فصلنامه علمی-پژوهشی
جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای
سال یازدهم، شماره ۲، بهار ۱۴۰۰
صص: ۶۹۲-۶۷۹

# امکان‌سنجی اقتصادی سیستم برق خورشیدی (فتوولتائیک) متصل به شبکه در کاربری مسکونی ( مطالعه موردی: مجتمع مسکونی در منطقه ۲ تهران)

**سیده فاطمه میرغیاثی**

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت پروژه و ساخت، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

**میلاد قنبری**[۱]

استادیار گروه مهندسی عمران، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۹/۱ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۳/۱۰

## چکیده

در اکثر نقاط جهان، منابع نامحدود و انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل محدودیت سوخت‌های فسیلی و تأکید مقررات بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد استقبال قرار گرفته است. انرژی خورشیدی به علت سهولت در دسترسی و تبدیل شدن به انرژی الکتریکی از مطلوبیت بیشتری برخوردار است. مسأله پیش‌رو، مباحث مربوط به هزینه‌ها و کم‌رغبتی مردم و فعالان بخش مسکن به بهره‌مندی از انرژی‌های تجدیدپذیر است و نگرانی آن است که اقتصاد کشور و قیمت حامل‌های انرژی، سبب ایجاد مزیت نسبی برای افراد نخواهد بود و دولت بایستی به سوی سیاست‌های تشویقی حرکت و اقدامات لازم را به عمل آورد. بدین جهت، هدف این تحقیق، برآورد هزینه‌های اجرایی سیستم برق خورشیدی به منظور تحلیل اقتصادی و ایجاد رغبت در سرمایه‌گذاری است.در تحقیق توصیفی – تحلیلی پیشرو، ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه در یک مجتمع مسکونی واقع در منطقه ۲ شهر تهران، مورد بررسی قرار گرفته است. سپس با رویکرد ارزیابی چرخه عمر (LCA) همراه با بکارگیری تکنیک‌های اقتصاد مهندسی و نرم‌افزار Excel، معیار ارزش خالص فعلی، نرخ بازده داخلی، دوره بازگشت سرمایه و نسبت ارزش خالص فعلی به سرمایه‌گذاری اولیه انواع روش‌های تأمین مالی محاسبه گردیده است. با بررسی‌های به عمل آمده، تمامی معیارهای اقتصادی جهت اجرای سیستم 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 سیستم، امکان توجیه‌پذیری اقتصادی آن‌ها وجود داشته باشد.

**کلمات کلیدی: سیستم فتوولتائیک، ارزیابی چرخه عمر، ارزیابی اقتصادی، اقتصاد مهندسی.**

۱- (نویسنده مسئول) milad.ghanbari@srbiau.ac.ir

**مقدمه**

امروزه محیط‌زیست اکثر شهرها با مشکلات عدیده‌ای رو به رو شده‌اند، که توجه شگرفی را در راستای جلوگیری از این روند نامطلوب اقتضا می‌کند. در این باره نیز اصلاحاتی همچون؛ شهر تاب‌آور، شهر پایدار، همگی به ارتقا کیفیت زندگی اشاره دارند تا از این طریق بتوان به زندگی توأم با کیفیتی مطلوب و مورد انتظار در محیط‌زیست دست یافت (لطفی و همکاران، ۱۳۹۷). به همین علت به دلیل افزایش تقاضای انرژی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، جایگزینی منابع تجدیدپذیر و پاک اعم از خورشید اجتناب‌ناپذیر است. خورشید با تابش بر دستگاه‌های فتوولتائیک[1] انرژی خود را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند (Ludin et al, 2018). در سطح جهان، فتوولتائیک به دلیل افزایش پیشرفت‌های فناوری و کاهش هزینه‌ها به یک جایگزین جذاب در بخش صنعتی و مسکونی تبدیل شده است. دلیل این امر ویژگی‌های برجسته آن مانند در دسترس بودن، قابلیت قرارگیری بر سقف، هزینه تعمیر و نگهداری کمتر و عدم ایجاد آلودگی است (Yang et al, 2019). کشور ایران نیز با داشتن شرایط جغرافیایی مناسب، مستعد استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی است. به ویژه آن که از نقطه نظر میزان انرژی تابش خورشیدی در شمار بهترین مناطق محسوب می‌شود. براساس برآوردها، ایران به طور متوسط بیش از ۲۹۰۰ ساعت آفتاب در سال دارد که در برخی مناطق دیگر کشور به ۳۲۰۰ ساعت می‌رسد (Alamdari et al, 2013). استفاده از این پتانسیل برای تأمین برق بخش‌های مسکونی، می‌تواند یک راه‌حل جذاب جهت کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی باشد، اما وجود منابع فراوان نفت و گاز در کشور و عدم توجه به پایان‌پذیری این منابع، محدودیت‌هایی را برای برنامه‌ریزی مناسب سیاست‌های بهینه انرژی در کشور ایجاد خواهد نمود که صدمات جبران ناپذیری را برای نسل‌های آینده در کشور به همراه خواهد داشت. به همین منظور اتخاذ سیاست‌ها و راهبردهایی برای تشویق منابع انرژی، بویژه در زمینه تولید برق، برای بسیاری از کشورها در اولویت قرار گرفته است (Eleftheriadis & Anagnostopoulou, 2015). ارزیابی صحیح از شرایط موجود به منظور دستیابی به خروجی مطلوب از فناوری‌های پاک، علاوه بر ترغیب سرمایه‌گذاران در حمایت از چنین پروژه‌هایی سبب رشد و توسعه در اقتصاد کشورهای در حال توسعه نیز می‌گردد. به علت آنکه استقرار این دسته از انرژی‌ها نه تنها می‌تواند به کاهش وابستگی دولت به نیروگاه‌های سوخت فسیلی کمک کند بلکه در کاهش تغییرات آب و هوا نیز موثر است ( Gielen et al, 2019). افزایش تعداد مشترکین برق با رشد ۳ درصدی نسبت به سال ۹۵ و قرار گرفتن شهر تهران در رتبه نخست تعداد مشترکین برق در کل کشور، نشان از اهمیت صرفه‌جویی و کاهش مصرف انرژی در کشور است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۶). به همین جهت لازم است به منظور تقویت شبکه سراسری برق و جلوگیری از فشار الکتریکی وارده بر نیروگاه‌ها در طی روز، استفاده ازسیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه سراسری برق به پیشنهاد گردد (نشریه ٦٦٧، سازمان برنامه و بودجه کشور). بدین منظور لازم است قبل از هرگونه سرمایه‌گذاری یا هر فعالیت اقتصادی دیگر، مطالعات امکان‌سنجی و ارزیابی اقتصادی مربوطه به جهت حصول اطمینان سرمایه‌گذار، از ابعاد مختلف صورت بگیرد. پژوهش پیشرو، به ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم فتوولتائیک با استفاده از

[1] -Photovoltaic

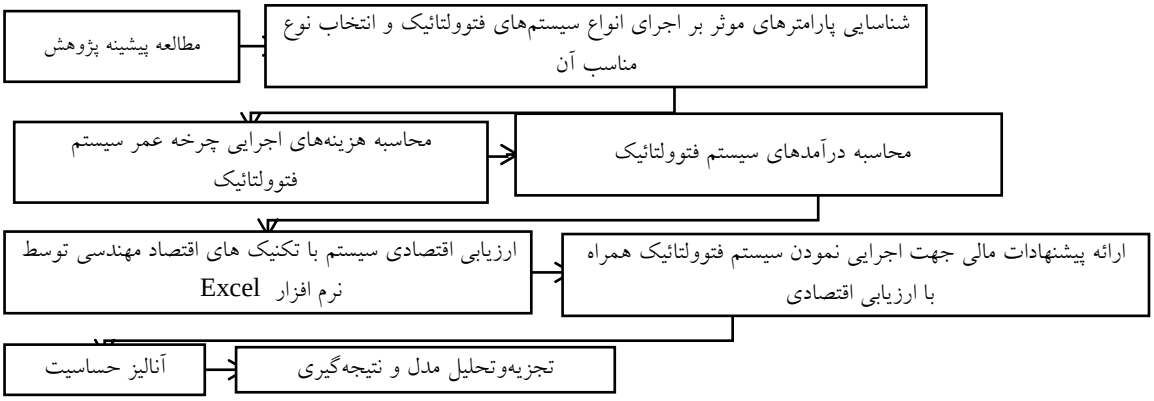
روش هزینه چرخه عمر در یک مجتمع مسکونی درمنطقه ۲ شهر تهران پرداخته است و در ادامه نیز انواع سناریوهای تأمین مالی جهت تشویق سرمایه‌گذاران به احداث و راه‌اندازی سیستم برق خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است.

جمالی و توفیقی (۱۳۹۷) با استفاده از نرم افزار Pvsyst و مطالعه موردی بر روی یک نمونه ۵ کیلوواتی، معتقداند نداشتن بهره‌وری مناسب در نیروگاه‌های خورشیدی بیشتر به دلیل طراحی نامناسب و عدم استفاده از تجهیزات مرغوب موجود دراین حوزه است. در مقاله عادلی و همکاران (۱۳۹۳) امکان‌سنجی استفاده از یک سیستم فتوولتائیک به منظور تأمین بار الکتریکی مورد نیاز یک مجتمع مسکونی در شهر مشهد مورد پژوهش قرار گرفته است. نتایج حاصل از خروجی نرم افزار کامفار نشان می‌دهد که ارزش خالص فعلی به میزان ۹۶۳۸ میلیون تومان و نرخ بازده داخلی ۲۲/۸۳ درصد است. دوره بازگشت سرمایه نیز ۱۳ سال می‌باشد. مهدوی عادلی و خواجه نائینی (۱۳۹۳) در ابتدا با استفاده از روش هزینه – فایده و نرم افزار کامفار احداث نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی ۲۵ مگاواتی را مورد تحلیل قرار داده‌اند و سپس تأثیر به کارگیری مشوق‌های مالی که در احداث چنین نیروگاه‌هایی در کشورهای مختلف دنیا مورد استفاده قرارگرفته اند را، بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد مشوق‌های تعرفه‌های اشتراک بیشترین اثر را بر بهبود شاخص‌های مالی طرح دارد. ناطقی و فتحی (۱۳۹۷)، طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند، طراحی بهینه نیروگاه‌ها می‌تواند ضمن بالابردن راندمان استفاده از انرژی خورشید، منافع اقتصادی بیشتری را برای سرمایه‌گذاران به همراه داشته باشد. جهت بررسی اقتصادی طرح، هزینه سرمایه‌گذاری و سود سالانه نیروگاه محاسبه گردیده و با توجه به آن‌ها دوره بازگشت سرمایه تعیین گردید. در ادامه با بررسی اثرات تغییردر طراحی نیروگاه، مقدار بازگشت سرمایه نیز تغییر خواهد کرد. تغییرات در طراحی نیروگاه شامل اثرات ناشی از تغییر فاصله بین ردیف پنل‌ها، اثرات ناشی از استفاده از پنل‌های مونوکریستال و پلی‌کریستال، اثرات استفاده از زمین طولی یا عرضی، اثرات استفاده از ردیاب‌های تک محوره و دو محوره می‌باشد. فیروزجاه(۲۰۱۸)، به پتانسیل‌های انرژی خورشیدی در مقیاس کوچک در شهرهای مختلف ایران پرداخته است. سامانه‌های خورشیدی در نظر گرفته شده بر اساس ترکیب پنل‌های فتوولتائیک به منظور دستیابی به مقادیر اسمی ۱، ۵ و ۱۰ کیلووات برای ۱۵ شهر منتخب ایران است. تصمیم نهایی در مورد ارزیابی مالی پروژه‌های برق خورشیدی ذکر شده بر اساس مفاهیم مختلف اقتصاد مهندسی محاسبه شده و سود مورد انتظار در طول مدت پروژه ۳۰ ساله بررسی شده است. نویسنده معتقد است با انتخاب یکی از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی و کاربردهای آن می‌توان اقتصادی‌ترین پروژه‌ها را معرفی کرد. فورمیکا و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود، به اهمیت سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی مسکونی به عنوان یک منبع انرژی اقتصادی مقرون به صرفه اشاره می‌کنند. بنا به تحقیقات نویسندگان، در ایالات متحده، تمدید اعتبار مالیاتی برای سرمایه‌گذاری خورشیدی فدرال در سال ۲۰۱۵ برای تشویق سرمایه‌گذاری‌های خورشیدی با دادن ۳۰ درصد تخفیف در هزینه‌های راه‌اندازی از جمله اقدامات آن کشور بوده است. سیستم خورشیدی مسکونی ۹/۱۲ کیلوواتی در مریلند با استفاده از شرایط آب‌وهوایی و اعتبارات مالیاتی ویژه منطقه با تعیین دوره بازگشت سرمایه ٤/۲۵ ساله و نرخ بازده داخلی ۲۳/٦ درصد تحلیل شده است. بشیری و علیزاده(۲۰۱۸)، بر این باورند با توجه به افزایش مصرف برق خانگی و مزایای زیست‌محیطی انرژی خورشیدی و از طرفی پتانسیل کشور ایران در جذب تابش، خانوارها می‌توانند به عنوان یک بازار هدف جذاب برای سیستم‌های فتوولتائیک در نظر گرفته شوند. طبق مطالعات پژوهشگران، ایران بیش از سه برابر میانگین جهانی برق مصرف می‌کند و در سال ۲۰۱۵ مصرف برق مسکونی بر همه بخش‌های دیگر حاکم بود. با توجه به مزایای این سیستم‌ها ، دولت‌ها

مکانیزم تشویق مالی را برای ترویج استفاده از فناوری‌های تجدید پذیر در خانه‌ها تعیین کرده‌اند. این سازوکارها ممکن است شامل یارانه‌هایی باشد که برای کاهش هزینه اولیه سیستم باشد.

تحقیق حاضر، یک تحقیق بر مبنای روش گردآوری داده‌ها، توصیفی – تحلیلی می‌باشد و در دسته تحقیقات کاربردی قرار دارد. داده‌ها بصورت کمی و براساس زمان حال و نیز در ۲۰ سال آتی مورد بررسی قرار گرفته است.

مجموع مراحل منظم و پیوسته ای که امر تحقیق علمی را از آغاز و تا پایان تحقیق امکان‌پذیرکند موضوع بااهمیتی است. اصل اساسی در روش تحقیق، رعایت ترتیب و نظم در فرآیند کلی و خرد فرآیندهای هر مرحله است (علیزاده، مقدم‌نیا، ۱۳۹۰). بدین منظور فرآیند انجام پژوهش در شکل زیرارائه شده است.




**شکل ۲. فرآیند تحقیق**

## محیط شناسی پژوهش

در این پژوهش، تعیین تعداد پنل‌های موجود و تجهیزات مورد نیاز براساس مساحت مفید و کمترین سایه‌اندازی در پشت‌بام یک مجتمع مسکونی واقع در منطقه ۲ شهر تهران در نظر گرفته شده است. براساس اطلاعات شرکت سازنده مدول‌های فتوولتائیک در ایران و مصاحبه با کارشناسان این حوزه، از پنل‌های داخلی موجود در بازار با ظرفیت تولیدی ۳۲۰ وات استفاده شده است و مساحت فضای بهینه که کمترین سایه‌اندازی را ایجاد می‌کند ۳۰۰ متر مربع بدست آمده است. با داشتن اطلاعات و ابعاد استاندارد پنل‌ها می‌توان تعداد آنان را مشخص نمود.

**جدول۱. معرفی مشخصات اصلی پنل‌های خورشیدی در مجتمع مسکونی مورد مطالعه**

| | |
|---|---|
| مساحت فضای بهینه نصب ($m^2$) | ۳۰۰ |
| تعداد پنل‌ها با حداقل سایه اندازی | ٦۰ |
| ابعاد یک پنل (m) | ۱/۹۵٦*۰/۹۹۲ |
| مساحت یک پنل($m^2$) | ۱/۹٤ |
| مساحت کل پنل‌ها ($m^2$) | ۱۱٦ |
| جنس پنل | مونوکریستال |
| توان نامی پنل (Wp) | ۳۲۰ |
| بازده پنل | ٪۱٤ |
| توان نامی سیستم (KW) | ۱۹/۲ |

**منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹**

## محاسبه تولید برق سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه در نمونه مطالعاتی

میزان توان خروجی یک ماژول فتوولتائیک توسط عوامل جوی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در اکثر شهرهای بزرگ و صنعتی به دلیل آلودگی‌های موجود بر سطح ماژول، میزان توان خروجی ماژول کاهش می‌یابد که این کاهش، با فاکتور کاهش در اثر آلودگی هوا محاسبه می‌شود. ضریب دمایی انرژی، ضریب دیگری است که نمایان‌گر تأثیر دما بر راندمان ماژول‌ها می‌باشد.میزان توان خروجی آرایه فتوولتائیک در اثر دما، به جنس ماژول بکار رفته بستگی دارد. محاسبه ضریب کاهش توان بر اثر دما با مقدار مطلق ضریب دمای انرژی که در پنل مونوکریستال معادل ۰/٤٥ درصد بر درجه سانتی‌گراد می‌باشد (نشریه ٦٦٧، سازمان برنامه و بودجه کشور) از رابطه زیر بدست آمده است.

در رابطه فوق، $T_{pv}$ میانگین دما; $\eta_{temp} = 1 - \eta_{cell}(T_{pv} - T_{stc})$ (۱) .ما در طول روز ۲۵ °c، در نظرگرفته شده است (Firouzjah, 2018). [illegible] زیر تعیین گردیده است. ضریب کاهش در اثر آلودگی برابر با ۵ درصد، در نظر گرفته شده است (نشریه ٦٦٧، سازمان برنامه و بودجه کشور).

پارامتر $\eta_{pv}$ کارایی پنل، $p_{stc}$ تو $\eta_{pv} = p_{stc} \cdot \eta_{dirt} \cdot \eta_{temp}$ (۲) وا، $\eta_{temp}$ ضریب کاهش توان بر اثر دما می‌باشد. به منظور تعیین میزا [illegible] تولید شده توسط پنل‌ها از رابطه زیر استفاده شده است.

$$E_{array} = \eta_{pv} \cdot n_{msrh} N_{pv} \quad (۳)$$

در رابطه فوق، $E_{array}$ متوسط ا [illegible] روجی به صورت روزانه از آرایه فتوولتائیک (وات ساعت)، $n_{msrh}$ تابش در ساعات اوج خورشید، $N_{pv}$ حداکثر تعداد پنل‌ها با کمترین سایه‌اندازی می‌باشد. تابش در ساعات اوج خورشید به طور متوسط در شهر تهران ۵ ساعت و تعداد پنل‌ها طبق جدول ۱، شصت عدد لحاظ شده است. میزان متوسط خروجی سالانه با اعمال ضرایب تلفات انرژی در مسیر کابل‌ها و بازده مبدل با رابطه ٤ تعیین می‌گردد. بازده مبدل را می‌توان از کارخانه سازنده دریافت کرد. بنا به تحقیقات صورت گرفته، ۹۷ درصد بازده مبدل در محاسبات لحاظ شده است.

که $E_{system}$ میزان متوسط روزا [illegible] به شبکه برق، $\eta_{inv}$ بازده اینورتر، $l_s$ ضریب تلفات در کابل‌های سیست [illegible] شده است.

$$E_{system} = E_{array} \cdot \eta_{inv} \cdot l_s \quad (۴)$$

**جدول۲. محاسبه متوسط انرژی خروجی سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه مجتمع مسکونی مورد مطالعه**

| عوامل تاثیر گذار بر انرژی تولیدی سیستم | |
|---|---|
| ضریب کاهش آلودگی هوا | ٪۵ |
| مقدار مطلق ضریب دمای انرژی پنل مونوکریستال | ٪/ °c ۰/٤٥ |
| ضریب کاهش توان بر اثر دما | ۰/۸۸۷۵ |
| ظرفیت نهایی توان پنل (W) | ۲٦۸/۸ |
| انرژی روزانه تولیدی پنل‌ها (KWh) | ۸۹/۰۳٤ |
| بازده مبدل | ٪۹۷ |
| تأثیر تلفات | ٪۲ |
| متوسط میزان انرژی خروجی از سیستم | |
| متوسط انرژی روزانه خروجی از سیستم (KWh) | ۸٤/٦٤ |
| متوسط انرژی ماهانه خروجی از سیستم (KWh) | ۲۵۳۹/۰۷ |
| متوسط انرژی سالانه خروجی از سیستم (KWh) | ۳۰٤٦۸/۸٦ |

**منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹**

با توجه به جدول فوق، با احداث یک نیروگاه ۱۹/۲ کیلوواتی خانگی سالانه به طور متوسط ۳۰٤٦۸ کیلووات ساعت برق به شبکه سراسری برق تزریق می‌گردد.

**هزینه‌های چرخه عمر[1] سیستم فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه[2]**

هزینه سرمایه‌گذاری یک پروژه، به معنای هزینه تمام شده احداث و راه‌اندازی پروژه می‌باشد. به عبارتی دیگر پس از تقبل چنین هزینه‌ای، طرح قابل بهره‌برداری است. در این تحقیق، هزینه ثابت سرمایه‌گذاری از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\text{Ic}=cost_D + cost_E + cost_{Tp} + cost_{Cp} \qquad (۵)$$

که $cost_D$ هزینه‌های طراحی و مشاوره، $cost_E$ هزینه‌های خرید تجهیزات، $cost_{Tp}$ هزینه‌های حمل‌ونقل از محل ساخت یا انبار به محل پروژه، $cost_{CP}$ هزینه‌های مربوط به سود پیمانکار می‌باشد.

**هزینه تعمیرونگهداری[3] در طول دوره عمر مفید**

منظور از تعمیر و نگهداری، کلیه اقدامات برنامه‌ریزی شده و برنامه‌ریزی نشده برای محافظت و نگهداری از یک سیستم در شرایط مطلوب کاری است. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، از رده خارج کردن و جایگزینی تجهیزات بسیار زیاد است؛ لذا باید به جای اینکه صرفاً هزینه‌های اولیه محصول در تصمیم‌گیری‌های در نظر گرفته شود، به هزینه‌هایی هم که در آینده در ارتباط با آن محصول روی خواهد داد، توجه شود.

$$\text{MC} = cost_{PI} + cost_{PC} + cost_{RPC} \qquad (۶)$$

در رابطه فوق، $cost_{PI}$ هزینه‌های بازرسی دوره‌ای، $cost_{PC}$ هزینه‌های نظافت دوره‌ای، $cost_{RPC}$ هزینه‌های جایگزینی برخی تجهیزات طی عمرمفید دستگاه می‌باشد.

**ارزش فعلی جریانات نقدی خروجی - ارزش فعلی هزینه تعمیر و نگهداری**

از آنجایی محاسبه کلیه هزینه‌ها در طی عمر مفید سیستم‌ها و در افق ۲۰ ساله تعیین شده است، لازم است ارزش فعلی آنان (ارزش پول در زمان حال) محاسبه گردد. بنابراین ارزش فعلی هزینه تعمیر و نگهداری برابر است با:

$$MC_{PV} = F/(1+i)^n \qquad (۷)$$

$$F = MC(1+\mathcal{E}_{MC}) \qquad (۸)$$

در رابطه فوق، $MC_{PV}$ ارزش فعلی هزینه تعمیر و نگهداری سالانه، $MC$ هزینه تعمیرونگهداری سالانه، $n$ طول عمر سیستم، $\mathcal{E}_{MC}$ نرخ افزایش هزینه سالانه تعمیر و نگهداری است. نرخ افزایش هزینه سالانه تعمیر و نگهداری در این تحقیق ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است. با مصاحبه و استعلام قیمت‌های به روز بازار، متوسط قیمت‌ها جهت اجرای یک سیستم فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه در نمونه مطالعاتی در سال ۱۳۹۹ به شرح زیر است.

**جدول۳. هزینه‌های چرخه عمر سیستم فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه مجتمع مسکونی مورد مطالعه**

| هزینه سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه مجتمع مسکونی | هزینه (تومان) | %هزینه کل |
|---|---|---|
| هزینه پیش از راه‌اندازی- هزینه طراحی | | |
| امکان‌سنجی | ٦، ٠٠٠، ٠٠٠ | ٪۳ |
| طراحی و مشاوره‌های فنی خرید و نصب | ۲، ٠٠٠، ٠٠٠ | ٪ ۰/۹ |

[1] -Life Cycle Cost
[2] -Initial Investment Cost
[3] -Maintenance Cost

| | | |
|---|---|---|
| اخذ مجوزات مربوطه | ۱، ۰۰۰، ۰۰۰ | ٪ ۰/٤ |
| جمع هزینه | ۹، ۰۰۰، ۰۰۰ | ٪٤ |
| هزینه راه‌اندازی | | |
| پنل‌های خورشیدی داخلی ۳۲۰واتی | ۷٦، ۸۰۰، ۰۰۰ | ٪۳۸ |
| اینورتر خورشیدی وارداتی ۲۰ کیلوواتی | ۳۰، ۰۰۰، ۰۰۰ | ٪۱۳ |
| سازه گالوانیزه زاویه ۳۵ درجه | ۳٦، ۰۰۰، ۰۰۰ | ٪۱٦ |
| کابل کشی های AC و DC | ۵، ۰۰۰، ۰۰۰ | ٪۲ |
| تابلوهای AC و DC | ۱۰، ۰۰۰، ۰۰۰ | ٪٤ |
| حمل‌ونقل (۱۰ درصد هزینه کل تجهیزات) | ۱٦، ۲۸۰، ۰۰۰ | ٪۷ |
| سود پیمانکار (۲۰ درصد هزینه کل تجهیزات) | ۳۲، ۵٦۰، ۰۰۰ | ٪۱٤ |
| دیگر هزینه‌ها | ۵۰، ۰۰۰، ۰۰۰ | ٪۲ |
| جمع هزینه | ۲۱، ۱٦٤۰، ۰۰۰ | ٪۹٦ |
| هزینه پس از راه‌اندازی- هزینه نگهداری دوره‌ای | | |
| بازدید دوره‌ای | ۳۰۰، ۰۰۰ | |
| نظافت دوره‌ای | ۱، ۰۰۰، ۰۰۰ | کمتر از ٪۱ |
| جمع هزینه | ۱، ۳۰۰، ۰۰۰ | |
| هزینه تعویض اینورتر | ۱۵٤، ۷۹۳، ٤۱۱ | بعد از ۱۰ سال |
| کل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه | ۲۲۰، ٦٤۰، ۰۰۰ | ٪۱۰۰ |
| کل هزینه نگهداری دوره‌ای | ۱، ۳۰۰، ۰۰۰ | |

**منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹**

هزینه جایگزینی اینورتر هم پس از ۱۰ سال به ارزش فعلی خود تبدیل شده است. همانگونه که مشخص است در دسته هزینه‌های راه‌اندازی، خرید پنل و اجرای سازه بیشترین میزان سهم هزینه‌ها را به ترتیب با ۳۸ درصد و ۱٦ درصد به خود اختصاص داده است.

**ارزش فعلی جریانات نقدی ورودی- درآمدهای سالانه حاصل از سیستم فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه**

از سیاست‌های تشویقی دولت جهت ترغیب سرمایه‌گذاران بر بکارگیری و توسعه فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر، تعیین تعرفه خرید برق تضمینی از مشترکین برق خانگی و یا نیروگاه‌ها در مقیاس بزرگ می‌باشد. ساتبا زیر نظر وزارت نیرو به ازای هر کیلووات ساعتی که برق توسط سیستم فتوولتائیک به شبکه سراسری برق تزریق می‌شود، طبق تعرفه به مالک و یا سرمایه‌گذار، پول پرداخت می‌کند. ارزش فعلی این جریانات به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$AI_{PV} = p_g . E_{system} \quad (۹)$$

که $AI_{PV}$ ارزش فعلی جریانات نقدی ورودی (درآمد سالانه[1])، $p_g$ قیمت برق خریداری شده از سیستم می‌باشد که از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$p_g = p_{ig}(1 + \varepsilon_{pg}) \quad (۱۰)$$

[1] -Annual Incom

که $p_{ig}$ قیمت برق پایه و $\varepsilon_{pg}$ نرخ افزایش تعرفه قیمت برق است. با فرض بر این که قیمت برق خریداری توسط ساتبا هر ساله ۲۰ درصد افزایش یابد، درآمدهای حاصل از سیستم فتوولتائیک با متوسط ۳۰٤٦۸ کیلووات انرژی سالانه و نرخ خرید برق توسط دولت در سال ۱۳۹۸ به شرح زیر است.

**جدول٤. درآمدهای سالانه حاصل از نصب سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه مجتمع مسکونی مورد مطالعه در طی ۲۰ سال بر حسب تومان**

| سال | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تعرفه خرید برق | ۱۰٤۰ | ۱۲٤۸ | ۱٤۹۸ | ۱۷۹۷ | ۲۱٥۷ | ۲٥۸۸ | ۳۱۰٥ |
| درآمد سالانه | ۳۱٦۸۷٦۱٤ | ۳۸۰۲٥۱۳٦ | ٤٥٦۳۰۱٦٤ | ٥٤۷٥٦۱۹۷ | ٦٥۷۰۷٤۳٦ | ۷۸۸٤۸۹۲۳ | ۹٤٦۱۸۷۰۸ |
| سال | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱٤ |
| تعرفه خرید برق | ۳۷۲۷ | ٤٤۷۲ | ٥۳٦٦ | ٦٤۳۹ | ۷۷۲۷ | ۹۲۷۳ | ۱۱۱۲۷ |
| درآمد سالانه | ۱۱۳٥٤۲٤٤۹ | ۱۳٦۲٥۰۹۳۹ | ۱٦۳٥۰۱۱۲۷ | ۱۹٦۲۰۱۳٥۲ | ۲۳٥٤٤۱٦۲۲ | ۲۸۲٥۲۹۹٤۷ | ۳۳۹۰۳٥۹۳٦ |
| سال | ۱٥ | ۱٦ | ۱۷ | ۱۸ | ۱۹ | ۲۰ | ۲۱ |
| تعرفه خرید برق | ۱۳۳٥۳ | ۱٦۰۲۳ | ۱۹۲۲۸ | ۲۳۰۷٤ | ۲۷٦۸۸ | ۳۳۲۲٦ | ۵ ٪ ارزش اسقاط |
| درآمد سالانه | ٤۰٦۸٤۳۱۲۳ | ٤۸۸۲۱۱۷٤۸ | ٥۸٥۸٥٤۰۹۸ | ۷۰۳۰۲٤۹۱۷ | ۸٤۳٦۲۹۹۰۱ | ۱۰۱۲۳٥٥۸۸۱ | ۳۱۲۰٦۸۰٦۳ |

**منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹**

در پایان عمر مفید (بعد از ۲۰سال) ارزش اسقاط، ۵ درصدِ قیمت تجهیزات در سال ۲۰ ام، است. از آنجایی که جمع‌آوری تجهیزات استقرار یافته، هزینه بردار است، این مقدار درآمد صرف هزینه جمع‌آوری و برچیدن تجهیزات خواهد شد. توجه به این نکته ضروری است که مطالعه پیشرو، مربوط به بررسی اقتصادی استفاده از سیستم خورشیدی از دیدگاه مصرف‌کننده است. بنابراین ارزیابی یک طرحِ خصوصی مدنظر است که سرمایه‌گذار همان مصرف‌کننده می‌باشد (قزلباش، ۱۳۹۱).

## ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه

### محاسبه اقساط وام

اگر IC برابر با سرمایه‌گذاری اولیه و در حالیکه $\mathrm{IC}_{BD}$[1] به عنوان کمک مالی در نظر گرفته شود، $IC - \mathrm{IC}_{BD}$ باید به وسیله مالک پرداخت شود. اگر این مقدار به صورت وام با نرخ بهره سالانه قرض گرفته شود، کل پرداخت در هر سال[2] در طی دوره وام $\mathrm{N}_l$ برابر است با:

$$ANNPMT = (IC - \mathrm{IC}_{BD})\mathrm{i}_I \qquad (۱۱)$$

که $\mathrm{i}_L$ نرخ بهره وام، $ANNPMT$ کل پرداخت سالانه (اقساط سالانه) می‌باشد (بشرآبادی و همکاران، ۱۳۹۷).

### معیار ارزش خالص فعلی[3] (NPV)

این معیار سعی دارد تا با در نظر گرفتن تعدیل زمانی پول، تعادلی میان پرداخت‌های سرمایه‌گذاری و درآمدهای حاصل از اجرای سرمایه‌گذاری پیدا نماید. ارزیابی این تعادل در مقایسه با نرخ بهره، استانداردی است که مدیریت طرح برای سرمایه‌گذاری و به کارگیری وجوه، از قبل تعیین نموده است .به این بهره، "حداقل بهره قابل جذب "یا " هزینه

[1] - BD: Buy-Down Subsidy
[2] - Annual Payment
[3] - .Net Present Value

سرمایه[1] "می‌گویند (قزلباش، ۱۳۹۱). ارزش فعلی مجموعه‌ای از جریانات وجوه نقد آینده را می‌توان از طریق فرمول ذیل محاسبه نمود:

$$NPV = NCF_0 + \frac{NCF_1}{(1+i)} + \frac{NCF_2}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{NCF_n}{(1+i)^n}$$

در رابطه فوق NPVارزش خالص فعلی، NCF خالص وجوه نقد، i نرخ تنزیل، n عمر مفید (دوره زمانی مدنظر)، می‌باشد.

**معیار نرخ بازده داخلی[2] (IRR)**

این معیار شرط پذیرش پروژه را بزرگتر بودن IRR از هزینه سرمایه می‌داند. IRR نرخ تنزیلی است که بر اساس آن، ارزش خالص فعلی پروژه برابر با صفر می‌شود. در محاسبه IRR، NPV پروژه معادل صفر قرار گرفته و نرخ تنزیل که همان IRR پروژه است، تعیین می‌گردد.

$$NPV = NCF_0 + \frac{NCF_1}{(1+i)} + \frac{NCF_2}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{NCF_n}{(1+i)^n} \longrightarrow \text{NPV} = 0 \rightarrow \text{IRR=i=?} \qquad (۱۳)$$

هرچه نرخ تنزیل بیشتر باشد، مقادیر اینده ارزش کمتری در زمان حال خواهند داشت. اگر ارزش خالص پروژها مثبت باشد، چنین نتیجه می‌شود که نرخ بازدهی داخلی آن پروژه از نرخ بازدهی قابل قبولی که برای سرمایه‌گذاری به کار برده شده است، بیشتر است.اگر ارزش خالص فعلی پروژ، منفی باشد نرخ بازده داخلی آن از نرخ مورد قبول کمتر است و نیز اگر ارزش خالص پروژهای صفر باشد، می‌توان نتیجه گرفت که تمام سرمایه به کار رفته در پروژه به انضمام بهره‌های متعلق به آن در هر سال، برگشت داده شده و نرخ بازده داخلی پروژه معادل نرخ بازدهی مورد قبول است (بشرآبادی و همکاران، ۱۳۹۷).

**معیار دوره بازگشت سرمایه[3] (PP)**

تحلیل‌گر با استفاده از معیار دوره بازگشت سرمایه، در جستجوی دوره‌ای است که در آن مجموع درآمدهای سالیانه با هزینه سرمایه‌گذاری برابر شود. به عبارت دیگر هرچه این شاخص کوچک‌تر باشد، بیانگر سرعت بیشتر جبران جریانات نقدی خروجی به وسیله جریانات نقدی ورودی می‌باشد و لذا پروژه از جذابیت بیشتری برای سرمایه‌گذاری برخوردار است. دوره بازگشت سرمایه شامل دوره سرمایه عادی و متحرک می‌باشد. مفهوم دوره‌ی بازگشت سرمایه عادی عبارت است از خالص جریانات نقدی تجمعی طرح، در مدت بهره‌برداری و منظور از دوره بازگشت سرمایه متحرک، این است که ارزش زمانی پول در محاسبه PP مدنظر قرار گرفته و محاسبات براساس داده‌های تنزیل صورت می‌گیرد (سلیمی‌فر و همکاران، ۱۳۹۲).که در تمامی محاسبات دوره بازگشت سرمایه متحرک مدنظر است. در ادامه، به منظور ارائه روش‌های تأمین مالی سیستم فتوولتائیک در نمونه مورد مطالعه، چندین سناریو از منظر توجیه‌پذیری اقتصادی برای سرمایه‌گذار مورد بررسی قرار گرفته است.

**سناریو۱: تأمین تمامی هزینه‌ها توسط سرمایه‌گذار – نرخ تنزیل ثابت**

---

[1] - Cost Of Capital
[2] -Internal Rate of Return
[3] - Payback Period

در ابتدای امر فرض بر این است تمامی هزینه‌های طرح بر عهده سرمایه‌گذار است. نرخ تنزیل ثابت و معادل ۲۵ درصد در طی عمر مفید ۲۰ ساله سیستم در نظر گرفته شده است. در این سناریو دوره بازگشت سرمایه ۱۲ سال با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول، می‌باشد. ارزش خالص فعلی برابر با ۱۰۱۸۶۳۴۷۴ تومان و نسبت ارزش خالص فعلی بر سرمایه‌گذاری اولیه کمتر از یک و برابر با ۰/٤٦ است. نرخ بازده داخلی نیز بیشتر از حداقل نرخ جذب کننده و برابر با ۳۱ درصد تعیین شده است.

**سناریو۲: تأمین ۵۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه توسط یارانه – نرخ تنزیل ثابت**

در این سناریو۵۰ درصد هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری بصورت یارانه دولتی بدون بازپرداخت، به سرمایه‌گذار تعلق گیرد. ارزش خالص فعلی مثبت و برابر با ۲۰۱۸۶۳۴۷۴ تومان و نرخ بازده داخلی ٤٤درصد محاسبه شده است. نسبت ارزش خالص فعلی بر سرمایه‌گذاری اولیه ۱/٦۷ است و سرمایه اولیه پس از ۵ سال به سرمایه‌گذار باز می-گردد. داده‌های بدست آمده مقرون به صرفه بودن این سناریو را به‌خوبی نشان می‌دهد.

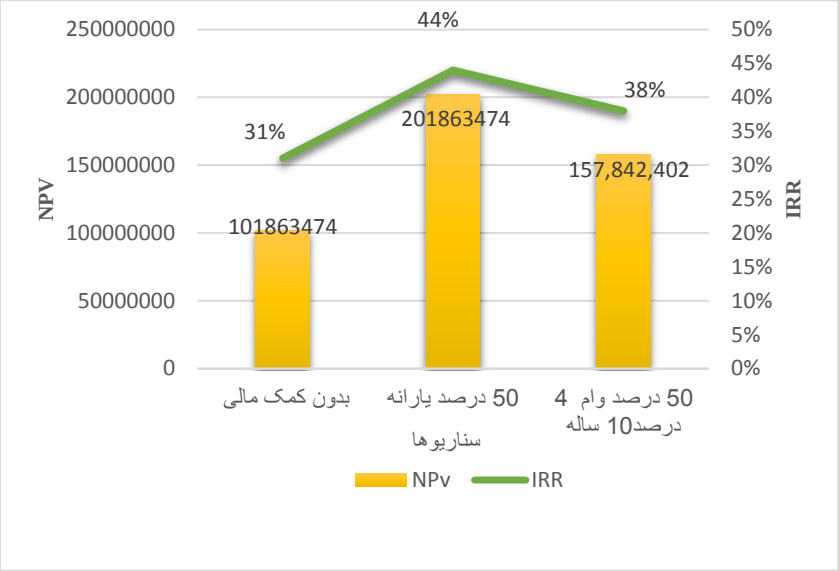
**سناریو۳: تأمین ۵۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه توسط وام – نرخ تنزیل ثابت**

در این سناریو ۵۰ درصد هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری بصورت وام دولتی با نرخ بهره ٤ درصد، طی دوره بازپرداخت ۱۰ ساله به سرمایه‌گذار تعلق می‌گیرد. در این سناریو ارزش فعلی خالص برابر با ۱۵۷۸٤۲٤۰۲ تومان نرخ بازده داخلی ۳۸ درصد تعیین شده است. نسبت ارزش خالص فعلی بر سرمایه‌گذاری اولیه ۱/۳۱ است و سرمایه اولیه پس از ۷ سال به سرمایه‌گذار باز می‌گردد.

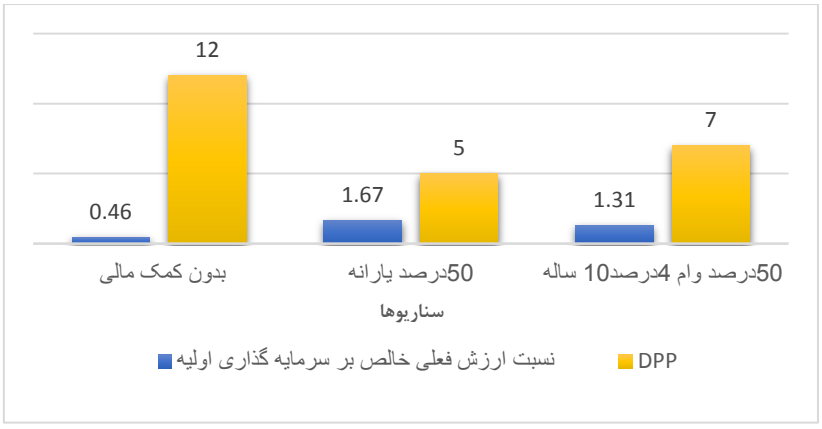
**یافته‌ها**

با توجه به نمودار زیر، مشخص است در میان سه سناریو ذکر شده، سناریو ۵۰ درصد یارانه دولتی، برای سرمایه‌گذار طرح جذاب‌تری است و رغبت مالکین در جهت سرمایه‌گذاری بیشتر خواهد بود.

دوره بازگشت سرمایه در سناریو ۲ از دیگر سناریوها کمتر بوده است. هرچه دوره بازگشت سرمایه کمتر باشد طرح سرمایه‌گذاری مورد استقبال بیشتری از سوی سرمایه‌گذار قرار خواهد گرفت. واضح است چنانچه کمک مالی از سوی دولت صورت نپذیرد دوره بازگشت سرمایه طولانی‌تر خواهد شد و احتمال سرمایه‌گذاری کاهش می‌یابد. در ادامه، نسبت ارزش خالص فعلی بر سرمایه‌گذاری اولیه بایستی مقدار بزرگتر یک، داشته باشد.بدین ترتیب اجرای سناریوهای ۲ و ۳ به علت مقادیری بزرگتر از یک اقتصادی‌تر به نظر می‌رسد.

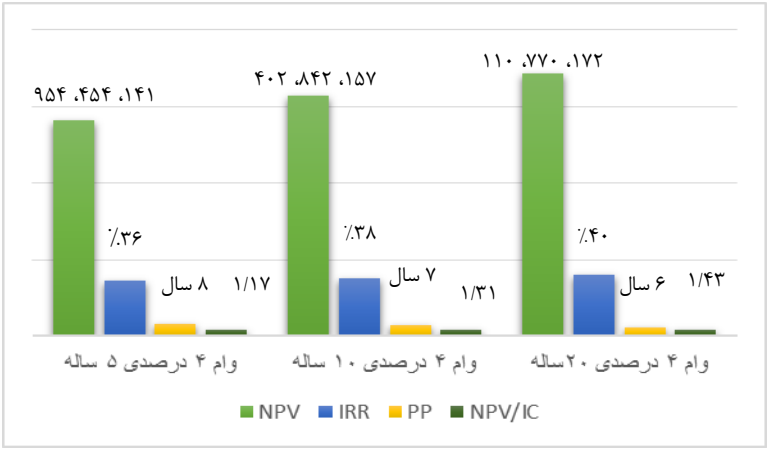



**شکل ۵. نمودار ارزش خالص فعلی و نرخ بازده داخلی سناریو ۱، ۲ و ۳. منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹**




**شکل ٦. نمودار دوره بازگشت سرمایه و نسبت ارزش خالص فعلی بر سرمایه گذاری اولیه سناریو ۱، ۲ و ۳ . منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹**

حال چنان‌چه در اجرای طرح، تصمیم دولت بر آن شود ۵۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه را وام ٤ درصد به سرمایه-گذار اعطا کند، تا چه میزان تفاوت در دوره بازپرداخت وام می‌تواند در ارزیابی اقتصادی طرح نقش داشته باشد؟




**شکل ۷. نمودار ارزش خالص فعلی، نرخ بازده داخلی، دوره بازگشت سرمایه و نسبت ارزش خالص فعلی بر سرمایه‌گذاری اولیه در سناریوهای ٤، ٥ و ٦ .منبع: یافته-های پژوهش، ۱۳۹۹**

به نظر می‌رسد هرچه دوره بازپرداخت طولانی‌تر باشد، بالطبع ارزش خالصی طرح نیز بیشتر خواهد شد و قاعدتاً دوره بازگشت سرمایه نیز کمتر می‌شود. در واقع با افزایش دوره بازپرداخت وام، میزان اقساط پرداختی در مدت زمان بیشتر با میزان قسط کمتری توسط گیرنده، پرداخت می‌شود. اقساط قابل پرداخت وام از رابطه ۱۱ با نرخ بهره ٤ درصد در دوره بازپرداخت ۵ ساله، سالانه ۲۲، ٤٦۲، ۷۱۱ تومان، در دوره بازپرداخت ۱۰ ساله سالانه ۱۲، ۳۲۹، ۰۹٤ تومان و در دوره بازپرداخت ۲۰ ساله، سالانه ۷، ۳۵۸، ۱۷۵ تومان محاسبه شده است. این میزان اقساط سالانه با توجه به دوره بازپرداخت‌های تعیین شده به هزینه‌های دوره‌ای سالانه اضافه می‌گردد.

**آنالیز حساسیت**

هدف از آنالیز حساسیت، کمک به تصمیم گیرندگان است. بدین ترتیب که اگر پارامترهای اولیه تغییر نماید و نتایج اولیه تغییر نکند، برای سرمایه‌گذار امیدوار کننده بوده و احساس بهتری خواهد داشت (اسکونژاد، ۱۳۸٤). در اینجا سناریو۱ مبنی بر تأمین کلیه هزینه‌ها با آورده نقدی سرمایه‌گذار، مورد بررسی قرار گرفته است تا میزان حساسیت خروجی مدل به پارامترهای ورودی بررسی گردد. مقدار هر پارامتر با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها، اندکی تغییر (۱۰ درصد افزایش) داده شده است. ضریب حساسیت با رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$SC = \frac{|\Delta result|}{|\Delta parameter|} \qquad (۱۴)$$

**جدول۹. ضریب حساسیت NPV، IRR، PP و NPV/IC نسبت به پارامترها در سناریو ۱**

| پارامتر | NPV | IRR | PP | NPV/IC |
|---|---|---|---|---|
| نرخ تنزیل | ۲۰۵۹۵۷۷۵ | ۰ | /۸ | ۰/۰۹ |
| تعرفه خرید برق | ۳٤۰۰۳۰ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۰۱۵ |
| هزینه تامین تجهیزات | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ |
| هزینه نگهداری سالانه | ۱۱ | ۰ | ۰ | ۰ |

**منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹**

مطابق جدول فوق به نظر می‌رسد به ترتیب پارامتر تعرفه خرید برق و سپس نرخ تنزیل در ارزیابی اقتصادی این طرح از تأثیرگذارترین پارامترهای مورد بحث بوده است. انتظار می‌رود دولت در سیاست‌های تشویقی خود افزایش تعرفه خرید برق را به صورت چشم‌گیری بالا برد تا موجبات ترغیب سرمایه‌گذاران را فراهم کند.

**نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهشی**

هر کدام از انرژی‌های تجدیدپذیر دارای منافع متعدد اقتصادی برای تولید و عرضه می‌باشند. در این میان به دلیل حجم بالای در دسترس بودن انرژی خورشیدی نسبت به سایر انرژی‌ها، برنامه‌ریزی استفاده از آن تا ۵۰ سال آینده شگفت-انگیز است. یکی از راهکارهای به کارگیری انرژی خورشید استفاده از تابش آن به منظور تولید برق است. در این تحقیق با توجه به نمونه مورد مطالعه، تعداد پنل‌های مورد نیاز به منظور تعیین توان نامی سیستم، تعیین ضرایب موئر به جهت تعیین میزان انرژی خروجی سیستم در محاسبات لحاظ گردید. به طوری که یک نیروگاه ۱۹/۲ کیلوواتی خانگی سالانه به طور متوسط ۳۰٤٦۸ کیلووات ساعت برق به شبکه سراسری برق تزریق می‌کند. در ادامه هزینه‌های اجرایی طرح با رویکرد ارزیابی چرخه عمر و درآمدهای سیستم با تعیین میزان انرژی خروجی تولیدی و تعرفه خرید برق تضمینی در ۲۰ سال آتی بدست آمد. به منظور تحلیل اقتصادی سیستم فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه

و با کمک تکنیک‌های اقتصاد مهندسی انواع سناریوهای تأمین مالی مورد بررسی قرار داده شد. در سناریو ۱ تمامی هزینه‌های طرح بر عهده سرمایه‌گذار، در سناریو۲، نیمی از هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری بصورت یارانه دولتی بدون بازپرداخت به سرمایه‌گذار تعلق می‌گیرد. در سناریو۳ نیز ۵۰ درصد هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری بصورت وام دولتی با نرخ بهره ٤ درصد طی دوره بازپرداخت ۱۰ ساله به سرمایه‌گذار تعلق می‌گیرد. در این میان، سناریو ۲ شامل اعطای یارانه، برای سرمایه‌گذار طرح جذاب‌تری است و رغبت مالکین در جهت سرمایه‌گذاری بیشتر خواهد بود. در دیگر سناریوها فرض بر تأمین مالی بصورت وام ٤ درصدی با دوره باز پرداخت‌های متفاوت است. در این بخش، ۵۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه وام ٤ درصدی به سرمایه‌گذار اعطا می‌گردد که سنجش دوره بازپرداخت وام حائز اهمیت است. نتایج نشان می‌دهد هرچه دوره بازپرداخت طولانی‌تر گردد، ارزش خالصی طرح نیز بیشتر خواهد شد و قاعدتاً دوره بازگشت سرمایه کمتر می‌شود. در واقع با افزایش دوره بازپرداخت وام، میزان اقساط پرداختی در مدت زمان بیشتر با میزان قسط کمتری توسط گیرنده پرداخت می‌شود. در ادامه نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد، میزان حساسیت شاخص‌های اقتصاد مهندسی به تعرفه خرید برق و سپس نرخ تنزیل در ارزیابی اقتصادی این طرح از تاثیرگذارترین پارامترهای مورد بحث بوده است.

## منابع


اسکونژاد، محمدمهدی (۱۳۸٤)، اقتصاد مهندسی ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ بیست‌ودوم.

بشرآبادی، حسین؛ صادقی، زین‌العابدین؛ شجاع‌الدینی، حمیده (۱۳۹۷)، ارزیابی اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم‌های فتوولتائیک در کاربری تجاری و شبیه‌سازی پویای قیمت برق، پژوهش‌نامه اقتصاد انرژی ایران، سال هفتم، شماره ۲۷، صفحات ۱۵۹-۲۰۱.

جمالی، مهدی؛ توفیقی، علی (۱۳۹۷)، آنالیز فنی و اقتصادی سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه با استفاده از نرم افزار Pvsyst و مطالعه موردی بر روی یک نمونه ۵ کیلوواتی منصوبه، فصل‌نامه علمی- ترویجی عصر برق، سال پنجم، شماره ۹۵.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور(۱۳۹۳)، "راهنمای طراحی سیستم های فتوولتائیک به منظور تأمین انرژی الکتریکی به تفکیک اقلیم و کاربری"، نشریه شماره ٦٦۷ .

سلیمی‌فر، مصطفی ؛ عادلی، محمدحسین ؛ رجبی مشهدی، حبیب؛ قزلباش، اعظم (۱۳۹۲)، ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در یک واحد خانگی در شهرستان مشهد، فصل‌نامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، سال دوم، شماره ۸، صفحات ۱۱۵-۱۳٦.

عادلی، محمدحسین؛ سلیمی‌فر، مصطفی؛ قزلباش، اعظم (۱۳۹۳)، ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی (مطالعه موردی مجتمع سه واحدی درشهرستان مشهد)، مجله علمی- پژوهشی سیاست‌گذاری اقتصادی، سال ششم، شماره ۱۱.

علیزاده، نرگس؛ مقدم‌نیا، الهام (۱۳۹۰)، آموزش روش تحقیق و پروپوزال‌نویسی با رویکرد بر مقالات ISI، انتشارات تبارک، چاپ اول.

قزلباش، اعظم (۱۳۹۱)، ارزیابی اقتصادی استفاده ار انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته اقتصاد انرژی، دانشگاه فردوسی مشهد.

لطفی، صدیقه؛ پریزادی، طاهر؛ نجاتی، ارغوان (۱۳۹۷)، تحلیل فضایی زیست‌پذیری محلات شهری (مطالعه موردی: منطقه ۱۰ تهران)، فصل‌نامه علمی- پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، سال هشتم، شماره ٤، صفحات ۲۲-۷.

مهدوی عادلی، محمدحسین؛ خواجه نائینی، رضا (۱۳۹۳)، بررسی و ارزیابی مالی تولید برق با استفاده از انرژی خورشیدی در ایران، فصل‌نامه اقتصاد مالی- پولی، سال – بیست و یکم ، شماره ۷ ، صفحات ۱۲۵-۱۰۵.

ناطقی، ابوالفضل؛ فتحی، محمد (۱۳۹۷)، تعیین طرح بهینه نصب پنل‌های خورشیدی با درنظرگیری اثرات تغییر در نوع چینش و نیز اثرات استفاده از ردیاب‌های تک محوره و دو محوره، سی‌وسومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ایران.

وزارت نیرو (۱۳۹٦)، "ترازنامه انرژی"، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی برق و انرژی.

Bashiri, A., & Alizadeh, S. H. (2018). The analysis of demographics, environmental and knowledge factors affecting prospective residential PV system adoption: A study in Tehran. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 3131-3139.

Firouzjah, K. G. (2018). Assessment of small-scale solar PV systems in Iran: Regions priority, potentials and financial feasibility. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94, 267-274.

Formica, T., & Pecht, M. (2017). Return on investment analysis and simulation of a 9.12 kilowatt (kW) solar photovoltaic system. Solar Energy, 144, 629-634.

Ludin, N. A., Mustafa, N. I., Hanafiah, M. M., Ibrahim, M. A., Teridi, M. A. M., Sepeai, S., ... & Sopian, K. (2018). Prospects of life cycle assessment of renewable energy from solar photovoltaic technologies: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *96*, 11-28.

Yang, B., Yu, T., Zhang, X., Li, H., Shu, H., Sang, Y., & Jiang, L. (2019). Dynamic leader based collective intelligence for maximum power point tracking of PV systems affected by partial shading condition. *Energy Conversion and Management*, *179*, 286-303.

Alamdari, P., Nematollahi, O., & Alemrajabi, A. A. (2013). Solar energy potentials in Iran: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *21*, 778-788.

Eleftheriadis, I. M., & Anagnostopoulou, E. G. (2015). Identifying barriers in the diffusion of renewable energy sources. *Energy Policy*, *80*, 153-164.

Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy tran`sformation. *Energy Strategy Reviews*, *24*, 38-50.