DOR: 20.1001.1.24234931.1398.6.1.11.1

سال ششم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۸، ص ۹۱ ص ۱۰۲

فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

Jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۱۹

ارزیابی فنی و اقتصادی احداث نیروگاه خورشیدی (فتوولتائیک) متصل به شبکه (مطالعه موردی: نیروگاه یک مگاواتی، شهرستان اهواز)

مرتضی تاکی[1*]، مصطفی مردانی نجف‌آبادی[2]

۱- استادیار، مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی (انرژی)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی

۲- استادیار، اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی

*اهواز، کدپستی: ۶۳۴۱۷۷۳۶۳۷، mortezataaki@gmail.com mtaki@ramin.ac.ir

چکیده

هدف از این تحقیق، مقایسه بین یک نیروگاه گازی با یک نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک متصل به شبکه در شهرستان اهواز از نظر فنی و اقتصادی با استفاده از نرم افزار Retscreen است. نتایج نشان داد که نیروگاه برق خورشیدی دارای مزیت اقتصادی بیش‌تری نسبت به نیروگاه گازی است. بررسی سناریوهایی که مربوط به تغییر قیمت خرید تضمینی خروجی نیروگاه خورشیدی است، نشان دادند که حتی کاهش ۵۰ درصدی قیمت خرید تضمینی برق موجب نمی‌شود که این پروژه غیر اقتصادی گردد. با وجود اینکه در این حالت سود (ارزش) خالص جاری (NPV) بسیار هنگفتی از دست خواهد رفت (رقمی بالغ بر ۶۸ میلیارد ریال)، مقدار نرخ بازگشت سرمایه (۲۲/۸ درصد) معقول به نظر می‌رسد. البته باید توجه داشت که این بدبینانه‌ترین حالت ممکن در هنگام بهره‌برداری از پروژه است. مقایسه زمان بازگشت خالص سرمایه برای نیروگاه خورشیدی که ۳۰ درصد از قیمت خرید تضمینی آن کاهش یافته باشد (۴/۲سال) و همین معیار برای نیروگاه گازی (۵/۲ سال)، انتخاب نیروگاه خورشیدی را برای ما مسجل می‌کند. اقتصادی شدن استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی با توجه به بحران ریزگردها در سال‌های اخیر در این منطقه می‌تواند به عملی‌شدن استفاده از این روش و بهرمندشدن مزایای زیست‌محیطی آن کمک کند.

واژگان کلیدی:

انرژی خورشیدی، نیروگاه فتوولتائیک، مالیات بر کربن، Retscreen

Technical and economic evaluation of solar power plant (photovoltaic) grid-connected (Case study: 1 MW power plant in Ahvaz city)

Morteza Taki[1*], Mostafa Mardani Najafabadi[2]

1. Department of Agricultural Machinery and Mechanization, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

2. Assistant Prof, Department of Agricultural Economics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

* P.O.B: 6341773637, Ahvaz, Iran, moortezataaki@gmail.com, mtaki@ramin.ac.ir

Abstract

The goal of this study is to evaluate a gas and solar power plants (photovoltaic) grid-connected in Ahvaz city, Iran. The results showed that the solar power plant has more economic advantages than gas power plants. A review of the scenarios concerning the replacement of the guaranteed purchase price of the solar power plant showed that even a 50% reduction in the guaranteed power purchase price did not make the project non-economic. In this case, a big value of NPV (about 68 billion rials) has been lost but the return on investment (22.8%) would be reasonable. Of course, it should be noted that this is the most pessimistic case when using the project. Comparison on capital returns for a solar power plant, which is 30% of its guaranteed purchase price (4.2 years) was reduced, and the same factor for the gas plant (2.5 years in Table 5) gives us the choice of the solar power plant. The results of sensitivity analysis showed that the electricty price is more sesitive that other two economic factors. Using of solar power plants because of the microstats crisis in recent years in this region, can help to implement this method and increase the benefits of this environmental technique.

Keywords: Solar energy, Photovoltaic solar power plant, Carbon taxe, Retscreen

مقدمه

امروزه تأمین انرژی از اساسی‌ترین پیش نیازهای توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها به شمار می‌رود. تغییرات جمعیتی و رشد شهرنشینی، علاوه بر ضعف در کارآیی جریان تولید، انتقال، توزیع، مصرف و عدم تأمین انرژی از منابع مطمئن و پاک، موجب افزایش تقاضای انرژی و مصرف سریع منابع آن شده است [۱]. سرعت تهی شدن منابع انرژی تجدیدناپذیر و افزایش آلودگی‌ها، به یکی از بحران‌های انرژی و محیط زیست در هزاره سوم مبدل شده‌اند [۲]. یکی از معایب منابع انرژی فسیلی و متداول، توزیع نایکنواخت نیروگاه‌های فسیلی و قرار گرفتن در محدوده خاص است. این توزیع غیریکنواخت انرژی فسیلی در حالی که به منابع انرژی در جغرافیای گسترده‌تری نیاز است، موجب آسیب‌پذیری به امنیت ملی کشورها می‌شود. از طرف دیگر، تولید انرژی در نیروگاه‌های متمرکز با ظرفیت‌های بسیار بزرگ نیز با امنیت پایدار تأمین انرژی هم‌خوانی ندارد. در این موارد، آسیب دیدن یک نیروگاه برق اصلی، موجب قطع برق در منطقه وسیعی می‌شود که خسارات جبران ناپذیری به همراه دارد[۳]. افزایش قابل توجه قیمت فرآورده‌های نفتی بعد از شوک نفتی سال ۱۹۷۳، توجه صاحب نظران و کارشناسان اقتصاد انرژی را به سمت یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر یعنی انرژی خورشیدی جلب نمود. عوامل بسیار زیادی، افراد را به توجه و سرانجام پذیرش خورشید به عنوان منبع انرژی جایگزین سوق می‌دهد. با این حال یکی از جذاب‌ترین ویژگی‌های انرژی خورشیدی از نقطه نظر اقتصادی، توانایی آن در کاهش هزینه‌های کلی تولید انرژی می‌باشد[۴].

مطالعات در زمینه‌ی انرژی خورشیدی در ایران از حدود ۳۵ سال قبل و به طور تقریباً هم‌زمان در دانشگاه شیراز و صنعتی شریف شروع شد. از جمله طرح‌های مهم مورد توجه در این مراکز، طرح نیروگاه خورشیدی ۱۰ مگاواتی در دانشگاه شیراز و طرح توسعه و ساخت سلول‌های فتوولتائیک (PV) در این مرکز بوده است. در سال‌های اخیر در داخل و خارج کشور ، مطالعات زیادی در مورد ارزیابی اقتصادی تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر و به خصوص انرژی خورشیدی انجام شده است. در تحقیقی با عنوان مطالعه و بررسی سیستم‌های فتوولتائیک برای تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در جایابی بهینه نیروگاه‌های خورشیدی در ایران پرداخته شد[۵]. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که مهم‌ترین معیار برای احداث نیروگاه فتوولتائیک در ایران، پارامترهایی از قبیل تابش دریافتی، ساعات آفتابی، غبار و آلودگی، رطوبت نسبی، ابرناکی، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب و دمای محیط می‌باشد. در تحقیق دیگری به پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک (بطور مشخص ۱۰ مگاواتی) در اقلیم جنوب شرق ایران با در نظر گرفتن پارامترهای فنی و اقتصادی پرداخته شد [۶]. پارامترهای فنی و اقتصادی محاسبه شده عبارتند از: هزینه تولید انرژی، ضریب بهره‌برداری، مدت زمان بازگشت سرمایه، نرخ بازگشت داخلی، ارزش خالص فعلی، میزان برق صادر شده به شبکه و میزان کاهش ناخالص انتشار گازهای گلخانه‌ای. در نهایت با استفاده از نرم افزارRETScreen و تحلیل شاخص‌های اقتصادی یاد شده، مناسب‌ترین شهر برای احداث نیروگاه مورد نظر معرفی شده است. بهمنی و مهرادمهر[۷]، در تحقیق خود با عنوان ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در روستاهای مناطق جنوبی ایران، با بهره‌گیری از شاخص‌های ارزیابی اقتصادی، به مطالعه دو روش گسترش شبکه سراسری برق و کاربرد سیستم فتوولتائیک خورشیدی، پرداختند. نتایج نشان داد که در شرایط عدم پرداخت یارانه از طرف دولت این دو روش صرفه اقتصادی نداشته و ارزش خالص فعلی منفی دارد. در مطالعه دیگری، به بررسی و ارزیابی مالی تولید برق با استفاده از انرژی خورشیدی در ایران پرداخته شد [۸]. نتایج این تحقیق نشان داد که در احداث نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی ۲۵ مگاواتی مشوق‌های تعرفه‌ای بیش‌ترین اثرات را بر بهبود شاخص‌های مالی دارند. حاتمی و همکاران [۹]، در مطالعه خود با عنوان ارزیابی اقتصادی استفاده از سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه در روستاها با شبیه‌سازی مونت کارلو، از این روش با ۲۰۰۰ تکرار استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از سیستم فتوولتائیک نسبت به توسعه شبکه برق سراسری اقتصادی‌تر است. در مطالعه دیگری، به ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه‌های خورشیدی توسط وسیله نرم افزار RETScreen با توجه به قانون هدفمندسازی یارانه‌ها، پرداخته شد [۱۰]. در محاسبات باتوجه به قانون هدفمندسازی یارانه‌ها و تعرفه‌های جدید برق و مسئله کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از نیروگاه فتوولتائیک ۳ سناریو مطرح و با یکدیگر مقایسه کردند. در حالت اول بدون منظور کردن اثر کاهش گازهای گلخانه‌ای و با فرض متوسط بهای برق ۴۳۰ ریال، زمان دست‌یابی به جریان نقدی مثبت برابر ۱۲/۱ سال و در حالت دوم با فرض بهای برق ۲۱۰۰ ریال، زمان دست یابی به جریان نقدی مثبت به حدود ۸ سال رسید. در حالت سوم با در نظرگرفتن اعتبار به ازای کاهش گازهای گلخانه‌ای و بهای برق ۲۱۰۰ ریال و به کارگیری پنل خورشیدی با راندمان بالا، زمان دست‌یابی به جریان نقدی مثبت به حدود ۶ سال کاهش یافت.

استان خوزستان با وجود منابع فراوان انرژی فسیلی، از نظر منابع انرژی تجدیدپذیر نیز بسیار غنی است که می‌تواند در کاهش وابستگی به انرژی فسیلی، آلودگی محیط زیست، تولید انرژی در محل مصرف، کاهش هدر رفت انرژی و افزایش انعطاف پذیری در مقابل تهدیدات و افزایش امنیت انرژی و ملی بسیار موثر باشد. انرژی خورشیدی یکی از مهمترین منابع تجدیدپذیر انرژی در استان خوزستان است و این توانایی تبدیل شدن به قطب تولید انرژی خورشیدی در سطح منطقه‌ای و حتی جهانی را دارد [۱۱]. با توزیع مزارع خورشیدی در تنها ۳/۳۱ درصد از اراضی شهرستان اهواز که از نظر بلایای طبیعی، اثرات زیست محیطی و انسانی در شرایط عالی هستند، امکان تأمین برق کل استان وجود دارد و بدین وسیله از تمرکز و پخش غیریکنواخت نیروگاه‌های تولید برق جلوگیری می‌شود [۱۲]. با توجه به افزایش تولید برق خورشیدی طی چند سال اخیر، اما باز هم نسبت به پتانسیل‌های موجود در کشور جای کار بسیاری وجود دارد. یکی از شهرستان‌هایی که تاکنون با وجود ظرفیت‌های بالای تولید برق خورشیدی به آن توجه نشده است، شهرستان اهواز می‌باشد. بنابراین هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی فنی و اقتصادی نیروگاه خورشیدی یک مگاواتی در

شهرستان اهواز و تحلیل نتایج بر اساس چندین سناریو واقعی با شرایط روز کشور می‌باشد. در ادامه به مقایسه نیروگاه خورشیدی با نیروگاه گازی یک مگاواتی پرداخته می‌شود و کلیه تحلیل‌های اقتصادی و فنی مورد نظر با توجه به بحث آلاینده‌های زیست‌محیطی و ریزگردها در نظر گرفته می‌شود. در نظر گرفتن امکان استفاده از این نوع نیروگاه‌ها با توجه به بحث ریزگردها در این منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. مشابه این تحقیق از نظر نوع نگاه واقع‌بینانه و تحلیل اقتصادی انجام شده در این منطقه تاکنون صورت نگرفته است.

منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان درجنوب غربی کشور و درجایگاهی استراژیک واقع شده است که از غرب با کشور عراق، از شمال با استان ایلام، از شرق با استان‌های چهار محال و بختیاری و کهگیلویه و بویر احمد و از جنوب با آب‌های خلیج همیشه فارس هم مرز است. شهرستان اهواز مرکزسیاسی، اداری و تجاری استان خوزستان در موقعیت ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۶۵ دقیقه طول شرقی واقع است و بر اساس آخرین تقسیمات کشوری دارای پنج شهر به نام‌های اهواز، ملاثانی، شیبان، ویس وحمیدیه، سه بخش به نام‌های مرکزی، باوی و حمیدیه، دوازده دهستان و ۴۳۹ روستای دارای سکنه می‌باشد (شکل ۱). در قسمت‌های شمالی و مرکزی شهرستان اهواز،

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محل مورد مطالعه

به منظور مدل‌سازی نیروگاه برق خورشیدی، ابتدا لازم است مفروضاتی در نظر گرفته شود. این مفروضات باید تا حد امکان با شرایط جغرافیایی منطقه مورد نظر مطابقت داشته باشد. در جدول۳، پارامترهای فنی و اقتصادی جلگه‌ای هموار و نسبتاً حاصلخیز قرار دارد و همچنین درحاشیه‌های شرقی و غربی شهرستان نیز تپه‌های ماسه‌ای و شنی قرار دارند که جهت آن‌ها به موازات ارتفاعات زاگرس جنوبی و از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق امتداد یافته‌اند. در بخش جنوبی و جنوب شرقی شهرستان جلگه خشک و بی حاصل مارن قرار دارد که دارای منابع عظیمی از نفت وگاز است. براساس میانگین سالیانه تابش خورشید، شهرستان اهواز در حدود ۱۵۵۱۸ تراوات ساعت در سال انرژی خورشیدی دریافت می‌کند. میانگین شدت تابش آفتاب در سال در شهرستان اهواز برابر با ۵/۱۸ کیلووات ساعت در روز بر متر مربع می‌باشد که براساس سطح بندی تابش آفتاب توسط آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر آمریکا جهت تولید برق، در دسته بسیار خوب قرار دارد. بیش‌ترین مقدار انرژی دریافتی خورشیدی در ماه‌های گرم سال است که هم‌زمان با بیش‌ترین مصرف برق در شهرستان اهواز و استان خوزستان و مناطق گرمسیر مجاور می‌باشد. انرژی دریافتی زیاد در این ماه‌ها امکان استفاده از آن در جهت تأمین بخشی از برق منطقه و کاهش فشار بر خطوط انتقال برق و کاهش قطعی برق را مهیا می‌سازد[۱۲].

مشخصات نیروگاه‌های مورد مطالعه و مفروضات فنی و اقتصادی

مشخصات پنل‌های مورد استفاده برای ارزیابی نیروگاه خورشیدی در جدول ۱ آورده شده است. در این تحقیق از پنل STP260S، تول
ید شده توسط شرکت Suntech استفاده شد. توان این پنل ۲۶۰ وات می-باشد که به تعداد ۳۸۵۶ عدد از این پنل برای ساخت نیروگاه برق خورشیدی یک مگاواتی نیاز است. مساحت مورد نیاز برای این تعداد سلول همراه با تجهیزات و اتاق کنترل حدود ۶۲۵۰ مترمربع است. در ادامه به منظور مقایسه نیروگاه برق خورشیدی مورد نظر با یک نیروگاه مشابه از نظر توان تولیدی، نیروگاه گازی از نوع تولید همزمان برق و حرارت در نظر گرفته شد. نیروگاه گازی مورد نظر دارای ۱۰ واحد میکروتوربین از نوع TA-100 که توسط شرکت Elliott تولید شده است. بازدهی این میکروتوربین بدون سیستم تولید حرارت حدود ۳۰ درصد است. در جدول ۲، مشخصات میکروتوربین گازی مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است.

بنابراین در این تحقیق برای نیروگاه خورشیدی اعتبار سبزی معادل با ۵/۱۶ ریال برای هر تن کاهش CO_2 در طول مدت ۲۰ سال و بدون هیچ نرخ افزایش اعتبار و هزینه تبادل اعتبار، در نظر گرفته شد. همچنین برای نیروگاه گازی مالیات سبزی معادل با ۵/۱۶ ریال برای هر تن افزایش CO_2 در طول مدت ۲۰ سال و بدون هیچ نرخ افزایش مالیات و هزینه تبادل مالیات، در نظر گرفته شد.

در ادامه پارامترهای فنی و اقتصادی مفروض در نیروگاه گازی در جدول ۴ آورده شده است. به منظور افزایش راندمان و همچنین اقتصادی شدن پروژه‌ی نیروگاه گازی، از سیستم تولید همزمان برق و حرارت (CHP) استفاده شد. اطلاعات مربوط به مخارج اولیه شامل خرید میکروتوربین و نصب و راه اندازی، از نمایندگی فروش در اصفهان دریافت شد. همچنین هزینه‌های سالیانه تعمیر و نگهداری از مصرف کننده‌ی این میکروتوربین در شهر شیراز اخذ شد.

مفروض برای نیروگاه برق خورشیدی آورده شده است. مخارج اولیه و هزینه-های سالیانه تعمیر و نگهداری بر حسب ریال وارد شده است. برای این منظور، از نرخ ارز دولتی (۴۲۰۰۰ ریال) استفاده شده است.

هزینه‌های سالیانه تعمیر و نگهداری برابر یک درصد هزینه اولیه در نظر گرفته شده است. دلیل این امر می‌تواند وجود گرد و غبارهای پیاپی در این منطقه باشد که منجر به افزایش هزینه‌های نگهداری می‌شود. عمر مفید نیروگاه برق خورشیدی ۲۰ سال در نظر گرفته شد و دلیل این امر بالا بودن درجه حرارت در برخی از ماه‌های سال و کاهش عمر مفید سلول‌ها می‌باشد.

یکی از منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و به خصوص CO_2، نیروگاه‌های فسیلی در صنعت برق می‌باشد. این صنعت مهم را می‌توان در مقیاس‌های بزرگ و کوچک با تولید پراکنده دسته‌بندی کرد. با توجه به نیروگاه‌های خورشیدی و گازی که در این تحقیق مورد مطالعه قرار می‌گیرد، لذا مقیاس کوچک مدنظر است. قیمت سایه‌ای ۵/۱۶ میلیون ریال برای هر تن CO_2، ملاک هزینه نهایی انتشار گازهای گلخانه‌ای در این تحقیق قرار گرفت[۱۳].

جدول ۱ مشخصات پنل‌های یک مگاواتی (Suntech / STP260S -۱□□) مورد مطالعه در تحقیق

مشخصات	کمیت
حداکثر توان	۲۶۰ W
حداکثر جریان	۸/۴۲ A
حداکثر ولتاژ	۳۹/۹ V
جریان اتصال کوتاه	۸/۸۹ A
ولتاژ مدار باز	۳۶/۷ V
بازده	۱۶٪

منبع: www.suntech-power.com IEC-STP-Wem-NO1.01-Rev 2015

جدول ۲ مشخصات میکروتوربین گازی (Elliott/ TA-100) مورد مطالعه در تحقیق (www.calnetixMT.com)

مشخصات	کمیت
توان (کیلووات)	۱۰۰
حداکثر ولتاژ خروجی (ولت)	۴۸۰
حداکثر جریان (آمپر)	۲۰۰
حداکثر فرکانس (هرتز)	۶۰
بازده (٪)	۳۰
نسبت فشار	۴
سرعت دورانی (دور بر دقیقه)	۶۸۰۰۰
دمای ورودی توربین (کلوین)	۱۱۴۳
دبی سوخت (لیتر بر ثانیه)	۳/۸
نویز (دسی بل بر متر)	۷۵
بازدهی کل سیستم (درصد)	۸۰

جدول ۳ پارامترهای فنی و اقتصادی مفروض در نیروگاه خورشیدی یک مگاواتی مورد مطالعه

پارامترهای فنی	کمیت	پارامترهای اقتصادی	کمیت
وضعیت تعقیب خورشید	تک محوری	هزینه اولیه (میلیون ریال)	۶۳۰۰۰
نوع سلول	سیلیکون چندتایی	هزینه سالیانه تعمیر و نگهداری (میلیون ریال)	۶۳۰
شیب پنل (درجه)	۴۵	قیمت فروش برق (ریال/ کیلووات ساعت)	۴۹۰۰
دمای اسمی سلول (درجه سانتیگراد)	۴۵	اعتبار سبز (میلیون ریال)	۵/۱۶
ضریب دما (درصد)	۰/۴	نرخ تورم (درصد)	۹/۸
مساحت کلکتور (متر مربع)	۶۲۵۰	نرخ تنزیل (درصد)	۱۵
بازدهی اینورتر (درصد)	۹۸	نرخ افزایش قیمت انرژی (درصد)	۱۰
ضریب ظرفیتی (درصد)	۲۴/۶	عمر پروژه (سال)	۲۰

منبع: اطلاعات جمع آوری شده از بانک مرکزی، وزارت نیرو و مقالات مرتبط

جدول ۴ پارامترهای فنی و اقتصادی مفروض در نیروگاه میکروتوربین گازی یک مگاواتی مورد مطالعه

پارامترهای فنی	کمیت	پارامترهای اقتصادی	کمیت
شرکت تولید کننده	Elliott	هزینه اولیه (میلیون ریال)	۱۶۷۰۰
مدل توربین	TA-100	هزینه سالیانه تعمیر و نگهداری (میلیون ریال)	۱۷۶۰
نوع سوخت	گاز طبیعی	قیمت فروش برق (ریال/ کیلووات ساعت)	۱۱۹۶
ظرفیت هر واحد (کیلووات)	۱۰۰	قیمت گاز طبیعی (ریال/مترمکعب)	۱۰۰۰
تعداد میکروتوربین گازی	۱۰	مالیات سبز (میلیون ریال)	۵/۱۶
حجم هر واحد (سانتی‌متر)	۳۰۰*۲۱۱*۸۴	نرخ تورم (درصد)	۹/۸
میزان حرارت تولیدی (کیلو ژول/کیلووات ساعت)	۱۳۰۰۰	نرخ تنزیل (درصد)	۱۵
سوخت مورد نیاز (گیگا ژول/ ساعت)	۱۳	نرخ افزایش قیمت انرژی (درصد)	۱۰
بازدهی تولید همزمان برق و حرارت (درصد)	۸۰	نرخ افزایش بهای سوخت (درصد)	۱۰
بازدهی توربین (درصد)	۲۹	عمر پروژه (سال)	۲۰

منبع: اطلاعات جمع آوری شده از بانک مرکزی، وزارت نیرو و مقالات مرتبط

NPV ممکن است یک عدد منفی یا مثبت و یا صفر باشد. هرچه نرخ تنزیل بیش‌تر باشد مقادیر آینده ارزش کم‌تری در زمان حال خواهند داشت.

پروژه غیر اقتصادی $NPV < ۰$

پروژه اقتصادی $NPV \geq ۰$

نسبت منفعت – هزینه

نسبت منفعت – هزینه نیز نسبت مجموع ارزش فعلی درآمدهای حاصل از اجرای پروژه را به مجموع ارزش فعلی هزینه‌های حاصل از آن نشان می‌دهد که بیان دیگری از ارزش فعلی خالص پروژه‌ها می‌باشد.

معیار نرخ بازده داخلی (IRR)[۳]

IRR معیار مشهوری در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها است. این معیار شرط پذیرش پروژه را بزرگ‌تر بودن IRR از MARR می‌داند. IRR نرخ تنزیل است که براساس آن، ارزش خالص فعلی پروژه برابر صفر می‌شود. اگر NPV پروژه-ای مثبت باشد، IRR آن پروژه از نرخ بازدهی که برای سرمایه گذاری به کار برده شده، بیش‌تر است. در محاسبه NPV فرض بر این است که نرخ تنزیل

[۳]Internal Rate of Return

معیارهای اقتصادی ارزیابی پروژه

معیار ارزش خالص فعلی (NPV)[۱]

این معیار سعی دارد تا با در نظر گرفتن تعدیل زمانی پول، تعادلی میان پرداخت‌های سرمایه‌گذاری و درآمدهای حاصل از اجرای سرمایه‌گذاری پیدا نماید. ارزیابی این تعادل در مقایسه با نرخ بهره استانداردی است که مدیریت طرح برای سرمایه‌گذاری و به‌کارگیری وجوه، از قبل تعیین نموده است. به این بهره، حداقل نرخ جذب کننده (MARR)[۲]یا هزینه سرمایه می‌گویند. ارزش فعلی مجموعه‌ای از جریانات وجوه نقد آینده را می‌توان از طریق رابطه زیر محاسبه نمود[۴]:

$$NPV = NCF_0 + \frac{NCF_1}{(1+i)} + \frac{NCF_2}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

NPV = ارزش خالص فعلی i = نرخ تنزیل

NCF = خالص وجوه نقد t = دوره مالی

[۱]Net Present Value
[۲]Minimum rate of return

دولت کانادا و به عنوان بخشی از نیاز کشور برای به‌کارگیری رویکردی یکپارچه در رابطه با تغییرات آب و هوایی و کاهش آلودگی در اختیار عموم قرار گرفته است. RETScreen به عنوان ابزاری که اجرای پروژه‌های انرژی پاک را امکان پذیر می‌سازد، در دنیا مورد تایید قرار گرفته است. این نرم‌افزار به میزان قابل توجهی هزینه‌های (مالی و زمانی) مرتبط با شناسایی و ارزیابی پروژه‌های بالقوه انرژی را کاهش می‌دهد. این هزینه‌ها که در مرحله‌ی پیش امکان‌سنجی، امکان‌سنجی، طراحی و مهندسی تحمیل می‌گردد، می‌تواند موانع بزرگی بر سر طراحی تکنولوژی‌های مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر و کارآمد نمودن انرژی باشد. این محصول جامع‌ترین محصول در نوع خود است و به مهندسین، معماران و طراحان مالی اجازه می‌دهد تا هرگونه پروژه‌ی انرژی پاک را مدل‌سازی نموده و تحلیل نمایند. تکنولوژی‌ها شامل مدل‌های پروژه RETScreen همگی در این نرم افزار گنجانده شده و دارای منابع سنتی و غیرسنتی انرژی پاک و منابع انرژی معمول و تکنولوژی‌های آن می‌باشد. بانک‌های اطلاعاتی آب و هوا، هیدرولوژی و محصول به طور کامل در این ابزار تحلیلی درآمیخته شده است (۶۷۰۰ ایستگاه آب و هوایی در زمین به علاوه داده‌های ماهواره‌ای ناسا که کل زمین را تحت پوشش قرار می‌دهد، موجود می‌باشد). همچنین نقشه‌های منابع انرژی در دنیا نیز در این ابزار قرار داده شده است [۱۴].

نتایج ارزیابی اقتصادی پارامترها

به منظور ارزیابی اقتصادی پارامترها و سپس مقایسه‌ی دو نیروگاه برق خورشیدی و گازی از نرم افزار RETScreen استفاده شد. همانطور که در بخش مبانی نظری به آن اشاره شد، پنج معیار اقتصادی (NPV، PP، IRR، نسبت فایده به هزینه و هزینه تراز شده انرژی) برای ارزیابی نیروگاه خورشیدی و گازی محاسبه شد. در جدول ۵، نتایج ارزیابی اقتصادی مربوط به دو نیروگاه برق خورشیدی و گازی آورده شده است. با توجه به این جدول، برق تولید شده توسط نیروگاه خورشیدی کم‌تر از برق تولیدی در نیروگاه گازی است. همچنین در نیروگاه خورشیدی کاهش انتشار سالیانه گازهای گلخانه‌ای معادل با کاشت ۱۱۴/۷ هکتار جنگل در حال جذب کربن است. این مقدار در نیروگاه گازی معادل با تخریب ۴۴/۳ هکتار جنگل است. نرخ بازده داخلی (IRR) در پروژه‌ی نیروگاه خورشیدی ۳۴/۲ درصد محاسبه شد. این مقدار در مقایسه با نیروگاه گازی بسیار بالاتر است. دوره بازگشت سرمایه که از ملاک‌های مهم در ارزیابی اقتصادی به شمار می‌رود، برای نیروگاه خورشیدی ۳/۴ سال و برای نیروگاه گازی ۵/۲ سال محاسبه شده است. این معیار نشان دهنده‌ی بازگشت سریع‌تر سرمایه‌گذاری در نیروگاه خورشیدی در شهرستان اهواز است. نسبت منفعت به هزینه برای نیروگاه خورشیدی ۲/۷ و برای نیروگاه گازی ۲/۴ می‌باشد. این ملاک نشان می‌دهد که نیروگاه خورشیدی۲/۷ برابر فایده بیش‌تری نسبت به هزینه دارد. هزینه تراز شده انرژی برای نیروگاه خورشیدی بیش‌تر از نیروگاه گازی محاسبه شده است. دلیل آن نیز تولید برق کم‌تر در نیروگاه خورشیدی و هزینه اولیه بیش‌تر برای ساخت آن است. البته باید توجه داشت که این معیار تنها به هزینه‌های مشخص است و NPV پروژه تعیین می‌گردد. در محاسبه IRR، NPV پروژه معادل صفر قرار گرفته و نرخ تنزیل که همان IRR پروژه است، تعیین می‌شود [۴، ۸].

معیار دوره بازگشت خالص سرمایه (PP)[1]

تحلیل‌گر با استفاده از معیار دوره خالص بازگشت سرمایه (PP)، در جستجوی دوره‌ای است که در آن مجموع درآمدهای سالیانه با هزینه سرمایه گذاری برابر شود. PP روش تقریبی و ساده‌ای برای مقابله با ریسک بوده و به نفع پروژه‌هایی است که در سال‌های اولیه عایدات بیش‌تری دارند. هرچه این شاخص کوچک‌تر باشد بیانگر سرعت بیش‌تر جبران جریانات نقدی خروجی به وسیله جریانات نقدی ورودی می‌باشد و لذا پروژه از جذابیت بیش‌تری برای سرمایه گذاری برخوردار است. دوره بازگشت خالص سرمایه شامل دوره بازگشت خالص سرمایه عادی و متحرک می‌باشد. مفهوم دوره بازگشت خالص سرمایه عادی عبارتست از خالص جریانات نقدی تجمعی طرح در مدت بهره-برداری و منظور از دوره بازگشت خالص سرمایه متحرک، این است که ارزش زمانی پول در محاسبه PP مدنظر قرار گرفته و محاسبات براساس داده‌های تنزیل شده صورت می‌گیرد[۴].

معیار هزینه‌ی تراز شده انرژی (LCOE)[2]

هزینه‌های تراز شده انرژی برابر با هزینه‌های تولید برق یک نیروگاه یا واحد تولید برق در طول عمر کاری آن (که شامل هزینه های نصب و تعمیر و نگهداری می‌شود) به برق تولیدی آن نیروگاه یا واحد تولید برق در طول عمر کاری نیروگاه است [۱۱].

هزینه‌های برق خورشیدی

هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم‌های فتوولتائیک شامل هزینه ماژول‌های فتوولتائیک و هزینه‌های BoS (Balance of System) می‌باشد. هزینه ماژول فتوولتائیک با هزینه مواد خام، به ویژه هزینه‌های سیلیکون، پردازش، ساخت سلول و هزینه‌های مونتاژ آن مشخص می‌گردد. هزینه‌های ساخت (از جمله نصب و راه اندازی سازه، آماده سازی سایت و سایر متعلقات)، هزینه‌های BoS، هزینه سیستم‌های الکتریکی (شامل اینورتر، ترانسفورماتور، سیم کشی و دیگر هزینه‌های نصب و راه اندازی الکتریکی) و هزینه‌های باتری و یا سیستم‌های ذخیره‌سازی دیگر در صورت نیاز است که برای موارد مستقل از شبکه کاربرد دارد [۱۲]. هزینه های BoS تا حد زیادی به نوع نصب و راه اندازی آن مربوط است، به طوری که برای پروژه‌های مقیاس بزرگ به طور معمول ارزان‌تر از سیستم‌های تجاری بزرگ نصب شده روی زمین و یا سیستم‌های خانگی خواهد بود، که این‌ها نیز به نوبه خود ارزان‌تر از سیستم-های پشت بامی کوچک برای مصارف مسکونی است.

نرم افزار RETScreen

نرم افزار پروژه انرژی پاک RETScreen نرم افزار برتر در زمینه‌ی تصمیم-گیری در رابطه با انرژی پاک می‌باشد. این نرم افزار به صورت رایگان توسط

[1] Payback Period
[2] Levelized Cost of Energy

فسیلی استفاده می‌کنند، با چالش‌هایی رو به رو هستند. از این قبیل چالش‌ها می‌توان به محدودیت منابع سوخت، مخاطرات زیست محیطی ناشی از احتراق، نوسان روزانه قیمت سوخت و عدم برخورداری تمام کشورها از این منابع اشاره کرد. به همین جهت، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال-های اخیر، به شدت مورد توجه قرارگرفته است [۱۷]. از دلایل عمده اینکه نیروگاه خورشیدی در شهرستان اهواز دارای ملاک‌های ارزیابی بهتر نسبت به نیروگاه گازی شد، این است که اعتبارات و مالیات‌های سبز که به ترتیب مربوط به عدم انتشار و انتشار گازهای گلخانه‌ای است (منافع ملموس) در مدل وارد شد. دیگر دلیل این است که قیمت خرید تضمینی برق از نیروگاه خورشیدی ۴۹۰۰ ریال می‌باشد، این درحالی است که در نیروگاه گازی ۱۱۹۶ ریال است. نیروگاه خورشیدی هزینه‌ی سوخت ندارد، اما در نیروگاه گازی به ازای هر مترمکعب گاز، مبلغ ۱۰۰۰ ریال پرداخت می‌شود.

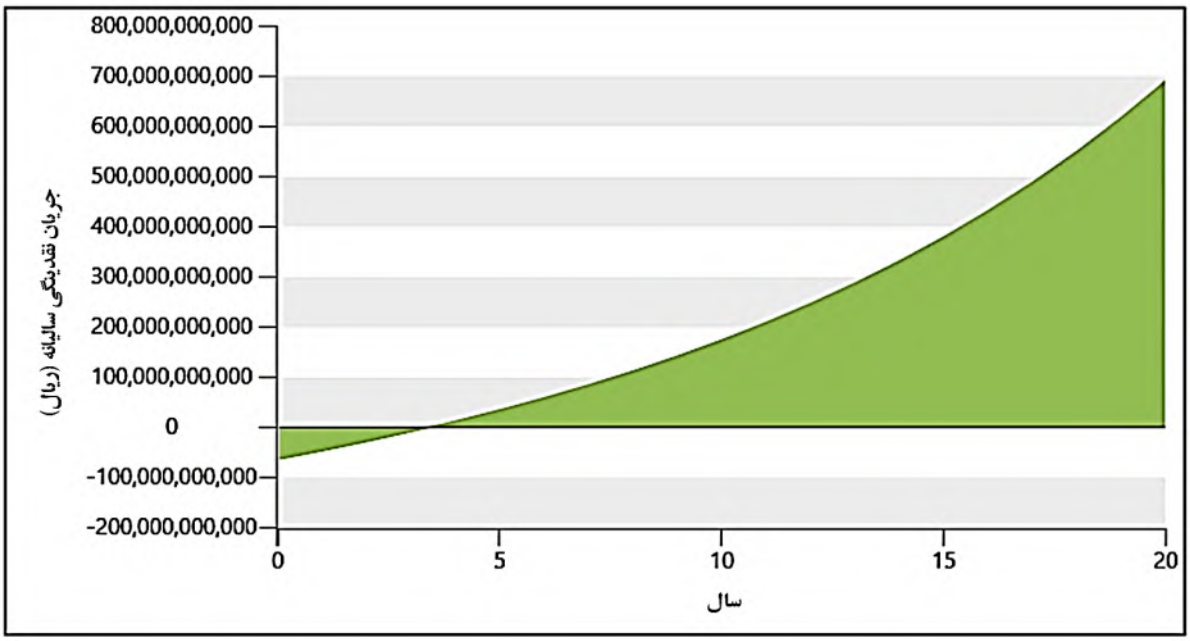
ملموس توجه داشته و هزینه‌های زیست محیطی استفاده از نیروگاه گازی در آن مد نظر قرار نمی‌گیرد. همچنین، در این معیار منافع ملموس و غیر ملموس مورد محاسبه قرار نمی‌گیرد [۱۵]. در مجموع، رأی به عدم مزیت نیروگاه خورشیدی نسبت به گازی بدلیل عدم محاسبه هزینه‌های غیر ملموس و منافع خالص در این معیار نشان از نقصان آن برای تصمیم‌گیری نهایی در مورد ساخت یا عدم ساخت نیروگاه‌های دوستدار محیط زیست دارد [۱۶]. ارزش خالص فعلی (NPV) مربوط به هر دو نوع نیروگاه مثبت است و این نشان دهنده‌ی اقتصادی بودن هر دو پروژه است. اما ارزش خالص فعلی نیروگاه خورشیدی ۱/۲۶ برابر نیروگاه گازی در شهرستان اهواز است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کلیه معیارهایی که در آن منافع ملموس و غیر ملموس طرح‌های ساخت نیروگاه مد نظر قرار می‌گیرد (مانند دوره بازگشت سرمایه، نسبت منافع به مخارج و NPV)، گزینشی جز ساخت نیروگاه‌های خورشیدی باقی نمی‌گذارند. نیروگاه‌های حرارتی که از سوخت

جدول ۵ نتایج ارزیابی اقتصادی پارامترها و مقایسه‌ی دو نیروگاه مورد مطالعه (خورشیدی و گازی)

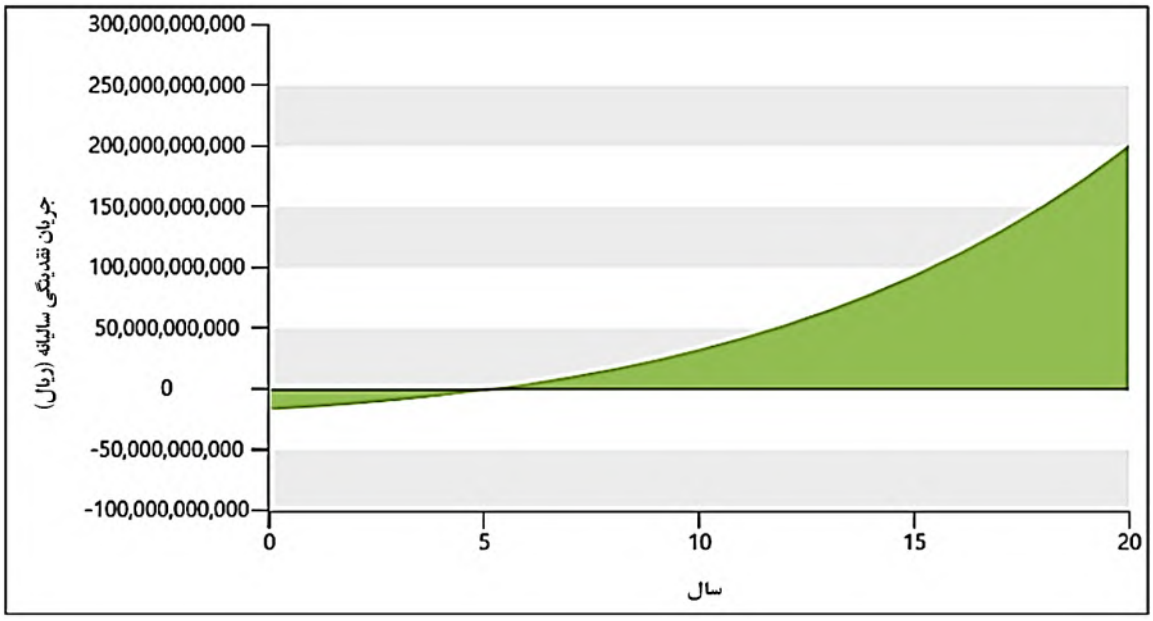
پارامترها	نتایج نیروگاه خورشیدی	نتایج نیروگاه گازی
برق صادر شده به شبکه (مگاوات ساعت در سال)	۲۱۵۹/۹	۷۰۰۸
کاهش انتشار سالیانه گازهای گلخانه‌ای (تن/CO_2)	۱۲۴۷/۱	-۴۸۱/۶
کاهش انتشار سالیانه گازهای گلخانه‌ای (هکتار جنگل در حال جذب	۱۱۴/۷	-۴۴/۳
IRR (درصد)	۳۴/۲	۲۷
دوره بازگشت سرمایه (سال)	۳/۹	۹/۶
دوره بازگشت خالص سرمایه یا نقطه سر به سر (سال)	۳/۴	۵/۲
نسبت منفعت- هزین	۲/۷	۲/۴
هزینه‌ی تراز شده انرژی (ریال/کیلووات ساعت)	۵۲۵۶	۱۶۱۰
درآمد صادرات برق (میلیارد ریال در سال)	۱۰/۵۸	۸/۳۸
درآمد حاصل از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (میلیارد ریال)	۶/۳۶	-۲/۴۶
NPV (میلیارد ریال)	۱۰۵/۸۵	۲۲/۶۰
چرخه عمر پس انداز سالیانه (میلیارد ریال/سال)	۱۶/۹۱	۳/۶۱

خورشیدی (کم‌تر از ۵ سال) را نسبت به نیروگاه حرارتی (بیش از ۵ سال) نشان می‌دهند.

شکل‌های ۲ و ۳ خالص بازگشت سرمایه در سال‌های عمر مفید دو پروژه نیروگاه خورشیدی و حرارتی را نشان می‌دهند. این شکل‌ها به وضوح، مزیت نقطه مدت زمان سر به سر شدن هزینه‌های اولیه و جاری در نیروگاه



شکل ۲ بازگشت خالص سرمایه (نقطه سر به سر) نیروگاه خورشیدی مورد مطالعه



شکل ۳ بازگشت خالص سرمایه (نقطه سر به سر) نیروگاه گازی مورد مطالعه

راه‌اندازی (جدول ۷) و در نهایت تغییر در هزینه‌های تعمیر و نگهداری (جدول ۸) نیروگاه‌های خورشیدی پرداخته شد. لازم به ذکر است که این سناریوهای تحلیل حساسیت در دامنه تغییر خوشبینانه‌ترین حالت (افزایش ۵۰ درصدی قیمت خرید تضمینی یا کاهش ۵۰ درصدی انواع هزینه‌ها) و بدبینانه‌ترین حالت (کاهش ۵۰ درصدی قیمت خرید تضمینی یا افزایش ۵۰ درصدی انواع هزینه‌ها) با گام‌های ۱۰ درصدی در میان آن‌ها گزارش شده است.

تحلیل حساسیت‌های نیروگاه برق خورشیدی

با توجه به عدم ثبات اقتصادی سال‌های اخیر در کشور [۱۸] و همچنین متغیر بودن تصمیمات وزارتخانه‌های مطبوع در امر توجه به تولید انرژی پاک [۱۹]، وجود تحلیل حساسیت برای نتایج حاصل از ارزیابی اقتصادی طرح‌های مورد بررسی ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، به‌منظور بررسی هر چه دقیق‌تر تحلیل‌های اقتصادی انجام شده در قسمت قبل، به بررسی سناریوهای تغییر قیمت خرید تضمینی (جدول ۶)، هزینه‌های اولیه نصب و

۵)، انتخاب نیروگاه خورشیدی را برای ما مسجل می‌کند. شایان ذکر است که این تحلیل با توجه به ثابت بودن قیمت خرید تضمینی برای نیروگاه گازی در نظر گرفته شده که البته فرضی دور از انتظار است. بنابراین، با کاهش قیمت خرید تضمینی خروجی نیروگاه خورشیدی، این کاهش قیمت برای نیروگاه گازی نیز بسیار محتمل است. از این رو، احتمال انتخاب نیروگاه خورشیدی نسبت به گازی هم در نرخ بازگشت سرمایه و هم در دوره بازگشت خالص سرمایه قوت می‌گیرد. با توجه به منبع [۲۰] که به بررسی قیمت برق در بازارهای تجدید ساختار یافته با استفاده از رویکرد پویایی سیستمی پرداخته است، احتمال وقوع کلیه سناریوهای کاهش قیمت خرید تضمینی بسیار ناچیز است. به همین منظور در نظر گرفتن یک افزایش ۳۰ درصدی (بطور متوسط در طول عمره پروژه) برای نیروگاه‌های خورشیدی دور از انتظار نخواهد بود. در این صورت، افزایش ارزش خالص جاری بالغ بر ۴۱ میلیارد ریال بوده و موجب یک نرخ بازگشت داخلی ۴۰ درصدی خواهد شد.

بررسی سناریو اول که مربوط به تغییر قیمت خرید تضمینی خروجی نیروگاه خورشیدی است، نشان می‌دهد که حتی کاهش ۵۰ درصدی قیمت خرید تضمینی موجب نمی‌شود که این پروژه غیر اقتصادی گردد. با وجود اینکه در این حالت سود (ارزش) خالص جاری (NPV) بسیار هنگفتی از دست خواهد رفت (رقمی بالغ بر ۶۸ میلیارد ریال)، مقدار نرخ بازگشت سرمایه (۲۲/۸ درصد) معقول به نظر می‌رسد. البته باید توجه داشت که این بدبینانه‌ترین حالت ممکن در هنگام بهره‌برداری از پروژه است. بررسی بیش‌تر این جدول نتایج قابل توجهی را در مورد انتخاب نیروگاه خورشیدی حاصل می‌نماید؛ به این صورت که اگر کاهش قیمت تضمینی خرید در نیروگاه خورشیدی ۳۰ درصد باشد، با توجه به جدول ۵ می‌توان گفت که نرخ بازگشت سرمایه در هر دو نیروگاه تقریبا یکسان است؛ اما مقایسه زمان بازگشت خالص سرمایه برای نیروگاه خورشیدی که ۳۰ درصد از قیمت خرید تضمینی آن کاهش یافته باشد (۴/۲سال) و همین معیار برای نیروگاه گازی (۵/۲ سال در جدول

جدول ۶ تحلیل حساسیت قیمت تضمینی برق نیروگاه خورشیدی بر فاکتورهای اقتصادی

حساسیت	مقدار تغییرات قیمت برق(ریال بر کیلووات)	زمان برگشت خالص سرمایه (سال)	NPV (میلیارد ریال)	IRR (درصد)	هزینه تولید انرژی (ریال بر کیلووات)
-۵۰٪	۲۴۵۰	۵	۳۷/۳۲	۲۲/۸	۵۲۵۶
-۴۰٪	۲۹۴۰	۴/۵	۵۱/۰۲	۲۵/۳	۵۲۵۶
-۳۰٪	۳۴۳۰	۴/۲	۶۴/۷۳	۲۷/۶	۵۲۵۶
-۲۰٪	۳۹۲۰	۳/۹	۷۸/۴۴	۲۹/۹	۵۲۵۶
-۱۰٪	۴۴۱۰	۳/۶	۹۲/۱۴	۳۲/۱	۵۲۵۶
۰	۴۹۰۰	۳۳/۴	۱۰۵/۸۵	۳۴/۲	۵۲۵۶
۱۰٪	۵۳۹۰	۳/۲	۱۱۹/۵۶	۳۶/۳	۵۲۵۶
۲۰٪	۵۸۵۰	۳	۱۱۳/۲۶	۳۸/۳	۵۲۵۶
۳۰٪	۶۳۷۰	۲/۸	۱۴۶/۹۷	۴۰/۳	۵۲۵۶
۴۰٪	۶۸۶۰	۲/۷	۱۶۰/۶۸	۴۲/۳	۵۲۵۶
۵۰٪	۷۳۵۰	۲/۶	۱۷۴/۳۸	۴۴/۳	۵۲۵۶

سرمایه‌گذاری در احداث این نوع از نیروگاه‌ها به دلیل افزایش احتمالی هزینه‌های اولیه که حاصل از رشد نرخ ارز می‌باشد، می‌توان به تخصیص یارانه واردات برای این نوع تجهیزات و یا افزایش قیمت خرید تضمینی به تناسب افزایش هزینه اولیه مبادرت ورزید. به دلیل وجود هزینه اولیه بسیار زیاد در احداث این نوع از نیروگاه‌ها، با افزایش قیمت تجهیزات وارداتی صرفه‌های ناشی از مقیاس با سرعت بیش‌تری از بین رفته و به راحتی منجر به کاهش جذابیت سرمایه‌گذاری در این بخش می‌گردد. لذا، تعیین قیمت خرید تضمینی با استفاده از روش‌های به روز که بخش عرضه و تقاضا را به صورت توأمان در نظر می‌گیرد، ضروری به نظر می‌رسد [۲۲].

وابستگی شدید واردات تجهیزات نیروگاه‌های تولید الکتریسیته در کشور به ارز موجب می‌شود که یک عدم اطمینان قابل ملاحظه در برآورد هزینه‌های اولیه برای راه‌اندازی آنها به وجود آید [۲۱]. سناریو افزایش این هزینه تا ۵۰ درصد و حتی بیش‌تر نیز دور از ذهن نبوده و همچنانکه در جدول ۷ ملاحظه می‌شود، باعث کاهش ۱۰ درصدی نرخ بازگشت سرمایه و ۲۵ میلیارد ریال خسارت برای صاحبان نیروگاه‌ها خواهد شد. در تحقیقی، نشان داده شد که مناطق مرکزی و جنوبی ایران با توجه به میزان کافی تشعشع خورشیدی کاملاً مناسب بوده و قیمت تمام شده برق این نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس‌های بزرگ، مقرون به صرفه می‌باشد [۸]. لذا، جهت مقابله با کاهش

جدول ۷ تحلیل حساسیت هزینه‌های اولیه‌ی نصب و راه اندازی نیروگاه خورشیدی بر فاکتورهای اقتصادی

حساسیت	مقدار تغییرات هزینه اولیه (میلیارد ریال)	زمان برگشت خالص سرمایه (سال)	NPV (میلیارد ریال)	IRR (درصد)	هزینه تولید انرژی (ریال بر کیلووات)
-۵۰٪	۳۱/۵	۱/۸	۱۳۷/۳۵	۶۱/۷	۲۹۲۵
-۴۰٪	۳۷/۸	۲/۱	۱۳۱/۰۵	۵۲/۵	۳۳۹۱
-۳۰٪	۴۴/۱	۲/۴	۱۲۴/۷۵	۴۶	۳۸۵۷
-۲۰٪	۵۰/۴	۲/۷	۱۱۸/۴۵	۴۱/۱	۴۳۲۳
-۱۰٪	۵۶/۷	۳/۱	۱۱۲/۱۵	۳۷/۳	۴۷۸۹
۰	۶۳	۳/۴	۱۰۵/۸۵	۳۴/۲	۵۲۵۶
۱۰٪	۶۹/۳	۳/۷	۹۹/۵۵	۳۱/۶	۵۷۲۲
۲۰٪	۷۵/۶	۴	۹۳/۲۵	۲۹/۵	۶۱۸۸
۳۰٪	۸۱/۹	۰/۷۵	۸۶/۹۵	۲۷/۶	۶۶۵۴
۴۰٪	۸۸/۲	۴/۵	۸۰/۶۵	۲۶	۷۱۲۰
۵۰٪	۹۴/۵	۴/۸	۷۴/۳۵	۲۴/۶	۷۵۸۶

می‌شود. افزایش هزینه‌های جاری به میزان پنجاه درصد تنها منجر به کاهش ۴ میلیارد ریالی ارزش خالص جاری می‌گردد. بنابراین، نتایج این جدول منجر به تأکید مجدد بر انجام سیاست‌های پولی و مالی در هنگام سرمایه‌گذاری اولیه و تعیین قیمت خرید تضمینی خروجی این نوع از نیروگاه‌ها می‌باشد.

هزینه تعمیر و نگهداری پایین برای نیروگاه‌های خورشیدی نسبت به هزینه اولیه آن‌ها و نیروگاه‌های گازی نوید یک سود ناخالص بسیار بالا را برای این نوع از نیروگاه‌ها به ارمغان می‌آورد. این مهم به خوبی در تحلیل حساسیت هزینه‌های جاری (تعمیر و نگهداری) که در جدول ۸ گزارش شده، مشاهد

جدول ۸ تحلیل حساسیت هزینه‌های تعمیر و نگهداری بر فاکتورهای اقتصادی در نیروگاه یک مگاواتی

حساسیت	مقدار تغییرات هزینه-های تعمیر و نگهداری (ریال)	زمان برگشت خالص سرمایه (سال)	NPV (ریال)	IRR (درصد)	هزینه تولید انرژی (ریال بر کیلووات)
-۵۰٪	۰/۳۱	۳/۳	۱۰۹/۸۷	۳۴/۸	۴۹۵۸
-۴۰٪	۰/۳۸	۳/۳	۱۰۹/۰۶	۳۴/۷	۵۰۱۸
-۳۰٪	۰/۴۴	۳/۳	۱۰۸/۲۶	۳۴/۵	۵۰۷۷
-۲۰٪	۰/۵	۳/۳	۱۰۷/۴۶	۳۴/۴	۵۱۳۷
-۱۰٪	۰/۵۷	۳/۴	۱۰۶/۶۵	۳۴/۳	۵۱۹۶
۰	۰/۶۳	۳/۴	۱۰۵/۸۵	۳۴/۲	۵۲۵۶
۱۰٪	۰/۶۹	۳/۴	۱۰۵/۰۵	۳۴/۱	۵۳۱۵
۲۰٪	۰/۷۶	۳/۴	۱۰۴/۲۴	۳۳/۹	۵۳۷۴
۳۰٪	۰/۸۲	۳/۴	۱۰۳/۴۴	۳۳/۸	۵۴۳۴
۴۰٪	۰/۸۸	۳/۴	۱۰۲/۶۴	۳۳/۷	۵۴۹۳
۵۰٪	۰/۰۹	۳/۴	۱۰۱/۸۴	۳۳/۶	۵۵۵۳

شد. در ادامه برای مقایسه‌ی، نیروگاه گازی با تولید همزمان برق و حرارت مدلسازی شد. این نیروگاه دارای ۱۰ واحد میکروتوربین از نوع TA-100 می-باشد. با توجه به نتایج ارزیابی اقتصادی نیروگاه گازی هم دارای توجیه اقتصادی بود. نتایج مقایسه دو نیروگاه نشان داد که نیروگاه برق خورشیدی در شهرستان اهواز دارای مزیت اقتصادی نسبت به نیروگاه گازی است. از

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به ارزیابی فنی و اقتصادی نیروگاه برق خورشیدی (فتوولتائیک) در شهرستان اهواز پرداخته شد. برای این منظور ابتدا نیروگاه خورشیدی با تعداد ۳۸۴۶ پنل از نوع STP260S و با ظرفیت یک مگاوات مدلسازی شد. نتایج حاصل از ارزیابی اقتصادی پارامترها نشان دهنده‌ی اقتصادی بودن پروژه

برق گازی و بخاری دلیل دیگری برای ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی در این استان می‌باشد. به منظور جلوگیری از پیامدهای مضر بیابان‌زایی و همچنین آلودگی‌های زیست محیطی، با توجه به پتانسیل تولید برق خورشیدی، احداث نیروگاه خورشیدی پیشنهاد می‌شود. این امر از سویی به دلیل پوشش زمین با ساختارهای فتوولتائیک، بیابان‌زایی و گرد و غبار کنترل شده، و از سویی آلودگی‌های ناشی از تولید برق از منابع فسیلی کاهش می‌یابد. کاهش هزینه‌های مربوط به بیابان‌زایی و انتشار آلودگی هوا، هزینه‌های زیاد مربوط به انرژی خورشیدی را پوشش می‌دهد.

سپاسگزاری

مقاله فوق برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان "ارزیابی فنی و اقتصادی احداث نیروگاه خورشیدی فتوولتائیکی متصل به شبکه (مطالعه موردی: نیروگاه یک مگا واتی در شهرستان اهواز)" در راستای ارتباط هر چه بیشتر دانشگاه با حوزه صنعت و تحت نظر سازمان آب و برق استان خوزستان است که بدینوسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و سازمان آب و برق استان خوزستان تشکر و قدرانی می‌شود.

مهمترین پارامترهای اقتصادی زمان بازگشت سرمایه، نرخ بازده داخلی و ارزش خالص فعلی است. یکی از دلایل مهم اقتصادی‌تر شدن پروژه نیروگاه برق خورشیدی نسبت به نیروگاه گازی، وارد کردن مالیات و اعتبار سبز در مدل است. در ادامه تحقیق به تحلیل حساسیت سه عامل قیمت تضمینی برق، هزینه‌های اولیه و هزینه‌های تعمیر و نگهداری پرداخته شد. بررسی سناریوهایی که مربوط به تغییر قیمت خرید تضمینی خروجی نیروگاه خورشیدی است، نشان دادند که حتی کاهش ۵۰ درصدی قیمت خرید تضمینی موجب نمی‌شود که این پروژه غیر اقتصادی گردد. با وجود اینکه در این حالت سود (ارزش) خالص جاری (NPV) بسیار هنگفتی از دست خواهد رفت (رقمی بالغ بر ۶۸ میلیارد ریال)، مقدار نرخ بازگشت سرمایه (۲۲/۸ درصد) معقول به نظر می‌رسد. البته باید توجه داشت که این بدبینانه‌ترین حالت ممکن در هنگام بهره‌برداری از پروژه است. اما مقایسه زمان بازگشت خالص سرمایه برای نیروگاه خورشیدی که ۳۰ درصد از قیمت خرید تضمینی آن کاهش یافته باشد (۴/۲سال) و همین معیار برای نیروگاه گازی (۵/۲ سال در جدول ۵)، انتخاب نیروگاه خورشیدی را برای ما مسجل می‌کند. در سال‌های اخیر مسئله‌ی بیابان‌زایی در استان خوزستان افزایش یافته است و ایجاد پدیده‌ی گرد و غبار به عنوان یک بحران زیست محیطی در سطح کشور مطرح شده‌است. از طرفی وجود صنایع بزرگ نفت و گاز، پتروشیمی و نیروگاه‌های

منابع

[1] J.F. Li, R.Q. Hu, Sustainable Biomass Production for Energy in China, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 25, pp. 483– 499, ۲۰۰۶.

[2] R.B. Hiremath, S. Shikha, N.H. Ravindranath, Decentralized Energy Planning: Modeling and Application, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11, pp. 729- 752, 2007.

[3] D.I. Dicknann, Silviculture and Biology of Short- Rotation Woody Crops in Temperate Regions Then and Now, *Biomass and Bioenergy*, Vol. ۳۰, □□. ۶۹۶- ۷۰۵, ۲۰۰۶.

[۴] م.ح. مهدوی عادلی، م. سلیمی فر و ا. قزلباش، اعظم، ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی (مطالعه موردی مجتمع سه واحدی در شهرستان مشهد)، *مجله علمی-پژوهشی سیاست گذاری اقتصادی*، سال ششم، شماره یازدهم، ۱۳۹۳.

[۵] ب. نجفی، مطالعه و بررسی سیستم‌های فتوولتائیک برای تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در جایابی بهینه نیروگاه‌های خورشیدی در ایران، *مجله نخبگان علوم و مهندسی*، شماره پنجم، ۱۳۹۶

[۶] م. میرزایی عمرانی، ر. شهابی نژاد، ر. گوگ سازی قوچانی و م. زندی، پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک در اقلیم جنوب شرق ایران با در نظر گرفتن پارامترهای فنی و اقتصادی، دومین کنفرانس بین المللی تحقیقات در علوم و مهندسی، استامبول، ترکیه، ۱۳۹۶.

[۷] م. بهمنی و ن. بهرادمهر، ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در روستاهای مناطق جنوبی ایران، *فصلنامه تحقیقات اقتصادی*، دوره ۵۱، شماره ۲، ۱۳۹۵.

[۸] م.ح. مهدوی عادلی و ر. خواجه نائینی، بررسی و ارزیابی مالی تولید برق با استفاده از انرژی خورشیدی در ایران، *دوفصلنامه اقتصاد پولی، مالی (دانش و توسعه سابق)*، سال بیست و یکم، شماره ۱۳۹۳.

[۹] م. حاتمی، ع. ناظمی، ا. دولت آبادی و م. مصطفی پور، ارزیابی اقتصادی استفاده از سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه در روستاها با شبیه سازی مونت کارلو (مطالعه موردی، تهران)، *فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی*، شماره ۲، ۱۳۹۳.

[۱۰] م. خواجه صالحانی ر. رسولی، تأمین برق مبتنی بر انرژی خورشیدی با استفاده از صفحات فتوولتائیک و کاربردهای جدید آن. *نخستین همایش ملی انرژی باد و خورشید*، اسفندماه ۱۳۹۰.

[۱۱] م. عباس پور، ع. حاجی سید میرزاحسینی و ت. طاهری، ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه‌های خورشیدی به وسیله نرم افزار RETScreen با توجه به قانون هدفمندسازی یارانه‌ها، *فصلنامه انسان و محیط زیست*، شماره هیجدهم، ۱۳۹۰.

[۱۲] ع. عساکره، م. سلیمانی و م.ج. شیخ داوودی، پتانسیل تولید برق خورشیدی در راستای افزایش امنیت انرژی، مطالعه موردی شهرستان اهواز، *فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه ریزی انرژی*، شماره ۴، ۱۳۹۵.

[13] A. Asrari, A. Ghasemi, M. Javidi, Economic evaluation of hybrid renewable energy systems for rural electrification in Iran a case study", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 16, 3123– 3130, 2017.

[14] S. Bhattacharyya, Review of alternative methodologies for analyzing off-grid electricity supply, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 16, 677– 694, 2012.

[۱۴] سازمان انرژی‌های نو ایران، گروه آگاه سازی و روابط بین الملل، هزینه‌ی نیروگاه‌های تجدیدپذیر، ۱۳۹۲.

[15] G. Perkins, Techno-economic comparison of the levelised cost of electricity generation from solar PV and battery storage with solar PV and combustion of bio-crude using fast pyrolysis of biomass. *Energy Conversion and Management*, Volume 171, 2018.
[16] Y. Zhen, L. Yu, D.T. Thomson, Levelized cost of energy modeling for concentrated solar power projects: A China study, *Energy*, Volume ۱۲۰, ۱۱۷-۱۲۷, ۲۰۱۷.
[17] P. Iodice, D. Dentice d'Accadia, C. Abagnale, M. Cardone, Energy, economic and environmental performance appraisal of a trigeneration power plant for a new district: Advantages of using a renewable fuel, *Applied Thermal Engineering*, vol. 95, pp. 330-۳۳۸, ۲۰۱۶.
[18] A. Mohammadzadeh, A. Tavakoli, Investigating the effect of governmental economic policies on the consumer price index as an indicator of the economic stability of the country with the dynamic system approach, *Economic Strategy*, Volume 2, Issue 7131-۱۴۴, ۲۰۱۳.
[19] N. Mardani, H. Bahmani, Attracting foreign investment and creating political and economic stability after the boycott in the energy sector by acceding to the Energy Charter Treaty (according to Iran's observer membership), *Energy Law Studies*, Volume 3, Issue 2, 371-۴۰۴, ۲۰۱۷.
[20] D. Manzor, H. Rezaei, Effects of fuel price correction of power plants on the price of electricity in an industrialized market: the system dynamics approach, *Journal of Planning and Budget*, Volume 18, Issue 1, 95-108, 2013.
[21] A. Motahari, A. Ahmadian, M. Abedi, H. Ghafarzadeh, Economic assessment of the use of wind power plants in Iran considering the effect of the policy of energy price liberalization, *Journal of Iranian Energy Economics*, Volume 3, Issue 10, 179-۲۰۰, ۲۰۱۴.
[22] J. Pezhoyan, T. Mohammadi, F. Atbaei, Comparing the relative efficiency of auctioning mechanism on the basis of the proposal with the mechanism of price adjustment of the market in electricity markets, *Journal of Iranian Energy Economics*, Volume 3, Issue 11, 91-۱۳۰, ۲۰۱۴