Archive of SID

بررسی اقتصادی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک

حسین فیاضی[۱]، مهدی موسوی بادجانی[۲]
شاهین‌شهر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
Hoseinfayaz57@yahoo.com

چکیده

۳/۵ cm

در سال‌های اخیر میزان نگرانی‌ها در دنیا در رابطه با مصرف بالای انرژی‌های تجدیدناپذیر، منابع رو به پایان این نوع از انرژی‌ها و میزان بالای آلودگی ناشی از سوخت های فسیلی افزایش یافته است. با توجه به وضعیت جغرافیایی و سایر مزیت‌های استراتژیک ایران دارای جایگاه مناسبی برای گسترش تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر دارد. هدف اصلی مقاله حاضر، ارزیابی اقتصادی استفاده از نیروگاه خورشیدی (فتوولتاییک) در مقایسه با سایرنیروگاه‌ها از جمله حرارتی است. در این مقاله با ارائه‌ی یک مدل ریاضی و بررسی عوامل موثر بر هزینه‌های سیستم فتوولتائیک به برآورد هزینه‌ی سیستم فتوولتائیک پرداخته شده است. در ارائه‌ی آمار و ارقام از ارزیابی نرخ قیمت جهانی در سال ۲۰۱۳ و آمار و اطلاعات شرکت توزیع استفاده شده است. با بررسی نمودارها و اطلاعات روز دنیا می‌توان به این نتیجه رسید که نیروگاه فتوولتائیک با وجود هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه، به دلیل عدم نیاز به هزینه‌های جاری مانند سوخت و.. در طول دوره‌ی استفاده، هزینه‌ی واحد کمتری نسبت به هزینه‌های مولد دیزلی و گسترش شبکه برق دارد. برآوردها نشان می‌دهد که با تولید انبوه، هزینه‌ی کلی سیستم، کاهش می‌یابد و در سال ۲۰۲۰، حتی برای مصارف کم، استفاده‌ی از انرژی خورشیدی مقرون به صرفه است. در این مقاله با بهره‌گیری از منابع علمی روز دنیا و شرکت‌های مطرح داخلی و خارجی و ارتباط مستقیم با شرکت‌های توزیع، آمارهای تحلیلی مناسبی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: طراحی مدل، سیستم‌های فتوولتائیک، سرمایه‌گذاری متغیر، برآورد هزینه، صرفه اقتصادی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد برق-قدرت
۲- استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

خورشید نه تنها خود منبع عظیم انرژی است، بلکه سرآغاز حیات و منشاء تمام انرژی‌های دیگر نیز هست. آنچه همگان را به استفاده از انرژی‌های نو ترغیب می‌کند، محدودیت ذخایر فسیلی و اثرات نامطلوب زیست محیطی پسماندهای آنها، نوسانات قیمت ها و بحران‌های انرژی است. وآنچه همگان را از جانشینی سریع انرژی های نو بازمی‌دارد، بازده پایین آنها در مقایسه با انرژی‌های فسیلی، بالا بودن هزینه استفاده و تبدیل، آزمایشی بودن بسیاری از طرحها و بی رغبتی دولت‌ها و صنایع به حمایت از آنهاست. هدف اساسی مقاله حاضر، ارزیابی اقتصادی استفاده از نیروگاه خورشیدی (فتوولتاییک) در مقایسه با سایر روش‌های مرسوم تولید الکتریسیته است.

خوشبختانه کشور ما بدلیل موقعیت ویژه جغرافیایی، توان بالایی در دریافت انرژی خورشیدی دارد، بطوریکه میانگین سالانه‌ی تابش خورشیدی در کشور ۵ کیلووات ساعت در روز برآورد شده که این رقم در مقایسه با دیگر کشورها، بسیار قابل ملاحظه است. با توجه به شرایط آب و هوایی گرم وخشک، در ایران و در شهرهایی مانند اهواز متوسط تابش سالیانه خورشید برابر ۵,۵ کیلووات ساعت بر متر مربع و متوسط ساعات آفتابی ۳۰۰۰ ساعت در سال است(معادل ۶۸,۵ درصد از روزهای سال) است.

مطالعات زیادی در زمینه‌ی انرژی خورشیدی در دنیا انجام شده است. بانک جهانی در بررسی‌های جداگانه‌ای به مطالعه‌ی ویژگی‌های فنی و اقتصادی انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی پرداخته است.

ابنزر و آبیکو [1] به بطراحی و آنالیز سیستم فتوولتائیک ۱ مگاوات، متصل به شبکه در غنا پرداختند. کومار [2] به کاربردهای سیستم فتوولتائیک در عمان و فرصت ها و چالش‌های فراروی آن پرداخته است، . و در آن بیان شده است که هزینه‌ی اولیه‌ی سیستم فتوولتائیک بالا بوده ولی میزان تابش، فاکتور مهمی در اندازه‌ی آرایه‌ی فتوولتائیک است. میشائیا دال [3] به تجزیه و تحلیل و مقایسه‌ی هزینه‌های فتوولتائیک، گرمای خورشیدی و تکنولوژی‌های تولید الکتریسیته پرداخته است. آندراژک [4] به مقوله‌ی بهبود اقتصادی فتوولتائیک خورشیدی و توان در کنیا پرداخته است و پیش بینی کرده است که با گذر زمان کشورهای مختلف مجبورند به سمت استفاده از انرژی های نو حرکت کنند. باکر و همکاران [5]، به جنبه های اقتصادی انرژی خورشیدی پرداختند و انرژی خورشیدی را جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی و سایر انرژی های آلاینده از جمله برق-آبی معرفی کردند. اوسترهوت و اولسان [6]، تولید برق با استفاده‌ی همزمان از انرژی سیستم فتوولتائیک خورشیدی و حرارتی را بررسی کردند. آنها با انجام تست‌های کالیبراسیون و زاویه‌ی پراکندگی سعی کردند بعضی عوامل موثر جهت افزایش بهره‌وری را بررسی کنند. کلثوم احمد[7]، هزینه های استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را مورد بررسی قرار داده است، که نتایج آن حاکی از آن است که هزینه‌های تکنولوژی فتوولتائیک رشد نزولی داشته و این روند ادامه خواهد یافت. لزورد[8] در مقاله‌ای با عنوان سیستم‌های فوتوولتائیک خورشیدی به بررسی جنبه‌های اقتصادی منابع پرداخته است و به این نتیجه رسیده است که گرچه هزینه اولیه نیروگاه فوتوولتائیک به مراتب بالاتر است اما پیش بینی می‌شود که با رشد فن‌آوری و تکنولوژی‌های مرتبط با انرژی خورشیدی، این هزینه در بلند مدت جنبه اقتصادی بهتری داشته باشد.

خوش اخلاق و همکاران[9]، ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه با نیروگاه دیزلی را بررسی کردند و با ارائه‌ی روابط مناسب، محاسبات را برای روستاهای کویر مرکزی انجام دادند. در نهایت آنها به این نتیجه رسیدند که نیروگاه فتوولتائیک با وجود هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه، به دلیل عدم نیاز به هزینه‌های جاری مانند سوخت و.. در طول دوره‌ی استفاده، هزینه‌ی واحد کمتری نسبت به هزینه‌های مولد دیزلی و گسترش شبکه برق دارد. شبابی و همکاران[10] ارزیابی فنی و اقتصادی نیروگاه‌های فوتوولتائیک در ایران با محاسبه‌ی میزان انرژی متوسط دریافتی پانل‌های فوتوولتائیک در مناطق آفتاب خیز کشور را انجام دادند، و در آن از روش هزینه معادل انرژی استفاده کردند. در این مقاله با بهره‌گیری از منابع علمی روز دنیا و شرکت‌های مطرح داخلی و خارجی و ارتباط مستقیم با شرکت‌های توزیع، آمارهای تحلیلی مناسبی ارائه شده است که می‌تواند با توجه به یارانه‌های دولتی برای انرژی‌های تجدیدپذیر، زمینه‌ای برای از بین بردن توهم گرانی انرژی‌های نو باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- اصول طراحی مدل

یکی از روش‌های ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های خورشیدی، روش تحلیل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر است. از روش هزینه‌ی و چرخه‌ی عمر معمولا در تعیین اقتصادی بودن طرح استفاده می‌شود که هزینه‌های آتی به ارزش حال تنزیل داده می‌شود. در مدل زیر که بر اساس روش تحلیل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر و با توجه به ویژگی‌های فنی سیستم فوتوولتائیک طراحی شده است، با احتساب عواملی چون نرخ تنزیل واقعی، طول عمر سیستم، میزان تابش در منطقه و هزینه واحد انرژی فوتوولتائیک محاسبه می‌شود[10]. این مدل را کلی و نوتون بکار گرفته‌اند. که در آن C_{pv}، هزینه تولید واحد توان خورشیدی بصورت زیر محاسبه می‌شود:

(۱)

$$C_{pv} = \frac{\{[CRF(i,n) + INS][1 + ID][MOD + BOS + PC.SP.\eta_{mod}.\eta_{bos}.nt] + OM\}}{\eta_{mod}.\eta_{bos}.INSOL.pc}$$

که در آن:

i، نرخ تنزیل واقعی(٪)

n، طول عمر سیستم فتوولتائیک (سال)

CRF، $CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$، ضریب بازگشت سرمایه

INS، هزینه ضمانت بیمه (دلار در سال)

ID، ضریب هزینه غیر مستقیم

MOD، هزینه سرمایه گذاری ماژول‌ها(دلار برای متر مربع)

BOS، هزینه سرمایه گذاری تجهیزات جانبی سیستم فتوولتائیک مرتبط با منطقه (دلار برای متر مربع)

PC، هزینه سرمایه گذاری تجهیزات جانبی سیستم فتوولتائیک مرتبط با توان (دلار برای متر مربع)

OM، هزینه تعمیر و نگهداری سالانه (دلار برای متر مربع در سال)

SP، حداکثر تابش خورشیدی(کیلووات به مترمربع)

INSOL، تایش سالانه انرژی خورشیدی بر روی پانل‌های مسطح و ثابت(کیلووات به متر مربع در سال)

η_{mod}، بازدهی ماژول فوتوولتائیک(٪)

η_{bos}، بازدهی تجهیزات جانبی (٪)

nt، ضریب تصحیح دمای سلول خورشیدی(%)

pc، بازدهی وضعیت توان(٪) است.

در ادامه برای تخمین هزینه‌ها از همین مدل استفاده شده است.

۳- عوامل موثر بر هزینه تولید برق با سیستم‌های فوتوولتائیک

بطور کلی هزینه تولید برق با سیستم‌های فوتوولتائیک به چند عامل مهم بستگی دارد:

الف) میزان تابش خورشید در منطقه

این عامل مشخص می‌کند که تا چه میزان امکان تولید برق خورشیدی وجود دارد، که از این جهت قابل مقایسه با مقدار سوخت مورد نیاز برای نیروگاه‌های دیزلی است.

ب) بازدهی ماژول

www.SID.ir

Archive of SID

پژوهش‌های بانک جهانی حاکی از آن است که کارایی سیستم‌های فتوولتائیک و به ویژه ماژول‌های خورشیدی طی دهه‌های اخیر افزایش یافته و بیشتر این سیستم‌ها دارای کارایی برابر ۷۰ تا ۸۰ درصد است که نقش مهمی در کاهش هزینه‌ی برق خورشیدی دارد.

پ) هزینه ماژول

این فاکتور بستگی مستقیم به مواد سازنده‌ی آن، روش ساخت و اندازه‌ی آن دارد.

ت) هزینه سیستم، این مورد شامل تجهیزات جانبی سیستم فتوولتائیک از قبیل پایه نگهدارنده، مبدل انرژی DC به AC، ابزار کنترل و.. است. هزینه این سیستم بطور میانگین ۴۰ تا ۶۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری سیستم را در برمی‌گیرد.

ج) طول عمر سیستم

طبق آخرین برآورد سازمان انرژی آمریکا طول عمر سیستم فتوولتائیک طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ حدود ۳۰ سال در نظر گرفته می‌شود. اکثر مراجع طول عمر سیستم را ۳۰ سال تخمین زده‌اند.

ج) نرخ بهره

بدلیل اینکه هزینه سرمایه‌گذاری‌های سیستم های فتوولتائیک گران است، بنابراین عامل نرخ بهره نقش مهمی را در توجیه اقتصادی پروژه‌ها ایفا می‌کند.

در بررسی پارمترهای بالا، کشور ما بدلیل دارا بودن از ساعات آفتابی مناسب دارای شرایط مناسبی می‌باشد. با رشد فن‌آوری‌های مرتبط با سلول خورشیدی و مواد اولیه‌ی ساخت سلول و استفاده از نانوسلول‌ها و چند لایه کردن، کم کم سلول‌های خورشیدی ساخته شده است که دارای بازدهی ۴۰ درصد می‌باشند، ادامه‌ی این روند باعث افزایش بازدهی و کاهش هزینه‌ی سلول خواهد شد. طبیعتا هرچه مواد با استحکام و بازدهی بهتر ساخته شوند، طول عمر سیستم افزایش می‌یابد و قیمت تمام شده برای ۱ وات تولیدی پایین تر خواهد آمد، که با کاهش این هزینه نرخ بهره نیز وضعیت مطلوب‌تری خواهد داشت.

۴- برآورد مصرف و هزینه

برای برآورد هزینه‌های سیستم فتوولتائیک خورشیدی باید هزینه‌ی قسمت‌های مختلفی مانند هزینه‌ی ماژول‌ها، کابل‌ها، مدیریت پروژه و مهندسی، اینورتر، نگهداری، نیروی انسانی و سایر هزینه‌های جانبی درنظر گرفته شود. در اینجا ما از نتایج مطالعات و سیاست گذاری تکنولوژی در آفریقا و مطالعات انجام شده در غنا(۲۰۱۳) استفاده کردیم که بر اساس آن جدول زیر تنظیم شده است.

جدول ۱، هزینه سیستم خورشیدی PV

هزینه (وات/ دلار)	اجزاء
۳,۱۰	ماژول
۰,۱۵	کابل‌ها
۰,۱۰	مدیریت پروژه و مهندسی
۰,۷۲	اینورتر
۰,۲۵	نگهداری
۰,۲۵	نیروی انسانی
۰,۴۳	متفرقه
۵,۰۰	مجموع

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه خریداری، نصب و بهره‌برداری از سیستم فتوولتائیک شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری (اولیه) و هزینه‌های عملیاتی است بر اساس برآورد[1]، هزینه سیستم فتوولتائیک.۵ دلار بر وات قله است.
همچنین طبق تحقیقات بعمل آمده از شرکت‌های سازنده و فروشنده در ایران هزینه‌ی پانل‌های فتوولتائیک ۴۵ واتی (کد CS45) تولید شده معادل دو ملیون و شیشصد و ده هزار ریال است. علاوه بر پانل تجهیزات دیگری نیز در سیستم فتوولتائیک بکار می‌روند که طبق برآورد کارشناسان ۵۳ تا ۷۰ درصد کل سیستم فتوولتائیک است که برآورد ۵۳ مربوط به منابع خارجی و ۷۰ درصد از منابع ایرانی سازنده پانل ها است. رقم ۷۰ درصد در ایران از اعتبار بیشتری برخوردار است[2,9].
بنابراین کل هزینه سیستم فتوولتائیک در حدود ۴۴۳۷۰۰۰ ریال محاسبه می‌شود که قیمت کل سیستم فتوولتائیک به ازای هر وات قله (با احتساب دلار مرجع) ۱۲۰۰۰۰ ریال معادل ۵ دلار است [12,13].
همانگونه که اشاره گردید، بالا بودن هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه در سیستم‌های برق خورشیدی(فتوولتائیک) مهمترین مسئله بر سرراه توسعه و ترویج این سیستم‌ها می‌باشد. حمایت‌های دولتی و سیاست‌های تشویقی، توجه به امر تحقیق و توسعه زیرساختارها، از جمله فعالیت هایی که در کشورهای پیشرو در این صنعت به رشد، توسعه و ترویج بازار آن کمک های فراوانی نموده است.

سرمایه گذاری در سیستم های برق خورشیدی در دو بخش سرمایه گذاری ثابت یا اولیه و متغیر به شرح جدول نشان داده شده است.

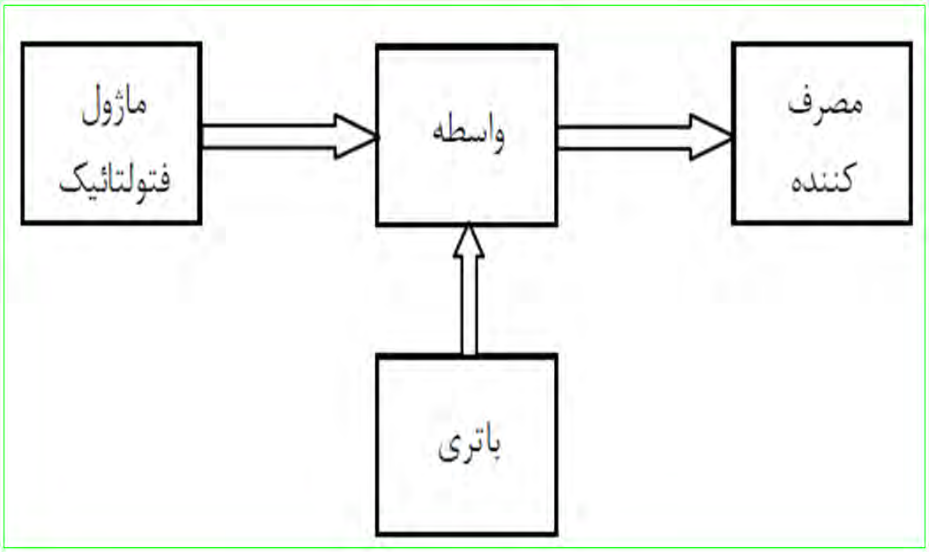
جدول ۲، سرمایه گذاری ثابت یا اولیه و متغیر در سیستم های برق خورشیدی

سرمایه گذاری اولیه	هزینه‌های متغیر
پنل فتوولتائیک	**۱- تعویض باتری**
باتری	براساس طول عمر باتری درطراحی انتخاب می‌شود. مثلابرای سیستم ۷ ساله،باتری ۲ بارتعویض می‌شود.
شارژکنترل واینورتر	**۲- تعویض اینورتر**
ساختار برای نصب پانل‌ها	هزینه یک بار تعویض شارژکنترل و اینورترلحاظ شود.
هزینه نصب و راه‌اندازی	**۳- هزینه تعمیرونگهداری سالانه**
	معادل ۱٪ هزینه تجهیزات

بنابراین مجموع هزینه های سیستم فتوولتائیک بر اساس روش ارزش حال بشرح زیر می باشد:
هزینه‌های سیستم فتوولتائیک شامل دو قسمت هزینه های متغیر + سرمایه گذاری اولیه است. سرمایه‌گذاری اولیه هزینه‌های بیشتری به ما تحمیل می‌کند ولی به مرور زمان و در بلند مدت این سرمایه‌گذاری جبران خواهد شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱، مدل کلی یک سیستم فتوولتائیک

باتری استفاده شده در مدل، برای ذخیره انرژی مازاد جهت استفاده در روزهای بحرانی مثل سه روز ابری پیش بینی شده است.

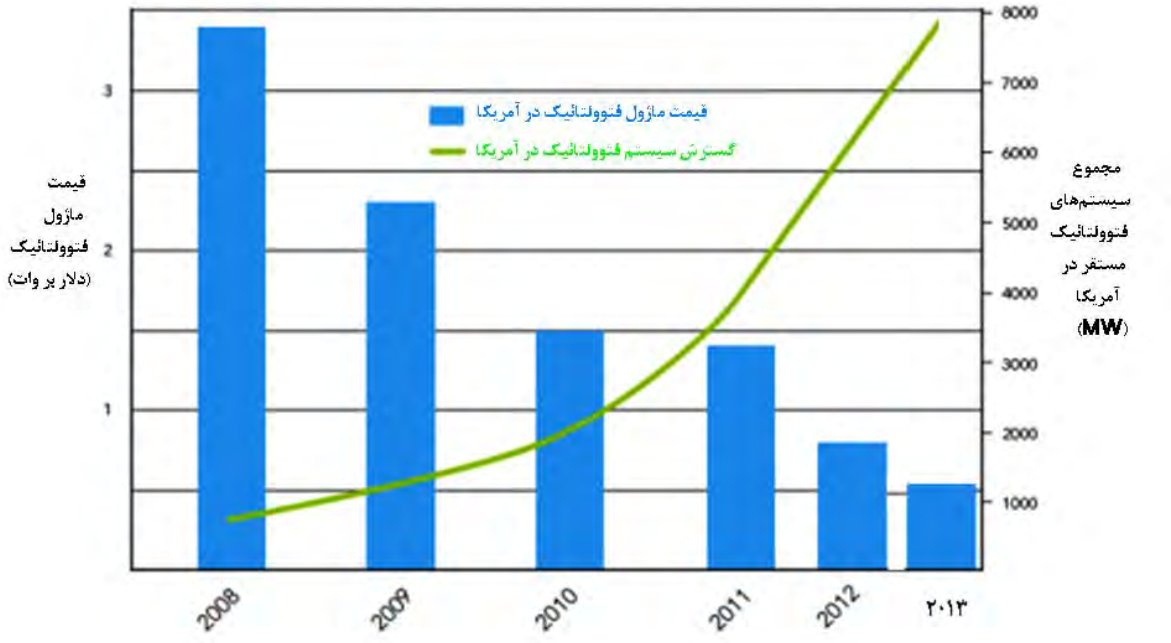
جدول۳، بررسی مقرون بصرفه بودن هزینه سیستم فتوولتائیک

سناریوی هزینهPV	نوع مصرف‌کننده	۲۰۱۴	۲۰۱۷	۲۰۲۰
سیستم خورشیدی خیلی گران	مسکونی با مصرف کمتر از ۵۰۰ کیلو وات ساعت در سال	مقرون به صرفه نیست	مقرون به صرفه نیست	مقرون به صرفه نیست
	مسکونی با مصرف بیشتر از ۵۰۰ کیلو وات ساعت در سال	مقرون به صرفه	مقرون به صرفه	مقرون به صرفه
سیستم خورشیدی ارزانتر	مسکونی با مصرف کمتر از ۵۰۰ کیلو وات ساعت در سال	بعضی وقتها بصورت حاشیه‌ای	بعضی وقتها بصورت حاشیه‌ای	مقرون به صرفه
	مسکونی با مصرف بیشتر از ۵۰۰ کیلو وات ساعت در سال	مقرون به صرفه	مقرون به صرفه	مقرون به صرفه

روند نزولی کاهش هزینه تمام برق خورشیدی حاصل از سیستمهای فتوولتائک و همچنین پیش بینی برابری آن با قیمت های پیک شبکه در سا لهای آتی در شکل روبرو ارائه شده است. طبق برآورد PUGeneration (2008) هزینه هر یک کیلووات ساعت انرژی الکتریکی حاصل از سیستم فتوولتائک در سال 2020 الی 2025 این میزان با هزینه‌ی تولید در شرایط عادی برابر خواهد شد .در این راه، کاهش قیمت پنل و افزایش راندمان پنل ها از ابزار دستیابی به قیمت های مذکور می باشد.
باتوجه به کیفیت و راندمان و قابلیت کاربرد سیستم های از نوع سیلیکونی حجم تولیدات و کاربرد آن در جهان در رتبه نخست در میان انواع تکنولوژی های تولید بر خوردار می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲ ، روند نزول قیمت ماژول‌های فتوولتائیک بر حسب $/W (آبی رنگ) و گسترش استفاده از روش فتوولتائیک در آمریکا از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ و تخمین ۲۰۱۳(در حال حاضرآماررسمی آن منتشر نشده است)

۵- مقایسه هزینه برق خورشیدی و برق حرارتی

نمودار شکل(۳) که برگرفته از آمار رسمی شرکت توانیر است[14]، نشان می‌دهد ظرفیت عملی نیروگاه‌های کشور در روز پیک سال جاری، تنها ۵۴۸۷۹ مگاوات بوده است؛ یعنی ۲۱ درصد کمتر از ظرفیت نامی که برای نصب آن، هزینه صرف شده و این هزینه هنگام مقایسه با برق خورشیدی ملاک عمل قرار نمی‌گیرد.

شکل ۳، ظرفیت نامی نیروگاه‌های کشور برای تامین نیاز واقعی در محل مصرف در روز پیک سال ۱۳۹۲

نتیجه بررسی‌ها حاکی از آن است که برای مقایسه هزینه برق خورشیدی با برق حرارتی، در خوشبینانه‌ترین حالت باید ضریب ۱/۶ را برای هزینه سرمایه‌گذاری اولیه (و دلایلی مانند کمبود آب سدها، بروز نقص فنی در عملکرد نیروگاه‌ها و ضریب آمادگی

www.SID.ir

Archive of SID

پایین) لحاظ کنیم. بنابراین اگر می‌خواهیم هزینه نصب و راه‌اندازی ۱۰۰۰ مگاوات سلول خورشیدی در محل مصرف را با گزینه‌های فعلی تامین برق مقایسه کنیم، باید آن را در مقابل هزینه دست‌ِکم ۱۶۰۰ مگاوات نیروگاه حرارتی و شبکه مورد نیاز آن، در نظر بگیریم.

اما این تمام ماجرا نیست، همه‌ی ۵۴۸۷۹ مگاوات ظرفیت عملی نیز نمی‌تواند به دلایلی مانند کمبود آب سدها، بروز نقص فنی در عملکرد نیروگاه‌ها و ضریب آمادگی پایین، مورد استفاده قرار گیرد و بر اساس آمار توانیر بیشینه تولید همزمان شبکه نیروگاه‌های کشور، در زمان پیک تنها ۴۵۵۱۶ هزار مگاوات بوده است. مقایسه هزینه‌های پاسخگویی به ۱۰۰۰ مگاوات بار پیک روز در محل مصرف، با دو گزینه «نصب ۱۰۰۰ مگاوات سلول خورشیدی در محل مصرف» و «نصب ۱۶۰۰ مگاوات ظرفیت سیکل ترکیبی متمرکز» در جدول ۴ آمده است. قیمت هر کیلووات مولد خورشیدی به همراه هزینه‌های نصب و سایر تجهیزات مورد نیاز، ۶ میلیون تومان(بادرنظر گرفتن یارانه‌ها و بافرض تولید انبوه) در نظر گرفته شده است. با این رقم، کل هزینه نصب هزار مگاوات پنل خورشیدی، ۶ هزار میلیارد تومانب خواهد شد. لازم به یادآوری است که سلول‌های خورشیدی هزینه نگهداری تعمیرات ندارند و به علاوه برای انرژی خورشید، بهایی نیز نمی‌پردازیم. همان‌گونه که از جدول یک برمی‌آید، گزینه دیگر احداث نیروگاه سیکل ترکیبی به ظرفیت ۱۶۰۰ مگاوات به همراه شبکه انتقال و توزیع است. هزینه نصب چنین نیروگاهی به همراه شبکه مورد نیازش بیش از ۵۶۰ میلیارد تومان خواهد شد (هزینه نصب هر هزار مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی، ۲ هزار میلیارد تومان و شبکه برق آن ۱۵۰۰ میلیارد تومان لحاظ شده است) و اما هزینه سوخت، هر لیتر نفت‌ِگاز سوزانده شده در نیروگاه سیکل ترکیبی با راندمان ۴۵ درصد، می‌تواند ۴/۶۸ کیلووات ساعت برق تولید کند.

اگر نیروگاه حرارتی (گزینه دوم) بخواهد به اندازه سلول‌های خورشیدی (گزینه اول) برق تولید کند، یعنی حدود ۲/۳ تراوات ساعت در سال (با احتساب تلفات ۱۵ درصدی شبکه)، باید سالانه ۵۰۰ هزار لیتر نفت‌ِگاز مصرف شود که با در نظر گرفتن نرخ مرجع ۲۵۰۰ تومانی دلار و قیمت ۷۰ سنتی برای هر لیتر نفت‌ِگاز به قیمت فوب خلیج فارس، هزینه سوخت نیروگاه ۸۵۰ میلیارد تومان خواهد شد.

در مجموع هزینه احداث ۱۶۰۰ مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی و شبکه مورد نیاز و با در نظر گرفتن سالانه ۸۵۰ میلیارد تومان هزینه سوخت و بدون احتساب هزینه راهبری، بالغ بر ۶۴۵۰ میلیارد تومان خواهد شد. مقایسه دو عدد ۶۰۰۰ و ۶۴۵۰ میلیارد تومانی، حاکی از آن است که از نظر اقتصاد ملی، مولد خورشیدی در همان سال نخست، ارزان‌تر از نیروگاه حرارتی متمرکز است.

جدول۴، مقایسه هزینه‌های تولید برق خورشیدی و برق حرارتی (بر حسب میلیارد تومان)

سال	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم
عنوان								
هزینه‌های نصب	۶۰۰۰۰	–	–	–	–	–	–	–
نگهداری و تعمیرات	–	–	–	–	–	–	–	–
هزینه سوخت	–	–	–	–	–	–	–	–
جمع هزینه طول عمر مولد خورشیدی	۶۰۰۰							
هزینه‌های نصب(نیروگاه و شبکه)	۵۶۰۰	–	–	–	–	–	–	–
هزینه سوخت نفت گاز(با بازدهی ۴۵ ٪و تلفات انتقال و توزیع ۱۵٪)	۸۵۰	۸۵۰	۸۵۰	۸۵۰	۸۵۰	۸۵۰	۸۵۰	۸۵۰
جمع هزینه طول عمر نیروگاه حرارتی	۶۴۵۰	۷۳۰۰	۸۱۵۰	۹۰۰۰	۹۸۵۰	۱۰۷۰۰	۱۱۵۵۰	۱۲۴۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین برای احداث ۱۶۰۰ مگاوات نیروگاه حرارتی و شبکه‌ی مورد نیاز، دارای هزینه‌ی ۳۲۰۰ میلیارد تومان سرمایه‌گذاری نیروگاه، ۲۴۰۰ میلیارد تومان سرمایه گذاری شبکه مورد نیاز و ۸۵۰ میلیارد تومان هزینه‌ی سالیانه‌ی سوخت است، که مجموع آن ۶۴۵۰ میلیارد تومان است. در گزینه‌ی دوم یعنی نصب هزار مگاوات مولد خورشیدی پراکنده، هزینه‌ی سرمایه‌گذاری نصب (بدون ذخیره ساز) ۶۰۰۰ میلیارد تومان است و هزینه‌ی سرمایه گذاری شبکه و سالیانه‌ی سوخت وجود ندارد. با عدم احتساب هزینه‌ی راهبردی نیروگاه‌های حرارتی، استفاده از گزینه‌ی نیروگاه حرارتی برای پاسخگویی به هزار مگاوات نیاز مصرف، در همان سال نخست، هزینه‌ای بیشتر از مولد خورشیدی دارد و استفاده از سیستم فتوولتائیک باعث کاهش سالیانه ۵۰۰ میلیون لیتر مصرف نفتگاز، کاهش گازهای گلخانه ای و کاهش صورتحساب برق مشترکان خانگی می‌شود.

بر اساس برنامه آژانس بین المللی انرژی(IEA[1]) تا سال ۲۰۵۰ میلادی در ازای تولید حدود ۴۵۰۰ ترا وات ساعت برق فتوولتائیک سالیانه در حدود ۲,۳ گیگا تن از میزان انتشار دی اکسید کربن کاسته می شود. بر اساس پیش بینی ها تا سال ۲۰۵۰ سیستم فتوولتائیک در حدود ۱۱٪ برق جهانی را تامین می کند و این سیستم مانع انتشار ۲,۳ گیگا تن دی اکسید کربن می شود.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله با بررسی منابع مختلف خارجی و داخلی و ارتباط با شرکت‌های سازنده‌ی تجهیزات در داخل و خارج از کشور، سعی شده است که اعداد بدست آمده به واقعیت نزدیک باشد، گرچه نوسان بازار و نرخ تورم ممکن است مقداری خطا در داده‌ها وارد کند. با توجه به مباحث بالا و مطالعات انجام شده، نتایج زیر قابل استخراج است (جنبه‌های پیشنهادی نیز به آنها اضافه شده است):

با بررسی‌های انجام شده در بخش‌های ۴ و ۵، با عدم احتساب هزینه‌ی راهبردی نیروگاه‌های حرارتی، استفاده از گزینه‌ی نیروگاه حرارتی برای پاسخگویی به هزار مگاوات نیاز مصرف، در همان سال نخست، هزینه‌ای بیشتر از مولد خورشیدی دارد و استفاده از سیستم فتوولتائیک باعث کاهش سالیانه ۵۰۰ میلیون لیتر مصرف نفت گاز، کاهش گازهای گلخانه‌ای و کاهش صورتحساب برق مشترکان خانگی می‌شود، لازم بذکر است یارانه‌های دولتی برای انرژی‌های تجدید پذیر می‌تواند نقش مشوق را داشته باشد. درخصوص هزینه های تولیدبرق وسرمایه گذاری اولیه مولدهای انرژی خورشیدی وبرگشت سرمایه می‌توان براساس موقعیت محل وتجهیزات بکاررفته میزان هزینه های اولیه راکاهش داد؛ مثلا طول عمرمدولهای فتوولتائیک تولید داخل۱۵سال تعیین شده است درحالی که طول عمر مدولهای مزبورساخت خارج ۳۰سال تعیین شده است، بااعمال طول عمر۳۰سال برای سیستمهای مزبور هزینه تولید برق با نرخ تنزیل ۱۸ درصد از ۸۰ به ۷۴ دلار به ازای هرکیلووات ساعت کاهش می یابد.

همانطور که در جداول ۱و ۲ ذکر شد، سهم هزینه های مرتبط تجهیزات جانبی اعم ازباتریهای ذخیره،پایه های نگهدارنده، مبدل انرژی،کابل رابط وغیره حدود۴۰ تا۶۰درصدکل هزینه های سیستم فتوولتائیک رابه خود اختصاص می دهند؛اگرسیستم خورشیدی به شبکه توزیع برق متصل شود هزینه های مزبورنیزحذف گردیده وتوجیه اقتصادی استفاده ازاینگونه سیستمها رابیشتر نمایان می شود.

بااستفاده ازاین انرژی‌های تجدیدپذیر درمسیرکاهش آلودگی محیط زیست وگازهای مخرب گلخانه ای می توان درنقاط مختلف کشوربطورمتوسط ۶۰۰ الی۱۰۰۰ وات ساعت برمترمربع ازانرژی تابشی بهره مند شد؛ البته دولت جمهوری اسلامی ایران دراین زمینه گام های موثری برداشته ولی لازم است برای احراز رتبه درجهان درخصوص استفاده ازاینگونه انرژی ها, عملیات طراحی واجرای اینگونه پروژه ها با سرعت بیشتری دنبال گردد .

[1] International Energy Agency

www.SID.ir

Archive of SID

در نهایت لازم بذکر است که دیدگاه عمومی در مورد هزینه‌ی نیروگاه خورشیدی بگونه‌ای است که هزینه‌ی اولیه‌ی طرح باعث ایجاد یک توهم گرانی در انظار عمومی شده است، غافل از اینکه در بلند مدت این هزینه‌ی اولیه جبران شده و همچنین محیط زیست سالم‌تر و کاهش مصرف منابع ضروری از جمله آب و منابع فسیلی را به‌همراه دارد، هزینه‌های زیست مجیطی و آلودگی‌های بوجود آمده در اثر این قضایا، همه ساله هزینه‌های هنگفتی به کشور تحمیل می‌کند و تقویت یارانه‌ها به منابع انرژی تجدیدپذیر، هزینه‌ی این سیستم‌ها را کاهش می‌دهد.

مراجع

[1] Ebenezer Nyarko Kumi, Abeeku Brew-Hammond, “Design and Analysis of a 1MW Grid-Connected Solar PV System in Ghana” ATPS Working Paper No. 78, **2013**.

[2] Sujit Kumar Jha, “ Application of Solar Photovoltaic System in Oman – Overview of Technology, Opportunities and Challenges” INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY, Vol.3, No.2, **2013**.

[3] Michael Dale,” A Comparative Analysis of Energy Costs of Photovoltaic, Solar Thermal, and Wind Electricity Generation Technologies”, Global Climate & Energy Project, March **2013**.

[4] Janosch Ondraczek,” ARE WE THERE YET? IMPROVING SOLAR PV ECONOMICS AND POWER PLANNING IN DEVELOPING COUNTRIES: THE CASE OF KENYA”, Working Paper FNU-200, *April 18, **2013***.

[5] Erin Baker, Meredith Fowlie, Derek Lemoine, and Stanley S. Reynolds,” The Economics of Solar Electricity”, Energy Institute at Haas,**2013**.

[6] Mr. John Nill Ousterhout, Dr. Darren Olson,” Simultaneous Capture of Solar Photovoltaic and Solar Thermal Energy” V O LUME 2 9 , N U M B E R 2, June **2013**

[7] Kulsum Ahmad. Renewable Energy Thechnologies. World Bank Technical Paper. No. 240.PP.201-234,1994.

[8] Lesourd, Jean-Baptiste.Solar Photovoltaic Systems: the Economics of a Renewable Energy Resource. Environmental Modeling & Software, No.16.PP.147-156,2001.

[10] خوش اخلاق، رحمان، شریفی ، علیمراد، کوچک زاده، میثم" ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه از نیروگاه دیزلی، فصلنامه‌ی پژوهش‌های اقتصادی، سال هفتم، صفحات ۱۷۱-۱۹۲.

[11] شبابی، شیوا و سلطانی حسینی، مسعود. ارزیابی فنی واقتصادی نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک در ایران، نشریه علمی پژوهشی برق، شماره ۲۲، ص ۳۵- ۴۳.

[12] سایت‌های مربوط به شرکت‌های سازنده‌ی پنل خورشیدی شامل شرکت‌های: LG، E-SUN، Canadiansolar، SUNTECH، کابل‌های شهید قندی، آفتاب شرق

[13] سایت‌های مربوط به شرکت‌های سازنده‌ی اینورتر و سایر تجهیزات جانبی شامل شرکت‌های: Growatt، CarSpa، SMA.

[14] وزارت نیرو(۱۳۹۲،۱۳۹۱،۱۳۹۰) ، تحلیل و انتشار آمار

www.SID.ir