

# ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه‌های خورشیدی به وسیله نرم افزار RETScreen با توجه به قانون هدفمندی یارانه‌ها

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

مجید عباس پور<sup>۱</sup>  
سید علیرضا حاجی سید میرزاحسینی<sup>۲</sup>  
ترانه طاهری<sup>۳</sup>  
mirzahosseini@gmail.com

## چکیده

رشد بی رویه مصرف انرژی در کشور به حدی است که تا قبل از افق ۱۴۰۰، ایران را از یک کشور صادر کننده انرژی، به کشوری وارد کننده انرژی تبدیل خواهد کرد. برای مقابله با این تهدید، اجرای راهکارهای بهینه سازی تولید، توزیع و مصرف انرژی، اصلاح الگوی مصرف آن و به کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر ضروری است. بر این اساس، دانشگاه آزاد اسلامی به عنوان یکی از اولین پیشگامان به کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر در واحدهای دانشگاهی، یک نیروگاه خورشیدی ۱۲ کیلو واتی در واحد علوم و تحقیقات تهران احداث نموده است. در این تحقیق از نرم افزار RETScreen برای محاسبه میزان انرژی خورشیدی دریافتی و ضریب ظرفیت نیروگاه، همچنین برآورد هزینه‌های اولیه و دوره‌ای، محاسبه میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای و ارزیابی مالی استفاده شده است. در محاسبات با توجه به قانون هدفمندی یارانه‌ها و تعرفه‌های جدید قیمت برق و مسئله کاهش انتشار 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 (مشترک بر مصرف) زمان دست‌یابی به جریان نقدی مثبت به حدود ۸ سال رسید. بر اساس محاسبات در حالت ایده‌آل و با در نظر گرفتن اعتبار به ازاء کاهش گازهای گلخانه‌ای و بهای برق ۲۱۰۰ ریال و به کارگیری پانل‌های خورشیدی با راندمان بالا و باتری‌های مناسب (با قابلیت تخلیه بار تا ۶۰ درصد) زمان دست‌یابی به جریان نقدی مثبت به حدود ۶ سال کاهش یافت. بر این اساس بهره‌گیری 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

راندمان ایده آل یک سلول در حدود ۳۰ درصد است [۱]. راندمان سلول‌های خورشیدی تجاری تحت تابش مستقیم خورشید، در حدود ۱۲ الی ۲۲ درصد می‌باشد، ولی در سطح آزمایشگاهی محققان به راندمان‌های بالاتری نیز دست یافته‌اند. برای نمونه راندمان آزمایشگاهی سلول‌های خورشیدی تک بلوری تا ۴۰ درصد نیز گزارش شده است [۳]. در خصوص سیستم‌های مستقل از شبکه<sup>۲</sup>، میزان مجاز تخلیه عمیق باتری‌ها (DOD)<sup>۴</sup> بسیار اهمیت دارد. این مقدار برای باتری‌های سرب-اسید معمولی (راندمان باتری ۸۵ تا ۹۵ درصد) تا ۳۰ درصد ظرفیت کل باتری و برای باتری‌های سرب-اسید با قابلیت چرخه تخلیه عمیق<sup>۵</sup> (راندمان باتری ۹۸ درصد) تا ۷۰ درصد ظرفیت کل باتری است. بدیهی است که افزایش طول عمر باتری‌ها و زمان تعویض باتری‌ها با کاهش هزینه‌های دوره‌ای نیروگاه رابطه مستقیم دارد و با انتخاب باتری مناسب، علاوه بر کاهش حجم فضای اختصاص داده شده به باتری‌ها، می‌توان از ظرفیت بیشتر باتری بهره برد. [۴]

## هدفمند سازی یارانه‌ها و انرژی‌های تجدید پذیر

افزایش قیمت حامل‌های انرژی با آغاز طرح هدفمندسازی یارانه‌ها در کشور باعث می‌شود که صنایع و مصرف‌کنندگان عمده انرژی‌های اولیه توجه خود را به مدیریت منابع انرژی و به‌کارگیری انرژی خورشیدی جهت تولید برق معطوف کنند. قیمت کنونی خرید برق تجدید پذیر به طور متوسط کیلووات ساعتی ۱۳۰۰ ریال است [۵]. بر اساس قانون هدفمندسازی یارانه‌ها قیمت‌های جدید برق مصرفی به صورت پلکانی (هفت پله) لحاظ شده است. بر این اساس، هفت پله مصرف وجود خواهد داشت، پله نخست مصرف از صفر تا ۱۰۰ کیلووات ساعت 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 ساعت با قیمت ۳۷۰ ریال، پله چهارم از ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلووات ساعت با قیمت ۴۲۰ ریال، پله پنجم از ۴۰۰ تا ۵۰۰ کیلووات ساعت با قیمت ۴۷۰ ریال، پله ششم از ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلووات ساعت با قیمت ۵۲۰ ریال و پله هفتم که مازاد بر ۶۰۰ کیلووات ساعت است، با قیمت ۶۷۰ ریال به ازاء هر کیلووات ساعت محاسبه می‌شود. در مصارف خانگی عادی به ازای هر کیلووات ساعت مصرف ۴۵۰ ریال و در مناطق گرمسیر ۱۴۰ ریال نرخ مصوب تعرفه برق خانگی خواهد بود. لازم به ذکر است که الگوی مصرف

امروزه به‌کارگیری سیستم‌های فوتوولتائیک در کشورهای پیشرفته بسیار متداول است. برای نمونه یک سیستم فوتوولتائیک خانگی در شهر لوس آنجلس با ظرفیت توان ۲ کیلووات، ۳۶۰۰ کیلووات ساعت انرژی در سال تولید می‌کند. این میزان تولید انرژی باعث ۴/۳ تن صرفه جویی در سوخت زغال سنگ (مصرف شده برای تولید برق) و مانع ورود ۵۰۰۰ پوند کربن منوکسید به جو می‌گردد [۱]. شرکت‌های متعددی در کشورهای مختلف نسبت به نصب این سیستم‌ها اقدام کرده‌اند و کار بهینه‌سازی این سیستم‌ها، همچنان ادامه دارد. برای مثال، تحقیق در زمینه کاربرد عملی سیستم برق با استفاده از پانل‌های فوتوولتائیک به صورت متصل به شبکه برق اکیناوای ژاپن ادامه دارد. این تحقیقات شامل بررسی ویژگی‌های عملکرد سیستم و تأثیر باتری‌ها بر شبکه و همین‌طور راندمان و تداوم برق رسانی شبکه می‌شود [۴]. شرکت آب و برق لوس آنجلس (LADWP)<sup>۱</sup> در نظر دارد برنامه‌ای را برای نصب سیستم‌های برق خورشیدی روی سقف ساختمان‌های این شهر اجرا کند. به موجب این طرح، تا سال ۲۰۱۰ صد هزار سیستم فوتوولتائیک روی سقف ساختمان‌ها مسکونی و تجاری نصب خواهند شد. این سیستم‌ها به صورت تزریق برق تولیدی به شبکه برق سراسری کار می‌کنند. طبق این برنامه، هر ساختمانی برق 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 ساختمانی بیش از مصرف خود برق تولید کند، این انرژی اضافی به شبکه برق تزریق خواهد شد. شرکت TVA<sup>۲</sup> در ایالت تنسی آمریکا نیز اقدام به استفاده از انرژی خورشیدی با عنوان انرژی سبز کرده است. این شرکت برای نمایش تولید برق خورشیدی و به منظور تشویق مشترکین خود به استفاده از آن دو سایت انرژی خورشیدی، یکی در موزه علوم کامبرلند و دیگری در گردشگاهی توریستی در دالیورد دایر کرده است [۱]. در سال ۲۰۰۹ دانشگاه ایالتی آریزونا آمریکا در محوطه غربی دانشگاه یک نیروگاه خورشیدی ۳/۳ مگاواتی احداث کرد [۲].

دوره بازگشت سرمایه نصب سیستم خورشیدی را، با توجه به هزینه بالای اولیه، می‌توان یکی از پارامترهای کلیدی در به‌کارگیری سیستم‌های فوتوولتائیک در کشور دانست که با انتخاب نوع پانل و باتری مناسب و سیاست‌های حمایتی دولتی و جهانی می‌توان آن را کاهش داد. لازم به ذکر است که از معیارهای مهم توسعه و ساخت پانل‌های خورشیدی به حداکثر رساندن راندمان تبدیل نور خورشید به الکتریسیته است. در سلول‌های خورشیدی سازوکارهای مختلف افت انرژی وجود دارد که بعضی از آن‌ها اجتناب ناپذیر بوده و ذاتاً در سلول وجود دارند ولی برخی دیگر را می‌توان کنترل کرد و به حداقل رسانید یا به کلی حذف کرد. با توجه به این نکته،

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

ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه‌های خورشیدی به ...

۱۱

واتی با راندمان ۱۵ درصد است، که تعداد ۱۰۸ پانل فتوولتائیک به صورت ۱۲ تایی در ۹ سازه فلزی نگه‌دارنده قرار دارند. در ماه‌های تابستان مسیر حرکت روزانه خورشید طولانی‌تر و زاویه ارتفاع خورشید بیشتر بوده و زاویه سمتی هنگام طلوع و غروب آفتاب وسیع‌تر است، در صورتی که در ماه‌های زمستان این مسیر کوتاه‌تر و ارتفاع خورشید کمتر و زاویه سمتی در موقع طلوع و غروب بسته‌تر است [۴]. بر همین اساس و با توجه به ثابت بودن سازه نگه‌دارنده پانل‌ها، چارچوب پانل‌ها رو به جنوب با زاویه ۴۳ تا ۵۰ درجه نسبت به افق نصب شده است. سایر مشخصات پانل‌های به کار رفته در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱. مشخصات پانل‌های نیروگاه ۱۲ کیلو وات 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

### کنترل‌کننده شارژ<sup>۱</sup> و اینورتر<sup>۲</sup>

کنترل‌کننده شارژ برای کنترل کردن انرژی ورودی از پانل خورشیدی و تقسیم آن بین مصرف‌کننده و باتری به کار می‌رود. جلوگیری از شارژ بیش از حد باتری‌ها، قابلیت نمایش میزان شارژ موجود در باتری و کارکرد پانل‌های خورشیدی از قابلیت‌های مهم این وسیله می‌باشد. [۴] با توجه به

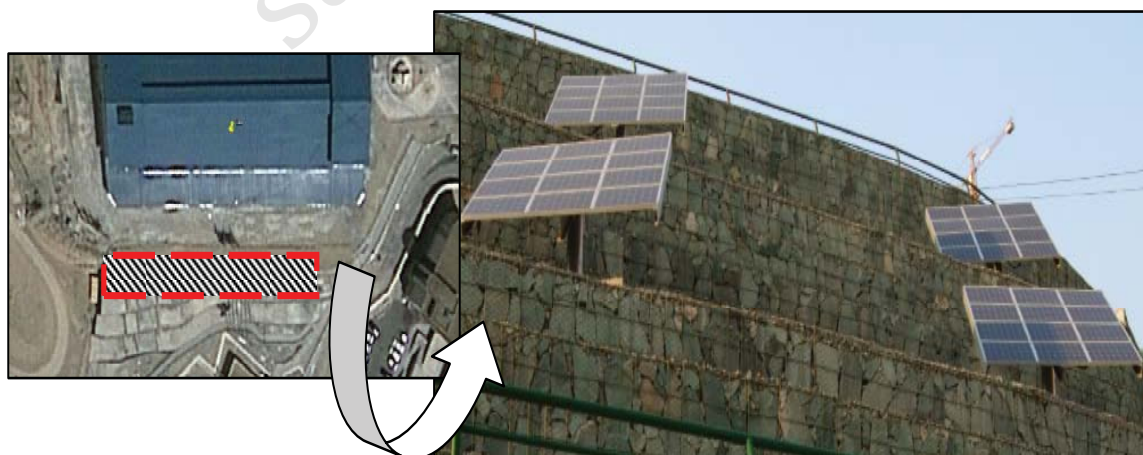
ماهیهانه برای مشترکین خانگی در تهران و در فصل تابستان ۳۰۰ کیلو وات ساعت و در سایر فصول ۲۰۰ کیلو وات ساعت است [۶].

### سیستم‌های مستقل از شبکه

این نوع سیستم، بدون نیاز به وجود شبکه سراسری برق قادر به تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف‌کننده 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 سیستم‌ها را به صورت یک واحد نیروگاهی با طول عمر مناسب بالاتر از ۲۰ سال می‌توان با قابلیت اطمینان بالا نصب و راه‌اندازی کرد. پانل‌ها و باتری‌ها در سیستم مستقل از شبکه فتوولتائیک برق مستقیم (DC) تولید می‌کنند، اما بیشتر تجهیزات الکتریکی با برق متناوب (AC) کار می‌کنند [۷]. به منظور آشنایی بیشتر دانشجویان با کاربردهای انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه آزاد اسلامی اقدام به احداث نیروگاه ۱۲ کیلو وات مستقل از شبکه در واحد علوم و تحقیقات تهران نموده است. این نیروگاه در موقعیت جغرافیایی ۳۵/۸ درجه شمالی و ۵۱/۳ درجه شرقی و در ارتفاع ۱۶۶۰ متری از سطح دریا در مقابل دانشکده علوم انسانی قرار گرفته و از برق تولیدی برای تأمین برق سیستم‌های روشنایی محوطه بهره‌برداری می‌شود (شکل ۱). سایر مشخصات نیروگاه و پارامترهای کلیدی تجهیزاتی که در محاسبات لحاظ گردیده است در ادامه بیان می‌شود.

### پانل‌ها و نحوه قرارگیری آن‌ها

پانل‌های استفاده شده در نیروگاه بررسی شده از نوع تک بلوری ۱۲۰



شکل ۱. موقعیت قرارگیری نیروگاه ۱۲ کیلو وات واحد علوم و تحقیقات

1. Charge controller
2. Inverter



### باتری‌ها

باتری‌های مورد استفاده در سیستم‌های خورشیدی عموماً از نوع سرب-اسید<sup>۳</sup> هستند. این باتری‌ها را می‌توان سلولی دارای یک الکتروود منفی از جنس سرب متخلخل (اسفنج سرب) و یک الکتروود مثبت از جنس سرب دی اکسید ( $PbO_2$ ) که هر دو در محلول آبی سولفوریک اسید غوطه ور هستند معرفی نمود. بی‌نیازی از هر گونه کنترل و یا اضافه کردن آب و اسید، کیفیت پایدار و قابلیت اطمینان بالا، ساختار کاملاً ایزوله بدون نشست الکتروولیت 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 حاصل ضرب 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 کارگیری 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

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

جدول ۲. مشخصات کنترل کننده 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) را به جریان متناوب (AC)<sup>۲</sup> 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 کند 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 اینورترهای 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. اینورترهای 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



## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر قانون هدفمندسازی یارانه‌ها بر مقرون به صرفه بودن احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک، ارزیابی مالی پروژه در قالب سه سناریو صورت گرفت و در آن‌ها هزینه تأمین توان مصرفی ۵ کیلووات در ساعت از طریق نیروگاه فتوولتائیک با هزینه تأمین آن از طریق شبکه سراسری برق مقایسه و ارزیابی شد. در هر سه سناریو نرخ تورم بر اساس خلاصه نتایج به دست آمده از شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی در مناطق شهری ایران در سال ۱۳۸۸ برابر ۱۰/۸ درصد، آهنگ افزایش هزینه انرژی ۱۴/۹ درصد و نرخ تنزیل ۲۰ درصد منظور شد، همچنین هیچ وامی برای پروژه در نظر گرفته نشد. در سناریو اول کم‌ترین بهای مقرر شده برای برق مصرفی و در سناریوهای دوم و سوم بهای مصوب برق مصرفی برای مشترک پر مصرف منظور شد. افزون بر این، در سناریو سوم، تأثیر بهبود کیفیت باتری‌های مصرفی، با تغییر مشخصه حداکثر مجاز تخلیه باتری‌ها ارزیابی شد [۶]. محاسبات با بهره‌گیری 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 انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارزیابی مالی و تحلیل حساسیت و مخاطره پذیری برای پروژه‌های متصل به شبکه مرکزی، شبکه مستقل و کاربردهای منفصل از شبکه به کار برد. در آخرین سناریو به شرایط مطلوب احداث نیروگاه فتوولتائیک پرداخته شد. با توجه به اینکه امروزه با افزایش رویکرد جهان به مسائل زیست محیطی و اهمیت مقولاتی چون گرمایش جهانی، سازوکارهای متعددی، نظیر سازوکار توسعه پاک (CDM)<sup>۱</sup>، تحت پروتکل کیوتو تعریف شده است و برای کاهش گازهای گلخانه‌ای اعتبارهای سبز تخصیص داده می‌شود؛ این سناریو با 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 می‌رسد 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 سرمایه‌گذاری در سناریو سوم منظور شد که تأثیر اعمال سیاست‌های تشویقی دولت را بر امکان‌پذیری پروژه‌های تجدید پذیر نشان می‌دهد (این رقم در صورت سیاست‌های حمایتی دولت می‌تواند افزایش یابد) [۱۴]. در بررسی اقتصادی سه سناریو بحث شده، مشخصات فنی نیروگاه و عوامل موثر بر احداث و راه‌اندازی نقش کلیدی دارند. مفروضات مشترک سه سناریو در جدول ۴ بیان شده است.

تجدید پذیر، ابزارهای مفیدی جهت ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی پروژه در اختیار کاربران قرار می‌دهد [۸]. مدل فتوولتائیک نرم افزار را می‌توان برای ارزیابی میزان انرژی تولید شده خورشیدی، همچنین میزان هزینه‌ها، صرفه جویی‌های سالانه، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارزیابی مالی و تحلیل حساسیت و مخاطره پذیری برای پروژه‌های متصل به شبکه مرکزی، شبکه 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 سیستم‌های توان توزیع شده در ساختمان‌های تجاری و مسکونی یا تأمین توان هیبرید با باد یا ژنراتور برای کاربردهای صنعتی دور از دسترس و نیز کاربردهای مستقل همراه با باتری برای روشنایی و... به کار برد. [۹ و ۱۰]. یکی از قابلیت‌های نرم‌افزار انرژی‌های تجدید پذیر این است که به تصمیم‌گیرندگان امکان می‌دهد از طریق فرآیند امکان‌سنجی اولیه مقرون به صرفه بودن پروژه را تا حدودی پیش‌بینی کنند، چنانچه پروژه بالقوه حائز شرایط بود، تحلیل امکان‌سنجی مفصل‌تری لازم می‌شود. در نرم‌افزار بخشی به کار برگ خلاصه وضعیت مالی اختصاص دارد که برای هر پروژه ارزیابی شده، وجود دارد. این کار برگ تحلیل مالی شامل ۵ بخش انرژی سالانه، پارامترهای مالی، هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌های پروژه و امکان‌سنجی مالی و نمودار جریان نقدی سالانه است [۱۰]. بخش توازن انرژی و هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌های پروژه کار برگ‌های مدل انرژی، تحلیل هزینه و تحلیل GHG<sup>۱</sup> مرتبط با هر پروژه را در برمی‌گیرد. علاوه بر این، بخش امکان‌سنجی مالی پروژه بر مبنای داده‌هایی که کاربر در بخش پارامترهای مالی وارد می‌کند صورت می‌گیرد. بخش جریان نقدی سالانه به کاربر امکان می‌دهد که جریان انباشت نقدی را قبل و بعد از مالیات در طول عمر پروژه مشخص کند. از جمله مزایای بهره‌گیری از این نرم‌افزار برای ارزیابی مالی پروژه‌ها این است که ارزیابی مراحل گوناگون پروژه را برای تصمیم‌گیری ساده می‌کند. کار برگ خلاصه وضعیت مالی با پارامترهای ورودی نظیر (هزینه اجتناب شده انرژی، نرخ تنزیل، میزان وام و غیره) و پارامترهای خروجی محاسبه شده اقتصادی نظیر نرخ بازده داخلی، زمان بازگشت سرمایه، ارزش خالص فعلی، میزان صرفه‌جویی حاصل و غیره به تصمیم‌گیران پروژه امکان می‌دهد که پارامترهای مالی گوناگون را بررسی کنند [۱۱]. در این تحقیق با توجه به داده‌های موجود سه سناریو اصلی برای محاسبه بازگشت سرمایه نیروگاه در نظر گرفته شده است. بر اساس محاسبات انجام شده به کمک نرم افزار RETScreen در سناریو سوم می‌توان با لحاظ نمودن کمک مالی و انتخاب باتری‌ها با قابلیت چرخه تخلیه عمیق و پانل‌های با راندمان بالاتر، زمان برگشت سرمایه را ۵۰ درصد کاهش داد.

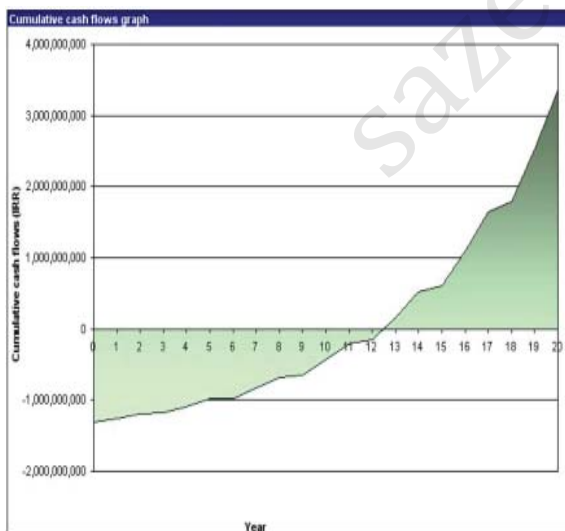
1.Greenhouse gas

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/m <sup>2</sup> day ۴/۹۲
تابش متوسط روزانه دریافتی در سطح پانل	kWh/m <sup>2</sup> day ۵/۱۳
میزان بار روزانه الکتریسیته متناوب	kWh ۶۰
ظرفیت میدل	kW ۸
(ولتاژ باتری‌ها (بانک باتری	V ۴۸
نوع پانل‌ها	تک بلوری
میزان الکتریسیته خورشیدی تولیدی سالانه	MWh ۱۳/۰۱
کل هزینه اولیه	ریال ۱۳۱۵۴۸۱۹۰۱
هزینه سالانه تعمیرات و نگهداری	ریال ۲۰۰۰۰۰۰۰
(هزینه دوره‌ای) تعویض باتری و قطعات هر ۵ سال یک‌بار	ریال ۴۰۰۰۰۰۰۰
کاهش گازهای گلخانه‌ای سالانه	ton CO <sub>2</sub> ۱۲/۳ ۲
کاهش گازهای گلخانه‌ای در طول عمر	ton CO <sub>2</sub> ۴۷ ۲
نرخ تنزیل	۲۰
نرخ تورم	۱۰/۸
نرخ افزایش هزینه انرژی	۱۴/۹
طول عمر پروژه	سال ۲۰
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<sup>۱</sup> برابر با ۱۰/۲ درصد، زمان بازگشت سرمایه<sup>۲</sup> برابر ۴۰/۷ سال و زمان بازگشت خالص (نقطه سر به سر شدن)<sup>۳</sup> برابر ۱۲/۱ سال است. (نمودار ۱)

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





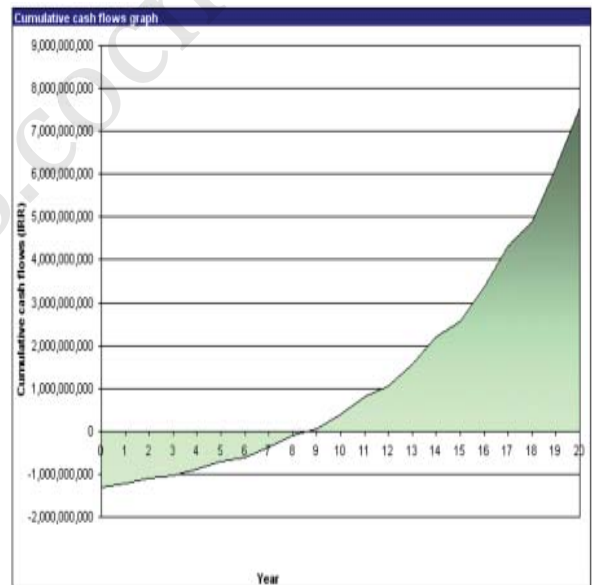
نمودار ۳. محاسبه بازگشت سرمایه در سناریوی سوم

### 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) بر حسب معادل تن کربن دی اکسید تایید می‌شود. به کمک این تأییدیه، با توجه به طول عمر

#### 1. Certified Emission Reductions

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 برابر ۱۶/۹ 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. (نمودار ۲)



نمودار ۲. 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 برابر ۱۲/۳ سال و زمان بازگشت خالص (نقطه سر به سر شدن) برابر ۶ سال است. (نمودار ۳)



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

۱۰. وب سایت نرم افزار ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی پروژه تجدید پذیر، [www.retscren.net](http://www.retscren.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

۲۰ ساله نیروگاه، می توان اعتبارات لازم اولیه 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](http://asunews.asu.edu/20090429_solarproject)، 2011

۳. وب سایت انرژی های 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، وب سایت سازمان انرژی های 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 et al., 2007, Photovoltaic's for

