DOR: 20.1001.1.24234931.1401.9.2.16.9

سال نهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص ص ۱۵۰-۱۵۷

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۰/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۲/۲۷

ارزیابی اقتصادی برق خورشیدی (فتوولتائیک) بر اساس فضای موجود در ساختمان در اقلیم‌های مختلف آب و هوایی ایران

اسمعیل ابونوری [۱]، مهدی قلی زاده ارات بنی [۲*]

۱- استاد اقتصادسنجی و آماراجتماعی،گروه اقتصاد، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

* سوادکوه، ایران،۰۹۱۱۳۲۳۳۴۶۳، Gholizadehmehdi1984@semnan.ac.ir

چکیده

انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر برای توسعه است. افزایش جمعیت و سطح اشغال زمین و مشکلات اقتصادی در احداث نیروگاه‌ها، از موانع تولید گسترده برق خورشیدی هستند. هدف اساسی در این پژوهش، طراحی و ارزیابی نیروگاه‌های خانگی برق فتوولتائیک متصل به شبکه در بام ساختمان-ها است. برای این منظور از شرایط سه اقلیم مختلف؛ آب هوایی سرد و کوهستانی (تبریز)، معتدل و شرجی (ساری) و گرم و خشک (سمنان) با نرم افزار کامفار استفاده شده است. با توجه به اصول طراحی، عوامل اقلیمی نظیر اثر افزایش دما بر سطح صفحه خورشیدی، اثر آلودگی، دمای متوسط شهرها و میزان دریافت نور خورشید اعمال شده است. نرخ تنزیل ۱۷.۳درصد و نرخ تورم ۲۰.۷ درصد برآورد و به کار گرفته شده است. سمنان با نرخ بازده داخلی ۳۲.۱۳ درصد بیشترین بازده اقتصادی و ساری با متوسط دمای بالاتر نسبت به تبریز کم بازده‌ترین شهر است. دوره بازگشت سرمایه عادی طرح در سال ششم و دوره بازگشت خالص سرمایه شهر سمنان در سال نهم ولی تبریز و ساری در سال دهم است. در تحلیل حساسیت برای افزایش نرخ بازده داخلی، اثر کاهش هزینه‌های ثابت (شامل هزینه خرید تجهیزات) نسبت به افزایش قیمت فروش برق فتوولتائیک محسوس‌تر است. بنابراین، گسترش تولید برق خورشیدی نیازمند به حمایت گسترده دارد.

کلیدواژگان: ارزیابی اقتصادی، انرژی تجدیدپذیر، برق فتوولتائیک، حمایت دولت، نرم افزار کامفار

Economic Evaluation of Solar Electricity (Photovoltaic) Based on the Space Available in the Building in Different Climates of Iran

Esmaiel Abounoori [1], Mehdi Gholizadeh Eratbeni [2*]

1- Professor of Econometric & Social Statistics, Department of Economics, Semnan University, Semnan, Iran

2- Master Student of Economics , Department of Economics, Semnan University, Semnan, Iran

* Savadkouh, Iran, Tel: 0098-911-323 3463, Gholizadehmehdi1984@semnan.ac.ir

Received: 25 January 2022 Accepted: 17 May 2022

Abstract

Solar energy is one of the most significant types of renewable energy needed for development. Increasing population and area of land occupation and economic problems in construction of power plants are the main obstacles to the wide solar electricity production. The main aim in this research has been the design and evaluation of home photovoltaic power plants connected to the network on roofs of buildings. Doing so, we have used three different climate conditions; regions of cold and mountainous climate (Tabriz), mild and humid (Sari) and warm and dry (Semnan) with COM FAR software. Concerning the design principles, climatic factors such as the effect of temperature rise on the panel surface, the effect of air pollution and the average temperature of the city along with the amount of sunshine were applied. The applied discount rate was 17.3 % and the inflation rate was 20.7 %. Semnan, with an internal return rate of 32.13%, provides the largest economic yield and Sari with a higher average temperature than Tabriz city is the lowest return city. The return period of normal capital is sixth year. The net return period is Semnan, the ninth, but Tabriz and Sari in the tenth year. In the analysis of sensitivity to increase the rate of internal efficiency, the effect of fixed costs reduction (including the cost of purchase equipment) is more dominant than the increase in the price of photovoltaic electricity. Therefore, the expansion of solar power generation requires extensive support.

Keywords: Economic Evaluation, Renewable Energy, Photovoltaic Electricity, Government Support, Kamfar Software

۱- مقدمه

انرژی، سنگ بنای زندگی انسان‌ها و نیروی اصلی در جهان است که زندگی را تعریف و حفظ می‌نماید [۱] و بصورت منابع مختلف در سطح کره زمین وجود دارد. تأمین انرژی در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها و جوامع بشری، از پیش نیازهای اساسی است. رشد جمعیت و شهرنشینی، مشکلات در فرایند تولید، انتقال، توزیع، مصرف و عدم تأمین انرژی از منابع مطمئن و پاک، موجب افزایش تقاضای انرژی و مصرف سریع منابع آن شده است [۲]. تهی شدن منابع انرژی فسیلی و تجدیدناپذیر و افزایش آلودگی‌های ناشی از مصرف آن، از مهمترین بحران‌ها در حوزه انرژی و محیط زیست است [۳]. از معایب دیگر انرژی فسیلی، توزیع غیر یکنواخت نیروگاه‌ها [۴] و قرار گرفتن در موقعیت‌های مکانی خاص و بر اساس ظرفیت و پتانسیل‌های طبیعی و اقلیمی است. در مواردی و بر اساس این ظرفیت‌ها، احداث نیروگاه‌ها در محدوده جغرافیایی خالی و دور از سکنه یا دور از مراکز مصرفی سبب ایجاد تناقض در مالکیت منابع انرژی و منابع مصرف شده است که موجب آسیب پذیری امنیت ملی کشورها و صاحبان منابع است. از طرف دیگر، تولید انرژی در نیروگاه‌های متمرکز با ظرفیت‌های بسیار زیاد با امنیت پایدار تأمین انرژی همخوانی ندارد. در این موارد، آسیب دیدن یک نیروگاه اصلی برق، موجب قطع برق در منطقه وسیعی می‌شود که خسارت‌های جبران ناپذیری به همراه دارد. بنابراین ایجاد و بهره‌برداری از نیروگاه تولید برق در نزدیک به مکان‌های مصرف، هزینه‌های مرتبط را کاهش می‌دهد و از اتلاف خطوط و افت بار الکتریکی می‌کاهد. از سوی دیگر بعد از افزایش قابل توجه قیمت فرآورده‌های نفتی، صاحب‌نظران و کارشناسان اقتصاد انرژی توجه ویژه‌ای به منابع انرژی تجدیدپذیر یعنی انرژی خورشیدی داشتند. عوامل بسیار زیادی، صاحبان تصمیم را به توجه و سرانجام پذیرش خورشید به عنوان منبع اصلی انرژی جایگزین سوق داده است. با این حال یکی از جذاب‌ترین ویژگی‌های انرژی خورشیدی از نقطه‌نظر اقتصادی، توانایی آن در کاهش هزینه‌های کلی تولید انرژی است [۵]. کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته است و متوسط تابش انرژی در ایران بین ۴.۵ تا ۵.۵ کیلو وات ساعت بر مترمربع در روز تخمین زده شده است که ایران را از کشورهای مستعد در برخورداری از آن قرار داده است.

افزایش جمعیت و سطح اشغال زمین، عدم دسترسی به فضای بزرگ و مناسب و مشکلات اقتصادی از موانع گسترش تولید برق خورشیدی هستند. بنابراین راهکار در برون‌رفت از این مشکلات، احداث و بهره‌برداری از نیروگاه‌های کوچک خانگی ولی به تعداد زیاد در بام ساختمان‌ها است که یکی از مشکلات اساسی در تامین مکان[1] احداث سامانه فتوولتائیک، مرتفع می‌شود.

در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار کامفار به بررسی امکان‌سنجی اقتصادی در احداث و بهره‌برداری از سامانه‌های فتوولتائیک[2] (PV) در بام ساختمان در الگوی طراحی بر اساس فضای موجود در سه اقلیم آب هوایی سرد و کوهستانی (شهر تبریز)، معتدل و شرجی (شهر ساری) و گرم و خشک (شهر سمنان) پرداخته شده است. عوامل اقلیمی نظیر اثر دما، اثر آلودگی و دمای متوسط شهری در کنار میزان بهره مندی از نور خورشید در ارزیابی اقتصادی اعمال شده است.

۱-۱- اصول طراحی سامانه‌های فتوولتاویک

طراحی سامانه فتوولتائیک مطابق با انتظارات مصرف‌کنندگان و معمولا شامل کاهش هزینه‌های برق، حداکثر توان تولید، فواید زیست محیطی، ذخیره انرژی و کاهش تلفات الکتریکی است. اصول طراحی سامانه فتوولتائیک دارای کلیات طراحی ثابتی است اما مواردی از قبیل میزان سرمایه‌گذاری، نوع کاربری برق تولیدی، محل تاسیس نیروگاه، اقلیم، شرایط آب و هوایی و جغرافیایی و غیره از عوامل مهمی در طراحی هستند که بر خروجی سامانه برق خورشیدی تاثیرگذار هستند. این عوامل جدید به صورت ضریب-هایی تعریف شده، میزان خروجی را تغییر می‌دهند. برای مثال افزایش دما و میزان آلودگی هوا از عوامل کاهنده در توان تولیدی سامانه‌های فتوولتائیک است که به صورت ضریب در روند طراحی اعمال شده است [۶].

معیارهای کلی طراحی عبارتند از:

۱- طراحی با معیار تامین انرژی سالانه
۲- طراحی با معیار بودجه موجود
۳- طراحی با معیار فضای موجود

با تعیین معیار طراحی سامانه فتوولتائیک، اطلاعات مطابق آن آماده می-گردد. این معیارها عمدتاً بر روی مرحله انتخاب ظرفیت و آرایش آرایه فتوولتائیک تاثیرگذار هستند. مراحل طراحی سامانه فتوولتائیک بر اساس الگوی فضای موجود عبارت‌اند از :

۱- تعیین مساحت فضای موجود
۲- تعیین بیشترین تعداد ماژول فتوولتائیک قابل نصب
۳- تعیین نحوه آرایش ماژول
۴- تعیین میزان انرژی خروجی آرایه فتوولتائیک
۵- تعیین میزان انرژی تحویلی به شبکه

۲- پیشینه تحقیق

حداد و مهرابی (سال ۱۴۰۰ه.ش.) [۷] به بررسی ارزیابی فنی و اقتصادی نقش سرمایه‌گذاری در احداث نیروگاه خورشیدی (فتوولتائیک) بر توسعه پایدار شهرستان بروجرد پرداخته‌اند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که نیروگاه فتوولتائیک یک مگاواتی مفروض، با دوره بازگشت سرمایه ۳.۴ سال، نرخ بازدهی داخلی ۱.۲۸ درصد، ارزش خالص فعلی ۲۴.۶۴۵ میلیارد ریال و نسبت منفعت به هزینه ۸.۹ دارای توجیه اقتصادی است. همچنین این نیروگاه یک مگاواتی در هر سال ۵.۸ میلیارد ریال صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی، آب و انتشار گازهای گلخانه ای دارد. این مقدار معادل ۷.۱۱ درصد از هزینه‌های اولیه احداث این نیروگاه است که علاوه بر فروش برق تولیدی، اثرات اجتماعی مثبت بر جامعه دارد. میرغیاثی و قنبری (سال ۱۴۰۰ه.ش.) [۸] به مطالعه امکان‌سنجی اقتصادی سامانه برق خورشیدی متصل به شبکه در مجتمع مسکونی در منطقه ۲ تهران و با هدف برآورد هزینه‌های اجرایی سامانه برق خورشیدی به منظور تحلیل اقتصادی و ایجاد رغبت در سرمایه‌گذاری، به بررسی انواع روش‌های تأمین مالی پرداختند. نتایج حاکی از آن است که تمامی معیارهای اقتصادی جهت اجرای سامانه فتوولتائیک با تحلیل سناریوهای تأمین اعتبارات مالی، توجیه‌پذیر است. از طرفی اعطای یارانه، وام کم‌بهره می‌تواند موجبات ترغیب سرمایه‌گذاران را در زمینه ورود به حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر فراهم کند تا با توجه به فواید حاصل از اجرای سامانه برق خورشیدی، امکان توجیه‌پذیری اقتصادی آن‌ها وجود داشته باشد. مدی (سال ۱۴۰۰ه.ش.) [۹] در پژوهشی به امکان‌سنجی در انتخاب زمین برای استقرار نیروگاه برق فتوولتائیک در مقیاس کوچک

1. Site
2. Photovolta

پرداخته است. دسترسی و نزدیکی به شبکه یا پست برق، دسترس‌پذیری و نظارت، شیب مناسب، عدم وجود سایه ساختمان‌های مجاور و چشم‌انداز مناسب از موارد امکان‌سنجی احداث نیروگاه‌های مقیاس کوچک معرفی شده است که این فرصت در نیروگاه‌های کوچک موجب افزایش راندمان اقتصادی نسبت به نیروگاه‌های بزرگ خارج از دسترس است. تاکی و مردانی (سال ۱۳۹۸ه.ش.) [۱۰] به مطالعه مقایسه‌ای بین یک نیروگاه گازی با یک نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک متصل به شبکه در شهرستان اهواز از نظر فنی و اقتصادی پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که نیروگاه برق خورشیدی دارای مزیت اقتصادی بیشتری نسبت به نیروگاه گازی دارد. بررسی سناریوهایی که مربوط به تغییر قیمت خرید تضمینی خروجی نیروگاه خورشیدی است، نشان می‌دهد که حتی کاهش ۵۰ درصدی قیمت خرید تضمینی برق موجب نمی‌شود که این پروژه غیراقتصادی گردد. بشیری و علیزاده (سال ۲۰۱۸م.) [۱۱] به مطالعه در سازکارهای تامین مالی پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر پرداخته‌اند. با افزایش مصرف برق خانگی و مزایای زیست محیطی انرژی خورشیدی و از طرفی دیگر پتانسیل ویژه کشور ایران در جذب تابش خورشید، خانوارها یک بازار هدف جذاب برای این انرژی تجدیدپذیر خواهند بود. طبق مطالعات پژوهشگران، مصرف برق ایران بیش از سه برابر میانگین جهانی است و در سال ۲۰۱۵ مصرف برق بخش مسکونی از سایر بخش‌ها بیشتر بوده است. با توجه به مزایای این سامانه‌ها، دولت برای ترویج استفاده از فناوری‌های تجدیدپذیر در ساختمان‌ها، سازگار تشویق مالی را در نظر گرفته است. این سازگار تشویقی شامل یارانه‌هایی برای کاهش هزینه‌های اولیه سامانه است. فیروزجا (سال ۲۰۱۸ م.) [۱۲] به مطالعه پتانسیل‌های انرژی خورشیدی در مقیاس کوچک در شهرهای مختلف ایران پرداخته است. سامانه‌های خورشیدی در نظر گرفته شده بر اساس ترکیب صفحه‌های فتوولتائیک به منظور دستیابی به مقادیر اسمی ۱، ۵ و ۱۰ کیلووات برای ۱۵ شهر منتخب ایران در نظر گرفته شده است. ارزیابی مالی پروژه‌های برقی خورشیدی بر اساس مفاهیم مختلف اقتصاد مهندسی می‌باشد و طول مدت پروژه ۳۰ ساله می‌باشد. با انتخاب یکی از تکنیک‌های اقتصادی مهندسی و کاربردهای آن می‌توان اقتصادی‌ترین پروژه‌ها را انتخاب و معرفی نمود. فورمیکا و همکاران (سال ۲۰۱۷م.) [۱۳] در پژوهش خود به بررسی اهمیت سامانه فتوولتائیک خورشیدی مسکونی به عنوان یک منبع انرژی اقتصادی مقرون به صرفه پرداخته‌اند. طبق نتایج تحقیقات در ایالات متحده، تمدید اعتبار مالیاتی برای سرمایه‌گذاران تولید انرژی خورشیدی منطقه فدرال در سال ۲۰۱۵ برای تشویق سرمایه‌گذاری‌های خورشیدی با دادن ۳۰ درصد تخفیف در هزینه‌های راه اندازی از جمله اقدامات آن کشور است. سامانه خورشیدی مسکونی ۹.۱۲ کیلوواتی در مریلند با استفاده از شرایط آب و هوایی و اعتبارات مالیاتی ویژه منطقه با تعیین دوره بازگشت سرمایه ۴.۲۵ ساله و نرخ بازده داخلی ۲۳.۶ درصد تحلیل و برآورد شده است. بهمنی و بهرادمهر (سال ۱۳۹۵ه.ش.) [۱۴] برای انتخاب بهینه‌ترین منابع اقتصادی در برق‌رسانی به روستاهای کشور و مقایسه آن با یکدیگر با شاخص‌های ارزیابی اقتصادی در دو روش گسترش شبکه سراسری برق و استفاده از سامانه فتوولتائیک خورشیدی به مطالعه پرداخته‌اند. در هر دو روش و در صورت عدم پرداخت یارانه، تولید برق مقرون به صرفه نبوده و ارزش خالص فعلی منفی است. دولت‌ها به منظور تحقق اهداف عدالت اجتماعی علی‌رغم عدم صرفه اقتصادی با پرداخت یارانه برای دستیابی به ارزش خالص فعلی مثبت، اقدام به برق‌رسانی به روستاها می‌کند، در این مطالعه و با توجه به ارزش خالص فعلی منفی در هر دو روش پیشنهادی، کاربرد سامانه فتوولتائیک خورشیدی برای روشی با خالص ارزش فعلی کمتر پیشنهاد شده است. هرناندز و همکاران (سال ۲۰۱۴م.) [۱۵] در ارزیابی پتانسیل کشور اردن برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی باد و خورشید را مورد بررسی قرار داده‌اند. بر اساس اطلاعات اقلیمی، مناطق مختلف اردن با توجه به سرعت باد و تابش خورشیدی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از مطالعه، پتانسیل هر منطقه را برای بهره‌گیری از انرژی بادی و یا خورشیدی را نشان می‌دهد.

۳- روش تحقیق

۳-۱- معیار ارزش خالص فعلی

معیار ارزش خالص فعلی[1] (NPV) 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 به کارگیری وجوه، از قبل تعیین نموده است. به این بهره، حداقل بهره قابل جذب یا هزینه سرمایه می‌گویند. ارزش خالص فعلی مجموعه ای از جریانات وجوه نقد آینده است که آن را می‌توان از طریق رابطه ۱ محاسبه کرد.

$$NPV = NCF_0 + \frac{NCF_1}{(1+i)^1} + \frac{NCF_2}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، NPV؛ ارزش خالص فعلی ، NCF؛ خالص وجوه نقد، i؛ نرخ تنزیل و t؛ دوره مالی می‌باشد.

معیار ارزش خالص فعلی 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
بی تفاوت نسبت به انتخاب یا عدم انتخاب پروژه	IF: NPV $=$ 0
عدم انتخاب پروژه	IF: NPV $<$ 0

۳-۲- معیار نرخ بازده داخلی

معیار نرخ بازده داخلی[2] (IRR) معیار مشهوری در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها است. این معیار شرط پذیرش پروژه را بزرگتر بودن IRR از هزینه سرمایه می‌داند. IRR نرخ تنزیل است که براساس آن، ارزش خالص فعلی پروژه برابر صفر است. 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 نرخ تنزیل مشخص است و NPV پروژه تعیین می‌شود. در محاسبه IRR، ارزش خالص فعلی پروژه معادل صفر قرار گرفته است و نرخ تنزیل که همان IRR پروژه است، تعیین شده است.

۳-۳- معیار دوره بازگشت خالص سرمایه

تحلیلگر با استفاده از معیار دوره خالص بازگشت سرمایه[3] (PP)، در جستجوی دوره‌ای است که در آن مجموع درآمدهای سالیانه با هزینه سرمایه‌گذاری برابر است. معیار دوره بازگشت خالص سرمایه روش تقریبی و ساده‌ای برای مقابله با ریسک بوده و به نفع پروژه‌هایی است که در سال‌های اولیه عایدات بیشتری دارند. هرچه این شاخص کوچکتر باشد بیانگر سرعت بیشتر جبران جریانات نقدی خروجی به وسیله جریانات نقدی ورودی می‌باشد و لذا پروژه از جذابیت

1. Net Present Value
2. Internal Rate of Return
3. Payback Period

بیشتری برای سرمایه‌گذاری برخوردار است. دوره بازگشت خالص سرمایه شامل دوره بازگشت خالص سرمایه عادی و متحرک می‌باشد. مفهوم دوره بازگشت خالص سرمایه عادی عبارتست از خالص جریانات نقدی تجمعی طرح در مدت بهره‌برداری و منظور از دوره بازگشت خالص سرمایه متحرک، این است که ارزش زمانی پول در محاسبه بازگشت خالص سرمایه مدنظر قرار گرفته است و محاسبات براساس داده‌های تنزیل شده صورت می‌گیرد.

۳-۴- طراحی سامانه فتوولتائیک

برای طراحی سامانه فتوولتائیک بر اساس میزان فضای موجود در ساختمان، مراحل انتخاب ظرفیت و آرایش آرایه فتوولتائیک شامل مراحل زیر است [۶].

مرحله اول: مساحت قسمتی از سطح که کمترین سایه را داشته یا در صورت امکان اصلاً سایه نداشته باشد برحسب متر مربع اندازه‌گیری می‌شود.

مرحله دوم: محاسبات برای تعیین حداکثر تعداد ماژول‌های سامانه فتوولتائیک در مساحت اندازه‌گیری شده مرحله قبل که امکان جانمایی دارد. مساحت ماژول‌ها بر اساس مشخصات ابعادی اطلاعات کارخانجات سازنده در دسترس است. برای ایجاد فضای خالی بین ماژول‌ها باید به ابعاد ماژول اضافه کرد. بیشترین تعداد ماژول‌ها با تقسیم مساحت موجود بر مساحت موثر هر ماژول حاصل شده است. در مورد مطالعه، ماژول ۴۵۰ واتی مونوکریستال AE SOLAR استفاده و مساحت هر ماژول بصورت زیر محاسبه شده است:

$$۲.۰۹۴\ \text{m} \times ۱.۰۳۴\ \text{m} = ۲.۱۶۵۲\ m^۲$$

با اعمال فاصله ۱۰ میلیمتری بین ماژول‌ها، خواهیم داشت:

$$۲.۱۰۴\ m \times ۱.۱۳۴\ m = ۲.۳۸۶۰\ m^۲$$

مساحت ۸۰ مترمربع از بام مستطیلی شکل، برای متوسط هر ساختمان که در معرض نور خورشید است برای محاسبات در نظر گرفته شده است.

مرحله سوم: ماژول‌ها معمولاً مستطیلی شکل و دارای دو بعد طول و عرض هستند. ماژول‌ها را می‌توان در راستای طول و یا عرض نصب کرد. بنابراین برای محاسبه حداکثری تعداد ماژول در فضای نصب، باید نصب ماژول‌ها در دو جهت طول و عرض بررسی و مقایسه شود تا بتوان بیشترین تعداد واقعی ماژول‌ها را تعیین کرد. محاسبات در مورد مطالعه به صورت زیر هستند:

حالت الف: نصب عرضی

$$۱۰\ \text{m} \div ۲.۱۰۴\ \text{m} = ۴.۷۶ \sim ۴$$
$$۸\ \text{m} \div ۱.۱۳۴\ \text{m} = ۷.۰۶ \sim ۷$$

تعداد کل ماژول‌های قابل نصب عرضی برابر با حاصلضرب دو عدد و برابر ۲۸ است.

حالت ب: نصب طولی

$$۱۰\ m \div ۱.۱۳۴\ m = ۸.۸۲ \sim ۸$$
$$۸\ m \div ۲.۱۰۴\ m = ۳.۸۱ \sim ۳$$

تعداد کل ماژول‌های قابل نصب طولی برابر با حاصلضرب دو عدد و برابر ۲۴ است.

حداکثر قابل نصب به تعداد ۲۸ صفحه می‌باشد. با اعمال فضای دسترسی به پشت بام (خرپشته) و فضای ۱۲ متر مربع، از ظرفیت حداکثر صفحه تعداد ۶ صفحه کسر می‌گردد. بنابراین در نمونه مورد مطالعه بیشترین تعداد ماژول‌های قابل نصب برابر ۲۲ عدد بدست می‌آید.

مرحله چهارم: میزان متوسط انرژی خروجی که به صورت روزانه از سامانه فتوولتائیک بدست می‌آید را می‌توان با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$E_{array} = P_{stc} \times f_{man} \times f_{temp} \times f_{dirt} \times H_{tilt} \times N \qquad (۲)$$

در رابطه ۲، E_{array}؛ میزان متوسط انرژی خروجی از آرایه فتوولتائیک، P_{stc}؛ میزان توان خروجی ماژول در شرایط STC (وات) ، f_{man}؛ فاکتور کاهش در اثر تلرانس سازنده (بدون واحد) است که ۰.۹۵ در نظر گرفته شده است، f_{temp}؛ فاکتور کاهش در اثر دما (بدون واحد)، f_{dirt}؛ فاکتور کاهش در اثر آلودگی، H_{tilt}؛ تابش در ساعات اوج خورشید برای جهت‌گیری و زاویه برخورد خاص و N ؛ تعداد ماژول‌ها در آرایه است.

اثر دما: بر اساس استاندارد AS 4059.2، میانگین دمای سلول داخل ماژول فتوولتائیک را می‌توان بر اساس فرمول زیر تخمین زد:

$$T_{cell,eff} = T_{a.day} + 25 \qquad (۳)$$

که در رابطه ۳، $T_{cell,eff}$ ؛ میانگین دمای روزانه مؤثر سلول به درجه سانتیگراد، $T_{a.day}$؛ میانگین بیشینه دما در طول روز (در ماه مورد نظر) به درجه سانتیگراد است [۱۶]. میانگین دمای روزانه مؤثر سلول فتوولتائیک تبریز، ساری و سمنان و بر اساس رابطه ۳ به ترتیب ۴۴.۸، ۴۸.۲ و ۵۰ درجه سانتیگراد بدست می‌آید.

ضریب دمای انرژی کمیتی است که نشان می‌دهد به ازای هر یک درجه افزایش دما بالای ۲۵ درجه سانتیگراد، توان تولیدی ماژول فتوولتائیک چقدر افزایش می‌یابد. ماژول‌های مونوکریستال که اغلب دارای ضریب دمایی ۰.۴۵- درصد بر درجه سانتیگراد هستند، یعنی به ازای هر یک درجه افزایش دما بالای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، توان خروجی ۰.۴۵ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین کاهش میزان خروجی آرایه فتوولتائیک در اثر دما به جنس ماژول به کار رفته در آرایه و مقدار متوسط بیشترین دمای محیط مطابق جدول۱ (بر اساس آخرین اطلاعات مرتبط به روزرسانی شده مرکز آمار ایران) در محل نصب سامانه فتوولتائیک بستگی دارد. میزان کاهش توان بر اثر دما را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$f_{temp} = 1 - (\gamma \times (T_{cell,eff} - T_{stc})) \qquad (۴)$$

در رابطه ۴، T_{stc} دمای ۲۵ درجه سانتی گراد شرایط استاندارد است و γ ضریب کاهش توان بر اثر دما برای شهرهای تبریز، ساری و سمنان به ترتیب ۰.۹۱۰۹ ، ۰.۸۹۵۶ و ۰.۸۸۷۵ است.

با اطلاعات هواشناسی مراکز استان‌ها سازمان هواشناسی کشور مطابق جدول ۱ [۱۶]، تعداد روزهای همراه با گرد و غبار برای سه شهر تبریز، ساری و سمنان به ترتیب ۲۸، ۱ و۲۷ است. برای محاسبه فاکتور کاهش آلودگی، نسبت تعداد روزهای هوای غیرآلوده به کل روز سال در نظر گرفته شده است که برای شهرهای تبریز، ساری و سمنان به ترتیب ۰.۹۲۳۳ ، ۰.۹۹۷۳ و ۰.۹۲۶۱ به دست آمده است.

H_{tilt} که در محاسبات PSH در نظر گرفته شده است [۶]، مطابق با اطلس جغرافیایی ایران و اطلاعات ناسا برای تبریز، ساری و سمنان به ترتیب ۴.۳۲ ، ۳.۹۹ و۴.۷۹ کیلو وات است.

برای نمونه طراحی‌های مورد مطالعه، میزان انرژی روزانه تولیدی مطابق رابطه ۲ به صورت زیر محاسبه شده است:

تبریز
$$E_{array} = ۴۵۰ \times ۰.۹۵ \times ۰.۹۱۰۹ \times ۰.۹۲۳۳ \times ۴.۲۲ \times ۲۲ = ۳۴.۱۷۰\ \text{kwh}$$

ساری
$$E_{array} = ۴۵۰ \times ۰.۹۵ \times ۰.۸۹۵۶ \times ۰.۹۹۷۳ \times ۳.۹۹ \times ۲۲ = ۳۳.۵۱۷\ \text{kwh}$$

E_{array} =۴۵۰ × ۰.۹۵ × ۰.۸۸۷۵ × ۰.۹۲۶۱ × ۴.۷۹ × ۲۲
=۳۷.۰۲۷ kwh سمنان

مرحله پنجم: تعیین میزان انرژی تحویلی از سامانه فتوولتائیک برای محاسبه انرژی که توسط آرایه فتوولتائیک به شبکه تحویل می‌شود باید اثر بازده مبدل و تلفات را لحاظ نمود، برای این منظور از رابطه ۵ استفاده شده است:

$$E_{system} = E_{array} \times \eta_{inv} \times L_s \quad (۵)$$

در رابطه ۵، E_{system}؛ میزان متوسط روزانه انرژی خروجی از سامانه فتوولتائیک متصل به شبکه برق، η_{inv}؛ بازده مبدل (بدون واحد) و L_s؛ ضریب تلفات در کابل‌های سامانه (بدون واحد) است.

برای نمونه طراحی‌های مورد مطالعه، با فرض لحاظ کردن بازده ۹۲ ٪ برای مبدل و در نظر گرفتن تلفات برابر ۵ ٪ میزان انرژی تحویلی از سامانه فتوولتائیک مطابق رابطه ۵ بصورت زیر محاسبه شده است:

تبریز E_{system}=۳۴۱۷۰ × ۰.۹۲ × ۰.۹۵ = ۲۹.۸۶۵kwh

ساری E_{system}=۳۳۵۱۷ × ۰.۹۲ × ۰.۹۵ = ۲۹.۲۹۴kw

سمنان E_{system}=۳۷۰۲۷ × ۰.۹۲ × ۰.۹۵ = ۳۲.۳۶۲kwh

جدول ۱ داده‌های هواشناسی (سازمان هواشناسی کشور) [۱۶]

مرکز استان	دما (درجه سلسیوس)					بیشینه بارندگی در یک روز (میلی متر)	تعداد روزهای همراه با گرد و غبار
	میانگین بیشینه	میانگین کمینه	میانگین	پایین ترین کمینه	بالاترین بیشینه		
تبریز	۱۹.۸	۸.۲	۱۴	-۱۴.۸	۴۰.۲	۲۱.۶	۲۸
ساری	۲۳.۲	۱۴	۱۸.۶	-۱.۴	۴۲.۶	۷۵.۴	۱
سمنان	۲۵	۱۴	۱۹.۵	-۵.۶	۴۲.۶	۳۱.۹	۲۷

۳-۵- هزینه‌های ثابت سامانه فتوولتائیک

هزینه‌های ثابت سامانه فتوولتائیک بر اساس محاسبات تعداد صفحه مورد نیاز به شرح جدول ۳ است. هزینه مراقبت و نگهداری برای دو روز کاری در سال به مجموع پنج میلیون ریال در سال است.

براساس مصوبه دولت (وزارت نیرو) به شماره ۱۰۰/۲۰/۱۵۲۲۴/۱۴۰۰ مورخ ۱۴۰۰/۰۲/۲۵، انعقاد قرارداد خرید تضمینی برق از ظرفیت‌های تولید برق تجدیدپذیر با ظرفیت منصوبه برای مولدهای خورشیدی با ظرفیت ۲۰ کیلو وات و کمتر به نرخ پایه خرید تضمینی برق ۱۴۵۶۰ ریال بر کیلو وات ساعت است.

جدول۲ هزینه های ثابت و اولیه برقراری صفحه خورشیدی

	نام تجهیزات	قیمت* واحد	قیمت* کل
هزینه های ثابت	صفحه مونوکریستالی ۴۵۰ وات	۳۸،۴۰۰،۰۰۰	۸۴۴،۸۰۰،۰۰۰
	مبدل خورشیدی ۱۰ کیلووات	۴۰۲،۰۰۰،۰۰۰	۴۰۲،۰۰۰،۰۰۰
	هزینه افزایش گارانتی مبدل**	۴۰،۲۰۰،۰۰۰	۴۴۲،۲۰۰،۰۰۰
	تابلو برق حفاظتی DC و AC	۶۰،۰۰۰،۰۰۰	۶۰،۰۰۰،۰۰۰
	کابل و اتصالات	۵۰،۰۰۰،۰۰۰	۵۰،۰۰۰،۰۰۰
	سازه فلزی	۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰
	هزینه نصب و راه اندازی ***	۱۴۹،۷۰۰،۰۰۰	۱۴۹،۷۰۰،۰۰۰
	مجموع هزینه		۱،۶۴۶،۷۰۰،۰۰۰

* : یافته‌های پژوهش، ارقام بر حسب ریال است.

** : برای افزایش سال گارانتی مبدل تا سی سال، ده درصد قیمت اولیه به قیمت مبدل اضافه شده است.

*** : هزینه نصب و راه‌اندازی ده درصد مجموع هزینه تجهیزات است.

۳-۶- داده‌های مورد نیاز برای ارزیابی اقتصادی

طول دوران ساخت: عملیات خرید و نصب تجهیزات مربوط به فاز ساخت پروژه یک ماه برآورد شده است.

طول دوران بهره‌برداری: عمر مفید سامانه خورشیدی معادل ۳۰ سال است.

نرخ تورم: نرخ تورم بر اساس متوسط میزان نرخ تورم در ۱۱ سال اخیر، بین سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ برابر ۲۰.۷ درصد بوده، که در این مطالعه نیز همین میزان در نظر گرفته شده است [۱۷-۱۶].

نرخ تنزیل: نرخ تنزیل بر اساس متوسط میزان نرخ سود سپرده بلندمدت در ۱۱ سال اخیر، بین سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ برابر ۱۷.۳ درصد بوده، که در این مطالعه نیز همین میزان در نظر گرفته شده است [۱۸-۱۷].

۴- ارزیابی اقتصادی و برآورد مدل

۴-۱- درآمد پروژه

در جدول ۳ قیمت فروش برق تولیدی سامانه فتوولتائیک بر حسب قیمت مصوب در روز و در یک سال برآورد و محاسبه شده است.

جدول ۳ برق بهای انرژی تحویلی از سامانه فتوولتائیک

	انرژی تحویلی از سامانه فتوولتائیک (kwh)			برق‌بهای فروخته شده به (بر حسب ریال)	
	در روز	در سال	در ۳۰ سال	در روز	در سال
تبریز	۲۹.۸۶۵	۱۰۹۰۱	۳۲۷۰۲۲	۴۳۴.۸۴	۱۵۸.۷۲
ساری	۲۹.۲۹۴	۱۰۶۹۳	۳۲۰۷۷۰	۴۲۶.۵۲	۱۵۵.۶۸
سمنان	۳۲.۳۶۲	۱۱۸۱۳	۳۵۴۳۶۴	۴۷۱.۱۹	۱۷۱.۹۹

استفاده از فضای موجود، بهره‌گیری از حداکثر فضای رایگان و در دسترس جهت احداث سامانه فتوولتائیک است. در این پژوهش از سامانه متصل به شبکه استفاده شده است که در مقایسه با سامانه‌های غیرمتصل (که عموما برای مکان‌های دور از سامانه شبکه توزیع برق) بخاطر عدم استفاده از باطری ذخیره کننده از مزیت اولیه اقتصادی و قابل توجهی برخوردار است.

۴-۲- تحلیل داده‌های خروجی

برای سه شهر تبریز، ساری و سمنان در نرخ تنزیل ۱۷.۳ درصد، خالص ارزش فعلی پروژه مثبت و به ترتیب MR ۵۷۵۷.۱۳، MR ۵۶۱۱.۲۸ و MR ۶۳۹۷.۰۹ (میلیون ریال) است. نتایج مطرح شده بر اساس خروجی نرم‌افزار ارزیابی اقتصادی کامفار است.

مطابق جدول ۴ تا نرخ تنزیل بالای ۳۰ درصد، پروژه ارزش اقتصادی دارد. بنابراین در نرخ تنزیل پروژه، خالص ارزش فعلی مثبت و پروژه در هر سه شهر اقتصادی است. شهرهای سمنان، تبریز و ساری به ترتیب بیشترین ارزش فعلی را دارند.

جدول ۴ خالص ارزش فعلی تبریز، ساری و سمنان بر حسب میلیون ریال

درصد نرخ تنزیل	خالص ارزش فعلی بر حسب میلیون ریال		
	تبریز	ساری	سمنان
۰۰.۰۰	۲۵۰۹۴۸.۵۷	۲۴۵۹۷۵.۳۲	۲۷۲۷۴۵.۹۳
۱۰.۰۰	۲۴۷۱۳.۹۹	۲۴۱۹۴.۸۲	۲۶۹۹۰.۸۶
۲۰.۰۰	۳۴۰۶.۰۸	۳۳۰۷.۲۵	۳۸۴۳.۷۷
۳۰.۰۰	۱۳۳.۰۸	۹۸.۰۱	۲۸۷.۲۶
۴۰.۰۰	-۶۹۶.۶۶	-۷۱۵.۳۸	-۶۱۴.۱۸
۵۰.۰۰	-۱۰۱۴.۴۶	-۱۰۲۶.۹۱	-۹۵۹.۴۶
۶۰.۰۰	-۱۱۷۴.۷۴	-۱۱۸۴.۰۴	-۱۱۳۳.۶۱
۷۰.۰۰	-۱۲۷۰.۴۰	-۱۲۷۷.۸۳	-۱۲۳۷.۵۷
۸۰.۰۰	-۱۳۳۳.۸۶	-۱۳۴۰.۰۲۴	-۱۳۰۶.۵۲
۹۰.۰۰	-۱۳۷۹.۰۰	-۱۳۸۴.۲۸	-۱۳۵۵.۵۸
۱۰۰.۰	-۱۴۱۲.۷۷	-۱۴۱۷.۳۸	-۱۳۹۲.۲۷

شکل ۱ خالص ارزش فعلی کل سرمایه را برای سه شهر تبریز، ساری و سمنان بصورت مقایسه‌ای نشان می‌دهد. هر سه نمودار روند مشابه‌ای دارند. با افزایش نرخ تنزیل، NPV طرح، کاهشی می‌شود. در NPV = 0، نرخ تنزیل سمنان بیشتر است.

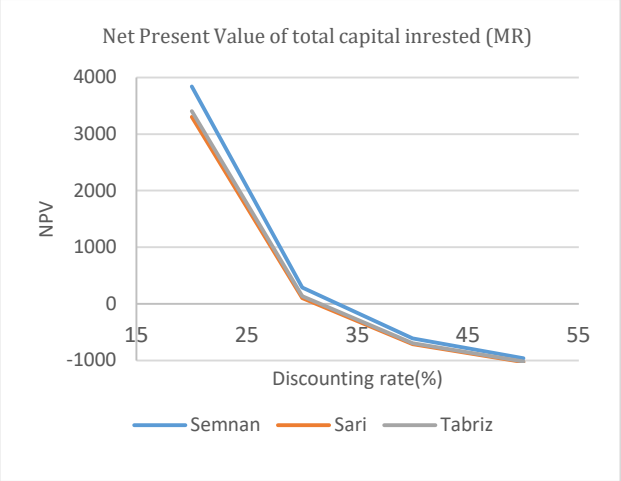
نرخ بازده داخلی، دوره بازگشت سرمایه عادی و دوره بازگشت سرمایه متحرک (نقطه سر به سر) سه شهر مطرح شده در پژوهش، برای مقایسه نتایج خروجی حاصل از ارزیابی در جدول ۵ آورده شده است.

مطابق با نتایج جدول ۵ :

نرخ بازده داخلی به ترتیب برای سمنان با ۳۲.۱۳ درصد، تبریز با ۳۱ درصد و ساری با ۳۰.۷۴ درصد است. در دوره بازگشت سرمایه عادی هر سه شهر در سال ششم است. بدون در نظر گرفتن نرخ تنزیل، بازگشت سرمایه عادی سمنان ۵.۳۳ سال، تبریز ۵.۶۰ سال و ساری ۵.۶۷ سال است. در دوره بازگشت سرمایه خالص (نقطه سربه‌سر)، سمنان در سال نهم و تبریز و ساری در سال دهم می‌باشد. بر اساس داده‌های تنزیل شده بازگشت سرمایه خالص طرح، سمنان۸.۶۶ سال، تبریز ۹.۳۱ سال و ساری ۹.۴۷ سال است.

۴-۳- تحلیل حساسیت

به منظور لحاظ کردن عوامل در نظر گرفته نشده و یا ریسک عواملی که بازده پروژه را با خطر مواجه می‌کنند، میزان حساسیت شاخص بازده نرخ داخلی به تغییرات قیمت فروش برق تولیدی و تغییرات قیمت هزینه ثابت احداث برق فتوولتائیک برآورد شده است.



شکل ۱ خالص ارزش فعلی کل سرمایه بر حسب میلیون ریال

جدول ۵ خروجی نتایج ارزیابی اقتصادی نرم افزار کامفار

تنزیل	تبریز ۱۷.۳۰	ساری ۱۷.۳۰	سمنان ۱۷.۳۰
خالص ارزش فعلی کل سرمایه‌گذاری	۵۷۵۷.۱۳	۵۶۱۱.۲۸	۶۳۹۷.۹
نرخ بازده داخلی	۳۱.۰۰	۳۰.۷۴	۳۲.۱۳
دوره بازگشت سرمایه عادی	۵.۶۰ سال ۱۴۰۶	۵.۶۷ سال ۱۴۰۶	۵.۳۳ سال ۱۴۰۶
سرمایه بازگشت متحرک	۹.۳۱ سال ۱۴۱۰	۹.۴۷ سال ۱۴۱۰	۸.۶۶ سال ۱۴۰۹

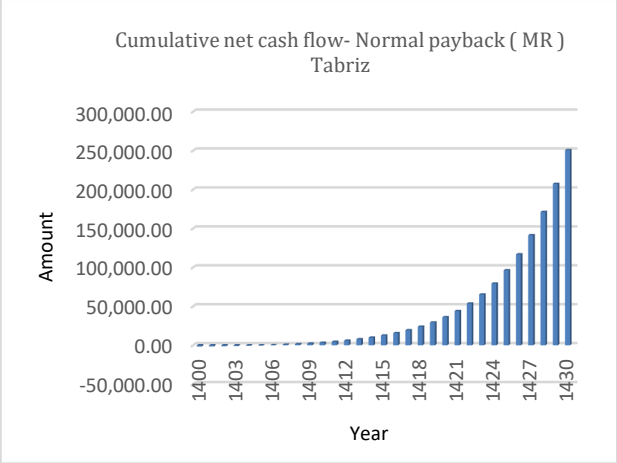
جدول ۶ حساسیت IRR نسبت به تغییرات قیمت فروش برق تولیدی خانوار

افزایشی	۲۵ درصد	۴۰ درصد	۵۰ درصد	۷۵ درصد
تبریز	۳۴.۳۰	۳۶.۲۰	۳۷.۴۴	۴۰.۴۸
ساری	۳۳.۹۹	۳۵.۸۶	۳۷.۰۸	۴۰.۰۸
سمنان	۳۵.۳۶	۳۷.۶۵	۳۸.۰۸	۴۲.۲۵

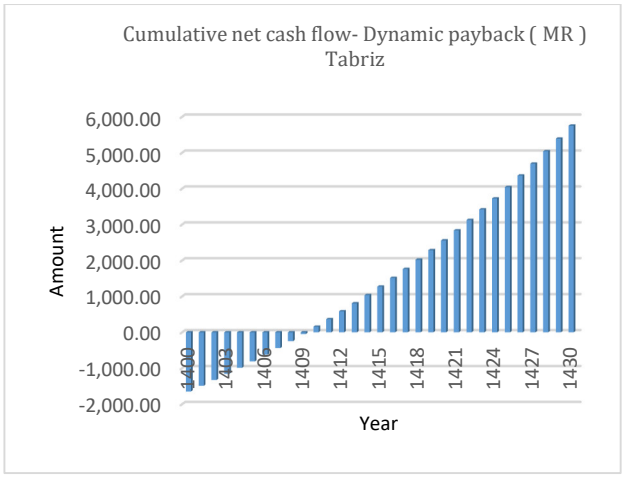
جدول ۷ حساسیت IRR نسبت به تغییرات قیمت هزینه ثابت احداث برق فتوولتائیک

کاهشی	۲۰ درصد	۳۰ درصد	۴۰ درصد	۵۰ درصد
تبریز	۳۴.۲۰	۳۶.۳۸	۳۹.۲۲	۴۳.۱۰
ساری	۳۳.۸۹	۳۶.۰۴	۳۸.۸۳	۴۲.۶۴
سمنان	۳۵.۵۳	۳۷.۸۷	۴۰.۹۱	۴۵.۰۹

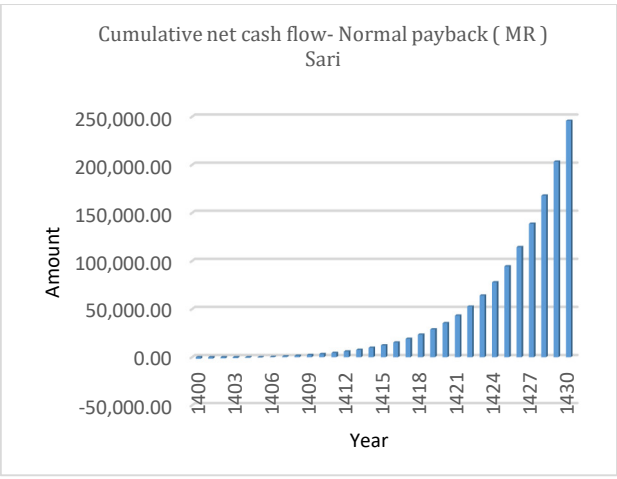
از مقایسه نتایج میزان حساسیت شاخص بازده نرخ داخلی به تغییرات قیمت فروش برق تولیدی و تغییرات قیمت هزینه ثابت احداث برق فتوولتائیک مشهود است که افزایش قیمت تجهیزات فتوولتائیک اثربخشی بیشتری نسبت به تغییرات قیمتی فروش دارد. برای رسیدن به نرخ بازده داخلی ۴۰ درصد، کاهش کمتر از ۵۰ درصد در هزینه تولید ثابت مطلوب است ولی برای همان میزان نرخ بازده داخلی تغییرات افزایشی ۷۵ درصدی در قیمت فروش مطلوب خواهد بود (جدول ۶-۷). بنابراین برای رسیدن به ارزش اقتصادی بیشتر در استفاده از صفحه خورشیدی، خرید تجهیزات به قیمت پایین‌تر از اولویت بیشتری نسبت به افزایش قیمت فروش برق تولیدی دارد.



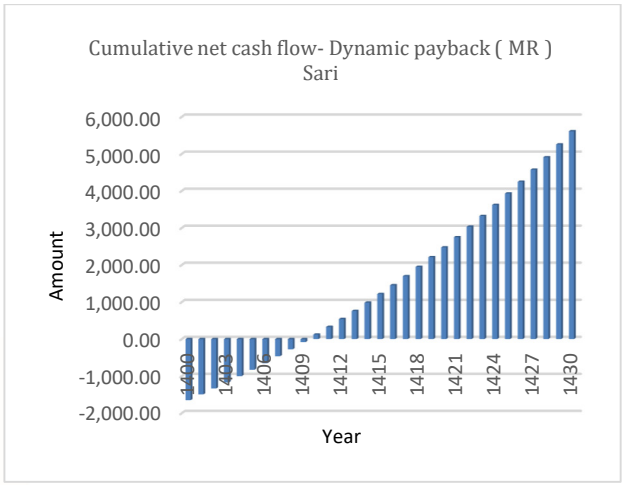
شکل ۲ خالص جریانات تجمعی- دوره بازگشت سرمایه عادی شهر تبریز



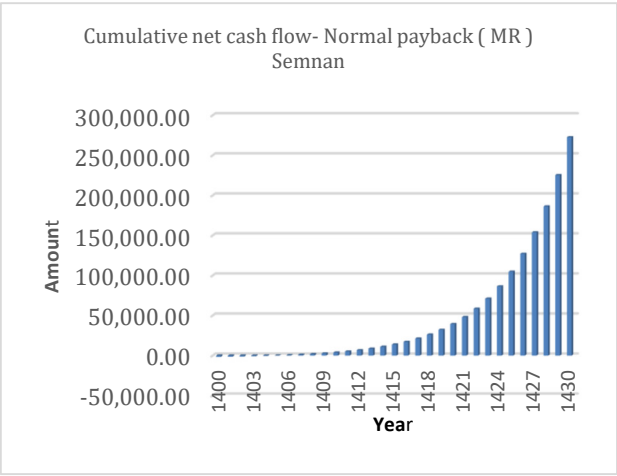
شکل ۵ خالص ارزش فعلی تجمعی دوره بازگشت سرمایه متحرک شهر تبریز



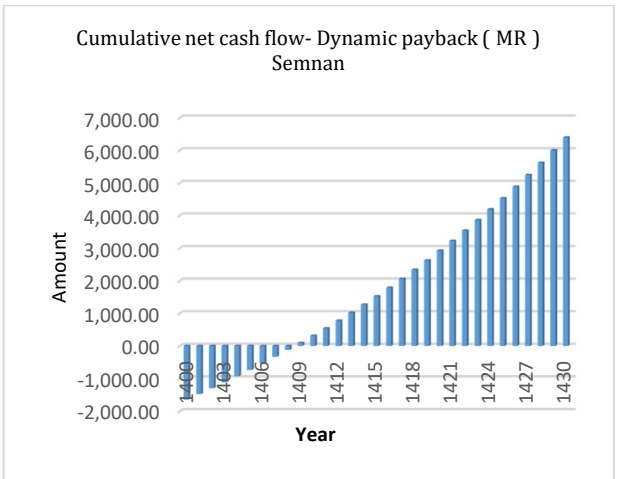
شکل ۳ خالص جریانات تجمعی- دوره بازگشت سرمایه عادی شهر ساری



شکل ۶ خالص ارزش فعلی تجمعی دوره بازگشت سرمایه متحرک شهر ساری



شکل ۴ خالص جریانات تجمعی- دوره بازگشت سرمایه عادی شهر سمنان



شکل ۷ خالص ارزش فعلی تجمعی دوره بازگشت سرمایه متحرک شهر سمنان

در شکل‌های ۲،۳ و ۵ دوره بازگشت عادی سرمایه و در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ دوره بازگشت خالص سرمایه برای درک بهتر نمایش داده شده است.

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

هدف اصلی پژوهش حاضر ارزیابی اقتصادی سامانه‌های فتوولتائیک بر اساس اقلیم‌های متداول ایران و مبتنی بر فضای احداث غیر اشغال شده بام

ساختمان است. در بررسی عوامل موثر بر تولید، دمای متوسط، اثر آلودگی و اثر دمایی بر میزان دریافت انرژی خورشیدی تاثیرگذار بوده است. تبریز با دمای متوسط کمتر از ساری، تولید بیشتری نسبت به آن دارد که در واقع بیانگر امکان بهره‌مندی از سامانه فتوولتائیک در همه گستره حتی اقلیم سرد و کوهستانی است. معیار NPV پروژه مثبت بوده و در هر سه شهر ارزش اقتصادی دارد. نرخ بازده داخلی ساری ۳۰.۷۴، تبریز ۳۱ و سمنان ۳۲.۱۳ درصد است که موید برتری شهر سمنان است. دوره بازگشت سرمایه عادی هر سه شهر در سال ششم بهره برداری است اما دوره بازگشت متحرک سرمایه سمنان ۸.۶۶ سال و در سال نهم و برای تبریز و ساری در سال دهم است. نتایج در حالت کلی از برتری به ترتیب سمنان، تبریز و ساری در ارزیابی اقتصادی تولید برق خورشیدی دارد. در بررسی نتایج میزان حساسیت، برای رسیدن به نرخ بازده داخلی ۴۰ درصد نیاز به تغییرات کاهشی کمتر از ۵۰ درصد در هزینه تولید ثابت است ولی برای همان میزان نرخ بازده داخلی، تغییرات افزایشی ۷۵ درصدی قیمت فروش مطلوب خواهد بود. بنابراین در مقایسه تاثیرپذیری شاخص بازده نرخ داخلی به تغییرات قیمت هزینه ثابت احداث برق فتوولتائیک با تاثیرپذیری از تغییرات قیمت فروش برق تولیدی مشهود است که کاهش قیمت تجهیزات برق فتوولتائیک اثربخشی بیشتری نسبت به تغییرات افزایشی قیمت فروش دارد. تغییرات قیمتی و هزینه‌ها نسبت به تغییرات اقلیمی تاثیرگذارتر بوده است و بنابراین در جهت توسعه پایدار و برای گسترش و حمایت از برق تولیدی توصیه می‌شود دولت‌ها با حمایت در تعرفه خرید برق و کنترل بازار فروش تجهیزات فتوولتائیکی از سرمایه‌گذاران در این صنعت حمایت کنند تا موجب افزایش گرایش به تولید برق خورشیدی گردد.

۶- مراجع

[1] A. Maczulak, *Renewable Energy: Sources and Methods*, First Edit, Facts on File, 2009.

[2] J. F. Li, R. Q. Hu, Sustainable Biomass Production for Energy in China, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 25, pp. 483-499, 2006.

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

[4] D. I. Dicknann, Silviculture and Biology of Short- Rotation Woody Crops in Temperate Regions Then and Now, *Biomass and Bioenergy*, No. 30, pp. 696-705, 2006.

[5] M. MahdaviAdeli, M.Salimifar, A. Ghezelbash, Economic Evaluation of the Use of Solar Power and Fossil Energy in a Three-Unit Complex: A Case Study in Mashhad. *The Journal of Economic Policy*, Vol. 6, No. 11, pp. 123-147, 2014. (in Persian)

[6] Office of Deputy for Strategic Supervision Ministry of Energy, Islamic Republic of Iran, Department of Technical Affairs Niroo Research Institute, *A Guide to Photovolatic (pv) System Design and Installation*, No. 667, 2014. (in Persian)

[7] M. Haddad, M. Mehrabi, Evaluating the Role of Investment in Solar (Photovoltaic) Power Plant on Sustainable Development (Case Study: Boroujerd City), *Journal of Renewable and New Energy*, Vol. 8, No. 16, pp. 91-100, 2021. (in Persian).

[8] S. mirghiasi, M. Ghanbari, Economic Feasibility Study of Solar Power System (Photovoltaic) Connected to the Grid in Residential Use (Case Study: Residential Complex in District 2 of Tehran). *Geography (Regional Planning)*, Vol. 11, No. 2, pp. 679-692, 2021. (in Persian)

[9] H. Medi, Feasibility Study on Site Selection for Installing a Small Scale PV Plant, *Journal of Renewable and New Energy*, Vol. 8, No. 15, pp. 102-112 , 2021. (in Persian)

[10] M. Taki, M. Mardani Najafabadi, Technical and Economic Evaluation of Solar Power Plant (Photovoltaic) Grid-Connected (Case Study: 1 MW Power Plant in Ahvaz City), *Journal of Renewable and New Energy*, Vol. 6, No. 11, pp. 91-102, 2019. (in Persian)

[11] A. Bashiri, S. H. Alizadeh, The Analysis of Demographics, Environmental and Knowledge Factors Affecting Prospective Residential PV System Adoption: A Study in Tehran, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81, pp. 3131-3139, 2018.

[12] K. G. Firouzjah, Assessment of Small-Scale Solar PV Systems in Iran: Regions Priority, Potentials and Financial Feasibility. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 94, pp. 267-274, 2018.

[13] T. Formica, M. Pecht, Return on Investment Analysis and Simulation of a 9.12 kilowatt (kw) Solar Photovoltaic System, *Solar Energy*, Vol. 144, pp. 629-634, 2017.

[14] M. Bahmani, N. Behradmehr, Economic Analysis of Solar Energy System for Southern Iran's Villages : Case Study Baghtaj Village (Dashtestan Bushehr), *Journal of Economic Research (Tahghighat- E- Eghtesadi)*, Vol. 51, No. 1115, pp. 307-326, 2016. (in Persian)

[15] J. Hernandez, B. Alonso, J. Alvarez, B. Carrillo, An Overview of Solar Photovoltaic Energy in Mexico and Germany. *Enewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 31, pp. 639-649, 2014.

[16] *Statistical Center of Iran*, Accessed 1 December 2021; https://www.amar.org.ir/.

[17] A. Tahmouresi, *Economic Evaluation of Solar Electricity in Rural Areas in City of Semnan*, MSc Thesis, Semnan University, Semnan, 2016. (in Persian)

[18] *Central Bank of the Islamic Republic of Iran*, Accessed 1 December 2021; https://www.cbi.ir/section/1378. aspx.