

پتانسیل سنجی و تحلیل اقتصادی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر از مخازن و خطوط انتقال آب (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

هادی دهقان^{*۱}

چکیده

یکی از رویکردهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، فعالیت بیشتر در زمینه تولید برق از فناوری‌های تجدیدپذیر مانند نیروگاه‌های برق آبی است که مصرف سوخت‌های فسیلی را در تولید برق کاهش می‌دهد. در این پژوهش، پتانسیل‌های موجود برای بازیابی انرژی و تولید برق در استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور به بررسی امکان نصب نیروگاه‌های برق آبی بر روی خطوط انتقال آب پرداخته شده است. با سنجش پارامترهای مربوط به اختلاف ارتفاع، دبی آب ورودی و موقعیت نقاط این امکان-سنجی صورت می‌پذیرد. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده امکان احداث ۳ نیروگاه برق آبی در خطوط انتقال آب استان خراسان رضوی است که در نهایت در صورت احداث نیروگاه‌ها در همه مناطق پیشنهاد شده، امکان تولید ۸۹۸۸۶۲۸ کیلووات ساعت برق فراهم است. برای آنالیز اقتصادی از قیمت‌های مصوب خرید تضمینی برق در سال‌های ۱۳۹۴ (۳۷۰۰ ریال)، ۱۳۹۵ (۱۵۰۰ ریال) و ۱۳۹۷ (۳۲۵۰) استفاده شد. نتایج محاسبات اقتصادی نشان داد سود سالیانه، برای سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ به ترتیب ۳۳۲۵۸، ۱۳۴۸۳ و ۲۹۲۱۳ میلیون ریال، نسبت فایده به هزینه به ترتیب برابر ۱/۳۴، ۰/۰۹ و ۱/۰۹ و مقدار سود خالص به ترتیب برابر ۵۴۴۷، ۱۴۳۲۸- و ۱۴۰۲ میلیون ریال است. نتایج نشان داد شاخص‌های اقتصادی در سال ۱۳۹۴ در بهترین وضعیت قرار دارند. با توجه به قیمت‌های مصوب خرید برق در سال ۱۳۹۵، احداث این‌گونه نیروگاه‌ها توجیه اقتصادی ندارد و با تجدیدنظر در قیمت خرید تضمینی برق در سال ۱۳۹۷ احداث این نیروگاه‌ها از نظر اقتصادی قابل توجیه شده است. حداقل قیمت خرید برق برای به صرفه بودن این نیروگاه‌ها به طور متوسط ۳۱۳۳ ریال بر کیلووات ساعت به دست آمد.

واژه‌های کلیدی:

انرژی تجدیدپذیر، پتانسیل سنجی، توربین

*۱. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، h.dehghan@kashmar.ac.ir

مقدمه

انرژی نقش مهمی در توسعه اقتصادی- اجتماعی جهان دارد. تقاضای انرژی به‌طور قابل‌توجهی به دلیل بسیاری از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و مصارف خانگی در حال رشد است. میزان مصرف سالیانه انرژی انتظار می‌رود بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۳۰، حدود ۱/۶ درصد افزایش یابد (۱ و همکاران، ۲۰۱۷). با این حال ۱/۶ میلیارد نفر در سراسر جهان هنوز به برق دسترسی ندارند. بر اساس گزارش سازمان ملل متحد، این شکاف انرژی به‌شدت بر پایداری محیط‌زیست در مقیاس جهانی اثرگذار است؛ بنابراین دسترسی آسان‌تر و متعادل‌تر به خدمات انرژی برای حل این شکاف انرژی ضروری است (یا^۱ و همکاران، ۲۰۱۷).

به‌طور کلی منابع انرژی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: سوخت‌های فسیلی، منابع تجدیدپذیر و انرژی هسته‌ای. با این حال حدود ۷۸/۳ درصد کل مصرف انرژی جهان وابسته به سوخت‌های فسیلی است (شکل (۱)). استفاده بیش‌ازحد انرژی جهانی از منابع غیرقابل‌تجدید منجر به تأثیرات منفی بر محیط‌زیست شده است. برخی از این اثرات عبارت‌اند از: گرم شدن کره زمین، بارندگی اسیدی، تخلیه لایه اوزون و انتشار موارد رادیواکتیو (دینسر^۲، ۲۰۰۰). علاوه بر این، استفاده بیش‌ازحد از سوخت‌های فسیلی (که در حال حاضر منابع اصلی انرژی هستند) منجر به تهدید سلامت عمومی و کاهش این منابع در درازمدت می‌شوند (پنوار^۳ و همکاران، ۲۰۱۱؛ بانوس^۴ و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه دلایل ارائه‌شده استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر پایدار و دوست‌دار محیط‌زیست مانند آب، زیست‌توده، باد، انرژی خورشیدی و زمین‌گرمایی حیاتی است. منابع انرژی تجدیدپذیر، پاک‌ترین منابع انرژی هستند که حداقل تأثیرات محیطی را که منجر به گرم شدن کره زمین می‌شوند، تولید می‌کنند. در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲، انرژی‌های تجدیدپذیر به ترتیب ۱۴ و ۱۹ درصد کل تولید برق

در عرضه جهانی را تشکیل می‌دادند (پنوار^۵ و همکاران، ۲۰۱۱). در سال ۲۰۱۴ انرژی‌های تجدیدپذیر مدرن و سنتی به ترتیب ۱۰/۳ و ۸/۹ درصد کل سهم انرژی تجدیدپذیر را به خود اختصاص داده‌اند. انرژی‌های تجدیدپذیر مدرن در چهار بخش برق‌آبی، زیست‌توده/ زمین‌گرمایی/ گرمایش خورشیدی، برق بادی/ خورشیدی/ زیست‌توده/ زمین‌گرمایی و زیست سوخت‌ها با سهم ۳/۹، ۴/۲، ۱/۴ و ۰/۸ درصد تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل (۱)). فرصت‌های سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر به‌طور فزاینده رو به افزایش است (۱ و همکاران، ۲۰۱۷). در بین انرژی‌های تجدیدپذیر، نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک، پاک‌ترین منبع انرژی می‌باشند. علاوه بر این میزان گازهای گلخانه‌ای که از نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک تولید می‌شود، در مقایسه با سایر نیروگاه‌های بزرگ آبی، بسیار کم است (بکمن^۶ و همکاران، ۲۰۱۶؛ فرس^۷ و همکاران، ۲۰۰۲).

بالهیر^۸ و رامن^۹ در سال ۲۰۱۷، تولید برق با روش برق‌آبی در مقیاس میکرو را در کشور پاکستان بررسی کردند. تجزیه و تحلیل هزینه‌ها نشان داد که خرید هر واحد انرژی با قیمت ۰/۰۴ دلار برای دولت و مصرف‌کننده مناسب است. بایزت^{۱۰} و همکاران در سال ۲۰۱۷، نقاط مناسب جهت احداث نیروگاه برق‌آبی را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در کشور ترکیه بررسی کردند. در منطقه مورد مطالعه، ۸۵ مکان جهت احداث نیروگاه برق‌آبی کوچک تعیین شد که قابلیت تولید سالانه مقادیر مختلف انرژی را فراهم می‌کنند. یا^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۷، در مطالعه‌ای پتانسیل‌های کوچک برق‌آبی را در مناطق روستایی کشور مالزی بررسی کردند. نتایج نشان داد که کل پتانسیل برق‌آبی در کشور مالزی ۲۹۰۰۰ مگاوات می‌باشد که ۵۰۰ مگاوات آن مربوط به نیروگاه‌های آبی میکرو می‌باشد. در مجموع ۱۴۹ سایت برای احداث نیروگاه‌های برق‌آبی میکرو تشخیص داده شد که پتانسیل مورد انتظار تا سال ۲۰۲۰، ۴۹۰ مگاوات است.

۵. Panwar
۶. Beckman
۷. Faris
۸. Balkhair
۹. Rahman
۱۰. Bayazit

۱. Yah
۲. Dincer
۳. Panwar
۴. Banos

موقعیت بر روی سامانه آبرسانی شهر ایلام وجود دارد که در حد نیروگاه‌های برق‌آبی خیلی کوچک (Mini) تا پیکو (Pico) هستند. میزان بازیابی انرژی در صورت استفاده از توربین ۱۵۶۱۱۰۰۰ کیلووات- ساعت و با استفاده از پمپ معادل ۱۱۷۶۸۹۵ کیلووات- ساعت در سال بود. بررسی منابع نشان می‌دهد در بعضی از استان‌های کشور در زمینه پتانسیل‌سنجی نیروگاه‌های برق‌آبی مطالعاتی انجام شده است و کمتر مطالعه- ای در استان خراسان رضوی انجام شده است. لذا هدف از این مطالعه پتانسیل‌سنجی و تحلیل اقتصادی امکان احداث نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک در مخازن و خطوط انتقال آب در استان خراسان رضوی می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان راهنما مورد استفاده کارفرمایان، مشاورین، پیمانکاران و سرمایه‌گذاران بخش خصوصی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

استان خراسان رضوی با وسعت بیش از ۱۱۶۴۸۵ کیلومترمربع، چهارمین استان پهناور کشور است. این استان دربرگیرنده ۴ حوضه آبریز درجه ۲ به نام‌های قره‌قوم^۱، کویر مرکزی^۲، نمکزار خواف^۳، اترک^۴ و شامل ۲۸ شهرستان می‌باشد. در این استان حدود ۳۲ رودخانه مهم و ۱۰ رودخانه مرزی وجود دارد. در شکل (۲) و جدول (۱)، نقشه و مشخصات حوضه‌های آبریز استان ارائه شده است.

نیروگاه‌های برق‌آبی به نیروگاه‌های بزرگ و کوچک یا متوسط تقسیم‌بندی می‌شوند. نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک می‌تواند دسترسی قابل‌اعتمادی به برق را بدون آسیب رساندن به محیط‌زیست فراهم کنند؛ بنابراین توسعه نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک برای بسیاری از کشورهای در حال توسعه ضروری است. لذا مطالعه دقیق پتانسیل‌های برق‌آبی کوچک در کشور و سیاست‌های دولت در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار مهم است. در ایران خوشبختانه تکنولوژی نیروگاه‌های میکرو از مراحل نخستین عبور کرده و تا حدودی مراحل صنعتی را نیز طی نموده است. به‌عنوان مثال بشیرزاده و همکاران در سال ۱۳۸۸، به‌کارگیری نیروگاه برق‌آبی کوچک را بر روی خطوط انتقال آب بجنورد، زاهدان و بیرجند بررسی کردند. درنهایت جایگزینی شیرهای فشارشکن کنترل دبی مورد استفاده در خطوط انتقال آب با نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک به‌عنوان یک راهکار اساسی جهت صرفه‌جویی و بازیافت انرژی در طراحی و اجرای خطوط انتقال آب پیشنهاد گردید. ترابی و همکاران در سال ۱۳۸۸، نقاط مستعد جهت نصب نیروگاه‌های آبی خیلی کوچک در استان لرستان را بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده به‌صرفه بودن این نیروگاه‌ها جهت تولید انرژی الکتریکی بخصوص در نقاط دوردست شبکه است. محمدی و همکاران در سال ۱۳۹۷، ظرفیت تولید برق از خطوط آبرسانی شهر ایلام را بررسی کردند. نتایج نشان داد که ظرفیت تولید برق در ده

جدول (۱): مشخصات حوضه‌های آبریز اصلی استان

عنوان حوضه آبریز	کویر مرکزی	قره‌قوم	نمکزار خواف	اترک	جمع
مساحت (هزار کیلومترمربع)	۵۸/۱	۴۳/۹	۱۲/۳	۱/۹	۱۱۶/۲
درصد مساحت نسبت به کل استان	%۵۰	%۳۷/۸	%۱۰/۶	%۱/۶	%۱۰۰

کشورهای پیشرفته اروپائی نیز تعداد زیادی از واحدهای کوچک برق‌آبی هنوز پس از سال‌ها در حال بهره‌برداری هستند (حاجی غفوری، ۱۳۹۴).

مطابق جدول (۲) نیروگاه‌های برق‌آبی بر اساس ظرفیت به پنج دسته تقسیم می‌شوند (کوجیز^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی، در نقاط مختلف به‌ویژه در مناطق دورافتاده که نمی‌توانند از خطوط انتقال نیرو استفاده کنند، با استقبال فزاینده‌ای روبروست. برای نمونه در چین هزاران واحد کوچک برق‌آبی در حال کار است. حتی در

۱. Kougias
۲. Gharaghom
۳. Central Desert
۴. Namakzare Khaf
۵. Atrak

جدول (۲): انواع نیروگاه‌های برق‌آبی بر اساس ظرفیت

ظرفیت	نوع نیروگاه برقی
بیشتر از ۱۰۰ مگاوات	بزرگ (Large)
کمتر از ۱۰ مگاوات	کوچک (Small)
کمتر از ۱۰۰۰ کیلووات	مینی (Mini)
کمتر از ۱۰۰ کیلووات	میکرو (Micro)
کمتر از ۵ کیلووات	پیکو (Pico)

کارکرد نیروگاه در سال است. تعداد روزهای کارکرد ۳۰۰ روز، تعداد ساعات کارکرد روزانه ۲۱ ساعت در نظر گرفته شده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). جهت تعیین بهای هر کیلووات-ساعت انرژی استحصالی از نیروگاه برق‌آبی کوچک، هزینه اولیه سرمایه‌گذاری از عوامل تأثیرگذار اصلی است که باید به‌طور مناسب پیش‌بینی شود. در حال حاضر اطلاعات جامعی از هزینه این نوع نیروگاه‌ها وجود ندارد، اما با محاسبات اقتصادی حاصل از چندین نیروگاه در حال بهره‌برداری و مطالعه بیش از یک‌صد نیروگاه، می‌توان از رابطه (۳) برای محاسبه حداقل هزینه احداث پروژه‌های آبی مربوط به کشورهای شرق آسیا، کانادا و آمریکا استفاده کرد (بشیرزاده و همکاران، ۱۳۸۸):

$$C_0 = L.K(P \times H^{-0.3})^{0.82} \quad (3)$$

به‌طوری‌که در این رابطه C_0 هزینه احداث نیروگاه برحسب دلار، L : برای شرق آسیا و ایران معادل ۰/۷ P: ظرفیت جایگاه برحسب کیلووات، H : ارتفاع خالص برحسب متر، K : ضریب تجربی از اجرای پروژه‌های نیروگاه آبی کوچک در آمریکا و کانادا بوده و مقدار آن ۲۲۲۰۰ است (بشیرزاده و همکاران، ۱۳۸۸). تحلیل شاخص‌های اقتصادی جهت بررسی و مقایسه گزینه‌های مختلف از قبیل نسبت سود به فایده (B/C)، سود خالص (B-C) و واحد انرژی تولیدی (C) برحسب ریال در کیلووات-ساعت صورت گرفت. در تحلیل اقتصادی، نرخ تنزیل برابر (d) ۱۲ درصد و طول عمر توربین (L) معادل ۲۰ سال در نظر گرفته شده است. هزینه تعمیرات و نگهداری سالیانه (O+M) در حدود ۱۰ درصد هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در نظر گرفته شد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). سود سالیانه (Ba) از حاصل ضرب انرژی سالیانه تولیدی در نرخ انرژی (بر اساس نرخ تضمینی اعلام‌شده توسط وزارت نیرو در سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ برای نیروگاه‌های برق‌آبی به ترتیب ۳۷۰۰

در شکل (۳) نمایی کلی از یک نیروگاه آبی نشان داده شده است (کادیر^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین در شکل (۴) نمونه دیاگرام تک‌خطی جهت اتصال ژنراتور به مصرف‌کننده نشان داده شده است. در این دیاگرام تجهیزات حفاظت و کنترل سیستم نیز دیده شده است (قدیمی، ۱۳۸۸). در سامانه‌های آب‌رسانی، خصوصاً جاهایی که منبع آب یا مخزن ذخیره آب در ارتفاع بالایی قرار دارد، در طول مسیر انتقال آب، فشار در داخل لوله‌ها بالا می‌رود. لذا برای کاهش فشار اغلب از شیرهای کنترل فشار یا تانک ضربه‌گیر استفاده می‌گردد. با استفاده از توربین می‌توان ضمن کاهش فشار در خطوط انتقال آب، از انرژی مازاد جهت تولید برق استفاده نمود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷).

مهم‌ترین مسئله در احداث نیروگاه‌های برق‌آبی، تخمین توانمندی یک محل در تولید انرژی یا ظرفیت نصب نیروگاه است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (ترابی و همکاران، ۱۳۸۸):

$$P = \frac{\rho Q H \eta}{1000} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، P : خروجی توربین برحسب کیلووات، H : ارتفاع (هد) خالص برحسب متر، Q : دبی توربین برحسب مترمکعب در ثانیه، ρ : وزن مخصوص آب برحسب نیوتن بر مترمکعب (۹۸۱۰ نیوتن بر مترمکعب) و η : راندمان توربین (۰/۸) در نظر گرفته شده است) است. انرژی تولیدی سالیانه یک نیروگاه برحسب کیلووات-ساعت در سال از رابطه زیر به دست آمد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷):

$$E = P * t \quad (2)$$

در رابطه (۲)، E میزان انرژی تولیدی برحسب کیلووات-ساعت، P توان تولیدی برحسب کیلووات و t تعداد ساعت

شرق شهر درگز احداث شده است. خط لوله انتقال آب کشاورزی و شرب به طول ۱۳/۳۵ کیلومتر از محل شیرخانه^۴ سد ابیورد با رقوم ارتفاعی ۵۶۴/۵ متر از سطح دریا شروع و تا ابتدای شبکه آبیاری در ۱/۵ کیلومتری شهر درگز با رقوم ارتفاعی ۵۰۷/۵ متر از سطح دریا ادامه می‌یابد. دبی لحاظ شده برای طراحی خط انتقال بر اساس حداکثر دبی شرب و دبی کشاورزی بوده است که معادل ۱۶۰۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد. لوله‌های مورد استفاده در خط از جنس GRP با فشار ۱۰ اتمسفر و قطر ۱۲۰۰ و اختلاف ارتفاع بالاترین نقطه، پایین‌ترین نقطه در خط ۹۰ متر می‌باشد. همچنین یک مخزن ۵۰۰ مترمکعبی در این خط لحاظ شده است. این مخزن که در ابتدای خط انتقال واقع شده، برای تعدیل فشار و جلوگیری از ضربه قوچ در نظر گرفته شده است. با توجه به کد ارتفاعی تراز نرمال آب در سد و همچنین مخازن متعادل‌کننده و بررسی پروفیل هیدرولیکی خط انتقال در بعضی از نقاط فشار آب قابل توجه بوده که با اتخاذ تمهیدات خاص می‌توان بخش عمده انرژی آب را بازیافت نمود. با بررسی‌های انجام شده ورودی مخزن تعادلی در ابتدای خط انتقال و همچنین ورودی خط انتقال به مخزن تعادلی جداکننده آب شرب از کشاورزی دارای پتانسیل مناسب جهت بازیافت انرژی می‌باشد. آبیگری از خط لوله از شیرخانه سد ابیورد و از شیر سوزنی با قطر ۷۰۰ میلی‌متر در تراز ۵۶۴/۵ متر از سطح دریا خواهد بود. دبی طراحی خط ۱/۶ مترمکعب در ثانیه و سرعت متوسط آب ۱/۴ متر در ثانیه در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب از لوله GRP با قطر ۱۲۰۰ میلی‌متر استفاده شده است. با توجه به طول لوله که ۱۲۶۶۸ متر است، افت فشار اصطکاکی لوله و افت جزئی اتصالات مجموعاً ۱۸/۵ متر آب خواهد بود. لازم به ذکر است قسمت ابتدایی خط انتقال یعنی از سد تا مخزن ۵۰۰ مترمکعبی به طول ۱۸۴ متر افتی برابر ۰/۳ ایجاد می‌کند. بیشترین فشار دینامیک در خط ۸۲/۵ متر آب و کمترین فشار دینامیک (به‌غیر از اول خط) ۲۶/۵ متر است. همچنین بیشترین فشار استاتیکی مربوط به محل عبور از رودخانه شورکال و برابر ۹۳ متر آب می‌باشد.

۱۵۰۰ و ۳۲۵۰ ریال در هر کیلووات ساعت) محاسبه گردید. نرخ ارز (دلار آمریکا) ۴۲۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

وضعیت کنونی صنعت برق آبی در ایران

نیروگاه‌های برق آبی یکی از ارکان صنعت نیروگاهی کشور است که به‌رغم محدودیت نسبی منابع آبی کشور در سال‌های اخیر، همواره نقشی اساسی را در پایدارسازی شبکه سراسری برق و تأمین بار پیک به عهده داشته است. این صنعت هم‌اکنون با بیش از ۱۱۸۳۰ مگاوات ظرفیت نصب‌شده، معادل ۱۵/۱ درصد از ظرفیت نیروگاهی کشور را تحت پوشش دارد (شکل ۵) و (۶) و در بین انرژی‌های تجدیدپذیر، بیشترین درصد را به خود اختصاص داده است. میزان انرژی تولیدشده در سال ۱۳۹۵ معادل ۱۶/۴ میلیارد کیلووات ساعت بوده است که نسبت به مدت مشابه سال قبل ۱۵/۵ درصد رشد داشته است. همچنین هم‌اکنون بالغ بر ۵۴۰۵ مگاوات طرح اجرایی و ۱۳۴۵۵ مگاوات ظرفیت مطالعاتی در بخش نیروگاه‌های برق آبی در کشور در دست پیگیری است. ۶۷٪ از ظرفیت طرح‌های مطالعاتی (معادل ۸۹۸۹ مگاوات) متعلق به حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد. حوضه آبریز دریای خزر و دریاچه ارومیه با ظرفیت ۳۹۹۴ مگاوات در رتبه دوم قرار دارد (آمار تفصیلی نیروگاه‌های برق آبی ایران، ۱۳۹۵). با استناد به آمار فوق در طی سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۵۵ و ۱۳۵۶ تا ۱۳۸۰ ظرفیت نیروگاه‌های برق آبی روند یکسانی دارد و رشد محسوسی نداشته است؛ اما از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ ظرفیت نیروگاه‌ها رشد افزایشی محسوسی داشته است، به‌طوری‌که در طی دوره اخیر، این ظرفیت پنج برابر شده است.

پتانسیل‌های تولید برق در استان خراسان رضوی

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، تعداد دو خط انتقال آب و شبکه آبیاری و زهکشی برای احداث نیروگاه برق آبی در استان خراسان رضوی به شرح زیر وجود دارد:

سد و تأسیسات وابسته ابیورد^۱ درگز^۲: سد مخزنی ابیورد بر روی یکی از شاخه‌های رودخانه شورکال^۳ واقع در حومه

۳. shorkal

۴. Shirkhaneh

۱. Abivard

۲. Daregaz

محاسبه کردند. فریرا^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۶، هزینه نیروگاه‌های برق‌آبی در برزیل را ۱۲۰۰ دلار بر کیلووات محاسبه کردند. هزینه اولیه محاسبه‌شده در این مطالعه نسبت به سایر پژوهش‌ها بالاتر می‌باشد و به نظر می‌رسد معادله ۳ در شرایط ایران نیاز به واسنجی دقیق‌تری دارد. با در نظر گرفتن راندمان توربین ۸۰ درصد و در نظر گرفتن ۳۰۰ روز در سال و ۲۱ ساعت در شبانه‌روز (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷)، انرژی تولیدی سالیانه ۸۹۸۸۶۲۸ کیلووات در سال محاسبه گردید (جدول (۴)). مقدار سود سالیانه حاصل از تولید برق با استفاده از قیمت‌های مصوب خرید تضمینی در سال‌های مختلف در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد سود سالیانه بر اساس قیمت مصوب سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ به ترتیب ۳۳۲۵۸، ۱۳۴۸۳ و ۲۹۲۱۳ میلیون ریال می‌باشد. نتایج تحلیل‌های اقتصادی در گزینه‌های مختلف در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج نشان داد در همه سایت‌ها نسبت فایده به هزینه (B/C) در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ مناسب‌تر است. متوسط شاخص مذکور در سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ به ترتیب ۱/۳۴، ۰/۰۹ و ۱/۰۹ محاسبه گردید. دلیل پایین‌تر بودن نسبت فوق در سال ۱۳۹۵ به دلیل پایین‌تر بودن قیمت خرید تضمینی برق می‌باشد. در صورتی که نسبت فایده به هزینه بزرگ‌تر از یک باشد پروژه از نظر توجیه اقتصادی قابل قبول و در صورتی که کوچک‌تر از یک باشد، غیرقابل قبول است. با توجه به نتایج فوق، با احتساب قیمت‌های مصوب خرید تضمینی برق در سال ۱۳۹۵ (۱۵۰۰ ریال) احداث نیروگاه‌ها توجیه اقتصادی ندارد. با افزایش قیمت مصوب خرید تضمینی برق در سال ۱۳۹۷ (۳۲۵۰ ریال)، احداث نیروگاه‌های فوق از نظر اقتصادی قابل توجیه می‌باشد. نتایج نشان داد که سود خالص با استفاده از قیمت‌های سال ۱۳۹۴ بیشتر از سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ است. همچنین هزینه واحد انرژی به‌طور متوسط ۹۳۰۳ ریال بر کیلووات-ساعت می‌باشد (جدول (۴)). نتایج مطالعه محمدی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد گزینه استفاده از پمپ به‌جای توربین در سامانه‌های کوچک برق‌آبی بر روی شبکه موجود آب‌رسانی شهر ایلام از نظر فنی امکان‌پذیر و از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است.

خط انتقال آب از سد مخزنی سده تا ابتدای شبکه آبیاری و زهکشی خواف: سد سده در فاصله ۳۵ کیلومتری از شهر خواف در استان خراسان رضوی واقع شده است. خط لوله انتقال آب به قطر ۸۰۰ میلی‌متر پس از آگیری از مخزن سد سده خواف، در ساحل راست کال سده به طول ۱/۲۵ کیلومتر امتداد یافته و در کیلومتر ۲+۱۷۰ ضمن عبور از کال سده در مجاورت جاده دسترسی به سد ادامه مسیر داده است. در کیلومتر ۳+۵۸۴ حوضچه فشارشکن پیش‌بینی شده است و بلافاصله سازه تقسیم آب (مقسم) آب موردنیاز حبابه بران روستاهای سده و سلامی را به ترتیب به نسبت‌های سه‌چهارم به یک‌چهارم، تقسیم می‌نماید. پس از حوضچه تقسیم، خط انتقال لوله روستای سده، در مجاورت جاده خاکی موجود به محل تقسیم آب روستای سده منتقل می‌گردد. طول خط انتقال از محل سد تا حوضچه تقسیم ۳/۶ کیلومتر و از حوضچه تا محل تقسیم آب در روستای سده ۳/۳ کیلومتر می‌باشد. مسیر خط انتقال لوله به روستای سلامی از محل حوضچه تقسیم، ضمن قطع مسیل کال سده، در طولی معادل ۹/۶۳۶ کیلومتر، آب موردنیاز اراضی روستای سلامی را تأمین می‌کند. در جدول (۳) مشخصات نیروگاه‌های برق‌آبی پیشنهادی به همراه هزینه اولیه آن‌ها ارائه شده است. ظرفیت نیروگاه‌های واقع در مخزن ابتدای خط سد ایبورد (سایت شماره (۱))، مخزن جداکننده آب شرب از کشاورزی سد ایبورد (سایت شماره (۲)) و خط انتقال سد سده خواف (سایت شماره (۳)) به ترتیب ۵۹۰، ۴۸۳ و ۳۵۳ کیلووات محاسبه گردید. همه سایت‌ها بر اساس ظرفیت آن‌ها از نوع نیروگاه‌های مینی می‌باشند. همه سایت‌های مورد مطالعه بر روی خطوط انتقال آب واقع شده‌اند. برای کنترل فشار در سایت‌ها مخزن تعادلی پیش‌بینی شده است که در این مطالعه پیشنهاد گردید به‌جای مخازن از توربین و نیروگاه استفاده شود. هزینه‌های ساخت نیروگاه‌ها شامل هزینه‌های اولیه (شامل توربین، ژنراتور و ...) و هزینه‌های بهره‌برداری (۱۰ درصد هزینه اولیه) سالیانه می‌باشد. هزینه اولیه نیروگاه (C₀) ابتدا برحسب دلار محاسبه و با در نظر گرفتن ارز مرجع (۴۲۰۰۰ ریال)، به میلیون ریال تبدیل شد. هزینه اولیه نیروگاه‌ها به‌طور متوسط ۱۹۸۴ دلار بر کیلووات و ۸۳ میلیون ریال بر کیلووات محاسبه گردید. محمدی و همکاران در سال ۱۳۹۷، هزینه اولیه نیروگاه مینی با ظرفیت ۱۷۳ کیلووات را ۲۳ میلیون ریال بر کیلووات

جدول (۳): مشخصات نیروگاه‌های برق آبی پیشنهادی و هزینه اولیه ساخت آن‌ها

شماره سایت	ایستگاه	ارتفاع خالص (m)	دبی توربین (m ³ /s)	خروجی توربین (kw)	هزینه اولیه نیروگاه (C ₀) بر حسب دلار	هزینه اولیه نیروگاه (C ₀) بر حسب میلیون ریال
۱	مخزن ابتدای خط سد ابيورد	۴۷	۱/۶	۵۹۰	۱۱۲۸۰۱۸	۴۷۳۷۷
۲	مخزن جداکننده آب شرب از کشاورزی سد ابيورد	۳۸/۵	۱/۶	۴۸۳	۱۰۰۵۹۷۳	۴۲۲۵۱
۳	خط انتقال سد سده خواف	۶۰	۰/۷۵	۳۵۳	۶۹۷۲۰۸	۲۹۲۸۳
مجموع				۱۴۲۶	۲۸۳۱۱۹۹	۱۱۸۹۱۱

نتیجه‌گیری

سه‌م تقریبی انرژی تجدیدپذیر از تولید برق جهانی تا پایان ۲۰۱۶، ۲۴/۵٪ می‌باشد که از این میزان ۱۶/۶٪ مربوط به نیروگاه‌های برق آبی می‌باشد. در بخش سیاست‌های کلی جمهوری اسلامی ایران نیز در مورد انرژی بر ایجاد تنوع در منابع انرژی کشور و استفاده از آن با رعایت مسائل زیست‌محیطی و تلاش برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با اولویت انرژی‌های برق آبی تأکید شده است. در این مطالعه بازیاخت انرژی جهت تولید برق از خطوط انتقال آب در استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد کل میزان انرژی سالیانه قابل بازیاخت در خطوط انتقال آب مورد مطالعه در استان خراسان رضوی، ۸۹۸۹ مگاوات ساعت در سال است. کل هزینه احداث نیروگاه‌ها ۱۱۸۹۱۱ میلیون ریال محاسبه گردید. با در نظر گرفتن قیمت‌های مصوب برق در سال ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷، سود سالیانه به ترتیب ۳۳۲۵۸، ۱۳۴۸۳ و ۲۹۲۱۳ میلیون ریال در سال به دست آمد. به دلیل نوسانات قیمت خرید تضمینی برق، نسبت فایده به هزینه (B/C) برای سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ به ترتیب ۱/۳۴، ۰/۰۹ و ۱/۰۹ محاسبه گردید. نتایج تحلیل‌های اقتصادی نشان داد با قیمت خرید تضمینی سال ۱۳۹۵ (۱۵۰۰ ریال) احداث نیروگاه‌های برق آبی مقرون به صرفه نیست. کاهش قیمت‌های

خرید تضمینی برق از ۳۷۰۰ ریال در سال ۱۳۹۴ به ۱۵۰۰ ریال در سال ۱۳۹۵ برای نیروگاه‌های روی خطوط انتقال آب، کاهش ۵۹ درصدی و افزایش قیمت‌ها از ۱۵۰۰ ریال در سال ۱۳۹۵ به ۳۲۵۰ ریال در سال ۱۳۹۷، افزایش ۵۴ درصدی را نشان می‌دهد. درحالی‌که لوله‌های انتقال آب و به‌خصوص خطوط انتقال آب شرب پتانسیل‌های مناسبی برای تولید برق هستند. این نیروگاه‌ها می‌توانند جاهایی مستقر شوند که فشار زیاد آب سبب نصب فشارشکن یا مخزن تعادلی بر روی مسیر می‌شود. جریان دائمی آب در لوله و اهمیت انتقال آب شرب سبب می‌شود تا بسیاری از عدم قطعیت‌های نیروگاه‌های برق-آبی در مسیر رودخانه در این نوع نیروگاه‌ها وجود نداشته و این نیروگاه‌ها باقابلیت اطمینان بیشتری قادر به تولید برق بوده و موجب گردند این نیروگاه‌ها از جذابیت بیشتری برای سرمایه-گذاری برخوردار باشند. لذا با توجه به اینکه انرژی‌های برق آبی حدود ۱۵ درصد ظرفیت تولید برق را در کشور به خود اختصاص داده است، پیشنهاد می‌گردد عوامل مؤثر بر قیمت-گذاری انرژی‌های برق آبی مورد بررسی مجدد قرار گیرد و فرمول عمومی و باثباتی برای قیمت خرید تضمینی برق بر اساس متغیرهای وابسته تدوین و اعلام شود.

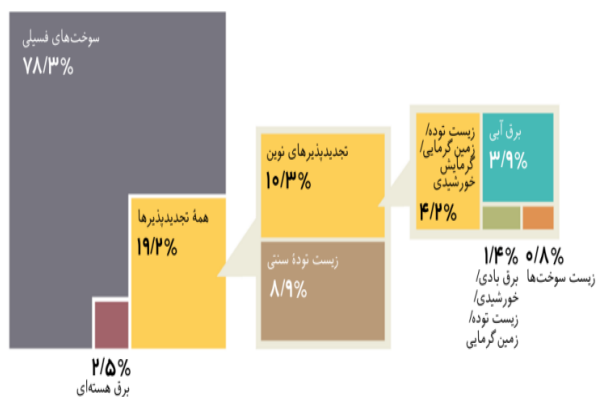
جدول (۴): تحلیل اقتصادی نیروگاه‌های پیشنهادی در سال‌های مختلف

C (ریال بر کیلووات-ساعت)	B-C (میلیون ریال)			B/C			O+M	C _R *	سود سالیانه (Ba) میلیون ریال در سال			انرژی تولیدی سالیانه (E) (kwh)	ایستگاه
	۱۳۹۷	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۷	۱۳۹۵	۱۳۹۴			۱۳۹۷	۱۳۹۵	۱۳۹۴		
۲۹۸۰	۱۰۰۳	-۵۵۰۳	۲۶۷۶	۱/۱۶	۰/۱۳	۱/۴۲	۴۷۳۸	۶۳۴۳	۱۲۰۸۴	۵۵۷۷	۱۳۷۵۷	۳۷۱۸۰۶۸	مخزن ابتدای خط سد ابیورد
۳۲۴۴	۱۷	-۵۳۱۳	۱۳۸۷	۱/۰۰	۰/۰۶	۱/۲۵	۴۲۲۵	۵۶۵۶	۹۸۹۸	۴۵۶۸	۱۱۲۶۹	۳۰۴۵۶۵۲	مخزن جداکننده آب شرب از کشاورزی سد ابیورد
۳۰۷۸	۳۸۲	-۳۵۱۱	۱۳۸۴	۱/۱۰	۰/۱	۱/۳۵	۲۹۲۸	۳۹۲۰	۷۳۳۱	۳۳۳۷	۸۲۳۲	۲۲۲۴۹۰۸	خط انتقال سد سده خواف
۹۳۰۳	۱۴۰۲	-۱۴۳۲۸	۵۴۴۷	مجموع					۲۹۲۱۳	۱۳۴۸۳	۳۳۲۵۸	۸۹۸۸۶۲۸	مجموع

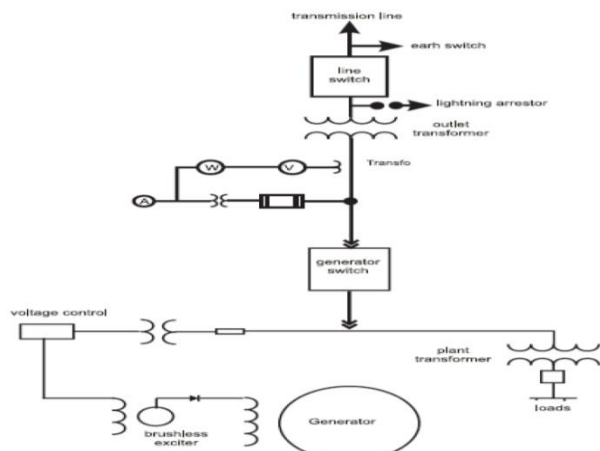
* هزینه برگشت سرمایه



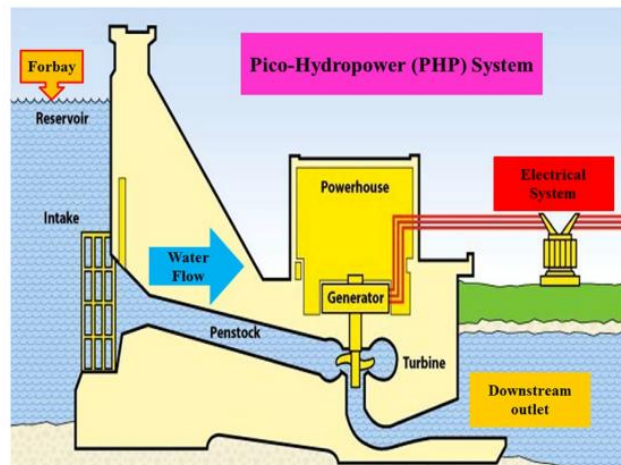
شکل (۲): نقشه حوضه‌های آبریز اصلی استان خراسان رضوی



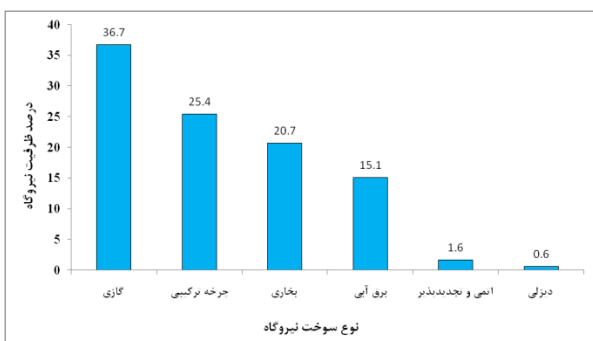
شکل (۱): سهم تقریبی انرژی تجدیدپذیر از مصرف انرژی نهایی جهان در سال ۲۰۱۴ (برگرفته از گزارش وضعیت جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر ۲۰۱۶)



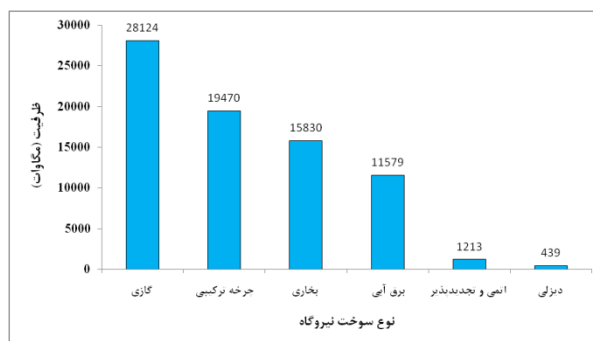
شکل (۴): دیاگرام الکتریکی از یک نیروگاه برق آبی (قدیمی، ۱۳۸۸)



شکل (۳): نمایی شماتیک از یک نیروگاه برق آبی (کادیر و همکاران، ۲۰۱۷)



شکل (۶): درصد ظرفیت نیروگاه‌های کشور به تفکیک نوع سوخت در سال ۱۳۹۵ (برگرفته از آمار تفضیلی نیروگاه‌های برق آبی کشور سال ۱۳۹۵)



شکل (۵): ظرفیت نیروگاه‌های کشور به تفکیک نوع سوخت در سال ۱۳۹۵ (برگرفته از آمار تفضیلی نیروگاه‌های برق آبی کشور سال ۱۳۹۵)

۵. حاجی غفوری بوکانی، ن. (۱۳۹۴). بررسی نیروگاه‌های برق آبی کوچک در ایران و برخی از کشورهای جهان. نشریه مهندسی مکانیک، شماره ۱۰۳، ص ۴۶-۳۶.
۶. سیدان، م. ح؛ و عبدالمی سروی، ج. (۲۰۱۶). گزارش وضعیت جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر ۲۰۱۶. یافته‌های کلیدی ۲۰۱۶. ترجمه. ۳۲ صفحه.
۷. قدیمی، ع. ا. (۱۳۸۸). امکان‌سنجی جغرافیایی و اقلیمی احداث نیروگاه‌های برق آبی کوچک در استان لرستان با انجام مطالعات فنی و اقتصادی و زیست‌محیطی. گزارش نهایی طرح پژوهشی کمیته مرکزی تحقیقات شرکت برق منطقه‌ای باختر. ۹۵ صفحه.
۸. محمدی، ع؛ و وشتانی، م. (۱۳۹۴). امکان‌سنجی نصب نیروگاه-های برق آبی کوچک بر روی خطوط شبکه آب‌رسانی شهر تهران. فصلنامه تحقیقات مکانیک کاربردی، جلد ۷، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۴.
۹. محمدی، م. یاسی، م. جمالی، س؛ و حاجی کندی، ه. (۱۳۹۷). ارزیابی ظرفیت تولید برق از خطوط آب‌رسانی شهر ایلام. نشریه

مراجع

۱. بشیرزاده تبریزی، ا. گیفانی، ن؛ و فرهمند، ع. (۱۳۸۸). به‌کارگیری نیروگاه برق آبی کوچک بر روی خطوط انتقال آب با مطالعه موردی خطوط انتقال آب بجنورد، زاهدان و بیرجند. سومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد اصلاح الگوی مصرف)، تهران اسفند ۱۳۸۸.
۲. بی‌نام. (۱۳۹۵). آمار تفضیلی نیروگاه‌های برق آبی کشور سال ۱۳۹۵. وزارت نیرو. شرکت مدیریت منابع آب ایران. ۶۷ صفحه.
۳. ترابی، ق. خوش نواز، م. صفری کارچانی، ع؛ و قدیمی، ع. ا. (۱۳۸۸). پتانسیل‌سنجی و شناسایی نقاط مستعد جهت نصب نیروگاه‌های آبی خیلی کوچک در استان لرستان. بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران ۱۳۸۸.
۴. جنگ‌آور، ح. نوراللهی، ی؛ و امامی میبدی، ع. (۱۳۹۶). بررسی و تحلیل اقتصادی و محیط‌زیستی توسعه نیروگاه‌های برق آبی کوچک. نشریه اکوهیدرولوژی، دوره ۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶، ص ۱۲۶۸-۱۲۵۵.

سد و نیروگاه برق‌آبی، سال پنجم، شماره ۱۶، بهار ۱۳۹۷، ص ۱-۱۲.

۱۰. نوراللهی، ی. یوسفی، ح. طاهری باویل علیائی، م؛ و محمدی، م. (۱۳۹۶). شناسایی حوضه‌های آبریز و پتانسیل‌سنجی تولید توان از نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک در استان کردستان. نشریه اکوهیدرولوژی، دوره ۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص ۲۸۶-۲۷۵.

11. Al-Faris ARF. The demand for electricity in the GCC countries. *Energy Policy* 2002;30:117-24.
12. Balkhair, K.S. and Rahman, K.U., 2017. Sustainable and economical small-scale and low-head hydropower generation: A promising alternative potential solution for energy generation at local and regional scale. *Applied Energy*, 188, pp.378-391.
13. Banos, R. Manzano-Agugliaro, F. Montoya, F. G. Gil, C. Alcayde, A. and Gómez, J., 2011. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1753-1766.
14. Bayazit, Y., Bakış, R. and Koç, C., 2017. An investigation of small scale hydropower plants using the geographic information system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, pp.289-294.
15. Beckman K. More than a fifth of global power production now comes from renewables. (<http://www.energypost.eu/fifth-global-power-production-comes-re-newables/>); 2014 [accessed 08.05.2016]
16. Dincer, I., 2000. Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 4(2): 157-175.
17. Ferreira, J. H. I. Camacho, J. R. Malagoli, J. A. and Júnior, S. C. G., 2016. Assessment of the potential of small hydropower development in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 380-387.
18. Kadier, A. Kalil, M. S. Pudukudy, M. Hasan, H. A. Mohamed, A. and Hamid, A. A., 2017. Pico hydropower (PHP) development in Malaysia: Potential, present status, barriers and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 81 (2018) 2796-2805.
19. Kougias, I. Patsialis, T. Zafirakou, A. and Theodossiou, N., 2014. Exploring the potential of energy recovery using micro hydropower systems in water supply systems. *Water Utility Journal*, 7, 25-33.
20. Panwar, N. L. Kaushik, S. C. and Kothari, S., 2011. Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3): 1513-1524.
21. Yah, N.F., Oumer, A.N. and Idris, M.S., 2017. Small scale hydro-power as a source of renewable energy in Malaysia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, pp.228-239.

Potential Analysis and Economic Feasibility of Development of Renewable Energies from the Water Reservoirs and Pipelines (Case Study: Razavi Khorasan Province)

Hadi Dehghan*¹

Abstract

One of the solutions for the reduction of greenhouse gases emission is higher activities to generate electricity from renewable technologies such as the hydroelectric power plants, which consequently leads to the decrease in fossil fuel consumption for power generation. The current study aimed at the investigation of the existing potentials for the recovery of the energy and generation of electricity in Razavi Khorasan Province. In order to do so, the feasibility of installation of hydroelectric power plants on the water transmission pipelines has been evaluated. This feasibility study is done through the measurement of the parameters related to the height, input water discharge, and the points location. The obtained results are indicative of the feasibility of constructing 3 hydroelectric power plants on the water transmission pipelines in Razavi Khorasan Province. Finally, in case the power plants are constructed in all suggested zones, it would be possible to generate 8988628 kW/h of electricity. The guaranteed purchase power prices authorized in the years 2015 (3700 Rials), 2016 (1500 Rials), and 2017 (3250 Rials) were used for the economic analysis. The results of the economic analysis indicated that the annual profit for the years 2015, 2016, and 2017 was 33258, 13483, and 29213 million Rials, respectively, the benefit-to-cost ratio was 1.34, 0.09, and 1.09, respectively, and the net profit was 5447, -14328, and 1402 million Rials, respectively. The results revealed that the economic indicators were at the best state in 2015. Regarding the authorized prices of power purchase in 2016, the construction of such power plants does not have economic feasibility and through the revision of the guaranteed purchase power prices in 2017, the construction of such power plants has become economically feasible. The minimum power purchase price for such power plants to be feasible was attained to be 3133 Rials per kW/h, on average.

Keywords:

Potential Analysis, Razavi Khorasan Province, Renewable Energy, Turbine

1- Assistant Professor, Water Science and Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran, Corresponding Author: h.dehghan@kashmar.ac.ir