محاسبات و معیارهای اقتصادی

در الگوی سود، درآمد از حاصل‌ضرب مقدار در قیمت فروش تعیین شده و هزینه‌ها نیز از مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر 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[1]، ۲۰۰۳):

$$\pi = T_R - T_C \quad (۷)$$

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:

$$T_R = P.Q \quad (۸)$$

$$T_C = F_C + V_C \quad (۹)$$

که در آن، P قیمت فروش، Q مقدار فروش، F_C هزینه ثابت و V_C هزینه‌های متغیر هستند. برای محاسبه هزینه‌های متغیر، می‌توان از حاصل‌ضرب مقدار فروش و هزینه‌ی متغیر تولید هر واحد (v) به‌صورت رابطه‌ی (۱۱) استفاده کرد:

$$V_C = v.Q \quad (۱۱)$$

درنتیجه، الگوی محاسبات سود به‌صورت رابطه (۱۲) بازتعریف می‌شود:

$$\pi = P.Q - (F_C - v.Q) \quad (۱۲)$$

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

$$Q = \frac{F_C}{P-v} \quad (۱۳)$$

[1] Gardon and Eng

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

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 نرخی درنظر گرفته می‌شود که با گذاشتن سرمایه در بانک به دست خواهد آمد و از رابطه‌ی (۱۴) محاسبه خواهد شد.

$$PV = \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (۱۴)$$

Ct: جریان نقدینگی (درآمد) t سال آینده

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

r: نرخ درآمد به‌صورت کسر

نرخ بازده به‌کار 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:

$$NPV = \sum \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (۱۵)$$

PV = ارزش کنونی

C_0 = هزینه‌ی سرمایه‌گذاری شده

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 قابل‌توجهی 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 بازده‌ای را طی یک دوره‌ی زمانی مشخص به ارمغان می‌آورد. نرخ بازده‌ی داخلی از حل معادله غیر خطی زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$C_0 = \sum \frac{C_t}{(1+IRR)^t} \quad (۱۶)$$

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

معیارهای اصلی در پتانسیل‌سنجی پروژه‌های برق‌آبی

برای پتانسیل‌سنجی یک طرح برق‌آبی، 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 برق‌آبی 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

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

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 ثقلی 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 برق‌آبی 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[1]، 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٪) 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**	
برآورد سرمایه اولیه ($)	۹،۰۱۲،۳۶۹
تولید در سال (MWh)	۵۷،۹۶۵
توان تولیدی خالص (راندمان کل ۸۰٪)	۶۶۱۷
انرژی قابل دسترس (KW)	۸۲۷۱
افت هد (m)	۱۹۰
دبی متوسط (m^3/s)	۲
فاصله طولی (km)	۶۵
هد ناخالص (m)	۶۱۲

در بحث مطالعات اقتصادی، با توجه به شرایط کنونی و شناور اقتصاد کشور، برای آیتم‌های اقتصادی مشخص، ارزیابی و محاسبه انجام شده است. در این راستا، با توجه به مصوبه‌ی ساتبا (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق[2])، کیلووات خرید تضمینی نیروگاه‌های موضوع تحقیق، معادل ۱۸۰۰۰ ریال بر کیلووات‌ساعت 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)

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

[1] WaterGEMS

[2] Renewable Energy and Energy Efficiency Organization

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

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/فرانسیس- ظرفیت ۱.۹ مگاوات	پلتون/فرانسیس- ظرفیت ۱.۶ مگاوات	فرانسیس- ظرفیت ۱.۲۵ مگاوات	فرانسیس/کاپلن- ظرفیت ۱ مگاوات
دبی طراحی (m^3/s)	۲	۲	۲	۲
هد طراحیm	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 گزاری $/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،۳۸۸۸۲۵	۲۹۹،۲۹۹	۹۲،۹۸۰

طرح انتقال آب از سد نساء به شهرهای بم و بروات

پس از بررسی مسیر خط انتقال از سد نساء، گرادیان‌های هیدرولیکی با استفاده از نرم‌افزار واترجمز استخراج گردیده و مورد مطالعه، قرار گرفت. از آنجا که پوشش داخلی از نوع اپوکسی می‌باشد، ضریب هیزن ویلیامز، معادل ۱۲۰ در نظر گرفته شد. با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، دو مسیر ثقلی برای موضوع تولید برق (قطعه اول: آبگیر تا تصفیه‌خانه، قطعه دوم: تصفیه‌خانه تا ایستگاه پمپاژ)، پتانسیل اولیه را دارا هستند. در جدول-های (۶) و (۷) به ترتیب تحلیل هیدرولیکی سیستم، ارزیابی مالی و چیدمان و سایزینگ واحدهای تولیدی آورده شده است.

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

قطر لوله: ۱۲۰۰ mm لاینینگ: اپوکسی	شرایط طراحی (متوسط)
برآورد سرمایه اولیه ($)	۱،۵۱۱،۵۹۳
تولید در سال (kWh)	۶۸۲۵۶۰۰
توان تولیدی خالص (راندمان کل ۸۰٪) (kW)	۷۹۰

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

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

G6	G5	شماره واحد
ایستگاه پمپاژ	ایستگاه تصفیه‌خانه	نقاط پتانسیل دار نیروگاهی
۸۹۲	۶۳	ظرفیت تولید kw
۷۱۳	۵۰	توان الکتریکی خروجیkw

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

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

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

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

خروجی‌های سد بافت

پس از بازدید و بررسی خروجی‌های سد بافت، محاسبات هیدرولیکی با استفاده از نرم‌افزار واترجمز انجام گردید. از آنجا که جنس لوله فولادی و پوشش داخلی از نوع ملات ماسه سیمان می‌باشد، ضریب هیزن ویلیامز ۱۱۰ در نظر گرفته شد. با توجه به طراحی سامانه‌ی مزبور برای تأمین آب شرب با ظرفیت متوسط ۳۰۰ لیتر بر ثانیه که با توجه به فشار کم (حدودا ۲۰ متر آب در انتهای خط انتقال در شرایط فعلی) و توضیحات مدیر سد بافت، قابلیت بهره‌برداری در این خروجی وجود ندارد و مصرف کشاورزی حداقل۱۵۰ و حداکثر ۲۰۰۰ لیتر بر ثانیه و مصرف صنعت ۵۰ (شرایط فعلی) و ۱۱۴ لیتر بر ثانیه که فاز اجرایی در آینده می‌باشد، مورد بررسی قرار داده شد. با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، دو مسیر ثقلی مصرف کشاورزی و صنعت برای موضوع تولید برق، پتانسیل اولیه را دارا هستند. جدول‌های (۸) و (۹) محاسبات مربوط به خروجی کشاورزی و جدول‌های (۱۰) و (۱۱) محاسبات مربوط به خروجی صنعت را نشان می‌دهند.

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

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

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

G1	شماره واحد
خروجی آب کشاورزی	نقاط پتانسیل دار نیروگاهی
۲۴۵	ظرفیت تولید kw
۱۹۶	توان الکتریکی خروجیkw
کاپلن	نوع توربین پیشنهادی
۱	دبی طراحی (m^3/s)
۲۵	هد طراحیm
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 ارزیابی‌های مالی (سد بافت خروجی صنعت)

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

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

جدول (۱۱) تحلیل بخش چیدمان و سایزینگ 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 خروجیkw
کاپلن	نوع توربین پیشنهادی
۰/۰۸	دبی طراحی (m^3/s)
۳۰	هد طراحیm
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)
۸،۸۵۶	NPV (م ریال)

نتیجه‌گیری

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. درنتیجه، 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 درنظر گفتن موارد مزبور، می‌توان جهت ورود به اقتصادی‌ترین 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. درنتیجه، 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 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.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

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., Järvikoski 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.

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.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دوازدهم/ شماره سی و هشتم / پاییز ۱۴۰۴
Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
12th Year/ No. 38/ December 2025

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 Daryabeigi [2]

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] Assisstant professor, Agriculture faculty, Shahid Bahonar University, samare@uk.ac.ir
[2] Research and development unit, Shark Electromagnetisem knowladge based company

Received: 2024/07/16 Accepted: 2025/03/16

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]