DOI : 10.22034/irenew.2023.184380

سال یازدهم، شماره اول، بهار و تابستان 1403، ص ص 43- 49

مقاله پژوهشی

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

تاریخ دریافت: 1401/07/18

تاریخ پذیرش: 402/06/11

Online ISSN 2676-2994 print ISSN 2423-4931

ارزیابی اقتصادی و اصلاح قیمت برق فتوولتائیک با رویکردهای انگیزشی و نیاز سنجی منطبق با اطلس خورشیدی اقلیمی ایران

مهدی قلی‌زاده ارات‌بنی[1*]، اسمعیل ابونوری[2]، آندیا ابونوری[3]

1- کارشناسی ارشد اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

2- استاد اقتصاد سنجی و آمار اجتماعی، گروه اقتصاد، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

3- کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

* سوادکوه، ایران، 09113233463، Gholizadehmehdi1984@yahoo.com

چکیده

تعرفه خرید برق فتوولتائیک در گستره جغرافیایی ایران بدون توجه به شرایط اقلیمی و خورشیدی متفاوت کشور، یکسان است که منجر به کاهش انگیزه در تولید می‌شود. براساس اطلس میانگین تابش سالانه خورشید (فتوولتائیک)، مرکز استان‌های کشور در 10 گروه طبقه‌بندی شده‌اند. گروه هدف اصلاح قیمت با استفاده از مدل‌های آماری مد و میانه انتخاب شده است. شهرهای اهواز، بندرعباس، بوشهر، بجنورد، ارومیه، اردبیل، گرگان، ساری و رشت شامل گروه‌های کمتر برخوردار از تابش خورشیدی (پایین‌تر از گروه هدف)، ۴۶ درصد از برق بخش خانگی کشور را مصرف می‌کنند. برای متناسب‌سازی مکانی بین تولید و مصرف برق با رویکرد توسعه پایدار، بجای افزایش تولید برق فسیلی و یا افزایش طول خطوط انتقال، می‌توان از سیاست خرید نرخ برق خورشیدی بصورت پلکانی(سیاست تبعیض قیمت) استفاده نمود. با توجه به نتایج این پژوهش، برای همسطحی با نرخ بازده داخلی گروه هدف (33.15 درصد)، می‌توان نرخ تضمینی جدید در استان‌های گیلان، مازندران، گلستان، اردبیل، خراسان شمالی، آذربایجان غربی، خوزستان، هرمزگان و بوشهر را به ترتیب به اندازه 67، 50، 36، 25، 15، 15، 7، 7و 7 درصد افزایش داد. زاهدان با نرخ بازده داخلی 36.24 و بازگشت خالص سرمایه عادی 4 ساله، مستعدترین شهر کشور ایران در ارزیابی اقتصادی برق فتوولتائیک است.

کلیدواژگان: اطلس خورشیدی، برق فتوولتائیک، نرخ تعرفه برق، نرم‌افزار ارزیابی اقتصادی کامفار.

Economic Evaluation and Modification of the Price of Photovoltaic Electricity Using Motivational Approaches and Needs Assessment In Accordance with Solar Atlas of Iranian Climate

Mehdi Gholizadeh Eratbeni[1*], Esmaiel Abounoori[2], Andia Abounoori[3]

1- MSc Economics, Department of Economics, Semnan University, Semnan, Iran

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

3- MSc of Architecture and Energy, IMAM Khomeini International University, Ghazvin, Iran

* Savadkouh, Iran,Tel: 0098-911-323 3463, Gholizadehmehdi1984@yahoo.com

Received: 10 September 2022 Accepted: 2 September 2023

Abstract

The fixed pricing of selling solar electricity in the geographical area of Iran, regardless of the country's different climatic and solar conditions, leads to a reduction in production incentives. According to the atlas of the average annual solar radiation (photovoltaic), the central provinces of the country are classified into 10 groups. The base group of price correction is selected using statistical models of mode and median. Cities of Ahvaz, Bandar Abbas, Bushehr, Bojnoord, Urmia, Ardabil, Gorgan, Sari and Rasht which are among less sunshine Ing groups are using about 46% of household electricity consumption. In order to match between electricity production and consumption in different locations concerning sustainable development approach, instead of increasing the production of fossil electricity and/or increasing the length of transmission lines we can use the different purchasing price policy (price discrimination policy). According with the results of this research the level or the Internal Rate of Return of the base group (33.15 percent), we can set the new guaranteed rates for Gilan, Mazandaran, Golestan, Ardabil, North Khorasan, West Azerbaijan, Khuzestan, Hormozgan and Bushehr as 67, 50, 36, 25, 15, 15, 7, 7, and 7 percent, respectively. Zahedan, with an internal rate of

return of 36.24 and a 4-year net return on normal capital, is the most capable city in Iran in the economic evaluation of photovoltaic electricity.
Keywords: Solar Atlas, Photovoltaic electricity, Electricity tariff rate, Kamfar economic evaluation software.

1- مقدمه

اقتصاد و انرژی دو رکن بهم پیوسته از پیشرفت و توسعه کشورها هستند. اهمیت اصلاح قیمت حامل‌های انرژی به میزانی است که می‌توان اجرای هدفمندی یارانه‌ها و اصلاح قیمت حامل‌های انرژی در کشور را مهمترین و بزرگترین تحول اقتصاد کشور طی سه دهه اخیر به حساب آورد [1]. رشد فزاینده تقاضای انرژی با توجه به قیمت نسبی پایین، بالا بودن شدت مصرف انرژی در کشور، تحمیل هزینه‌های مربوط به یارانه انرژی بر دولت، گسترش نقش شبه انحصاری دولت در بخش انرژی، عدم عدالت اجتماعی در زمینه توزیع حامل‌های انرژی بین خانوارها از جمله مواردی است که موجب شده، در مورد اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها و اصلاح قیمت انرژی در کشور توافق نظر وجود داشته باشد [2]. انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر برای توسعه است [3] و به اعتقاد متخصصین اقتصاد انرژی، افزایش کارایی و بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر انرژی به ویژه انرژی خورشیدی، موثرترین راه حل برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار، تأمین منافع اقتصادی، افزایش امنیت انرژی و کاهش آلودگی زیست است [4]. روند نوظهور رشد نمایی سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر با حمایت مدل‌های نوآورانه تامین مالی به عنوان کاتالیزوری برای بسیاری ازکشورهای در حال توسعه عمل کرد [5].

برق را می‌توان جزء کالاهایی دانست که شاید کمتر بتوان جایگزین نزدیکی برای آن پیدا کرد. گسترش روز افزون مصرف برق در بخش‌ها و صنایع مختلف، اهمیت مصرف و تولید این انرژی را بیش از پیش نشان می‌دهد. بخش خانگی از مهمترین بخش‌های مصرف‌کننده برق است که بخش عمده‌ای از مصرف برق کشور مربوط به این بخش است [6]. بنابراین یکی از راهکار در برون رفت از مشکلات احتمالی در میزان مصرف برق، تولید در بخش خصوصی و گسترده با هدف سودآوری برای خانوار و کاهش فشار به شبکه ملی برق است، یکی از این موارد، تولید برق خورشیدی فتولتائیک[1] (PV) است. مطالعات مربوط به سناریوهای انرژی تجدیدپذیر نشان می‌دهد که سهم PV ممکن است تا سال 2050 میلادی بیش از 50٪ باشد [7].

فتوولتائیک خورشیدی یک فناوری به خوبی توسعه یافته و همچنین راه حل پذیرفته شده‌ای از خدمات انرژی در مقیاس‌های مختلف در سراسر جهان است. سودآوری سرمایه‌گذاری در فتوولتائیک در خانوارها، به قیمت بازار برق بستگی دارد که به نوبه خود تحت تأثیر سرمایه‌گذاری‌های انجام شده و استفاده از PVها قرار می‌گیرد. از موارد مهم سرمایه‌گذاری در برق فتوولتائیک، میزان برخورداری از تابش خورشیدی و رابطه آن با قیمت فروش است [8].

در این پژوهش با استناد به اطلس خورشیدی برق فتوولتائیک و قیمت مصوب سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق به ارزیابی اقتصادی برق فتوولتائیک تولید شده در مراکز استان‌ها پرداخته شده است. با تعیین استان‌های حائز اهمیت از لحاظ کم‌برخورداری از پتانسیل خورشیدی و میزان مصرف برق، به اصلاح و ارزیابی اقتصادی قیمت خرید برق بر اساس میانگین ظرفیت تابشی خورشیدی به منظور انگیزه‌آوری پرداخته شده است.

1-1- انرژی خورشیدی و جهان درحال توسعه

برای دستیابی به یک مسیر عادلانه و به منظورکم‌کردن کربن که گرمایش جهانی را تا 1.5 در جه سانتیگراد کاهش می‌دهد، یک تعامل متقابل و متوازن بین فعالیت‌های توسعه جهانی و منطقه‌ای، تغییرات آب و هوا و پاسخ انسان به چالش‌های زیست محیطی آینده بسیار مهم است. تمرکز شدید در تولید و پالایش نفت و گاز و وابستگی شدید به خطوط انتقال برق و گاز، کشور را در معرض آسیب‌پذیری قرارداده است، این عوامل زمینه مناسبی را برای گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی، در کشور ایجاد کرده است [9]. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مستلزم حذف تدریجی زیرساخت‌های انرژی مبتنی بر سوخت فسیلی و ادغام منابع تجدیدپذیر در تولید انرژی در آینده است. در کشورهای توسعه یافته تلاش برای تولید انرژی خالص و عاری از کربن تا سال2050 و 2060 توسط چندین دولت و سازمان در سراسر مناطق توسعه یافته در حال انجام است، بسیاری از کشورهای در حال توسعه برای ارائه خدمات اولیه انرژی برای مردم خود در تلاش هستند. در سراسر جهان تقریباً 770 میلیون نفر در سال 2019 به برق دسترسی نداشتند که از این تعداد 579 میلیون در آفریقا و 155 میلیون نفر در آسیای در حال توسعه هستند [10].

هدف توسعه پایدار سازمان ملل متحد که مرجع سایر اهداف توسعه پایدار است، بر دسترسی به برق مقرون به صرفه، قابل اعتماد و پایدار برای همه تأکید دارد [11]. اکثر کشورهایی که برق‌رسانی ضعیفی دارند، دارای منابع غنی خورشیدی هستند که می‌تواند به طور پایدار تولید برق را برای کاهش کسری کشور و حمایت از رشد ملی و منطقه ای مورد استفاده قرارگیرد. درحالی که تقریباً همه کشورهای در حال توسعه کاربردهای منابع و فناوری‌های خورشیدی را در استراتژی‌های ملی برق رسانی خود پذیرفته‌اند، در بسیاری از کشورهای در حال توسعه با کاهش سریع هزینه و جهش فناوری فتوولتائیک، بیش از پیش برای کاهش شکاف‌های دسترسی به انرژی تلاش شده است. همچنین بدلیل توسعه شهرها، روستاها و کارخانجات، همچنان نیازمند توسعه شبکه برق و گاز هستند. این توسعه‌ها مستلزم صرف هزینه‌های فراوان برای انتقال گاز و برق بوده، ضمن آنکه هزینه‌های اتلاف در شبکه برق و گاز را افزایش می‌دهد.

1-2- اطلس میانگین تولید سالانه خورشید (فتوولتاییک)

در این اطلس، محاسبات انرژی تابش خورشید بر اساس مدل تابش سنجی NRI انجام و در همین زمینه بانک‌های اطلاعاتی در بازه‌های زمانی ماهیانه، فصلی و سالانه تهیه شده است. محاسبات انرژی خورشیدی در 217 ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور و بر اساس داده‌های ثبت شده مرتبط هواشناسی، انجام شده و در 81 نقطه مکمل، اطلاعات میان‌یابی شده است. در مجموع، 595 نقشه در محیط نرم‌افزار ArcGIS شامل پارامترهای زیر تهیه شده است [12]:

1- انرژی تابش خورشید بر سطح زمین شامل انرژی تابش مستقیم عمودی، انرژی تابش مستقیم تابیده بر سطح افقی زمین، انرژی تابش پراکنده

1. Photovoltaic

(پخشی)، انرژی تابش کل در شرایط آسمان واقعی، انرژی تابش کل در شرایط آسمان صاف (بدون ابر)، نسبت انرژی تابش پراکنده به کل.

2- انرژی دریافتی و تولیدی توسط سیستم‌های خورشیدی شامل انرژی تابش ورودی به صفحه تخت عمودی (در چهار وضعیت رو به شمال، جنوب، شرق و غرب) و رو به جنوب در شیب بهینه، انرژی تولیدی توسط یک نمونه صفحه فتوولتائیک و یک نمونه کلکتور حرارتی در زاویه بهینه، انرژی تابش ورودی به صفحات فتوولتائیک با ردیاب شرقی- غربی، شمالی- جنوبی (شیب صفر)، شمالی- جنوبی (شیب بهینه) و ردیاب دوجهته، انرژی الکتریکی خروجی از یک نمونه صفحه فتوولتائیک با ردیاب شرقی- غربی، شمالی- جنوبی (شیب صفر)، شمالی- جنوبی (شیب بهینه) و ردیاب دوجهته، انرژی تابش ورودی به سیستم متمرکز کننده سهموی خطی با ردیاب شرقی- غربی، شمالی- جنوبی (شیب صفر) و سیستم متمرکز کننده نقطه‌ای، انرژی الکتریکی خروجی از یک نوع سیستم متمرکز کننده سهموی خطی با ردیاب شرقی- غربی و شمالی- جنوبی (شیب صفر) و یک نوع سیستم متمرکزکننده نقطه‌ای.

3- پارامترهای هواشناسی (ساعات آفتابی، دماهای متوسط، بیشینه و کمینه، رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع 10 متر و بارش)

محاسبات انجام شده اطلس میانگین تولید سالانه (فتوولتاییک) کشورایران درشکل 1 نشان داده شده است.

شکل 1 اطلس میانگین تولید سالانه (فتوولتائیک) [12]

1-3- گستره تولید و مصرف برق

میزان برق تولیدی تجدیدپذیر به ظرفیت‌های اقلیمی و طبیعی و میزان مصرف برق به جمعیت، آب و هوا، صنعت غالب و سایر موارد مصرفی هر استان بستگی دارد. برق تولیدی در بخش‌های مختلفی مانند بخش‌های خانگی، صنعت، کشاورزی، تجاری و غیره مصرف می‌شود. بخش‌های خانگی و صنعت بیشترین میزان مصرفی برق در بخش‌های مختلف را دارند. تطابق مکانی بین تولید و مصرف برق بصورت مطلق وجود ندارد (برای مثال، استانی ممکن است شرایط تولید برق کمتری داشته باشد ولی میزان مصرف بیشتری را دارا باشد)، این عدم تطابق عاملی جهت افزایش طول مسیر و اتلاف برق، افزایش هزینه تولید و نگهداری و عدم امنیت انرژی می‌شود. بنابراین تلاش در ساماندهی مکانی تولید و مصرف برق حائز اهمیت است. در جدول شماره 1 میزان برق خانگی مصرفی استان‌ها نشان داده شده است.

2- پژوهش‌های انگیزشی و نیازسنجی اقلیمی

ابونوری و قلی‌زاده ارات‌بنی (1401) به طراحی و ارزیابی نیروگاه‌های خانگی برق فتوولتائیک متصل به شبکه در بام ساختمان‌ها در شرایط اقلیم‌های مختلف پرداختند. در اصول طراحی توجه به عوامل اقلیمی نظیر اثر افزایش دما بر سطح صفحه خورشدی، اثر آلودگی، دمای متوسط شهرها و میزان دریافت نور خورشید اعمال شده است. سمنان (گرم و خشک) با نرخ بازده داخلی 32.13 درصد بیشترین بازده اقتصادی و ساری (معتدل و شرجی) با متوسط دمای بالاتر نسبت به تبریز (سرد و خشک) 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 [3].

ابونوری (2020) به تحلیل اقتصادی کاربرد رف‌های نوری (روشی برای استفاده از خورشید برای کاهش برق مصرفی ساختمان) در ساختمان‌های اداری شهر سمنان با اطلاعات آب و هوایی مربوط و با استفاده از نرم‌افزارهای

جدول 1 مصرف برق میانگین سالانه بخش خانگی [13]

استان	مرکز استان	مصرف برق میانگین در سال (کیلو وات ساعت بر متر مربع)
هرمزگان	بندر عباس	70.342
خوزستان	اهواز	65.021
بوشهر	بندر بوشهر	64.303
سیستان و بلوچستان	زاهدان	31.018
کرمان	کرمان	20.562
ایلام	ایلام	20.502
همدان	همدان	19.954
کرمانشاه	کرمانشاه	19.779
مازندران	ساری	19.618
گیلان	رشت	19.042
تهران	تهران	18.471
قم	قم	17.762
گلستان	گرگان	16.562
فارس	شیراز	15.561
البرز	کرج	15.535
خراسان رضوی	مشهد	14.576
کهگیلویه و بویراحمد	یاسوج	14.529
قزوین	قزوین	14.259
مرکزی	اراک	13.242
کردستان	سنندج	13.157
سمنان	سمنان	12.632
یزد	یزد	12.311
اصفهان	اصفهان	11.994
خراسان شمالی	بجنورد	11.626

آذربایجان شرقی	تبریز	11.492
آذربایجان غربی	ارومیه	11.317
لرستان	خرم‌آباد	11.315
اردبیل	اردبیل	11.074
زنجان	زنجان	10.740
خراسان جنوبی	بیرجند	10.689
چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	8.545

راینو[1]، پلاگین گرس‌هاپر[2]، هانی‌بی[3] و لیدی‌باگ[4] پرداخت. نتایج حاکی از کاهش هزینه برق مصرفی با استفاده از رف‌های نوری در ساختمان‌های اداری شهر سمنان است [14].

شارما و سنگر[5] (2022) در مطالعه‌ای به بررسی گسترش برق فتوولتائیک پرداختند. برق به عنوان خدمات عمومی شهرداری‌ها و ترکیبی از افزایش نرخ برق، کاهش هزینه‌های فناوری فتوولتائیک، و یک سیستم تعرفه‌ای مترقی به مشوق‌هایی برای خانوارهای پر درآمد است تا بخشی از تقاضای برق خود را با برق فتوولتائیک (خورشیدی) خود تولیدی پوشش دهند. توسعه با پروفایل‌های بار ساعتی و داده‌های تشعشع و یک مدل بهینه‌سازی برای مطالعه موردی در کیپ تاون تا سال 2030 شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد که اکثر ساکنان با درآمد بالاتر برای سرمایه‌گذاری در تولید برق فتوولتائیک تا سال 2020 و همچنین استفاده از سیستم‌های باتری خانگی تا سال 2028 تشویق می‌شوند. این امر منجر به افزایش پیوسته شکاف بین درآمدها و نیازهای هزینه-ای در بودجه شهرداری می‌شود. شکاف بودجه را می‌توان با جایگزینی تعرفه مبتنی بر انرژی با هزینه اتصال شبکه ثابت بدون درآمد کاهش داد که اجرای آن به ویژه در کاهش انگیزه برای سرمایه‌گذاری موثراست [15].

علی‌رغم همه تلاش‌هایی که برای ارتقای سیستم‌های خورشیدی انجام می‌شود، اما پذیرش، تداوم و موفقیت پروژه‌ها در مقیاس وسیع به افزایش آگاهی و مهارت‌های علوم خورشیدی مرتبط بستگی دارد [16]. بنابراین برای پذیرش سیستم‌های خورشیدی توسط جوامع، آگاه کردن آنها از فناوری و مشارکت آنها در پروژه‌ها مهم است [17]. یکی از عوامل بازدارنده درگسترش بخش انرژی-های تجدیدپذیر، شکاف مهارتی است، پرکردن شکاف مهارتی از یک سو دسترسی به برق را بهبود می‌بخشد و از سوی دیگر مشاغل جدید ایجاد می‌کند و فرصت‌های شغلی را برای میلیون‌ها نفر فراهم می‌کند. گاهی اوقات پس از نصب، سیستم‌ها به دلیل عدم تعمیر و نگهداری مناسب، کارائی لازم را نخواهند داشت. این مشکل را می‌توان در صورتی حل کرد که نیروهای بومی برای مدیریت سیستم‌ها مهارت داشته باشند. این فرصت را برای ایجاد اشتغال و راه‌اندازی بنگاه‌های اقتصادی در زمینه نگهداری و تعمیرات ارائه می‌دهد [18]. دوچی و واسیلیادو[6] (2015) بر اساس مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که تنها معرفی انگیزه‌ها در مورد سود و انگیزه‌های هنجاری احتمالاً برای ارتقا ی تولید انرژی محلی کافی نیست، پروژه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که دولت-های قوی، صنعت برق خورشیدی را پذیرا باشند [19]. طی دو تا سه دهه گذشته به دلیل سست شدن پیوند بین سیستم آموزشی و سیستم اقتصادی، بیکاری افزایش یافته است. پیوندهای بین سیستم آموزشی و سیستم اقتصادی ممکن است با آموزش مطابق با نیازهای اقتصاد و ترویج آموزش زندگی پایدار تقویت شود. با ظهور آینده اقتصاد خورشیدی، آموزش انرژی خورشیدی به عنوان یک دوره فارغ التحصیلی چندرشته‌ای وارد حوزه‌های دانشگاهی خواهد شد [20]. در تمامی پژوهش‌های انجام شده، نرخ مصوب دولت بدون توجه به میزان برخورداری مناطق مختلف کشور از انرژی خورشیدی یکسان در نظرگرفته شده است. این عامل از انگیزه سرمایه‌گذاران در مناطق کم برخودار از انرژی خورشیدی می‌کاهد.

3- روش تحقیق

3-1- شاخصه‌های ارزیابی اقتصادی [3]

3-1-1- معیار ارزش خالص فعلی

معیار ارزش خالص فعلی[7] (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.

انتخاب پروژه	$IF: NPV > 0$
بی‌تفاوت نسبت به انتخاب یا عدم انتخاب پروژه	$IF: NPV = 0$
عدم انتخاب پروژه	$IF: NPV < 0$

3-1-2- معیار نرخ بازده داخلی

معیار نرخ بازده داخلی[8] (IRR) شرط پذیرش پروژه را بزرگتر بودن IRR از هزینه سرمایه می‌داند. IRR نرخ تنزیل است که بر اساس آن، ارزش خالص فعلی پروژه برابر صفر است و نرخ تنزیل که همان IRR پروژه است، تعیین شده 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.

3-1-3- معیار دوره بازگشت خالص سرمایه

معیار دوره خالص بازگشت سرمایه[9] (PP)، شامل دوره بازگشت خالص سرمایه عادی و متحرک است. 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 بر اساس داده‌های تنزیل شده صورت می‌گیرد.

4- ارزیابی اقتصادی سامانه‌های برق فتوولتائیک

4-1- احداث سامانه‌های برق فتوولتائیک

برای بررسی ارزیابی اقتصادی، از سامانه‌های برق فتوولتائیکی 5 کیلو وات خانگی در بام ساختمان‌ها استفاده شده است است (سطح مورد نیاز جهت احداث سامانه حدود 40 مترمربع است [3] که این مساحت در اکثر بام ساختمان‌ها در دسترس است و در محاسبات رایگان در نظر گرفته شده است). بر اساس اطلس میانگین تولید سالانه خورشیدی، تولید سالیانه یک کیلو وات

1. Rhino 6SR32
2. Grasshopper2020
3. Honey bee
4. lady bug
5. Sharma, N. Sengar
6. Dócia, E. Vasileiadou
7. Net Present Value
8. Internal Rate of Return
9. Payback Period

از پانل در مراکز استان‌ها در 10 گروه مختلف (بر مبنای حدود تغییرات از کمترین (909) تا بیشترین (1832) تولید سالیانه یک کیلو وات از پانل، در مضرب 100) مطابق ستون سوم جدول شماره 2 طبقه‌بندی شده‌اند.

- **برق سالانه تولیدی:** حاصلضرب تولید سالیانه یک کیلو وات در تعداد و توان پانل خورشیدی است.
- **برق سالانه آماده به فروش:** برق سالانه تولیدی با فرض لحاظ کردن بازده 92 ٪ برای مبدل و در نظر گرفتن تلفات برابر 5 ٪ میزان انرژی تحویلی از سامانه فتوولتائیک مطابق جدول 2 محاسبه شده است [3].

4-2- داده‌های موردنیاز برای ارزیابی اقتصادی

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

- طول دوران بهره‌برداری سامانه خورشیدی معادل 30 سال است [3].
- نرخ تورم و نرخ تنزیل بر اساس متوسط میزان نرخ تورم و متوسط میزان نرخ سود سپرده بلند مدت در 11 سال اخیر، بین سال‌های 1388 تا1398 بترتیب برابر 20.7 درصد و 17.3 درصد در نظر گرفته شده است [21-22].
- هزینه ثابت احداث سامانه مطابق جدول 3 است.
- هزینه مراقبت و نگهداری برای دو روز کاری (تمیز کردن سطوح پانل) در سال به مجموع پنج میلیون ریال در سال است [3].
- بر اساس مصوبه دولت (وزارت نیرو)، خرید تضمینی برق از ظرفیت‌های تولید برق تجدیدپذیر با ظرفیت منصوبه برای مولدهای خورشیدی با ظرفیت 20 کیلو وات و کمتر به نرخ پایه خرید تضمینی برق 14560 ریال بر کیلو وات ساعت است.

4-3- ارزیابی اقتصادی و اصلاح قیمت

- **ارزیابی اقتصادی:** بر اساس داده‌های بخش 2-4 و جدول شماره 2 نتایج ارزیابی اقتصادی مطابق جدول شماره 4 است.
- **اصلاح قیمت:** بر اساس مدل‌های آماری مد و میانه گروه 4 جدول شماره 4 به عنوان گروه هدف انتخاب شده‌اند. استان های گروه 5 تا 10 بیش از 46 درصد از برق بخش خانوار کشور را مصرف می‌کنند (جدول شماره 1). بنابراین تامین برق این استان‌ها باید بر اساس گسترش برق فسیلی یا افزایش خط انتقال برق باشد که از لحاظ توسعه پایدار، زیست محیطی و یا اتلاف انرژی مورد اشکال قرار می‌گیرد. برای جبران این مشکل، جهت تامین برق لازم این استان‌ها، افزایش به تولید برق تجدیدپذیر با ایجاد انگیزه‌های اقتصادی پیشنهاد داده می‌شود.
- برای بهبود نتایج نامطلوب ارزیابی اقتصادی گروه‌های 5 تا 10 که تولید برق در این استان‌ها ضرورت دارد:

1- گروه 4 به عنوان گروه هدف انتخاب و نتایج ارزیابی اقتصادی آن برای گروه‌های پایین اعمال می‌گردد.

2- افزایش قیمت برای گروه‌های 5 تا 10 جهت رسیدن به ارزش خالص فعلی33.15 درصد و نرخ بازده داخلی 3645.87 (گروه 4) است.

3- نتایج افزایش قیمت برای هر گروه متاثر از میزان برخورداری از میانگین تولید سالانه خورشید است (جدول شماره5).

5- نتیجه گیری و پیشنهادات

عدم تطابق مکانی تولید و مصرف برق از مشکلات شبکه توزیع برق کشور است. راه حل‌های عمده حل این مشکل، گسترش انرژی‌های تجدیدناپذیر و فسیلی و یا استفاده از خطوط انتقال برق طولانی است که همواره باعث آسیب به توسعه پایدار و مشکلات زیست محیطی و اتلاف انرژی برق و هدر رفت هزینه و سرمایه‌گذاری‌ها در شبکه انتقال می‌شود.

مراکزاستان‌های کشور بر اساس میزان برخورداری از تابش خورشیدی در ۱۰گروه طبقه بندی می‌شوند طبقه ۴ بر اساس مدل آماری مد و میانه به عنوان گروه هدف برگزیده شده است و 9 مرکز استان که مصرف کننده عمده برق بخش خانوار هستند از پتانسیل بهره‌مندی خورشیدی و به طبع پتانسیل اقتصادی کمتری نسبت به سایر مراکز برخوردار هستند. زاهدان و رشت به ترتیب پرمستعدترین و کم‌برخوردارترین مراکز استان در برخورداری از تابش انرژی خورشیدی هستند.

به منظور افزایش در انگیزه‌آوری به تولید به منظور ارتقا توسعه پایدار و حذف تدریجی انرژی‌های فسیلی، با افزایش پلکانی تعرفه‌های تضمینی خرید برق فتوولتائیک سبب جذب و تشویق به سرمایه‌گذاری تولیدکنندگان و حل مشکلات شیکه توزیع برق می‌شود. برای رسیدن به مد نرخ بازده داخلی

جدول 2 برق تولیدی سالانه مراکز استان

گروه	مراکز استان	تولید سالیانه یک کیلو وات*	برق سالانه تولیدی **	برق سالانه آماده به فروش ***
1	زاهدان	1832	10444	8647
2	شیراز، کرمان، بیرجند	1729	9337	8161
3	اصفهان، یزد، سمنان، اراک، همدان، زنجان، شهرکرد، سنندج، کرمانشاه	1627	8786	7679
4	خرم آباد، قزوین، تهران، تبریز، قم، کرج، یاسوج، ایلام، مشهد	1524	8230	7193
5	اهواز، بندر عباس، بوشهر	1421	7674	6707
6	بجنورد، ارومیه	1319	7123	6226
7	اردبیل	1216	6567	5740
8	گرگان	1114	6016	5258
9	ساری	1011	5460	4772
10	رشت	909	4909	4291

* کیلو وات ساعت بر کیلو وات

** اطلس خورشیدی فتوولتائیک

*** پس از محاسبه تلفات

جدول 3 هزینه های ثابت و اولیه برقراری صفحه خورشیدی

نام تجهیزات	تعداد	قیمت واحد*	قیمت کل *
صفحه مونوکریستالی 450 وات	12	38400000	460800000

مبدل خورشیدی 5 کیلووات	1	220000000	220000000
هزینه افزایش گارانتی مبدل**	-	2200000	2200000
تابلو برق حفاظتی ACو DC	1	35.000000	35.000000
کابل و اتصالات	-	30000000	30000000
سازه فلزی	-	60000000	60000000
هزینه نصب و راه اندازی ***	-	82780000	82780000
مجموع هزینه	-	_	910580000

* :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.

33.15 درصد، قیمت تضمینی خرید در استان‌های گیلان، مازندران، گلستان، اردبیل، خراسان شمالی، آذربایجان غربی، خوزستان، هرمزگان و بوشهر به ترتیب 67، 50، 36، 25، 15، 15، 7، 7و 7 درصد افزایش تعرفه خرید به منظور افزایش انگیزه در تولید برق فتوولتائیک پیشنهاد می‌شود.

استان‌های ساحلی شمال و جنوب کشور با رطوبت نسبی بالا نسبت به سایر استان‌ها مصرف برق بیشتری را دارند و در عین حال به طور متوسط از ظرفیت انرژی خورشیدی کمتری برخوردار می‌باشند بنابراین در اولویت اصلاح قیمت برق فوولتائیک هستند. و توصیه می‌شود که دولت در تمام نوع انرژی‌های تجدیدپذیر از تعرفه‌های اصلاحی- انگیزشی استفاده نماید.

جدول 4 نتایج ارزیابی اقتصادی برق فتوولتائیک برای مراکز استان ایران

گروه	مراکز استان	ارزش خالص فعلی	نرخ بازده داخلی	بازگشت خالص سرمایه عادی	بازگشت خالص سرمایه متحرک
1	زاهدان	36.2	4615.49	4.471405	6.811407
2	شیراز، کرمان، بیرجند	35.22	4291.40	4.651405	7.191408
3	اصفهان، یزد، سمنان، اراک، همدان، زنجان، شهرکرد، سنندج، کرمانشاه	3420	3969.97	4.861405	7.671408
4	خرم آباد، قزوین، تهران، تبریر، قم، کرج، یاسوج، ایلام، مشهد	33.15	3645.87	5.091406	8.091409
5	اهواز، بندر عباس، بوشهر	32.07	3321.77	5.31406	8.61409
6	بجنورد، ارومیه	30.99	3001.01	5.581406	9.21410
7	اردبیل	29.86	2676.92	5.891406	9.971410
8	گرگان	28.70	2355.49	6.21407	10.81411
9	ساری	27.49	2031.391	6.61407	11.81412
10	رشت	26.30	1710.62	7.01407	13.01413

جدول 5 اصلاح قیمت تعرفه خرید برق

مراکز استان	درصد افزایش قیمت	
	ارزش خالص فعلی	نرخ بازده داخلی
	33.15	3645.87
اهواز، بندر عباس، بوشهر	7	8
بجنورد، ارومیه	15	16
اردبیل	25	26
گرگان	36	37
ساری	50	51
رشت	67	68

6- مراجع

[1] A. Madanizadeh, M. Ebrahimian, Modeling Energy Price Liberalization in Iran Economy, *Journal* of *Planning and Budgeting*, Vol. 24, No. 4, pp. 5–46, 2020. (in Persian)

[2] Y. Gudarzi Farahani, O. adeli, The Effect of Change in Electricity Tariffs on Electricity Consumption and Macroeconomic Variables With Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) Approach, *Quarterly Energy Economics Review*, Vol. 25, No. 74, pp. 125–158, 2022. (in Persian)

[3] E. Abounoori, M. Gholizadeh Eratbeni, Economic Evaluation of Solar Electricity (Photovoltaic) Based on the Space Available in the Building in Different Climates of Iran, *Journal of Renewable and New Energy*, Vol. 9, No. 2, pp. 150-1157, 2022. (in Persian)

[4] 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).

[5] M. Alam, *Decentralized Renewable Hybrid Mini-Grid Based Electrification of Rural and Remote Off-Grid Areas of Bangladesh*, PhD Thesis, De Montfort University, UK, 2017.

[6] S. A. Jalaee, S. Jafari, S. Ansari Lari, The Estimation of Electricity Consumption in The Residential Sector in Iran: A Provinces Panel. *Iranian Energy Economics*, Vol. 2, No. 4, pp. 69-92, 2013. (in Persian)

[7] Sh. Sharma, N. Sengar, Review of Solar PV Training Manuals and Development of Survey Based Solar PV System Training Formats for Beginners, *Solar Energy*, Vol. 241, pp. 72-84, 2022.

[8] J. Goop, E. Nyholm, M. Odenberger, F. Johnsson, Impact of Electricity Market Feedback on Investments in Solar Photovoltaic and Battery Systems in Swedish Single-Family Dwellings, *Renewable Energy*, Vol. 163, pp. 1078-1091, 2021.

[9] R. Moradian, F. Moridi Farimani, Developing Renewables in Iran A Must or Choice?, *Journal of Renewable and New Energy*, Vol. 9, No. 2, pp. 28-33,2022. (in Persian)

[10] IEA, *Data and Projections*, International Energy Agency, Paris, 2020. (Available at: https://www.iea.org/reports/ sdg7-data-and-projections)

[11] *The World Bank,* Accessed 10 September 2022; https://www.worldbank.org/en/home.

[12] Renewable Energy and Energy Efficiency Organization. *Atlas–Solar*, Accessed 1 Oct 2022; www.satba.gov.ir
[13] Institute of International Energy Studies, *Energy Balance*, Deputy Minister of Planning of the Ministry of Petroleum, Iran, 2020. (in Persian)
[14] A. Abounoori, Economic Analysis of Light Shelf Using in Office Buildings, *Econder 2020 III. International Economics Business and Social Sciences,* Congress, Turkey, 2020.
[15] S. Sharma, N. Sengar, Review of Solar PV Training Manuals and Development of Survey Based Solar PV System Training Formats for Beginners, *Solar Energy*, Vol. 241, pp. 72-84, 2022.
[16] L. Neij, E. Heiskanen, L. Strupeit, The Deployment of New Energy Technologies and The Need for local learning, *Energy Policy,* Vol. 101, pp. 274-283, 2017.
[17] D. H. B. Gai, E. Shittu, D. Attanasio, C. Weigelt, S. LeBlanc, P. Dehghanian, S. Sklar, Examining Community Solar Programs to Understand Accessibility and Investment: Evidence from The U.S., *Energy Policy*, Vol. 159, 2021.
[18] IRENA, *Future of Solar PV: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*, 2019
[19] G. Dócia, E. Vasileiadou, Let's Do it Ourselves Individual Motivations for Investing in Renewables at Community level, *Energy Reviews*, Vol. 49, pp. 41-50. 2015.
[20] P. Middleton, Sustainable living education: Techniques to Help Advance The Renewable Energy Transformation*, Solar Energy*, Vol. 174, pp. 1016-10181, 2018.
[21] A. Tahmouresi, *Economic Evaluation of Solar Electricity in Rural Areas in City of Semnan*, MSc Thesis, Semnan University, Semnan, 2016. (in Persian)
[22] *Central Bank of the Islamic Republic of Iran*, Accessed 1 December 2021; https://www.cbi.ir/section/1378.