

## ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی (مطالعه موردی مجتمع سه واحدی در شهرستان مشهد)

محمد حسین مهدوی عادل<sup>۱</sup>

مصطفی سلیمی فر<sup>۲</sup>

اعظم قزلباش<sup>۳</sup>

### چکیده

انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران است؛ چرا که اکثر مناطق ایران از توانایی قابل توجهی در استفاده از انرژی خورشیدی برخوردار است. به عنوان مثال شهر مشهد با توجه به موقعیت جغرافیایی و داشتن ۳۱۳ روز آفتابی از ۳۶۵ روز در سال، قابلیت استفاده از انرژی خورشیدی را در بخش‌های مختلف صنعتی و خانگی داراست؛ هدف از نگارش این مقاله امکان‌سنجی استفاده از یک سیستم فتوولتائیک به منظور تأمین بار الکتریکی مورد نیاز یک مجتمع مسکونی در شهر مشهد به عنوان موردی از مصارف خانگی با استفاده از آمار و اطلاعات واقعی یک واحد مسکونی تجهیز شده به سیستم فتوولتائیک با نام خانه سبز در مشهد و در سال ۱۳۹۱ می‌باشد. 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 استفاده از این سیستم‌ها در مجتمع‌های مسکونی سه واحدی، توجیه‌پذیر بوده به طوری که با میزان سرمایه‌گذاری اولیه ۲۰۰ میلیون ریال، نرخ بازدهی داخلی در یک مجتمع مسکونی با متوسط مصرف ۴۰۰ KWH در ماه برای هر واحد، برابر با ۲۲/۸۳ درصد است و دوره بازگشت سرمایه ۱۳ سال و نیز خالص ارزش فعلی به میزان ۹۶،۳۸۰ میلیون ریال می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** انرژی خورشیدی، سیستم فتوولتائیک، ارزیابی مالی اقتصادی، نرم افزار کامفار.

**Keywords:** Solar Energy, Photovoltaic (PV) System, Economic-Financial Assessment, COMFAR Software.

**JEL Classification:** L94, Q42.

<sup>۱</sup>. استاد اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۲</sup>. استاد اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۳</sup>. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد، این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد با عنوان "ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی" استخراج شده است (نویسنده مسئول)

## ۱- مقدمه

صنعت برق به خاطر نقش زیربنایی و وابستگی زیادی که به کلیه عوامل مؤثر در رشد اقتصادی و رفاه اجتماعی دارد، صنعتی پویاست و وابستگی ادامه حیات بشری به این نوع انرژی ارزشمند و نقش آن در راه‌اندازی چرخ‌های صنعت و سیستم‌های مورد نیاز جامعه، روشن و مبرهن است.

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 به صورت گسترده در کشورهای اروپای غربی، امریکای لاتین و صحرای قاره آفریقا و آسیا (خاورمیانه) و دیگر صحرای جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. 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 آن‌که از نقطه نظر میزان انرژی تابش خورشیدی در شمار بهترین مناطق محسوب می‌شود. در این میان شهر مشهد که به عنوان 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 ساعات‌های آفتابی در سال حدود ۱۷۴۲ ساعت است (سالنامه هواشناسی کشور، ۱۳۹۰).

مهم‌ترین موضوعی که امروزه مانع اصلی استفاده از انرژی خورشیدی شده است، توجه‌پذیری اقتصادی آن در مقایسه با دیگر گزینه‌های موجود در برق‌رسانی می‌باشد. از طرفی، مصرف قابل توجه انرژی و همچنین تعداد زیاد مشترکین بخش خانگی باعث شده که ۲۳٪ مصرف انرژی الکتریکی را به خود اختصاص داده، به گونه‌ای که همراه با بخش صنعت بالاترین میزان تقاضای برق را در کشور دارد (توانیر، ۱۳۹۰). در جدول ۱، سهم هر بخش از انرژی الکتریکی در ایران بیان شده است.

جدول ۱: سهم بخش‌های مختلف از انرژی الکتریکی در ایران

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

مأخذ: توانیر، ۱۳۹۰

با توجه به آمار سال ۱۳۸۹ متوسط تراکم واحدهای ساختمانی، سه طبقه و بالاتر بوده است (مرکز آمار ایران، آمار واحدهای مسکونی، ۱۳۸۹). لذا در این تحقیق با استفاده از معیارهای اقتصاد مهندسی و ارزیابی طرح‌ها، هزینه نهایی هر واحد انرژی الکتریکی تولید شده توسط سیستم برق خورشیدی در مجتمع‌های سه واحدی به عنوان نمونه‌ای از واحدهای خانگی در مقیاس کوچک، بدست آمده و با هزینه برق تولید شده، بررسی و مقایسه می‌شود تا در نهایت میزان اقتصادی بودن سیستم خورشیدی مشخص گردد. بنابراین، این پژوهش درصدد بررسی هزینه - منفعت نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس کوچک می‌باشد.

ساختار مقاله به این نحو است که در ادامه مقاله و در بخش دوم؛ مبانی نظری، بخش سوم؛ مطالعات تجربی، بخش چهارم؛ روش ارزیابی عملکرد خورشیدی، بخش پنجم؛ معرفی پروژه، بخش ششم؛ یافته‌های تحقیق و بخش هفتم؛ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه می‌شود.

## ۲- مبانی نظری

افزایش قابل توجه قیمت فرآورده‌های نفتی، بعد از شوک نفتی سال ۱۹۷۳، توجه صاحب‌نظران و کارشناسان اقتصاد انرژی را به سمت یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر یعنی انرژی خورشیدی جلب نمود. با آغاز مطالعه انرژی خورشیدی از منظر اقتصاد انرژی، مبحثی به نام اقتصاد انرژی خورشیدی به وجود آمد که می‌توان زمان پیدایش آن را اوایل دهه ۷۰ میلادی و مصادف با شوک نفتی سال ۱۹۷۳ دانست. عوامل بسیار زیادی، افراد را به توجه و سرانجام پذیرش خورشید به عنوان یک 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. به همین صورت تحقیق و بررسی بر روی طراحی سیستم‌های انرژی خورشیدی بهینه که هزینه کلی انرژی را به حداقل می‌رساند متمرکز شده است.

یکی از تجهیزات تولید برق از انرژی خورشیدی، سیستم فتولتائیک است. اهمیت استفاده از تکنولوژی فتولتائیک این است که مستقیماً و بدون بهره‌گیری از مکانیسم‌های متحرک و شیمیایی، نورخورشید را به برق تبدیل می‌کند. پاره‌ای از ویژگی‌های سیستم‌های فتولتائیک که علت اصلی گسترش کاربرد آن‌ها می‌باشد عبارتند از:

الف) داشتن دامنه بسیار گسترده‌ای از توان تولیدی که موجب ساخت و به کارگیری انواع سیستم‌ها از منابع تغذیه ساعت‌های مچی چند میلی‌واتی تا نیروگاه‌های چند مگاواتی را فراهم می‌کند.  
ب) عدم نیاز به سوخت‌های فسیلی و عدم تولید هیچ‌گونه آلاینده زیست محیطی در فرآیند تبدیل انرژی.

پ) سهولت بهره‌برداری و نگهداری آسان سیستم‌های فتولتایی بدون نیاز به تجهیزات پیچیده، نیروی انسانی متخصص و هزینه‌های اضافی.

ج) طول عمر مفید بالا (بیش از ۲۰ سال) (لسورد<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱).

پژوهش‌ها و مطالعات انجام شده در زمینه اقتصاد انرژی خورشیدی حداقل در چهار زمینه قابل دسته‌بندی می‌باشند. ارزیابی‌های اقتصادی و مالی، بازاریابی و بررسی اندازه احتمالی بازار، بررسی پارامترهای اقتصادی (مانند اشتغال، محیط زیست و ذخیره انرژی) و تدوین برنامه‌ها و سیاست‌های دولت در زمینه انرژی (شامل تشویق‌ها و جریمه‌ها، قوانین و مقررات و تخصیص اعتبارات پژوهشی و بودجه‌های تحقیقاتی)، چهار محور اصلی موضوعاتی هستند که در زمینه اقتصاد انرژی خورشیدی قابل بحث و بررسی می‌باشند. در محور نخست یعنی ارزیابی‌های اقتصادی و مالی پروژه‌های خورشیدی، سؤالات زیر می‌تواند جهت فعالیت‌های پژوهشی را مشخص نماید: آیا سیستم‌های انرژی خورشیدی استعداد مقرون به صرفه بودن را دارند؟ قیمت تولید این سیستم‌ها چگونه تعیین می‌شود و هزینه استفاده از این سیستم‌ها به چه میزان است؟ آیا مصرف‌کننده‌های شخصی متقاضی آن‌ها می‌باشند و اگر چنین است تحت چه شرایطی؟ چه طرح و اندازه‌هایی بیشتر مقرون به صرفه می‌باشند؟ و آیا این سیستم‌های توسط دولت تأمین مالی و یا حمایت می‌شوند؟

در دسته دوم یعنی مسایل بازاریابی، سؤالات کلیدی که می‌توان مطرح نمود عبارت است از: عوامل مهم و مؤثر در تقاضای سیستم‌های خورشیدی و موانع بازاری در بالا بودن میزان پذیرش

<sup>۱</sup> - Lesourd (2001)

آن‌ها چه هستند؟ و چگونه می‌توان اندازه بازارهای متفاوت را با توجه به منطقه جغرافیایی، نوع سرمایه‌گذاری، نوع ساختمان سازی تخمین زد؟

در دسته سوم، تأثیر بازار انرژی خورشیدی بر پارامترهای اقتصادی منطقه‌ای و ملی مانند اشتغال، محیط زیست و رفاه اجتماعی و هزینه‌های مربوط به آن‌ها بررسی می‌گردد.

در محور چهارم نیز موضوعاتی در زمینه تدوین برنامه‌ها و سیاست‌های دولت به منظور ایجاد سیاست عمومی مناسب در رابطه با انرژی خورشیدی و ایجاد زیرساخت‌های اقتصادی و فرهنگی در پذیرش و توسعه این فناوری، قابل بررسی می‌باشند.

در این تحقیق، سعی شده است تا با استفاده از روش‌های ارزیابی اقتصادی و اقتصاد مهندسی، هزینه‌های واقعی استفاده از فناوری‌های فتولتائیک محاسبه شده و شرایط مقرون به صرفه بودن استفاده از سیستم‌های فتولتائیک در مجتمع‌های سه واحدی به عنوان نمونه‌ای از مصارف خانگی بررسی گردد. برای این منظور از معیارهای NPV، IRR و PP استفاده شده است.

**مبانی تحلیل هزینه - فایده:** مطالعه اقتصادی در اینجا به معنای مطالعه و بررسی محاسن (فواید) و معایب (هزینه‌ها) طرح است و طرح<sup>۱</sup> روش رسیدن به هدف است: چیزی که لازم است دنبال شود تا به هدف برسیم.

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 از دست می‌رود. بعضی اوقات بیش از حد روی پروژه‌های اجتماعی ارزیابی صورت می‌گیرد که این خود عملی پرهزینه و وقت‌گیر است و ممکن است موجب هدر دادن منابع کمیاب تولید شود. بحث دیگری که مهم بودن و اجرا یا عدم اجرای پروژه‌ها را بررسی می‌کند، این واقعیت است که آیا توجیه‌پذیری اقتصادی یک طرح دال بر اجرای آن پروژه است یا خیر؟ به عبارت دیگر اگر طرحی از نظر اقتصادی سودمند باشد آیا این طرح باید اجرا شود؟ جواب منفی است. هر پروژه و طرح با توجه به ملاحظات مختلفی باید انتخاب شود این ملاحظات عبارتند از:

۱- توجیه‌پذیری اقتصادی<sup>۲</sup>

۲- توجیه‌پذیری مالی<sup>۳</sup>

1. Project

2. Economic Justification

3. Financial Justification

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 منابع مالی برای تأمین اعتبار جهت انجام طرح را نداشته باشیم.

۳- توجیه‌پذیری اجتماعی و فرهنگی<sup>۱</sup>

۴- توجیه‌پذیری سیاسی<sup>۲</sup>

۵- توجیه‌پذیری فنی<sup>۳</sup>

۶- ملاحظات زیست محیطی<sup>۴</sup>

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 اصولاً بر روی سایر تولیدات و قیمت آن‌ها تأثیر می‌گذارد.

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

به علل مختلف از جمله تورم، کنترل نرخ ارز، نرخ دستمزد و اشتغال ناقص، قیمت‌های بازار نشان‌دهنده هزینه‌ها و فایده‌های اجتماعی نمی‌باشند و این قیمت‌ها باید تعدیل و اصلاح شوند در

راستای تسهیل نمودن تجزیه و تحلیل‌های مالی و اقتصادی طرح‌های سرمایه‌گذاری می‌توان از نرم‌افزارهای کامپیوتری مختلفی استفاده نمود. سازمان توسعه صنعتی سازمان ملل متحد<sup>۵</sup> 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 امکان‌سنجی و

گزارش‌گیری می‌باشد. این برنامه شرایط لازم جهت آنالیز جریان نقدینگی، شناسایی فرصت‌های موجود، برنامه‌ریزی استراتژیک برای طرح‌های آینده، آنالیز تأمین منابع مالی خارجی، سرعت و

دقت بیشتر در تصمیم‌گیری، ترغیب سهام‌داران در راستای اهداف معین، عدم نیاز به محاسبات

<sup>1</sup>. Cultural or Social Justification

<sup>2</sup>. Political Justification

<sup>3</sup>. Technical Justification

<sup>4</sup>. Environmental Justification

<sup>5</sup>. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)

پیچیده و جزئی 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 به صورت جداول و نمودارهای مختلف ارائه می‌نماید. ورودی کامفار اطلاعات حاصل از بررسی‌های بازاریابی و مطالعات امکان‌سنجی و فنی می‌باشد که قبلاً توسط کارشناسان انجام گرفته است. این نرم‌افزار اجازه می‌دهد تا کاربران انعطاف‌پذیری را در حدود تجزیه و تحلیل مشخصه‌های مورد نیازشان داشته باشند که از ویژگی‌های آن می‌توان به افق برنامه‌ریزی متغیر تا ۶۰ سال، ساختار زمانی متغیر (احداث و راه‌اندازی)، به کار گرفتن 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 نمود.

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 (رحیم زاده، ۱۳۸۲).

### ۳- مطالعات تجربی

در این بخش مطالعات انجام شده‌ی داخلی و خارجی به تفکیک ارائه می‌شود.

#### مطالعات انجام شده‌ی داخلی

پیرحق شناس و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهش خود 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 شدن به انرژی الکتریکی از محبوبیت ویژه‌ای برخوردارند. ایشان با معرفی انرژی باد، راهکارهایی جهت نحوه استفاده از توربین‌های بادی در ساختمان‌ها با توجه به جهت و میزان وزش باد ارائه کرده‌اند.

خواجه صالحانی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با عنوان "تأمین برق مبتنی بر انرژی خورشیدی با استفاده از صفحات فتوولتائیک و کاربردهای جدید آن" با اشاره به این که 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 دانسته‌اند، به طوری که استفاده از این صفحات علاوه بر مزایای ارزشمندی که در زمینه الکتریسته دارد، باعث افزایش مقاومت آسفالت سطح جاده‌ها مخصوصاً در زمان فشار ترافیک می‌شود.

مهدی‌زاده و فرزام (۱۳۸۸)، در مطالعه خود به توجیه فنی-اقتصادی احداث یک نیروگاه به روش برج خورشیدی در ایران پرداخته‌اند. 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 به میزان 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.

شیرودی و همکاران (۱۳۸۶)، در تحقیق خود به بررسی نخستین سیستم انرژی هیدروژن خورشیدی در ایران پرداخته‌اند. این پژوهش‌گران استفاده از سلول‌های فتوولتائیک را به عنوان یک منبع قابل اطمینان انرژی برای تأمین انرژی مورد نیاز دستگاه الکترولیز جهت تولید هیدروژن در سایت انرژی‌های نوظالقان خاطر نشان نموده‌اند، 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.

بهادری نژاد و فرهمندپور (۱۳۸۴)، به طراحی و بررسی اقتصادی سیستم برق خورشیدی برای یک ساختمان اداری در تهران پرداختند. ساختمان اداری به مساحت ۱۲۰ متر مربع و دارای یک زیرزمین با همین مساحت در تهران طراحی شده 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 انرژی بالا را در سال‌های آتی دور از انتظار نمی‌بینند، به گونه‌ای که هر ساختمان می‌تواند هم انرژی مصرف کند و هم انرژی تولید کند، همچنان که نسل جدیدی از ساختمان‌هایی با انرژی صفر داشته باشیم.



کوچک‌زاده (۱۳۸۴)، در مطالعه‌ای اقتصادی بودن نیروگاه خورشیدی (فتوولتائیک) را در مقایسه با نیروگاه دیزلی و اتصال به شبکه سراسری برق به منظور تأمین برق روستاهای مرکزی ایران بررسی کرده و نتیجه گرفت که سیستم‌های انرژی فتوولتایی در مقایسه با دیگر سیستم‌ها هزینه واحد کمتری دارند.

### مطالعات انجام شده‌ی خارجی

شنگ چانگ<sup>۱</sup> (۲۰۱۱)، در مقاله خود پتانسیل انرژی خورشید در مصارف خانگی را برای کشور تایوان مورد ارزیابی قرار داده است. در این مقاله مزایا و موانع استفاده از انرژی تجدیدپذیر مدنظر قرار گرفته و این نتیجه به دست آمد که بازار و مشوق‌های سرمایه‌گذاری از فاکتورهای تأثیرگذار بر نصب مولدهای برقی خورشیدی در تایوان هستند.

چاندرااسکار و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۰)، به بررسی و ارزیابی سیستم‌های فتوولتائیک (PV) برای تأمین برق مناطق روستایی هند پرداخته‌اند. آن‌ها استفاده از فنآوری‌های انرژی تجدیدپذیر از جمله سیستم‌های PV را از جنبه‌های مختلف با روش تحلیل هزینه چرخه 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.

اوانس و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۹)، به بررسی دستگاه‌های مختلف انرژی به منظور روشنایی داخلی در هند پرداخته‌اند. این پژوهش گران با روش تحلیل هزینه چرخه 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 CO<sub>2</sub> را کاهش می‌دهند.

کلارک و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۹)، در مطالعه خود به بررسی بازده انرژی ساختمان در دو نوع سیستم‌های متعارف و تجدیدپذیر پرداختند. انرژی مورد نیاز ساختمان در بخش‌های گرمایش و سرمایشی با دو سیستم انرژی اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از انرژی

1. Sheng Chang

2. Chandrasekar et.al

3. Evans et al

4. Clark et al

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.

لزورد<sup>۱</sup> (۲۰۰۱)، در مقاله‌ای با عنوان "سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی: اقتصاد منابع تجدیدپذیر" ضمن به دست 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 هزینه تولید برق با سیستم فتوولتائیک در سال ۱۹۹۷، ۲۵ سنت به ازای هر کیلووات ساعت برآورد شده است که در مقایسه با هزینه تولید برق متعارف که ۱۰ سنت به ازای هر کیلووات ساعت برق است، بالاتر می‌باشد اما پیش‌بینی شده است که به دلیل پیشرفت فناوری‌های 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.

کونر و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۰)، در پژوهشی با عنوان "یک تحلیل هزینه چرخه عمر برای مقایسه انرژی فتوولتائیک و مولد سوختی در مواقع افت بار" به ارزیابی اقتصادی و مقایسه استفاده از سیستم PV و مولدهای نفتی و دیزلی در مواقع افت بار در کشور هندوستان پرداخته‌اند. در این راستا نویسندگان مقاله با استفاده از اطلاعاتی چون نرخ تنزیل، نرخ تورم، میزان وام و کمک دولت برای تشویق استفاده از سیستم PV، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری از مولدهای سوختی و سیستم PV و همچنین هزینه سوخت، هزینه واحد انرژی سه گزینه مطرح شده یعنی سیستم PV، مولد دیزلی و مولد نفتی را محاسبه کرده‌اند.

#### ۴- روش ارزیابی عملکرد خورشیدی

اکثر مطالب در زمینه روش‌شناسی اقتصاد خورشیدی به جای این که 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 به جای ابداعی بودن تطبیقی می‌باشند اما بسیار

<sup>۱</sup>. Lesourd

<sup>۲</sup>. Koner et al

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 به کارگیری 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 (اسکونزاد، ۱۳۸۳). در این تحقیق از نرم‌افزار کامفار استفاده شده است. در ادامه به معیارهای اقتصاد مهندسی پرداخته می‌شود که خروجی نرم‌افزار نیز می‌باشند.

### ✓ معیار ارزش خالص فعلی<sup>۱</sup> (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 استاندارد است که مدیریت طرح برای سرمایه‌گذاری و به کارگیری 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:

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

NPV = خالص ارزش فعلی

NCF = خالص وجوه نقد

i = نرخ تنزیل

t = دوره 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.

❖ IF: NPV > 0 => انتخاب پروژه

❖ IF: NPV = 0 => بی تفاوت نسبت به انتخاب یا عدم انتخاب پروژه

❖ IF: NPV < 0 => عدم انتخاب پروژه

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

<sup>۱</sup>. Net Present Value

نشان‌دهنده توجه‌پذیر بودن پروژه است و همچنین اختلاف فاحش بین جریان‌های نقدی خروجی و ورودی پروژه و بزرگ‌تر بودن این شاخص، جذابیت 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<sup>۱</sup> معیار مشهوری در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها است. این معیار شرط پذیرش پروژه را بزرگ‌تر بودن IRR از هزینه سرمایه<sup>۲</sup> 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 دوره بازگشت سرمایه<sup>۳</sup> (PP)

تحلیل گر با استفاده از معیار دوره 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. به عبارت دیگر هر چه این شاخص کوچک‌تر باشد بیان‌گر سرعت بیشتر جبران جریان‌های نقدی خروجی به وسیله جریان‌های نقدی ورودی می‌باشد و لذا پروژه از جذابیت بیشتری برای سرمایه‌گذاری برخوردار است. دوره بازگشت سرمایه شامل دوره بازگشت سرمایه عادی و متحرک می‌باشد. مفهوم دوره بازگشت سرمایه عادی عبارتست از: خالص جریان‌های نقدی تجمعی طرح در مدت بهره‌برداری و منظور از دوره بازگشت سرمایه متحرک، این است که ارزش زمانی پول در محاسبه PP مد نظر قرار گرفته و محاسبات بر اساس داده‌های تنزیل شده صورت می‌گیرد.

1. Internal Rate of Return

2. Cost of Capital

3. Payback Period.

## ۵- معرفی پروژه

### ۵-۱- معرفی مجتمع مسکونی مجهز به سیستم فتولتائیک

آنچه که استاندارد شرکت برق تعریف می کند این است که متوسط مصرف برق در هر خانواده ایرانی در سال ۱۳۹۱ به طور تقریبی معادل ۴۰۰ KWH در ماه است. بنابراین برای محاسبه هزینه های یک سیستم فتولتائیک فرض می شود که مصرف کننده در هر ماه به مقدار ۴۰۰ KWH برق مصرفی دارد. این میزان مصرف با شدت مصرف انرژی در ماه های تابستان نیز هماهنگی دارد.

### ✓ ویژگی های فنی سیستم فتولتائیک خانگی

اجزاء سیستم فتولتائیک عبارتند از:

- پانل (سلول های فتولتائیک): این سلول ها مربع های نازک، دیسک ها یا فیلم هایی از جنس نیمه هادی هستند که ولتاژ و جریان کافی را در زمان قرار گرفتن در معرض تابش نور خورشید، تولید می کنند.
- اینورتر (مبدل): وسیله ایست که جریان DC (مستقیم) را به جریان AC (متناوب) برای مصرف، تبدیل می کند.

با توجه به آمار بانک مرکزی متوسط تراکم واحدهای ساختمانی سه طبقه و بالاتر بوده است (مرکز آمار ایران، آمار واحدهای مسکونی، ۱۳۸۹). بر این اساس فرض می شود به جای این که یک واحد مسکونی از سیستم خورشیدی استفاده کند یک مجتمع با سه واحد مسکونی که متوسط میزان مصرف هر واحد ۴۰۰ کیلووات ساعت است در نظر گرفته شود. بر اساس اطلاعات شرکت سازنده مدول های فتولتائیک در ایران (شرکت فیبر نوری و برق خورشیدی ایران) و مصاحبه با کارشناسان برق و با توجه به انرژی مورد نیاز خانوار و مقدار ساعات خورشیدی، دستگاه اینورتر و توان نامی پانل ها، می توان تعداد مدول های فتولتائیک (پانل) مورد نیاز خانوار را محاسبه کرد (یزدانی راد، ۱۳۷۷) بیشترین پانل های 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 است که ظرفیت پانل ۱/۴ کیلووات می شود، حال اگر یک مجتمع با سه واحد مسکونی را در نظر بگیریم به ۲۱ پانل ۲۰۰ واتی که ظرفیتی معادل ۴/۲ کیلووات دارد،

نیاز داریم<sup>۱</sup>. از طرف دیگر سیستم فتوولتائیک برای یک واحد مسکونی تولیدی معادل ۲۴۰ کیلووات برق خورشیدی دارد بنابراین برای سه واحد مسکونی با پانل‌های خورشیدی ۴/۲ کیلوواتی تولید برق خورشیدی سه برابر می‌شود که در جدول ۲، کل انرژی مورد نیاز این مجتمع سه واحدی برآورد شده است.

جدول ۲: برآورد تعداد پانل مورد نیاز به منظور تأمین برق مصرفی یک مجتمع سه واحدی

برآورد انرژی تولیدی روزانه توسط یک پانل	
ظرفیت پانل ( $W_p$ یا وات پیک)	4.2 K W
برآورد حداقل تعداد پانل‌های مورد نیاز برای واحد مسکونی	
کل انرژی مورد نیاز	$400 \times 3 = 1200 \text{ K Wh/M}^2$
انرژی تولید شده توسط پانل	$240 \times 3 = 720 \text{ K Wh/M}$
تعداد پانل	۲۱

مأخذ: محاسبات تحقیق

**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. طول دوران بهره‌برداری: عمر مفید سیستم خورشیدی معادل ۲۰ سال است (وزارت نیرو، انرژی خورشیدی، ۱۳۹۰).

**نرخ تورم:** نرخ تورم در نظر گرفته شده در این بخش بر اساس متوسط میزان نرخ تورم در پنج سال اخیر، بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ به طور متوسط برابر ۲۰ درصد بوده، که در این مطالعه نیز همین میزان در نظر گرفته شده است (اداره بررسی‌ها و سیاست‌های اقتصادی، بانک اطلاعات سری‌های زمانی اقتصادی، ۱۳۸۹).

<sup>۱</sup>. یک واحد مسکونی: ۱۴۰۰ (وات) یا ۱/۴ (کیلووات) = ۷ (عدد پانل)  $\times$  ۲۰۰ (وات)

سه واحد مسکونی: ۴۲۰۰ (وات) یا ۴/۲ (کیلووات) = ۳ (واحد)  $\times$  ۷ (عدد پانل)  $\times$  ۲۰۰ (وات)

<sup>۲</sup>. کیلووات ساعت بر ماه

**نرخ تنزیل:** طبق آمار بانک مرکزی بالاترین نرخ سود سپرده گذاری (سپرده های دیداری) طی ۱۰ سال گذشته ۱۷ درصد می باشد که در این تحقیق به عنوان نرخ تنزیل معیار در نظر گرفته شده است (اداره بررسی ها و سیاست های اقتصادی، ۱۳۸۸).

**اطلاعات درباره قیمت ها:** در این بررسی ارزش گذاری اقلام هزینه و فایده بر پایه قیمت های بازار صورت گرفته و فرض شده که این قیمت ها مبین ارزش اجتماعی هزینه ها و فایده های پروژه هستند و اقلام فایده نیز شامل قیمت فروش برق تجدیدپذیر می باشد که تشکیل دهنده درآمد طرح مذکور است. بر طبق مصوبه مجلس هر کیلووات برق تجدیدپذیر معادل ۱۳۰۰ ریال از مصرف کننده خریداری می شود، که این قیمت برای ۲۰ سال عمر مفید سیستم خورشیدی در نظر گرفته شده است.

## ۵-۲- شناسایی هزینه ها و منافع مجتمع مسکونی

### ✓ هزینه های سرمایه گذاری

گام اول در اجرای پروژه، خرید سیستم خورشیدی است که در واقع هزینه ثابت سرمایه گذاری می باشد. طبق تحقیقات به عمل آمده، هزینه (قیمت تمام شده) پانل های فتوولتائیک ۱۴۰۰ واتی وارد شده در سال ۱۳۹۱ معادل سی و پنج میلیون ریال می باشد. لکن علاوه بر پانل، تجهیزات دیگری نیز در سیستم فتوولتائیک به کار می رود. از طرفی، قیمت پانل های خورشیدی بین ۵۰٪ تا ۷۰٪ کل سیستم فتوولتائیک می باشد (فتوحی، ۱۳۷۹) بنابراین کل هزینه یک سیستم فتوولتائیک خانگی، در صورتی که قیمت پانل ها ۳۵ میلیون ریال باشد، در یک مجتمع سه واحدی برابر ۱۸۰ میلیون ریال برآورد می گردد<sup>۱</sup>.

بنابراین قیمت یک سیستم کامل PV که بتواند برق مورد نیاز یک مجتمع مسکونی سه واحدی با ۴۰۰ کیلو وات ساعت مصرف روزانه را تأمین نماید، در حدود ۱۸۰ میلیون ریال برآورد می گردد. هزینه دیگر مربوط به هزینه تعمیر و نگهداری سیستم خورشیدی است که طبق نظر کارشناسان فنی شرکت برق خراسان، این هزینه بسیار ناچیز بوده به گونه ای که می توان از آن صرف نظر نمود. ولی این هزینه جزء هزینه های پیش بینی نشده برای هر سال معادل یک میلیون ریال در نظر گرفته

<sup>۱</sup>. هزینه وسایل جانبی سیستم PV و حتی خود پانل های PV ارتباط زیادی با مقیاس تولید آن ها دارد. به طوری که با افزایش تولید آن ها، هزینه تولید به نحو چشمگیری کاهش خواهد یافت. مثلاً هزینه های پایه (استراکچر)، نصب و مانند آن ها در صورتی که برای تعداد زیادی سیستم PV در نظر گرفته شود، بسیار کمتر از استفاده های موردی می باشد.

شده است. بنابراین کل هزینه تعمیر و نگهداری در طول عمر مفید سیستم خورشیدی که معادل ۲۰ سال است برابر با بیست میلیون ریال می‌باشد که در جدول (۳) نشان داده شده است (۲۰۰۰۰۰۰۰ ریال =  $20 \times 100,000,000$ ).

جدول ۳: فهرست هزینه‌های سیستم برق خورشیدی در مجتمع مسکونی

هزینه‌ها	موارد	قیمت (ریال)
هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری	پانل (مدول) + اینورتر + هزینه‌های نصب سیستم	۱۸۰۰۰۰۰۰
هزینه پیش‌بینی نشده	تعمیر و نگهداری <sup>۱</sup>	۲۰۰۰۰۰۰۰
مجموع هزینه‌ها در طول عمر مفید سیستم	مجموع هزینه‌ها	۲۰۰۰۰۰۰۰۰

مأخذ: محاسبات تحقیق

### ۷ شناسایی فایده‌ها

مهم‌ترین فایده‌ای که یک سیستم خورشیدی برای مصرف‌کننده دارد همان کاهش هزینه از قبیل 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، گزارش سالانه انرژی‌های تجدیدپذیر، ۱۳۹۰). از این رو، واحد مسکونی مورد نظر با استفاده از پانل خورشیدی با ظرفیت ۱/۴ کیلوواتی که تولیدی برابر با ۲۴۰ کیلووات ساعت در ماه دارد از درآمدی معادل ۹۳۶۰۰۰ ریال در ماه ( $720 \times 1300$ ) منتفع می‌شود که در جدول ۴ مشخص شده است.

جدول ۴: فهرست هزینه‌های سیستم برق خورشیدی

درآمد	موارد	قیمت (ریال)	درآمد کل هر سال مجتمع (ریال)
فروش برق خورشیدی	۷۲۰ کیلووات ساعت $\times$ ۱۳۰۰ ریال	۹۳۶۰۰۰	۱۱۲۳۲۰۰۰

مأخذ: محاسبات تحقیق

### ۶- یافته‌های تحقیق

#### ۶-۱- خروجی نرم‌افزار

نتایج حاصل از خروجی نرم‌افزار نشان می‌دهد که خالص ارزش فعلی به میزان ۹۶,۳۸۰ میلیون ریال و نرخ بازده داخلی ۲۲/۸۳ درصد است. دوره بازگشت سرمایه نیز ۱۳ سال می‌باشد.

<sup>۱</sup> هزینه تعمیر و نگهداری هر سال معادل یک میلیون ریال در نظر گرفته شده که در کل عمر مفید سیستم فتولتائیک، هزینه تعمیر و نگهداری برابر است با: ۲۰ میلیون ریال = (سال)  $20 \times 1,000,000$  (ریال)



### ✓ تحلیل خالص ارزش فعلی (NPV):

فاکتور ارزش فعلی یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های اقتصاد مهندسی است. محاسبه ارزش فعلی یک فرآیند مالی، تبدیل ارزش آینده کلیه دریافت‌ها و پرداخت‌ها به ارزش فعلی در زمان حال یا مبدا پروژه می‌باشد. چنانچه ارزش فعلی خالص به ازای حداقل نرخ جذب کننده برای یک پروژه کوچک‌تر از صفر باشد، آن پروژه غیر اقتصادی خواهد بود و مشخص کننده آن است که ارزش فعلی هزینه‌ها بیش از ارزش فعلی درآمدها می‌باشد و چنانچه ارزش فعلی خالص مثبت باشد، ارزش فعلی هزینه‌ها کمتر از ارزش فعلی درآمد بوده و پروژه اقتصادی است. اگر ارزش فعلی خالص مساوی صفر باشد پروژه اقتصادی است، زیرا حداقل نرخ جذب کننده برای سرمایه‌گذار تأمین شده است. نمودار (۱) NPV طرح را به ازای نرخ‌های تنزیل مختلف نشان می‌دهد. نکات قابل توجه در نمودار عبارتند از:

۱ - با افزایش نرخ تنزیل، NPV طرح کاهش می‌یابد.

۲ - در نرخ تنزیل ۲۲٪ پروژه، ارزش فعلی هزینه‌ها و درآمد طرح برابر می‌شود.

با افزایش نرخ تنزیل از ۲۲٪ به بالا، ارزش فعلی هزینه‌ها بیشتر از ارزش فعلی درآمدها می‌باشد به عبارت دیگر پروژه غیر اقتصادی می‌شود.

### ✓ تحلیل نرخ بازده داخلی (IRR):

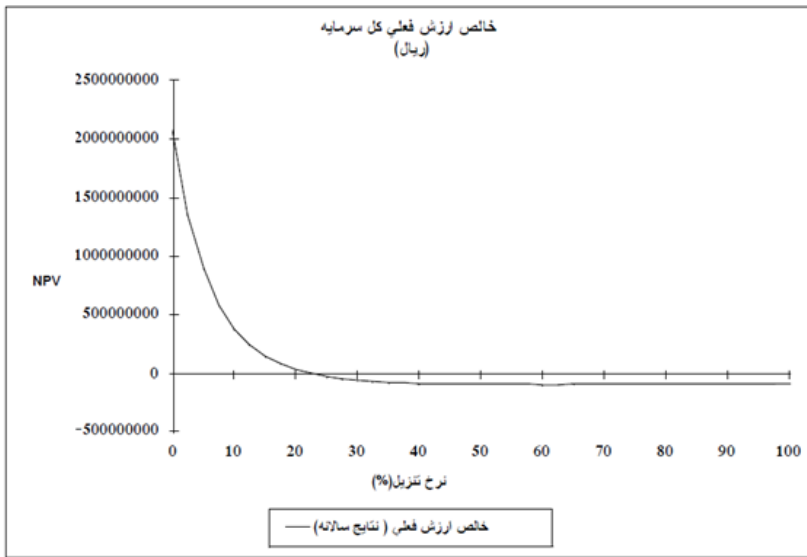
در هنگام استفاده از این روش، ضابطه قبول یا رد یک پروژه، معیاری (فرضی) است که درآمدها (درآمدهای سالیانه) و هزینه‌ها (سرمایه اولیه و هزینه‌های سالیانه) را به تعادل می‌رساند. این نرخ که به ازای آن درآمدها و هزینه‌های پروژه متعادل می‌شوند "نرخ بازده داخلی" نامیده می‌شود. شاخص‌های تنزیلی پروژه در حالت اصلی با حداقل نرخ جذب کننده ۱۷ درصد به شرح جدول زیر است.

جدول ۵: شاخص‌های تنزیلی پروژه (میلیون ریال)

خالص ارزش فعلی (NPV)		نرخ بازده داخلی (IRR)		طرح
		با تورم	بدون تورم	
با تورم	بدون تورم	با تورم	بدون تورم	برق خورشیدی در مجتمع سه واحدی
۹۶,۳۸۰	-۵۲,۴۲۰	٪۲۲/۸۳	٪۱/۵۸	

مأخذ: محاسبات تحقیق

## نمودار ۱: خالص ارزش فعلی کل سرمایه

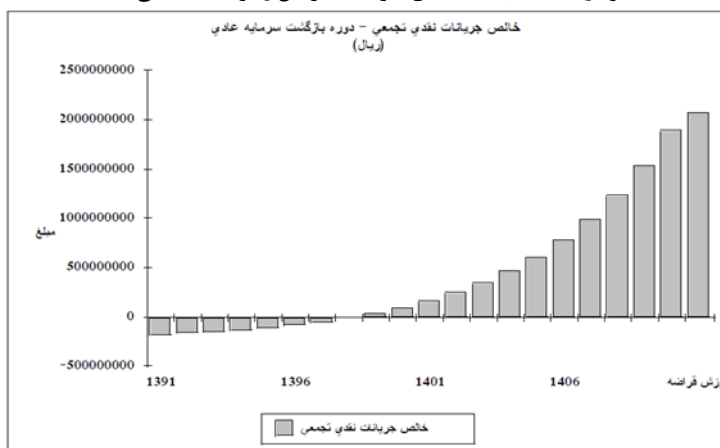


مأخذ: محاسبات تحقیق

### ✓ تحلیل نمودار دوره بازگشت سرمایه عادی (PP):

در دوران ساخت و سال اول بهره‌برداری، خالص جریان‌ات منفی بوده و از سال نهم تا پایان دوران بهره‌برداری، خالص جریان‌ات تجمعی طرح مثبت و به‌طور یکنواخت در حال افزایش می‌باشد. همچنین PP عادی سرمایه، ۸ سال می‌باشد. یعنی این که در پایان سال ۱۳۹۹ سرمایه اولیه پرداخت شده مجدداً تحصیل خواهد شد.

## نمودار ۲: محاسبه PP عادی سرمایه - گردش وجوه نقد تجمعی



ماخذ: محاسبات تحقیق

## ۲-۶- تحلیل حساسیت

با توجه به این که بررسی توجیه پذیری طرح‌ها معمولاً در حالت عدم اطمینان انجام می‌شود، تحلیل حساسیت معیار مهمی در بررسی ریسک سرمایه‌گذاری به حساب می‌آید. در واقع، در تحلیل حساسیت، با تکرار محاسبات مالی از طریق تغییر پارامترهای تأثیرگذار بر نتایج ارزیابی، نتایج به دست آمده با نتایج اولیه مورد مقایسه قرار می‌گیرد. اگر تغییرات ایجاد شده در متغیرها، طرح را از توجیه پذیری خارج نسازد، سرمایه‌گذاری با اطمینان بیشتری انجام خواهد شد.

## ✓ حساسیت NPV و IRR پروژه نسبت به تغییرات درآمدها و هزینه‌ها

به منظور لحاظ کردن عوامل در نظر گرفته نشده و یا ریسک عواملی که بازده پروژه را با خطر مواجه می‌کنند، میزان حساسیت شاخص‌های پروژه نسبت به این عوامل به طور تقریبی برآورد می‌شود. بدین منظور حساسیت شاخص‌های پروژه نسبت به تغییرات درآمدها و هزینه‌ها در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶: حساسیت NPV و IRR نسبت به تغییرات درآمدها و هزینه‌های پروژه

تغییرات سرمایه‌گذاری ثابت (درصد)	۱۰	۱۵	۲۰	-۱۰	-۱۵	-۲۰
ارزش فعلی پروژه (میلیون ریال)	۵۷,۱۶۵	۴۸,۶۵۶	۴۰,۱۴۷	۹۱,۲۰۰	۹۹,۷۰۹	۱۰۸,۲۱۸

تغییرات سرمایه‌گذاری ثابت (درصد)	۱۰	۱۵	۲۰	-۱۰	-۱۵	-۲۰
نرخ بازدهی داخلی (درصد)	۱۹/۹۱	۱۹/۳۹	۱۸/۹۱	۲۲/۳۸	۲۳/۱۳	۲۳/۹۶

-۲۰	-۱۵	-۱۰	۲۰	۱۵	۱۰	تغییرات درآمد (درصد)
۲۴,۶۹	۳۶,۶۷۲	۴۹,۱۷۶	۱۲۴,۱۹۶	۱۱۱,۶۹۳	۹۹,۱۹۰	ارزش فعلی پروژه (میلیارد ریال)

-۲۰	-۱۵	-۱۰	۲۰	۱۵	۱۰	تغییرات درآمد (درصد)
۱۸/۳۹	۱۹/۰۸	۱۹/۷۵	۲۳/۴۷	۲۲/۸۸	۲۲/۲۸	نرخ بازدهی داخلی (درصد)

مأخذ: محاسبات تحقیق

به این ترتیب ۲۰ درصد کاهش در میزان درآمدها، منجر به کاهش نرخ بازده داخلی پروژه به ۱۹/۳۹ درصد و ۲۰ درصد افزایش در هزینه‌های پروژه نیز نرخ بازده داخلی پروژه را به ۱۸/۹۱ درصد کاهش می‌دهد.

بنابراین فرضیه اصلی تحقیق مبنی بر اقتصادی بودن سیستم برقی خورشیدی در مصارف خانگی (نمونه موردی مجتمع سه واحدی) با مفروضات تحقیق تأیید می‌شود و با افزایش نرخ تنزیل پروژه غیر اقتصادی می‌شود.

### ۳-۶- مقایسه هزینه برق خورشیدی و فسیلی در مجتمع مسکونی

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 چراکه 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 مصرف کننده هزینه دارد (وزارت نیرو، گزارش سالانه انرژی‌های تجدیدپذیر، ۱۳۹۰). بنابراین برای یک مجتمع مسکونی سه واحدی با ۴۰۰ کیلووات ساعت ماهانه برق مصرفی هر واحد ( $3 \times 400 = 1200$  کیلووات)، هزینه برق فسیلی معادل ۸۴۰۰۰۰ ریال در هر ماه و سالانه (با فرض ثبات قیمت برق فسیلی) معادل ۱۰۰۸۰۰۰۰ ریال است که با نرخ تنزیل ۱۷٪، ارزش فعلی هزینه برق فسیلی در طی بیست سال به میزان ۵۵,۲۱۱,۶۸۰ ریال می‌باشد. حال اگر این مجتمع مسکونی از سیستم برق خورشیدی استفاده کند با تولید ۲۴۰ کیلووات ساعت برق خورشیدی هر واحد (۷۲۰ کیلووات ساعت در مجتمع سه واحدی) و فروش هر کیلووات ساعت معادل ۱۳۰۰ ریال از

درآمدی به میزان ۹۳۶۰۰۰ ریال ماهانه و ۱۱۲۳۲۰۰۰۰ سالانه برخوردار خواهد شد. ارزش فعلی درآمد بیست سال نیز با نرخ تنزیل ۱۷٪ برابر است با: ۶۱,۵۲۱,۵۸۷ ریال. البته برای سیستم خورشیدی هزینه ثابت سرمایه گذاری و هزینه تعمیر و نگهداری وجود دارد که در طول عمر مفید این سیستم (۲۰ سال) برابر با ۲۰۰ میلیون ریال می باشد که طبق محاسبات انجام شده، دوره بازگشت سرمایه طی ۱۳ سال سرمایه اولیه برگردانده می شود. به این ترتیب با فرض ثبات قیمت برق فسیلی و برق خورشیدی، کل هزینه برق مصرفی خانوار با استفاده از سیستم خورشیدی به میزان ۶۰٪ کاهش می یابد<sup>۱</sup> که البته با سناریوهای مختلفی از جمله افزایش قیمت برق تجدیدپذیر، می توان هزینه برق مصرفی خانوار را به میزان بیشتری کاهش داد.

همچنین در خصوص استفاده از انرژی خورشیدی، میزان کاهش گازهای گلخانه ای به شرح زیر است:

جدول ۶: میزان کاهش گازهای گلخانه ای و آلاینده های ناشی از اجرای طرح استفاده از انرژی خورشیدی

آلاینده ها (گرم)				گازهای گلخانه ای (گرم)			
SPM	SO2	NOX	CO	CH4	N2O	CO2	
۱/۹	۰/۱۵	۷۰	۲۱	۰/۵۷	۰/۵۵	۲۹۹۹۰/۴	روزانه
۵۷	۴/۵	۲۱۰۰	۶۳۰	۱۷/۱	۱۶/۵	۸۹۹۷۱۲	ماهانه
۶۹۳/۵	۵۴/۷۵	۲۵۵۵۰	۷۶۶۵	۲۰۸/۰۵	۲۰۰/۷۵	۱۰۹۴۶۴۹۶	سالانه

مأخذ: وزارت نیرو، ۱۳۹۲

## ۷- نتیجه گیری و پیشنهادات

❖ به دلیل افزایش قیمت برق فسیلی، مصرف کننده به دنبال راهکاری است تا هزینه های برق مصرفی خود را کاهش دهد. یکی از این راهکارها به کارگیری سیستم های خورشیدی جهت

۱. (ریال) ۱۰۰۸۰۰۰۰ = ۷۰۰ (ریال) هزینه برق فسیلی: هر سال  $12 \times (\text{ماه}) \times (1200 \text{ kWh})$

$$\frac{10080000}{(1+0.17)^1} + \frac{10080000}{(1+0.17)^2} + \frac{10080000}{(1+0.17)^3} + \dots + \frac{10080000}{(1+0.17)^{20}} = 55,211,680 \text{ ریال}$$

درآمد حاصل از برق خورشیدی: هر سال  $11232000 \text{ (ریال)} \times 12 \text{ (ماه)} \times 720 \text{ (kWh)}$

$$\frac{11232000}{(1+0.17)^1} + \frac{11232000}{(1+0.17)^2} + \frac{11232000}{(1+0.17)^3} + \dots + \frac{11232000}{(1+0.17)^{20}} = 61,521,587 \text{ ریال}$$

کل هزینه به کارگیری سیستم خورشیدی: پانل + اینورتر + نصب و جوشکاری و ... = ۲۰,۰۰۰,۰۰۰ (ریال)

$$61,521,587 - 20,000,000 = 41,521,587 \text{ ریال}$$

$$\frac{138,478,413 - 55,211,680}{138,478,413} = 60\%$$

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 ۴۰۰ KWH در ماه است. در این تحقیق با فرض مصرف ۴۰۰ KWH برق مصرفی یک مجتمع مسکونی سه واحدی در شهر مشهد، به برآورد قیمت سیستم خورشیدی مورد نیاز این مجتمع مسکونی پرداخته شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که نرخ بازده ۲۲/۸۲ درصد می‌باشد و NPV برابر با ۹۶,۳۸۰ 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 مجتمع مسکونی با مصرف ماهانه ۴۰۰ KWH برق فسیلی در ماه ضمن استفاده از سیستم برق خورشیدی می‌تواند از کاهش پرداختی هزینه برق مصرفی به میزان ۶۰٪ بهره‌مند شود. به علاوه این که شبکه سراسری برق نیز با مشکل کمبود برق در ساعات پیک مصرف مواجه نخواهد شد. گرچه سیستم فتوولتائیک 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 نگریسته شود، گرچه استفاده از سیستم فتوولتائیک هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بیشتری برای دولت در بر خواهد داشت اما به‌طور مسلم صرفه‌جویی‌های حاصل در طول عمر استفاده از سیستم (عدم نیاز به اضافه تولید نیروگاه‌ها به منظور تأمین بار، عدم اتلاف انرژی در شبکه توزیع، عدم آلودگی‌های زیست‌محیطی 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. سرمایه‌گذاری‌های تجدیدپذیر موجب تشویق سرمایه‌گذاری بر نیروی انسانی می‌شود. این امر برای ایران که کشوری جوان است بسیار حائز اهمیت است.

❖ تغییرات نرخ تنزیل تأثیر معنی‌داری بر محاسبات هزینه واحد انرژی خواهد گذاشت. به‌طوری که افزایش این نرخ از ۱۷ درصد به ۲۰ درصد، باعث کاهش ارزش فعلی سرمایه می‌شود. نتایج به

دست آمده از این تحقیق نشان‌دهنده پائین تر بودن نرخ بازده داخلی به دنبال افزایش نرخ تنزیل در مجتمع مسکونی است.

### پیشنهادات کلی:

- در مجموع می توان پیشنهادهای زیر را، با هدف بهبود وضعیت انرژی‌های نو، عملیاتی نمود:
- ❖ یارانه پرداختی به سوخت‌های فسیلی حذف و یا روش پرداخت آن به گونه‌ای شفاف گردد، که منافع پنهان انرژی‌های نو کاملاً آشکار شود.
- ❖ منابع لازم برای خرید برق از انرژی‌های نو به نحو مناسبی تخصیص یابد. برای این منظور می-توان گزینه‌های زیر را مطرح کرد:
- ❖ اختصاص بخشی از منابع عمومی در بودجه هر سال برای تضمین خرید برق انرژی‌های تجدیدپذیر.
- ❖ تعیین درصدی از برق مصرفی مشترکین برق (مثلاً یک درصد) و محاسبه بهای آن در صورت حساب مشترک با نرخ‌های تضمینی انرژی‌های تجدیدپذیر.
- ❖ تدوین تعرفه برق سبز و محاسبه بهای برق کلیه نهادهای دولتی با این تعرفه و تبلیغ پذیرش اختیاری آن از سوی مشترکین حامی محیط زیست با حمایت نهادهای غیر دولتی طرفدار محیط زیست.
- برای این منظور می‌توان به طور مستقیم یک حساب متمرکز برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تعریف کرد.
- ❖ اختصاص سهم معینی از وجوه اداره شده برای کاهش هزینه احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر.
- ❖ تأمین بخشی از هزینه‌های احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر از محل کمک بلاعوض دولت.

## منابع و مآخذ

## الف) منابع و مآخذ فارسی

۱. اداره بررسی‌ها و سیاست‌های اقتصادی (۱۳۸۹). بانک اطلاعات سری‌های زمانی اقتصادی، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.
۲. اسکونژاد، محمد مهدی (۱۳۸۳). *اقتصاد مهندسی*، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۳. بهادری نژاد، 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.
۴. پیرحوق‌شناس ولی، مسعود. و معتضدیان، آسیه (۱۳۹۰). "استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در ساختمان-ها". نخستین همایش ملی انرژی باد و خورشید، اسفند ۱۳۹۰، تهران.
۵. توانیر (۱۳۹۰). قیمت برق بر حسب بخش‌های مختلف، [www.tavanir.org.ir](http://www.tavanir.org.ir)
۶. 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.
۷. رحیم زاده، اشکان (۱۳۸۲). *ارزیابی اقتصادی استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی در فردوس*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد.
۸. سالنامه هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور (۱۳۹۰)، ساعت آفتابی شهرهای مختلف.
۹. سلطانی، علی. مصطفوی، مسعود. محمدنژاد سیگارودی، جعفر. و منشی‌پور، سمیرا (۱۳۸۹). "بررسی انرژی‌های تجدیدپذیر سیستم‌های فتوولتائیک". فصلنامه مواد و انرژی جلد دوم: ۳۰۶.
۱۰. شیرودی، ابوالفضل. جعفری، نیلوفر. منشی‌پور، سمیرا. و رحیم زاده، مهنام (۱۳۸۶). "بررسی نخستین سیستم انرژی هیدروژن خورشیدی ایران با استفاده از نرم افزار HOMER". ششمین همایش ملی انرژی، خرداد ماه ۱۳۸۶.
۱۱. 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.
۱۲. کوچک‌زاده، مجید (۱۳۸۴). *ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه با نیروگاه دیزلی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشگاه اصفهان.
۱۳. مهدی زاده، علی محمد. و فرزام، عبدالحمید (۱۳۸۸). "توجیه فنی-اقتصادی احداث یک نیروگاه به روش برج خورشیدی در ایران". بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق، ایران.
۱۴. مرکز آمار ایران (۱۳۸۹). سالنامه آماری ایران [www.sci.org.ir](http://www.sci.org.ir)
۱۵. وزارت نیرو (۱۳۹۰). انرژی خورشیدی، معاونت امور انرژی، سازمان انرژی‌های نو ایران.



۱۶. وزارت نیرو (۱۳۹۰). گزارش سالانه انرژی‌های تجدیدپذیر، سازمان انرژی‌های نو ایران.
۱۷. وزارت نیرو (۱۳۹۲). آمار تفصیلی صنعت برق ایران در سال ۱۳۹۲، معاونت منابع انسانی و تحقیقات شرکت مادر تخصصی توانیر، دفتر فناوری اطلاعات و آمار.
۱۸. یزدانی راد، رحیم. کوچری، آلبرت. و عزیز، هوشنگ (۱۳۷۷). "ارزیابی اقتصادی سیستم‌های انرژی فتوولتایی و گسترش شبکه برق و مولدهای دیزلی برای تامین برق روستاها در ایران". نشریه علمی و پژوهشی برق (۲۲): ۱۲۳-۱۳۴.

### ب) منابع و مأخذ لاتین

1. Clark. J.A & Stachan. P.A. (2009). "Simulation of Conventional and Renewable Building Energy Systems". Energy Systems Research Unit University of Strathclyde, Renewable Energy Journal (5): 1178-1189.
2. Koner, P.K. & V. Dutta and K.L. Chopra. (2000). "A Comparative Life Cycle Energy Cost Analysis of Photovoltaic and Fuel Generator for Load Shedding Application". Solar Energy Materials and Solar Cells Journal (60): 309-322.
3. Chandrasekar. B, Tara. C. Kandpal. (2010). "An Opinion Survey Based Assessment of Renewable Energy Technology Development in India". Renewable and Sustainable Energy Reviews (11): 688-701.
4. Evans. Annette, Valdmir .Strezov, Tim J. Evans. (2009). "Assessment of Sustainability Indicators for Renewable Energy Technologies". Renewable and Sustainable Energy Reviews (13): 1082- 1088.
5. Lesourd. Jean-Baptiste (2001). "Solar Photovoltaic Systems: the Economics of a Renewable Energy Resource". Environmental Modeling & Software (16): 147-156.
6. Yu-Sheng Chang (2011). "The Analysis of Renewable Energy Policies for the Taiwan Penghu Island Administrative Region". Renewable and Sustainable Energy Reviews (16): 958-965.