فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال نهم / شماره‌ی ۳۳/ تابستان ۱۳۹۱/ صفحات ۱۴۹-۱۱۵

ارزیابی اقتصادی و زیست محیطی سیستم‌های فتوولتاییک: مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی جنوب شرق ایران

رضا زینل زاده

عضو هیأت علمی گروه اقتصاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان zeynalzadeh@yahoo.com

زین‌العابدین صادقی*

استادیار گروه اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان abed_sadeghi@yahoo.com

محمدرضا دهقان پور

کارشناس ارشد علوم اقتصادی mohamad_dehghan62@yahoo.com

مهدی قائدی

کارشناس ارشد علوم‌اقتصادی m.ghaedi64@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۲۹

چکیده

نیاز بشر به انرژی، پیوسته در حال افزایش و منابع انرژی فسیلی پایان پذیر در حال کاهش است. از سوی دیگر استفاده‌ی بی‌رویه از منابع سوخت فسیلی با آلوده ساختن محیط زیست حیات را در کره‌ی زمین تهدید می‌کند. انرژی خورشیدی به عنوان یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر از مهم‌ترین گزینه‌های جایگزین برای سوخت‌های فسیلی به شمار می‌آید.

در این تحقیق با استفاده از تجزیه و تحلیل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر و ارزیابی زیست محیطی سیستم‌های فتوولتائیک در پنج استان خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، کرمان، هرمزگان و یزد در دو بخش خانگی و تجاری، تحت دو سناریو به ارزیابی اقتصادی این تکنولوژی در این استان‌ها پرداخته می‌شود. در سناریوی اول تمام هزینه‌های مربوط به سیستم توسط مصرف کننده پرداخت می‌شود و در سناریوی دوم فرض بر این است که ۵۰ درصد هزینه‌ی اولیه توسط دولت پرداخت و مابقی آن نیز به صورتی وامی با بهره‌ی ۲ درصد با دوره‌ی بازپرداخت ۱۰ ساله تأمین می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از سیستم فتوولتائیک به منظور تولید برق در این استان‌ها تحت سناریوی اول (بدون حمایت دولت) توجیه اقتصادی ندارد، اما با وجود حمایت‌های دولتی (سناریوی دوم) این طرح توجیه پذیر است.

طبقه‌بندی JEL: Q4,. Q43, Q53, H43

کلید واژه‌ها: انرژی‌های تجدیدپذیر، سیستم فتوولتائیک، هزینه‌ی چرخه‌ی عمر، آلودگی زیست محیطی

---

*- نویسنده‌ی مسئول .

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

هر چند بشر از دیرباز از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر باد و خورشید در زندگی خود استفاده کرد، ولی با کشف منابع سوخت‌های فسیلی نظیر زغال سنگ و نفت و جذابیت‌های آن، استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر به‌تدریج به فراموشی سپرده شده است (واقف پور و دهار، ۱۳۸۸). شوک‌های نفتی دهه‌های ۷۰ و ۹۰ و هم‌چنین شرایط بی‌ثبات آن در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹، فناپذیری منابع تجدیدناپذیر و وقوف جهانیان بر اثرات مخرب زیست محیطی مصرف سوخت‌های فسیلی نظیر گرمایش جهانی[۱] و آلودگی آب، هوا و خاک، به توسعه‌ی بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر منجر شده است.

بر اساس گزارش آژانس بین المللی انرژی (IEA 2006a[۲])، سه نسل از تکنولوژی‌های انرژی تجدیدپذیر را می‌توان مطرح کرد: (۱) تکنولوژی‌های نسل اول که هم اکنون به بلوغ رسیده‌اند، مانند انرژی برق آبی[۳]، احتراق زیست توده[۴] و انرژی زمین گرمایی[۵]؛ (۲) تکنولوژی‌های نسل دوم که به سرعت در حال توسعه هستند، مثل انرژی خورشیدی[۶]، انرژی بادی[۷] و شکل‌های پیشرفته‌ی انرژی زیستی[۸]؛ (۳) تکنولوژی‌های نسل سوم که اکنون در مراحل توسعه‌ای هستند، مانند انرژی خورشیدی متمرکز[۹]، انرژی اقیانوس[۱۰]، زمین گرمایی پیشرفته[۱۱] و سیستم‌های انرژی زیستی ادغام شده‌اند[۱۲] (جانستون و همکاران، ۲۰۰۹)[۱۳].

سرمایه‌گذاری‌های جهانی در انرژی‌های پایدار در سال ۲۰۰۸ بیش از ۱۵۵میلیون دلار و سرمایه‌گذاری در زمینه‌ی تولید انرژی جدید (به عنوان مثال باد، خورشیدی، سوخت‌های زیستی و...) در سراسر جهان ۱۱۶.۹میلیون دلار بوده است. در گزارش

1- Internationa Energy Agency.
2- Global Warming.
3- Hydropower .
4- Biomass Combustion .
5- Geothermal Energy .
6- Solar Energy.
7- Wind Power.
8- Bio-Energy .
9- Concentrating Solar Power .
10- Ocean energy .
11- Improved geothermal .
12- Integrated bio-energy systems .
13- Johnstone et al. (2009) .

www.SID.ir

UNEP (2009)[1] جدیدترین جذب سرمایه‌گذاری از انرژی‌های تجدیدپذیر به صورت زیر زیر می‌باشد: انرژی باد ۴۳%، انرژی خورشیدی ۲۸%، و سوخت‌های زیستی۱۴%، زیست توده و فن آوری زباله ۷٪.

در سال ۲۰۰۸ سرمایه‌گذاری در انرژی باد نیز سریعترین رشد (۱۲۳٪) را بین سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ تجربه کرده است (آگویلار و کای،۲۰۱۰)[2].

کشورهای توسعه یافته در تلاش برای جذب مقدار قابل توجهی از سرمایه‌گذاری در انرژی‌های سازگار با محیط زیست هستند. بر طبق UNEP (2009)، کل سرمایه‌گذاری جدید کشورهای توسعه یافته در سال ۲۰۰۸ برابر با ۸۲.۳میلیون دلار (۱.۷٪پایین‌تر از سال۲۰۰۷) و در کشورهای در حال توسعه ۳۶.۶ میلیون دلار (۲۷٪بالاتر از ۲۰۰۷) بوده است. سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پایدار در اروپا حدود ۴۹.۷ میلیون دلار و در آمریکا حدود ۳۰.۱ میلیون دلار بوده، در سال ۲۰۰۸ دولت چین ۱۵.۶ میلیون دلار به سمت سرمایه‌گذاری در انرژی پایدار برده که ۱۸٪ نسبت به سال قبل رشد داشته و هند نیز در این سال ۳.۷ میلیون دلار در انرژی‌های پایدار سرمایه‌گذاری کرده است که ۱۲٪ رشد داشته و در کل آفریقا یک میلیون دلار در انرژی‌های پایدار سرمایه‌گذاری شده که ۱۰٪ نسبت به سال ۲۰۰۷ افزایش داشته است. به همین ترتیب در بیش‌ترکشورهای جهان رشد سرمایه‌گذاری در این نوع انرژی وجود داشته است، سرمایه‌گذاری در انرژی خورشیدی در ۱۵ سال گذشته ۲۵٪در هر سال بوده و برای ۵ سال گذشته ۳۰٪رشد سالانه داشته است (آگویلار و کای،۲۰۱۰).

در بین انرژی‌های تجدیدپذیر یاد شده می‌توان انرژی خورشیدی را به عنوان یک منبع بی پایان انرژی که حلال مشکلات بسیاری در زمینه‌ی انرژی و محیط زیست است، نام برد. این انرژی هزاران بار بیش‌تر از آن مقداری که انسان نیاز دارد و مصرف می‌کند به زمین می‌تابد. از انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی تمیز و قابل دسترس در همه جا می‌توان استفاده‌های مهم و کاملا مفیدی کرد. اما از نور خورشید به طور مستقیم نمی‌توان به جای سوخت‌های فسیلی بهره برد، بلکه باید دستگاه‌هایی ساخته شوند که بتوانند انرژی تابشی خورشید را به انرژی قابل استفاده نظیر انرژی مکانیکی، حرارتی، الکتریسیته و... تبدیل کنند.

1- United Nations Environmental Program .
2- Aguilar & Cai.

www.SID.ir

کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه‌ی عرض شمالی واقع شده که از نظر دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط مختلف جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد. کشور ما از بابت دریافت انرژی خورشیدی از شرایط بسیار مطلوبی برای بهره‌برداری انرژی خورشیدی برخوردار است.

در این تحقیق با استفاده از تجزیه و تحلیل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر و در نظر گرفتن آمار زیست محیطی سیستم‌های فتوولتائیک[۱] در پنج استان خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، کرمان، هرمزگان و یزد در دو بخش خانگی و تجاری، تحت دو سناریو به ارزیابی اقتصادی این تکنولوژی در این استان‌ها پرداخته می‌شود. این مقاله از بخش‌های پیشینه‌ی تحقیق، مبانی نظری، روش تحقیق،یافته‌های تحقیق و نتیجه‌گیری تشکیل شده است.

۲- پیشینه‌ی تحقیق

کاله و جاشی[۲] (۲۰۰۲)، سیستم فتوولتائیک و دیزلی در هند را از منظر سوددهی اقتصادی با یکدیگر مقایسه کرده‌اند. مقایسه بین این دو سیستم از روش آنالیز حساسیت با استفاده از محاسبه‌ی هزینه‌ی چرخه‌ی عمر انجام گرفته که از نتایج به دست آمده مشخص شده است که سیستم‌های فتوولتائیک حتی تحت شرایط نامطلوب اقتصادی تا حداکثر تقاضای ۱۵ کیلو وات ساعت در روز کم هزینه‌ترین گزینه هستند. تالاورا و دیگران[۳] (۲۰۰۵)، نرخ بازدهی داخلی را معنادارترین پارامتر جهت ترغیب سرمایه‌گذاران در نصب و راه‌اندازی سیستم فتوولتائیک می‌دانند. بر این اساس آن‌ها در این مطالعه به دنبال تخمین نرخ‌های بازده‌ی داخلی برای سناریوهای مختلف اقتصادی در اسپانیا هستند. برای محاسبه‌ی هزینه‌ها از تحلیل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر استفاده شده و نیز برخی از مشوق‌های مالی موجود در اسپانیا مدنظر قرار گرفته است. آگوستین و لوپز[۴] (۲۰۰۶)، به تجزیه و تحلیل اقتصادی و محیطی نصب سیستم فتوولتائیک

۱- فتوولتائیک (Photovoltaic) یا به اختصار PV، به یکی از انواع سامانه‌های تولید برق از انرژی خورشیدی اطلاق می‌شود. در این روش با به‌کارگیری سلول‌های خورشیدی، تولید مستقیم الکتریسیته از تابش خورشید امکان پذیر می‌شود.

2- Kohle & Joshi.
3- Talavera et al.
4-Agustin & Lopez.

www.SID.ir

متصل به شبکه در اسپانیا، پرداخته‌اند. آن‌ها در ابتدا یک مطالعه‌ی اقتصادی با هدف بررسی سناریوهای مختلف مربوط به مقادیر مختلف نرخ بهره و تعرفه‌های انرژی انجام داده‌اند. پارامترهای ارزش فعلی خالص و دوره‌ی بازگشت سرمایه برای تعیین سودآوری نصب PV استفاده می‌شوند. این تحقیق نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در سیستم‌های PV متصل به شبکه در اسپانیا سودآور است. تحلیل زیست محیطی نیز بیانگر ظرفیت قابل توجه این سیستم‌ها در کاهش آلودگی‌هاست.

کاریون و دیگران[1] (۲۰۰۸)، با عنوان ظرفیت تولید برق فتوولتائیک و شناسایی نقاط مستعد انرژی خورشیدی در آندالوس (اسپانیا)، به برآورد ظرفیت تولید برق توسط این سیستم پرداخته‌اند. آن‌ها توضیح می‌دهند که چگونه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[2] برای تعیین کردن مناسب‌ترین مکان‌های زمین برای نصب سیستم‌های فتوولتائیک بر طبق شرایط لازم قانونی، زیست محیطی و عملیاتی استفاده می‌شود. پالیکاس[3] (۲۰۰۹)، به بررسی این موضوع می‌پردازد که آیا ایجاد پارک‌های بزرگ فتوولتائیک در جزیره‌ی قبرس در فقدان تعرفه‌های feed-in یا سایر حمایت‌های مالی از لحاظ اقتصادی امکان پذیر است یا خیر؟ نتایج نشان می‌دهد که مخارج سرمایه‌ی پارک PV یک پارامتر بحرانی برای امکان پذیری پروژه در زمانی است که تعرفه feed-in وجود ندارد. هم‌چنین جانگ وهانگ[4] (۲۰۰۴)، در مطالعه‌ای اثرات محیطی و اقتصادی کاربرد فتوولتائیک را برای یک ساختمان آمفی تئاتر در کره‌ی جنوبی تجزیه و تحلیل کرده‌اند. آن‌ها سه سناریوی مختلف با هزینه‌های اولیه‌ی متفاوت و میزان کاهش CO_2 متفاوت را بررسی می‌کنند. کلیک[5] (۲۰۰۴)، به بررسی جایگاه فعلی انرژی خورشیدی در ترکیه پرداخته و تحلیل اقتصادی – فنی طول عمر یک سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه را برای آنکارا انجام داده است. مهم‌ترین نتیجه‌ی این مطالعه این است که هزینه‌ی برق تولید شده توسط سیستم فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه (که به صورت تئوریکی طراحی شده)، ۳ تا ۴ برابر گران‌تر از برق شبکه است.

1- Carrion et al.
2- Geographic Information System.
3- Poullikkas.
4- Jang & Hong.
5- Celik.

www.SID.ir
Archive of SID

شهیدی و الهدیدی[1] (۲۰۰۸)، مطالعه‌ای در مورد عملکرد اقتصادی و زیست محیطی یک هیبرید فتوودلتائیک و سیستم دیزل در عربستان سعودی را انجام داده‌اند. نتیجه نشان میدهد که تولید برق با سیستم فتوولتائیک مصرف سالانه‌ی منابع تجدید ناپذیر را ۱۹ درصد کاهش داده است و از آلودگی زیست محیطی ۲ تن کربن جلوگیری می‌کند.

رن و همکاران[2] (۲۰۰۹)، مسأله‌ی اندازه‌ی بهینه‌ی سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه برای کاربرد خانگی در ژاپن را بررسی می‌کنند.آن‌ها از یک مدل برنامه‌ریزی خطی ساده استفاده می‌کنند که هدف آن حداقل کردن هزینه‌ی سالانه‌ی انرژی برای مصرف کننده است. نتایج این مطالعه حاکی از آن است هزینه‌ی سرمایه در ظرفیت بهینه‌ی سیستم فتوولتائیک بیش از پارامترهای دیگر مؤثر است.

تنها برخی از مطالعات به تجزیه و تحلیل عملکرد اقتصادی فناوری‌های فتوولتائیک، با توجه به یکپارچه سازی انرژی و فواید زیست محیطی تکنولوژی در مدل‌های اقتصادی پرداخته‌اند. کمکو[3] و همکاران (۲۰۰۳)، تأثیر مالیات بر کربن روی ترکیب سوخت برق در ژاپن را بررسی کرده‌اند. این مطالعه نشان می‌دهد که اتخاذ مالیات جهانی بر کربن، تولید برق از زغال سنگ را کاهش داده و در مقابل استفاده از گاز طبیعی مایع (*LNG*) و منابع هسته‌ای را افزایش می‌دهد.

سنگ و همکاران[4] (۲۰۰۸)، نصب فتوولتائیک زیر نظر دولت برای مشتریان خانگی در مالزی که قادر به تأمین هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه آن نیستند را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این بررسی در سال ۲۰۰۷ با نرخ یارانه‌ی ۷۰ درصدی، خالص ارزش فعلی ۸۰۰۰- تخمین زده شده است[5].

هم‌چنین مطالعاتی در این زمینه در داخل کشور انجام گرفته است که می‌توان به برخی از آن‌ها اشاره کرد. شعربافیان در سال (۱۳۸۷)، به برآورد پتانسیل فنی و اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی در ایران پرداخته و به برتری ایران نسبت به سایر کشورهای حاشیه‌ی خلیج فارس در زمینه‌ی تنوع انرژی اشاره کرده است. هم‌چنین پس از بررسی میزان تولید انرژی از منابع تجدید شونده در ایران این نکته‌ی مهم را مطرح

1- Shaahid & Elhadidy.
2- Ren et al.
3- Kemmoku et al.
4- Seng et al.
5- (RM) - 8,000 (- $2,293).

www.SID.ir

کرده است که با حذف یارانه‌ی سوخت‌های فسیلی، انرژی تجدیدپذیر از موقعیت بهتری برای توسعه برخوردار می‌شود. خوش اخلاق و همکاران در سال (۱۳۸۳)، استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه با نیروگاه دیزلی را مورد بررسی قرار داده‌اند.

۳- مبانی نظری

در این بخش ابتدا میزان شدت تابش خورشید بررسی می شود، سپس نحوه محاسبه تولید برق سیستم فتوولتائیک ارائه می گردد و در نهایت روش های ارزیابی اقتصادی معرفی خواهد شد.

بررسی میزان شدت تابش خورشید

پتانسیل فنی انرژی حرارتی خورشیدی عبارت از کل امکانات بهره‌گیری از تابش خورشید با استفاده از تکنولوژی فعلی در دسترس با راندمان مشخص است. پتانسیل اقتصادی انرژی حرارتی خورشیدی آن بخش از پتانسیل فنی است که از نظر اقتصادی دارای صرفه است. پتانسیل اقتصادی انرژی خورشیدی تحت تأثیر متغیرهای زیادی از جمله قیمت سوخت‌های فسیلی، نرخ بهره‌ی بانکی برای پروژه‌های خورشیدی، دسترسی به تکنولوژی واحدهای خورشیدی، میزان شدت تابش، راندمان و... قرار دارد (شعربافیان، ۱۳۸۷)، که با در نظر گرفتن این متغیرها می‌توان پتانسیل اقتصادی آن‌ها را بررسی کرد. گام اول در ارزیابی، بررسی میزان شدت تابش خورشید در مناطق مورد مطالعه و به دنبال آن اندازه‌گیری میزان تولید برق از این میزان تابش می‌باشد.

معادله‌ی آنگستروم- پرسکات[1]، یکی از مهم‌ترین معادلات موجود در زمینه‌ی میزان شدت تابش خورشید است. این معادله دارای ضرایب تجربی می‌باشد که برای هر موقعیت متفاوتند. ضرایب رابطه‌ی آنگستروم - پرسکات بر اساس نسبت ساعات آفتابی روزانه (n) به حداکثر ساعات آفتابی (N) واسنجی می‌شوند. هم‌چنین یک معادله‌ی رگرسیونی منطقه‌ای با در نظرگرفتن عوامل مختلف هواشناسی، شامل اطلاعات روزانه مقدار کمبود فشار بخار اشباع، بارش، دمای میانگین هوا، درصد رطوبت نسبی و نسبت n/N می‌باشد. البته به دلیل اهمیت شدت تابش خورشیدی(Rs)، روش‌های مختلفی

1- Angstrom-Prescott.

www.SID.ir

برای تخمین آن توسعه داده شده است. روش‌هایی چون روابط تجربی و رگرسیونی و روش‌های دقیقی چون سنجش از دور، مدل هواشناسی تصادفی[1]، درون‌یابی خطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تخمین آن به کار می‌روند (رنکا و همکاران[2]،۲۰۰۵).

اگرچه تعداد زیادی از پارامترهای هواشناسی چون رطوبت نسبی، درجه‌ی ابری بودن، دما و طول ساعات آفتابی روی مقدار تابش خورشیدی دریافتی تأثیر زیادی دارند، اما تحقیقات نشان داده است که ساعات آفتابی بیش‌ترین تأثیر را بر روی Rs دارد و این تأثیر در مدل رگرسیونی خطی آنگستروم که در روش فائو- نیمن- مانتیث ارائه شده، ثابت گردیده است (سرانو و همکاران[3]، ۲۰۰۵). در این مطالعه از روشی موسوم به آنگستروم که در واقع بهتر است روش آنگستروم- پرسکات نامیده شود (آدو[4]، ۲۰۰۱) ، استفاده می‌شود. برای این منظور داده‌های هواشناسی در مقیاس روزانه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان، هرمزگان، یزد و خراسان جنوبی به‌کار رفته است.

یکی از پرکاربردترین استفاده‌ها از معادله‌ی (Rs)، روش تخمین تابش واقعی خورشیدی آنگستروم- پرسکات به صورت رابطه‌ی (۱) می‌باشد:

$$\frac{R_s}{R_o} \mathbf{G}\ a + b\frac{n}{N} \Longrightarrow R_s\ \mathbf{G}\left(a + b\frac{n}{N}\right)R_o \qquad (۱)$$

که در آن، Rs، تابش واقعی خورشیدی (بر حسب کیلووات ساعت بر متر مربع)، Ro: میزان انرژی دریافتی واحد سطح در واحد زمان در مرز جو[5] (برحسب کیلووات ساعت بر متر مربع)، n طول ساعات آفتابی (بر حسب ساعت)، N طول روز نجومی (بر حسب ساعت) و a و b ضرایب خط رگرسیون هستند که با ارقام ۰.۲۳ و ۰.۴۸ به ثابت‌های انگستروم موسوم و این ضرایب برای ایستگاه‌های مختلف کشور به ارقام جهانی به طور نسبی نزدیک می‌باشند (خلیلی، ۱۳۷۶). رابطه‌ی آنگستروم با وجود گذشت زمان و ابداع فرمول‌های بسیار، هنوز اعتبار خود را دارد و ضرایب آن می‌تواند با توجه به ویژگی‌های

1- Random Weather model.
2- Trnka et al.
3- Serrano et al.
4- Udo.
5- Extraterrestrial Radiation.

www.SID.ir

محلی و عرض جغرافیایی تا حدودی تغییر یابد. در این راستا تحقیقات ارزشمند، خلیلی (۱۳۶۰)، روانشید (۱۳۶۰) و صمیمی (۱۳۶۴) قابل توجه است[۱].

محاسبه‌ی تولید برق سیستم فتوولتائیک

آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدید پذیر[۲] آمریکا در سال ۲۰۰۸، با استفاده از متوسط تابش روزانه‌ی خورشیدی و پارامترهای فنی از جمله منطقه‌ی ماژول[۳]، طول عمر ماژول، بهره‌وری ماژول و بهره‌وری تبدیل کننده‌ی [۴]، مدلی را برای محاسبه‌ی میزان تولید برق از سیستم‌های فتوولتائیک ارائه کرده است.

$$E\ G\ R_s.A_{mod}.N.\acute{\eta}_{conv}.\acute{\eta}_{inv} \qquad (۲)$$

در این معادله میزان برق تولید شده‌ی E (kWh)، برابر با حاصلضرب متوسط تابش روزانه‌ی خورشیدی Rs (کیلووات ساعت/ m^2/روز)، منطقه‌ی ماژول($A_{mod}(m^2)$)، طول عمر ماژول (N،روز)، بازده‌ی تبدیل ماژول ($\acute{\eta}_{conv}$) و راندمان تبدیل کننده‌ی DC-AC ($\acute{\eta}_{inv}$) می‌باشد. به این ترتیب، کل برق تولید شده از هر سیستم فتوولتائیک برابر با حاصل‌ضرب E، تعداد کل ماژول‌های نصب شده و طول عمر آن‌ها (سیوارامن[۵]،۲۰۰۹) می‌باشد. میزان انرژی دریافتی واحد سطح در واحد زمان را در مرز جو، ثابت خورشیدی می‌نامند که میزان آن به طور متوسط ۱.۳۶۸ کیلووات ساعت بر مترمربع و یا در حدود ۱.۹۸ کالری بر سانتیمتر مربع در دقیقه برآورد شده است. از آن‌جایی که فاصله‌ی زمین از خورشید و زاویه‌ی تابش خورشید پیوسته در طول سال در متغیر است، از این‌رو میزان ثابت خورشیدی نیز دستخوش تغییرات زمانی قرار گرفته و مقادیر آن با توجه به عرض جغرافیایی و ماه‌های مختلف سال تغییر می‌کند. تابش خورشیدی ضمن عبور از اتمسفر زمین دستخوش تغییرات کمی و کیفی حاصل از فرایندهای پخش، انعکاس و جذب قرار می‌شود.

۱- لازم به ذکر است بهترین مسیر برای رسیدن به این هدف استفاده از محیط برنامه نویسی (MATLAB) است.

2- National Renewable Energy Lab.

۳- ماژول یا پنل‌های خورشیدی که مبدل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی می باشد.

4- Module Area, Module Lifetime, Module Efficiency and Inverter Efficiency.

5- Sivaraman.

www.SID.ir
Archive of SID

در مطالعه‌ی پاسکا و همکاران[1] (۲۰۰۷)، پارامتر منطقه‌ی ماژول برای سیستم‌های تک کریستالی[2]، چند کریستالی[3] و ریبان[4]، که بر حسب مترمربع بیان می‌شوند، ۱.۲۵ در نظر گرفته شده است.

به‌طور معمول در سناریوهای مختلفی که برای ارزیابی اقتصادی نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتائیک انجام می‌گیرد، طول عمر ماژول‌ها بین ۲۰ تا ۳۰ سال فرض می‌شود (شولتن و آلسما[5]، ۲۰۰۶؛ پاسکا و همکاران، ۲۰۰۷)، اما آزمون‌های کیفیت اخیر طول عمر آن‌ها را ۲۵ سال تخمین می‌زنند. در این مطالعه نیز این طول عمر ۲۵ سال در نظر گرفته می‌شود.

آلسما (۲۰۰۰)، در پژوهش‌هایی که روی سیستم‌های فتوولتائیک انجام داده، کارایی ماژول در سیستم‌های فتوولتائیک را بالغ بر ۴۰ درصد گزارش کرده است. هم‌چنین تبدیل‌کننده‌های خاصی که برای سیستم‌های فتوولتائیک مورد استفاده قرار می‌گیرند (به‌طور مثال اینورتر بالارد و زانترکس[6])، کارایی بالغ بر ۹۵ درصد دارند (سیوارامن،۲۰۰۹).

هم‌چنین می‌توان معادله‌ی متوسط تولید برق توسط سیستم فتوولتائیک را به شکل زیر نیز نشان داد:

$$AE\theta(\text{kWh}) \; G \sum_{t=Y}^{8784} HR\theta \left(\frac{\text{killo}-\text{watt}}{\text{m}^2-\text{hr}}\right) \times MA\theta(\text{m}^2) \times 1(\text{hr}) \times ME(\eta) \times IE(\eta_i) \qquad (۳)$$

در این معادله AE میزان تولید برق سالانه، HR میزان تابش خورشید در هرساعت برحسب کیلو وات ساعت بر متر مربع، MA منطقه‌ی ماژول، ME کارایی ماژول و IE کارایی تبدیل کننده را نشان می‌دهد.

روش ارزیابی اقتصادی

ویژگی خاص سیستم‌های فتوولتائیک نشان می‌دهد که هر جریان نقدی درگیر در آن باید تحت یکی از دو مفهوم ذیل قرار گیرد:

1- Pacca et al.
2- Monocrystalline.
3- Multi-crystalline.
4- Ribbon.
5- Scholten & Alsema.
6- Ballard & Xantrex.

www.SID.ir

الف) هزینه‌ی طول عمر سیستم از نقطه نظر مصرف کننده (LCC_{USP})[1]

ب) ارزش فعلی جریانات ورودی نقدی حاصل از سیستم.

هر دو مفهوم در ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرند. برای این منظور دو سناریو درنظر گرفته می‌شود: در سناریوی اول فرض بر این است که هیچ گونه حمایت دولتی وجود ندارد و مصرف کننده باید تمام هزینه‌ی اولیه را خود بپردازد. سناریوی دوم فرض می‌کند که درصدی از هزینه‌ی اولیه‌ی خرید سیستم را دولت یارانه می‌دهد و مابقی آن را نیز به مصرف کننده وام کم بهره می‌پردازد. بدین ترتیب تفاوتی که در انجام محاسبات دو سناریو ایجاد می‌شود، فقط مربوط به هزینه‌ی طول عمر سیستم از نقطه نظر مصرف کننده است و درآمدهای سیستم در هر دو سناریو یکسان می‌باشد.

هزینه‌ی طول عمر سیستم از نقطه نظر مصرف کننده[2] (LCC_{USP}) سناریوی اول

اول

پارامتر LCC_{USP}، مجموع ارزش فعلی (PW) سرمایه‌گذاری اولیه‌ی مصرف کننده بر روی سیستم فتوولتائیک ($PW[PV_{UIN}]$)[3] به اضافه‌ی ارزش فعلی هزینه‌ی عملیاتی و نگهداری ($PW[PV_{OM}]$)[4] است.

$$LCC_{USP} \; G \; PW[PV_{UIN}] + PW[PV_{oM}] \qquad (۴)$$

ارزش فعلی هزینه‌ی عملیاتی و نگهداری $PW[PV_{OM}]$، می‌تواند به‌صورت زیر نوشته شود:

$$PW[PV_{OM}] \; G \; PV_{AOM} \frac{K_{PV}(Y-K_{PV}^{N})}{Y-K_{PV}} \qquad (۵)$$

در این‌جا PV_{AOM}، هزینه‌ی نگهداری و بهره برداری سالیانه (= PV_{IN} ۰/۰۱) و N طول عمر فتوولتائیک است. عامل $K_{PV} \; G \; (1+\varepsilon_{PVOM})/(1+d)$ نشان دهنده‌ی میزان افزایش تدریجی هزینه‌ی عملیاتی و نگهداری سیستم فتوولتائیک می‌باشد. فاکتور d نرخ تنزیل اسمی است.

1- Life-cycle Cost of the System from the User Standpoint.

۲- معادلات ۵ تا ۱۱ از تالاورا و همکاران (۲۰۰۷) استخراج شده است.

3- PW:Present Worth, UIN: User Investment.

4- Operation and Maintenance Cost.

www.SID.ir

هزینه‌ی طول عمر سیستم از نقطه نظر مصرف کننده(LCC_{USP}) سناریوی دوم

اگر دولت به میزان PV_{BD}[1] به مصرف کننده یارانه بپردازد، آن‌گاه $PV_{IN} - PV_{BD}$ مبلغی است که مالک باید پرداخت کند. فرض دیگر این است که این مبلغ را نیز می‌تواند از دولت با نرخ بهره‌ی i_1 وام بگیرد. در این صورت پرداخت‌های سالانه‌ی مالک(ANN PMT)[2] در طی دوره‌ی بازپرداخت وام (N_1) به صورت زیر خواهد بود:

$$ANN\theta PMT\ G(PV_{IN} - PV_{BD})i_Y[\frac{(Y+i)^{N_1}}{(Y+i)^{N_1}-Y}] \qquad (۶)$$

بدین ترتیب ارزش فعلی هزینه‌ی اولیه‌ی طرح به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$PW[PV_{UIN}]\ G\ ANN\theta PMT\frac{Y-q^{N_1}}{Y-q} \qquad (۷)$$

در این معادله $q\ G\ 1/(1+d)$ و d نرخ تنزیل اسمی است. ارزش فعلی هزینه‌های عملیاتی و نگهداری نیز مانند سناریوی اول (معادله ۵) محاسبه شده و با جمع کردن آن با نتیجه معادله‌ی (۷)، هزینه‌ی طول عمر سیستم از نقطه نظر مصرف کننده بر اساس سناریوی ۲ به دست می‌آید.

ارزش فعلی جریانات ورودی نقدی حاصل از سیستم

جریانات ورودی نقدی حاصل از سیستم در حقیقت مقدار پولی است که استفاده کننده از سیستم فتوولتائیک می‌تواند به دلیل عدم استفاده از برق شبکه در طول عمر سیستم پس انداز کند. ارزش فعلی این جریانات ($PW[CIF(N)]$)[3] به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$PW[CIF(N)]\ G\ p_g E_{PV}\frac{K_{Pg}(Y-K_{Pg}^{N})}{Y-K_{Pg}} \qquad (۸)$$

در این رابطه p_g قیمت برق شبکه، E_{PV} میزان برق تولید شده توسط سیستم فتوولتائیک در هر سال، N طول عمر سیستم و $K_{pg}\ G\ (1+\varepsilon_{pg})/(1+d)$ که ε_{pg} نشان دهنده‌ی نرخ افزایش سالانه قیمت برق شبکه است (تالاورا و همکاران، ۲۰۰۷). همان طور که اشاره شد، کاهش انتشار CO_2 را می‌توان به عنوان یک منفعت در نظر

1- BD: Buy-Down Subsidy.
2- Annual Payment.
3- CIF: Cash Inflows.

www.SID.ir

گرفت. ارزش فعلی جریان این منافع در طول عمر سیستم از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$PW(Scc) \mathbf{G} Scc\frac{K_s(Y-K_s^N)}{Y-K_s} \quad (۹)$$

در این رابطه Scc[1] نشان دهنده‌ی هزینه‌ی اجتماعی سالانه‌ی انتشار CO2 به دلیل تولید برق از نیروگاه‌های مختلف به ازای هر خانوار یا واحد تجاری است و $\theta K_s \mathbf{G} (1+\varepsilon_s)/(1+d)$ که ε_s بیانگر نرخ افزایش سالانه در Scc و d نرخ تنزیل می‌باشد. بدین ترتیب ارزش فعلی کل منافع طرح [PW(TB)][2] عبارت است از مجموع ارزش فعلی جریانات ورودی نقدی و ارزش فعلی منافع ناشی از کاهش انتشار CO2 :

$$PW(TB)=PW(CIF) + PW(Scc) \quad (۱۰)$$

با توجه به مطالب مطرح شده می‌توان شاخص‌های معروف برای ارزیابی سودآوری یک پروژه‌ی فتوولتائیک را به ترتیب زیر معرفی کرد:

خالص ارزش فعلی NPW[3] برابر با ارزش فعلی جریانات ورودی نقدی حاصل از سیستم، منهای هزینه‌ی چرخه‌ی عمر از نقطه نظر مصرف کننده است. بنابراین:

$$NPW \mathbf{G} PW[CIF(N)] - LCC_{USP} \quad (۱۱)$$

یک سیستم فتوولتائیک زمانی مطلوب است که $NPW > 0$ باشد.

دوره‌ی بازگشت یک پروژه‌ی سرمایه‌گذاری (به صورت مناسب‌تر، دوره‌ی بازگشت تنزیل یافته، DPBT[4])، تعداد سال‌های مورد نیاز برای برابر شدن ارزش فعلی جریانات ورودی با ارزش فعلی جریانات خروجی است. بدیهی است که سوددهی به این معناست که دوره‌ی بازگشت تنزیل شده نباید از عمر مفید سیستم بیش‌تر باشد (DPBT<N).

نرخ بازدهی داخلی (IRR)[5] یک پروژه‌ی سرمایه‌گذاری ارزش نرخ بهره‌ای است که در آن NPW=0 می‌باشد.

$$NPW \mathbf{G} PW[CIF(N)] - LCC_{USP} \mathbf{G} 0$$

برای یک پروژه‌ی معین، نرخ بازدهی داخلی برابر با نرخ بهره‌ی واقعی است که در آن سرمایه‌گذاری اولیه‌ی پروژه باید وام داده شود تا در مدت عمر مفید پروژه حذف به

1- Social Cost of Carbon Emissions.
2- TB:Total Benefits.
3- Net Present Worth.
4- Discounted Payback Time.
5- Internal Rate of Return.

www.SID.ir
Archive of SID

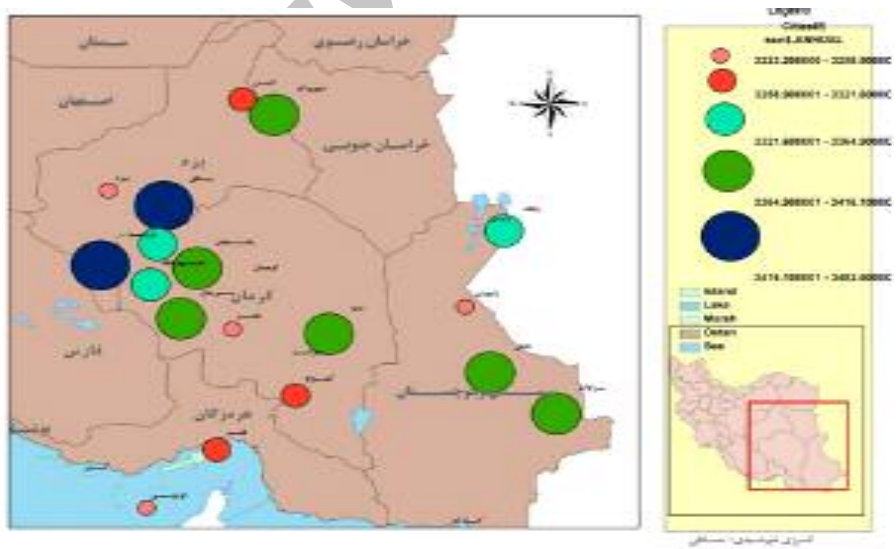
سوددهی یکسان دست یابد. نرخ بازدهی داخلی واقعی (IRR_a) از IRR توسط رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$IRR_a \; G \; (IRR - g)/(1 + g) \qquad (۱۲)$$

که در این رابطه g نرخ تورم سالانه است. از نقطه نظر اقتصادی، اگر نرخ بازگشت سرمایه (IRR) بیش از نرخ بهره‌ی اسمی باشد، انجام پروژه دارای توجیه اقتصادی است.

۴- یافته‌های تحقیق

نقشه‌ی زیر پراکنش مکانی میانگین تابش سالانه‌ی خورشید را در منطقه‌ی جنوب شرق کشور به ساعت نشان می‌دهد؛ این نقشه از طریق اتصال آمار میزان متوسط ساعت تابش خورشید که از ایستگاه‌های سینوپتیک به‌دست آمده، با اطلاعات مکانی در محیط نرم افزار GIS ترسیم شده است. در این نقشه میانگین تابش خورشید در پنج طبقه، دسته‌بندی شده است. این پنج طبقه عبارتند از: طبقه‌ی اول از ۳۲۲۳ ساعت تا ۳۲۵۸، طبقه‌ی دوم از ۳۲۵۸ ساعت تا ۳۳۲۱، طبقه‌ی سوم از ۳۳۲۱ ساعت تا ۳۳۶۴، طبقه‌ی چهارم از ۳۳۶۴ ساعت تا ۳۴۱۶ و آخرین طبقه‌ی تابش از۳۴۱۶ ساعت تا ۳۴۸۲ ساعت است.



منبع: سازمان هواشناسی و محاسبات تحقیق

شکل ۱- نقشه‌ی پراکنش مکانی میانگین تابش سالانه خورشید در منطقه‌ی جنوب شرق کشور

www.SID.ir

بر اساس نقشه فوق، بالاترین ساعت تابش مربوط به جنوب و جنوب شرق استان یزد می‌باشد. در حالی که بقیه‌ی استان‌ها در بالاترین طبقه‌ی ساعت تابش هیچ سهمی را ندارند. بعد از استان یزد استان کرمان دارای رتبه‌ی دوم میزان ساعت تابش می‌باشد و استان سیستان و بلوچستان در رتبه‌ی بعدی و پایین‌ترین رتبه‌ی میزان ساعت تابش متعلق به استان هرمزگان است. در مجموع تمام مناطق جنوب‌شرق کشور دارای میانگین تابش بالای ۳۲۲۳ هستند، یعنی در بیش از ۳۷ درصد ساعت‌های سال دارای تابش خورشید می‌باشند. جدول زیر متوسط تولید سالانه‌ی برق توسط سیستم‌های فتوولتائیک را به تفکیک مناطق مختلف پنج استان مورد بحث در سال ۱۳۸۷ بر اساس فرمول‌های ارائه شده در قسمت مبانی نظری تحقیق نشان می‌دهد.

جدول ۱- متوسط تولید سالانه‌ی برق فتوولتائیک به تفکیک مناطق مختلف جنوب شرق در سال ۱۳۸۷بر حسب کیلووات ساعت

استان سیستان و بلوچستان		استان هرمزگان		استان خراسان جنوبی		استان یزد		استان کرمان	
نام ایستگاه	متوسط تولید سالانه‌ی برق	نام ایستگاه	متوسط تولید سالانه‌ی برق	نام ایستگاه	متوسط تولید سالانه‌ی برق	نام ایستگاه	متوسط تولید سالانه‌ی برق	نام ایستگاه	متوسط تولید سالانه‌ی برق
زاهدان	۲۱۱۷.۶۳	بندرعباس	۲۰۱۵.۱۶	بشرویه	۱۹۹۲.۲۸	یزد	۲۰۹۴.۴۳	کرمان	۲۰۶۲.۹۲
کنارک چابهار	۲۰۳۸.۷۴	میناب	۲۱۶۸.۳۱	خور بیرجند	۲۱۷۷.۱۵	هرات – مروست	۲۲۶۲.۹۹	میانده جیرفت	۲۰۵۷.۳۹
چابهار	۲۰۴۳.۴۲	جزیره‌ی سیری	۲۱۲۹.۶	بجنورد	۱۷۶۳.۵۵	طبس	۲۱۵۷.۹۸	بافت	۲۱۱۴.۵۱
ایرانشهر	۲۱۳۱.۲۱	جزیره‌ی ابوموسی	۲۱۱۰.۴۸	فردوس	۲۱۴۲.۲۶	بافق	۲۲۳۳.۲۳	رفسنجان	۲۱۹۶.۹
سراوان	۲۲۱۹.۷۸	جاسک	۲۰۳۷.۳۲	قائن	۲۱۶۰.۷۸	–	–	سیرجان	۲۲۱۵.۸۸
زهک	۲۱۸۵.۳۴	بندر لنگه	۲۱۲۱.۱	بیرجند	۲۰۹۶.۰۶	–	–	کهنوج	۲۱۵۸.۳۷
خاش	۲۲۰۷.۷۶	جزیره‌ی کیش	۲۰۸۹.۸۸	نهبندان	۲۱۹۴.۴۴	–	–	انار	۲۱۷۲.۹۳
زابل	۲۰۵۶.۵	جزیره‌ی قشم	۲۱۴۳.۷۵	–	–	–	–	شهربابک	۲۱۸۶.۵
–	–	حاجی آباد هرمزگان	۲۳۳۴.۲	–	–	–	–	بم	۲۱۹۷.۳۶
متوسط تولید سالانه استان	۲۱۲۵.۰۵	متوسط تولید سالانه‌ی استان	۲۱۲۷.۷۲	متوسط تولید سالانه	۲۰۷۵.۹	متوسط تولید سالانه	۲۱۸۹.۴۱	متوسط تولید سالانه‌ی استان	۲۱۵۱.۴۲

منبع: محاسبات تحقیق

www.SID.ir
Archive of SID

نکته‌ی دیگری که بایستی در بحث نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتائیک مد نظر قرار گیرد، تحلیل «هزینه-فایده‌ی اجتماعی[1]» است. در تحلیل هزینه‌ی فایده‌ی اجتماعی، ارزیابی طرح‌ها از دیدگاه یک جامعه به صورت کلی انجام می‌گیرد. در این نوع تحلیل، تمرکز اصلی به جای هزینه‌ها و منافع خصوصی بر روی هزینه‌ها و منافع اجتماعی می‌باشد. منظور از هزینه و فایده‌ی اجتماعی در طرح‌های فتوولتائیک، افزایش یا کاهش آلودگی هوا در اثر نصب و راه‌اندازی این سیستم، یا استفاده از سیستم فعلی (توسط نیروگاه‌های دیزلی یا گازی و...) برای تولید برق است. به گونه‌ای که با نصب و راه‌اندازی سیستم فتوولتائیک برای تولید برق، آلودگی ناشی از به کارگیری سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها کاهش می‌یابد و به تبع آن هزینه‌ی اضافی به جامعه تزریق نخواهد شد. یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای اندازه‌گیری هزینه‌ی اجتماعی تولید برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی، شاخص انتشار گاز CO_2 در اثر تولید برق است. چون مصارف خانگی و تجاری در بیش‌تر موارد در ساعات پیک وارد مدار می‌شوند، از سویی چیدمان اقتصادی نیروگاه‌ها بر اساس هزینه‌ی ثابت و متغیر است و به دلیل هزینه‌ی ثابت پایین نیروگاه‌های دیزلی و گازی و هزینه‌های متغیر بالای این دو نیروگاه نسبت به سایر نیروگاه‌ها، صرفه‌ی اقتصادی در این است که در ساعت پیک، نیروگاه‌های دیزلی و گازی در مدار قرار گیرند، بنابراین بیش‌ترین میزان برق مصرفی خانگی و تجاری توسط دو نیروگاه دیزلی و گازی به دست می‌آید. بر مبنای متوسط مصرف سالیانه‌ی برق تجاری و خانگی هر مشترک به تفکیک استان در سال ۱۳۸۷ بر حسب کیلووات ساعت و با در نظر گرفتن میزان انتشار گاز CO_2 از دو نیروگاه گازی و دیزلی برای تولید این میزان برق محاسبه شده است. بر اساس مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۲ انجام گرفته، هزینه‌ی اجتماعی انتشار هر تن CO_2، ۱۹ دلار برآورد شده است که این هزینه باید سالانه ۱.۵ درصد افزایش یابد تا افزایش هزینه‌ی نهایی انتشار را منعکس کند (کلارکسون[2]، ۲۰۰۲).

1- Social Cost Benefit Analysis.
2- Clarkson.

www.SID.ir

هزینه‌ی اجتماعی ناشی از انتشار گاز CO_2 را در استان‌های مورد بررسی می‌توان بدین شکل به دست آورد (جدول ۲):

جدول ۲- هزینه‌ی اجتماعی ناشی از انتشار گاز CO_2 به تفکیک استان برای هر مشترک در سال ۱۳۸۷

استان	نوع مصرف	مصرف سرانه‌ی مشترک (کیلووات ساعت)	میزان انتشار CO_2 (گرم)	هزینه‌ی اجتماعی(ریال)
خراسان جنوبی	خانگی	۲۰۸۵	۱۶۷۱۷۹۱	۳۱۲۹۶۰
	تجاری	۲۹۱۹	۲۳۴۰۵۰۷	۴۳۸۱۴۳
سیستان و بلوچستان	خانگی	۳۷۵۶	۳۰۱۱۶۲۸	۵۶۳۷۷۷
	تجاری	۴۱۷۲	۳۳۴۵۱۸۵	۶۲۶۲۱۹
کرمان	خانگی	۲۶۷۹	۲۱۴۸۰۷۰	۴۰۲۱۱۹
	تجاری	۳۷۶۰	۳۰۱۴۸۳۶	۵۶۴۳۷۷
هرمزگان	خانگی	۹۸۹۴	۷۹۳۳۱۸۷	۱۴۸۵۰۹۳
	تجاری	۸۴۶۹	۶۷۹۰۵۹۷	۱۲۷۱۲۰۰
یزد	خانگی	۲۳۷۶	۱۹۰۵۱۲۰	۳۵۶۶۳۸
	تجاری	۲۳۷۰	۱۹۰۰۳۰۹	۳۵۵۷۳۸

منبع: تراز نامه‌ی انرژی و محاسبات تحقیق

ارزش فعلی منافع طرح

به منظور محاسبه‌ی کل منافع طرح ابتدا باید با استفاده از معادله قسمت مبانی نظری ارزش فعلی جریانات نقدی و سپس با استفاده از معادله‌ی (۹) ارزش فعلی منافع ناشی از کاهش انتشار CO_2 را محاسبه کرد. آن‌گاه می‌توان با به کارگیری معادله‌ی (۱۰)، ارزش فعلی کل منافع طرح را به‌دست آورد.

قیمت هر کیلو وات ساعت برق شبکه(p_g) برای تمام استان‌ها برابر با ۱۳۰۰ ریال[۱] و نرخ افزایش سالانه‌ی آن (ε_{pg})۵ درصد درنظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که این قیمت متناسب با قیمت جهانی برق است[۲]. متوسط مصرف سالانه‌ی برق تجاری و

۱- البته با توجه به قانون هدفمندی یارانه‌ها، قیمت تمام حامل‌های انرژی باید طی یک دوره‌ی واقعی و به قیمت‌های جهانی برسد

International Energy Agency, Energy Prices & Taxes - Quarterly Statistics, First Quarter 2008, Part II, Section D, Table 22, and Part III, Section B.

www.SID.ir
Archive of SID

خانگی نیز در جدول (۲) مشخص شده است. هزینه‌ی انتشار هر تن CO_2 در سال ۱۳۹۱ برابر با ۲۳۱۰۰۰ ریال و نرخ افزایش سالانه آن(ε_s)۱.۵ درصد درنظر گرفته می‌شود.

جدول ۳- خلاصه‌ی فروض محاسبات در سناریوی اول و دوم

فروض مشترک دو سناریو		فروض خاص سناریوی دوم		
قیمت برق (ریال)	۱۳۰۰	میزان یارانه‌ی پرداختی		٪۵۰ هزینه‌ی اولیه
نرخ رشد سالانه‌ی قیمت برق	٪۵	نرخ بهره‌ی وام		٪۲
هزینه‌ی اولیه به ازای ۲/۵ کیلووات (ریال)	۳۰.۰۰۰.۰۰۰	دوره‌ی بازپرداخت وام (سال)		۱۰
هزینه‌ی نگهداری سالانه به ازای ۲/۵کیلووات	۳۰۰.۰۰۰	مصرف سرانه‌ی برق (کیلووات)		
نرخ رشد هزینه‌های نگهداری	۰	خراسان جنوبی	خانگی	۲۰۸۵
میزان انتشار CO_2 (گرم بر کیلووات ساعت)	۸۰۱/۸		تجاری	۲۹۱۹
هزینه‌ی انتشار هرتن CO_2 (ریال)	۲۳۱.۰۰۰	سیستان و بلوچستان	خانگی	۳۷۵۶
نرخ افزایش هزینه‌ی انتشار	٪۱/۵		تجاری	۴۱۷۲
نرخ تنزیل اسمی	٪۱۷	کرمان	خانگی	۲۶۷۹
ظرفیت سیستم (وات)	۴۵		تجاری	۳۷۶۰
کارایی ماژول فتوولتائیک	۰/۱۵	هرمزگان	خانگی	۹۸۹۴
کارایی تجهیزات جانبی	۰/۹		تجاری	۸۴۶۹
طول عمر سیستم فتوولتائیک (سال)	۲۵	یزد	خانگی	۲۳۷۶
			تجاری	۲۳۷۰

منبع: محاسبات تحقیق

یادآوری می‌شود که طول عمر سیستم برابر با ۲۵ سال و نرخ تنزیل به کار رفته ۱۷ درصد می‌باشد. هم‌چنین سال ۱۳۹۱ به عنوان سال شروع طرح در نظر گرفته شده

Archive of SID

www.SID.ir

است. بدین ترتیب ارزش فعلی کل منافع حاصل از سیستم فتوولتائیک برای هر خانوار و هر واحد تجاری در استان‌های مختلف به صورت جدول (۴) می‌باشد.

جدول ۴- ارزش فعلی منافع حاصل از سیستم فتوولتائیک

استان	نوع مصرف	ارزش فعلی جریانات ورودی نقدی (ریال) **PW(CIF)**	ارزش فعلی منافع ناشی از کاهش انتشار CO_2 (ریال) **PW(Scc)**	ارزش فعلی کل منافع طرح (ریال) **PW(TB)**
خراسان جنوبی	خانگی	۲۲۶۳۲۶۷۵	۲۴۵۶۱۲۸	۲۵۰۸۸۸۰۳
	تجاری	۳۱۶۸۵۷۴۵	۳۴۳۸۵۷۹	۳۵۱۲۴۳۲۴
سیستان و بلوچستان	خانگی	۴۰۷۷۱۳۸۰	۴۴۲۴۵۶۳	۴۵۱۹۵۹۴۳
	تجاری	۴۵۲۸۷۰۶۰	۴۹۱۴۶۱۲	۵۰۲۰۱۶۷۲
کرمان	خانگی	۲۹۰۸۰۵۴۵	۳۱۵۵۸۵۸	۳۲۲۳۶۴۰۳
	تجاری	۴۰۸۱۴۸۰۰	۴۴۲۹۲۷۶	۴۵۲۴۴۰۷۶
هرمزگان	خانگی	۱۰۷۳۹۹۳۷۰	۱۱۶۵۵۱۲۱	۱۱۹۰۵۴۴۹۱
	تجاری	۹۱۹۳۰۹۹۵	۹۹۷۶۴۷۳	۱۰۱۹۰۷۴۶۸
یزد	خانگی	۲۵۷۹۱۴۸۰	۲۷۹۸۹۲۶	۲۸۵۹۰۴۰۶
	تجاری	۲۵۷۲۶۳۵۰	۲۷۹۱۸۵۸	۲۸۵۱۸۲۰۸

منبع: محاسبات تحقیق

ارزش فعلی هزینه‌های طرح

هزینه‌ی طول عمر سیستم از نقطه نظر مصرف کننده ($LCC_{U<P}$) برابر با سرمایه‌گذاری اولیه بر روی سیستم فتوولتائیک به اضافه ارزش فعلی هزینه‌های عملیاتی و نگهداری سالانه‌ی سیستم می‌باشد[1]. بر اساس کار انجام شده توسط خوش اخلاق و همکاران (۱۳۸۴)، هزینه‌ی تمام شده‌ی نصب و راه‌اندازی سیستم فتوولتائیک در سال ۱۳۸۳ حدود ۳۰ میلیون ریال به ازای تولید ۲.۵ کیلو وات ساعت برق در روز بوده است.

۱- هزینه‌ی سیستم فتوولتائیک شامل اقلامی همچون پانل و پایه، باتری، مبدل، کابل‌های رابط، شارژ کنترل، هزینه‌ی نصب و نگهداری می باشد. هزینه‌ی نگهداری نیز یک درصد هزینه‌ی سرمایه‌ی اولیه در نظر گرفته می‌شود (کلیک، ۲۰۰۶).

Archive of SID
www.SID.ir

در این تحقیق با فرض این‌که افزایش قیمت ناشی از تورم و کاهش قیمت حاصل از پیشرفت تکنولوژیکی همدیگر را خنثی کرده‌اند، از همین قیمت‌ها استفاده می‌شود. متوسط مصرف برق روزانه‌ی خانوارها و واحدهای تجاری در جدول (۲) مشخص شده است، لذا هزینه‌ی اولیه به صورت تناسبی (متناسب با هزینه‌ی ۲.۵ کیلو وات ساعت) محاسبه می‌شود. نکته‌ی قابل توجه این است که باتری‌های استفاده شده در سیستم‌های فتوولتائیک طول عمری کم‌تر از طول عمر کل سیستم دارند، بنابراین در مدت ۲۵ سال تقریبا ۳ مرتبه نیاز به جایگزینی می‌باشند. در مطالعه‌ی حاضر از این هزینه صرف نظر شده است و ارزش فعلی آن محاسبه نمی‌شود. هزینه‌های عملیاتی و نگهداری سالانه ۱ درصد هزینه‌ی اولیه در نظر گرفته شده و فرض می‌شود که ثابت باقی بماند. بر این اساس در سناریوی اول، ارزش فعلی هزینه‌های عملیاتی و نگهداری سالانه با استفاده از معادله‌ی (۵) محاسبه می‌شود. با به کارگیری معادله‌ی (۴) نیز می‌توان هزینه‌ی طول عمر سیستم از نقطه نظر مصرف کننده را محاسبه کرد. جدول (۵)، نتایج محاسبات هزینه‌ی طرح در سناریوی اول را نشان می‌دهد.

در سناریوی دوم فرض می‌شود که دولت ۵۰ درصد هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه را یارانه داده و مابقی آن را به شکل وامی با نرخ بهره‌ی ۲ درصد (i_1=0.02) و دوره‌ی بازپرداخت ۱۰ ساله (N_1=10) به مصرف کننده می‌پردازد. با داشتن این اطلاعات، از معادلات (۶) و (۷) مبانی نظری استفاده و ارزش فعلی هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه محاسبه شده است. سپس با استفاده از معادله‌ی (۴)، به سادگی می‌توان هزینه‌ی طول عمر سیستم از نقطه نظر مصرف کننده را به دست آورد. جدول (۶)، نتایج محاسبات هزینه‌ی طرح در سناریوی دوم بیان می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- هزینه‌ی طول عمر سیستم فتوولتائیک از نقطه نظر مصرف کننده: سناریوی اول

استان	نوع مصرف	ارزش فعلی هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه (ریال) $PW(PV_{UIN})$	ارزش فعلی هزینه‌های نگهداری سالانه (ریال) $PW(PV_{OM})$	ارزش فعلی کل هزینه‌ها (ریال) (LCCUSP)
خراسان جنوبی	خانگی	۶۸۴۰۰۰۰۰	۳۹۶۷۲۰۰	۷۲۳۶۷۲۰۰
	تجاری	۹۴۸۰۰۰۰۰	۵۴۹۸۴۰۰	۱۰۰۲۹۸۴۰۰
سیستان و بلوچستان	خانگی	۱۲۳۶۰۰۰۰۰	۷۱۶۸۸۰۰	۱۳۰۷۶۸۸۰۰
	تجاری	۱۳۶۸۰۰۰۰۰	۷۹۳۴۴۰۰	۱۴۴۷۳۴۴۰۰
کرمان	خانگی	۸۸۸۰۰۰۰۰	۵۱۵۰۴۰۰	۹۳۹۵۰۴۰۰
	تجاری	۱۲۳۶۰۰۰۰۰	۷۱۶۸۸۰۰	۱۳۰۷۶۸۸۰۰
هرمزگان	خانگی	۳۲۵۲۰۰۰۰۰	۱۸۸۶۱۶۰۰	۳۴۴۰۶۱۶۰۰
	تجاری	۲۷۸۴۰۰۰۰۰	۱۶۱۴۷۲۰۰	۲۹۴۵۴۷۲۰۰
یزد	خانگی	۷۸۰۰۰۰۰۰	۴۵۲۴۰۰۰	۸۲۵۲۴۰۰۰
	تجاری	۷۸۰۰۰۰۰۰	۴۵۲۴۰۰۰	۸۲۵۲۴۰۰۰

منبع: محاسبات تحقیق

جدول ۶ - هزینه‌ی طول عمر سیستم فتوولتائیک از نقطه نظر مصرف کننده: سناریوی دوم

استان	نوع مصرف	ارزش فعلی هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه (ریال) $PW(PV_{UIN})$	ارزش فعلی هزینه‌های نگهداری سالانه (ریال) PW(PVOM)	ارزش فعلی کل هزینه‌ها (ریال) (LCC_{USP})
خراسان جنوبی	خانگی	۱۹۸۲۵۷۴۰	۳۹۶۷۲۰۰	۲۳۷۹۲۹۴۰
	تجاری	۲۷۴۷۷۷۸۰	۵۴۹۸۴۰۰	۳۲۹۷۶۱۸۰
سیستان و بلوچستان	خانگی	۳۵۸۲۵۴۶۰	۷۱۶۸۸۰۰	۴۲۹۹۴۲۶۰
	تجاری	۳۹۶۵۱۴۸۰	۷۹۳۴۴۰۰	۴۷۵۸۵۸۸۰
کرمان	خانگی	۲۵۷۳۸۶۸۰	۵۱۵۰۴۰۰	۳۰۸۸۹۰۸۰
	تجاری	۳۵۸۲۵۴۶۰	۷۱۶۸۸۰۰	۴۲۹۹۴۲۶۰
هرمزگان	خانگی	۹۴۲۵۹۲۲۰	۱۸۸۶۱۶۰۰	۱۱۳۱۲۰۸۲۰
	تجاری	۸۰۶۹۴۲۴۰	۱۶۱۴۷۲۰۰	۹۶۸۴۱۴۴۰
یزد	خانگی	۲۲۶۰۸۳۰۰	۴۵۲۴۰۰۰	۲۷۱۳۲۳۰۰
	تجاری	۲۲۶۰۸۳۰۰	۴۵۲۴۰۰۰	۲۷۱۳۲۳۰۰

منبع: محاسبات تحقیق

Archive of SID
www.SID.ir

ارزش فعلی خالص

طبق معادله‌ی (۹)، برای محاسبه‌ی خالص ارزش فعلی کافی است ارزش فعلی کل هزینه‌های طرح از ارزش فعلی کل منافع طرح کم شود، جدول (۷)، نتایج محاسبات را خلاصه می‌کند. این نتایج نشان می‌دهد که خالص ارزش فعلی طرح سیستم فتوولتائیک در سناریوی اول که هیچ گونه حمایت دولتی وجود ندارد، در هر پنج استان و در هر دو بخش خانگی و تجاری منفی است، بنابراین در این حالت اجرای سیستم فتوولتائیک در این استان‌ها دارای توجیه اقتصادی نمی‌باشد، اما در حالت سناریوی دوم که دولت ۵۰ درصد هزینه‌ی اولیه‌ی طرح را یارانه می‌دهد و مابقی آن را به صورت وامی با نرخ بهره‌ی ۲ درصد با دوره‌ی بازپرداخت ۱۰ ساله به مصرف کننده می‌پردازد، ارزش فعلی خالص طرح مثبت می‌شود، یعنی اجرای سیستم فتوولتائیک با وجود حمایت‌های دولتی توجیه می‌شود.

جدول۷- ارزش فعلی خالص سیستم فتوولتائیک

استان	نوع مصرف	خالص ارزش فعلی: سناریوی اول (ریال)	خالص ارزش فعلی: سناریوی دوم (ریال)
خراسان جنوبی	خانگی	- ۴۷۲۷۸۳۹۷	۱۲۹۵۸۶۳
	تجاری	- ۶۵۱۷۴۰۷۶	۲۱۴۸۱۴۴
سیستان و بلوچستان	خانگی	- ۸۵۵۷۲۸۵۷	۲۲۰۱۶۸۳
	تجاری	- ۹۴۵۳۲۷۲۸	۲۶۱۵۷۹۲
کرمان	خانگی	- ۶۱۷۱۳۹۹۷	۱۳۴۷۳۲۳
	تجاری	- ۸۵۵۲۴۷۲۴	۲۲۴۹۸۱۶
هرمزگان	خانگی	- ۲۲۵۰۰۷۱۰۹	۵۹۳۳۶۷۱
	تجاری	- ۱۹۲۶۳۹۷۳۲	۵۰۶۶۰۲۸
یزد	خانگی	- ۵۳۹۳۳۵۹۴	۱۴۵۸۱۰۶
	تجاری	- ۵۴۰۰۵۷۹۲	۱۳۸۵۹۰۸

منبع: محاسبات تحقیق

نرخ بازدهی داخلی (IRR) و دوره‌ی بازگشت سرمایه

همان گونه که قبلاً بیان شد، نرخ بازدهی داخلی یک پروژه، نرخ بهره‌ای است که ارزش فعلی خالص طرح را صفر می‌کند. در حالتی که NPW یک طرح منفی باشد، نرخ

Archive of SID
www.SID.ir

بازده‌ی داخلی آن نیز در سطح پایینی قرار داشته و این معیار نیز اقتصادی نبودن طرح را نشان می‌دهد. دوره‌ی بازگشت سرمایه نیز مدت زمانی است که به ازای آن ارزش فعلی خالص یک پروژه صفر می‌شود. بدیهی است در حالتی که NPW پروژه منفی باشد، دوره‌ی بازگشت سرمایه از طول عمر پروژه بیش‌تر است، بنابراین در سناریوی اول که NPW طرح سیستم فتوولتائیک برای تمام استان‌ها منفی است، محاسبه‌ی نرخ بازده‌ی داخلی و دوره‌ی بازگشت سرمایه برای این پروژه ضرورتی ندارد، اما در سناریوی دوم که NPW پروژه‌ی مورد نظر مثبت است، می‌توان این دو معیار را نیز محاسبه کرده و با استفاده از آن‌ها نیز اقتصادی بودن پروژه را تأیید کرد.

برای محاسبه‌ی IRR یک روش ساده این است که ابتدا ارزش فعلی خالص طرح برای نرخ‌های تنزیل مختلف به دست آورده شود. نرخ بازدهی داخلی طرح بین دو نرخی است که در آن NPW طرح تغییر علامت می‌دهد. در این‌جا NPW با نرخ تنزیل ۱۷ درصد محاسبه و در جدول (۸) گزارش شده است.

جدول ۸- نتایج محاسبات نرخ بازده‌ی داخلی و دوره‌ی بازگشت سرمایه‌ی طرح سیستم فتوولتائیک

استان	نوع مصرف	NPW2* با نرخ تنزیل ۱۷ درصد (ریال)	NPW2 با نرخ تنزیل ۱۸ درصد (ریال)	NPW2 با دوره‌ی ۲۱ سال (ریال)	NPW2 با دوره‌ی ۲۰ سال (ریال)
خراسان جنوبی	خانگی	۱۲۹۵۸۶۳	-۳۹۷۸۹۴	۲۸۰۲۸۳	-۱۴۴۹۷
	تجاری	۲۱۴۸۱۴۴	-۲۲۵۲۲۶	۷۲۷۷۰۳	۳۱۴۶۹۵
سیستان و بلوچستان	خانگی	۲۲۰۱۶۸۳	-۸۴۸۶۷۸	۳۷۱۶۳۲	-۱۵۹۲۷۱
	تجاری	۲۶۱۵۷۹۲	-۷۷۳۴۹۱	۵۸۳۷۵۰	-۶۱۱۴
کرمان	خانگی	۱۳۴۷۳۲۳	-۸۲۶۹۶۴	۴۱۱۰۷	-۳۳۷۳۵۳
	تجاری	۲۲۴۹۸۱۶	-۸۰۴۰۸۲	۴۱۸۰۰۴	-۱۱۳۵۰۸
هرمزگان	خانگی	۵۹۳۳۶۷۱	-۲۱۰۲۳۹۲	۱۱۱۳۵۲۶	-۲۸۵۰۹۷
	تجاری	۵۰۶۶۰۲۸	-۱۸۱۲۵۴۵	۹۴۰۰۶۰	-۲۵۷۱۱۲
یزد	خانگی	۱۴۵۸۱۰۶	-۴۷۱۹۲۸	۳۰۰۷۰۶	-۳۵۱۹۸
	تجاری	۱۳۸۵۹۰۸	-۵۳۸۸۱۹	۲۳۱۱۵۰	-۱۰۳۸۴۲

منبع: محاسبات تحقیق

* در این جدول NPW2 نشان دهنده‌ی ارزش فعلی خالص در سناریوی دوم است.

Archive of SID
www.SID.ir

نرخ‌های تنزیل پایین‌تر سبب افزایش NPW می‌شود، بنابراین باید نرخی بالاتر از ۱۷ درصد را در نظر گرفت. به همین دلیل نرخ ۱۸ درصد به کار رفته و NPW برای آن محاسبه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که در این نرخ،NPW منفی می‌گردد. در نتیجه می‌توان گفت که نرخ بازدهی داخلی طرح بین ۱۷ و ۱۸ درصد قرار دارد.

دوره‌ی بازگشت سرمایه را نیز می‌توان به همین صورت به دست آورد، یعنی به ازای Nهای مختلف NPW پروژه محاسبه می‌شود. دوره‌ی بازگشت سرمایه بین دو دوره‌ای قرار دارد که به ازای آن‌ها NPW تغییر علامت می‌دهد. از آن‌جا که در سناریوی دوم NPW مثبت است، لذا دوره‌ی بازگشت سرمایه باید کم‌تر از طول عمر سیستم فتوولتائیک (۲۵ سال) باشد. در نتیجه N های کم‌تر از ۲۵ در نظر گرفته شده و NPW به ازای آن‌ها محاسبه می‌شود. این کار تا جایی ادامه می‌دهیم که NPW تغییر علامت دهد (منفی شود). نتایج محاسبات نشان می‌دهد که دوره‌ی بازگشت سرمایه برای پروژه سیستم فتوولتائیک تحت سناریوی دوم در پنج استان مورد بررسی بین ۲۰ و ۲۱ سال است. جدول ۸ این نتایج را خلاصه می‌کند. همان طور که مشاهده می‌شود، دوره‌ی بازگشت سرمایه در بخش تجاری استان خراسان جنوبی احتمالا کم‌تر از سایر استان‌ها می‌باشد.

آنالیز حساسیت

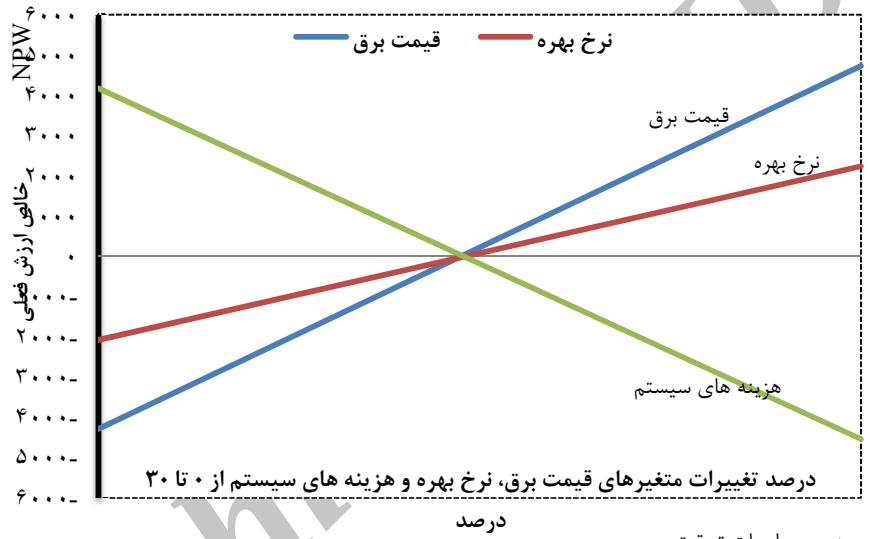
آنالیز حساسیت یک طرح عبارتست از بازنگری ارزیابی اقتصادی انجام شده با تغییر پارامترهای اولیه‌ی طرح. در آنالیز حساسیت، تحلیل‌گر به بررسی میزان تأثیر تغییرات پارامترهای اولیه‌ی طرح در نتایج طرح می‌پردازد. هر چه‌قدر این اثرات کم‌تر باشد، امید و اطمینان بیش‌تری به سرمایه‌گذار جهت انجام طرح خواهد داد. سه متغیر قیمت برق، هزینه‌های سیستم و نرخ بهره از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین متغیرها در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک در استان‌های مورد مطالعه در بخش خانگی و تجاری می‌باشند، بنابراین در این قسمت تلاش شده است به بررسی آنالیز حساسیت این سه متغیر در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم‌های فتوولتائیک و تولید برق خانگی و تجاری پرداخته شود، که تحلیل‌های حاصل از آن در زیر بیان شده است

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی آنالیز حساسیت سیستم فتوولتائیک در تولید برق خانگی

همان‌طور که در نمودار زیر ملاحظه می‌شود، تأثیر متغیر نرخ بهره در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک بخش خانگی استان خراسان جنوبی به مراتب کم‌تر از دو متغیر قیمت برق و هزینه‌های سیستم فتوولتائیک می‌باشد. در مجموع می‌توان بیان کرد که حساسیت متغیرهای یاد شده در ارزیابی اقتصادی نسبتاً قابل قبول می‌باشد.

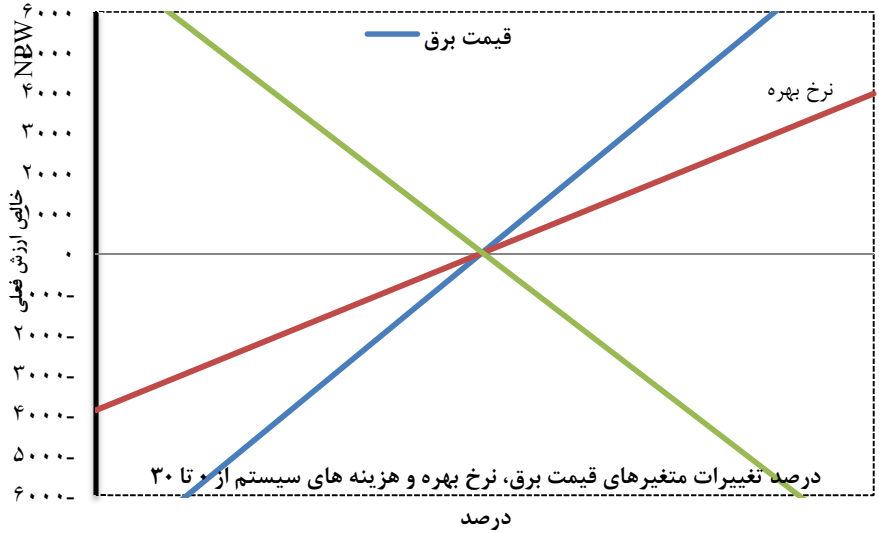


منبع: محاسبات تحقیق

نمودار ۱- بررسی آنالیز حساسیت متغیرهای هزینه‌ی سیستم، نرخ بهره و قیمت برق سیستم فتوولتائیک در استان خراسان جنوبی

همان‌طور که در نمودار زیر ملاحظه می‌شود، تأثیر متغیر نرخ بهره در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک بخش خانگی استان سیستان و بلوچستان به مراتب کم‌تر از دو متغیر قیمت برق و هزینه‌های سیستم فتوولتائیک می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir



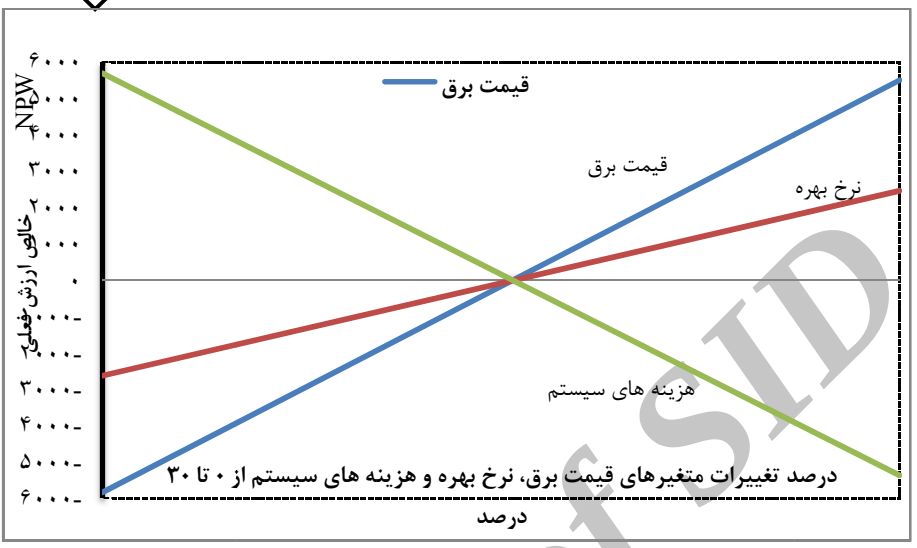
منبع: محاسبات تحقیق

نمودار ۲- بررسی آنالیز حساسیت متغیرهای هزینه‌ی سیستم، نرخ بهره و قیمت برق سیستم فتوولتائیک در سیستان و بلوچستان

همان‌طور که در نمودار زیر ملاحظه می‌شود، تأثیر متغیر نرخ بهره در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک بخش خانگی استان کرمان به مراتب کم‌تر از دو متغیر قیمت برق و هزینه‌های سیستم فتوولتائیک می‌باشد. در مجموع می‌توان بیان داشت که حساسیت متغیرهای یاد شده در ارزیابی اقتصادی نسبتاً قابل قبول می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir



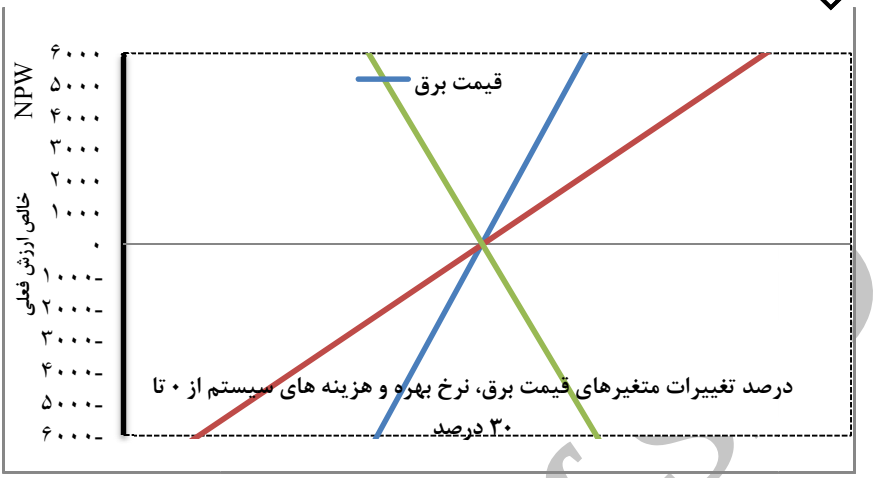
منبع: محاسبات تحقیق

نمودار ۳ - بررسی آنالیز حساسیت متغیرهای هزینه‌ی سیستم، نرخ بهره و قیمت برق سیستم فتوولتائیک در استان کرمان

همان‌طور که در نمودار زیر ملاحظه می‌شود، تأثیر متغیر نرخ بهره در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک بخش خانگی استان هرمزگان کم‌تر از دو متغیر قیمت برق و هزینه‌های سیستم فتوولتائیک می‌باشد. در مجموع می‌توان بیان داشت که حساسیت متغیرهای یاد شده در ارزیابی اقتصادی بسیار شدید می‌باشد که این مطلب نشان می‌دهد نتیجه‌ی ارزیابی اقتصادی به دست آمده چندان قابل استناد نخواهد بود و به‌شدت تحت تأثیر متغیرهای یاد شده می‌باشد.

Archive of SID

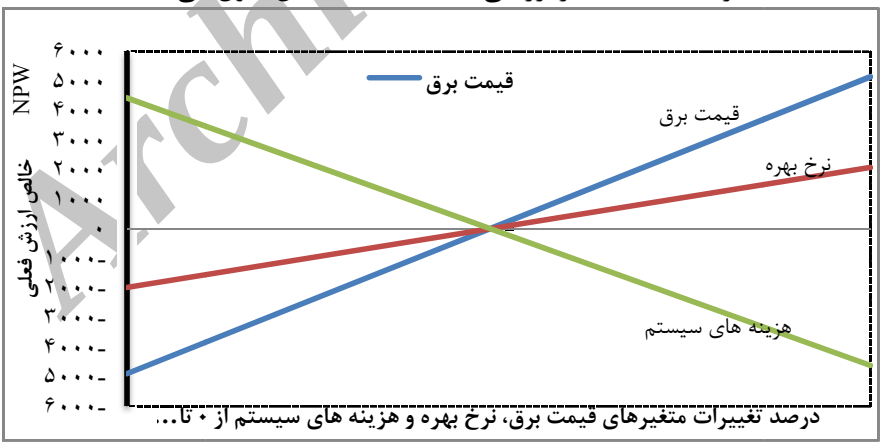
www.SID.ir



منبع: محاسبات تحقیق

نمودار ۴- بررسی آنالیز حساسیت متغیرهای هزینه‌ی سیستم، نرخ بهره و قیمت برق سیستم فتوولتائیک در استان هرمزگان

همان‌طور که در نمودار زیر ملاحظه می‌شود، تأثیر متغیر نرخ بهره در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک بخش خانگی استان یزد به مراتب کم‌تر از دو متغیر قیمت برق و هزینه‌های سیستم فتوولتائیک می‌باشد. در مجموع می‌توان بیان داشت که حساسیت متغیرهای یاد شده در ارزیابی اقتصادی نسبتاً قابل قبول می‌باشد.



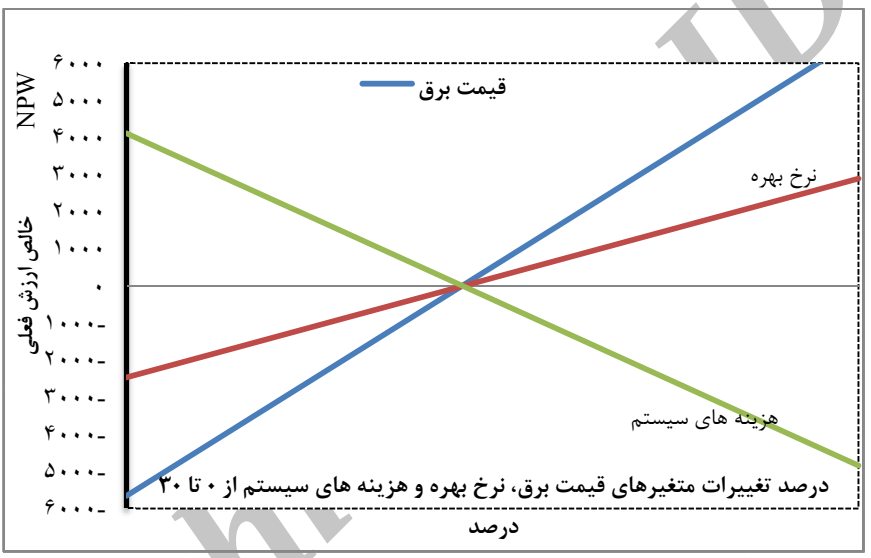
منبع: محاسبات تحقیق

نمودار ۵ - بررسی آنالیز حساسیت متغیرهای هزینه‌ی سیستم، نرخ بهره و قیمت برق سیستم فتوولتائیک در استان یزد

Archive of SID
www.SID.ir

بررسی آنالیز حساسیت سیستم فتوولتائیک در تولید برق تجاری

همان‌طور که در نمودار زیر ملاحظه می‌شود، تأثیر متغیر نرخ بهره در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک بخش تجاری استان خراسان جنوبی به مراتب کم‌تر از دو متغیر قیمت برق و هزینه‌های سیستم فتوولتائیک می‌باشد. در مجموع می‌توان بیان داشت که حساسیت متغیرهای یاد شده در ارزیابی اقتصادی نسبتاً قابل قبول می‌باشد.

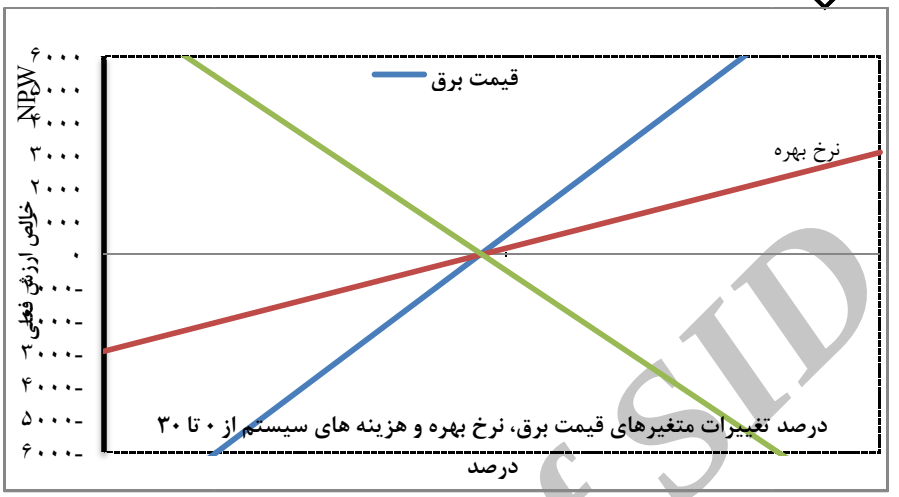


منبع: محاسبات تحقیق

نمودار ۶- بررسی آنالیز حساسیت متغیرهای هزینه‌ی سیستم، نرخ بهره و قیمت برق سیستم فتوولتائیک در استان خراسان جنوبی

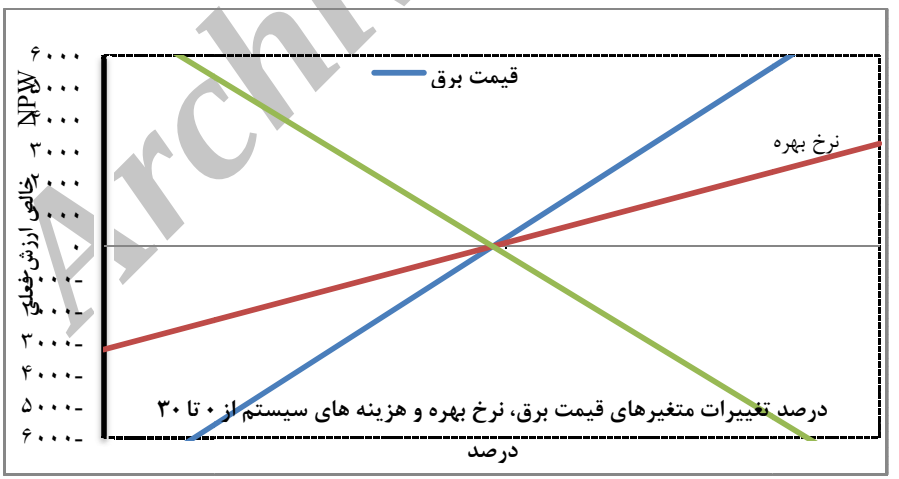
همان‌طور که در نمودار زیر ملاحظه می‌شود، تأثیر متغیر نرخ بهره در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک بخش تجاری استان سیستان و بلوچستان به مراتب کم‌تر از دو متغیر قیمت برق و هزینه‌های سیستم فتوولتائیک می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir



نمودار ۷- بررسی آنالیز حساسیت متغیرهای هزینه‌ی سیستم، نرخ بهره و قیمت برق سیستم فتوولتائیک در سیستان و بلوچستان

همان‌طور که در نمودار زیر ملاحظه می‌شود، تأثیر متغیر نرخ بهره در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک بخش تجاری استان کرمان به مراتب کم‌تر از دو متغیر قیمت برق و هزینه‌های سیستم فتوولتائیک می‌باشد.

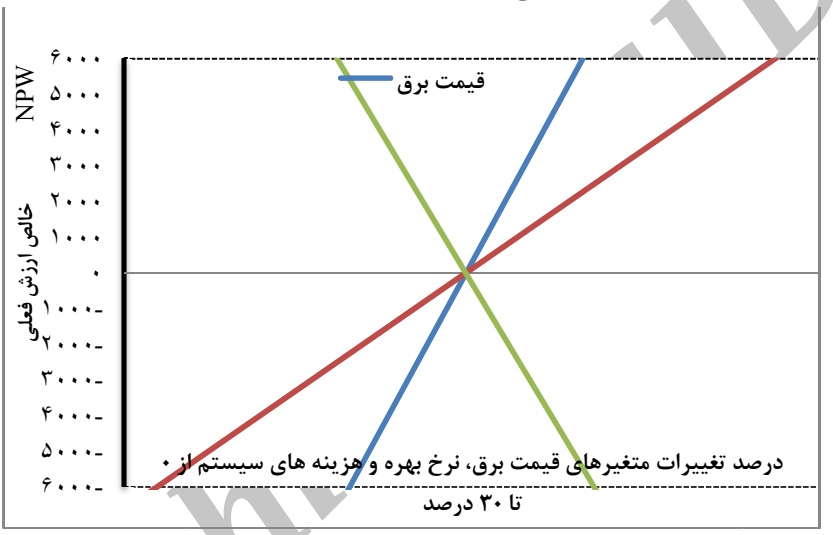


منبع: محاسبات تحقیق

نمودار ۸- بررسی آنالیز حساسیت متغیرهای هزینه‌ی سیستم، نرخ بهره و قیمت برق سیستم فتوولتائیک در استان کرمان

Archive of SID
www.SID.ir

همان‌طور که در نمودار زیر ملاحظه می‌شود، تأثیر متغیر نرخ بهره در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک بخش تجاری استان هرمزگان کم‌تر از دو متغیر قیمت برق و هزینه‌های سیستم فتوولتائیک می‌باشد. در مجموع می‌توان بیان داشت که حساسیت متغیرهای یاد شده در ارزیابی اقتصادی بسیار شدید می‌باشد که این مطلب نشان می‌دهد نتیجه‌ی ارزیابی اقتصادی به دست آمده چندان قابل استناد نیست و به شدت تحت تأثیر متغیرهای یاد شده می‌باشد.

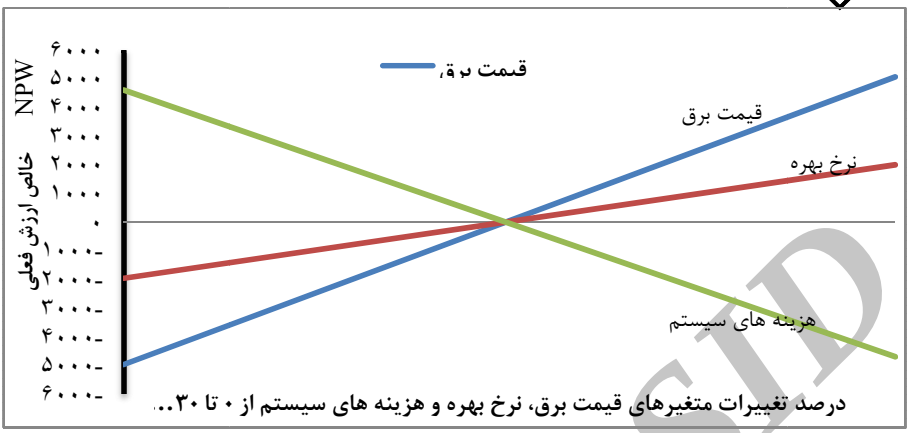


منبع: محاسبات تحقیق

نمودار ۹- بررسی آنالیز حساسیت متغیرهای هزینه‌ی سیستم، نرخ بهره و قیمت برق سیستم فتوولتائیک در استان هرمزگان

همان‌طور که در نمودار زیر ملاحظه می‌شود، تأثیر متغیر نرخ بهره در جریان ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک بخش تجاری استان یزد به مراتب کم‌تر از دو متغیر قیمت برق و هزینه‌های سیستم فتوولتائیک می‌باشد. در مجموع می‌توان بیان داشت که حساسیت متغیرهای یاد شده در ارزیابی اقتصادی نسبتاً قابل قبول می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir



نمودار ۱۰ بررسی آنالیز حساسیت متغیرهای هزینه‌ی سیستم، نرخ بهره و قیمت برق سیستم فتوولتائیک در استان یزد

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج نشان می‌دهد که خالص ارزش فعلی طرح سیستم فتوولتائیک در سناریوی اول که هیچ‌گونه حمایت دولتی وجود ندارد، در هر پنج استان و در هر دو بخش خانگی و تجاری منفی است، بنابراین در این حالت اجرای سیستم فتوولتائیک در این استان‌ها دارای توجیه اقتصادی نیست، اما در حالت سناریوی دوم که دولت ۵۰ درصد هزینه‌ی اولیه طرح را یارانه می‌دهد و مابقی آن را به صورت وامی با نرخ بهره ۲ درصد با دوره‌ی بازپرداخت ۱۰ ساله به مصرف کننده می‌پردازد، ارزش فعلی خالص طرح، مثبت می‌شود، یعنی اجرای سیستم فتوولتائیک با وجود حمایت‌های دولتی توجیه می‌شود.

نتایج محاسبات نشان می‌دهد که نرخ بازدهی داخلی این طرح بین ۱۷ و ۱۸ درصد می‌باشد. دوره‌ی بازگشت سرمایه برای پروژه‌ی سیستم فتوولتائیک تحت سناریوی دوم در پنج استان مورد بررسی بین ۲۰ و ۲۱ سال است.

تجزیه و تحلیل اقتصادی سیستم‌های فتوولتائیک برای پنج استان خراسان، سیستان و بلوچستان، کرمان، هرمزگان و یزد در این مطالعه نشان می‌دهد که نصب سیستم فتوولتائیک برای مصارف خانگی و تجاری در این استان‌ها با وجود پتانسیل فنی بالا، در شرایطی که حمایت‌ها و مشوق‌های دولتی وجود نداشته باشد، دارای توجیه اقتصادی نیست. به عبارت دیگر استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک به علت هزینه‌ی اولیه‌ی بالای آن بدون حمایت‌های دولتی امکان پذیر نمی‌باشد. در حقیقت هزینه‌های اقتصادی

Archive of SID
www.SID.ir

جاری برق حاصل شده در کشور ما توسط تکنولوژی‌های سوخت‌های فسیلی مرسوم (با قیمت‌های متداول حامل‌های انرژی) هنوز پایین‌تر از تکنولوژی‌های تجدید پذیر است.

فهرست منابع

خوش اخلاق، رحمان، شریفی، علیمراد و کوچک زاده، میثم (۱۳۸۴)، ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه با نیروگاه دیزلی. فصل‌نامه‌ی پژوهش‌های اقتصادی ایران، شماره‌ی ۲۴، ص ۱۹۲-۱۷۱.

راجر پرمن، یوما، جیمز مک گیل ری (۱۳۸۲)، اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی. ترجمه‌ی حمیدرضا ارباب نشر نی، ص ۷۵.

شعربافیان، نیلوفر(۱۳۸۷)، برآورد پتانسیل فنی و اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی در ایران: راهکاری برای توسعه پایدار انرژی خورشیدی. فصل نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی، سال چهارم، شماره‌ی ۱۵، ص ۵۳-۳۵.

علیزاده، امین و خلیلی، نجمه (۱۳۸۸)، تعیین ضرایب معادله‌ی آنگستروم و توسعه‌ی یک معادله‌ی رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی مشهد)، مجله‌ی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره‌ی ۱، ص ۲۳۸- ۲۲۹.

واقف پور، حسین و دهار، علی (۱۳۸۷)، کاربرد انرژی‌های نو در تهویه‌ی مطبوع و نقش آن در اصلاح الگوی مصرف، مجموعه‌ی مقالات اولین همایش از سلسله همایش‌های تخصصی چشم انداز (انرژی در ایران ۱۴۰۴)

وزارت نیرو (۱۳۸۸)، آمار تفصیلی صنعت برق ایران در سال ۱۳۸۷، معاونت منابع انسانی و تحقیقات شرکت مادر تخصصی توانیر، دفتر فن آوری اطلاعات و آمار.

Aguilar, F. &, Zhen Cai, Z. (2010) Exploratory Analysis of Prospects for Renewable Energy Private Investment in the U.S. Energy Economics. 32, 1245–1252.

Alsema E.A. (2000). Energy Payback Times and CO2 Emissions of PV Systems. Progress in Photovoltaics: Research and Applications (8), 17 – 25.

Bizzarri G and Morini G.L. (2007). A Life Cycle Analysis of Roof Integrated Photovoltaic System. Int J Environ Technol Manage;7(1–2), 134–46.

Archive of SID
www.SID.ir

Celik A.N. (2006). Present Status of Photovoltaic Energy in Turkey and Life Cycle Techno-Economic Analysis of a Grid-connected Photovoltaic-house, Renewable and Sustainable Energy Reviews 10 (2006), 370-387.

Clarkson R. and Deyes K. (2002). Estimating the Social Cost of Carbon Emissions, Government Economic Service Working Paper 140.

Deepak S. (2009). Integrated assessment of using photovoltaic technology in the United States electricity sector. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Natural Resources and Environment) in The University of Michigan.

Duke R, Williams R, Payne A.(2005) Accelerating Residential PV Expansion: Demand Analysis for Competitive Electricity Markets. Energy Policy;33(15), 1912–29.

Focacci A. (2009). Residential Plants Investment Appraisal Subsequent to the New Supporting Photovoltaic Economic Mechanism in Italy. Renewable and Sustainable Energy Reviews;13, 2710-15

International Energy Agency, Energy Prices & Taxes - Quarterly Statistics, First Quarter

Johnstone, C. & A. Madhlopa (2009) Model for computation of solar fraction in a single-slope solar still. Solar Energy, 83, (6), 873-882.

Mills A., Wiser R., Barbose G. and Golove W. (2008). The Impact of Retail Rate Structures on the Economics of Commercial Photovoltaic Systems in California. Energy Policy

;36(9), 3266–77.

Oliver M. and Jackson T.(2001). Energy and Economic Evaluation of Building-integrated Photovoltaics. Energy;26(4), 431–9.

Parker (2008). Residential Solar Photovoltaic Market Stimulation: Japanese and Australian lessons for Canada. Renew Sustain Energy Rev;12(7), 1944–58.

Pearce J. (2008). Industrial Symbiosis of Very Large-scale Photovoltaic Manufacturing. Renew Energy;33(5), 1101–8.

Rowlands I.H.(2005), Envisaging Feed-in Tariffs for Solar Photovoltaic Electricity: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 9(1), 51-68.

Seng L.Y., Lalchand G. and Lin G.M.S. (2008). Economical, Environmental and Technical. Analysis of Building Integrated Photovoltaic Systems in Malaysia. Energy Policy;36(6), 2130–42.

Archive of SID

www.SID.ir

Serrano M. L., Ruiz A., García G.A., Antón M. and Vaquero J.M. (2005). Solar Global Radiation and Sunshine Duration in Extremadura (Spain). Physica Scripta. 118, 24-28.

Talavera D.L., Nofuentes G., Aguilera J. and Fuentes M. (2007). Tables for the Estimation of the Internal Rate of Return of Photovoltaic Grid-connected Systems. Renew Sustain Energy Rev;11(3), 447–66.

Trnka M., Zalud Z., Eitzinger J. and Dubrovsky M. (2005). Global Solar Radiation in Central European Lowlands Estimated by Various Empirical Formulae. Agric. For. Meteorol. 131 (1–2), 54–76.

Udo S.O. (2001). Contribution to the Relationship between Solar Radiation and Sunshine Duration in the Tropics: A Case Study of Experimental Data at Ilorin, Nigeria, 26, 229–236.

Archive of SID

www.SID.ir