www.barghnews.com

تحقیقات اقتصادی / دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۵ / ص ۳۲۶-۳۰۷

ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در روستاهای مناطق جنوبی ایران

مرضیه بهمنی[۱*]، نفیسه بهرادمهر[۲]

۱. دانشجوی دکتری، دانشگاه الزهرا bahmani_mrz@yahoo.com

۲. استادیار دانشکدهٔ اقتصاد، دانشگاه تهران behradmehr@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۵

چکیده

انرژی الکتریکی از مهم‌ترین نیازهای جوامع بشری برای دستیابی به توسعه است، به همین منظور برق‌رسانی به روستاهای کشور از اهداف دولت‌ها محسوب می‌شود. در این تحقیق با بهره‌گیری از شاخص‌های ارزیابی اقتصادی دو روش گسترش شبکهٔ سراسری برق و کاربرد سیستم فتوولتائیک خورشیدی از جهت تخصیص بهینهٔ منابع اقتصادی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. محاسبهٔ شاخص‌های ارزیابی اقتصادی حاکی از آن است که در شرایط عدم پرداخت یارانه از طرف دولت این دو روش صرفهٔ اقتصادی نداشته و ارزش خالص فعلی منفی دارند. گاهی دولت به منظور تحقق اهداف عدالت اجتماعی اقدام به برق‌رسانی به روستاها با این شرایط می‌کند؛ در چنین شرایطی پرداخت یارانه برای دستیابی به ارزش خالص فعلی مثبت تنها راه‌حل است. در این تحقیق روش کاربرد سیستم فتوولتائیک خورشیدی پیشنهاد شده است، زیرا خالص ارزش فعلی منفی کمتری دارد.

طبقه‌بندی JEL: Q41, P48.

واژگان کلیدی: انرژی نو، انرژی خورشیدی، سیستم فتوولتائیک خورشیدی، شبکهٔ سراسری برق، ارزیابی اقتصادی.

---

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۷۲۴۸۵۳۳

www.barghnews.com

مقدمه

با به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر همچون انرژی خورشیدی، برای مصارف خانگی، علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌توان از انتشار گازهای گلخانه‌ای جلوگیری کرد و موجب عرضهٔ پایدار انرژی در کشور شد و همچنین بدون اثرات سوء اقتصادی رفاه و معیشت جامعه را بهبود بخشید. گسترش شبکهٔ سراسری برق به روستاهای کم‌جمعیت با پراکندگی زیاد و مسیر دسترسی صعب‌العبور بهینه نیست. سلول‌های فتوولتائیک خورشیدی می‌تواند با هزینهٔ کمتری نسبت به گسترش شبکهٔ سراسری برق ایجاد شود و از هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هدررفت برق در شبکهٔ توزیع و انتقال خصوصاً در هنگام شدت ولتاژ جلوگیری کند. سلول‌های خورشیدی از موادی نظیر سیلیکون[1]، که خاصیت فتوولتائیک دارند، ساخته می‌شوند. این مواد تابش خورشید را جذب می‌کنند، الکترون از اتم‌های آن‌ها آزاد و میدان کوچک الکتریکی در هر سلول ایجاد می‌شود. سلول‌های خورشیدی را به صورت سری موازی در لایه‌های شفافی از سیلیکون قرار می‌دهند و با یک شیشهٔ دوجداره می‌پوشانند و درون یک قاب فلزی قرار می‌دهند که آن را صفحهٔ خورشیدی می‌نامند. صفحات خورشیدی می‌توانند انرژی الکتریکی مورد نیاز یک منزل روستایی را تأمین کنند. در این مقاله با استفاده از روش‌های ارزیابی اقتصادی دو روش انتقال برق سیستم فتوولتائیک خورشیدی و شبکهٔ سراسری برق با هم مقایسه شده است. به همین منظور، روستای باغتاج از توابع شهرستان دشتستان استان بوشهر، که سیستم فتوولتائیک خورشیدی در آن نصب و راه‌اندازی شده است، برای مطالعهٔ موردی انتخاب شد. در بخش دوم پیشینهٔ تحقیق بیان شده است؛ در بخش سوم به روش‌های ارزیابی اقتصادی پرداخته شده است؛ در بخش چهارم تحلیل داده‌ها و نتایج تجربی؛ و در قسمت آخر نتیجه‌گیری مطرح شده است.

پیشینهٔ تحقیق

تحقیقات زیادی در زمینهٔ انرژی‌های نو و تجدیدپذیر و به خصوص انرژی خورشیدی و استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک انجام شده است. از جملهٔ آن‌ها می‌توان به یوسفی

1. silicon

(۱۳۸۳) اشاره کرد که در آن به محاسبهٔ قیمت تمام‌شدهٔ یک کیلووات برق تولیدی حاصل از انرژی‌های نو و مقایسهٔ آن با قیمت تمام‌شدهٔ برق تولیدی از شبکهٔ سراسری برق با به‌کارگیری هزینهٔ سالانهٔ یکنواخت اقدام شده است. آن‌گاه بر اساس شرایط اقلیمی مناطق مختلف کشور و بر پایهٔ نتایج به دست آمده برای تأمین برق روستاهای پراکندهٔ استان‌های فارس، کرمان، یزد، کهگیلویه و بویراحمد سیستم فتوولتائیک توصیه شده است. در مقالهٔ دیگری که خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۸۴) تهیه کرده‌اند، به ارزیابی اقتصادی استفاده از نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک در مقایسه با نیروگاه دیزلی و اتصال به شبکهٔ سراسری برق به منظور تأمین برق روستاهای مرکزی در ایران پرداخته شده است. با استفاده از تحلیل هزینهٔ چرخهٔ عمر و ارزیابی اقتصادی سناریوهای مختلف هزینهٔ واحد انرژی سیستم فتوولتائیک با ۹۶۰ ریال/ کیلووات از هزینهٔ واحد انرژی در گزینه‌های دیگر کمتر است. سلطانی مهاجر (۱۳۸۷) نیز به بررسی صرفهٔ اقتصادی بهره‌گیری از سیستم تولید برق فتوولتائیک در استان قم به کمک شاخص‌های ارزیابی طرح پرداخته است. او بدین منظور ضمن محاسبهٔ متوسط انرژی الکتریکی مصرفی هر خانه در استان قم، هزینهٔ تولید برق از دو شیوهٔ نیروگاه سیکل ترکیبی و سیستم فتوولتائیک را با شاخص‌های مختلف برآورد کرده است. اما تمامی شاخص‌ها حاکی از آن است که بهره‌گیری از سیستم فتوولتائیک در استان قم در شرایط کنونی و با تکنولوژی مورد بررسی صرفهٔ اقتصادی ندارد. بانک جهانی نیز تحقیقاتی در زمینهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر انجام داده است که از جملهٔ آن می‌توان به مطالعه‌ای که از سوی لیبنتال[1] و همکاران (۱۹۹۴) انجام شده است اشاره کرد. در این مطالعه برق‌رسانی به مناطق روستایی جزایر اقیانوسیه به وسیلهٔ نیروگاه دیزلی و فتوولتائیک ارزیابی اقتصادی شده و هزینهٔ نهایی تولید انرژی با روش تحلیل هزینهٔ چرخهٔ عمر محاسبه شده است. وی به این نتیجه می‌رسد که برای برق‌رسانی به مناطق روستایی با ظرفیت بار پایین، تولید برق به وسیلهٔ نیروگاه فتوولتائیک ارزان‌تر از نیروگاه دیزلی خواهد بود. بورنستین[2] (۲۰۰۵) در کالیفرنیا جنبه‌های صرفه‌جویی در هزینه‌های انتقال و توزیع برق را با

1. Liebenthal
2. Borenstein

استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک بررسی کرده است. محقق از این اطلاعات در زمینهٔ داده‌های قیمت عمده‌فروشی و شبیه‌سازی به منظور برآورد ارزش عمده‌فروشی واقعی تولید برق فتوولتائیک خورشیدی استفاده می‌کند. بورنستین (۲۰۰۸) در مقالهٔ دیگری با استفاده از مدل شبیه‌سازی ترنسیس[1] داده‌هایی را در شرایط کنترل‌شده از تأسیسات خورشیدی کالیفرنیای امریکا به دست آورده است و با توجه به آن‌ها مجموع ارزش حال برق حاصل از فتوولتائیک خورشیدی و هزینهٔ تولید آن را محاسبه می‌کند و با همین ارزش از شبکهٔ سراسری برق مقایسه می‌کند. وی به این نتیجه می‌رسد که هزینه‌های نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی با تکنولوژی موجود بسیار بالاست. هر یک از مواردی که بررسی شد به نوعی به انرژی‌های نو و به خصوص سیستم فتوولتائیک خورشیدی پرداخته بودند، اما هیچ کدام از آن‌ها نتوانسته‌اند به طور کامل مزایای استفاده از انرژی خورشیدی و ارزش واقعی برق حاصل از آن را برآورد کنند. در این مقاله سعی شده است تا تمام منافع حاصل از انرژی خورشیدی، که در تعیین ارزش واقعی آن تأثیرگذار است، در نظر گرفته شود. سیستم فتوولتائیک خورشیدی نیازی به هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه در شبکهٔ توزیع و انتقال برق ندارد و می‌تواند در هزینهٔ تأمین برق از شبکهٔ سراسری برق صرفه‌جویی کند، همچنین از هدررفت برق به هنگام عبور از شبکهٔ انتقال و توزیع مخصوصاً به هنگام افزایش شدت ولتاژ جلوگیری کند. یکی دیگر از مهم‌ترین فواید استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی، جنبه‌های زیست‌محیطی استفاده از این انرژی تجدیدپذیر و صرفه‌های اجتماعی خارجی آن است. با در نظر گرفتن منافع حاصل از سیستم فتوولتائیک خورشیدی می‌توان ارزش برق فتوولتائیک خورشیدی را محاسبه کرد. در قرن حاضر مسئلهٔ پیش روی مسئولان توسعهٔ متوازن همهٔ بخش‌های کشور است که برق‌رسانی به بخش‌های دورافتادهٔ کشور از اولویت‌های توسعهٔ متوازن است. انرژی الکتریکی می‌تواند با انواع روش‌های مختلف و با استفاده از انرژی‌های اولیهٔ متفاوت تولید شود، اما نکتهٔ حائز اهمیت این است که کدام روش از کارایی اقتصادی برای روستاهای دورافتاده‌ای که از نعمت برق بی‌بهره‌اند برخوردار است. در این تحقیق سعی شده است تا روش بهینهٔ تولید و عرضهٔ کارای انرژی

1. TRNSYS

الکتریکی، که شامل حداقل هزینهٔ اجتماعی برای جامعه و هزینهٔ اندک تأمین برق برای خانوار است، مشخص شود.

روش‌های ارزیابی اقتصادی و مدل‌سازی

روش‌های ارزیابی اقتصادی، که در این مقاله به کار رفته است، شامل موارد خالص ارزش فعلی پروژه (NPV)، نرخ بازده داخلی (IRR)، دورهٔ بازگشت سرمایهٔ تنزیلی (DPP) و شاخص سودآوری (PI) است که در ادامه با توجه به کتاب *آمادگی اصول بازار سرمایه* نوشتهٔ احمدی (۱۳۹۳) شرح داده می‌شود. معیار اصلی برای قبول یا رد یک پروژه یا مقایسهٔ بین دو پروژهٔ مانعةالجمع خالص ارزش فعلی پروژه[1] (NPV) است. NPV با استفاده از جریانات نقدی طرح سرمایه‌گذاری و دریافت‌ها و پرداخت‌های آن محاسبه می‌شود. در واقع NPV همان خالص مجموع ارزش حال دریافت‌ها و پرداخت‌ها در محاسبهٔ جریان نقدی طرح است.

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+i)^t} = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+i)^1} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \ldots + \frac{CF_n}{(1+i)^n} \qquad (1)$$

در رابطهٔ ۱ CF_0 سرمایه‌گذاری اولیه است و CF_t برابر وجه نقد دریافتی و یا پرداختی در زمان t است. i برابر نرخ تنزیل یا بهره است. پروژه با NPV بزرگ‌تر از صفر به عنوان پروژهٔ سودآور و دارای صرفهٔ اقتصادی تلقی می‌شود. نرخ بازده داخلی[2] (IRR) نرخ تنزیلی است که NPV پروژه را برابر صفر قرار می‌دهد. پروژه‌هایی صرفهٔ اقتصادی دارند که IRR آن‌ها از نرخ تنزیل مورد انتظار سرمایه‌گذاران بیشتر باشد.

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0 \qquad (2)$$

دورهٔ بازگشت سرمایهٔ تنزیلی[3] (DPP) برابر است با مدت زمانی که طول می‌کشد تا مجموع ارزش حال دریافت‌های پروژه بتوانند سرمایه‌گذاری اولیه را پوشش دهند.

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

شاخص سودآوری[1] (PI) برابر ارزش فعلی مجموع جریانات نقدی آتی تقسیم بر سرمایه‌گذاری اولیه است. هنگامی یک پروژه صرفهٔ اقتصادی دارد که PI آن بزرگ‌تر از یک باشد.

$$PI = \frac{PV\ of\ \ Future\,Cash\ Flow}{Initial\ Investment} = ۱ + \frac{NPV}{Initial\ Investment} \qquad (۳)$$

۱. ارزش حال کل مبلغ دریافتی سالانه از سیستم فتوولتائیک خورشیدی (بورنستین، ۲۰۰۸)[2]

برای محاسبهٔ ارزش حال کل مبلغ دریافتی سالانه از سیستم فتوولتائیک خورشیدی می‌بایست در ابتدا ارزش یک واحد برق فتوولتائیک خورشیدی (V_t) را با توجه به رابطهٔ ۴ محاسبه کرد:

$$V_t = W_t + W_t .۲ \propto Q_t + \beta = W_t \left(۱ + ۲ \propto Q_t\right) + \beta \qquad (۴)$$

برای محاسبهٔ V_t (به ازای یک کیلووات ساعت) نیاز به محاسبهٔ مقادیر W_t (برابر قیمت عمده‌فروشی برق) و $W_t .۲ \propto Q_t$ (کاهش ارزش تلفات خط با جایگزینی یک واحد برق حاصل از فتوولتائیک خورشیدی در شبکه) است و همچنین در دست داشتن β (فواید جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای) ضروری است. توزیع و انتقال برق به کاربر نهایی دارای تلفاتی در زمان است. تلفات سیستم با رابطهٔ ۵ نشان داده می‌شود:

$$L_t = \propto Q_t^{۲} \qquad (۵)$$

میزان هدررفت نهایی سیستم، که با افزایش یک واحد برق تولیدی به وسیلهٔ ایستگاه مرکزی به دست می‌آید، شامل مشتق این رابطه نسبت به Q_t (به ازای یک کیلووات ساعت) است ($\frac{dL_t}{dQ_t} = ۲ \propto Q_t$). در این رابطه $\propto$ عددی است ثابت که مقدار آن برابر $\propto = ۰/۱۵ \frac{\sum_{t=۱}^{T} Q_t}{\sum_{t=۱}^{T} Q_t^{۲}}$ است که در آن عبارت $\sum_{t=۱}^{T} Q_t$ مجموع کل مصرف متوسط سالانهٔ ۱۰ خانوار روستایی از سال یک تا بیست (میزان مصرف و تعداد خانوارها در کل بیست

1. Profitability Index
2. Borenstein

سال ثابت) در نظر گرفته می‌شود و عبارت $\sum_{t=1}^{T} Q_t^2$ برابر تـوان دوم مجمـوع کـل مصـرف متوسط سالانهٔ ۱۰ خانوار روستایی طی بیسـت سـال اسـت. بـا ضـرب مقـدار $\frac{dL_t}{dQ_t}$ در قیمت عمده‌فروشی برق کاهش ارزش تلفات خط با جایگزینی یک واحد بـرق حاصـل از فتوولتائیک خورشیدی در شبکه به دست می‌آید. برای محاسـبهٔ ارزش حـال کـل مبلـغ دریافتی سالانهٔ نصب و راه‌اندازی سیسـتم فتوولتائیـک خورشـیدی از رابطـهٔ ۶ اسـتفاده می‌شود که به صورت زیر است:

$$V = \sum_{t=1}^{T} £ V_t . Q_t \qquad (۶)$$

در این رابطه Q_t برابر مصرف متوسط سالانه برای کـل خانوارهـای روسـتای باغتـاج (طی بیست سال میزان مصرف و تعداد خانوارها ثابت) است. میزان V_t برای یـک سـال به دست می‌آید که برای سهولت این میزان نیز طی بیست سال ثابت فرض شـده اسـت. در این رابطه £ عامل تخفیف دوره است و می‌توان آن را به صورت رابطهٔ ۷ نمایش داد:

$$£ = \frac{1}{(1+i)^n} \quad , n = t, \ldots, T \qquad (۷)$$

در این رابطه i نرخ بهرهٔ واقعی است و بدین علت کـه نـرخ بهـرهٔ مشخصـی در بـازار سرمایهٔ ایران وجود ندارد، سه سناریوی نرخ بهره با ارقام ۸٪، ۱۲٪، و ۱۶٪ در نظر گرفته می‌شود؛ که n طول دورهٔ بهره‌برداری از ابتدای سال اول تا انتهای سال بیستم است.

۲. ارزش حال کل مبلغ دریافتی سالانه از شبکهٔ سراسری برق (بورنستین، ۲۰۰۸)

برای محاسبهٔ منافع حاصل از استفادهٔ شبکهٔ سراسری برق نیاز است تا یـک ارزش ثابـت برای یک واحد برق تحویلی شبکهٔ سراسری برق تعریـف شـود. مـی‌تـوان بـا اسـتفاده از مجموع میزان تولید برق در کل سیستم به وسیلهٔ ایسـتگاه مرکـزی ($\sum_{t=1}^{T} Q_t$) و قیمـت عمده‌فروشی برق (W_t) و متوسط وزنی تلفات خط (Ø)، که در این‌جا ۰/۱۵ فرض شـده است، ارزش ثابت یک واحد برق تحویلی از شبکهٔ سراسری برق را محاسبه کرد:

$$P = \frac{۱}{۱-Ø} \cdot \frac{\sum_{t=۱}^{T} Q_t . W_t}{\sum_{t=۱}^{T} Q_t} \qquad (۸)$$

در این رابطه P ارزش ثابت یک واحد برق تحویلی از شبکهٔ سراسری برق نیروگاهی و $۱-Ø$ میزان برق مفید در دسترس و $\sum_{t=۱}^{T} Q_t . W_t$ ارزش کل تولید برق از شبکهٔ سراسری برق نیروگاهی است. برای محاسبهٔ ارزش حال کل مبلغ دریافتی سالانه از شبکهٔ سراسری برق از رابطهٔ ۹ استفاده می‌شود:

$$V = \sum_{t=۱}^{T} £P . Q_t \qquad (۹)$$

در این رابطه عبارت $\sum_{t=۱}^{T} £ P$ برابر ارزش حال یک واحد برق حاصل از نیروگاه و Q_t میزان مصرف سالانهٔ روستای باغتاج است. همچنین £ عامل تخفیف دوره بوده که در رابطهٔ ۷ بیان شده است.

تحلیل داده‌ها و نتایج تجربی

۱. برآورد مصرف انرژی الکتریکی در روستای باغتاج از توابع شهرستان دشتستان بوشهر

کلیهٔ اطلاعات مربوط به سامانهٔ فتوولتائیک و میزان مصرف انرژی الکتریکی در روستا از سازمان انرژی‌های نو ایران گرفته شده است. در مرحلهٔ نخست طراحی یک سامانهٔ فتوولتائیک، برآورد دقیق مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی و میزان مصرف آن‌ها طی یک شبانه‌روز انجام می‌شود. به دلیل بالا بودن هزینهٔ تمام‌شدهٔ این سامانه فقط تجهیزات الکتریکی متعارف قابل استفادهٔ یک خانوار روستایی برای مصارف اولیه در اجرای این پروژه لحاظ شده است. با توجه به اطلاعات موجود در جدول ۱ میزان کل انرژی الکتریکی مصرفی هر خانوار روستایی طی شبانه‌روز ۳۹۸۰ وات/ ساعت (۳/۹۸ کیلووات/ ساعت) در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. انرژی مصرفی لحاظ‌شدهٔ هر خانوار روستایی در یک شبانه‌روز

شرح	توان مصرفی (وات)	زمان مصرف (ساعت)	انرژی (وات/ ساعت)
روشنایی	۹۰ (۱۸*۵)	۸	۷۲۰
یخچال	۱۵۰	۱۰	۱۵۰۰
صوتی و تصویری	۱۰۰	۸	۸۰۰
بار اضافی	۱۲۰	۸	۹۶۰
جمع کل	۴۶۰	۳۴	۳۹۸۰

*منبع: سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، معاونت انرژی‌های نو (۱۳۹۱)

۲. سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های متغیر سیستم فتوولتائیک خورشیدی

جدول ۲. تجهیزات سرمایه‌گذاری اولیهٔ سیستم فتوولتائیک

ردیف	شرح	تعداد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
۱	پنل فتوولتائی ۴۵ واتی	۲۴	۳۲۰۰۰۰۰	۷۶۸۰۰۰۰۰
۲	پکیج شارژ کنترل و اینورتر	۱	۲۰۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰۰
۳	باتری Ah/12V۱۰۰	۸	۲۵۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰۰
۴	استراکچر ۶ ماژولی	۴	۱۰۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰
۵	کابل، فیوز، و اتصالات	----	۲۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰
۶	کابینت و تابلو	۱	۸۰۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰۰
۷	حمل، نصب، و راه‌اندازی	----	۱۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰
	جمع کل (ریال)			۱۴۰۸۰۰۰۰۰

*منبع: سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، معاونت انرژی‌های نو (۱۳۹۱)

با توجه به برآورد مصرف انرژی الکتریکی می‌توان تجهیزات مورد نیاز برای سرمایه‌گذاری اولیه در سیستم فتوولتائیک خورشیدی را به دست آورد که این موارد در جدول ۲ آورده شده است. کل هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیهٔ یک سیستم فتوولتائیک برای یک خانهٔ روستایی برابر ۱۴۰۸۰۰۰۰۰ ریال است. با ضرب این مبلغ در تعداد ده خانوار روستایی ساکن در روستای باغتاج هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه برای برق‌رسانی از روش سیستم فتوولتائیک به کل خانوارهای این روستا به دست می‌آید که برابر ۱۴۰۸۰۰۰۰۰۰ریال است.

هزینه‌ها و تجهیزات لازم در دورهٔ بهره‌برداری (هزینه‌های متغیر) به شرح زیر است:

۱. هزینهٔ تعویض باتری: طول عمر باتری معمولاً ۵ الی ۷ سال در نظر گرفته می‌شود و در سال هفتم و چهاردهم هزینهٔ تعویض باتری ۲۰۰ میلیون ریال است.

۲. هزینهٔ تعویض اینورتر و شارژ کنترل: هزینهٔ یک بار تعویض اینورتر و شارژ کنترل در پایان سال دهم مبلغ ۲۰۰ میلیون ریال لحاظ می‌شود.

۳. هزینهٔ سالانهٔ سیستم‌های فتوولتائیک: هزینهٔ سرویس این سیستم‌ها معادل ۱٪ هزینهٔ تجهیزات سرمایه‌گذاری اولیه در هر سال لحاظ می‌شود.

هزینهٔ سالانهٔ سیستم فتوولتائیک خورشیدی= ۱۴۰۸۰۰۰۰۰۰ × ۱٪ = ۱۴۰۸۰۰۰۰

۳. عایدی حاصل از سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی

میزان مصرف متوسط سالانه برای کل خانوارهای روستای باغتاج ۱۴۵۲۷ کیلووات ساعت (۳۹٫۸ کیلووات ساعت مصرف روزانه × ۱۰ خانوار روستایی × ۳۶۵ تعداد روزهای سال) به دست می‌آید و قیمت عمده‌فروشی برق (W_t) برای استان بوشهر حدود ۱۲۴۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت است. با توجه به اطلاعات فوق میزان $\propto$ را محاسبه می‌کنیم و در رابطهٔ محاسبهٔ $\frac{dL_t}{dQ_t}$ قرار می‌دهیم:

$$\propto = ۰/۱۵ \frac{\sum_{t=۱}^{۲۰} ۱۴۵۲۷}{\sum_{t=۱}^{۲۰} (۱۴۵۲۷)^۲} = ۰/۰۰۱ \rightarrow \frac{dL_t}{dQ_t} = ۲ \times ۱ \times ۰/۰۰۱ = ۰/۰۰۲$$

برای محاسبهٔ ارزش تلفات خط، میزان هدررفت نهایی را در قیمت عمده‌فروشی برق به ازای هر کیلووات ساعت در استان بوشهر (۱۲۴۰ ریال) ضرب می‌کنیم:

$$\frac{dL_t}{dQ_t} . W_t = W_t . ۲ \propto Q_t \rightarrow W_t . ۲ \propto Q_t = ۰/۰۰۲ \times ۱۲۴۰ = ۲/۴۸$$

برای محاسبهٔ فواید جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای تولیدشده به وسیلهٔ سیستم مرکزی تولید برق (β)، که با استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی حاصل می‌شود، از ترازنامهٔ انرژی کشور در سال ۱۳۹۰ کمک می‌گیریم. بر اساس اطلاعات مندرج در ترازنامهٔ انرژی، هزینهٔ اجتماعی مستقیم و غیرمستقیم NO_x ، $SO_۲$ و $CO_۲$ به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی در نیروگاه‌های بخاری کشور حدود

۷۲۰ تا ۱۳۶۰ ریال، نیروگاه گازی ۷۴۰ تا ۱۳۸۰ ریال و نیروگاه سیکل ترکیبی ۵۹۰ تا ۱۲۳۰ ریال برآورد شده است.[۱] با توجه به این‌که تولید برق در استان بوشهر بیشتر به وسیلهٔ نیروگاه گازی صورت می‌گیرد (۷۴۸ میلیون کیلووات ساعت در سال)، برای محاسبهٔ هزینهٔ اجتماعی آلاینده‌های زیست‌محیطی از هزینهٔ اجتماعی این نوع نیروگاه استفاده می‌کنیم و با توجه به دسترسی به یک بازهٔ پولی هزینهٔ اجتماعی، از متوسط این بازه که ۱۰۶۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت است، استفاده خواهیم کرد. میزان ارزش یک واحد برق حاصل از فتوولتائیک خورشیدی (V_t) برای یک کیلووات ساعت به صورت زیر است:

$$V_t = W_t + W_t . ۲ \propto Q_t + \beta = ۱۲۴۰ + ۲/۴۸ + ۱۰۶۰ = ۲۳۰۲/۴۸$$

میزان مصرف متوسط سالانه برای کل خانوارهای روستای باغتاج برابر ۱۴۵۲۷ کیلووات ساعت را در ارزش یک واحد برق حاصل از فتوولتائیک خورشیدی (V_t) برای یک کیلووات ساعت ضرب می‌کنیم و مبلغ ۳۳۴۴۸۱۲۷ ریال برای انتهای هر سال به عنوان عایدی حاصل از سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی به دست می‌آید.

۴. سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های متغیر توسعهٔ شبکهٔ سراسری برق

جدول ۳. هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه برای استفاده از شبکهٔ سراسری برق (میلیون ریال)

	شرح	میزان نیاز	هزینهٔ هر کیلومتر	قیمت کل
۱	هزینهٔ احداث خط فشار متوسط AL (۷۰×۳)	۳۰ km	۱۸۰	۵۴۰۰
۲	هزینهٔ احداث شبکهٔ فشار ضعیف با سیم مسی (۱۶+۳۵×۴)	۴km	۳۶۰	۱۴۴۰
۳	هزینهٔ نصب دستگاه پست هوایی (۲۵KVA)	۱عدد	۵۰	۵۰
۴	مجموع (هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیهٔ توسعهٔ شبکهٔ سراسری برق)			۶۸۹۰

* منبع: وزارت نیرو، توانیر، بخش دبیرخانهٔ کاهش تلفات انرژی (۱۳۹۱)

۱. پروژهٔ «انجام مطالعات تعیین هزینه‌های اجتماعی CO و SO2 ، NOx بخش انرژی کشور (نیروگاه‌ها)»، ۱۳۸۴، دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی برق و انرژی وزارت نیرو.

اطلاعات مربوط به شبکهٔ سراسری برق از وزارت نیرو در سال ۱۳۹۱ تهیه شده است. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۳ هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیهٔ توسعهٔ شبکهٔ سراسری برق به روستای باغتاج حدود ۶۸۹۰ میلیون ریال است. البته به علت سنگلاخی و صعب‌العبور بودن راه دسترسی به روستا هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه در حدود ۲۵ درصد افزایش می‌یابد که با در نظر گرفتن این مهم هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه برای توسعهٔ شبکهٔ سراسری برق به مقدار ۸۶۱۲ میلیون ریال می‌رسد.

هزینه‌های متغیر در دورهٔ بهره‌برداری به شرح زیر است:

۱. هزینهٔ تعمیرات و نگهداری سالانه: هزینهٔ تعمیرات و نگهداری سالانه در سال ۱۳۹۰ به طور متوسط حدود ۲۱۹۳۸۹ ریال[۱] به ازای هر کیلووات ساعت مصرف هر مشترک است. از حاصل‌ضرب این مبلغ در تعداد خانوارهای روستای باغتاج و میزان مصرف روزانهٔ هر خانوار که به ترتیب برابر ۱۰ خانوار و ۳/۹۸ کیلووات ساعت مصرف است، مبلغ ۸۷۳۱۶۸۲ ریال به عنوان هزینهٔ تعمیرات و نگهداری سالانهٔ شبکهٔ برق روستای باغتاج به دست می‌آید.

۲. هزینهٔ خدمات به مشترکین: در سال ۱۳۹۰ میزان هزینهٔ این خدمات به ازای هر مشترک ۱۴۵۹۵۸ ریال[۲] برای هر کیلووات ساعت مصرف مشترک در نظر گرفته می‌شود. این میزان در تعداد ۱۰ مشترک روستای باغتاج ضرب می‌شود و به میزان ۱۴۵۹۵۸۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت در سال می‌رسد. میزان مصرف روزانهٔ روستای باغتاج برای هر خانوار روستایی به طور متوسط برابر ۳/۹۸ کیلووات ساعت است که با ضرب این مقدار در میزان سالانهٔ هزینهٔ خدمات به مشترکان برای ۱۰ مشترک روستای باغتاج مبلغ ۵۸۰۹۱۲۸ ریال هزینهٔ خدمات به مشترکین به صورت سالواره برای انتهای هر سال به دست می‌آید.

۳. هزینهٔ خرید برق در استان بوشهر: به منظور توسعهٔ شبکهٔ سراسری برق به روستا نیاز به تهیهٔ برق از نزدیک‌ترین پست فشار قوی، که حدود ۳۰ کیلومتر با روستای باغتاج فاصله دارد، است و در همین زمینه باید هزینهٔ خرید برق از این پست در محاسبات هزینه‌ای وارد شود. میزان مصرف متوسط سالانهٔ انرژی الکتریکی روستای باغتاج (۱۴۵۲۷ کیلووات

---

۱. وزارت نیرو، توانیر، بخش دبیرخانهٔ کاهش تلفات انرژی (۱۳۹۱)

۲. وزارت نیرو، توانیر، بخش دبیرخانهٔ کاهش تلفات انرژی (۱۳۹۱)

ساعت) در قیمت عمده‌فروشی برق در استان بوشهر (۱۲۴۰ریال) ضرب می‌شود تا میزان هزینهٔ خرید برق در استان بوشهر (۱۸۰۱۳۴۸۰ ریال) به دست بیاید.

۴. هزینهٔ تلفات خط: توزیع و انتقال برق به کاربر نهایی دارای تلفاتی است. ماهیت شبکه‌های توزیع، گستردگی و آسیب‌پذیری آن، فرسودگی نزدیک به ۳۰ درصد شبکه‌های توزیع، سوء استفاده از انرژی برق به‌ویژه در مناطق گرمسیری و حاشیهٔ شهرها از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد تلفات‌اند. محاسبات هزینهٔ تلفات خط انتقال و توزیع در جدول ۴ آمده است:

جدول ۴. محاسبهٔ میزان تلفات خط انتقال و توزیع

میزان مصرف متوسط سالانه برای کل خانوارهای روستای باغتاج (کیلووات ساعت)	۱۴۵۲۷
مصارف داخلی نیروگاه	٪۳/۵
تلفات شبکهٔ انتقال و توزیع	٪۱۵
میزان برق تولیدی سالانهٔ نیروگاه برای کل خانوارهای باغتاج (کیلووات ساعت)	۱۷۷۱۰
میزان برق تلف‌شده از فرایند تولید تا مصرف (کیلووات ساعت)	۳۱۸۳
قیمت عمده‌فروشی برق در استان بوشهر (ریال)	۱۲۴۰
ارزش برق تلف‌شده از فرایند تولید تا مصرف (ریال)	۳۹۴۷۴۸۳

* منبع: محاسبات محقق (۱۳۹۱)

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌کنید، برای محاسبهٔ میزان تولید برق نیروگاه از رابطهٔ ۱۰ استفاده می‌کنیم:

$$\text{میزان تولید برق نیروگاه} = \text{میزان مصرف برق روستا} \times \frac{۱}{۱-\varnothing} \times \frac{۱}{۱-\gamma} \qquad (۱۰)$$

در رابطهٔ ۱۰، γ میزان مصارف داخلی نیروگاه و برابر ٪۳/۵ است و $\varnothing$ میزان تلفات شبکهٔ انتقال و توزیع و برابر ٪۱۵ است. در نتیجه با توجه به رابطهٔ فوق میزان تولید نیروگاه برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز روستای باغتاج برابر ۱۷۷۱۰ کیلووات ساعت است. در صورتی که تفاوت میزان برق تولیدی سالانهٔ نیروگاه برای کل خانوارهای روستای باغتاج از میزان مصرف متوسط سالانهٔ همین روستا محاسبه شود، میزان برق تلف‌شده از فرایند تولید تا مصرف به دست می‌آید. با ضرب این میزان در قیمت عمده‌فروشی برق در استان بوشهر ارزش برق تلف‌شده از فرایند تولید تا مصرف (۳۹۴۷۴۸۳ ریال) حاصل می‌شود.

۵. هزینهٔ اجتماعی آلاینده‌های زیست‌محیطی تولیدشده به هنگام تولید نیروی برق به وسیلهٔ نیروگاه: هزینهٔ اجتماعی آلاینده‌های زیست‌محیطی ۱۰۶۰ ریال[۱] به ازای هر کیلووات است. هزینهٔ اجتماعی آلاینده‌های زیست‌محیطی تولید نیروی برق مبلغ ۱۸۷۷۲۶۰۰ ریال(۱۰۶۰ × میزان برق تولیدی سالانهٔ نیروگاه برای کل خانوارهای روستا (۱۷۷۱۰ کیلووات ساعت)) به دست می‌آید.

۵. عایدی حاصل از نیروگاه برق

میزان تولید نیروگاه برق برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز سالانهٔ روستای باغتاج برابر ۱۷۷۱۰ کیلووات ساعت و قیمت عمده‌فروشی برق در استان بوشهر ۱۲۴۰ ریال است (طی بیست سال تولید برق و قیمت عمده‌فروشی ثابت)، ارزش یک واحد برق تحویلی از شبکهٔ سراسری برق نیروگاهی (P) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{۱}{۱-۰/۱۵} \times \frac{\sum_{t=۱}^{۲۰} ۱۷۷۱۰ \times ۱۲۴۰}{\sum_{t=۱}^{۲۰} ۱۷۷۱۰} = ۱۴۵۹$$

میزان مصرف سالانهٔ روستای باغتاج (۱۴۵۲۷ کیلووات ساعت) در ارزش یک واحد برق تحویلی از شبکهٔ سراسری برق نیروگاهی (P) برای یک کیلووات ساعت ضرب می‌شود و مبلغ ۲۱۱۹۴۸۹۳ ریال به عنوان عایدی سالانهٔ حاصل از نیروگاه برق به دست می‌آید.

۶. ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک خورشیدی و شبکهٔ سراسری برق

در صورتی که تفاوت ارزش حال برق ارائه‌شده از نصب و راه‌اندازی فتوولتائیک خورشیدی (V) در طول زمان t تا T (محاسبه از طریق رابطهٔ ۶) از ارزش حال برق ارائه‌شده به وسیلهٔ نیروگاه برق ($\mathcal{V}$) در طول زمان t تا T (محاسبه از طریق رابطهٔ ۹) محاسبه شود، میزان سودمندی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی به صورت زیر است:

$$V_{diff} = V - \mathcal{V} \qquad (۱۱)$$

---

۱. طبق محاسبات صفحهٔ ۹ همین مقالهٔ بخش عایدی حاصل از سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی

جدول ۵. مقایسهٔ ارزش حال مبلغ دریافتی سالانه از سیستم فتوولتائیک خورشیدی با ارزش حال دریافتی سالانهٔ شبکهٔ سراسری برق (ارقام به ریال)

شرح	نرخ بهرهٔ واقعی	سیستم فتوولتائیک خورشیدی	شبکهٔ سراسری برق	تفاوت ارزش حال مبلغ دریافتی از فتوولتائیک خورشیدی از ارزش حال مبلغ دریافتی از شبکهٔ سراسری برق
سناریو ۱	٪۸	۳۴۷۸۶۰۵۲۱	۲۱۸۳۰۷۳۹۸	۱۲۹۵۵۳۱۲۳
سناریو ۲	٪۱۲	۲۴۷۵۱۶۱۴۰	۱۵۶۸۴۲۲۰۸	۹۰۶۷۳۹۳۲
سناریو ۳	٪۱۶	۱۲۵۶۷۸۹۱۲	۱۰۲۶۷۵۹۸۳	۲۳۰۰۲۹۲۹

*منبع: محاسبات محقق (۱۳۹۱)

تفاوت ارزش حال مبلغ دریافتی از فتوولتائیک خورشیدی از ارزش حال مبلغ دریافتی از شبکهٔ سراسری برق بیشتر بوده و عددی مثبت است. همچنین ارزش یک کیلووات برق حاصل از سیستم فتوولتائیک خورشیدی ۲۳۰۲۴۸ ریال و ارزش یک کیلووات برق حاصل از شبکهٔ سراسری برق ۱۴۵۹ ریال است. این خود به‌تنهایی بیانگر مزیت استفاده از سیستم فتوولتائیک خورشیدی نسبت به شبکهٔ سراسری برق است. محاسبات مربوط به (NPV) دو طرح سیستم فتوولتائیک خورشیدی و شبکهٔ سراسری برق در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶. مقایسهٔ خالص ارزش فعلی (NPV) سیستم فتوولتائیک خورشیدی با شبکهٔ سراسری برق (ارقام به ریال) در حالت عدم پرداخت یارانه

	نرخ بهرهٔ واقعی	سیستم فتوولتائیک خورشیدی	شبکهٔ سراسری برق	تفاوت خالص ارزش فعلی (NPV) سیستم فتوولتائیک خورشیدی با شبکهٔ سراسری برق
سناریو ۱	٪۸	-۱۳۰۷۳۱۰۲۱۴	-۸۲۵۶۵۶۷۸۶۷	۶۹۴۹۲۵۷۶۵۳
سناریو ۲	٪۱۲	-۱۲۵۱۰۳۹۴۰۹	-۷۸۹۶۶۳۲۳۹۷	۶۶۴۵۵۹۲۹۸۸
سناریو ۳	٪۱۶	-۱۲۰۱۳۰۰۰۸۸	-۷۵۸۳۱۳۲۲۳۸	۶۳۸۱۸۳۲۱۵۰

*منبع: محاسبات محقق (۱۳۹۱)

در صورتی که دولت یارانه‌ای به دو طرح پرداخت نکند، هر دو طرح دارای NPV منفی هستند و سودآوری اقتصادی ندارند. اما استفاده از شبکهٔ سراسری برق NPV منفی بزرگ‌تری دارد، پس به سرمایه‌گذار ضرر بیشتری را تحمیل می‌کند و این امر در هر سه سناریوی نرخ بهرهٔ واقعی صادق است. این عدم سودآوری زمانی رخ می‌دهد که میزان ارزش یک واحد برق حاصل از فتوولتائیک خورشیدی (V_t) برای یک کیلووات ساعت برابر ۲۳۰۲/۴۸ ریال است. یک روش برای این‌که نرخ بازده داخلی طرح‌ها، نرخ بهرهٔ واقعی حداکثر، یعنی ۱۶٪ را پوشش دهد و دارای NPV مثبت و سودآور شوند، این است که دولت تفاوت میزان ارزش یک واحد برق حاصل از هر دو طرح از ارزش مطلوب برای سودآوری آن‌ها را به سرمایه‌گذاران به عنوان یارانه جهت گسترش انرژی‌های نو و پاک (سیستم فتوولتائیک) یا گسترش شبکهٔ سراسری برق و توسعهٔ روستاها پرداخت کند. در صورتی که ارزش یک کیلووات ساعت برق خورشیدی برابر ۲۳۰۲/۴۸ ریال باشد، عایدات سالانهٔ سیستم فتوولتائیک خورشیدی برابر ۳۳۴۴۸۱۲۷ ریال است. این میزان جواب‌گوی تأمین هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های متغیر سیستم نیست و موجب عدم سودآوری طرح می‌شود. اما ارزش یک واحد برق حاصل از فتوولتائیک خورشیدی (V_t) برای یک کیلووات ساعت، که برای سودآوری طرح در نرخ بهرهٔ واقعی حداکثر مطلوب است، برابر ۱۸۵۰۰ ریال است و در این حالت عایدات سالانهٔ سیستم فتوولتائیک خورشیدی برابر ۲۶۸۷۴۹۵۰۰ ریال (مصرف سالانهٔ روستا ۱۴۵۲۷ × ۸۵۰۰ ریال) است که می‌تواند هزینه‌های طرح را پوشش دهد و موجب سودآوری آن شود. میزان ارزش ثابت یک واحد برق حاصل از شبکهٔ سراسری برق (P) برای یک کیلووات ساعت برابر ۱۴۵۹ ریال است و عایدات سالانهٔ شبکه ۲۱۱۹۴۸۹۳ ریال است. ارزش ثابت یک واحد برق حاصل از شبکهٔ سراسری برق (P) برای یک کیلووات ساعت، که برای سودآوری طرح در نرخ بهرهٔ واقعی حداکثر مطلوب است، برابر ۱۰۴۰۰۰ ریال و عایدات سالانهٔ آن ۱۵۱۰۸۰۸۰۰۰ ریال است. باید توجه داشت که میزان یارانه‌ای که از طرف دولت باید برای سودآور شدن دو طرح پرداخت شود در حالت استفاده از شبکهٔ سراسری برق بیشتر بوده است.

جدول ۷ خالص ارزش فعلی (NPV) سیستم فتوولتائیک و شبکهٔ سراسری برق را در حالت پرداخت یارانه نشان می‌دهد.

جدول ۷. مقایسهٔ خالص ارزش فعلی (NPV) سیستم فتوولتائیک خورشیدی با شبکهٔ سراسری برق (ارقام به ریال) در حالت پرداخت یارانه

شرح	نرخ بهرهٔ واقعی	سیستم فتوولتائیک خورشیدی	شبکهٔ سراسری برق	تفاوت خالص ارزش فعلی (NPV) سیستم فتوولتائیک خورشیدی با شبکهٔ سراسری برق
سناریو ۱	٪۸	۸۳۱۷۸۵۶۸۰	۵۲۸۵۳۲۲۰۰۸	-۴۴۵۳۵۳۶۳۲۸
سناریو ۲	٪۱۲	۳۱۸۲۱۹۸۲۴	۲۰۳۷۸۱۵۰۳۶	-۱۷۱۹۵۹۵۲۱۲
سناریو ۳	٪۱۶	۱۳۴۱۶۴۰	۳۰۳۸۴۲۳۹	-۲۹۰۴۲۵۹۹

*منبع: محاسبات محقق (۱۳۹۱)

در حالتی که دولت به هر دو طرح یارانه پرداخت کند، NPV در هر دو طرح مثبت می‌شود. خالص ارزش فعلی طرح شبکهٔ سراسری برق از همین رقم در سیستم فتوولتائیک خورشیدی بیشتر می‌شود، اما باید این نکته را مد نظر قرار داد که میزان یارانه‌ای که از طرف دولت باید برای سودآور شدن دو طرح پرداخت شود، در حالت استفاده از شبکهٔ سراسری برق بیشتر بوده است. میزان یارانهٔ پرداختی دولت به ازای هر کیلووات ساعت در سیستم فتوولتائیک خورشیدی برابر ۱۶۱۹۷ ریال است، در صورتی که همین مبلغ در شبکهٔ سراسری برق ۱۰۲۵۴۱ ریال است. نرخ بازده داخلی (IRR) شبکهٔ سراسری برق برابر ۱۶/۰۸٪ و همین نرخ در سیستم فتوولتائیک خورشیدی برابر ۱۶/۰۲٪ است. در این بخش باید به این نکته توجه کرد که ما عمداً میزان یارانه‌ای را انتخاب کرده‌ایم که در هر طرح نرخ بازده داخلی از نرخ بهرهٔ واقعی حداکثر (۱۶٪) بالاتر باشد.

دورهٔ بازگشت سرمایهٔ تنزیلی (DPP) دو طرح سیستم فتوولتائیک خورشیدی و شبکهٔ سراسری برق در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸. مقایسهٔ دورهٔ بازگشت سرمایهٔ تنزیلی (DPP) سیستم فتوولتائیک با شبکهٔ سراسری برق

شرح	نرخ بهرهٔ واقعی	سیستم فتوولتائیک خورشیدی	شبکهٔ سراسری برق
دورهٔ بازگشت سرمایهٔ تنزیلی در سناریو ۱	٪۸	بین دورهٔ ۸ و ۹	بین دورهٔ ۸ و ۹
دورهٔ بازگشت سرمایهٔ تنزیلی در سناریو ۲	٪۱۲	بین دورهٔ ۱۰ و ۱۱	بین دورهٔ ۱۰ و ۱۱
دورهٔ بازگشت سرمایهٔ تنزیلی در سناریو ۳	٪۱۶	بین دورهٔ ۱۹ و ۲۰	بین دورهٔ ۱۳ و ۱۴

*منبع: محاسبات محقق (۱۳۹۱)

هر دو طرح در سناریوی اول و دوم دورهٔ بازگشت سرمایهٔ تنزیلی برابر دارند، اما در سناریوی سوم با نرخ بهرهٔ ۱۶٪ دورهٔ بازگشت سرمایهٔ تنزیلی شبکهٔ سراسری برق کمتر از همین دوره در سیستم فتوولتائیک خورشیدی است. البته باید این نکته را خاطرنشان کرد که در دورهٔ چهاردهم سیستم فتوولتائیک خورشیدی متحمل هزینهٔ متغیری به میزان ۲۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال بابت تعویض باتری می‌شود و به همین دلیل DPP آن در نرخ ۱۶٪ بین دورهٔ نوزده و بیست قرار گرفته است. شاخص سودآوری سیستم فتوولتائیک خورشیدی و شبکهٔ سراسری برق را در جدول ۹ مشاهده می‌کنیم.

جدول ۹. مقایسهٔ شاخص سودآوری (PI) سیستم فتوولتائیک خورشیدی با شبکهٔ سراسری برق

شرح	نرخ بهرهٔ واقعی	سیستم فتوولتائیک	شبکهٔ سراسری برق
شاخص سودآوری (PI) در سناریو ۱	٪۸	۱/۵۹	۱/۲۴
شاخص سودآوری (PI) در سناریو ۲	٪۱۲	۱/۲۳	۱/۲۴
شاخص سودآوری (PI) در سناریو ۳	٪۱۶	۱	۱

*منبع: محاسبات محقق (۱۳۹۱)

شاخص سودآوری برای هر دو طرح تقریباً برابر است. در سناریوهای مختلف کسر خالص ارزش فعلی تقسیم بر سرمایه‌گذاری اولیه در هر دو طرح با هم متناسب است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با بهره‌گیری از شاخص‌های ارزیابی اقتصادی دو روش گسترش شبکهٔ سراسری برق و کاربرد سیستم فتوولتائیک خورشیدی از جهت تخصیص بهینهٔ منابع اقتصادی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. محاسبهٔ شاخص‌های ارزیابی اقتصادی حاکی از آن است که در شرایط عدم پرداخت یارانه از طرف دولت به این دو طرح هیچ کدام از آن‌ها صرفهٔ اقتصادی نداشته و دارای خالص ارزش فعلی منفی هستند. البته می‌توان گفت هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های متغیر در شبکهٔ سراسری برق بسیار بیشتر از سیستم فتوولتائیک خورشیدی بوده و این طرح عایدی سالانهٔ کمتری نیز نصیب سرمایه‌گذار می‌کند. گاهی ممکن است برق‌رسانی به یک محدودهٔ جغرافیایی خاص

دارای توجیه اقتصادی نباشد، اما به دلیل توسعهٔ عدالت اجتماعی، که از وظایف حاکمیتی دولت است، این امر صورت گیرد. در این شرایط دولت مجبور است به سرمایه‌گذار در سیستم فتوولتائیک خورشیدی و شبکهٔ سراسری برق برای افزایش عایدی آن‌ها یارانه اهدا کند. در صورتی که دولت بخواهد از شبکهٔ سراسری برق به جای سیستم فتوولتائیک خورشیدی استفاده کند، میزان پرداخت یارانه افزایش می‌یابد که مخالف اصل تخصیص بهینهٔ منابع اقتصادی است. در شرایط کمبود منابع، استفاده از سیستم فتوولتائیک خورشیدی نسبت به شبکهٔ سراسری برق از کارایی اقتصادی بیشتری برخوردار است. بنابراین در روستاها و مناطق عشایری کشور، که به دلیل پراکندگی و محدودیت جمعیت فاقد طرح برق‌رسانی‌اند، استفاده از سیستم فتوولتائیک خورشیدی به منظور تأمین انرژی مورد نیاز آن‌ها پیشنهاد می‌شود.

منابع

۱.احمدی، محمد (۱۳۹۲). *آمادگی آزمون اصول بازار سرمایه*، تهران، انتشارات آریانا قلم، ۳۱۸-۳۲۴.

۲.*ترازنامهٔ انرژی* (۱۳۹۰). معاونت امور برق و انرژی، تهران، نشر دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ۲۸۰-۲۷۴.

۳.خوش‌اخلاق، رحمان، علیمراد شریفی، و میثم کوچک‌زاده (۱۳۸۴). «ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه با نیروگاه دیزلی»، *فصل‌نامهٔ پژوهش‌های اقتصادی ایران*، سال ۷، شمارهٔ ۲۴، ۱۷۱-۱۹۲.

۴.سلطانی مهاجر، ابراهیم (۱۳۸۷). «بررسی صرفهٔ اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در استان قم»، ۶۴-۸۶، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.

۵.یوسفی، سعید (۱۳۸۳). «ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی‌های نو در روستاهای کشور با تأکید بر انرژی خورشیدی و برق آبی کوچک»، ۵۰-۷۷، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.

6. Liebenthal, A., S. Mathur, & Herbert wade (1994). Solar energy: Lessons from the Pacific Island experience World Bank Technical paper, 244, 11-23.

7. Severin, Borenstein (2005). "Valuing the Time-Varying Electricity Production of Solar Photovoltaic Cells", Center for the Study of Energy Markets UC Berkeley, 7-11.

8. Severin, Borenstein (2008). "The Market Value and Cost of Solar Photovoltaic Electricity Production", Center for the Study of Energy Markets UC Berkeley, 8-17.