نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، صفحه ۷۱ – ۴۹

# ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک با تأکید بر نرخ ارز

[۱] عدنان رجائیان، [۲] روح الامین زینلی داورانی*، [۳] فاطمه زینلی دولت آباد

**تاریخ دریافت:**
۱۳۹۸ / ۰۶ / ۲۳

**تاریخ پذیرش:**
۱۳۹۸ / ۰۹ / ۲۰

**کلمات کلیدی:**
نیروگاه فتوولتائیک
ارزیابی اقتصادی
تغییرات قیمت ارز
بازگشت سرمایه

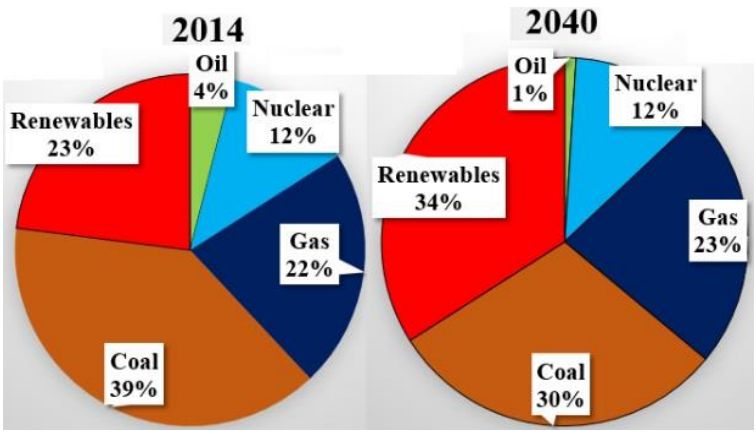
**چکیده**

با توجه به استقرار کشور ایران بر کمربند خورشیدی، در بسیاری از قسمت‌های کشور انرژی تابشی بالاتر از میانگین بین‌المللی بوده و این موضوع سبب رشد قابل ملاحظه استفاده از انرژی خورشیدی و یکی از مسائل روز سیستم قدرت شده‌است. ازطرفی باید اثر تحولات اقتصادی جامعه بر سودآوری یک پروژه به عنوان یک عامل مهم در موفقیت آن، مورد ارزیابی قرارگیرد. برای این منظور در این مقاله افزایش شدید نوسانات ارز در سال‌های اخیر بر اقتصادی بودن احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک مورد بررسی قرارگرفته‌است. در این بررسی عوامل متعددی ازجمله نرخ تسعیر یورو، تورم، قیمت ارز مبادله‌ای و آزاد و ... در شبیه‌سازی‌ها درنظر گرفته‌شده‌است. درمجموع ۴۸ حالت بررسی‌شده و یک ارزیابی جامع از احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک در شرایط مختلف اقتصادی کشور ارائه‌شده‌است. نتایج نشان می‌دهند، علاوه‌بر نوع ارز اختصاص‌یافته جهت احداث نیروگاه خورشیدی، نرخ تورم نیز در ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه مؤثر می‌باشد.

۱. کارشناس ارشد، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته
adnanrajaeyan@yahoo.com
۲. استادیار، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته (نویسنده مسئول)
r.zeinali@kgut.ac.ir
۳. دانشجوی دکتری، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته f.zeinali@aut.ac.ir

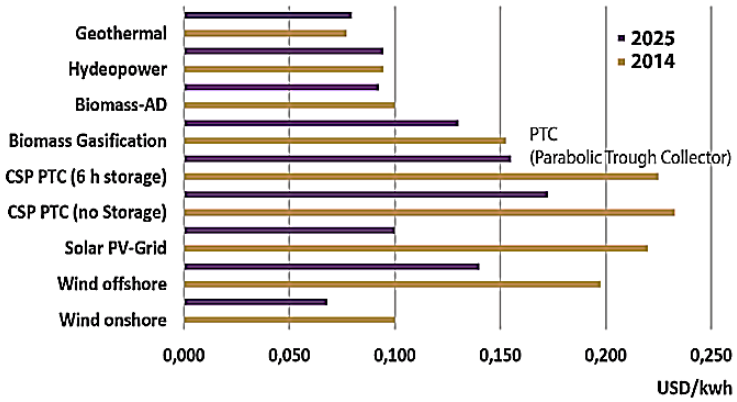
## ۱. مقدمه

با توجه به رشد تقاضای انرژی و افزایش اهمیت محیطزیست، اکثر کشورهای جهان به دنبال منبعی جدید جهت جایگزین نمودن آن به‌جای منابع فسیلی هستند. در این‌میان، جایگزینی انرژی‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر با استقبال فراوانی روبرو شده‌است [۶]. پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که تا سال ۲۰۴۰ انرژی‌های تجدیدپذیر با تأمین ۳۴ درصد از کل انرژی موردنیاز دنیا به بزرگ‌ترین منبع انرژی تبدیل شوند. شکل ۱ این روند را نشان می‌دهد [۲۳].




شکل ۱. چشم‌انداز برنامه تولید جهانی برق تا سال ۲۰۴۰ [۲۳].

در حال حاضر، هزینه استفاده از انرژی فتوولتائیک به دلیل کاهش هزینه ماژول‌های PV، سیر نزولی دارد. به‌گونه‌ای که هزینه سرمایه‌گذاری در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک در سال‌های اخیر بیش از ۵۰ درصد کاهش یافته‌است [۲۴]. کاهش هزینه‌های جهانی در سیستم‌های فتوولتائیک، آن را از لحاظ اقتصادی به یک سرمایه‌گذاری رقابتی در درازمدت تبدیل کرده‌است. چشم‌انداز میزان هزینه برای سرمایه‌گذاری جهانی در منابع مختلف انرژی در سال ۲۰۲۵ نسبت به سال ۲۰۱۴ در شکل ۲ نشان داده‌شده‌است [۳۱].




شکل ۲. مقایسه هزینه سرمایه‌گذاری جهانی در منابع مختلف انرژی در سال ۲۰۲۵ و۲۰۱۴ [۳۱].

همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است، سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه، پتانسیل قابل‌توجهی را برای رقابت با اکثر منابع انرژی دارد. میانگین قیمت ماژول‌های فتوولتائیک بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ به حدود ۲۹ درصد کاهش یافت و به ۰/۴۱ دلار در هر وات رسید که این نرخ، پایین‌ترین سطح قیمت در طول تاریخ بود [۱۳]. همچنین در برخی اوقات، ممکن است هزینه تولید برق فتوولتائیک، قابل رقابت با هزینه استفاده از گاز و زغال‌سنگ باشد [۱۴]. این موضوع سبب شده‌است تاکنون تحقیقات زیادی پیرامون ارزیابی فنی و اقتصادی احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک ارائه گردد. همچنین در مقالات به بعضی از چالش‌های اقتصادی پیش‌رو در احداث این نیروگاه‌ها نیز اشاره شده است.

در مرجع [۱۱] نشان داده‌شده است که درآمد حاصل از سیستم‌های فتوولتائیک پشت‌بام منازل تحت تأثیر عوامل غیرقطعی متعددی می‌باشد. در این مطالعه حساسیت‌های سرمایه‌گذاری فتوولتائیک به صورت تغییرات بین دوره‌ای خورشید، عملکرد فنی سیستم فتوولتائیک و هزینه تعمیرات و خطرات بازار مثل نرخ آینده برق لحاظ گردیده‌است. نتایج نشان می‌دهد که خطر سرمایه‌گذاری فتوولتائیک در بعضی قسمت‌های ایالات متحده (مانند کالیفرنیا) تحت تأثیر فاکتورهای بازار می‌باشد و در برخی قسمت‌های دیگر (مانند فلوریدا) وابسته به عملکرد فنی سیستم‌های فتوولتائیک است. مرجع [۴] استفاده از سیستم فتوولتائیک در صنعت مخابرات برای تأمین برق مصرفی BTSها[1] مورد ارزیابی

1. Base Tranceiver Station

اقتصادی قرارگرفته است. برای این منظور سیستم فتوولتائیک طراحی شده با سایر منابع انرژی نظیر دیزل ژنراتور و شبکه برق سراسری مقایسه گردیده است. مرجع [۹] یک تحلیل مقایسه‌ای فنی و اقتصادی برای ارزیابی عملکرد ساختارهای مختلف نیروگاه‌های فتوولتائیک ارائه کرده است. این شیوه ارزیابی براساس یک رویکرد جامع است که تراز هزینه انرژی را با درنظرگرفتن هزینه نصب اجزای فتوولتائیک، هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری در طول عمر پروژه محاسبه می‌کند. شیوه ارائه شده عملکرد شش ساختار مختلف را در سه ظرفیت فرضی نیروگاه فتوولتائیک (۲۰۰MW، ۵۰MW و ۱MW) واقع در کلرادو ایالات متحده مقایسه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد اگرچه بعضی ساختارهای نیروگاه فتوولتائیک بازدهی بالاتری دارند، اما به‌دلیل استفاده از تجهیزات اضافه و تکنولوژی‌های گران‌قیمت، از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه نیستند.

در مرجع [۳] به بررسی انواع سیستم‌های سرمایش خورشیدی برای استفاده در منازل مسکونی پرداخته‌شده است. اجزای مختلف تمامی سیستم‌ها بر اساس فناوری روز انتخاب شده‌است. علاوه بر ارزیابی اقتصادی براساس پارامترهای مختلف بر روی تمامی سیستم‌ها، اثرات زیست‌محیطی آنها نیز از منظر ملی مورد توجه قرارگرفته است. هدف دیگر این مقاله، کمک به سیاست‌گذاران توسعه صنعت انرژی خورشیدی در کشور برای انتخاب فناوری مناسب سرمایه‌گذاری در حوزه سرمایش خورشیدی است. از این‌رو، مناطق جنوبی کشور که بیشترین بار سرمایشی و البته بیشترین پتانسیل استفاده از انرژی خورشید را در طول سال دارا می‌باشند برای بررسی انتخاب شده‌اند. مرجع [۲۹] به تعرفه شبکه برق جایگزین برای خانوارهایی که در پشت بام‌های منزلشان پنل‌های خورشیدی دارند، پرداخته و چگونگی سودآور بودن این پنل‌ها را برای خانوارها ارزیابی کرده‌است. مرجع [۱۶] نگرش‌های کلیدی برای محاسبه دقیق‌تر میزان بازگشت سرمایه در احداث نیروگاه فتوولتائیک را فراهم کرده و راهکارهایی را برای بهبود قابلیت اطمینان نیروگاه ارائه می‌دهد.

انرژی‌های باد و خورشید به عنوان اصلی‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر در مقابله با منابع سوخت‌های فسیلی می‌باشند. به‌دلیل هزینه‌های بالای این منابع تجدیدپذیر، بدون درنظر گرفتن اعتبارهای مالیاتی رقابت با منابع فسیلی امکان‌پذیر نمی‌باشد. بهبود عملکرد و یا کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌تواند تأثیر مهمی در قیمت انرژی‌های تجدیدپذیر گذاشته و در نتیجه زمینه رقابت با منابع سوخت‌های فسیلی را به‌وجود آورد. برای همین منظور در مرجع [۷] یک رابطه برای بازگشت سرمایه

نیروگاه تجدیدپذیر ارائه شـــده و محاســـبات مربوط به مبادلات مالی و موارد تجاری ممکن برای تکنولوژی‌های درج شـده در نیروگاه انجام گرفته‌اسـت. در مرجع [۱۰] یک ارزیابی اقتصـادی وسـیع از سـرمایه‌گذاری در سـیسـتم‌های فتوولتائیک مقیاس کوچک برای مصـرف‌کننده‌های خانوار فراهم شـده اسـت. این مطالعه با هدف تحلیل اقتصـادی سیسـتم‌های فتوولتائیک متصـل به شـبکه در برخی مناطق کشـور برزیل صـورت گرفته‌اسـت. براسـاس یافته‌های این مطالعه، میزان بقای اقتصـادی سـیسـتم‌های فتوولتائیک به مواردی از جمله تعرفه انرژی و نرخ تابش خورشید وابسته می‌باشد.

مرجع [۵] امکان‌سنجی احداث یک نیروگاه فتوولتائیک یک مگاوات متصـل به شـبکه به هدف تأمین بخشـی از مصـرف مورد نیاز شـهرک صـنعتی ایلام را توسـط آنالیز فنی- اقتصـادی در نرم‌افزار RetScreen انجام داده‌اسـت. نتایج این تحقیق در سـال ۱۳۹۵، احداث این نیروگاه با اسـتفاده از ۴۰۰۰ پنل خورشـیدی ثابت ۲۵۰ واتی، تولید سالانه ۱۶۲۸/۸ مگاوات ساعت و بازگشت سرمایه ۸/۸ سال را نشان می‌دهد. مرجع [۲۲] به تحلیل بهینه‌سـازی فنی و اقتصـادی و ارزیابی محیطی چرخه زندگی یک ریز شـبکه جزیره‌ای بر محور سیستم فتوولتائیک به منظور دستیابی به عملکرد برتر محیطی و اقتصادی می‌پردازد.

در مرجع [۳۰] اثرات منفی به‌کارگیری ظرفیت بالایی از نیروگاه‌های فتوولتائیک در شـبکه را مورد بررسـی قرارداده اسـت. در این روش با اسـتفاده از گروه‌بندی خوشـه‌ای سـیسـتم‌های فتوولتائیک بزرگ، محاســـبات شـــاخص ارزیابی خطر دقیق‌تر از متدهای ارزیابی خطر متعارف و ســـنتی انجام می‌گیرد. مرجع[۲] به بررسی تأثیر شرایط اقلیمی، بر مدیریت و تعیین ظرفیت بهینه هیبرید منابع تولید پراکنده، با هدف تأمین حداکثری بار به عنوان شـــاخص قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌های ســـرمایه‌گذاری و بهره‌برداری در مناطق مختلف کشـــور ایران می‌پردازد. در مرجع [۱۹] امکان‌ســـنجی فنی و اقتصـــادی اتصـال شـبکه توزیع ترکیبی AC و DC به منابع مقیاس بزرگ انرژی فتوولتائیک صـورت گرفته‌اسـت. برای این منظور در روابط مربوط به دیسپاچینگ اقتصادی، دو هدف کمینه کردن هزینه‌های عملیاتی و کمینه کردن کل تلفات توان درنظر گرفته شده است.

کشور ایران بر کمربند خورشیدی زمین قرار دارد و یک‌چهارم مساحت آن را کویرهایی با شدت تابش بیش از ۵$\frac{kWh}{m^2}$ تشکیل می‌دهد. با توجه به استانداردهای بین‌المللی، اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از ۳/۵$\frac{kWh}{m^2}$ باشد استفاده از مدل‌های انرژی خورشیدی نظیر سیستم‌های فتوولتائیک، اقتصادی و مقرون به صـرفه می‌باشـد. این درحالی‌اسـت که در بسـیاری از قسـمت‌های ایران انرژی تابشـی خورشـید

بالاتر از این میانگین بین‌المللی بوده و به‌طور متوسط انرژی تابشی خورشید بر سطح سرزمین ایران حدود $۴/۵\frac{kWh}{m^2}$ است. این موضوع سبب شده است که کشور ایران از پتانسیل بسیار خوبی جهت نصب نیروگاه‌های فتوولتائیک برخوردار بوده و تاکنون چندین نیروگاه بالای چندمگاوات در کشور به بهره‌برداری رسیده است. در سطح جهانی ارزیابی اقتصادی برای نیروگاه‌های فتوولتائیک معمولاً برای تعیین نوع سلول‌ها جهت بهینه‌سازی قیمت‌ها یا بهینه‌سازی در اندازه نیروگاه و یا تعیین قیمت انرژی و تعرفه‌های مالیاتی برای رقابت‌پذیری این نیروگاه‌ها با منابع انرژی فسیلی می‌باشد.

در ایران با توجه به متغیر بودن نرخ ارز بررسی اقتصادی احداث نیروگاه‌های خورشیدی از منظر مدت بازگشت سرمایه اهمیت پیدا می‌کند که اولاً احداث نیروگاه با توجه به قیمت ارز برای ساخت نیروگاه و همچنین قیمت انرژی آن، در نهایت سودآور خواهدبود یا خیر و ثانیاً بازگشت سرمایه به سرمایه‌گذار بعد از گذشت چند سال اتفاق می‌افتد. بنابراین لازم است به‌صورت تحلیلی به این سؤال پاسخ داده شود که با توجه به تحولات اقتصادی پیش‌آمده در سال ۱۳۹۷ و افزایش چند صددرصدی قیمت ارز (که باعث افزایش هزینه‌های احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک شده‌است)، آیا همچنان سرمایه‌گذاری در این صنعت سودآور خواهدبود؟ اگر پاسخ این سؤال خیر است چه راهکارهایی جهت احیای این صنعت وجود خواهد داشت؟ برای این منظور در این مقاله با بررسی نوسانات قیمت ارز بر درآمد نیروگاه‌های فتوولتائیک، احداث این نیروگاه‌ها مورد ارزیابی اقتصادی قرار گرفته است. از این‌رو با مدل‌سازی ریاضی یک نیروگاه فتوولتائیک در نرم‌افزار MATLAB و استخراج روابط اقتصادی، بر مبنای قیمت ارز در سال‌های ۹۵-۹۷ میزان بازگشت سرمایه در یک نیروگاه فتوولتائیک در شرایط مختلفی ارزیابی شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند سیگنال‌های مطلوبی را در اختیار سرمایه‌گذاران این بخش قرار دهد.

در این مقاله در بخش ۲ روابط لازم برای مدل‌سازی نیروگاه‌های فتوولتائیک معرفی می‌گردد. در بخش ۳ عوامل مؤثر بر ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های فتوولتائیک بررسی می‌شود. در بخش ۴ نتایج حاصل از ارزیابی اقتصادی احداث انواع نیروگاه‌های فتوولتائیک ارائه‌شده است. در انتها نتیجه‌گیری از مقاله در بخش ۵ ارائه می‌گردد.

## ۲. مدل‌سازی نیروگاه فتوولتائیک

در این بخش روابط لازم جهت بررسی عملکرد نیروگاه‌های فتوولتائیک ارائه‌شده‌است. پنل فتوولتائیک در شرایط استاندارد می‌تواند توان نامی خود را تولید کند. شرایط استاندارد شرایطی است که در آن تشعشع برابر با ۱ کیلووات بر مترمربع، دمای محیط ۲۵ درجه سانتی‌گراد و جرم هوا برابر با AM ۱/۵ باشد. اما در عمل سلول‌های فتوولتائیک تحت شرایط استاندارد کار نمی‌کنند و تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرند. عوامل متعددی بر بازده سیستم‌های فتوولتائیک تأثیرگذار است که مهم‌ترین آن‌ها میزان تشعشع، دما، رطوبت، ارتفاع از سطح دریا، وزش باد، گرد و غبار، زاویه تابش و... است. ماکزیمم توان پنل بر اساس معادله (۱) بیان می‌گردد [۲۵].

$$P_{max} = FF \times I_{SC}(G) \times V_{OC}(T_C) \quad (۱)$$

که در آن $P_{max}$، حداکثر توانی است که توسط سلول تولید می‌شود. همچنین $I_{sc}(G)$ و $V_{oc}(T_c)$ به ترتیب جریان اتصال کوتاه در تشعشع $G$ و ولتاژ مدار باز سلول در دمای سلول می‌باشند. $I_{sc}(G)$ و $V_{oc}(T_c)$ به ترتیب بر اساس معادله (۲) و (۳) محاسبه می‌گردند.

$$I_{SC}(G) = I_{SC,STC} \times \frac{G}{G_{STC}} \times (1 + \alpha(T_C - T_{STC})) \quad (۲)$$

$$V_{OC}(T_C) = V_{OC,STC} \times \frac{G}{G_{STC}} \times (1 + \beta(T_C - T_{STC})) \quad (۳)$$

در این روابط $G$ تشعشع خورشید و $G_{STC}$ میزان تشعشع در شرایط استاندارد بوده و مقدار آن برابر با $۱۰۰۰\frac{W}{m^2}$ است. $I_{SC,STC}$ و $V_{OC,STC}$ به ترتیب جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز ماژول در شرایط استاندارد می‌باشند. $T_C$ دمای سلول و $T_{STC}$ دما در شرایط استاندارد بوده و برابر با ۲۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. همچنین $\alpha$ و $\beta$ به ترتیب ضریب افزایش جریان و ضریب افت ولتاژ در اثر افزایش دما می‌باشند.

همچنین ضریب $FF$ که در معادله (۱) بیان شد، ضریب انباشت[1] بوده و جهت مشخص نمودن عملکرد سلول خورشیدی استفاده می‌شود. این ضریب دارای مقدار ثابتی برای هر سلول مشخص بوده و طبق معادله (۴) محاسبه می‌شود.

1. Fill Factor

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{OC,STC} \times I_{SC,STC}} \quad (۴)$$

در معادله (۴)، $V_{mp}$ و $I_{mp}$ به ترتیب ماکزیمم ولتاژ و ماکزیمم جریان در نقطه ماکزیمم توان خروجی هستند. اگر تشعشع ($G$) بر سطح ماژول فتوولتائیک عمود نباشد، یعنی زاویه تابش بر سطح ماژول، صفر نباشد، میزان تشعشع براساس زاویه تابش تغییر می‌کند و طبق رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$G' = G \times \cos(\theta) \quad (۵)$$

که در آن، $G'$ میزان تشعشع بر سطح ماژول در شرایطی است که زاویه تابش بر سطح آن صفر نباشد. $\theta$ زاویه بین یک اشعه از خورشید و خط عمود بر سطح پنل است. زاویه تابش را می‌توان با استفاده از معادله (۶)، محاسبه نمود.

$$\cos\theta = \cos\beta \cos\theta_z + \sin\beta \sin\theta_z \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (۶)$$

که در آن $\beta$ شیب صفحه پنل نسبت به سطح زمین (زاویه شیب[1])، $\theta_z$ زاویه سمت[2]، $\gamma$ زاویه پنل نسبت به محور جنوب (زاویه آزیموت[3]) و $\gamma_s$ زاویه آزیموت خورشید است. $\gamma_s$ از جهت جنوب اندازه‌گیری می‌شود و در بعدازظهرها مثبت و قبل‌ازظهرها منفی است.

زاویه سمت خورشید، از معادله (۷)، محاسبه می‌شود.

$$\cos\theta_z = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega \quad (۷)$$

که در آن $\delta$ زاویه انحراف[4]، $\varphi$ عرض جغرافیایی[5] و $\omega$ زاویه ساعت[6] است. زاویه انحراف و زاویه ساعت به ترتیب از معادلات (۸) و (۹) محاسبه می‌شوند.

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360n}{365}\right) \quad (۸)$$

$$\omega = 15(t - 12) \quad (۹)$$

1. Tilt Angle
2. Zenith Angle
3. Azimuth Angle
4. Deviation Angle
5. Latitude
6. Hour Angle

که در آن‌ها $n$، شماره روز سال براساس سال شمسی و $t$ زمان برحسب ساعت است.

## ۳. عوامل مؤثر در ارزیابی اقتصادی احداث مزارع فتوولتائیک

در این بخش جهت بررسی اقتصادی احداث نیروگاه فتوولتائیک، در ابتدا مشوق‌های دولت از جمله خرید برق تولیدی نیروگاه فتوولتائیک و همچنین بحث‌های مالیاتی مربوطه بررسی‌شده‌است. پس از آن به بررسی روابط اقتصادی به منظور محاسبه هزینه احداث نیروگاه با در نظرگرفتن بحث‌های مالی شامل مالیات، تورم و نرخ تنزیل جهت ارزیابی اقتصادی نیروگاه فتوولتائیک پرداخته‌شده است.

### ۳-۱. مشوق‌های دولت جهت احداث نیروگاه فتوولتائیک

از مهم‌ترین مشوق‌های دولت در راستای احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک می‌توان به خرید تضمینی ۲۰ ساله برق تولیدی این نیروگاه‌ها توسط وزارت نیرو اشاره نمود. از دیگر طرح‌های تشویقی دولت در زمینه احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر، بحث معافیت مالیاتی می‌باشد. در این خصوص شرکت‌های سرمایه‌گذاری بخش خصوصی بسته به این‌که در چه نقطه‌ای از کشور در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری کنند، می‌توانند بین ۵ تا ۱۳ سال از معافیت مالیاتی برخوردار شوند؛ به‌گونه‌ای که سرمایه‌گذاری در مناطق کمتر توسعه‌یافته از ۱۳ سال معافیت مالیاتی و سرمایه‌گذاری در مناطق دیگر از ۵ سال معافیت مالیاتی برخوردار می‌شود. دیگر مشوق در نظر گرفته‌شده جهت احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک، موضوع معافیت گمرکی جهت واردات لوازم موردنیاز نیروگاه‌ها می‌باشد. طبق این طرح اگر لوازم وارداتی از کیفیت و بهره‌وری بالایی برخوردار باشند، با تأیید وزارت صنایع از عوارض گمرکی معاف خواهند شد [۲۸].

### ۳-۲. نحوه محاسبه قیمت فروش برق خورشیدی

به‌منظور محاسبه درآمد نیروگاه حاصل از فروش برق تولیدی، از جدول ۱ که به تفکیک ظرفیت نیروگاه، نرخ پایه خرید تضمینی برق را در سال‌های ۹۵ تا ۹۷ ارائه‌داده، استفاده می‌کنیم [۲۸].

جدول ۱. نرخ خرید تضمینی برق در سال‌های ۹۵ تا ۹۷ [۲۸].

| نوع نیروگاه | قیمت هرکیلووات ساعت (ریال) |
|---|---|
| خورشیدی با ظرفیت بیشتر از ۱۰ مگاوات | ۴۰۰۰ |
| خورشیدی با ظرفیت بیشتر از ۱۰۰ کیلووات و کمتر از ۱۰ مگاوات | ۴۹۰۰ |
| خورشیدی با ظرفیت بیشتر از ۲۰ کیلووات و کمتر از ۱۰۰ کیلووات | ۷۰۰۰ |
| خورشیدی با ظرفیت کمتر از ۲۰ کیلووات | ۸۰۰۰ |

مأخذ: نتایج تحقیق

پس‌از مشخص‌شدن نرخ پایه جهت خرید برق، قیمت فروش هر کیلووات ساعت برق در سال nام، طبق معادله (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$\text{قیمت فروش برق در سال } n \text{ ام} = \text{ضریب تعدیل} \times \text{نرخ پایه} \qquad (۱۰)$$

معادله (۱۰) جهت محاسبه قیمت فروش برق در ۱۰ سال اول بهره‌برداری است. جهت محاسبه قیمت ۱۰ سال دوم بهره‌برداری، معادله (۱۰) در عدد ۰/۷ ضرب می‌شود.

ضریب تعدیل براساس تغییرات قیمت یورو و تغییرات شاخص قیمت خرده‌فروشی تغییرکرده و براساس معادله (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$\text{ضریب تعدیل} = \left(\frac{\text{متوسط نرخ رسمی تسعیر یورو در دوره یک‌ساله قبل از زمان پرداخت}}{\text{متوسط نرخ رسمی تسعیر یورو در دوره یک‌ساله قبل از زمان عقد قرداد}}\right)^{1-\alpha} \times \left(\frac{\text{شاخص قیمت خرده فروشی در ابتدای سال پرداخت}}{\text{شاخص قیمت خرده فروشی در ابتدای سال عقد قرارداد}}\right)^{\alpha} \qquad (۱۱)$$

ضریب $\alpha$ توسط فروشنده در زمان عقد قرارداد، عددی بین ۰/۱۵ تا ۰/۳ تعیین می‌شود. شاخص قیمت خرده‌فروشی به‌صورت ماهانه توسط بانک مرکزی اعلام می‌شود و از طریق مرجع [۲۷] قابل دریافت است. متوسط نرخ رسمی تسعیر یورو نیز توسط بانک مرکزی اعلام می‌شود و از طریق مرجع[۸] قابل‌محاسبه است. به‌طور مثال میزان ضریب تعدیل از سال ۸۸ تا ۹۷ بر مبنای داده‌های بانک مرکزی بر اساس $\alpha$ های مختلف محاسبه شده و در جدول ۲ بیان‌شده است.

جدول ۲. میزان ضریب تعدیل از سال ۸۸ تا ۹۷ بر اساس α های مختلف [۲۷].

| سال | α | | | | سال | α | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۰/۱۵ | ۰/۲ | ۰/۲۵ | ۰/۳ | | ۰/۱۵ | ۰/۲ | ۰/۲۵ | ۰/۳ |
| سال ۸۸ | ۱/۰۴۵۱۲ | ۱/۰۵۱۲۸ | ۱/۰۵۷۴۶ | ۱/۰۶۳۶۹ | سال ۹۳ | ۱/۱۸۲۷۸ | ۱/۱۸۲۲۹ | ۱/۱۸۱۸۰ | ۱/۱۸۱۳۱ |
| سال ۸۹ | ۰/۹۹۲۵۶ | ۰/۹۹۸۷۴ | ۱/۰۰۴۹۶ | ۱/۰۱۱۲۲ | سال ۹۴ | ۰/۹۹۲۳۷ | ۱/۰۰۱۷۸ | ۱/۰۱۱۲۷ | ۱/۰۲۰۸۶ |
| سال ۹۰ | ۱/۱۲۰۴۰ | ۱/۱۲۴۷۵ | ۱/۱۲۹۱۲ | ۱/۱۳۳۵۰ | سال ۹۵ | ۱/۰۵۹۷۱ | ۱/۰۶۰۵۶ | ۱/۰۶۱۴۱ | ۱/۰۶۲۲۶ |
| سال ۹۱ | ۱/۰۷۲۴۲ | ۱/۰۸۱۵۴ | ۱/۰۹۰۷۴ | ۱/۱۰۰۰۳ | سال ۹۶ | ۱/۱۵۳۵۳ | ۱/۱۵۱۸۸ | ۱/۱۵۰۲۴ | ۱/۱۴۸۶۰ |
| سال ۹۲ | ۱/۴۹۲۳۳ | ۱/۴۰۰۳۴ | ۱/۳۱۴۰۲ | ۱/۲۳۳۰۳ | سال ۹۷ | ۱/۲۱ | ۱/۲ | ۱/۱۹۹ | ۱/۱۹ |

مأخذ: نتایج تحقیق

خرید تضمینی برق فقط برای دوره ۲۰ ساله اول بهره‌برداری از نیروگاه فتوولتائیک می‌باشد. مابقی سال‌ها خرید برق به قیمت ۵۰۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت می‌باشد. طول عمر نیروگاه‌های فتوولتائیک معمولاً ۲۵ سال در نظر گرفته می‌شود.

## ۳-۳. نرخ تنزیل

در تجزیه و تحلیل‌های مالی برای حذف عامل زمان در محاسبات، ارزش جریانات نقدی که در سال‌های آتی کسب می‌گردد را با استفاده از ضریب تنزیل به ارزش روز تبدیل می‌کنند. از دیدگاه اقتصادی نرخ تنزیل، هزینه فرصت‌های از دست رفته وجوه سرمایه‌گذاری‌شده را نشان می‌دهد. به‌طور معمول نرخ تنزیل را معادل حداکثر نرخ سود بدون ریسک به‌اضافه چنددرصد برای پوشش ریسک سرمایه‌گذاری درنظر می‌گیرند. در این مقاله نرخ تنزیل ۵ درصد بیشتر از نرخ تورم در نظر گرفته شده است.

### ۳-٤. ارزش زمانی پول

هزینه فرصت سرمایه‌گذاری را برابر با حداکثر سودی که یک سرمایه‌گذار می‌تواند در یک بازار مطمئن و بدون ریسک، با استفاده از سرمایه خود کسب کند تعریف می‌کنند. براین‌اساس درصورتی که سرمایه‌ای در حال حاضر به ارزش فعلی (PV)[1] باشد، با فرض نرخ سود سالیانه تضمین‌شده $i$ درصد، می‌توان در شرایط بدون ریسک و در سال $n$ ام ارزش این سرمایه را به ارزش آتی (FV)[2] تبدیل نمود. معادله (۱۲) رابطه بین ارزش آتی و ارزش فعلی را نشان می‌دهد [۱۲].

$$FV = PV \times (1+i)^{n} \quad (۱۲)$$

حال شرایطی را فرض کنید که مطابق با آن پیش‌بینی می‌گردد که در سال n ام، سرمایه‌گذار رقمی با ارزش آتی (FV) به‌دست‌آورد. برای محاسبه ارزش فعلی آن باید از معادله (۱۳) استفاده نمود که عکس معادله (۱۲) می‌باشد [۱].

$$PV = FV \times (1+i)^{-n} \quad (۱۳)$$

### ۳-۵. ارزش خالص فعلی (NPV[3])

ارزش خالص فعلی، روشی است که به‌وسیله آن سودمندبودن یا زیان‌ده بودن طرح بررسی می‌شود. در این روش درآمد یا هزینه در زمان وقوع به نرخ روز تنزیل می‌شود. یعنی ارزش زمان انجام هزینه یا به‌دست‌آوردن درآمد نیز لحاظ می‌شود. در واقع ابتدا تمامی هزینه‌ها و درآمدها بسته به این‌که در چه زمانی به وقوع خواهند پیوست با نرخ بهره مناسب تنزیل می‌شوند، سپس هزینه‌ها از درآمدها کاسته می‌شود. اگر ارزش خالص فعلی عددی مثبت باشد طرح سودآور است و در غیر این صورت طرح زیان‌ده است. اگر عمر پروژه و افق زمانی تصمیم‌گیری‌ها با یکدیگر برابر باشند، پروژه‌ای انتخاب می‌گردد که دارای بیشترین ارزش خالص فعلی باشد [۱۲، ۲۶].

1. Present Value
2. Future Value
3. Net Present Value

## ۳-۶. محاسبه هزینه‌های احداث نیروگاه

هزینه احداث و تعمیر و نگهداری نیروگاه فتوولتائیک در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ در جدول ۳ بیان شده است [۱۷، ۱۸].

جدول ۳. هزینه احداث و تعمیر و نگهداری نیروگاه فتوولتائیک در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ [۱۷، ۱۸].

| سال | نیروگاه ۱۰ مگاوات | |
|---|---|---|
| | هزینه احداث ($/w DC) | هزینه تعمیر و نگهداری ($/kw-yr) |
| ۲۰۱۶ | ۱/۷۳ | ۱۵/۴ |
| ۲۰۱۷ | ۱/۲۶ | ۱۵/۴ |

## ۳-۷. میزان مالیات، تورم، قیمت دلار

میزان مالیات بر درآمد فروش برق در سال‌های ۹۵ تا ۹۷، ۹ درصد می‌باشد [۱۵]. قیمت دلار در ابتدای سال‌های ۹۵ تا ۹۷ در جدول ۴ بیان‌شده‌است [۸، ۲۱].

جدول ۴. قیمت دلار و میزان تورم در سال‌های ۹۵ تا ۹۷ [۸، ۲۱].

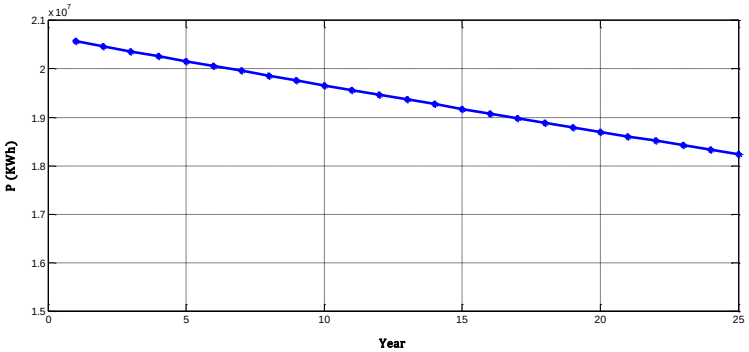
| سال | قیمت ارز مبادله‌ای (ریال) | قیمت ارز آزاد (ریال) |
|---|---|---|
| ۹۵ | ۳۱۰۷ | ۳۶۵۰ |
| ۹۶ | ۳۲۹۵ | ۴۸۰۰ |
| ۹۷ | ۴۲۰۰ | ۸۰۷۴ |

## ۳-۸. اطلاعات فنی نیروگاه

دوران بهره‌برداری از نیروگاه ۲۵ سال درنظر گرفته شده است. میزان توان تولیدی نیروگاه فتوولتائیک به دلیل استهلاک و فرسودگی نیروگاه، در هر سال ۰/۵ درصد کاهش می‌یابد. درنهایت، هزینه اسقاط نیروگاه و هزینه بیمه سالانه نیروگاه به ترتیب برابر با ۵ درصد و ۰/۲۵ درصد از هزینه سرمایه‌گذاری اولیه درنظر گرفته شده است. همچنین از درآمد ناشی از عدم تولید گازهای گلخانه‌ای صرف‌نظر شده است.

## ٤. نتایج شبیه‌سازی

با توجه به شرایط اقلیمی استان کرمان، این استان منطقه‌ای با پتانسیل تابشی بالا در کشور ایران است که می‌توان مبحث انرژی‌های خورشیدی را در آنجا تحقق بخشید. استان کرمان به دلیل قرارگیری در موقعیت کویری، تعداد روزهای آفتابی بیشتری را نسبت به بیشتر مناطق کشور دارا می‌باشد. این موضوع سبب شده تاکنون بیش از ۲۰ مگاوات نیروگاه خورشیدی در استان کرمان به بهره‌برداری برسد و همچنین، چندین نیروگاه دیگر نیز در حال احداث باشد [۲۰]. برای این منظور بر مبنای اطلاعات سالیانه تابش، دما و سرعت باد در شهر کرمان نیروگاه فتوولتائیک پیاده‌سازی شده است. بر اساس اطلاعات هواشناسی شهر کرمان و بر اساس روابط (۱)–(۹) و با فرض کاهش ۵ درصد تولید سالیانه میزان تولید نیروگاه فتوولتائیک در طول ۲۵ سال عمر مفید نیروگاه به‌دست آمده و نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است.




شکل۳. میزان تولید نیروگاه فتوولتائیک ۱۰ مگاوات در طول ۲۵ سال

نتایج نشان می‌دهد بیشترین تولید نیروگاه در سال اول و برابر با ۲۰/۵۷ گیگاوات ساعت بوده است. در ادامه به ارزیابی اقتصادی احداث مزارع فتوولتائیک در منطقه کرمان پرداخته شده است. در این راستا، زمان بازگشت سرمایه نیروگاه فتوولتائیک محاسبه شده تا بهترین شرایط جهت سرمایه‌گذاری در این زمینه معرفی گردد. از آنجایی‌که میزان ضریب تعدیل در هر سال متفاوت است و امکان محاسبه آن برای سال‌های آینده وجود ندارد، میانگین ضریب تعدیل طی ۱۰ سال، یعنی از سال ۸۸ تا ۹۷ محاسبه شده و در شبیه‌سازی‌ها استفاده شده است. همچنین به‌منظور بررسی تمام حالات احتمالی پیش‌آمده

طی ۲۵ سال زمان بهره‌برداری نیروگاه، ۴ سناریو جهت سرمایه‌گذاری در سال‌های ۹۵ تا ۹۷ تعریف شده است.

سناریوی اول: نرخ تورم برابر با صفر درصد و به‌تبع آن نرخ تنزیل برابر با ۵ درصد درنظر گرفته می‌شود.

سناریوی دوم: نرخ تورم برابر با ۱۰ درصد و به‌تبع آن نرخ تنزیل ۱۵ درصد درنظر گرفته می‌شود.

سناریوی سوم: نرخ تورم برابر با ۱۵ درصد و به‌تبع آن نرخ تنزیل ۲۰ درصد درنظر گرفته می‌شود.

سناریوی چهارم : نرخ تورم برابر با ۲۰ درصد و به‌تبع آن نرخ تنزیل ۲۵ درصد درنظر گرفته می‌شود.

درادامه به منظور ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه، دو حالت معافیت مالیاتی پنج سال و سیزده سال را در نظر گرفته و چهار سناریوی بیان شده برای این دو حالت معافیت مالیاتی موردبررسی قرار می‌گیرد.

## ٤-١. ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه فتولتائیک با درنظر گرفتن پنج سال معافیت مالیاتی

جدول ۵ نتایج ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه فتوولتائیک ثابت را در شرایطی که از ۵ سال معافیت مالیاتی برخوردار باشد، برای قیمت‌های مختلف ارز در سال‌های ۹۵ تا ۹۷ ارائه می‌دهد.

جدول ۵. نتایج ارزیابی اقتصادی نیروگاه فتوولتائیک در حالت ۵ سال معاف از مالیات.

| سال | نوع ارز | تورم (درصد) | دوره بازگشت سرمایه (سال) | ارزش خالص فعلی (تومان) |
|---|---|---|---|---|
| ۹۵ | آزاد | صفر | ۴/۷۵۲ | ۶۲۵۶۰۹۴۳۸۰۵/۷۱۲۷ |
| | | ۱۰ | ۷/۵۲۴ | ۱۰۱۶۳۸۶۸۶۵۴/۵۱۳۸ |
| | | ۱۵ | غیر اقتصادی | -۲۲۰۹۵۱۱۲۶۲/۲۸۷۵۵ |
| | | ۲۰ | غیر اقتصادی | -۱۰۶۰۰۶۴۲۸۴۶/۶۲۸۶ |
| | مبادله‌ای | صفر | ۳/۹۱۹ | ۷۰۴۶۸۲۳۴۰۱۹/۳۰۲۹ |
| | | ۱۰ | ۵/۴۵۱ | ۱۸۰۰۳۵۸۵۹۷۳/۹۸۱۶ |
| | | ۱۵ | ۷/۱۷۲ | ۵۵۹۸۳۶۰۴۷۳/۲۸۶۷۶ |
| | | ۲۰ | غیر اقتصادی | -۲۸۲۳۳۷۲۹۳۸/۹۹۷۱۳ |
| ۹۶ | آزاد | صفر | ۶/۸۹۴ | ۴۵۸۱۴۳۸۰۷۳۸/۲۵۶۴ |
| | | ۱۰ | غیر اقتصادی | -۶۴۳۹۵۸۴۲۳۲/۰۲۰۴ |
| | | ۱۵ | غیر اقتصادی | -۱۸۷۴۵۵۱۹۵۴۲/۰۴۹ |
| | | ۲۰ | غیر اقتصادی | -۲۷۰۷۱۸۴۰۶۲۵/۲۲۲۱ |

| سال | نوع ارز | تورم (درصد) | دوره بازگشت سرمایه (سال) | ارزش خالص فعلی (تومان) |
|---|---|---|---|---|
| | مبادله‌ای | صفر | ۴/۲۰۳ | ۶۷۷۳۰۵۳۵۰۱۳/۴۹۲۷ |
| | | ۱۰ | ۶/۰۷۲ | ۱۵۲۸۹۲۸۲۳۷۱/۶۶۱۳ |
| | | ۱۵ | ۱۰/۱۵۱ | ۲۸۹۵۰۸۲۵۹۷/۹۸۶۶۳ |
| | | ۲۰ | غیر اقتصادی | -۵۵۱۶۰۵۵۷۰۶/۲۸۰۲۴ |
| ۹۷ | آزاد | صفر | ۲۱/۱۰۴ | ۷۸۴۷۵۱۲۷۵/۵۳۴۸۷۱ |
| | | ۱۰ | غیر اقتصادی | -۵۲۶۴۰۴۹۶۶۱۱/۹۴۱۶ |
| | | ۱۵ | غیر اقتصادی | -۶۴۷۵۸۷۵۹۹۷۲/۶۸۹۵ |
| | | ۲۰ | غیر اقتصادی | -۷۲۹۰۴۷۳۸۷۹۱/۷۴۳ |
| | مبادله‌ای | صفر | ۵/۷۲۰ | ۵۴۵۵۱۷۱۷۹۹۰/۸۴۲۳ |
| | | ۱۰ | ۱۱/۵۳۴ | ۲۲۲۳۰۸۶۸۳۹/۲۱۴۸۲ |
| | | ۱۵ | غیر اقتصادی | -۱۰۱۱۸۰۳۶۹۶۱/۳۰۳۹ |
| | | ۲۰ | غیر اقتصادی | -۱۸۴۷۸۱۷۲۲۱۸/۹۹۹۴ |

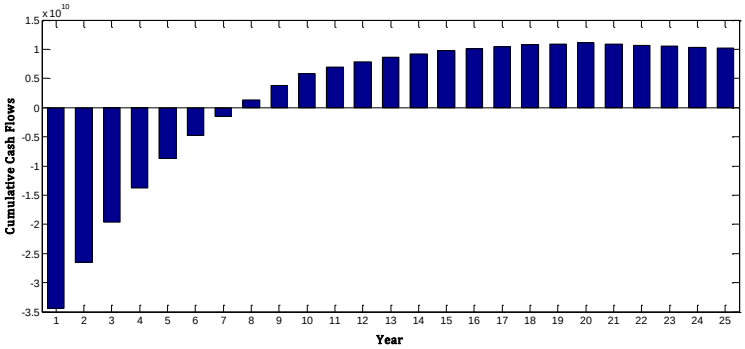
مأخذ: نتایج تحقیق

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد سرمایه‌گذارانی که در سال ۹۵، با استفاده از ارز آزاد، نیروگاه فتوولتائیک احداث نموده‌اند، در صورت افزایش تورم تا حدود ۱۰ درصد در بازه ۲۵ سال عمر مفید نیروگاه، دچار مشکل نخواهند شد. سرمایه‌گذارانی که در سال ۹۵، با استفاده از ارز مبادله‌ای، نیروگاه فتوولتائیک احداث نموده‌اند، در صورت افزایش تورم تا حدود ۱۵ درصد در بازه ۲۵ سال عمر مفید نیروگاه، دچار مشکل نخواهند شد. همچنین زمان بازگشت سرمایه در مقایسه با ارز آزاد کاهش قابل‌توجهی یافته‌است. به‌طور مثال در تورم ۱۰ درصد در صورت تخصیص ارز مبادله‌ای بازگشت سرمایه حدود ۲ سال زودتر اتفاق خواهد افتاد. نحوه بازگشت سرمایه در تورم ۱۰ درصد با دو ارز آزاد و مبادله‌ای در سال ۹۵ به‌صورت نمودار جریانات نقدی تجمعی به‌ترتیب در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.

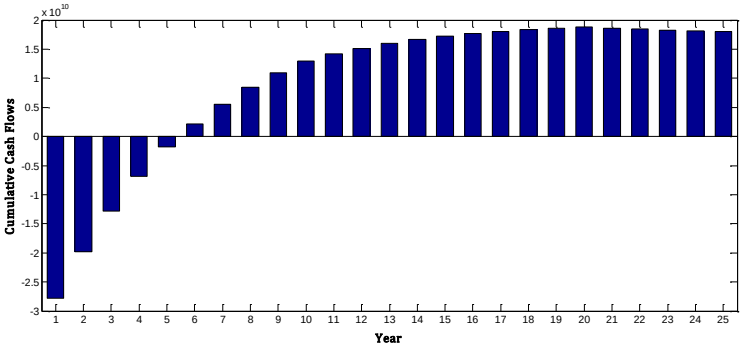
در سال ۹۶، با استفاده از ارز آزاد سرمایه‌گذاری در زمینه احداث مزارع فتوولتائیک ثابت در تورم‌های حدود ۱۰ درصد و بیشتر اقتصادی نبوده و پروژه بازگشت سرمایه نخواهد داشت. در این حالت ارزش خالص فعلی پروژه منفی می‌باشد. این در حالی است که سرمایه‌گذاری در سال ۹۵ با استفاده از

ارز آزاد در صورت افزایش تورم تا حدود ۱۰ درصد اقتصادی بوده‌است. دلیل این افت شدید اقتصادی در سال ۹۶، افزایش حدود ۳۱/۵ درصدی قیمت ارز آزاد نسبت به سال ۹۵ می‌باشد. سرمایه‌گذارانی که در سال ۹۶، با استفاده از ارز مبادله‌ای، نیروگاه فتوولتائیک احداث نموده‌اند، در صورت افزایش تورم تا حدود ۱۵ درصد در بازه ۲۵ سال عمر مفید نیروگاه، دچار مشکل نخواهندشد و پروژه آن‌ها سودآور خواهد بود و فقط دوره بازگشت سرمایه آن‌ها افزایش و سود آن‌ها کاهش خواهد یافت. نمودار جریانات نقدی تجمعی در طول ۲۵ سال عمر نیروگاه فتوولتائیک در سال ۹۶، با تورم ۱۰ درصد و با استفاده از ارز آزاد در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل ۶ مشاهده می‌شود در طول ۲۵ سال جریانات نقدی تجمعی منفی بوده و لذا این پروژه به هیچ عنوان اقتصادی نخواهد بود.

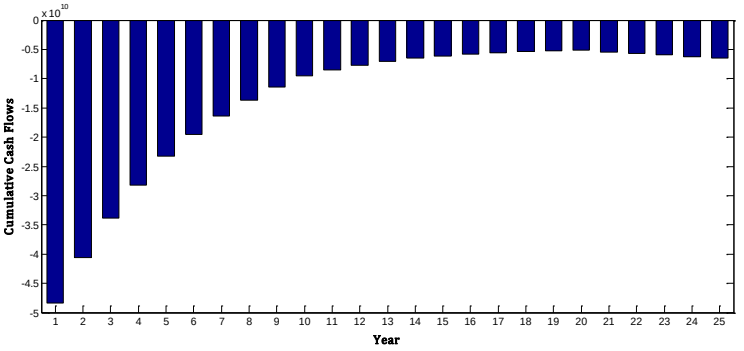
در سال ۹۷، با استفاده از ارز آزاد سرمایه‌گذاری در زمینه احداث مزارع فتوولتائیک در صورت وجود هر میزان تورمی اقتصادی نخواهد بود و پروژه بازگشت سرمایه نخواهدداشت. دلیل این افت شدید اقتصادی در سال ۹۷، افزایش حدود ۱۲۱ درصدی و ۶۸ درصدی قیمت ارز آزاد به ترتیب نسبت به سال۹۵ و ۹۶ می‌باشد. با وجود افزایش شدید قیمت ارز در سال ۹۷، مشوق‌های دولتی در راستای احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک بهبود نیافته‌است و حتی برخی از مشوق‌ها نظیر تخصیص ارز دولتی از سبد حمایتی این صنعت حذف شده است. درصورت تخصیص ارز مبادله‌ای جهت احداث نیروگاه فتوولتائیک، انجام این پروژه در صورت وجود تورم تا حدود ۱۰ درصد اقتصادی می‌باشد و برای تورم‌های بیشتر غیراقتصادی می‌باشد.




شکل ۴. جریانات نقدی تجمعی در طول ۲۵ سال عمر نیروگاه فتوولتائیک
در حالت ۵ سال معاف از مالیات، سال ۹۵، تورم ۱۰ درصد و ارز آزاد.




شکل ۵. جریانات نقدی تجمعی در طول ۲۵ سال عمر نیروگاه فتوولتائیک
در حالت ۵ سال معاف از مالیات، سال ۹۵، تورم ۱۰ درصد و ارز مبادله‌ای.




شکل ۶. جریانات نقدی تجمعی در طول ۲۵ سال عمر نیروگاه فتوولتائیک
در حالت ۵ سال معاف از مالیات، سال ۹۶، تورم ۱۰ درصد و ارز آزاد.

## ٤-۲. ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه فتوولتائیک با درنظر گرفتن سیزده سال معافیت مالیاتی

جدول ۶ نتایج ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه فتوولتائیک ثابت را در شرایطی که از ۱۳ سال معافیت مالیاتی برخوردار باشد، برای قیمت‌های مختلف ارز در سال‌های ۹۵ تا ۹۷ نشان می‌دهند.

مقایسه نتایج جداول ۵ و ۶ نشان می‌دهد با افزایش دوره معافیت مالیاتی از ۵ سال به ۱۳ سال دوره بازگشت سرمایه در مواردی کاهش داشته است. به‌طور مثال در سال ۹۵ در صورت استفاده از ارز آزاد و تورم ۱۰ درصد، در حالت ۱۳ سال معاف از مالیات نسبت به حالت ۵ سال معاف از مالیات دوره بازگشت سرمایه به میزان ۳/۷ ماه کاهش و ارزش خالص فعلی حدود ۲۰ درصد افزایش یافته است.

همچنین نتایج نشـــان می‌دهد در ســـال ۹۶ و ۹۷، در حالت ۱۳ ســـال معاف از مالیات نیز، در صـــورت استفاده از ارز آزاد جهت احداث نیروگاه فتوولتائیک، باز هم انجام پروژه غیراقتصادی می‌باشد.

جدول ۶. نتایج ارزیابی اقتصادی نیروگاه فتوولتائیک در حالت ۱۳ سال معاف از مالیات.

| سال | نوع ارز | تورم (درصد) | دوره بازگشت سرمایه (سال) | ارزش خالص فعلی (تومان) |
|---|---|---|---|---|
| ۹۵ | آزاد | صفر | ۴/۷۵۲ | ۶۷۰۳۵۴۲۵۲۲۸/۳۴۸۸ |
| | | ۱۰ | ۷/۲۱۵ | ۱۲۱۹۰۰۱۰۴۷۷/۱۸۵ |
| | | ۱۵ | ۱۳/۱۱۹ | ۷۹۳۰۳۰۶۲۰/۲۰۳۴۱۱ |
| | | ۲۰ | غیراقتصادی | -۹۵۸۸۶۵۷۱۳۳/۴۳۹۶۶ |
| | مبادله‌ای | صفر | ۳/۹۱۹ | ۷۴۹۴۲۷۱۵۴۴۱/۹۳۹ |
| | | ۱۰ | ۵/۴۰۷ | ۲۰۰۲۹۷۲۷۷۹۶/۶۵۲۸ |
| | | ۱۵ | ۶/۸۹۹ | ۷۰۱۴۸۴۱۱۱۵/۳۷۰۹ |
| | | ۲۰ | غیراقتصادی | -۱۸۱۱۳۸۷۲۲۵/۸۰۸۱۵ |
| ۹۶ | آزاد | صفر | ۶/۷۰۳ | ۵۰۲۸۸۸۶۲۱۶۰/۸۹۲۵ |
| | | ۱۰ | غیراقتصادی | -۴۴۱۳۴۴۲۴۰۹/۳۴۹۲۱ |
| | | ۱۵ | غیراقتصادی | -۱۷۳۲۹۰۳۸۸۹۹/۹۶۴۸ |
| | | ۲۰ | غیراقتصادی | -۲۶۰۵۹۸۵۴۹۱۲/۰۳۳۱ |
| | مبادله‌ای | صفر | ۴/۲۰۳ | ۷۲۲۰۵۰۱۶۴۳۶/۱۲۸۸ |
| | | ۱۰ | ۵/۹۵۷ | ۱۷۳۱۵۴۲۴۱۹۴/۳۳۲۵ |
| | | ۱۵ | ۷/۹۹۳ | ۴۳۱۱۵۶۳۲۴۰/۰۷۰۷۷ |
| | | ۲۰ | غیراقتصادی | -۴۵۰۴۰۶۹۹۹۳/۰۹۱۲۵ |
| ۹۷ | آزاد | صفر | ۱۷/۶۳۹ | ۳۶۸۹۷۳۰۱۴۷/۱۰۱۲۲ |
| | | ۱۰ | غیراقتصادی | -۵۰۶۱۴۳۵۴۷۸۹/۲۷۰۴ |
| | | ۱۵ | غیراقتصادی | -۶۳۳۴۲۲۷۹۳۳۰/۶۰۵۳ |
| | | ۲۰ | غیراقتصادی | -۷۱۸۹۲۷۵۳۰۷۸/۵۵۴ |

| سال | نوع ارز | تورم (درصد) | دوره بازگشت سرمایه (سال) | ارزش خالص فعلی (تومان) |
|---|---|---|---|---|
| | مبادله‌ای | صفر | ۵/۶۵۰ | ۵۹۰۲۶۱۹۹۴۱۳/۴۷۸۴ |
| | | ۱۰ | ۹/۹۳۸ | ۴۲۴۹۲۲۸۶۶۱/۸۸۶۰۱ |
| | | ۱۵ | غیراقتصادی | -۸۷۰۱۵۵۶۳۱۹/۲۱۹۷۵ |
| | | ۲۰ | غیراقتصادی | -۱۷۴۶۶۱۸۶۵۰۵/۸۱۰۴ |

مأخذ: نتایج تحقیق

## ۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله به ارزیابی اقتصادی انواع نیروگاه‌های فتوولتائیک تحت شرایط گوناگون پرداخته شده و میزان تورم، نرخ تسعیر یورو، نرخ تنزیل و... بر مدت زمان بازگشت سرمایه و ارزش خالص فعلی پروژه بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد نوسانات ارز به شدت بر سودآوری نیروگاه‌های فتوولتائیک اثرگذار بوده و با وجود پتانسیل بالای کشور ایران در دسترسی به انرژی خورشیدی، افزایش شدید قیمت ارز در سال ۱۳۹۷ تأثیر منفی شدیدی در صرفه اقتصادی احداث نیروگاه فتوولتائیک خواهد گذاشت. نتایج نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۷ در صورت استفاده از ارز آزاد جهت تأمین لوازم احداث نیروگاه خورشیدی، احداث نیروگاه فتوولتائیک جنبه اقتصادی نخواهد داشت. در این شرایط حتی تخفیف‌های مالیاتی نیز کمکی به اقتصادی نمودن این صنعت نخواهد نمود. تنها در شرایطی که ارز مبادله‌ای به نیروگاه‌های فتوولتائیک تعلق گیرد می‌توان جنبه اقتصادی را به این صنعت بازگرداند.

همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد علاوه بر نوع ارز اختصاص یافته جهت تأمین لوازم احداث نیروگاه خورشیدی، نرخ تورم نیز به شدت صرفه اقتصادی احداث این نیروگاه‌ها را با چالش مواجه خواهدکرد و حتی با ارز مبادله‌ای، نرخ تورم بالای ۱۰ درصد منجر به غیراقتصادی بودن پروژه احداث نیروگاه فتوولتائیک خواهد شد. بنابراین با استناد به نتایج این مقاله، بخاطر وجود نرخ تورم نسبتاً بالا در چند سال اخیر، لازم است در وهله اول ارز مبادله‌ای به سرمایه‌گذاران صنعت نیروگاه‌های فتوولتائیک تعلق گیرد و در مرحله بعد به عنوان مشوق، با بالا بردن قیمت خرید برق تولیدی این نیروگاه‌ها و همچنین درنظر گرفتن تخفیف‌های مالیاتی، احداث این نیروگاه‌ها همچنان جنبه اقتصادی خود را حفظ کرده و سودآوری برای سرمایه‌گذاران این عرصه به‌دنبال داشته باشد.

## منابع

[۱] اسکونژاد، محمدمهدی (۱۳۷۵). "اقتصاد مهندسی یا ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی" (مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر).

[۲] رجائیان، عدنان؛ رجائیان، عرفان و روح الامین زینلی داورانی (۲۰۱۹). "تأثیر شـــرایط اقلیمی بر مدیریت و سرمایه‌گذاری احداث منابع تولید پراکنده هیبریدی مستقل از شبکه"، *هفتمین کنفرانس منطقه‌ای سیرد*.

[۳] زاهد، محمدعلی؛ دشـتکی حصـاری، هادی و محمد علی قاضـی‌زاده (۱۳۹۵). "ارزیابی اقتصـادی و اثرات محیط زیستی- اجتماعی سرمایش خورشیدی در مناطق جنوبی ایران"، *نشریه انرژی ایران*/ دوره ۱۹ شماره ۱ بهار ۱۳۹۵.

[۴] شـــیرازی، معین؛ خاوری، فرشـــاد. (۱۳۹۳). "ارزیابی تأمین برق ایســـتگاه‌های آنتن تلفن همراه با استفاده از سیستم فتوولتائیک"، *نشریه انرژی ایران*/ دوره ۱۷ شماره ۲ تابستان ۱۳۹۳.

[۵] فرهادیان، مونا؛ نوراللهی، مجتبی و امین مرادخانی (۱۳۹۷). "ارزیابی فنی و اقتصـــادی نیروگاه ۱مگاواتی: مطالعه موردی شهرک صنعتی ششدار"، *نشریه انرژی ایران*/ دوره ۲۱ شماره.

[6] Abu-Rub, Haitham, Mariusz Malinowski and Kamal Al-Haddad. (2014). "Power electronics for renewable energy systems, transportation and industrial applications" (John Wiley & Sons).

[7] Bakhshi, Roozbeh and Peter A Sandborn. (2017). "A return on investment model for the implementation of new technologies on wind turbines", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, No. 9, pp. 284-92.

[8] Central Bank of the Islamic Republic of Iran, Available from: http://www.cbi.ir/exratesadv/exratesadv_fa.aspx.

[9] De Prada-Gil, Mikel, Jose Luis Domínguez-García, Lluís Trilla, and Oriol Gomis-Bellmunt. (2016). "Technical and economic comparison of various electrical collection grid configurations for large photovoltaic power plants", *IET renewable power generation*, No. 11, pp. 226-36.

[10] Dranka, Geremi Gilson, Jose Donizetti de Lima, Rafael da Costa Bonotto, and Raphael Henrique Soares Machado. (2018). "Economic and Risk Analysis of Small-Scale PV Systems in Brazil", *IEEE Latin America Transactions*, No. 16, pp. 2530-38.

[11] Drury, Easan, Thomas Jenkin, Dirk Jordan, and Robert Margolis. (2013). "Photovoltaic investment risk and uncertainty for residential customers", *IEEE Journal of Photovoltaics*, No. 4, pp. 278-84.

[12] Duffie John A. and William A. Beckman. (2013). "Solar engineering of thermal processes" (John Wiley & Sons).

[13] Eckhart M., El-Ashry M., Hales D., Hamilton K. (2017) "Global Status Report", *GTM Research*, Paris, April 2017, pp. 66-74.

[14] EIA US. (2013). “Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants”, *US Energy Inf.* Adm, 524.
[15] Fees and Electricity Sale Laws, Available from : http://tariff.moe.gov.ir.
[16] Formica, Tyler J, Hassan Abbas Khan, and Michael G Pecht. (2017). “The effect of inverter failures on the return on investment of solar photovoltaic systems”, *IEEE Access*, No. 5, pp. 21336-43.
[17] Fu R., Chung D., Lowder T., Feldman D., Ardani K., Margolis R., U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 (2016). *National Renewable Energy Laboratory*, pp. 1-48.
[18] Fu R., Feldman D., Margolis R., Woodhouse M., Ardani K., U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 (2017), N*ational Renewable Energy Laboratory*, pp. 1-73.
[19] Gao Shuang, Hongjie Jia and Chris Marnay. (2019). “Techno-Economic Evaluation of Mixed AC and DC Power Distribution Network for Integrating Large-Scale Photovoltaic Power Generation”, *IEEE Access*, No.7, pp. 105019-29.
[20] Hassani N., Rajabi D. (2017). Privileged position of Kerman in the Solar Trapeze of the Country, Available from: http://www.irna.ir/fa/News/82538983.
[21] Inflation Rate and Price Index of Consumer Goods and Services, Available from : https://www.cbi.ir/Inflation/Inflation_FA.aspx.
[22] Mahmud MA Parvez, Nazmul Huda, Shahjadi Hisan Farjana and Candace Lang. (2019). “Techno-Economic Operation and Environmental Life-Cycle Assessment of a Solar PV-Driven Islanded Microgrid”, *IEEE Access*, No.7, pp. 111828-39.
[23] Malik AQ. (2012). “Potential and Use of Bioenergy in The Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) Countries–A Review”, *Sustainable Energy*: Recent Studies: 19.
[24] Morgera A. Fraleoni and Vanni Lughi. (2015). "Frontiers of Photovoltaic Technology: A Review." *In 2015 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, pp. 115-21.
[25] Ongun Ilker and Engin Özdemir. (2013). “Weighted Efficiency Measurement of PV Inverters: Introducing Hizmir”, *Journal of optoelectronics and advanced materials*, No. 15, pp. 54-550.
[26] Orioli Aldo and Alessandra Di Gangi. (2015). “The Recent Change in the Italian policies for Photovoltaics: Effects on the Payback Period and levelized cost of Electricity of Grid-connected Photovoltaic Systems Installed in urban Contexts”, *Energy*, 93: 1989-2005.
[27] Price index for consumer goods and services, Available from: https://www.cbi.ir/category/1611.aspx.
[28] Renewable Energy Capacity in Iran, Available from: http://www.satba.gov.ir/.

[29] Sæle Hanne and Bernt A. Bremdal. (2017). "Economic Evaluation of the Grid Tariff for Households with Solar Power Installed", *CIRED-Open Access Proceedings Journal*, pp. 2707-10.
[30] Wang Lei, Minyu Yuan, Fan Zhang, Xuli Wang, Lei Dai, and Feng Zhao (2019). "Risk Assessment of Distribution Networks Integrating Large-scale Distributed Photovoltaics", *IEEE Access*, No. 7, pp. 59653-64.
[31] Z. Amin A. (2014), Renewable Power Generation Costs. International Renewable Energy Agency, pp. 12-149. Available at: www.irena.org'.