فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
سال دوّم، شماره‌ی ۸، زمستان ۱۳۹۲
صفحات: ۱۱۵-۱۳۶

ارزیابی اقتصادی انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در یک واحد خانگی در شهرستان مشهد♣

مصطفی سلیمی‌فر[۱]
محمدحسین مهدوی‌عادلی[۲]
حبیب رجبی مشهدی[۳]
اعظم قزلباش[۴*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۸/۲۵

چکیده

نیاز به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای رسیدن به تولید انرژی الکتریکی بیشتر، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین زمینه‌ها برای یافتن منابع جدید انرژی‌های تجدیدپذیر است. در بین این منابع، انرژی خورشیدی به دلایل زیادی از قبیل: دسترسی آسان و سهولت تبدیل شدن به انرژی الکتریکی از مطلوبیت بیشتری برخوردار است. امروزه با تولید انبوه و اقتصادی انواع سلول‌های خورشیدی یا فتوولتائیک (PV)، استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین نیاز انرژی ساختمان‌ها و استقلال آن‌ها و حتی فروش مازاد از نیاز آن به شرکت‌های برق بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق امکان‌سنجی استفاده از یک سیستم فتوولتائیک به‌منظور تأمین بار الکتریکی موردنیاز یک واحد مسکونی در شهر مشهد به‌عنوان موردی از مصارف خانگی ، مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، آنالیز فنی- اقتصادی استفاده از این سیستم با استفاده از نرم افزار کامفار (COMFAR)، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در صورت استفاده از سیستم فتوولتائیک با میزان سرمایه‌گذاری ۹۰ میلیون ریال، نرخ بازدهی داخلی در یک واحد مسکونی با متوسط مصرف ۴۰۰KWH در ماه برابر با ۱۹/۱۵ درصداست و دوره بازگشت سـرمایه ۹ سال و نیز خالص ارزش فعلی به میزان ۱۴,۷۳۳ میلیون ریال می‌باشد.

کلید واژه‌ها: انرژی خورشیدی، سیستم فتوولتائیک، ارزیابی مالی اقتصادی، نرم‌افزار کامفار

طبقه‌بندی JEL: L94, Q42

♣ این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد با عنوان "ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی" استخراج گردیده است.

۱. استاد اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد **Email:** mostafa@um.ac.ir
۲. استاد اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد **Email:** madeli_2001@yahoo.com
۳. استاد برق دانشگاه فردوسی مشهد **Email:** h_ mashhadi@um.ac.ir
۴. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد(*نویسنده مسئول) **Email:** azam_gh65@yahoo.com

۱. مقدمه

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در جایگزینی با انرژی‌های فسیلی با توجه به ویژگی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی آن‌ها، یکی از دغدغه‌های سیاستگذاران بخش انرژی در قرن حاضر می‌باشد. آنچه روند توجه به انرژی‌های نو را در کشورهای مختلف شدت بخشیده است، رشد مصرف انرژی و استفاده بی رویه از منابع انرژی فسیلی، مشکلات موجود در بخش عرضه انرژی و جهش‌های ایجاد شده در قیمت حامل‌های انرژی فسیلی، افزایش تولید آلودگی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه تخریب منابع زیست محیطی، تخریب لایه اوزون و گرم شدن دمای هوا ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نهایت، عدم توجه به سهم نسل‌های آینده از منابع فسیلی می‌باشد. بر اساس برآوردهای صورت گرفته، نفت و اورانیوم در جهان تا چهل سال دیگر تمام می‌شود.

یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدید پذیر که در مناطق وسیعی از ایران پتانسیل بالایی دارد، انرژی خورشیدی است که در این تحقیق، کاربرد فتوولتائیک آن (تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی) به منظور برق‌رسانی به مناطق مسکونی مورد توجه قرار گرفته است. مهم‌ترین موضوعی که امروزه مانع اصلی استفاده از انرژی خورشیدی گردیده است، توجیه پذیری اقتصادی آن در مقایسه با دیگر گزینه های موجود در برق رسانی می‌باشد. تولید انرژی الکتریکی در ایران عمدتاً توسط ۵۶ واحد نیروگاه حرارتی و ۲۳ واحد نیروگاه برق آبی وزارت نیرو و درصد کمی نیز توسط نیروگاه‌های اختصاصی صنایع بزرگ، متوسط و کوچک تأمین می‌گردد.سهم برق خورشیدی نیز به کمتر از ۲درصد می‌رسد (وزارت نیرو،۱۳۹۰). در این تحقیق با استفاده از معیارهای اقتصاد مهندسی و ارزیابی طرح‌ها، هزینه نهایی هر واحد انرژی الکتریکی تولید شده توسط سیستم برق خورشیدی به‌دست آمده و با هزینه برق تولید شده توسط نیروگاه فسیلی مقایسه می شود تا در نهایت میزان اقتصادی بودن سیستم خورشیدی مشخص گردد.

۲. انرژی خورشیدی

زندگی روزمره مردم وابسته به تولید و مصرف انرژی است؛ لذا عرضه و تقاضای آن در جوامع بشری به‌طور مستمر رو به افزایش است. در حال حاضر، ۷۷ درصد کل انرژی مصرفی جهان را سوخت‌های فسیلی تأمین می‌کنند که با تولید گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در فرایند تبدیل و در نتیجه تخریب لایه اوزن، محیط زیست را به‌شدت مورد تهدید قرار داده و موجب گرم شدن بیشتر دمای کره زمین می‌شوند (خوش‌اخلاق،۱۳۸۴). این عوامل از جمله عوامل محرک بشر به‌منظور دستیابی بر سرچشمه‌های انرژی فناناپذیری همچون خورشید، باد و سایر منابع انرژی می‌باشد که در عرض دهه‌ی گذشته اهمیت بیشتری یافته است. آنچه همگان را به استفاده از انرژی‌های نو ترغیب می‌کند محدودیت ذخایر فسیلی و اثرهای نامطلوب زیست محیطی پسماندهای آن‌ها،

نوسان قیمت‌ها و بحران‌های انرژی است. خطرات و تهدیدهای زیادی شامل حوادث طبیعی (سیل، زلزله و...)، حوادث صنعتی (آتش‌سوزی، نشت مواد و ...)، تهدیدات خارجی (بمب‌های الکترومغناطیسی و...) متوجه انرژی کشور بوده که جهت برقراری انرژی پایدار در تمامی شرایط و مواقع، می‌بایستی به آن‌ها توجه نموده و ملاحظات پایداری را در طراحی و ساخت کلیه مراحل از تولید تا مصرف در نظر داشت. هر کدام از انرژی‌های تجدیدپذیر دارای منافع متعدد اقتصادی برای تولید و عرضه می‌باشند. در این میان به‌دلیل حجم بالای در دسترس انرژی خورشیدی نسبت به سایر انرژی‌ها، برنامه‌ریزی استفاده از آن تا ۵۰ سال آینده شگفت‌انگیز است. به‌طوری‌که بر اساس پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۵۰ میلادی ۳۴٪ از کل برق مصرفی دنیا از انرژی خورشیدی تأمین می‌گردد.(وزارت نیرو، ۱۳۹۰)

منبع تحقیق: IEA, 2008

شکل ۱: منابع انرژی در جهان

انرژی خورشید فراوان‌ترین انرژی جهان محسوب می‌شود. میزان انرژی که خورشید در مدت زمان یک ساعت به زمین ارزانی می‌کند، تأمین‌کننده تمامی انرژی موردنیاز بشر در طول یک‌سال است.

نکته اینجاست که گرچه انرژی خورشید رایگان است ولی تجهیزات تولید برق از انرژی خورشیدی به سرمایه اولیه زیادی احتیاج دارند که قابل رقابت با انرژی سوخت فسیلی ارزان قیمت نیست. یکی از این تجهیزات، سیستم فتوولتائیک است.اهمیت استفاده از تکنولوژی فتوولتائیک این است که مستقیماً و بـدون

بهره‌گیری از مکانیسم‌های متحرک و شیمیایی، نورخورشید را به برق تبدیل می‌کند. امروزه سیستم‌های فتوولتائیک در سقف و نمای بیرونی بسیاری از ساختمان‌ها، آسمان خراش‌ها و سالن‌های عمومی و تحقیقاتی در نقاط مختلف دنیا نصب شده‌اند که از آن جمله می‌توان به ساختمان Times Square بزرگ‌ترین آسمان خراش در دهه‌ی ۱۹۹۰ در نیویورک اشاره کرد. این آسمان خراش علاوه بر اینکه بازده انرژی بیشتری نسبت به آسمان‌خراش‌های دیگر داشت، شامل پانل‌های فتوولتائیک به هم پیوسته بود که از طبقه ۳۷ تا ۴۳ در ضلع جنوبی و غربی ساختمان نصب شدند. همچنین می‌توان به سیستم فتوولتائیک ۱/۱۸ مگاواتی نصب شده بر روی بام زندان Santa Rita در دوبلین کالیفرنیا در سال ۲۰۰۲ اشاره کرد. این سیستم موجب گردید زندان به میزان ۳۰٪ کمتر از الکتریسیته شبکه استفاده کند (بهادری‌نژاد، ۱۳۸۴).

امروزه با استفاده از روش‌های تولید مناسب و بالابردن بازدهی سیستم‌های برق خورشیدی و کاستن هزینه‌های تولید و نیز افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی این سیستم‌ها توانستند هر چه بیشتر جایگاه خود را در بین دیگر صور تأمین انرژی در دنیا بگشایند و در حال حاضر به‌صورت گسترده در کشورهای اروپای غربی، امریکای لاتین و صحراهای قاره آفریقا و آسیا (خاورمیانه) و دیگر صحراهای جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کشورهای غربی با داشتن ساعات آفتابی کمتر از دو درصد نسبت به کشورهای خاورمیانه، مردم با استفاده از سیستم‌های برق خورشیدی متصل به شبکه برق، در روز برق تولیدی را به شبکه تحویل داده و در هنگام شب از شبکه برق تحویل می‌گیرند و هنگام پرداخت بهای برق مصرفی تفاضل برق تحویلی و مصرف شده از شبکه را می‌پردازند (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹). این در حالی است که ایران با داشتن شرایط جغرافیایی مناسب، مستعد استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی است، به‌ویژه آن که از نقطه نظر میزان انرزی تابش خورشیدی در شمار بهترین مناطق محسوب می‌شود. در این میان شهر مشهد که به‌عنوان یکی از مناطق مستعد استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشد، تعداد روزهای آفتابی و نیمه آفتابی این شهر در سال حدود ۳۱۳ روز است بنابراین تعداد ساعت‌های آفتابی در سال حدود ۱۷۴۲ ساعت است (سالنامه هواشناسی کشور، ۱۳۹۰). از آنجایی که ۴۰٪ سوخت مصرفی به بخش ساختمان اختصاص داده شده که در کنار هزینه‌های بالای آن برای مصرف کننده با خطر رو به اتمام بودن منابع و آلودگی محیطزیست همراه است که این مهم استفاده از سرچشمه‌های انرژی را واجب می‌سازد. از آنجا که استفاده از این انرژی‌های تجدیدپذیر منجر به تولید مقادیر بسیار ناچیزی و در برخی موارد، عدم تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شود، لذا یکی از سوخت‌هایی که به زودی در دنیا رتبه اول مصرف را به خود اختصاص می‌دهد، انرژی خورشیدی است (عربی، ۱۳۸۹: ۶۱). لذا استفاده از سیستم‌های برق خورشیدی جهت تأمین برق منازل مسکونی ضروری به‌نظر می‌رسد.

در سال‌های گذشته نیز انرژی خورشیدی بیشترین نرخ رشد مصرف را در میان سایر انرژی‌های نوین و معادل ۳۵٪ داشته است. مصرف قابل توجه انرژی و همچنین تعداد زیاد مشترکین بخش خانگی باعث شده که

۲۳٪ مصرف انرژی الکتریکی را به خود اختصاص داده، به‌گونه‌ای که همراه با بخش صنعت بالاترین میزان تقاضای برق را در کشور و استان خراسان دارد (وزارت نیرو، ۱۳۹۰).

جدول ۱: سهم بخش‌های مختلف از انرژی الکتریکی

شرح	درصد مصرف از کل
بخش خانگی	٪۲۳
بخش صنعت	٪۳۲
بخش کشاورزی	٪۱۴
بخش عمومی	٪۱۲
بخش روشنائی معابر	٪۴
سایر مصارف	٪۷

منبع تحقیق: وزارت نیرو، ۱۳۹۰

با توجه به این که بخش زیادی از انرژی الکتریکی مصرفی به اماکن مسکونی اختصاص دارد و در حال حاضر این میزان انرژی الکتریکی از نیروگاه‌های فسیلی تأمین می‌شود که اثرات مخرب زیست‌محیطی را به دنبال دارد، لذا سیستم‌های برق خورشیدی می‌توانند به جایگزین مناسبی برای مصارف خانگی، که مصرف برق بالایی دارند، تبدیل شوند.

حال با توجه به این‌که نیروگاه‌های تولید برق در کشور عمدتا از نوع نیروگاه‌های با سوخت فسیلی می‌باشد، سؤال اصلی تحقیق این است که آیا نیروگاه‌های خورشیدی در مقایسه با نیروگاه‌های با سوخت فسیلی در تأمین برق مصارف خانگی قابل رقابت هستند؟ این پژوهش درصدد بررسی و مقایسه هزینه-4منفعت نیروگاه‌های فسیلی با نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس کوچک و مصارف خانگی می‌باشد.

۳. پیشینه تحقیق

لزورد[1] (۲۰۰۲)، در مقاله‌ای با عنوان "سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی: اقتصاد منابع تجدیدپذیر" ضمن به‌دست آوردن هزینه واحد انرژی سیستم فتوولتائیک از روش تحلیل هزینه چرخه عمر و مقایسه آن با هزینه واحد انرژی نیروگاه‌های متعارف، به بررسی مزایای استفاده از نیروگاه فتوولتائیک پرداخته است. در این پژوهش هزیه تولید برق با سیستم فتوولتائیک در سال ۱۹۹۷، ۲۵ سنت به ازای هر کیلووات ساعت برآورد گردیده است

1. Lesourd.

که در مقایسه با هزینه تولید برق متعارف که ۱۰ سنت به ازای هر کیلووات ساعت برق است، بالاتر است اما پیش‌بینی شده است که به دلیل پیشرفت فن‌آوری‌های موجود، در آینده نزدیک هزینه برق خورشیدی به نصف کاهش یابد که با توجه به این امر و همچنین روند صعودی قیمت جهانی سوخت، استفاده از انرژی خورشیدی مقرون به صرفه خواهد شد.

اوانس و همکاران[1] (۲۰۰۹)، به بررسی دستگاه‌های مختلف انرژی به‌منظور روشنایی داخلی در هند پرداختهl اند. این پژوهشگران با روش تحلیل هزینه چرخه‌ی عمر، سیستم‌های توزیع انرژی اعم از سیستم‌های سنتی و سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر را مورد ارزیابی اقتصادی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که سیستم‌های مدرن انرژی نسبت به سیستم‌های سنتی، گزینه‌های بهتری برای تأمین روشنایی در مناطق روستایی هستند. علاوه بر این، سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر تولید گازهای گلخانه‌ای از جمله گازهای مخربی همچون CO2 را کاهش می‌دهند.

کلارک و همکاران[2] (۲۰۰۹)، در مطالعه خود به بررسی بازده انرژی ساختمان در دو نوع سیستم‌های متعارف و تجدیدپذیر پرداختند. انرژی موردنیاز ساختمان در بخش‌های گرمایش و سرمایشی با دو سیستم انرژی اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از انرژی خورشیدی و سیستم‌های فتوولتائیک، بازده انرژی ساختمان را به مراتب نسبت به حالتی که انرژی ساختمان بدون استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شد، افزایش می‌دهد.

آنگاره و همکاران[3] (۲۰۱۰)، در ارزیابی پتانسیل کشور اردن برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی باد و خورشید را مورد بررسی قرار داده‌اند. دراین ارزیابی، مناطق مختلف اردن با توجه به سرعت باد و تابش خورشید مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از مطالعه، پتانسیل هر منطقه را برای بهره‌گیری از انرژی بادی و یا خورشیدی را نشان می‌دهد.

چاندراسکار و همکاران[4] (۲۰۱۰)، به بررسی و ارزیابی سیستم‌های فتوولتائیک (PV) برای تأمین برق مناطق روستایی هند پرداخته‌اند. آن‌ها استفاده از فناوری های انرژی تجدیدپذیر از جمله سیستم‌های PV را از جنبه‌های مختلف با روش تحلیل هزینه چرخه‌ی عمر مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که این سیستم‌ها از جنبه‌های اقتصادی و پیامدهای زیست محیطی برای تأمین برق مصارف خانگی روستاها بسیار مناسب هستند.

1. Evans et al.
2. Clark et.al.
3. Anagreh et.al.
4. Chandrasekar et.al

شنگ چانگ[1] (۲۰۱۱)، در مقاله خود پتانسیل انرژی خورشید در مصارف خانگی را برای کشور تایوان مورد ارزیابی قرار داده است. پژوهشگران مزایا و موانع استفاده از انرژی تجدیدپذیر را مدنظر قرار داده و به این نتیجه رسیدند که بازار و مشوق‌های سرمایه‌گذاری از فاکتورهای تأثیرگذار بر نصب مولدهای برقی خورشیدی در تایوان هستند.

بهادری‌نژاد و فرهمندپور (۱۳۸۴)، به طراحی و بررسی اقتصادی سیستم برق خورشیدی برای یک ساختمان اداری در تهران پرداختند. ساختمان اداری به مساحت ۱۲۰ مترمربع و دارای یک زیرزمین با همین مساحت در تهران طراحی و هزینه اولیه و بهای برق تولیدی تعیین گردیده است. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از برق خورشیدی در ساختمان‌های اداری با توجه به سیاست انرژی دولت در خرید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر، در حال حاضر در تهران اقتصادی نیست. اما طراحی ساختمان‌هایی با بازده انـــرژی بالا را در سال‌های آتی دور از انتظار نمی‌بیند، به گونه‌ای که هر ساختمان می‌تواند هم انرژی مصرف کند و هم انرژی تولید کند، همچنان‌که نسل جدیدی از ساختمان‌هایی با انرژی صفر داشته باشیم.

شیرودی و همکاران (۱۳۸۶)، در تحقیق خود به بررسی نخستین سیستم انرژی هیدوژن خورشیدی در ایران پرداخته‌اند. این پژوهشگران استفاده از سلول‌های فتوولتائیک را به‌عنوان یک منبع قابل اطمینان انرژی برای تأمین انرژی موردنیاز دستگاه الکترولیز جهت تولید هیدروژن در سایت انرژی‌های نو طالقان را خاطر نشان کرده، به گونه‌ای که اجرای این طرح بیانگر قابلیت سیستم‌های فتوولتائیک بوده و قدرت جایگزینی با برق شبکه سراسری را در مناطق دور از شبکه‌های توزیع برق فراهم می‌سازد.

مهدی‌زاده و فرزام (۱۳۸۸)، در مطالعه خود به توجیه فنی- اقتصادی احداث یک نیروگاه به روش برج خورشیدی در ایران پرداخته است. برج خورشیدی یکی از روش‌های تولید برق از انرژی خورشید می‌باشد. مطالعات انجام شده در این مقاله نشان داد که احداث این نیروگاه در ایران از نظر فنی و اقتصادی امکان‌پذیر می‌باشد. مناطق مرکزی و جنوبی ایران با توجه به‌میزان کافی تشعشع خورشیدی کاملاً مناسب بوده و قیمت تمام شده برق این نیروگاه برای مقیاس‌های بزرگ با توجه به نرخ آزاد برق مندرج در قانون بودجه سال ۱۳۸۷ کل کشور و همچنین افزایش نرخ خرید برق برای سال‌های آتی از نیروگاه‌های تجدیدپذیر، در ایران مقرون به صرفه می‌باشد.

پیرحق‌شناس و همکاران (۱۳۹۰)، در پژوهش دیگری به اهمیت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در ساختمان‌ها اشاره کرده‌اند. مطالعات این پژوهشگران نشان می‌دهد که در بین منابع موجود انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی بادی و خورشیدی به دلایل فراوانی، دسترسی آسان و سهولت تبدیل شده به انرژی

1. Sheng Chang.

الکتریکی از محبوبیت ویژه‌ای برخوردارند. ایشان با معرفی انرژی باد، راهکارهایی جهت نحوه‌ی استفاده از توربین‌های بادی در ساختمان‌ها با توجه به جهت و میزان وزش باد ارائه کرده‌اند.

خواجه صالحانی و همکاران (۱۳۹۰)، در مقاله خود با عنوان" تأمین برق مبتنی بر انرژی خورشیدی با استفاده از صفحات فتوولتائیک و کاربردهای جدید آن" با اشاره به به اینکه سلول‌های خورشیدی قادرند معادل ۵ تا ۲۰ درصد انرژی خورشیدی را مستقیماً به الکتریسته تبدیل کنند، به اهمیت نور خورشید در جایگزینی انرژی اشاره کرده‌اند. محققان استفاده از سلول‌های فتوولتائیک و صفحات نوری در ساخت قطعات جاده‌ای را مناسب دانسته، به‌طوری که استفاده از این صفحات علاوه بر مزایای ارزشمندی که در زمینه الکتریسیته دارد، باعث افزایش مقاومت آسفالت سطح جاده‌ها مخصوصاً در زمان فشار ترافیک می‌شود.

٤. معرفی داده‌ها و روش تحقیق

٤-١ معرفی نمونه خانگی مجهز به سیستم فتوولتائیک

استان خراسان رضوی با داشتن ۱۷۶۶۲۹۰ مشترک خانگی و به‌طور متوسط ۱۹۹ روز آفتابی، از جمله استان‌های آفتاب خیز کشور و مناسب جهت استفاده از سیستم خورشیدی می‌باشد. در این میان ، شهر مشهد به‌عنوان یکی از مناطق مستعد استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشد که تعداد روزهای آفتابی و نیمه‌آفتابی این شهر در سال حدود ۳۱۳ روز است بنابراین تعداد ساعت‌های آفتابی در سال حدود ۱۷۴۲ ساعت است (وزارت نیرو، ۱۳۹۰). بر این اساس یک واحد مسکونی نمونه با فرض مجهز شدن به سیستم خورشیدی در نظر گرفته می‌شود.

آنچه که استاندارد شرکت برق تعریف می‌کند این است که متوسط مصرف برق در هر خانواده ایرانی در سال ۱۳۹۱ به‌طور تقریبی معادل ۴۰۰KWH در ماه است. بنابراین برای محاسبه هزینه‌های یک سیستم فتوولتاییک فرض می‌کنیم که مصرف‌کننده در هر ماه به مقدار ۴۰۰KWH برق مصرفی دارد. این میزان مصرف با شدت مصرف انرژی در ماه‌های تابستان نیز هماهنگی دارد.

ویژگی‌های فنی سیستم فتوولتائیک خانگی

اجزاء سیستم فتوولتائیک عبارتند از:

- پانل(سلول‌های فتوولتائیک): این سلول‌ها مربع‌های نازک، دیسک‌ها یا فیلم‌هایی از جنس نیمه هادی هستند که ولتاژ و جریان کافی را در زمان قرار گرفتن در معرض تابش نور خورشید، تولید می‌کنند.

- اینورتر(مبدل): وسیله‌ایست که جریان DC (مستقیم) را به جریان AC (متناوب) برای مصرف، تبدیل می‌کند.

براساس اطلاعات شرکت سازنده مدول‌های فتوولتائیک در ایران (شرکت فیبر نوری و برق خورشیدی ایران) و مصاحبه با کارشناسان برق و با توجه به انرژی موردنیاز خانوار و مقدار ساعات خورشیدی ، دستگاه اینورتر و توان نامی پانل‌ها، می‌توان تعداد مدول‌های فتوولتاییک (پانل) موردنیاز خانوار را محاسبه کرد (یزدانی‌راد، ۱۳۷۷). طی مصاحبه با کارشناسان فنی اظهار داشتند که بیشترین پانل‌های وارد شده به کشور در سال ۱۳۹۱ با ظرفیت تولیدی ۲۰۰ وات بوده است بنابراین برای واحد مسکونی با مصرف متوسط ۴۰۰ کیلووات ساعت در ماه به ۷ عدد پانل ۲۰۰ واتی احتیاج داریم که ظرفیت پانل ۱/۴ کیلووات می‌شود (وات ۱۴۰۰= ۷× ۲۰۰ یا ۱/۴کیلووات).

جدول ۲: برآورد تعداد پانل مورد نیاز به منظور تأمین برق مصرفی یک خانوار

برآورد انرژی تولیدی روزانه توسط یک پانل	
ظرفیت پانل (W_p یا وات پیک)	۱/۴ kW
برآورد حداقل تعداد پانل‌های مورد نیاز برای واحد مسکونی	
کل انرژی مورد نیاز	۴۰۰K Wh/M[۱]
انرژی تولید شده توسط یک پانل	۲۴۰K Wh/M[۲]
تعداد پانل	۷

منبع تحقیق: نظرات فنی کارشناسان برق

در جدول ۲، مشخص شده است که به منظور تأمین برق یک خانوار با مصرف ماهانه ۴۰۰ کیلو وات ساعت، ۷ عدد پانل فتوولتائیک ۱۴۰۰ وات (۱/۴کیلووات) لازم است.

- برنامه تولید: به طور کلی محصول تولیدی این پروژه، برق می‌باشد که واحد مسکونی به اندازه ظرفیت تولیدی سیستم خورشیدی (۲۴۰ کیلووات ساعت در ماه) برق تولید می‌کند و به شبکه برق سراسری منتقل می‌کند.
- طول دوران ساخت: زمان پیش‌بینی شده جهت عملیات مربوط به فاز ساخت پروژه (شامل خرید و نصب تجهیزات) یک ماه در نظر گرفته می‌شود.

---

۱. کیلووات ساعت بر ماه

۲. انرژی تولید شده از حاصلضرب توان در زمان به دست می‌آید. $E= P\times T$ با فرض اینکه به طور متوسط پانل‌ها در طول روز ۶ ساعت برق تولید کنند انرژی تولید شده در مدت زمان یک ماه عبارتست از : $E= 1.4 \times 6\times 30= 240$

- طول دوران بهره‌برداری: عمر مفید سیستم خورشیدی معادل ۲۰ سال است.
- نرخ تورم: نرخ تورم در نظر گرفته شده در ا ین بخش بر اساس متوسط میزان نرخ تورم در پنج سال اخیر، بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ به‌طور متوسط برابر ۲۰ درصد بوده، که در این مطالعه نیز همین میزان در نظر گرفته شده است (بانک اطلاعات سری‌های زمانی اقتصادی، ۱۳۹۰، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران).
- نرخ تنزیل: طبق آمار بانک مرکزی بالاترین نرخ سود سپرده‌گذاری (سپرده‌های دیداری) طی ۱۰ سال گذشته ۱۷ درصد می‌باشد که در این تحقیق به‌عنوان نرخ تنزیل معیار در نظر گرفته شده است (اداره بررسی‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ۱۳۸۸).
- اطلاعات درباره قیمت‌ها: در این بررسی ارزش‌گذاری اقلام هزینه و فایده بر پایه قیمت‌های بازار صورت گرفته و فرض شده که این قیمت‌ها مبین ارزش اجتماعی هزینه‌ها و فایده‌های پروژه هستند و اقلام فایده نیز شامل قیمت فروش برق تجدیدپذیر می‌باشد که تشکیل‌دهنده‌ی درآمد طرح مذکور است. بر طبق مصوبه مجلس هر کیلووات برق تجدیدپذیر معادل ۱۳۰۰ ریال از مصرف‌کننده خریداری می‌شود (وزارت نیرو،۱۳۹۰).

٤-۲ شناسایی هزینه‌ها و منافع سیستم خانگی

- هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری

گام اول در اجرای پروژه ، خرید سیستم خورشیدی است که در واقع هزینه ثابت سرمایه‌گذاری می‌باشد. طبق تحقیقات به عمل آمده، هزینه (قیمت تمام شده) پانل‌های فتوولتائیک ۱۴۰۰ واتی وارد شده در سال ۱۳۹۱ معادل سی و پنج میلیون ریال می‌باشد. لکن علاوه بر پانل، تجهیزات دیگری نیز در سیستم فتوولتائیک به‌کار می‌رود. طبق نظر کارشناسان، قیمت پانل‌های خورشیدی بین ۵۰٪ تا ۷۰٪ کل سیستم فتوولتائیک می‌باشد (فتوحی، ۱۳۷۹). بنابراین کل هزینه یک سیستم فتوولتائیک خانگی، در صورتی‌که قیمت پانل‌ها ۳۵ میلیون ریال باشد، ۸۰ میلیون ریال برآورد می‌گردد[۱].

بنابراین قیمت یک سیستم کامل PV که بتواند برق موردنیاز یک خانوار شهری با ۴۰۰ کیلو وات ساعت مصرف روزانه را تأمین نماید، درحدود ۸۰ میلیون ریال برآورد می‌گردد.

هزینه دیگر مربوط به هزینه‌ی تعمیر و نگهداری سیستم خورشیدی می‌باشد که طبق نظر کارشناسان فنی شرکت برق خراسان، این هزینه بسیار ناچیز بوده به گونه‌ای که می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. ولی این هزینه

---

۱. هزینه وسایل جانبی سیستم PV و حتی خود پانل‌های PV ارتباط زیادی با مقیاس تولید آن‌ها دارد. به‌طوری که با افزایش تولید آن‌ها، هزینه تولید به نحو چشمگیری کاهش خواهد یافت. مثلاً هزینه‌های پایه (استراکچر)، نصب و مانند آنها در صورتی که برای تعداد زیادی سیستم PV در نظر گرفته شود، بسیار کمتر از استفاده‌های موردی می‌باشد.

جزء هزینه‌های پیش‌بینی نشده برای هر سال معادل ۵۰۰ هزار ریال در نظر گرفته شده است. بنابراین کل هزینه تعمیر و نگهداری در طول عمر مفید سیستم خورشیدی که معادل ۲۰ سال است برابر با یک میلیون ریال می‌باشد (۱۰۰۰۰۰۰ ریال= ۲۰×۵۰۰۰۰۰).

جدول ۳: فهرست هزینه‌های سیستم برق خورشیدی

هزینه‌ها/درآمدها	موارد	قیمت (ریال)
هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری	پانل(مدول)+ اینورتر+ هزینه‌های نصب سیستم	۸۰۰۰۰۰۰۰
هزینه پیش‌بینی نشده	تعمیر و نگهداری	۱۰۰۰۰۰۰۰
مجموع هزینه‌ها در طول عمر مفید سیستم	مجموع هزینه‌ها	۹۰۰۰۰۰۰۰
درآمد فروش برق خورشیدی	۲۴۰ کیلووات ساعت× ۱۳۰۰ ریال	درآمد کل هر سال (ریال) ۳۷۴۴۰۰۰

منبع: محاسبات تحقیق

- شناسایی فایده‌ها

مهم‌ترین فایده‌ای که یک سیستم خورشیدی برای مصرف‌کننده دارد همان کاهش هزینه از قبال پرداخت هزینه برق مصرفی تولید شده توسط نیروگاه فسیلی است. بر طبق مصوبه مجلس هر کیلووات برق تجدیدپذیر معادل ۱۳۰۰ ریال از مصرف‌کننده خریداری می‌شود (وزارت نیرو،۱۳۸۹). از این رو واحد مسکونی موردنظر با استفاده از پانل خورشیدی با ظرفیت ۱/۴ کیلوواتی که تولیدی برابر با۲۴۰ کیلووات ساعت در ماه دارد از درآمدی معادل ۳۱۲۰۰۰ ریال در ماه (۱۳۰۰×۲۴۰) منتفع می‌شود.

۳-٤ روش ارزیابی عملکرد خورشیدی

عوامل بسیار زیادی، افراد را به توجه و سرانجام پذیرش خورشید به‌عنوان یک منبع انرژی جایگزین سوق می‌دهد. با این حال یکی از جذاب‌ترین ویژگی‌های انرژی خورشیدی از نقطه‌نظر اقتصادی، توانایی آن در کاهش هزینه‌های کلی تولید انرژی می‌باشد. به همین صورت تحقیق و بررسی بر روی طراحی سیستم‌های انرژی خورشیدی بهینه که هزینه کلی انرژی را به حداقل می‌رساند متمرکز شده است.

اکثر مطالب در زمینه روش‌شناسی اقتصاد خورشیدی به جای این‌که ابداعی باشند، تطبیقی هستند. به عبارت دیگر پایه‌های دانش موجود در علم اقتصاد، امور مالی، مدیریت بازرگانی و علم اقتصاد مهندسی اساس روش‌های موجود در چهار محور عمده اقتصاد انرژی خورشیدی را فراهم می‌کند. در بسیاری از موارد، مهم‌ترین چالش، انتخاب روش مناسب و کاربرد آن بوده است. اگرچه مطالب راجع به روش‌شناسی اقتصاد

خورشیدی به‌جای ابداعی بودن تطبیقی می‌باشند اما بسیار قابل اهمیت می‌باشند. در این تحقیق با تأکید بر علم اقتصاد مهندسی به بررسی روش ارزیابی اقتصادی پرداخته می‌شود.

اقتصاد مهندسی در قالب تحلیل اقتصادی پروژه، با به‌کارگیری تکنیک‌های ریاضی و معیارهای کمی ارزیابی، به بررسی پروژه‌های مختلف سرمایه‌گذاری و انتخاب اقتصادی‌ترین آن‌ها و یا تصمیم‌گیری جهت رد یا پذیرش اجرای یک پروژه خاص می‌پردازد (اسکونژاد، ۱۳۷۵). در این تحقیق از نرم‌افزار کامفار استفاده شده است. در ادامه به معیارهای اقتصاد مهندسی پرداخته می‌شودکه خروجی نرم‌افزار نیز می‌باشند.

- معیار ارزش خالص فعلی[1] (NPV)

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 بهره قابل جذب" یا "هزینه سرمایه" می‌گویند.

ارزش فعلی مجموعه‌ای از جریانات وجوه نقد آینده را می‌توان از طریق فرمول ذیل محاسبه نمود:

$$NPV = NCF_o + \frac{NCF_1}{(1+i)} + \frac{NCF_2}{(1+i)}_2 + \ldots + \frac{NCF_t}{(1+i)}_t$$

NPV = خالص ارزش فعلی

NCF = خالص وجوه نقد

i = نرخ تنزیل

t = دوره‌ی مالی

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.

- ❖ انتخاب پروژه => IF: NPV > 0
- ❖ بی‌تفاوت نسبت به انتخاب یا عدم انتخاب پروژه => IF: NPV = 0
- ❖ عدم‌انتخاب پروژه => IF: NPV < 0

اگر محاسبات نشان دهد که با اعمال نرخ تنزیل مشخص به عنوان حداقل نرخ جذب‌کننده سرمایه‌گذار، شاخص خالص ارزش فعلی برای یک پروژه با اعمال تورم، رقمی مثبت باشد، نشان‌دهنده‌ی توجیه‌پذیر بودن

1. Net Present Value

پروژه است و همچنین اختلاف فاحش بین جریانات نقدی خروجی و ورودی پروژه و بزرگ‌تر بودن این شاخص، جذّابیت پروژه را برای سرمایه‌گذار بیشتر می‌کند.

- 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)

IRR[1] معیار مشهوری در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها است. این معیار شرط پذیرش پروژه را بزرگ‌تر بودن IRR از هزینه سرمایه[2] می‌داند. IRR نرخ تنزیلی است که بر اساس آن، ارزش خالص فعلی پروژه (NPV) برابر با صفر می‌شود. اگر NPV پروژه‌ای مثبت باشد، IRR آن پروژه از نرخ بازدهی که برای سرمایه‌گذاری به کار برده شده، بیشتر است. در محاسبه NPV فرض بر این است که نرخ تنزیل 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.

- معیار دوره‌ی بازگشت سرمایه [3](PP)

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

مبانی تحلیل هزینه- فایده

مطالعه اقتصادی در اینجا به معنای مطالعه و بررسی محاسن (فواید) و معایب (هزینه‌ها) طرح است و طرح[4] روش رسیدن به هدف است: چیزی که لازم است دنبال کنیم تا به هدف برسیم.

1. Internal Rate of Return
2. Cost of Capital
3. Payback Period.
4. Project

عده کمی از اقتصاددانان می‌گویند که برای توسعه اقتصادی، رشد اقتصادی لازم است و این رشد هم از طریق افزایش تولید خدمات و محصولات حاصل می‌شود. در پاره‌ای مواقع با پرداختن بیش از حد به ارزیابی طرح‌ها، پاره‌ای فرصت‌ها ازدست می‌رود. بعضی اوقات بیش از حد روی پروژه‌های اجتماعی ارزیابی صورت می‌گیرد که این خود عملی پر هزینه و وقت گیر است وممکن است موجبات هدر دادن منابع کمیاب تولید را باعث شود. بحث دیگری که مهم بودن و اجرا یا عدم‌اجرای پروژه‌ها را بررسی می‌کند، این واقعیت است که آیا توجیه‌پذیری اقتصادی یک طراح دال بر اجرای آن پروژه است یا خیر؟ به‌عبارت دیگر اگر طرحی از نظر اقتصادی سودمند باشد آیا این طرح باید اجرا شود؟ جواب خیر است. هر پروژه و طرح با توجه به ملاحظات مختلفی باید انتخاب شود این ملاحظات عبارتند از:

۱- توجیه‌پذیری اقتصادی [۱]

۲- توجیه‌پذیری مالی [۲]

عده‌ای می‌گویند توجیه‌پذیری مالی در همان توجیه‌پذیری اقتصادی نهفته است پس علت بررسی مستقل آن چیست؟ علت آن اهمیت تأمین مالی برای پروژه‌ها است. زیرا ممکن است طرحی از نظر اقتصادی بسیار قابل صرفه باشد اما ما منابع مالی برای تأمین اعتبار جهت انجام طرح را نداشته باشیم.

۳- توجیه‌پذیری اجتماعی و فرهنگی [۳]

۴- توجیه‌پذیری سیاسی [۴]

۵- توجیه‌پذیری فنی [۵]

۶- ملاحظات زیست‌محیطی [۶]

تحلیل هزینه- فایده روش ارزیابی طرح‌ها هم از نظر آثار آن‌ها در طول زمان و هم از لحاظ دامنه عمل آن‌ها در صنایع و بخش‌های مختلف اقتصاد می‌باشد. این تحلیل در اقتصاد رفاه و اقتصاد منابع استفاده مطلوبی دارد. علل زیر را در کاربرد این روش می‌توان مؤثر دانست:

۱- اجرای طرح‌های عظیم سرمایه‌گذاری که منابع زیادی را به خود اختصاص داده و نتایج آن‌ها در بلندمدت مشخص می‌شود و اصولا بر روی سایر تولیدات و قیمت آن‌ها تأثیر می‌گذارد.

۲- دخالت‌های روزافزون بخش عمومی در اقتصاد و در نتیجه اختصاص روزافزون منابع جامعه در طرح‌های سرمایه‌گذاری بخش دولتی و همچنین مسؤولیت دولت‌ها در چگونگی کاربرد این منابع.

---

1. Economic justification
2. Financial Justification
3. Cultural or Social Justification
4. Political Justification
5. Technical Justification
6. Environmental Justification

به علل مختلف از جمله تورم، کنترل نرخ ارز، نرخ دستمزد و اشتغال ناقص، قیمت‌های بازار نشان‌دهنده‌ی هزینه‌ها و فایده‌های اجتماعی نمی‌باشند و این قیمت‌ها باید تعدیل و اصلاح شوند در راستای تسهیل نمودن تجزیه و تحلیل‌های مالی واقتصادی طرح‌های سرمایه‌گذاری می‌توان از نرم‌افزارهای کامپیوتری مختلفی استفاده نمود. سازمان توسعه صنعتی سازمان ملل متحد[1] یک نرم‌افزار کامپیوتری برای تجزیه و تحلیل و تدوین گزارش امکان‌سنجی این گونه طرح‌ها طراحی نموده که کامفار III نام دارد. کامفار به معنای مدل کامپیوتری برای آنالیز امکان سنجی و گزارش‌گیری می‌باشد. این برنامه شرایط لازم جهت آنالیز جریان نقدینگی، شناسائی فرصت‌های موجود، برنامه‌ریزی استراتژیک برای طرح‌های آینده، آنالیز تأمین منابع مالی خارجی، سرعت و دقت بیشتر در تصمیم‌گیری، ترغیب سهام‌داران در راستای اهداف معین، عدم‌نیاز به محاسبات پیچیده و جزیی و درک ساده مطالب، را فراهم می‌آورد. این برنامه محدود به آنالیز و پیش‌بینی مالی برای ارزیابی اقتصادی نمی‌شود بلکه استفاده از منابع داخلی را با منابع خارجی مورد مقایسه قرار داده و برای منابع هزینه‌های دوران ساخت و تولید برنامه مجزائی ارائه می‌دهد و نقطه سر به سر برای محصولات از نقطه نظر تعداد تولید و هزینه تولید در مقایسه با زمان، هزینه، سرمایه، منابع مالی و همچنین IRR و NPV، آنالیز هزینه و فایده، تعیین نقاط تصمیم‌ساز را محاسبه کرده و به‌صورت جداول و نمودارهای مختلف ارائه می‌نماید. ورودی کامفار اطلاعات حاصل از بررسی‌های بازاریابی و مطالعات امکان‌سنجی و فنی است که قبلاً توسط کارشناسان انجام گرفته است. این نرم‌افزار اجازه می‌دهد تا کاربران انعطاف‌پذیری را در حدود تجزیه و تحلیل مشخصه‌های موردنیازشان داشته باشند که از ویژگی‌های آن می‌توان به افق برنامه‌ریزی متغیر تا ۶۰ سال، ساختار زمانی متغیر (احداث و راه‌اندازی)، به کارگرفتن ۲۰ محصول مختلف، ورود داده‌ها با ۲۰ نوع پول رایج، گزینه تجزیه و تحلیل اقتصادی، گزینه هزینه‌یابی مستقیم، گزینه کاهش یا افزایش قیمت‌ها و امکان کپی اطلاعات اشاره کرد.

این نرم‌افزار با این امکانات، می‌تواند برای انواع طرح‌های سرمایه‌گذاری شامل طرح‌های کوچک، متوسط و بزرگ و همچنین برای واحدهای تولیدی پیچیده به کار برده شود.

۵. یافته‌های تحقیق

۵-۱ خروجی نرم‌افزار

نتایج حاصل از خروجی نرم افزار نشان می‌دهد که خالص ارزش فعلی به میزان ۱۴ میلیون ریال و نرخ بازده داخلی ۱۹/۱۵ درصد می‌باشد. دوره‌ی بازگشت سرمایه نیز ۹ سال می‌باشد. یعنی در پایان سال ۱۴۰۰ سرمایه اولیه پرداخت شده مجددا تحصیل خواهد شد.

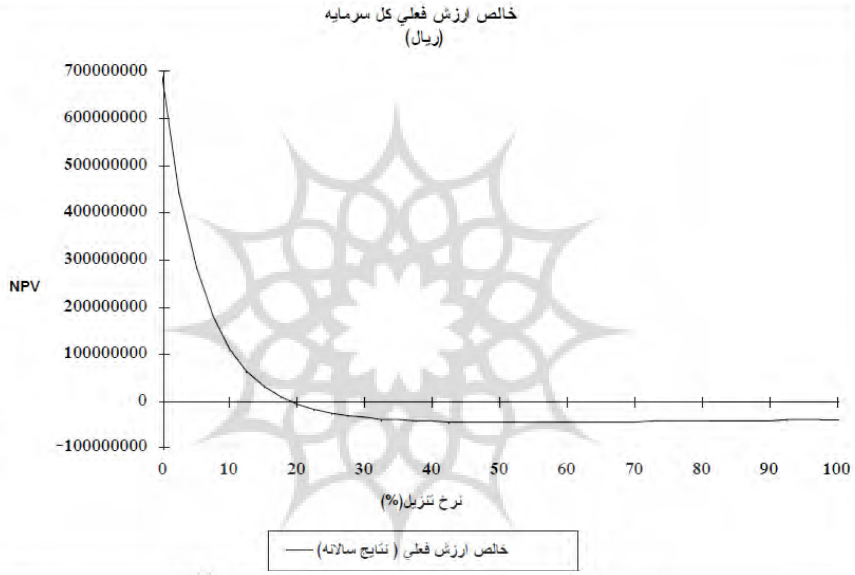
1. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)

جدول ۳: شاخص‌های تنزیلی پروژه

طرح	نرخ بازده داخلی (IRR) (درصد)		خالص ارزش فعلی (NPV) (میلیون ریال)	
	بدون تورم	با تورم	بدون تورم	با تورم
برق خورشیدی	٪۱/۴۵ -	٪۱۹/۱۵	-۲۳,۷۳۸	۱۴,۷۳۳

مأخذ: محاسبات تحقیق

نمودار ۱: NPV طرح در نرخ‌های تنزیل مختلف



منبع: محاسبات تحقیق

۲-۵ مقایسه هزینه برق خورشیدی و فسیلی در مصارف خانگی

در خصوص هزینه برق فسیلی در مصارف خانگی، منظور برقی است که از طریق شبکه سراسری برق به واحد مسکونی مورد نظر می‌رسد که هزینه آن در قبض برق مصرفی خانوار مشاهده می‌شود. شایان ذکر است که در مورد شبکه سراسری، برق گرفته شده از محل نیروگاه تا ورودی شبکه سراسری به شهر، در محاسبات وارد نشده است چرا که مطابق قبض برق، هزینه برق مصرفی خانوار با توجه به میزان برق مصرفی از شبکه سراسری برق و نه نیروگاه محاسبه می‌شود.

مطابق قبض برق مصرفی خانوار، هر کیلووات ساعت برق فسیلی معادل ۷۰۰ ریال برای مصرف‌کننده هزینه دارد (وزارت نیرو، ۱۳۹۱). بنابراین برای یک واحد مسکونی با ۴۰۰ کیلووات ساعت برق مصرفی ماهانه، هزینه برق فسیلی معادل ۲۸۰۰۰۰ ریال در هر ماه و سالانه (با فرض ثبات قیمت برق فسیلی) معادل ۳۳۶۰۰۰۰ ریال می‌باشد که با نرخ تنزیل ۱۷٪، ارزش فعلی هزینه برق فسیلی در طی بیست سال به‌میزان ۱۸,۹۰۹,۲۹۸ ریال می‌باشد. حال اگر این واحد مسکونی از سیستم برق خورشیدی استفاده کند با تولید ۲۴۰ کیلووات ساعت برق خورشیدی و فروش هر کیلووات ساعت معادل ۱۳۰۰ ریال از درآمدی به‌میزان ۳۱۲۰۰۰ ریال ماهانه و ۳۷۴۴۰۰۰ سالانه برخوردار خواهد شد. ارزش فعلی درآمد بیست سال نیز با نرخ تنزیل ۱۷٪ برابر است با: ۲۴,۸۱۴,۳۶۱ ریال. البته برای سیستم خورشیدی هزینه ثابت سرمایه‌گذاری و هزینه تعمیر و نگهداری وجود دارد که در طول عمر مفید این سیستم (۲۰ سال) برابر با ۹۰ میلیون ریال می‌باشد که طبق محاسبات انجام شده، دوره‌ی بازگشت سرمایه طی ۹ سال سرمایه اولیه برگردانده می‌شود. به این ترتیب با فرض ثبات قیمت برق فسیلی و برق خورشیدی، کل هزینه برق مصرفی خانوار با استفاده از سیستم خورشیدی به‌میزان ۷۰٪ کاهش می‌یابد[1] که البته با سناریوهای مختلفی از جمله افزایش قیمت برق تجدیدپذیر و یا تشویق مجتمع‌های چند واحده به جای تک‌واحده به استفاده از سیستم‌های برق خورشیدی، می‌توان هزینه برق مصرفی خانوار را به میزان بیشتری کاهش داد.

---

1. هزینه برق فسیلی: $400(kwh) \times$(ماه)۱۲ $\times$ (ریال) ۷۰۰ = (ریال) ۳۳۶۰۰۰۰ هرسال

$$\frac{3360000}{(1+./17)}+\frac{3360000}{(1+./17)2}+\frac{3360000}{(1+./17)3}+\dots\dots+\frac{3360000}{(1+./17)20}=\text{ریال}\ 18,909,298$$

درآمد حاصل از برق خورشیدی: $240(kwh) \times$(ماه)۱۲ $\times$ (ریال) ۱۳۰۰ = (ریال)۳۷۴۴۰۰۰ هرسال

$$\frac{3744000}{(1+./17)}+\frac{3744000}{(1+./17)2}+\frac{3744000}{(1+./17)3}+\dots\dots+\frac{3744000}{(1+./17)20}=\text{ریال}\ 24,814,361$$

کل هزینه به کارگیری سیستم خورشیدی: پانل + اینورتر+ نصب و جوشکاری و... =۹۰۰۰۰۰۰۰ (ریال)

(ریال)65,185,639 -90,000,000=– (ریال) 24,814,361(ریال)

$$\frac{65,185,639-18,909,298}{65,185,639}=\%70$$

نتیجه‌گیری

از آنجایی که ۴۰٪ سوخت مصرفی برق به بخش ساختمان اختصاص داده شده که در کنار هزینه‌های بالای آن برای مصرف‌کننده با خطر رو به اتمام منابع و آلودگی محیط زیست همراه است که این مهم استفاده از سرچشمه‌های انرژی را ضروری می‌سازد؛ هر کدام از انرژی‌های تجدیدپذیر دارای منافع متعدد اقتصادی برای تولید و عرضه می‌باشند. در این میان به‌دلیل حجم بالای در دسترس انرژی خورشیدی نسبت به سایر انرژی‌ها، برنامه‌ریزی استفاده از آن تا ۵۰ سال آینده شگفت‌انگیز است. به‌طوری‌که بر اساس پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۵۰ میلادی، ۳۴٪ از کل برق مصرفی دنیا از انرزی خورشیدی تأمین می‌گردد. لذا یکی از سوخت‌هایی که به زودی در دنیا رتبه اول مصرف را به خود اختصاص می‌دهد، انرژی خورشیدی است بنابراین لزوم توجه ویژه به راه‌های بهره‌گیری از این منابع طبیعی ضروری به‌نظر می‌رسد.

به‌دلیل افزایش قیمت برق فسیلی، مصرف کننده به دنبال راهکاری است تا هزینه‌های برق مصرفی کاهش خود را کاهش دهد. یکی از این راهکارها به کارگیری سیستم‌های خورشیدی جهت تأمین برق منازل مسکونی می‌باشد. آنچه که استاندارد شرکت برق تعریف می‌کند این است که متوسط مصرف برق در هر خانواده ایرانی در سال ۱۳۹۱ به‌طور تقریبی معادل ۴۰۰KWH در ماه است. در این تحقیق با فرض مصرف ۴۰۰KWH برق مصرفی یک واحد مسکونی در شهر مشهد، به برآورد قیمت سیستم خورشیدی موردنیاز این واحد مسکونی پرداختیم. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که نرخ بازده ۱۹/۱۵ درصد می‌باشد و NPV برابر با ۱۴,۷۳۳ میلیون ریال است که با توجه به مثبت بودن ارزش خالص فعلی و نرخ مناسب بازدهی اقتصادی، طرح از توجیه اقتصادی مناسبی جهت جذب سرمایه برخوردار است.

با مقایسه هزینه برق فسیلی و برق خورشیدی می‌توان نتیجه گرفت که یک واحد مسکونی با مصرف ماهانه ۴۰۰KWH برق فسیلی در ماه ضمن استفاده از سیستم برق خورشیدی می‌تواند از کاهش پرداختی هزینه برق مصرفی به میزان ۷۰٪ بهره‌مند شود. به علاوه این که شبکه سراسری برق نیز با مشکل کمبود برق در ساعات پیک مصرف مواجه نخواهد شد.

تغییرات نرخ تنزیل تأثیر معنی‌داری بر محاسبات هزینه واحد انرژی خواهد گذاشت. به طوری که افزایش این نرخ از ۱۷ درصد به ۲۰ درصد، باعث کاهش ارزش فعلی سرمایه می‌شود. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان‌دهنده‌ی پایین‌تر بودن نرخ بازده داخلی به دنبال افزایش نرخ تنزیل در واحد مسکونی می‌شود.

با مقایسه نتایج به‌دست آمده از هزینه واحد سیستم PV و هزینه برق فسیلی، می‌توان گفت سیستم PV در حال حاضر به‌طور کامل قابل رقابت با نیروگاه فسیلی نبوده ولی در کاهش هزینه پرداختی مصرف‌کننده مناسب می‌باشد. با گذشت زمان و پیشرفت فناوری و از طرف دیگر گران‌تر شدن سوخت‌های فسیلی، تنها استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی توجیه اقتصادی خواهد داشت.

حتی اگر از دید دولت به موضوع نگاه کنیم، گرچه استفاده از سیستم فتوولتائیک دارای هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بیشتری برای دولت در برخواهد داشت اما به‌طور مسلم صرفه‌جویی‌های حاصل در طول عمر استفاده از سیستم (عدم‌نیاز به اضافه تولید نیروگاه‌ها به‌منظور تأمین بار، عدم‌اتلاف انرژی در شبکه توزیع، عدم-آلودگی‌های زیست محیطی و بحث پدافند غیرعامل و ...) نیز خود مزید بر علت خواهند بود. از طرف دیگر ایران در حال حاضر برخی از قسمت‌های تجهیزات انرژی تجدیدپذیر همچون انرژی بادی مانند تیغه‌های توربین را تولید می‌کند، اما ساخت قسمت‌هایی که به بهره‌وری انرژی بالایی نیاز دارند، مانند موتورها و یا ساخت سلول‌های خورشیدی به نیروی کار ماهرتری نیاز دارد. سرمایه‌گذاری بر انرژی‌های تجدیدپذیر موجب تشویق سرمایه‌گذاری بر نیروی انسانی می شود. این امر برای ایران که کشوری جوان است بسیاز حائز اهمیت است.

منابع

- اداره بررسی‌ها و سیاست‌های اقتصادی (مرداد ۱۳۸۹)، "بانک اطلاعات سری‌های زمانی اقتصادی"، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.
- اسکونژاد، محمد مهدی (۱۳۸۳)، " اقتصاد مهندسی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- بهادری‌نژاد، مهدی و فرهمندپور، بهاره (۱۳۸۴)، "طراحی و بررسی اقتصادی سیستم برق خورشیدی برای یک ساختمان اداری در تهران"، بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق تهران، ایران.
- پیرحق‌شناس ولی، مسعود و معتضدیان، آسیه (۱۳۹۰)، "استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در ساختمان‌ها"، نخستین همایش ملی انرژی باد و خورشید، اسفند ۱۳۹۰، تهران.
- توانیر (۱۳۹۰)، "قیمت برق بر حسب بخش‌های مختلف"، www.tavanir.org.ir
- خواجه صالحانی، محسن و رسولی، رضا (۱۳۹۰)، "تأمین برق مبتنی بر انرژی خورشیدی با استفاده از صفحات فتوولتائیک و کاربردهای جدید آن"، نخستین همایش ملی انرژی باد و خورشید، اسفندماه ۱۳۹۰، تهران.
- خوش اخلاق، رحمان و شریفی، علیمراد و کوچک‌زاده، میثم (۱۳۸۴)، "ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه با نیروگاه دیزلی"، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، سال هفتم، شماره ۲۴: ۱۷۱-۱۹۲.
- سالنامه هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور (۱۳۹۰)، ساعت آفتابی شهرهای مختلف.
- سلطانی، علی؛ مصطفوی، مسعود؛ محمدنژاد سیگارودی، جعفر و منشی‌پور، سمیرا (۱۳۸۹)، "بررسی انرژی‌های تجدیدپذیر سیستم‌های فتوولتائیک"، فصلنامه مواد و انرژی، جلد دوم، ص ۳۰۶.
- شیرودی، ابوالفضل؛ جعفری، نیلوفر؛ منشی‌پور، سمیرا و رحیم‌زاده، مهنام (۱۳۸۶). " بررسی نخستین سیستم انرژی هیدروژن خورشیدی ایران با استفاده از نرم‌افزار HOMER ، ششمین همایش ملی انرژی، خرداد ماه ۱۳۸۶.

- عربی، مهسا و دهقانی، محمدرضا (۱۳۸۹)، "بررسی فنی و اقتصادی سیستم‌های چیلر جذبی خورشیدی در ایران"، فصلنامه مهندسی شیمی ایران، سال نهم، شماره چهل و ششم: ۶۰-۷۲.
- فتوحی، دارا (۱۳۷۹)،"بررسی فنی و اقتصادی برق‌رسانی به منطقه خور و بیابانک با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر"، کمیته مرکزی تحقیقاتی منطقه اصفهان، شورای تحقیقات برق، وزارت نیرو.
- مهدی‌زاده، علی‌محمد و فرزام، عبدالحمید (۱۳۸۸)، "توجیه فنی- اقتصادی احداث یک نیروگاه به روش برج خورشیدی در ایران"، بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق، ایران.
- وزارت نیرو. (۱۳۹۰)، " انرژی خورشیدی"، معاونت امور انرژی، سازمان انرژی‌های نو ایران.
- وزارت نیرو (۱۳۹۰)، " گزارش بررسی آماری انرژی جهان در سال ۲۰۱۱"، سازمان انرژی‌های نو ایران.
- Anagreh, Yaser & Bataineh, Ahmed. (2010). *" Renewable Energy Potential Assessment in Jordan"*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, NO. 15, pp.2231-2239.
- Chandrasekar. B, Tara. C. Kandpal. (2010*). " An Opinion Survey Based Assessment of Renewable Energy Technology Development in India"*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, NO. 11, pp. 688-701.
- Clark. J.A & Stachan. P.A. (2009*). " Simulation of Conventional and Renewable Building Energy Systems"*, Energy Systems Research Unit University of Strathclyde, Renewable Energy. NO. 5, pp. 1178-1189.
- Evans. Annette, Valdmir .Strezov, Tim J. Evans. (2009). *"Assessment of Sustainability Indicators for Renewable Energy Technologies"*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, NO. 13, pp. 1082- 1088.
- IEA, International Energy Agency, *"Trends in photovoltaic application*", Report (2008).
- . IEA, European Photovoltaic Industry Association (EPIA).(2011).
- Lesourd. Jean-Baptiste . (2001). *"Solar photovoltaic systems: the economics of a renewable energy resource"*, Environmental Modeling & Software, NO. 16. Pp. 147-156.
- Yu-Sheng Chang. (2011). *" The Analysis of Renewable Energy Policies for the Taiwan Penghu Island Administrative Region"*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, NO. 16, pp.958-965.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ضمائم

UNIDO COMFAR III Expert THE RESEARCH CENTER OF EAST IRAN'S ECONOMY

جدول خلاصه عملکرد پروژه

عنوان پروژه: نیروگاه خورشیدي
شرح پروژه: یک واحد مسکونی با متراژ 100 متر
متوسط برق مصرفي خانوار:400 کیلووات در ماه 400کیلووات در ماه*12=4800کیلووات
برق مصرفي در سال
متوسط تولید برق خورشیدي: 240 کیلووات در ماه

زمان ورود داده ها:

طبقه بندي پروژه: پروژه جدید

فاز ساخت: 1/1391 - 1/1391
مدت: 1 ماه
فاز بهره برداري: 2/1391 - 12/1410
مدت: 20 سال

واحدپولي حسابداري: ریال (RLS)
واحد شمارش: مطلق
واحد پولي داخلي: ریال (RLS)

هزینه هاي سرمایه گذاري

	کل فاز ساخت	کل فاز تولید	کل سرمایه گذاري
کل هزینه هاي ثابت سرمایه گذاري	80,000,000.00	0.00	80,000,000.00
کل مخارج پیش از تولید	0.00	0.00	0.00
مخارج پیش از تولید(خالص از بهره)	0.00	0.00	0.00
بهره	0.00	0.00	0.00
افزایش در سرمایه در گردش خالص	0.00	4,166.67	4,166.67
کل هزینه هاي سرمایه گذاري	80,000,000.00	4,166.67	80,004,166.67

منابع تأمین مالي

	کل فاز ساخت	کل فاز تولید	کل جریانات نقدي ورودي
کل حقوق صاحبان سهام	90,000,000.00	0.00	90,000,000.00
خارجي	0.00	0.00	0.00
داخلي	90,000,000.00	0.00	90,000,000.00
کل وامهاي بلند مدت	0.00	0.00	0.00
خارجي	0.00	0.00	0.00
داخلي	0.00	0.00	0.00
کل وامهاي کوتاه مدت	0.00	0.00	0.00
خارجي	0.00	0.00	0.00
داخلي	0.00	0.00	0.00
حسابهاي پرداختني	0.00	1,515.15	1,515.15
کل منابع تأمین مالي	90,000,000.00	1,515.15	90,001,515.15

کل هزینه های ثابت سرمایه گذاری	80,000,000.00	0.00	80,000,000.00
کل مخارج پیش از تولید	0.00	0.00	0.00
مخارج پیش از تولید(خالص از بهره)	0.00	0.00	0.00
بهره	0.00	0.00	0.00
افزایش در سرمایه در گردش خالص	0.00	4,166.67	4,166.67
کل هزینه های سرمایه گذاری	80,000,000.00	4,166.67	80,004,166.67

منابع تأمین مالی

	کل فاز ساخت	کل فاز تولید	کل جریانات نقدی ورودی
کل حقوق صاحبان سهام	90,000,000.00	0.00	90,000,000.00
خارجی	0.00	0.00	0.00
داخلی	90,000,000.00	0.00	90,000,000.00
کل وامهای بلند مدت	0.00	0.00	0.00
خارجی	0.00	0.00	0.00
داخلی	0.00	0.00	0.00
کل وامهای کوتاه مدت	0.00	0.00	0.00
خارجی	0.00	0.00	0.00
داخلی	0.00	0.00	0.00
حسابهای پرداختنی	0.00	1,515.15	1,515.15
کل منابع تأمین مالی	90,000,000.00	1,515.15	90,001,515.15

درآمد وهزینه های عملیاتی

	سال اول 2/1391-12/1391	سال مرجع 2/1391-12/1391	سال آخر 1410
درآمد فروش	3,744,000.00	3,744,000.00	119,612,160.00
هزینه های تولید(کارخانه)	500,000.00	500,000.00	500,000.00
هزینه های سربار اداری	0.00	0.00	0.00
هزینه های عملیاتی	500,000.00	500,000.00	500,000.00
استهلاک	0.00	0.00	0.00
هزینه های تامین مالی	0.00	0.00	0.00
کل هزینه های تولید	500,000.00	500,000.00	500,000.00
هزینه های بازاریابی	0.00	0.00	0.00
بهای تمام شده محصولات	500,000.00	500,000.00	500,000.00
بهره سپرده های کوتاه مدت	0.00	0.00	0.00
سود ناخالص عملیاتی	3,244,000.00	3,244,000.00	119,112,160.00
درآمد غیر مترقبه	0.00	0.00	0.00
زیان غیر مترقبه	0.00	0.00	0.00
ذخایر استهلاک	0.00	0.00	0.00
سودناخالص	3,244,000.00	3,244,000.00	119,112,160.00
ذخایر سرمایه گذاری	0.00	0.00	0.00
سود مشمول مالیات	3,244,000.00	3,244,000.00	119,112,160.00
مالیات بر درآمد(شرکت)	0.00	0.00	0.00
سود خالص	3,244,000.00	3,244,000.00	119,112,160.00

نسبتها

خالص ارزش فعلی کل سرمایه	در 17.00%	14,733,084.23
نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری (IRR)	19.15%	
IRR تعدیل شده سرمایه گذاری	19.15%	
خالص ارزش فعلی کل حقوق صاحبان سهام	در 0.00%	688,958,720.00
نرخ بازده داخلی حقوق صاحبان سرمایه (IRRE)	19.15%	
IRR تعدیل شده حقوق صاحبان سرمایه	19.15%	
خالص ارزش فعلی محاسبه میشود برای	1/1391	

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی