ارزیابی فنی ،اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه‌های خورشیدی به وسیله نرم‌افزار RETScreen با توجه به قانون هدفمندسازی یارانه‌ها

(مطالعه موردی نیروگاه خورشیدی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی)

مجید عباس پور[۱]
سید علیرضا حاجی سید میرزاحسینی[۲*]
ترانه طاهری[۳]
mirzahosseini@gmial.com

چکیده

رشـد بی رویه مصرف انرژی در کشـور به حدی اسـت که تا قبل از افق ۱۴۰۰ ، ایران را از یک کشور صادر کننده انرژی، به کشـوری وارد کننده انرژی تبدیل خواهد کرد. برای مقابله با این تهدید، اجرای راهکارهای بهینه سـازی تولید، توزیع و مصرف انرژی ، اصلاح الگوی مصرف آن و به‌کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر ضروری اسـت. بر این اسـاس، دانشگاه آزاد اسـلامی به عنوان یکی از اولین پیشـگامان به‌کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر در واحدهای دانشـگاهی، یک نیروگاه خورشـیدی ۱۲ کیلو واتی در واحد علوم و تحقیقات تهران احداث نموده اسـت. در این تحقیق از نرم افزار RETScreen برای محاسـبه میزان انرژی خورشـیدی دریافتی و ضریـب ظرفیت نیروگاه، همچنین برآورد هزینه‌هـای اولیه و دوره‌ای، محاسـبه میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای و ارزیابی مالی استفاده شده است. در محاسبات با توجه به قانون هدفمندسازی یارانه‌ها و تعرفه‌های جدید قیمت برق و مسـئله کاهش انتشـار گازهای گلخانه‌ای ناشی از نیروگاه فوتوولتائیک سه سناریو اصلی مطرح و با یکدیگر مقایسه شده است. بر این اساس در حالت اول بدون منظور کردن اثر کاهش گازهای گلخانه‌ای و با فرض متوسط بهای برق ۴۳۰ ریال بر کیلووات ساعت، زمان دست‌یابی به جریان نقدی مثبت برابر ۱۲/۱ سال و در حالت دوم با فرض بهای برق ۲۱۰۰ ریال (مشـترک پر مصرف) زمان دسـت‌یابی به جریان نقدی مثبت به حدود ۸ سال رسید. بر اسـاس محاسـبات در حالت ایده‌آل و با در نظر گرفتن اعتبار به ازاء کاهش گازهای گلخانه‌ای و بهای برق ۲۱۰۰ ریال و به‌کارگیری پانل‌های خورشـیدی با راندمان بالا و باتری‌های مناسـب (با قابلیت تخلیه بار تا ۶۰ درصد) زمان دست‌یابی به جریان نقدی مثبت به حدود ۶ سـال کاهش یافت. بر این اسـاس بهره گیری از فناوری‌های نوین در خصوص باتری و پانل‌ها و اتخاذ سیاست‌های حمایتی از طرف دولت می‌تواند زمان بازگشت سرمایه را در حد مطلوب کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: انرژی، نیروگاه ، فوتوولتائیک، گازهای گلخانه‌ای، بازگشت سرمایه

۱. استاد، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف
۲. دانشجوی دوره دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی (مسئول مکاتبات)*
۳. دانشجوی دوره دکتری مهندسی انرژی، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

مقدمه

امـروزه به‌کارگیـری سیسـتم‌های فوتوولتائیک در کشـورهای پیشـرفته بسـیار متداول است. برای نمونه یک سیسـتم فوتوولتائیک خانگی در شهر لوس‌آنجلـس با ظرفیت توان ۲ کیلووات، ۳۶۰۰ کیلووات سـاعت انرژی در سـال تولید می‌کند. این میزان تولید انـرژی باعث ۴/۳ تن صرفه جویی در سـوخت زغال سـنگ (مصرف شـده برای تولید برق) و مانع ورود ۵۰۰۰ پوند کربن منوکسـید به جو می‌گردد[۱] . شرکت‌های متعددی در کشورهای مختلف نسـبت بـه نصب این سیسـتم‌ها اقدام کرده‌اند و کار بهینه سـازی ایـن سیسـتم‌ها، همچنان ادامه دارد. بـرای مثال، تحقیـق در زمینه کاربرد عملی سیسـتم برق با اسـتفاده از پانل‌های فوتوولتائیک به صورت متصل به شبکه برق اکیناوای ژاپن ادامه دارد. این تحقیقات شامل بررسی ویژگی‌های عملکرد سیسـتم و تأثیر باتری‌ها بر شبکه و همین‌طور راندمان و تداوم برق رسـانی شبکه می‌شود[۴]. شرکت آب و برق لوس‌آنجلس (LADWP)[1] در نظر دارد برنامه‌ای را برای نصب سیسـتم‌های برق خورشـیدی روی سـقف سـاختمان‌های این شـهر اجرا کند. به موجب این طرح، تا سال ۲۰۱۰ صد هزار سیسـتم فوتوولتائیک روی سقف ساختمان‌ها مسکونی و تجاری نصب خواهند شـد. این سیسـتم‌ها به صـورت تزریق برق تولیدی به شـبکه برق سراسـری کار می‌کنند. طبق این برنامه، هر سـاختمانی بـرق خود را تأمین خواهد کرد در صورتی که میزان تولید برق ساختمانی کمتر از نیاز مصرف آن باشد در ساعات شب، کمبود برق از شبکه سراسری جبران می‌شود و بر عکس اگر سـاختمانی بیش از مصرف خود برق تولید کند، این انرژی اضافی به شبکه برق تزریق خواهد شـد. شرکت TVA [2] در ایالت تنسـی آمریکا نیز اقدام به استفاده از انرژی خورشیدی با عنوان انرژی سبز کرده است. این شرکت برای نمایش تولید برق خورشـیدی و به منظور تشـویق مشترکین خود به استفاده از آن دو سـایت انرژی خورشیدی، یکی در موزه علوم کامبرلند و دیگری در گردشـگاهی توریستی در دالیورد دایر کرده است[۱] .در سال ۲۰۰۹ دانشگاه ایالتی آریزونای آمریکا در محوطه غربی دانشگاه یک نیروگاه خورشیدی ۳/۳ مگاواتی احداث کرد[۲].

دوره بازگشت سـرمایه نصب سیستم خورشیدی را، با توجه به هزینه بالای اولیـه، می‌تـوان یکـی از پارامترهای کلیـدی در به‌کارگیری سیسـتم‌های فوتوولتائیک در کشـور دانسـت که با انتخاب نوع پانل و باتری مناسـب و سیاست‌های حمایتی دولتی و جهانی می‌توان آن را کاهش داد. لازم به ذکر اسـت که از معیارهای مهم توسعه و سـاخت پانل‌های خورشیدی به حداکثر رسـاندن راندمان تبدیل نور خورشـید به الکتریسـیته اسـت. در سلول‌های خورشـیدی سـازوکارهای مختلف افت انرژی وجود دارد که بعضی از آن‌ها اجتناب ناپذیر بوده و ذاتاً در سـلول وجود دارنـد ولی برخی دیگر را می‌توان کنترل کرد و به حداقل رسـانید یا به کلی حـذف کرد. با توجه به این نکته، راندمان ایده‌آل یک سـلول در حدود ۳۰ درصد است[۱]. راندمان سلول‌های خورشـیدی تجاری تحت تابش مستقیم خورشید، در حدود ۱۲ الی ۲۲ درصد می‌باشد، ولی در سـطح آزمایشـگاهی محققان به راندمان‌های بالاتری نیز دسـت یافته‌اند. برای نمونه راندمان آزمایشـگاهی سلول‌های خورشیدی تـک بلـوری تـا ۴۰ درصد نیـز گزارش شـده اسـت [۳]. در خصوص سیسـتم‌های مسـتقل از شـبکه[3]، میـزان مجـاز تخلیه عمیـق باتری‌ها (DOD)[4] بسـیار اهمیت دارد. این مقدار برای باتری‌های سـرب- اسـید معمولی (راندمـان باتری ۸۵ تا ۹۵ درصد) تا ۳۰ درصد ظرفیت کل باتری و برای باتری‌های سـرب- اسید با قابلیت چرخه تخلیه عمیق[5] (راندمان باتری ۹۸ درصد) تا ۷۰ درصد ظرفیت کل باتری اسـت. بدیهی اسـت که افزایش طول عمـر باتری‌ها و زمان تعویض باتری‌ها بـا کاهش هزینه‌های دوره‌ای نیـروگاه رابطه مسـتقیم دارد و بـا انتخاب باتری مناسـب، علاوه بر کاهش حجـم فضای اختصاص داده شـده بـه باتری‌ها، می‌توان از ظرفیت بیشـتر باتری بهره برد. [۴]

هدفمند سازی یارانه‌ها و انرژی‌های تجدید پذیر

افزایـش قیمـت حامل‌های انرژی با آغـاز طرح هدفمندسـازی یارانه‌ها در کشـور باعث می‌شـود که صنایع و مصرف‌کنندگان عمـده انرژی‌های اولیه توجـه خود را به مدیریت منابع انرژی و به‌کارگیری انرژی خورشـیدی جهت تولید برق معطوف کنند. قیمت کنونی خرید برق تجدید پذیر به طور متوسـط کیلووات ساعتی ۱۳۰۰ ریال است [۵]. بر اساس قانون هدفمندسازی یارانه‌ها قیمت‌های جدید برق مصرفی به صورت پلکانی (هفت پله) لحاظ شـده است. بر این اسـاس، هفت پله مصرف وجود خواهد داشـت، پله نخست مصرف از صفر تا ۱۰۰ کیلووات سـاعت با قیمت ۲۷۰ ریال به ازاء هر کیلووات ساعت، پله دوم از ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلووات ساعت با قیمت ۳۲۰ ریال، پله سوم از ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلووات سـاعت با قیمت ۷۲۰ ریال، پله چهارم از ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلووات ساعت با قیمت ۱۳۰۰ ریال، پله پنجم از ۴۰۰ تا ۵۰۰ کیلووات ساعت با قیمت ۱۵۰۰ ریال، پله ششـم از ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلووات سـاعت با قیمت ۱۹۰۰ ریال و پله هفتم که مازاد بر ۶۰۰ کیلووات سـاعت اسـت، با قیمت ۲۱۰۰ ریال به ازاء هر کیلووات سـاعت محاسبه می‌شـود. در مصارف خانگی عادی به ازای هر کیلووات سـاعت مصرف ۴۵۰ ریال و در مناطق گرمسـیر ۱۴۰ ریال نرخ مصـوب تعرفه بـرق خانگی خواهد بود.لازم به ذکر اسـت که الگوی مصرف

1.Los Angeles Department of Water and Power
2.Tennessee Valley Authority
3.Stand alone solar systems
4.Depth of discharge
5.Deep Cycle

ماهیانه برای مشـترکین خانگی در تهران و در فصل تابستان ۳۰۰ کیلو وات ساعت و در سایر فصول ۲۰۰ کیلو وات ساعت است[۶].

سیستم‌های مستقل از شبکه

این نوع سیستم، بدون نیاز به وجود شبکه سراسری برق قادر به تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کننده می‌باشد. در این روش انرژی الکتریکی لازم با استفاده از پانل‌های فتوولتائیک، کنترل‌کننده‌ها، سیستم‌های ذخیره (باطری) و اینورتر(مبدل) تولید می‌گردد، به طور کلی این سیسـتم‌ها را به صورت یک واحـد نیروگاهی با طول عمر مناسـب بالاتر از ۲۰ سـال می‌تـوان با قابلیت اطمینان بالا نصب و راه اندازی کرد. پانل‌ها و باتری‌ها در سیسـتم مسـتقل از شـبکه فتوولتائیک برق مسـتقیم(DC) تولید می‌کنند، اما بیشتر تجهیزات الکتریکی با برق متناوب (AC) کار می‌کنند[۷]. به منظور آشـنایی بیشـتر دانشـجویان با کاربردهای انرژی‌های تجدید پذیر دانشگاه آزاد اسلامی اقدام به احداث نیروگاه ۱۲ کیلو واتی مسـتقل از شـبکه در واحد علوم و تحقیقات تهران نموده اسـت. این نیروگاه در موقعیت جغرافیایی ۳۵/۸ درجه شـمالی و ۵۱/۳ درجه شـرقی و در ارتفاع ۱۶۶۰ متری از سـطح دریا در مقابل دانشکده علوم انسـانی قرار گرفتـه و از برق تولیـدی برای تأمین برق سیسـتم‌های روشـنایی محوطه بهره برداری می‌شود (شکل ۱). سـایر مشخصات نیروگاه و پارامترهای کلیدی تجهیزاتی که در محاسـبات لحاظ گردیده است در ادامه بیان می‌شود.

پانل‌ها و نحوه قرارگیری آن‌ها

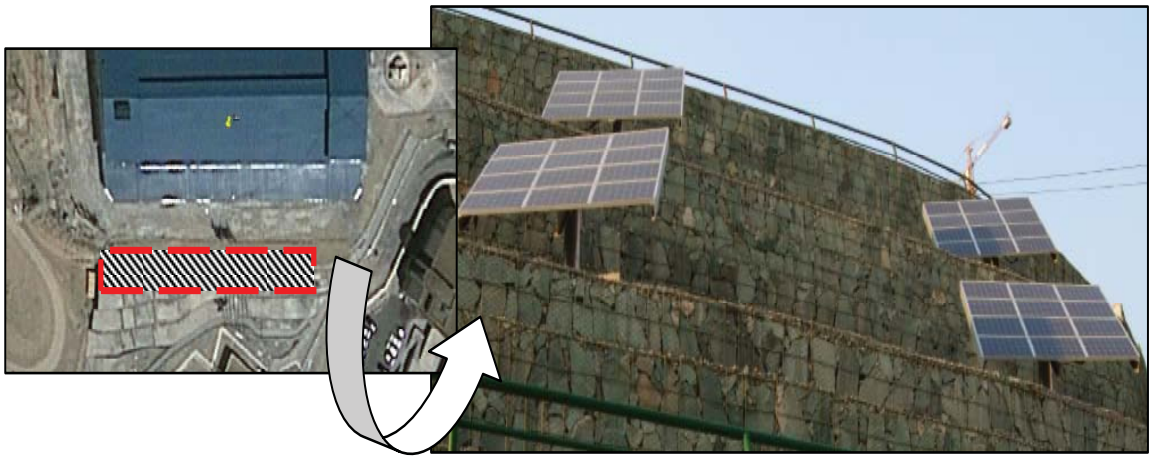
پانل‌های اسـتفاده شـده در نیروگاه بررسـی شـده از نوع تک بلوری ۱۲۰ واتی با راندمان ۱۵ درصد اسـت، که تعداد ۱۰۸ پانل فتوولتائیک به صورت ۱۲ تایی در ۹ سـازه فلزی نگه‌دارنده قرار دارند. در ماه‌های تابسـتان مسیر حرکت روزانه خورشـید طولانی‌تر و زاویه ارتفاع خورشید بیشتر بوده و زاویه سمتی هنگام طلوع و غروب آفتاب وسیع‌تر است، در صورتی که در ماه‌های زمسـتان این مسیر کوتاه‌تر و ارتفاع خورشـید کمتر و زاویه سمتی در موقع طلوع و غروب بسـته‌تر اسـت[۴]. بر همین اسـاس و با توجه به ثابت بودن سـازه نگه‌دارنـده پانل‌ها، چارچوب پانل‌ها رو به جنـوب با زاویه ۴۳ تا ۵۰ درجه نسـبت به افق نصب شده است. سایر مشخصات پانل‌های به کار رفته در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱. مشخصات پانل‌های نیروگاه ۱۲ کیلو واتی واحد علوم و تحقیقات

حداکثر توان (Wmax)	۱۲۰ وات
حداکثر جریان(I mp)	۴/۸۸ آمپر
حداکثر ولتاژ (Vmp)	۲۴/۶ ولت
جریان اتصال کوتاه(I sc)	۵/۱۴۳ آمپر
ولتاژ مدار باز (V ac)	۳۰ ولت

کنترل کننده شارژ [1] و اینورتر [2]

کنترل‌کننده شـارژ بـرای کنترل کـردن انرژی ورودی از پانل خورشـیدی و تقسـیم آن بین مصرف کننـده و باتری به کار می‌رود. جلوگیری از شـارژ بیـش از حد باتری‌ها، قابلیت نمایش میزان شـارژ موجود در باتری و کارکرد پانل‌های خورشـیدی از قابلیت‌های مهم این وسـیله می‌باشد. [۴] با توجه به



شکل ۱. موقعیت قرار گیری نیروگاه ۱۲ کیلو واتی واحد علوم و تحقیقات

1.Charge controller
2.Inverter

ولتاژ خروجی مجموعه پانل‌های نصب شده در نیروگاه خورشیدی واحد علوم و تحقیقات از کنترل‌کننده شارژ ۴۸ ولتی شرکت STECA مدل ۱۶۰-۴۸ استفاده شده که مشخصات آن در جدول ۲ بیان شده است.

جدول ۲. مشخصات کنترل‌کننده شارژ نیروگاه ۱۲ کیلو واتی واحد علوم و تحقیقات

ولتاژ سیستم	۴۸ ولت
حداکثر جریان اتصال کوتاه	۱۴۰ آمپر
حداکثر جریان مدار خروجی	۷۰ آمپر
میزان مصرف دستگاه	۱۴ میلی آمپر

اینورتر یا مبدل برق دستگاهی الکترونیکی است که جریان مستقیم (DC)[1] را به جریان متناوب (AC)[2] تبدیل می‌کند. اینورتر یک نوسان ساز الکترونیکی با توان بالا است. دلیل این نام گذاری آن است که این دستگاه عمل عکس مبدل برق AC به DC متداول را انجام می‌دهد.جریان AC تبدیل شده می‌تواند بر اساس نیاز در هر ولتاژ و فرکانسی باشد. اینورترها قطعات متحرک ندارند و در طیف گسترده‌ای از ابزارهای کاربردی استفاده می‌شوند. اینورترها معمولاً برای تأمین جریان AC از منابع DC مانند پانل‌های خورشیدی یا باتری به کار می‌روند[۴]. اینورتر در سیستم مستقل از شبکه باید موج سینوسی خالص و پیوسته AC تولید کنند و خروجی فرکانس و ولتاژ AC آن‌ها ثابت باشد. همچنین تداخل الکترومغناطیسی پایین و مصرف توان پایین در حالت مستقل داشته باشند. لازم به ذکر است اینورتر های به کار رفته در سیستم‌های مستقل از شبکه بسیار متفاوت از سیستم‌های متصل به شبکه است. مبدل‌ها باید بتوانند توان کلیه تجهیزات AC را تأمین کنند و بازدهی کافی داشته باشند. اینورتر های سیستم‌های فتوولتائیک معمولاً در دو مدل ON-GRID و OFF-GRID با بازده ۷۰ الی ۹۶ درصد هستند [۷]. اینورتر به کار رفته در نیروگاه واحد علوم و تحقیقات مدل STECA با توان ۸ کیلووات است. سایر مشخصات آن در جدول ۳ بیان شده است.

جدول ۳. مشخصات اینورتر نیروگاه ۱۲ کیلو واتی واحد علوم و تحقیقات

حداکثر توان اینورتر	۸۰۰۰ وات
ولتاژ ورودی	۴۸ ولت
ولتاژ خروجی	۲۳۰ ولت کاملاً سینوسی
حداکثر توان پیوسته خروجی	۷۰۰۰ وات
راندمان	۹۶ درصد

باتری‌ها

باتری‌های مورد استفاده در سیستم‌های خورشیدی عموماً از نوع سرب-اسید[3] هستند. این باتری‌ها را می‌توان سلولی دارای یک الکترود منفی از جنس سرب متخلخل (اسفنج سرب)و یک الکترود مثبت از جنس سرب دی اکسید (PbO_2) که هر دو در محلول آبی سولفوریک اسید غوطه ور هستند معرفی نمود. بی نیازی از هر گونه کنترل و یا اضافه کردن آب و اسید، کیفیت پایدار و قابلیت اطمینان بالا، ساختار کاملاً ایزوله بدون نشت الکترولیت از ترمینال‌ها و یا بدنه باتری و طول عمر بالا با حداقل تخلیه خود به خودی از مزایای این باتری‌ها به شمار می‌آید [۴]. توانی که هر باتری بر حسب وات تأمین می‌کند، برابر است با حاصل‌ضرب نیروی محرکه الکتریکی (بر حسب ولت) در شدت جریان الکتریکی باتری I (بر حسب آمپر) . با توجه به استفاده از ۲۴ عدد باتری ۲ ولتی ۲۰۰۰ آمپر با مشخصات جدول ۴ در نیروگاه واحد علوم و تحقیقات، ظرفیت کل ذخیره سازی باتری نیروگاه برابر با ۹۶ کیلو وات می‌شود. لازم به ذکر است با سری کردن باتری‌های ۲ ولتی ولتاژ ۴۸ ولت (مورد نیاز اینورتر) تأمین شده است.

جدول ۴. مشخصات باتری‌های نیروگاه ۱۲ کیلو واتی واحد علوم و تحقیقات

ولتاژ سیستم	۲ ولت
ظرفیت	۲۰۰۰ آمپر
حداکثر جریان پر شدن	۴۰۰ آمپر
حداکثر جریان تخلیه	۱۱۰۰۰ آمپر(در ۵ ثانیه)

نرم افزار RETScreen

به کار گیری از نرم افزار انرژی‌های تجدید پذیر برای ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی پروژه‌های مربوط به سیستم‌های فتوولتائیک یکی از اقدامات کلیدی جهت کاهش هزینه‌ها و کاهش زمان بازگشت سرمایه می‌باشد در این مورد نرم افزار RETScreen یکی از قوی‌ترین ابزار و نرم افزارهای پیشتاز در زمینه انرژی‌های پاک است که در ۲۲۲ کشور جهان به ۳۵ زبان به کار می‌رود و بخشی از برنامه درسی بیش از ۲۷۰ دانشگاه و کالج در سراسر دنیا را تشکیل می‌دهد. این نرم افزار با دارا بودن پایگاه داده‌های اقلیمی و محصولات اکثر تولید کنندگان تجهیزات

1.Direct Current
2.Alternating Current
3.Lead acid

تجدیـد پذیـر، ابزارهای مفیدی جهـت ارزیابی فنی، اقتصادی و زیسـت محیطـی پروژه در اختیـار کاربران قرار می‌دهد [۸]. مـدل فتوولتائیک نرم افزار را می‌توان برای ارزیابی میزان انرژی تولید شـده خورشیدی، همچنین میزان هزینه‌ها، صرفه جویی‌های سالانه، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارزیابی مالی و تحلیل حساسـیت و مخاطره پذیری برای پروژه‌های متصل به شبکه مرکزی، شـبکه مستقل و کاربردهای منفصل از شبکه به کار برد. این مدل را می‌توان برای بررسی انواع پروژه‌ها از نیروگاه‌های بزرگ مقیاس با چندین آرایه تا سیسـتم‌های توان توزیع شـده در ساختمان‌های تجاری و مسـکونی یا تأمین تـوان هیبرید با باد یا ژنراتور بـرای کاربردهای صنعتی دور از دسـترس و نیز کاربردهای مسـتقل همراه با باتری برای روشنایی و... به کار بـرد. [۱۰و۹]. یکی از قابلیت‌های نرم‌افزار انرژی‌های تجدید پذیر این اسـت که به تصمیم‌گیرندگان امکان می‌دهد از طریق فرآیند امکان‌سـنجی اولیـه مقرون به صرفه بـودن پروژه را تا حدودی پیش‌بینـی کنند، چنانچه پروژه بالقوه حائز شرایط بود، تحلیل امکان‌سنجی مفصل‌تری لازم می‌شود. در نرم‌افزار بخشـی بـه کار برگ خلاصه وضعیت مالـی اختصاص دارد که برای هر پروژه ارزیابی شـده، وجود دارد. این کار برگ تحلیل مالی شامل ۵ بخش انرژی سـالانه، پارامترهای مالی، هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌های پروژه و امکان‌سـنجی مالی و نمودار جریان نقدی سـالانه است [۱۰]. بخش توازن انرژی و هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌های پروژه کار برگ‌های مدل انرژی، تحلیل هزینـه و تحلیـل GHG [۱] مرتبط با هر پـروژه را در برمی گیرد. علاوه بر ایـن، بخش امکان سـنجی مالی پروژه بـر مبنای داده‌هایی کـه کاربر در بخـش پارامترهای مالی وارد می‌کند صـورت می‌گیرد. بخش جریان نقدی سـالانه به کاربر امکان می‌دهد که جریان انباشـت نقـدی را قبل و بعد از مالیات در طول عمر پروژه مشـخص کند. از جمله مزایای بهره‌گیری از این نرم‌افـزار برای ارزیابی مالی پروژه‌ها این اسـت که ارزیابی مراحل گوناگون پروژه را برای تصمیم‌گیری سـاده می‌کنـد. کار برگ خلاصه وضعیت مالی بـا پارامترهای ورودی نظیر (هزینه اجتناب شـده انرژی، نرخ تنزیل، میزان وام و غیره) و پارامترهای خروجی محاسـبه شـده اقتصادی نظیر نرخ بازده داخلـی، زمان بازگشـت سـرمایه، ارزش خالص فعلی، میـزان صرفه‌جویی حاصـل و غیره به تصمیم گیران پـروژه امکان می‌دهد که پارامترهای مالی گوناگون را بررسـی کنند [۱۱] . در این تحقیق با توجه به داده‌های موجود سه سـناریو اصلی برای محاسبه بازگشت سرمایه نیروگاه در نظر گرفته‌شده اسـت. بر اساس محاسبات انجام شـده به کمک نرم افزار RETscreen در سـناریو سـوم می‌توان با لحاظ نمودن کمک مالی و انتخاب باتری‌ها با قابلیـت چرخـه تخلیه عمیق و پانل‌هـای با راندمان بالاتر، زمان برگشـت سـرمایه را ۵۰ درصد کاهش داد.

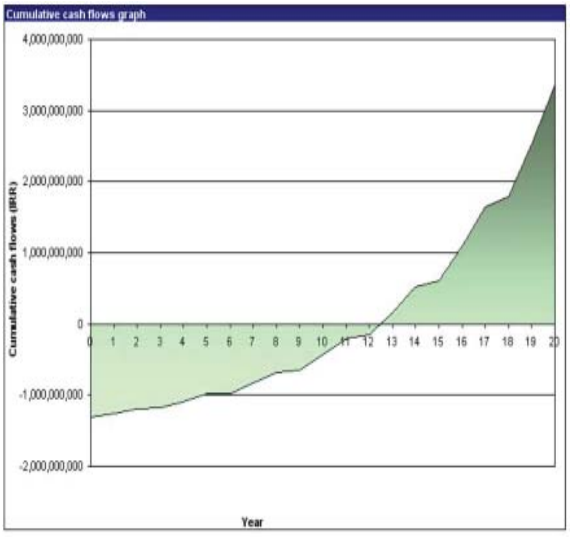
مواد و روش‌ها

به منظور بررسـی تأثیر قانون هدفمندسـازی یارانه‌هـا بر مقرون به صرفه بـودن احـداث نیروگاه‌های فتوولتائیـک، ارزیابی مالی پروژه در قالب سـه سـناریو صورت گرفت و در آن‌هـا هزینه تأمین تـوان مصرفی ۵ کیلووات در سـاعت از طریق نیروگاه فتوولتائیک با هزینه تأمین آن از طریق شـبکه سراسـری برق مقایسه و ارزیابی شـد. در هر سه سناریو نرخ تورم بر اساس خلاصه نتایج به دسـت آمده از شـاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی در مناطق شـهری ایران در سـال ۱۳۸۸ برابر ۱۰/۸ درصـد، آهنگ افزایش هزینـه انـرژی ۱۴/۹ درصد و نـرخ تنزیل ۲۰ درصد منظور شـد، همچنین هیـچ وامی برای پروژه در نظر گرفته نشـد. در سـناریو اول کم‌ترین بهای مقرر شـده برای برق مصرفی و در سـناریوهای دوم و سـوم بهای مصوب برق مصرفی برای مشترک پر مصرف منظور شد. افزون بر این ، در سناریو سـوم، تأثیر بهبود کیفیـت باتری‌های مصرفی، با تغییر مشـخصه حداکثر مجاز تخلیه باتری‌ها ارزیابی شـد [۶]. محاسـبات با بهره گیری از نرم افزار RETScreen انجام شد که مدل فتوولتائیک آن را می‌توان برای ارزیابی میزان انرژی تولید شده خورشیدی، همچنین میزان هزینه‌ها،صرفه جویی‌های سالانه ، کاهش انتشـار گازهای گلخانه‌ای، ارزیابی مالی و تحلیل حساسیت و مخاطره پذیری برای پروژه‌های متصل به شـبکه مرکزی، شـبکه مستقل و کاربردهای منفصل از شبکه به کار برد. در آخرین سناریو به شرایط مطلوب احداث نیروگاه فتوولتائیک پرداخته شـد. با توجه به اینکه امروزه با افزایش رویکرد جهان به مسـائل زیسـت محیطی و اهمیت مقولاتی چون گرمایش جهانی، سـازوکارهای متعددی، نظیر سـازوکار توسـعه پـاک (CDM)[۲]، تحت پروتکل کیوتو تعریف شـده اسـت و برای کاهش گازهای گلخانه‌ای اعتبارهای سـبز تخصیص داده می‌شـود؛ این سـناریو بـا فرض تخصیص اعتباری معادل ۳۰ دلار به ازاء کاهش یک تن گاز گلخانه‌ای در نظر گرفته شد (این اعتبار متغیر بوده و در برخی از کشورها میزان آن به ۱۰۰ دلار هم می‌رسـد همچنین سازمان انرژی‌های نو ایران نیز اقداماتی را برای تصویب و تخصیص این اعتبار شروع کرده است). همچنین کمک مالی معادل ۲۰٪ کل هزینه اولیه سـرمایه‌گذاری در سناریو سـوم منظور شد که تأثیر اعمال سیاسـت‌های تشویقی دولت را بر امکان‌پذیری پروژه‌های تجدید پذیر نشان می‌دهد (این رقم در صورت سیاسـت‌های حمایتـی دولت می‌تواند افزایش یابد) [۱۴]. در بررسـی اقتصادی سـه سناریو بحث شـده، مشخصات فنی نیـروگاه و عوامل موثر بر احداث و راه‌اندازی نقش کلیدی دارند. مفروضات مشـترک‌سـه‌سـناریودرجدول۴بیان‌شـده‌اسـت.

1.Greenhouse gas
2.Clean Development Mechanism

جدول ۴. مفروضات مشترک سه سناریو مربوط به نیروگاه ۱۲ کیلو واتی واحد علوم و تحقیقات

ارتفاع محل	متر ۱۶۶۰
تابش متوسط روزانه بر سطح افق	kWh/m۲day ۴/۹۲
تابش متوسط روزانه دریافتی در سطح پانل	kWh/m۲day ۵/۱۳
میزان بار روزانه الکتریسیته متناوب	kWh ۶۰
ظرفیت مبدل	kW ۸
(ولتاژ باتری‌ها (بانک باتری	V ۴۸
نوع پانل‌ها	تک بلوری
میزان الکتریسیته خورشیدی تولیدی سالانه	MWh۱۳/۰۱
کل هزینه اولیه	۱۳۱۵۴۸۱۹۰۱ریال
هزینه سالانه تعمیرات و نگهداری	ریال ۲۰۰۰۰۰۰۰
)هزینه دوره‌ای(تعویض باتری و قطعات هر ۵ سال یک‌بار	۴۰۰۰۰۰۰۰ ریال
کاهش گازهای گلخانه‌ای سالانه	ton co۱۲/۳ ۲
کاهش گازهای گلخانه‌ای در طول عمر	ton co۲۴۷ ۲
نرخ تنزیل	٪۲۰
نرخ تورم	٪۱۰/۸
نرخ افزایش هزینه انرژی	٪۱۴/۹
طول عمر پروژه	۲۰سال
میزان وام	ندارد
ضریب ظرفیت نیروگاه	٪۱۴/۳



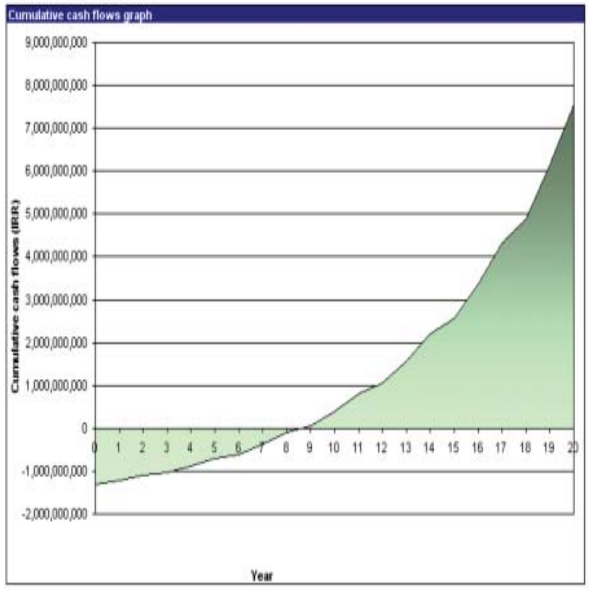
نمودار ۱. محاسبه بازگشت سرمایه در سناریوی اول

بحث و نتیجه‌گیری

در سناریوی اول متوسط بهای برق شبکه ۴۵۰ ریال بر کیلو وات ساعت فرض شده و اعتباری برای کاهش گازهای گلخانه‌ای منظور نشده است. لازم به ذکر است در این حالت شرایط واقعی نیروگاه از لحاظ فنی در محاسبات اعمال و میزان مصرف ۶۰ کیلووات در روز برای نیروگاه در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج به دست آمده نرخ بازگشت داخلی[1] برابر با ۱۰/۲ درصد، زمان بازگشت سرمایه[2] برابر۴۰/۷ سال و زمان بازگشت خالص(نقطه سر به سر شدن)[3] برابر ۱۲/۱ سال است. (نمودار۱)

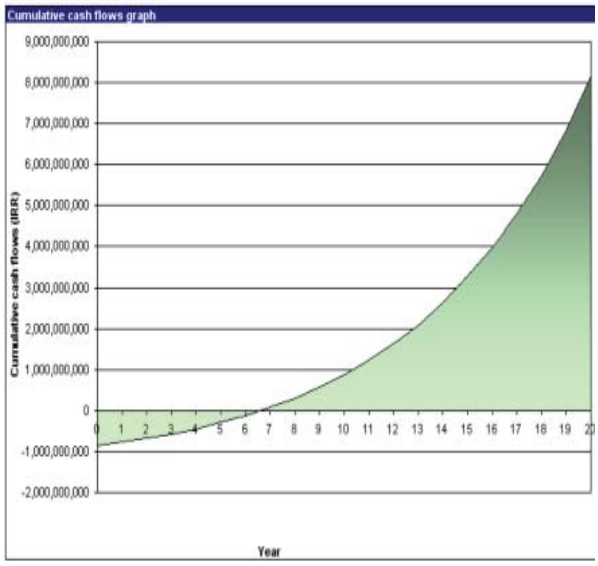
1.Internal rate of return
2.Simple payback
3.Equity payback

در سناریوی دوم با توجه به مصرف ۱۸۰۰ کیلو وات برق در ماه، حداکثر قیمت هر کیلو وات ساعت برق (۲۱۰۰ ریال) با توجه به قانون هدفمند سازی یارانه‌ها در محاسبات لحاظ شده است و اعتباری برای کاهش گازهای گلخانه‌ای منظور نشده است. در این حالت میزان مصرف ۶۰ کیلووات در روز برای نیروگاه در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج به دست آمده نرخ بازگشت داخلی برابر با ۱۸ درصد، زمان بازگشت سرمایه برابر۱۶/۹ سال و زمان بازگشت خالص(نقطه سر به سر شدن) برابر ۸ سال است. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش قیمت حامل‌های انرژی تأثیر بسیار مثبتی در کاهش زمان بازگشت سرمایه داشته است به نحوی که با ۴ برابر شدن قیمت برق نسبت به سناریو اول زمان بازگشت سرمایه در حدود ۳ برابر کاهش یافته است. .(نمودار۲)



نمودار۲. محاسبه بازگشت سرمایه در سناریوی دوم

در سناریوی سوم متوسط بهای برق شبکه ۲۱۰۰ ریال بر کیلو وات ساعت فرض شد و تخصیص اعتباری معادل ۳۰ دلار به ازاء کاهش یک تن گاز گلخانه‌ای در نظر گرفته شد. همچنین باتری‌های استفاده شده از نوع ویژه با قابلیت تخلیه عمیق(۶۰ درصد ظرفیت باتری) و میزان مصرف ۶۰ کیلو وات در روز برای نیروگاه در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج به دست آمده نرخ بازگشت داخلی برابر با ۲۱/۹ درصد، زمان بازگشت سرمایه برابر۱۲/۳ سال و زمان بازگشت خالص(نقطه سر به سر شدن) برابر ۶ سال است. (نمودار۳)



نمودار ۳. محاسبه بازگشت سرمایه در سناریوی سوم

نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس محاسبات در حالت سناریوی سوم ، با در نظر گرفتن اثر کاهش گازهای گلخانه‌ای و بهای برق ۲۱۰۰ ریال و به‌کارگیری پانل‌های خورشیدی با راندمان بالا و باتری‌های مناسب (با DOD ۶۰ درصد) زمان دست‌یابی به جریان نقدی مثبت به حدود ۶ سال می‌رسد. بر همین اساس افزایش قیمت خرید برق تولیدی و به‌کارگیری فناوری‌های نوین در خصوص باتری و پانل‌ها و اتخاذ سیاست‌های حمایتی از طرف دولت می‌تواند زمان بازگشت سرمایه را در حد مطلوب کاهش دهد. لازم به ذکر است در حالت سوم بر اساس محاسبات انجام شده در هر سال فعالیت نیروگاه از انتشار ۱۲ تن دی اکسید کربن به هوا جلوگیری شده و در طول ۲۰ سال فعالیت نیروگاه، مقدار کاهش انتشار دی‌اکسید کربن برابر با ۲۴۷ تن است. لازم به ذکر است علاوه بر مسائل فنی، مسئله کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز در رسیدن به زمان ۶ سال موثر بوده است. با توجه به اینکه یکی از سازوکارهایی که پروتکل کیوتو بنا نهاده، سازوکار توسعه پاک است و آن در برگیرنده اعتباری است که به ازای کاهش گازهای گلخانه‌ای حاصل از اجرای پروژه‌های تجدید پذیر در کشورهای در حال توسعه تعلق می‌گیرد و اینکه برای پروژه‌های توسعه پاک دو گزینه شامل مدت ثابت ده ساله و مدت هفت ساله ، با دو بار قابلیت تمدید مطرح است. چنانچه طول مدت ثابت ده ساله انتخاب شود، به مجرد آن که پروژه تایید و ثبت شود، کاهش انتشار گواهی شده (CERs)[1] بر حسب معادل تن کربن دی اکسید تایید می‌شود.به کمک این تأییدیه ، با توجه به طول عمر

1.Certified Emission Reductions

۲۰ ســاله نیروگاه ، می‌توان اعتبارات لازم اولیــه را اخذ نمود و این امر نقش کلیدی در کاهش زمان بازگشت سرمایه اولیه خواهد داشت.

فهرست منابع

1.Roger A. Messenger ,Jerry Ventre 2005, Photovoltaic Systems Engineering Second Edition, page 67

۲. وب سایت دانشگاه آریزونا
http://asunews.asu.edu/20090429_solarproject ، 2011

۳. وب سایت انرژی‌های تجدید پذیر انگلستان،
http://www.reuk.co.uk/SunPower-SPR-315-Solar-Panels.htm ، 2011

4. Antonio Luque., Steven Hegedus.,2003, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering

۵. وب سایت سازمان انرژی‌های نو ایران،
http://www.suna.org.ir ، 2010

۶. پرتال خبری وزارت نیرو،
http://news.moe.org.ir/vdcfevd0.w6dmcagiiw.html، 2011

7. Antony, Falk etal., 2007, Photovoltaic's for Professionals, Earth scan, London, Page 182

8. CANMET, Photovoltaic Systems Design Manual, Available from Natural Resources Canada, CANMET, 580 Booth Street, Ottawa, ON, Canada, K1A 0E4, 1991.

9. Watsun, WATSUN-PV - A Computer Program for Simulation of Solar Photovoltaic Systems,User's Manual and Program Documentation, Version 6.1, Watsun Simulation Laboratory,University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, N2L 3G1, 1999

۱۰. وب سـایت نرم افزار ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی پروژه تجدید پذیر، www.retscreen.net ، ۲۰۱۱

11. Leng, G., RETScreen International: A Decision-Support and Capacity-Building Tool for Assessing Potential Renewable Energy Projects, 2000, UNEP Industry & Environment, 3rd Quarter

۱۲. پایگاه اطلاع رسانی دولت،
http://www.dolat.ir/NSite/FullStory/id=188041، 2010

13.United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Clean Development, Mechanism (CDM) Executive Board, 2007, Annex B - Indicative simplified baseline and monitoring methodologies for selected small-scale CDM project activity categories.

۱۴. وب سایت هیأت دولتی تغییرات اقلیم،
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html، 2010