اولین همایش ملی فرصت‌ها و محدودیت‌های سرمایه‌گذاری در آستارا
۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۶
The 1st National Conference on Investment Opportunities & Limitations in Astara
15-16 Feb 2018

بررسی اقتصادی سلول های فتوولتائیک برای ذخیره سازی انرژی خورشید و تبدیل آن به انرژی الکتریکی در سایت آستارا به کمک نرم افزار Homer

بهبود معاشکار[۱]، امین زارعی[۲]، مقداد ضاربیان[۳]

[۱] دانشگاه واحد علوم و تحقیقات، Behbood.ma@gmail.com
[۲] دانشگاه آزاد اسلامی واحد آذرشهر، Aminzarei68@yahoo.com
[۳] دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل ، Meghdadzarebian@gmail.com

چکیده

انرژی خورشیدی یکی از مهمترین انرژی های تجدید پذیر است زیرا اکثر مناطق به ویژه مناطق کویری از توانایی قابل توجهی در استفاده از انرژی خورشیدی برخوردارند . در این پروژه به ارزیابی اقتصادی استفاده از نیروگاه های خورشیدی (فتوولتائیک) در مقایسه با نیروگاه دیزلی و اتصال به شبکه سراسری برق به منظور تامین برق است . در این باره با توجه به اطلاعات در دسترس و با استفاده از تحلیل هزینه چرخه عمر هزینه تولید برق به روش های مختلف محاسبه می گردد . نتایج به دست آمده از ارزیابی اقتصادی در سناریوهای مختلف نشان می دهد که هزینه واحد انرژی سیستم فتوولتائیک از هزینه واحد انرژی در گزینه های دیگر کمتر است .

واژه‌های کلیدی

سیستم فتوولتائیک ، پنل خورشیدی ، محاسبه فنی ، محاسبه اقتصادی ، CRF ، نرم افزار Homer

۱- مقدمه

بانک جهانی در بررسی های جداگانه ای به مطالعه ویژگی های فنی و اقتصادی انرژی های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی پرداخته است . به عنوان مثال در مطالعه ای با عنوان "انرژی خورشیدی" که لیبنتال و همکاران انجام داده اند ، برق رسانی به مناطق روستایی جزایر اقیانوسیه ، به وسیله نیروگاه دیزلی و نیروگاه فتوولتائیک مورد ارزیابی اقتصادی قرار گرفته است . در این پژوهش که از روش تحلیل هزینه های چرخه عمر استفاده شده است ، برق رسانی به مناطق روستایی به وسیله گزینه های مورد نظر مقایسه شده و هزینه نهایی تولید انرژی به وسیله نیروگاه های دیزلی و فتوولتائیک محاسبه شده است . طبق نتایج در این پژوهش که با توجه به تجربه کشورهای جزایر اقیانوسیه به دست آمده است ، برای برق رسانی به مناطق روستایی با ظرفیت بار پایین (عمدتا برای روشنایی منازل) ، تولید برق با نیروگاه فتوولتائیک ارزان تر از نیروگاه دیزلی خواهد بود .

۲ - مبانی تحقیق موضوع

یکی از روش های ارزیابی اقتصادی نیروگاه های خورشیدی ، روش تحلیل هزینه چرخه عمر است . روش هزینه چرخه عمر معمولا در تعیین اقتصادی بودن طرح استفاده می شود که هزینه های آتی به ارزش حال تنزیل داده می شود . در مدل زیر که بر اساس روش تحلیل هزینه چرخه عمر و با توجه به ویژگی های فنی سیستم فتوولتائیک طراحی شده است با احتساب عواملی چون نرخ تنزیل واقعی ، طول عمر سیستم ، میزان تابش در منطقه و ... هزینه واحد انرژی سیستم فتوولتائیک محاسبه می شود . این مدل را کلی و نوتون۱ و همکاران به کار گرفته اند .

$$cPV=\frac{\{[CRF(i,n)+INS][1+ID][MOD+BOS+PC.SP\ nmod.nbos.nt]+OM\}}{n\ mod.nbos.INSOL.PC} \quad (1)$$

که در آن:
j، نرخ تنزیل واقعی(%)
n ، طول عمر سیستم فتوولتائیک (سال)

Archive of SID
www.SID.ir

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

INS، هزینه بیمه (دلار در سال)

ID، ضریب هزینه غیرمستقیم

MOD، هزینه سرمایه گذاری مدول ها (دلار به متر مربع)

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

PC، هزینه سرمایه گذاری تجهیزات سیستم فتوولتائیک مرتبط با منطقه (دلار به کیلو وات)

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

SP، حداکثر تابش خورشیدی (کیلو وات به متر مربع)

INSOL، تابش سالانه انرژی خورشیدی بر روی پنل های مسطح و ثابت (کیلو وات به متر مربع در سال)

Nmod، کارآیی مدول فتوولتائیک (%)

nbos، کارآیی تجهیزات جانبی (%)

nt، ضریب تصحیح دمای سلول خورشیدی (%)

Pc، کارآیی وضعیت توان (%)

Cpv، هزینه واحد تولید برق خورشیدی (دلار به کیلو وات)

آنچه که در نماد های بالا قابل ذکر است ؛ این است که ، n درکارآیی مدول فتوولتائیک ، کارآیی تجهیزات جانبی ، و ضریب تصحیح دمای سلول خورشیدی را نباید با n طول عمر سیستم فتوولتائیک اشتباه کرد.

برای برآورد میانگین مصرف برق در روستاهای زیر بیست خانوار واقع در کویری ، میزان مصرف با توجه به شرایط مناطق کویری (استفاده از تجهیزات سرمایشی مانند یخچال ، کولر و پنکه) و استفاده از روشنایی (لامپ های کم مصرف ۲۰ وات) ، رادیو و تلویزیون محاسبه می شود . در مورد روشنایی اماکن عمومی (مانند ، مدرسه و حمام) و روشنایی معابر با توجه به این که با افزایش خانوارها برای اماکن عمومی روشنایی در نظر گرفته می شود . نکته دیگر این است که به منظور حداقل کردن کاهش تلفات توزیع ، برق خانوارها و اماکن عمومی در همان محل و با صفحات فتوسل (پنل خورشیدی) تأمین می شود . به منظور برآورد مصرف برق روستا ، برق مورد نیاز روزانه هر خانوار در جدول (۱) محاسبه شده است . در این مقاله ، برای جبران اتلاف انرژی در پنل و کابل های رابط ، ۱۰ درصد میزان مصرف ، به مصرف کل هر خانوار اضافه می شود . نتیجه ، انرژی مورد نیاز برای تأمین برق روزانه یک خانوار ، ۲/۴ کیلو وات ساعت در روز است . همچنین ، میزان انرژی مورد نیاز برای هر واحد روشنایی معابر و اماکن عمومی در روستا با احتساب استفاده از لامپ در شب برابر با ۲۰۰ است که به ازای هر خانوار ، میزان آن ۱۰۰ خواهد بود . بنابراین انرژی مورد نیاز هر خانوار با احتساب روشنایی اماکن عمومی برابر با ۲/۵ کیلو وات ساعت در روز است.

اطلاعات آماری در مورد میزان و نوع مصرف خانوارهای روستاهای جزایر اقیانوسیه که لیبنتال و همکاران (Liebenthal et., 1994) انجام داده اند.

نوع مصرف	توان مصرفی(W)	مدت زمان (h/d)	انرژی((wh/d
روشنایی اتاق نشیمن	۴۰+۲۰	۵	۳۰۰
روشنایی آشپزخانه	۲۰	۳	۶۰
روشنایی حیاط	۲۰	۳	۶۰
روشنایی سرویس بهداشتی	۶۰	۲	۱۲۰
تلویزیون	۲۵	۴×۰/۵	۵۰
پنکه	۳۵	۶×۰/۵	۱۰۵
کولر	۲۰۰	۶×۰/۵	۶۰۰
یخچال	۱۰۰	۸	۸۰۰
رادیو ضبط	۱۵	۶	۹۰
مصرف کل هر خانوار	۷	۴	۲۱۸۵ Wh/day

جدول-۱. برآورد مصرف روزانه برق یک خانوار روستایی

۳ - محاسبه فنی سیستم فتوولتائیک

در حدود نیمی از روستاهای زیر بیست خانوار بدون برق در مناطق کویری و خشک با حداقل kWh/M2.d ۵/۳ تابش بر سطوح شیبدار (با زاویه ای برابر عرض جغرافیایی محل) قرار دارند . براساس اطلاعات شرکت سازندۀ مدول های فتوولتائیک) و با توجه به انرژی مورد نیاز هر خانوار و مقدار ساعات خورشیدی قله (PSH) و همچنین ، تلفات تجهیزات جانبی سیستم فتوولتائیک (۱۰ درصد) ، دستگاه اینورتر یا وارونگر (۱۰درصد) ، سیستم ذخیره کننده (۱۰ درصد) ، ضریب همزمانی برای انواع مصارف ۰/۰۶ درصد) و توان نامی پنل ها (۴۵ وات قله) می توان تعداد مدول های فتوولتائیک (پنل) مورد نیاز هر خانوار را محاسبه کرد . همچنین برای ذخیره نمودن انرژی تولید شده با پنل ها و مصرف آن در شب یا روزهای ابری از باتری های سرب- اسیدی ساخت داخل استفاده می شود که با توجه به مقدار انرژی تولید شده روزانه با پنل ها و تعداد روزهای ابری (حداکثر۳ روز ابری متوالی) می توان ظرفیت باتری ها را نیز محاسبه کرد ، این برآورد درجدول (۲) آورده شده است .

Archive of SID
www.SID.ir

به منظور تأمین برق سیستم روشنایی اماکن و معابر عمومی ، به ازای هر خانوار یک سیستم فتوولتائیک شامل دو عدد پنل ۴۵ولت ، دوعدد باتری ۱۲ ولت ، یک عدد اینورتر (مبدل DC به AC) و یک عدد لامپ کم مصرف تخصیص داده می شود .

برآورد انرژی تولیدی روزانه یک پنل		برآوردآمپر-ساعت درروز (Ah/day) برای شارژ باتری	
ظریت پنل(wp یا وات قله	۴۵W	انرژی خالص مورد نیاز برای مصرف هر خانوار	۲۱۸۵ Wh/d
ضریب تبدیل((wh/dperwp	۳/۳۵	ولتاژ باتری	۲۴V (دو عدد باتری ۱۲ولت)
تولید انرژی(ظرفیت× ضریب تبدیل)	۱۵۴/۳۵	آمپرساعت مورد نیاز در روز (تقریباً برای۱۲ساعت ازروز)۱	$\frac{2185}{24}=91Ah/d$
برآورد حداقل تعداد پنل های مورد نیاز هر خانه		برآورد حداقل ظرفیت باتری مورد نیاز	
کل انرژی مورد نیاز	۲۴۰۰Wh/p	آمپرساعت مورد نیاز درهرروز	۹۱A/hd
انرژی تولید شده توسط یک پنل	۱۵۴/۳۵Wh/p	تعداد روزهای ابری متوالی (حداکثر استقلال از پنل)	۳d
پنل های موردنیاز	$\frac{2400}{154/35}\approx 16$	اندازه مورد نیاز باتری	۹۱×۳=۲۷۳

جدول-۲. برآورد تعداد پنل و باتری مورد نیاز جهت تأمین برق مصرف یک خانوار روستایی

۴ – محاسبه اقتصادی سیستم فتوولتائیک

هزینه خریداری ، نصب و بهره برداری از سیستم فتوولتائیک شامل هزینه های سرمایه گذاری (اولیه) و هزینه های عملیاتی است . برآوردی که در سال ۱۹۹۷ از هزینه سیستم های فتوولتائیک شده است ، ۵/۵ دلار بر وات (Lesourd, 2001) می باشد .

علاوه بر پنل ، تجهیزات دیگری نیز در سیستم فتوولتائیک به کار می رود . طبق نظر کارشناسان ، قیمت پنل های خورشیدی بین ۵۳ تا ۷۰ درصد کل سیستم فتوولتائیک است .

بنابراین کل هزینه سیستم فتوولتائیک (شامل پنل و پایه ، باتری ، مبدل ، کابل های رابط ، شارژ کنترل ، هزینه نصب و ...) درحدود ۵/۱ دلار است و کل هزینه لازم جهت تأمین برق هر خانه (شامل ۱۶ عدد پنل ۴۵ وات به همراه تجهیزات جانبی ذکر شده) محاسبه می شود . همچنین قیمت سیستم فتوولتائیک لازم برای روشنایی اماکن عمومی (شامل دو عدد پنل۴۵ وات و تجهیزات جانبی لازم) به ازای هر خانوار است . در نتیجه کل هزینه تولید برق روستا به روش فتوولتائیک به ازای هر خانوارش ، ۸/۱ خواهد شد .

متغیرها	علامت اختصاری	(سناریوی الف)متغیر	(سناریوی ب) متغیر	(سناریوی ج) متغیر
نرخ تنزیل واقعی	J	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۵
طول عمر سیستم فتوولتائیک (سال)	N	۳۰	۳۰	۳۰
ضریب بازگشت سرمایه	CEF	۰/۱۵۲۳	۰/۰۸۸۸	۰/۰۶۵۱
هزینه بیمه	INS	۰	۰	۰
ضریب هزینه غیرمستقیم	ID	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
هزینه سرمایه گذاری مدول ها (دلار بر مترمربع)	MOD	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
هزینه تجهیزات جانبی مرتبط با منطقه (دلار بر مترمربع)	BOS	۵۰	۵۰	۵۰
هزینه تجهیزات جانبی مرتبط با منطقه (دلار بر کیلووات)	PC	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

Archive of SID
www.SID.ir

هزینه تعمیر و نگهداری سالانه (دلار برمترمربع)	OM	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲
حداکثر تابش خورشیدی (کیلو وات برمترمربع)	SP	۱	۱	۱
تابش سالانه خورشید برپنل های مسطح (کیلو وات ساعت بر مترمربع)	INSOL	۱۹۵۸/۱	۱۹۵۸/۱	۱۹۵۸/۱
کارآیی مدول فتوولتائیک(٪)	nmod	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵
کارآیی تجهیزات جانبی(٪)	nbos	۰/۹	۰/۹	۰/۹
ضریب تصحیح دمای سلول خورشیدی(٪)	nt	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳
کارآیی وضعیت توان(٪)	Pc	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵
هزینه تولید برق خورشیدی (دلار بر کیلو وات ساعت)	Cpv($/ kwh)	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۱۲
هزینه تولید برق خورشیدی (دلار بر کیلو وات ساعت)۱	Cpv($/ kwh)	۲۲۵۰	۱۳۲۰	۹۶۰

جدول-۳. محاسبه هزینه واحد انرژی سیستم فتوولتائیک

به منظور محاسبه هزینه واحد انرژی سیستم فتوولتائیک از روش تحلیل هزینه چرخه عمر (مدل۱) با تعریف سه سناریو و با فرض نرخ تنزیل های متفاوت برای هر سناریو ، نتایج جدول (۳) به دست می آید .

بنابراین طبق محاسبات به روش تحلیل هزینه چرخه عمر ، هزینه واحد انرژی سیستم فتوولتائیک در سناریوی سوم با نرخ تنزیل ۵ درصد برابر با ۵ کیلو وات ساعت است . دلیل انتخاب سناریو سوم از بین سناریوهای مختلف (با نرخ تنزیل های مختلف) ، محاسبه نرخ تنزیل واقعی به وسیله نرخ تورم و نرخ بهرهٔ اسمی است . زیرا با توجه به این که عمده منابع مورد استفاده درسیستم فتوولتائیک به صورت کالاهای سرمایه ای و با ملاحظهٔ نرخ تورم دارای افزایش قیمت هستند ، لازم است در محاسبهٔ نرخ بهره واقعی ، نرخ تورم نیز لحاظ شود . به این ترتیب با در نظر گرفتن نرخ بهره ۲۴ درصد و نرخ تورم ۱۸ درصد ، نرخ تنزیل واقعی برابر با ۵ درصد خواهد شد .

به منظور محاسبه هزینه واحد انرژی سیستم فتوولتائیک از روش تحلیل هزینه چرخه عمر (مدل۱) با تعریف سه سناریو و با فرض نرخ تنزیل های متفاوت برای هر سناریو ، نتایج جدول (۳) به دست می آید .

بنابراین طبق محاسبات به روش تحلیل هزینه چرخه عمر ، هزینه واحد انرژی سیستم فتوولتائیک در سناریوی سوم با نرخ تنزیل ۵ درصد برابر با ۵ کیلو وات ساعت است . دلیل انتخاب سناریو سوم از بین سناریوهای مختلف (با نرخ تنزیل های مختلف) ، محاسبه نرخ تنزیل واقعی به وسیله نرخ تورم و نرخ بهرهٔ اسمی است . زیرا با توجه به این که عمده منابع مورد استفاده درسیستم فتوولتائیک به صورت کالاهای سرمایه ای و با ملاحظهٔ نرخ تورم دارای افزایش قیمت هستند ، لازم است در محاسبهٔ نرخ بهره واقعی ، نرخ تورم نیز لحاظ شود . به این ترتیب با در نظر گرفتن نرخ بهره ۲۴ درصد و نرخ تورم ۱۸ درصد ، نرخ تنزیل واقعی برابر با ۵ درصد خواهد شد .

۵- روش تحقیق

با توجه به اهمیت روزافزون انرژی خورشیدی و اختلاف نظرهای موجود در مورد اقتصادی بودن استفاده از آن ، صاحب نظران و کارشناسان مطالعات زیادی در این زمینه انجام داده اند که جالب توجه است . بانک جهانی در بررسی های جداگانه ای در این مورد به مطالعهٔ ویژگی های فنی و اقتصادی انرژی های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی پرداخته است . به عنوان مثال در مطالعه ای با عنوان "انرژی خورشیدی" که لیبنتال و همکاران انجام داده اند ، برق رسانی به مناطق روستایی جزایر اقیانوسیه ، به وسیلهٔ نیروگاه دیزلی و نیروگاه فتوولتائیک مورد ارزیابی اقتصادی قرار گرفته است . در این پژوهش که از روش تحلیل هزینه های چرخهٔ عمر استفاده شده است ، برق رسانی به مناطق روستایی به وسیلهٔ گزینه های مورد نظر مقایسه شده و هزینهٔ نهایی تولید انرژی به وسیلهٔ نیروگاه های دیزلی وفتوولتائیک محاسبه شده است . طبق نتایج در این پژوهش که با توجه به تجربهٔ کشورهای جزایر اقیانوسیه به دست آمده است ، برای برق رسانی به مناطق روستایی با ظرفیت بار پایین (عمدتاً برای روشنایی منازل) ، تولید برق با نیروگاه فتوولتائیک ارزان تر از نیروگاه دیزلی خواهد بود . در مطالعه دیگری که کلثوم احمد (Ahmed, 1994) انجام داده است ، هزینه های استفاده از انرژی های تجدیدپذیر منتخب (حرارتی- خورشیدی ، فتوولتائیک و زیست توده) با روش های ارزش حال و چرخه عمر محاسبه شده است . نتایج حاصل از

Archive of SID
www.SID.ir

مطالعات انجام شده در این مقاله حاکی از آن است که هزینه های تکنولوژی فتوولتائیک در پانزده سال گذشته (۱۹۹۴- ۱۹۷۹) روند نزولی داشته است و این روند تا سال ۲۰۲۰ ادامه خواهد یافت ؛ امّا هزینه تولید برق از تکنولوژی حرارتی– خورشیدی و تکنولوژی زیست توده (بیوماس) روند متغیری داشته است . در مقاله ای که کارلوس و همکاران در مورد شمال برزیل انجام داده اند این نتیجه به دست آمده است ، که به منظور برق رسانی به روستاهای زیر صد خانوار ، استفاده از نیروگاه ترکیبی دیزلی و فتوولتائیک گزینه مناسبی است و با توجه به پیش بینی کاهش قیمت اجزای سیستم فتوولتائیک در آینده ، استفاده از آن از لحاظ اقتصادی توجیه پذیرتر خواهد شد . با در نظر گرفتن مقدار متوسط مطلوبی از مصرف روزانهٔ یک خانوار روستایی که شامل استفاده از لامپ کم مصرف ، رادیو ، تلویزیون ، یخچال و ... است و با استفاده از مدل ارزش حال ، به محاسبه هزینهٔ تولید برق برای ساکنان این روستا از طریق روش های گوناگون برق رسانی پرداخته اند . در پژوهش دیگری به وسیله نوتون و همکاران ، ضمن استفاده از تحلیل هزینه چرخهٔ عمر ، هزینهٔ واحد انرژی سیستم فتوولتائیک در دو حالت پشتیبانی و عدم پشتیبانی با موتور دیزلی کمکی محاسبه شده ، و هزینهٔ سیستم به تفکیک اجزای آن برآورد گردیده است .

۶ – نرم افزار HOMER

از نرم افزار هومر جهت شبیه سازی و ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم های هیبریدی استفاده می شود که توسط آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر ایالات متحده آمریکا ایجاد شده و توسعه یافته است. نرم افزار homer کاربر را قادر می سازد تا گزینه های طراحی متفاوت بسیاری طبق اصول تکنیکی و اقتصادی را مقایسه کنند. همچنین امکان اعمال تغییرات و عدم قطعیت های فراوانی در ورودی ها را فراهم می کند. عملکرد یک آرایش خاص سیستم انرژی را برای هر ساعت از سال با تعیین روش های ممکن تأمین انرژی مورد نیاز و هزینه چرخه عمر آن مدل سازی می کند. در فرایند بهینه سازی، تمام آرایش های مختلف تأمین توان برق با توجه به محدودیت ها، جهت دستیابی به اقتصادی ترین حالت برای هزینه چرخه عمر، را جستجو می کند .

از جمله توانمندیهای این نرم افزار می توان به موارد زیر اشاره کرد:

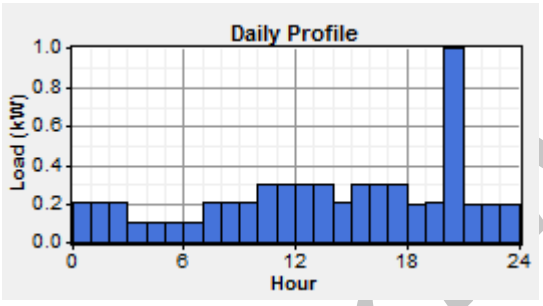
۱- مدلسازی بارهای الکتریکی، حرارتی و هیدروژن
۲- مدلسازی سلول های خورشیدی تولید برق (فتوولتائیک)، توربین بادی، توربین آبی، تولید هیدروژن، ژنراتورهای مصرف کننده سوخت فسیلی
۳- مدلسازی اتصال به شبکه برق در حالتهای مختلف
۴- تحلیل اقتصادی انواع تکنولوژیها
۵- تحلیل انتشار آلاینده ها از انواع تکنولوژیها
۶- مدلسازی و تحلیل سناریوهای مختلف از طریق نرم افزار

۷ – مدل سازی نیروگاه خورشیدی با Homer

در این قسمت هدف طراحی یک نیروگاه خورشیدی برای تامین برق یک مصرف کننده خانگی می باشد . شرط اول و اساسی برای طراحی نیروگاه ، شناخت اقلیم منطقه و برآورد ماهیانه شدت تابش خورشیدی (با توجه به داده های هواشناسی و طول و عرض جغرافیایی منطقه) و میزان انرژی مصرفی برق در طول ۲۴ ساعت شبانه روز می باشد .

۷ – ۱ – بار مصرفی در طول شبانه روز

با بررسی های انجام شده مشخص گردید میزان برق مصرفی متوسط ، در طول شبانه روز مطابق با پروفیل نشان داده شده در شکل (۱) می باشد . با جمع زدن میزان انرژی مصرفی در طول شبانه روز ، مقدار کل برق مصرفی به دست می آید . این مقدار برابر ۶ کیلو وات در مدت ۲۴ ساعت می باشد .

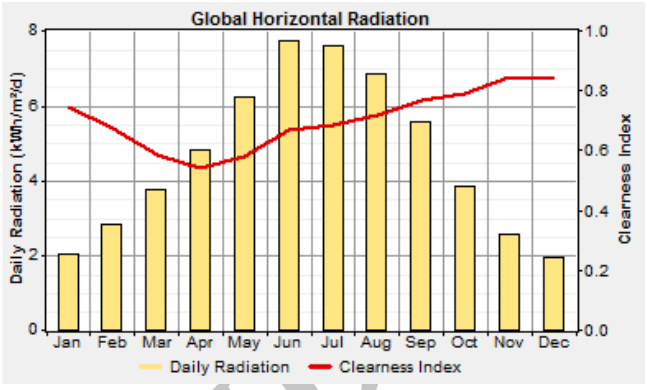


شکل ۱ – پروفیل برق مصرفی یک خانوار در ۲۴ ساعت شبانه روز

۷ – ۲ – تابش و شدت خورشید در منطقه

از آنجایی که نیروگاه طراحی شده خورشیدی خواهد بود ، لازم است میزان شدت نور در منطقه در طی فصول بررسی شود . از این رو با توجه به موقعیت محل با مختصات عرض جغرافیایی ۴۸/۵۲ و طول جغرافیایی ۳۸/۲۴ میانگین ماهیانه شدت تابش نور خورشید در طول سال به صورت پروفیل زیر به دست می آید .

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲ – نمایی از پروفیل تابش خورشید بر حسب (kwh/m2/day) در ماه های مختلف سال

همانطور که در پروفیل بالا دیده می شود از ماه های آوریل تا سپتامبر این منطقه از شدت تابش مناسبی برخوردار می باشد . میانگین تابش در این منطقه در طول سال برابر ۴/۶۴ می باشد .

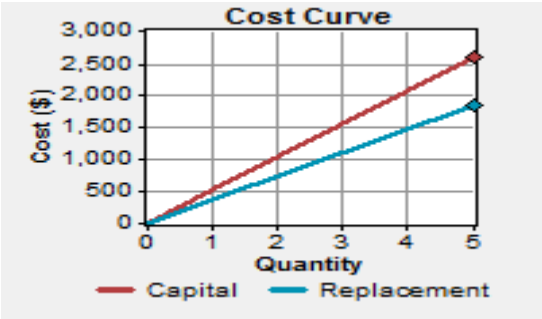
۷ – ۳ – پنل های خورشیدی

پنل های خورشیدی مبدل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی بدون واسطه مکانیکی است . تعداد و نحوه چینش پنل های خورشیدی مطابق با نیاز مصرف کننده به بار می باشد . لازم به ذکر است که مشخصات و عناصر تشکیل دهنده با توجه به نیازهای بار الکتریکی و مصرف کننده و نیز شرایط آب و هوایی محلی تغییر می کند . با توجه به خروجی DC پنل های فتوولتائیک ، مصرف کننده می تواند دو نوع DC یا AC باشد . همچنین با آرایش های مختلف پنل های فتوولتائیک می توان نیاز مصرف کنندگان مختلف را با توان های متفاوت تامین نمود . نوع و تعداد پنل های خورشیدی با توجه به ساعات تایش خورشید در روز مشخص می گردد . با فرض اینکه مدت زمان مفید تابش آفتاب در روز ۴/۵ ساعت باشد ، ولتاژ تولیدی توسط پنل های خورشیدی برابر ۴/۳۴ کیلو وات در هر ساعت خواهد بود . با انتخاب پنل هایی با توان تولیدی ۳۰۰ وات در ساعت تعداد ۱۵ پنل جهت نصب در منطقه انتخاب گردید . هزینه نصب و جایگزینی هر ۱ کیلو وات در سیستم های خورشیدی تقریبا به ترتیب برابر ۵۰۰۰ و ۳۰۰۰ دلار و عمر مفید آن ها حدود ۲۰ سال می باشد .

۷ – ۴ – بانک باتری

از آنجایی که خورشید جزء منابع انرژی های کنترل ناپذیر محسوب می شود لازم است علاوه بر پنل های خورشیدی در نیروگاه مورد طراحی ، از بانک های باتری جهت ذخیره سازی انرژی استفاده شود تا در مواقع لازم مورد بهره برداری قرار بگیرند .

باتری های مورد استفاده دارای ولتاژی برابر ۶ آمپر بوده که به صورت سری به هم متصل می گردند . با انجام محاسبات تعداد باتری ها که به صورت سری به هم متصل می شوند ، مشخص می گردد . باتری های انتخابی برای نیروگاه ۶ ولتی و دارای ظرفیت ۳۰۵ آمپر ساعت می باشند . تعداد باتری های مورد نیاز با توجه به میزان متوسط بار مصرفی در هر ساعت شبانه روز و همچنین توان تولیدی پنل های خورشیدی برابر ۵ خواهد بود . باتری های انتخاب شده از مدل USB – US 305 می باشند . قیمت هر یک از این باتری ها ۵۲۰ دلار و قیمت جایگزین آن ها ۳۷۰ دلار می باشد .

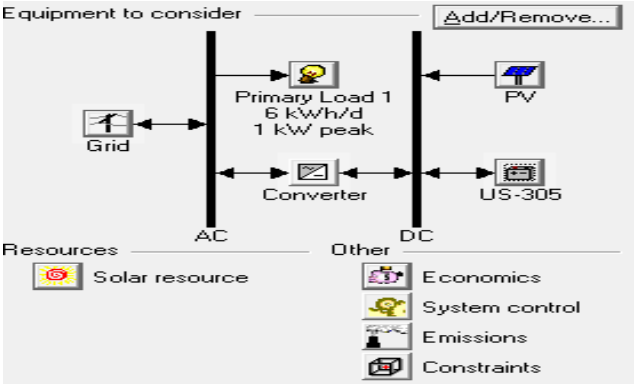


شکل ۳ – منحنی هزینه های باتری USB – US 305

قطعه دیگر استفاده شده در نیروگاه یک کانورتر می باشد که وظیفه آن تبدیل جریان های DC حاصله از پنل های خورشیدی به جریان AC جهت استفاده توسط مردم منطقه می باشد . لازم به ذکر است که سیستم طراحی شده همواره به برق شهری متصل بوده که کمبودهای برق تولیدی از منابع انرژی کنترل ناپذیر را جبران می کند .

۸ – شماتیک کلی نیروگاه

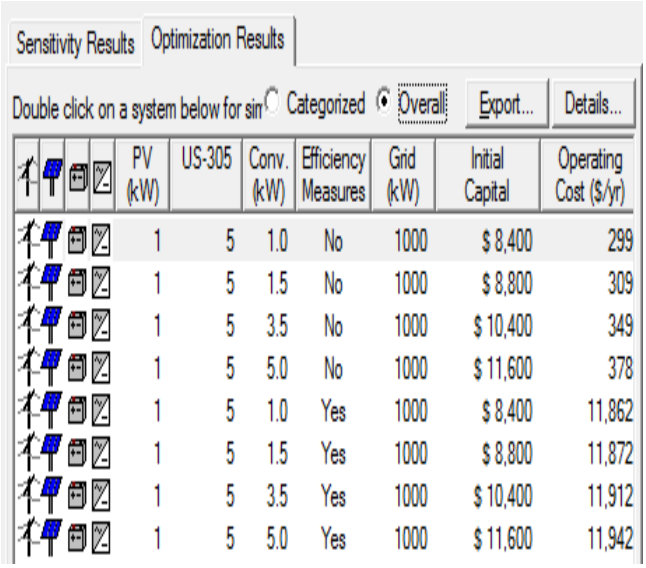
در شکل زیر شماتیکی از نیروگاه طراحی شده که در نرم افزار HOMER مورد بررسی قرار گرفته است ، نشان داده شده است .



شکل ۴ – شماتیکی از نیروگاه طراحی شده در نرم افزار HOMER

Archive of SID
www.SID.ir

پس از بررسی اقتصادی حالت های مختلف در نهایت حالت بهینه ای برای سیستم توسط نرم افزار مشخص می گردد . در شکل (۵) حالت های مختلف بررسی شده نشان داده شده است .


Sensitivity Results | Optimization Results

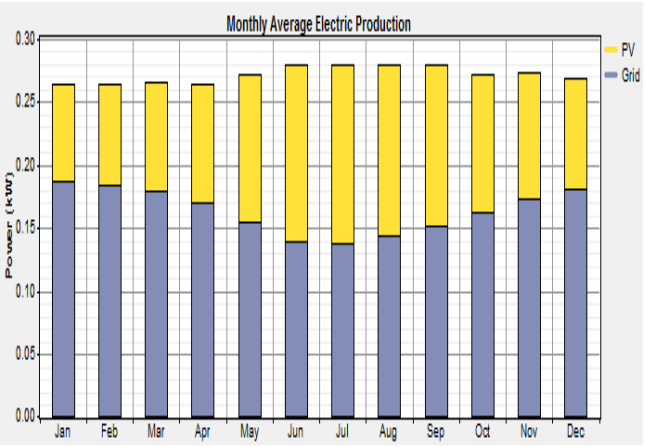
Double click on a system below for sin | Categorized | Overall | Export... | Details...

PV (kW)	US-305	Conv. (kW)	Efficiency Measures	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)
1	5	1.0	No	1000	$ 8,400	299
1	5	1.5	No	1000	$ 8,800	309
1	5	3.5	No	1000	$ 10,400	349
1	5	5.0	No	1000	$ 11,600	378
1	5	1.0	Yes	1000	$ 8,400	11,862
1	5	1.5	Yes	1000	$ 8,800	11,872
1	5	3.5	Yes	1000	$ 10,400	11,912
1	5	5.0	Yes	1000	$ 11,600	11,942

شکل ۵ – نتایج بهینه سازی اقتصادی توسط نرم افزار HOMER

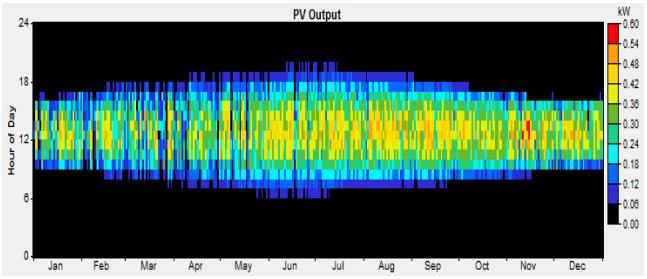
۹ – آنالیز سیستم در طول سال

پس از آنالیز سیستم در نرم افزار HOMER در نهایت نیروگاه شامل ۱۵ پنل با توان تولیدی ۳۰۰ وات و ۵ عدد باتری ۶ ولتی ۳۰۵ آمپرساعتی خواهد بود . در شکل زیر ترکیب تولید برق در ماه های مختلف نشان داده شده است . همانطور که در شکل دیده می شود در ماه های ابتدایی و انتهایی سال به دلیل کبود تابش خورشید ، از برق شبکه استفاده می گردد .



شکل ۶ – ترکیب تولید برق در ماه های مختلف

در شکل زیر میزان توان تولیدی پنل های خورشیدی در ساعات مختلف روزهای سال نشان داده شده است .



شکل ۷ – نمایی از میزان توان تولیدی پنل های خورشیدی در ساعات مختلف روزهای سال

۱۰– نتایج و پیشنهادها

در این مقاله انتخاب های گوناگون و روش های تولید الکتریسیته از انرژی خورشید بسیار نوید بخش اند . ولی برای تصمیم گیرندگانی که کاملا با فناوری های خورشیدی آشنایی ندارند گیج کننده اند . نوشتار حاضر و برنامه محاسباتی SOLELE به منظور تسهیل در مقایسه سیستماتیک بین فناوری های موجود تولید برق خورشیدی ، تحت شرایط مختلف اقتصادی ، آب و هوایی و عملکرد که بر حسب محل مورد نظر به صورت آزادانه قابل انتخاب باشد ، تدوین شده است . برنامه جایگزین مشاوره با متخصصان ، برای برآورد و طراحی نیروگاه های خورشیدی ارائه نخواهد شد . بلکه امکان یک انتخاب اولیه فناوری ها ممکن و قابل اجرا و برآوردی از هزینه و مزایای فناوری های مختلف را برای گستره ای از مناطق مختلف و شرایط عملکرد متفاوت و تغییراتی که در میزان تابش خورشید ، میزان توان تولیدی ، ضریب ظرفیت و قیمت قطعات ؛ داده خواهد شد . که این اطلاعات فهم ارتباط بین اجزا و متغیرهای اصلی نیروگاه خورشیدی را آسان می سازد . به همین دلیل این برنامه ابزار مناسبی برای آموزش و تربیت متخصص در زمینه انرژی های تجدید پذیر است . برای ادامه تحقیقات ، ارائه و مقایسه عملکرد سایر کنترل کننده های مقاوم با کنترل کننده های فازی توان های اکتیو و راکتیو ، مدل سازی دقیق تر عنصر ابر رسانا با عنصر غیرفشرده ، و همچنین نحوه جزیره سازی ساختار معرفی شده در این پروژه پیشنهاد می شود .

با توجه به موقعیت مناسب ایران در اطلس انرژی خورشیدی در جهان می توان با تدوین برنامه هایی دراز مدت جهت افزایش اینگونه نیروگاه ها ، گامی مهم در اصلاح الگوی مصرف و تولید برداشت . در این راستا استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی و بهینه سازی همچون نرم افزار HOMER می تواند ما را در تخمین اولیه مولفه های نیروگاهی یاری رساند .

Archive
www.SID.ir

ضمنا برای اینکه بتوانیم هم سطح کشورهای اروپایی رقابت کنیم ، باید به سمت این نوع انرژی ها بیشتر روی بیاوریم . چون در آینده ای نه چندان نزدیک دیگر نفتی برای سوزاندن نداریم .

۱۱- منابع و مآخذ

[۱] تفرشی . منابع تولید انرژی قرن ۲۱ . انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

[۲] هوشمند رحمت اله . تولید برق در نیروگاه . انتشارات دانشگاه تهران ، ۱۳۸۰

[3] Sergio Colle , Samuel Luna Abreu, Ricardo Ruther.(2003). Economic evaluation and optimization of hybrid diesel/photovoltaic systems integrated to utility grids. ELSEVIER.2004

[4] helly, H. Introduction to photovoltaic technology.(2004)

[5] Trieb fetal Solar Electricity Generation.

[6] Mancini,T ., Solar Thermal Power Today and Tomorrow, Mechanical Engineering, publication of the Institution of Mechanical Engineers, London, August 1994.

[7] www.springer.com

[8] www.ELSEVIER.com

[9] www.irtanin.com

Archive of SID

www.SID.ir