

طراحی و پیاده سازی سیستم برق خورشیدی فتوولتائیک منفصل از شبکه بر اساس روابط انرژی و تلفات در این سیستمها

مصطفی زمانی محی آبادی^{۱*}، سید حسین احمدی^۲

*۱- عضو هیأت علمی گروه پژوهشی پیل سوختی حرارت بالا، دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان (نویسنده مسئول)

۲- کارشناس ارشد ابزار دقیق و اتوماسیون شرکت گاز پارس جنوبی SPGC

* رفسنجان، ۷۷۱۸۸۹۷۱۱۱، m.zamani@vru.ac.ir

چکیده

با توجه به آفتاب خیز بودن کشورمان، دسترسی هرچه سریع تر به فناوری استفاده از انرژی خورشیدی بسیار با ارزش می باشد. در این مقاله پارامترهای موثر در طراحی یک سیستم برق خورشیدی از نوع فتوولتائیک آورده شده است و همچنین تمامی مراحل طراحی و ساخت یک سیستم نمونه، در ایستگاه راه آهن بین شهری با مصرف روزانه ۵ کیلووات ساعت انرژی که دسترسی به برق شبکه سراسری را به دلایل هزینه های بالا و سرقت کابل ها و دوری از شبکه اصلی را ندارد، آورده شده است. از آنجایی که فناوری فتوولتائیک روزانه در حال پیشرفت سریع و بهینه شدن می باشد در این مقاله سعی شده است تمامی پارامترهای موثر در بهبود این سیستمها مورد بازبینی قرار گیرد.

کلیدواژگان: انرژی خورشیدی، سیستم برق فتوولتائیک، پنل خورشیدی، شارژکنترلر، ایستگاه راه آهن



Off-Grid Solar Photovoltaic Power Plant Design and Implementation based on Energy relations and Losses in the System

Mostafa Zamani Mohiabadi^{1*}, Seyed Hossein Ahmadi²

1- Faculty member, Research Department of High Temperature Fuel Cell, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

2- MSC of Instrumentation & Automation in South Pars Gas Company "SPGC"

* P.O.B.7718897111 Rafsanjan, Iran, m.zamani@vru.ac.ir

Abstract

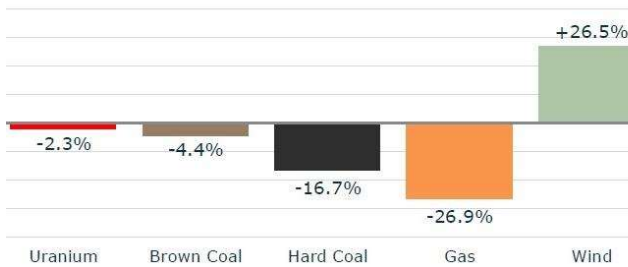
Our country is a sunny region, therefore it is very important to access and utilize the technology of using this renewable energy quickly. The effective parameters have been brought in this article for planning a photovoltaic electrical system. Moreover, all the processes of designing and implementation a sample system that is brought here and is used in train station with daily use of 5kw energy that cannot be accessible of grid-electricity because of the high price, and far from the grid. Since the technology of photovoltaic is improving daily and very fast, in this article we have tried to revise all the parameters that effect on an improvement of this system.

Keywords: Solar Energy- Photovoltaic System- Solar Panel- Charge Controller- Railway Station



change in electricity production: first four months 2014

۱. مقدمه



شکل ۱) تغییرات نسبی در تولید الکتریسیته کشور آلمان در ۴ ماه اول ۲۰۱۴ نسبت به ۲۰۱۳ [۹]

بنابراین استفاده از انرژی خورشیدی برای ایران که کشوری با ظرفیت بالا می‌باشد پیشنهاد می‌گردد. اما با توجه به این همه ویژگی مثبت باز هم در عمل به دلایل زیر از آن به طور چشمگیر استفاده نمی‌شود. اولاً گران بودن پنل‌های خورشیدی و بازده پایین این صفحات فتولتائیک که سازندگان تا کنون در عمل به بازدهی بیش از ۲۴٪ دست نیافته‌اند. با اینکه در آزمایشگاه‌ها تا بازده ۴۰٪ نیز گزارش شده است [۳ و ۴]. ثانیاً احتیاج به فضای نسبتاً زیاد جهت نصب پنل‌ها در خانه‌های شهری، البته در این مورد می‌توان نیروگاه‌های خورشیدی را در بیرون شهرها ساخت و برق تولیدی را به شبکه تحویل داد ولی باز هم سرمایه اولیه بسیار بالایی لازم است.

انرژی‌های فسیلی در طی میلیون‌ها سال در اعماق زمین تشکیل شده‌اند و مصرف آنها در طی چندین قرن انجام می‌گیرد بنابراین می‌تواند واکنش‌های طبیعی نگران‌کننده‌ای برای زمین و جو اطراف داشته باشد. می‌توان سوخت اتومبیل‌ها (از نوع برقی) را نیز از انرژی خورشیدی برای شارژ کردن و با کمک پنل‌های فتولتائیک تامین نمود [۵]. کاربردهای این نوع انرژی بسیار متنوع است برای مثال آبگرمکن‌های خورشیدی، آب شیرین کن‌های خورشیدی [۶] و نظایر آن و در آخر هزینه تعمیرات و نگهداری این سیستم‌ها از سیستم‌های گازی و توربینی بسیار پایین تر است. با توجه به مزایای اشاره شده می‌توان از اهمیت استفاده بهتر از این نوع انرژی آگاه شد، با نگاهی به عملکرد کشورهای صنعتی در این زمینه نیز می‌توان دریافت که کشورهای پیشرفته با اینکه معمولاً از ساعات تابش خورشید کمتری برخوردارند، اما سرمایه‌گذاری‌های کلانی را در این بخش صورت داده‌اند [۷ و ۸]. برای مثال آلمان تولید ۲۲ گیگاوات انرژی خورشیدی تا سال ۲۰۲۲ و کشور عاری از انرژی هسته‌ای شدن را در برنامه خود قرار داده است. انرژی ۲۲ گیگاواتی از خورشید که معادل خروجی ۲۰ نیروگاه هسته‌ای در بار کامل است. در شکل ۱ میزان علاقه سرمایه‌گذاری در انرژی خورشیدی نسبت به سایر منابع در کشور آلمان مشخص شده است [۹].



شکل ۲) مزرعه خورشیدی نزدیکی کالیفرنیا [۱۱]

^۱ First Solar





شکل ۴) پیاده سازی سیستم Off-Grid یک سایت BTS در کارخانجات مخابراتی ایران



شکل ۵) پیاده سازی سیستم Off-Grid یک سایت BTS جاده‌ای در انار تزرچ کرمان

۳. طراحی سیستم خورشیدی منفصل از شبکه

برای طراحی یک سیستم خورشیدی فتولتائیک باید در نظر داشت که سیستم باید از نظر تحویل گرفتن انرژی از خورشید و تحویل آن به بارهای DC, AC متعادل باشد. انرژی تحویل داده شده از سوی باتری‌ها به بار باید با انرژی تولید شده توسط پنل‌های فتولتائیک خورشیدی در یک روز (در طول ساعت‌های تابش موثر خورشید در یک روز) برابر باشد. در این سیستم‌ها باتری‌ها نقش منبع انرژی برای بارها را دارند و پنل‌های خورشیدی نیز نقش تامین‌کننده انرژی و شارژر باتری‌ها را برعهده دارند. باید تعادل انرژی بین تولید، توسط پنل‌ها در یک روز و مصرف توسط باتری‌ها در یک یا چند روز (بستگی به تعداد روزهای ابری) برقرار گردد.

با داشتن میزان توان بارهای ac, dc و میزان ساعت روشن بودن این بارها و حاصلضرب این دو پارامتر میتوان میزان وات ساعت انرژی مورد نیاز را بدست آورد. در روابط ۱ و ۲ ILac, PLac, VLac, ELac بترتیب انرژی، ولتاژ، توان و جریان مصرفی برق متناوب مورد نیاز می‌باشند. روابط ۲ و ۳ انرژی مصرفی

در زمینه استفاده از انرژی خورشیدی فتولتائیک کارهای زیادی صورت گرفته است و در این راستا استانداردهای جهانی نیز تهیه شده است [۱۹ و ۱۸]، اما در بین این پژوهش‌ها جای مقاله‌ای که روابط اجزای سیستم فتولتائیک را بر اساس انرژی مصرفی و تلفات، به سادگی شرح داده باشد خالی به نظر می‌رسد. بنابراین در این مقاله این موضوع بطور مفصل بررسی می‌شود. بعد از این مقدمه، در قسمت بعد به بیان ساختار منطقی یک سیستم برق فتولتائیک از دید انرژی و تلفات ورودی- خروجی پرداخته خواهد شد و سپس یک نمونه عملی از پیاده سازی این روابط برای طراحی سیستم برق خورشیدی در ایستگاه راه‌آهن بین شهری آورده می‌شود، و در نهایت برآورد هزینه‌ها و نتیجه‌گیری آورده می‌شود.

۲. سیستم‌های برق خورشیدی

این سیستم‌ها به دو نوع سیستم قطع از شبکه^۱ و سیستم‌های وصل به شبکه^۲ [۲۰] تقسیم می‌شوند. که در شکل ۳ پیاده سازی سیستم قطع از شبکه در یک نمونه پژوهشی "اتاق کار ۱۵۰۰ وات" نمایش داده شده است [۲۱]. همچنین در برخی کاربردها مانند سایت‌های مخابرات موبایل که باید در کنار جاده‌های دور افتاده نیز ساخته شوند و در این مکان‌ها امکان دسترسی به شبکه برق شهری با مشکلاتی همراه است معمولاً از ترکیب برق خورشیدی با ژنراتورهای دیزلی و یا بادی به صورت هیبرید استفاده می‌شود. در شکل های ۵ و ۴ به ترتیب پیاده سازی سیستم خورشیدی برای راه‌اندازی یک BTS در کارخانجات مخابراتی ایران و همچنین پیاده سازی سیستم خورشیدی برای راه‌اندازی سایت BTS در سایت جاده‌ای انار تزرچ شهر کرمان مشاهده می‌شود [۲۲].



شکل ۳) نمونه پژوهشی "اتاق کار ۱۵۰۰ وات"

¹ off grid
² on grid

انرژی بار dc و انرژی تحویل داده شده توسط باتری‌ها و بازده باتری‌ها است. در رابطه ۶ انرژی که باید باتری‌ها برای مصرف کنندگان dc, ac تامین کنند، محاسبه می‌گردد. که برابر مجموع انرژی اینورتر و انرژی بارهای dc است.

$$E_{inv} = \frac{100}{\mu_{inv}} \times EL_{dc} + EB \quad (6)$$

همچنین برای محاسبه آمپر ساعت باتری مورد نیاز، کافی است انرژی بدست آمده را بر ولتاژ سیستم V_{sys} و ماکزیمم دشارژ Max discharge که بر مثال هشتاد درصد یا ۰.۸ می‌باشد تقسیم نمود (رابطه ۸) تا میزان واقع آمپرساعت باتری‌ها بدست آید. ماکزیمم درصد دشارژ یا بطور خلاصه ماکزیمم دشارژ از تقسیم میزان مجاز دشارژ باتری‌ها بر تعداد روزهای ابری ذخیره بدست می‌آید. برای مثال اگر باتری داشته باشیم که میزان دشارژ آن، طوری که باتری خراب نشود هشتاد درصد است و تعداد روز ابری ذخیره نیز دو روز در نظر گرفته شده باشد، این باتری را روزانه نمی‌توان بی از ۴۰ درصد دشارژ نمود. یعنی ماکزیمم درصد دشارژ روزانه آن بر طبق رابطه ۷ برابر $80/2 = 40\%$ است.

$$\mu_{inv} = \frac{\text{Max discharge (in 1 day)}}{\text{Number of discharge (in a battery) / backup days (or cloudy days)}} \quad (7)$$

$$Ah_n = \frac{EB}{V_{sys} \times \text{Max discharge}} \quad (Ah) \quad (8)$$

با توجه به روابط ۷ و ۸ می‌توان میزان باتری مورد نیاز (Ah n) بر حسب آمپر ساعت را محاسبه کرد.

با توجه به اینکه باتری‌ها با ولتاژها و ظرفیت‌های متفاوتی (آمپرساعت) موجود هستند بنابراین با روابط زیر می‌توان تعداد آنها و همچنین طرز قرارگیری آنها با توجه به ولتاژ سیستم بدست آورد.

nB , nB series, nB parallel به ترتیب تعداد مجموعه‌های موازی باتری‌ها، تعداد باتری‌های سری شده برای رسیدن به ولتاژ سیستم و تعداد کل باتری‌ها می‌باشد. در رابطه ۹، V_{sys} ولتاژ سیستم و V_B ولتاژ یک باتری می‌باشد، که با تقسیم آنها بر هم تعداد باتری‌های سری شده برای به دست آوردن ولتاژ سیستم محاسبه می‌شود. و Ah_n آمپر ساعت مورد نیاز کل و Ah_B آمپر ساعت یک باتری است که با تقسیم آنها بر هم تعداد مجموعه باتری‌های موازی برای رسیدن به آمپر ساعت کل مورد نظر به دست می‌آید.

$$nB = \frac{Ah_n}{Ah_B} \times \frac{V_{sys}}{V_B} \quad (9)$$

$$nB_{series} = \frac{V_{sys}}{V_B} \quad (10)$$

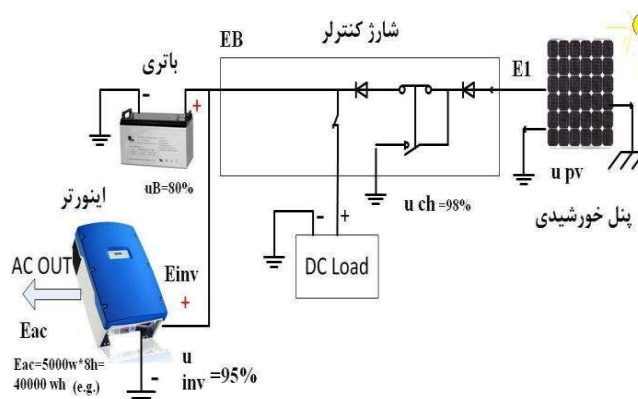
$$nB_{parallel} = \frac{Ah_n}{Ah_B} \quad (11)$$

(خانگی یا مصرف کننده صنعتی) نوع مستقیم و متناوب را محاسبه می‌کند. در شکل ۶ طرح ساده‌ای از یک سیستم فتولتائیک جدا از شبکه آورده شده است. کل انرژی مورد نیاز یک سیستم از مجموع حاصل ضرب‌های توان دستگاه‌های موجود در آن بر حسب وات (w) در مدت زمان کارکرد بر حسب ساعت (h) بدست می‌آید، البته ممکن است وسایل مورد استفاده جریان متناوب (ac) و یا جریان مستقیم (dc) باشند، که در نهایت برای بدست آوردن انرژی کل مجموع این دو نوع انرژی محاسبه می‌شود.

$$EL_{ac} = \frac{PL_{ac}}{VL_{ac}} \quad (A) \quad (1)$$

$$EL_{ac} = PL_{ac} \times h \quad (wh) \quad (2)$$

$$EL_{dc} = PL_{dc} \times h \quad (wh) \quad (3)$$



شکل ۶ شماتیک سیستم قطع از شبکه

با توجه به توان بار ac، می‌توان اینورتر را بدست آورد. در روابط زیر E_{inv} , P_{inv} , μ_{inv} به ترتیب، بازده، توان و انرژی مورد نیاز اینورتر می‌باشد. در شکل ۶ مشخص است که انرژی مورد نیاز اینورتر از باتری‌ها گرفته شده است. البته چون بازده اینورتر صددرصد نمی‌باشد مقداری انرژی در آن تلف می‌شود. در روابط ۴ و ۵، مقدار انرژی E_{inv} و توان اینورتر P_{inv} با توجه به انرژی و توان بار ac به دست می‌آید.

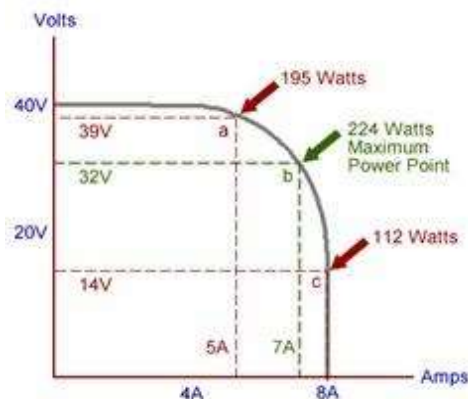
$$E_{inv} = EL_{ac} \times \frac{100}{\mu_{inv}} \quad (wh) \quad (4)$$

$$P_{inv} = PL_{ac} \times \frac{100}{\mu_{inv}} \quad (wh) \quad (5)$$

باتری‌ها وظیفه انتقال انرژی به اینورتر و بارهای dc را دارند. میزان انرژی که باید توسط باتری‌ها تامین شود از رابطه زیر بدست می‌آید. μ_B , EB , EL_{dc}



- اطلاعات ساعات تابش موثر خورشید در سال‌های گذشته در محل مورد نظر
- تعداد روز ذخیره انرژی یا روزهای ابری
- ولتاژ سیستم
- نوع شارژکنترلر مورد استفاده معمولی^۲ یا دنبال کننده ماکزیمم توان پنل^۳ از نوع کاهنده ولتاژ یا افزایشنده ولتاژ. در شکل ۷ نمودار ولتاژ بر حسب جریان یک پنل خورشیدی آورده شده است همانطوری که مشخص است تنها در یک نقطه حداکثر توان می‌یابد که در شارژکنترلرهای MPPT این نقطه ردیابی می‌شود [۲۴].



شکل ۷) نمودار ولتاژ بر حسب جریان یک پنل خورشیدی و نقطه انتقال حداکثر توان MPPT

- ماکزیمم ولتاژ قابل تحمل شارژکنترلر خورشیدی
- ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه پنل‌های خورشیدی - ولتاژ و جریان و توان معمولی پنل‌های خورشیدی
- نوع طراحی سیستم از نظر وصل به شبکه یا قطع از شبکه و نوع اینورتر از این نظر
- مقدار جریان پنل‌های خورشیدی به سمت شارژکنترلر برای تعیین نمره سیم مناسب، چون ولتاژ در اینجا مستقیم و کمتر از حالت متناوب است بنابراین قطر سیم‌ها افزایش می‌یابد.
- میزان جریان اینورتر در سمت برق متناوب برای تعیین نمره سیم مناسب، در اینجا می‌توان از جداول مربوطه، به انتخاب نمره سیم استفاده نمود.
- مدار قطع و وصل برق خورشیدی و برق شهر یا ژنراتور دیزل برای سیستم‌هایی که به صورت هیبرید کار می‌کنند، البته اینورترهایی که به صورت خودکار این کار را انجام می‌دهند نیز وجود دارند.
- طول عمر باتری‌ها، پنل‌های خورشیدی و اینورتر.

با توجه به اینکه بازده شارژکنترلر صدم درصد نمی‌باشد مقداری از انرژی که از پنل‌های خورشیدی می‌گیرد تلف می‌شود. با روابط زیر میتوان تعداد پنل‌ها و طریقه اتصال آنها را مشخص نمود. n_{pv} , n_{pv} series, n_{pv} parallel. $E1, V1_{pv}, I1_{pv}, I_{pv}$, تعداد پنل‌های سری شده، تعداد کل پنل‌ها، ولتاژ یک پنل، انرژی تولید شده توسط کل پنل‌های خورشیدی، جریان کل پنل‌ها و جریان یک پنل می‌باشد.

$$E1 = EB \times \frac{100}{\mu_{ch}} \text{ (wh)} \quad (12)$$

$$I_{pv} = \frac{E1}{V_{sys} \times h_{sol}} \text{ (A)} \quad (13)$$

$$n_{pv} = \frac{I_{pv}}{I1_{pv}} \times \frac{V_{sys}}{V1_{pv}} \quad (14)$$

$$n_{pv} \text{ series} = \frac{V_{sys}}{V1_{pv}} \quad (15)$$

$$n_{pv} \text{ parallel} = \frac{I_{pv}}{I1_{pv}} \quad (16)$$

در رابطه ۱۲ میزان کل انرژی که پنل‌های خورشیدی به عنوان منبع اصلی انرژی از طریق شارژکنترلر در اختیار باتری‌ها قرار می‌دهند، ($E1$) محاسبه می‌گردد. مقدار کمی از انرژی نیز بسته به بازده شارژکنترلر در آن تلف می‌شود. EB انرژی باتری‌ها است که در رابطه ۶ بدست آمده بود. در رابطه ۱۳ جریان کل پنل‌های خورشیدی بدست می‌آید که از تقسیم انرژی کل پنل‌ها بر ولتاژ سیستم ضرب در ساعت تابش موثر^۱ محاسبه می‌گردد، زیرا در تمام مدت روز صفحات خورشیدی فعال نیستند و این پارامتر h_{sol} را می‌توان از سایت هواشناسی هر شهر دریافت نمود. در این سایت‌ها میزان متوسط روزانه، ماهانه و یا سالانه ساعات تابش خورشید در دسترس می‌باشد. از رابطه ۱۴ تعداد کل پنل‌های خورشیدی مورد نیاز و از تقسیم ولتاژ سیستم بر ولتاژ یکی از پنل‌ها $V1_{pv}$ تعداد پنل‌های سری شده برای بدست آمدن ولتاژ سیستم محاسبه می‌گردد و همچنین از تقسیم جریان کل پنل I_{pv} بر جریان یک پنل، $I1_{pv}$ ، تعداد مجموعه‌های موازی پنل‌ها به دست می‌آید.

۴. پارامترهای موثر در طراحی سیستم‌های فتوولتائیک

پارامترهای بسیار زیادی در کیفیت طراحی سیستم‌های فتوولتائیک موثر هستند، در زیر به صورت خلاصه موارد بسیار مهم مطرح شده است.

- طول و عرض جغرافیایی محل نصب پنل‌ها برای محاسبه ساعت تابش خورشید در فصول مختلف [۲۳]

² PWM
³ MPPT

¹ h_{sol}

۵. پیاده سازی سیستم خورشیدی در یک ایستگاه راه آهن

در این ایستگاه (شکل ۹)، طراحی سیستم خورشیدی مورد نیاز است که بار متناوب پنج کیلووات به مدت ۸ ساعت را راه اندازی کند ضمن اینکه سیستم باید قابلیت اتصال به برق شبکه یا منبع دیگری مانند ژنراتور دیزلی را نیز داشته باشد. ایستگاه در راه بین کرمان و زاهدان قرار گرفته است. ولتاژ سیستم ۴۸ ولت و روزهای ابرناکی دو روز در نظر گرفته شده است. همچنین متوسط سالیانه تابش موثر خورشید در روز ۷ ساعت می باشد. بازده اینورتر، بازده باتری، بازده شارژ کنترلر و ماکزیمم دشارژ باتری ها به ترتیب ۰.۹۵، ۰.۸۰، ۰.۹۸ و ۸۰ درصد گرفته شده است. باتری ها از نوع 12v-250Ah و پنل های خورشیدی ۲۱ ولت ۱۰ آمپر انتخاب شده اند. با توجه به محاسبات انجام شده داریم:

$$ELac = PLac \times h (wh) = 5kw \times 8h = 40 Kwh$$

$$Einv = ELac \times \frac{100}{\mu_{inv}} (wh) = 40 kwh \times 100/95 \\ = 42,105 wh$$

$$Pinv = PLac \times \frac{100}{\mu_{inv}} (wh) = 5kw \times \frac{100}{95} = 5263 w$$

$$EB = Einv \times \frac{100}{\mu_B} + ELdc (wh) = 42105 \times \frac{100}{80} + 0 = \\ 52631 wh$$

$$Max discharge = discharge/backup days = 80\%/2 = 40\%$$

$$Ah n = \frac{EB}{V_{sys} \times Max discharge} (Ah) = 52631 / (48 \times 0.4) = 2741 Ah$$

$$n B = \frac{Ah n}{Ah B} \times \frac{V_{sys}}{VB} = \frac{2741}{250} \times \frac{48}{12} \cong 44$$

$$n B series = \frac{V_{sys}}{VB} = \frac{48}{12} = 4$$

$$n B parallel = \frac{Ah n}{Ah B} = \frac{2741}{250} = 10.9 \cong 11$$

$$E1 = EB \times \frac{100}{\mu_{ch}} (wh) = 52631 \times \frac{100}{98} = 53,705 wh$$

$$I_{pv} = \frac{E1}{V_{sys} \times h_{sol}} (A) = \frac{53705}{48 \times 7} = 159.8 \cong 160 A$$

$$n_{pv} = \frac{I_{pv}}{I1_{pv}} \times \frac{V_{sys}}{V_{pv}} = \frac{160}{10} \times \frac{48}{21} = 36.57 \cong 38$$

$$n_{pv series} = \frac{V_{sys}}{V_{pv}} = \frac{48}{21} = 2.3$$

$$n_{pv parallel} = \frac{I_{pv}}{I1_{pv}} = \frac{160}{10} = 1$$

با توجه محاسبات انجام شده میتوان با ۴۴ عدد باتری 12v-250Ah که بصورت ۴ تایی سری (برای داشتن ۴۸ ولت) و ۱۱ رشته موازی (برای داشتن تقریباً ۲۷۴۱ آمپر ساعت) شده اند و تعداد ۳۸ عدد پنل خورشیدی ۲۱۰ وات (۲۱ ولت- ۱۰ آمپر) که بصورت دو تا دو تا سری و ۱۹ مجموعه موازی

- ماکزیمم میزان دشارژ باتری ها طوری که باتری بیش از حد دشارژ نشود زیرا هم صدمه می بیند و هم با زیاد شدن میزان دشارژ باتری از طول عمر آن به طور قابل ملاحظه ای کم می شود.
- میزان جریان لحظه ای اولیه برای روشن شدن بارهای ac^۱ برای محاسبه دقیق توان اینورتر، در بارهایی که شامل سلف و خازن هستند. برای مثال اگر Surge= 20% باشد و توان اینورتر ۱۰۰۰ وات محاسبه شده باشد باید از اینورتر ۱۲۰۰ وات استفاده نمود.
- نوع نصب پنل های خورشیدی- ثابت به سمت جنوب یا متحرک و دنبال کننده خورشید [۲۵].
- در نوع متحرک میتوان با یک درجه آزادی و یا دو درجه آزادی دنبال کنندگی خورشیدی صورت بگیرد در جهت حرکت روزانه خورشید از شرق به غرب و همچنین تغییر زاویه تیلت (Tilt) نسبت به افق که در فصول مختلف تغییر می کند برای مثال در تابستان به دلیل تابش عمودی خورشید زاویه تیلت صفر مناسب است و در زمستان به دلیل تابش مایل زاویه ده تا بیست درجه و این زوایا به صورت تجربی میتوان برای هر شهر در فصول مختلف بدست آورد. مناسب ترین زاویه، تقریباً زاویه عرض جغرافیایی محل و روبه جنوب است که نور خورشید بر پنل عمود باشد.
- دمای محل نگهداری باتری ها برای بازدهی بالاتر باتری ها و جلوگیری از خرابی آنها (باتری ها در محدوده دمایی خاصی بیشترین بازده و کارایی را دارند).
- بازده صفحات خورشیدی (معمولاً بین ۱۰٪-۲۰٪ و در نمونه های تحقیقاتی جدید تا ۴۰٪ نیز گزارش شده است).
- بازده باتری ها، بازده اینورتر (بالای ۹۵٪ می باشند)، بازده شارژ کنترلر (معمولاً بالای ۹۸٪ می باشد).
- قطع بار در صورت افت ولتاژ سیستم به زیر محدوده مجاز و وصل مجدد آن با شارژ شدن باتری ها (این کار در شارژ کنترلرهای جدید بصورت خودکار انجام می شود)
- استفاده از فیوزها و ترمینال ها و کابل ها و سیم کشی با نمره مناسب جهت اتصالات سیستم [۲۶].
- استفاده حداکثری از بارهای dc به جای بار ac جهت کاهش تلفات در اینورتر، برای مثال استفاده از لامپ های روشنایی، پنکه و یخچال های ولتاژ مستقیم.
- استفاده از نرم افزارهای مناسب جهت طراحی و تحلیل سیستم [۲۷، ۲۸].

^۱ Current Surge



خورشیدی شیراز بر پایه مدل سازی ترکیبی" نشریه انرژی ایران، دوره ۱۵ شماره ۳ پاییز ۱۳۹۱

[2] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/PVeff%28rev140511%29.jpg>

[3] <http://us.sunpower.com/about/sunpower-technology/most-efficient-solar/>

[4] Zielke, D. et al. "Direct Laser Texturing for High-Efficiency Silicon Solar Cells," IEEE Journal of Photovoltaics, 2013

[5] Nasser, A. et al. (2012) "Design of Qatar University's First Solar Car for Shell Eco-Marathon Competition," IEEE.

[۶] خفاجه، حمید، بناکار، احمد. (۱۳۹۳)، تحلیل و بررسی انرژی خورشیدی در فرآیند سیستم‌های آب شیرین کن خورشیدی، اولین کنفرانس بین‌المللی انرژی خورشیدی ICESE 2014، دانشگاه تهران.

[۸] وصفی اسفستانی، شهرام. ابوترابی ذاتی، حسین. (۱۳۹۳)، چشم‌انداز صنایع و فناوریهای برق خورشیدی در جهان، اولین کنفرانس بین‌المللی انرژی خورشیدی ICESE 2014، دانشگاه تهران.

[9] Recent Facts about Photovoltaics in Germany Last update: April 10, 2014. available for download at: www.pv-fakten.de

[10] E.H. Camm, E. Williams, S., (2011) "Solar Power Plant Design and Interconnection," IEEE.

[11] <http://www.firstsolar.com>

[12] <http://www.law-ir.com/law/cat/362/>

[13] <http://www.nianelectronic.com/>

[14] <http://www.farancorp.net/Main/index.aspx>

[15] <http://www.sun.org.ir/fa/project/doneproject>

[16] <http://nanolab.ir/>

[۱۷] روغنیان، عماد. حصار، مهدی. کریمی مهرآبادی، رضا. (۱۳۹۳)، مطالعه امکانسنجی فنی و اقتصادی جهت راه‌اندازی خط تولید سلول‌های خورشیدی، اولین کنفرانس بین‌المللی انرژی خورشیدی ICESE 2014، دانشگاه تهران.

[18] IEEE Guide for Array and Battery Sizing in Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems, IEEE Std 1562™-2007

[19] IEEE Recommended Practice for Testing the Performance of Stand-Alone Photovoltaic Systems, IEEE Std 1526™-2003(R2009)

[20] Arnedo, L. Suman, D. Blasko, V. (2012) "80 kW Hybrid Solar Inverter for Standalone and Grid Connected Applications," IEEE.

[۲۱] ترکمانی، محمدعلی. احمدی، سید حسین. خدابخشی، محمدرضا. (۱۳۹۱)، ساخت سیستم برق خورشیدی با خروجی ۱۵۰۰ وات AC، دومین کنفرانس انرژی پاک، کرمان ۱۳۹۱.

[۲۲] احمدی، سید حسین. ترکمانی، محمدعلی. خدابخشی، محمدرضا. (۱۳۹۱)، طراحی تغذیه سایت BTS جاده‌ای با استفاده از انرژی خورشیدی، دومین کنفرانس انرژی پاک، کرمان ۱۳۹۱.

[۲۳] زمانی محی آبادی، مصطفی "پیش بینی لحظه ای تابش کل خورشید در شهر رفسنجان توسط شبکه عصبی" نشریه انرژی ایران، دوره ۱۶ شماره ۴ زمستان ۱۳۹۲

[24] Jiang, Y. Abu Qahouq, J. (2011) "Study and Evaluation of Load Current Based MPPT Control for PV Solar Systems," IEEE.

[25] Kassem, A. Hamad, M. (2011) "A Microcontroller-Based Multi-Function Solar Tracking System," IEEE.

[26] Youngren, E. (2011) "Shortcut to Failure Why Whole System Integration and Balance of System Components are Crucial to Off-

هستند، سیستم برق خورشیدی فتوولتائیک را برای ایستگاه راه‌آهن مورد نظر پیاده سازی نمود. قیمت هروا پنل ۵۰۰۰ تومان و هر باتری ۱۵۰۰۰۰۰ تومان و اینورتر ۲۳ میلیون تومان می‌باشد. و دو عدد شارژکنترلر ۱۰۰ آمپر که هر کدام هشت میلیون تومان است، نیاز می‌باشد. بنابراین قیمت پنل‌ها و باتری و شارژکنترلر و اینورتر به تنهایی به جز قیمت کابل‌ها و جعبه فیوزها و نصب و خدمات دیگر مورد نیاز مشتری، (به جز نصب و شرایط قرارداد) ۱۴۴،۹=۱۶+۲۳+۳۹،۹+۶۶ میلیون تومان. تقریباً صد و پنجاه میلیون تومان که قیمت در مقایسه با کابل کشی توسط اداره برق و استفاده از برق شبکه حدود یک چهارم آن می‌باشد. ضمن اینکه نگهداری کابل‌ها و سیستم‌های برق معمولی نسبت به سیستم‌های خورشیدی نیز هزینه بالاتری دارد.



شکل ۸) ایستگاه راه‌آهن با ژنراتور دیزلی که قرار است برق آن با انرژی خورشیدی تامین شود (اینورتر STUDER قابلیت اتصال به چندین منبع تولید برق، در اینجا خورشیدی و ژنراتور دیزل، را دارد)

۶. نتیجه گیری

در این مقاله پارامترهای موثر در طراحی یک سیستم برق خورشیدی از نوع فتوولتائیک و همچنین تمامی مراحل طراحی و ساخت یک سیستم نمونه در ایستگاه راه‌آهن بین شهری با مصرف روزانه ۵ کیلووات ساعت انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای مهمی که در طراحی این سیستم‌ها مورد نظر می‌باشد نیز بطور خلاصه ذکر شده و در نهایت برآورد هزینه برای سیستم نمونه انجام گرفته است. این سیستم‌ها سرمایه اولیه بالایی می‌خواهند اما هزینه‌های تعمیر و نگهداری بسیار پایین‌تری نسبت به توربین‌های گازی و سیستم‌های دیزلی دارند، بنابراین می‌توان گفت سیستم‌های خورشیدی علاوه بر این که انرژی پاک و بی‌ضرری برای محیط زیست را، در اختیار قرار می‌دهند تا حدودی نیز مقرون به صرفه می‌باشند و دولت و صنایع در ایران باید هر چه زودتر برای سرمایه گذاری و پایه گذاری صنعت تولید تجهیزات آن وارد عرصه شوند. به علت کاربردهای روز افزون این فناوری و امکان استفاده هرچه بهتر از منابع می‌توان بررسی‌های دقیق‌تری در زمینه طراحی و بهینه سازی بهتر این سیستم‌ها با شبیه سازی در محیطی مانند متلب انجام داد.

مراجع

[۱] زمانی محی آبادی، مصطفی. صفوی، سید علی اکبر. نقوی، سید وحید. محمدی، سید محمد حسام "طراحی و توسعه یک محیط شبیه ساز جهت نیروگاه 250kw



Grid PV System Sustainability,” IEEE Global Humanitarian Technology Conference.

[27]Homer software available in: www.homerenergy.com

[28] ترکمانی، محمدعلی. بیات، علی. احمدی، سید حسین. خدابخشی، محمدرضا. صمدانی، سید محسن. (۱۳۹۲)، نرم افزار فارسی برای طراحی سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک ، سومین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران، دانشگاه اصفهان.



مقایسه انواع صفحه های جاذب خورشیدی فتوولتاییک/حرارتی از نظر طراحی و عملکرد

فریبرز جهانشاه^۱، سید علی هاشمی^۲، فرهاد جهانشاه^{۳*}

۱- استادیار، مکانیک و مواد(انرژی خورشیدی)، موسسه عالی علمی کاربردی صنعت آب و برق، تهران

۲- مدرس گروه مهندسی برق، دانشکده فنی شهید مهاجر، اصفهان

۳- کارشناس ارشد، مکانیک تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی، اصفهان

* farhad.jahanshah@gmail.com، ۸۱۶۳۶۶۸۶۷۱، اصفهان

چکیده

راندمان الکتریکی ماژول های فتوولتایی و عملکرد آنها با خارج کردن گرما از سیستم بهبود می یابد. این موضوع باعث تولید کلکتورهای ترکیبی فتوولتاییک/حرارتی شده است. در این مقاله به بررسی سیستم های مختلف خورشیدی ترکیبی پرداخته و عملکرد آنها با یکدیگر مقایسه شده است. شش مدل از کلکتورهای طراحی شده با هم مقایسه و برای هر سیستم، نوع مسیرهای جریان سیال خنک کننده معرفی شده است. بررسی طرح های مختلف و تعیین مزایا و معایب آنها در این مقاله نشان می دهد که جنس پوشش جاذب، تعداد گذرها، خلاء میان صفحات جاذب و سلول های خورشیدی از عوامل موثر در بهبود راندمان سیستم های ترکیبی می باشند. روش های مختلفی برای خنک کردن کلکتورهای ترکیبی بیان شده است. مقایسه این روش ها نشان می دهد که بهترین مدل، طراحی حلزونی با راندمان حرارتی ۵۰/۱۲٪ و راندمان الکتریکی ۱۱/۹۸٪ است. استفاده از شیشه شفاف در سلول های خورشیدی ترکیبی، راندمان حرارتی بالاتری نسبت به استفاده از شیشه های مات دارد ولی راندمان الکتریکی به دلیل وجود نور زیاد کاهش می یابد، راندمان کلکتورهای ترکیبی با پوشش شفاف به میزان ۱۳/۳۶٪ و با پوشش مات، ۱۱/۹۲٪ افزایش می یابد. فاصله بین پوشش مواد و سلول فتوولتایی باید به حداقل برسد تا از خواص عایق در هوا جلوگیری کند. این فاصله باید به اندازه ۱۵ تا ۴۰ میلی متر باشد.

کلیدواژه ها: فتوولتاییک، طبقه بندی، صفحه های جاذب خورشیدی، کلکتور ترکیبی، سلول خورشیدی



Comparison of Solar PV/T Panels In Terms of Design and Performance

Fariborz Jahanshah¹, Ali Hashemi², Farhad Jahanshah^{3*}

1- Power and Energy Department, Institute Of Energy and Hydro Technology, Tehran, Iran.

2- Technical and Vocational University (TVU), Technical Faculty of Mohajer Branch, Isfahan, Iran.

3- Mechanical Department, Islamic Azad University Majlesi Branch, Isfahan, Iran.

* P.O.B. 8163668671 Isfahan, Iran, farhad.jahanshah@gmail.com

Abstract:

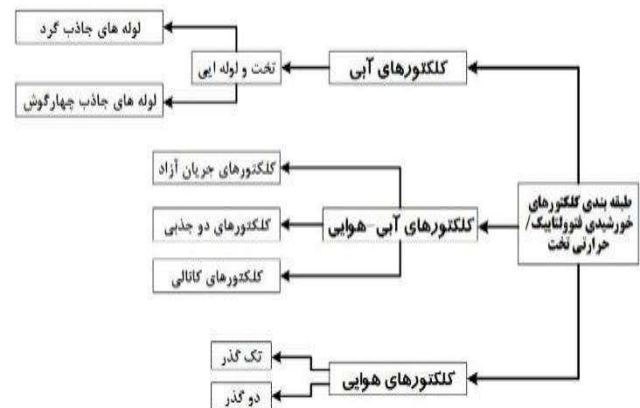
The photovoltaic/thermal (PV/T) panels are designed in order to perform the total efficiency by recovery the heat during the electricity production. In this paper we have a review on PV/T panel designs. The six new designs are compared and for each model investigate the flow plane and cooling fluid. The study shows the efficiency are effected by some important parameters such as, collector covered, the number of passes and the gap between the absorber collector and the solar cells model. The electrical efficiency is improved by cooling the solar panels. So there are methods for cooling combinations panels. Comparison shows spiral flow design model with 50.12% heat efficiency and 11.98% electrical efficiency are good enough to use. The application of glazed glass in panels increase heat efficiency more than unglazed glass but the electrical efficiency is reversed. The total efficiency of panels with glazed and unglazed glasses is 13.36% and 11.92% respectively. The gap between solar cells and material need to minimize to prevent heat escape, so the optimum is 15mm to 40mm.

Keywords: Photovoltaic, Classify, Solar Absorber plates, Combination collector, Solar cell



کلکتور ترکیبی اولین بار توسط ولف^۵ در سال ۱۹۷۶ با یک ترکیب پانل فتوولتائیک و سیستم گرمکن آبی مطرح و معرفی شد. مفهوم اصلی کلکتورهای ترکیبی در سال ۱۹۷۸ بوسیله کرن و راسل^۶ توسعه داده شد. در سال ۱۹۷۹ توسط هندری^۷ یک مدل تحلیلی و تجربی برای ترکیب کلکتورهای ترکیبی هوایی/آبی ارائه شد. دو سال بعد راغورامان^۸ دو مدل مجزا از یکدیگر را برای تشریح حرارت و کیفیت الکتریسته به یک مدل برای کلکتورهای ترکیبی هوایی/آبی تبدیل کرد^[۵]. در سال ۲۰۱۲ سیدیکیو^۹ اثر تماس حرارتی را با توجه به رنج مقاومت تماس که از ۰/۰۵ درجه سانتیگراد تا ۰/۰۵ درجه سانتیگراد است مورد بررسی قرار داد و نشان داد برای آنکه تماس ایده‌آل داشته باشیم باید بیشترین تماس در محل‌های مقاوم در نظر گرفته شود که با این کار افزایش دمای سلول فتوولتائیک تا حدود ۱۸ درجه سانتیگراد می‌شود. نتیجه آن پژوهش نشان داد راندمان سلول در حدود ۲٪ کاهش و ۱۹٪ از راندمان الکتریکی به علت مقاومت در محل تماس از دست می‌رود^[۶]. تئو^{۱۰} در سال ۲۰۱۲ در طی آزمایشی با استفاده از کلکتور خورشیدی در سیستم فتوولتائیک به این نتیجه رسید که راندمان الکتریکی پانل از ۶/۸٪ به ۱۲/۵٪ افزایش پیدا می‌کند^[۷]. بعداً با مدل عددی توسعه یافته که توسط سیدیکیو و زوبیر^{۱۱} در سال ۲۰۱۷ برای کلکتورهای ترکیبی در شرایط آب و هوایی بدست آمد نشان داد که راندمان سیستم‌های ترکیبی هم بستگی به میزان تابش خورشید و هم بستگی به شرایط دمای محیط دارد^[۸]. یکی دیگر از مزیت‌های کلکتورهای ترکیبی هزینه تولید آنهاست. بررسی‌های فرانک^{۱۲} در یونان نشان داد که در سیستم‌های ترکیبی زمان بازپرداخت هزینه‌ها برای ماژول‌های C-Si برابر ۱۰ سال و برای ماژول‌های a-Si برابر ۶ سال می‌باشد^[۹]. زونداگ^{۱۳} و همکارانش انواع صفحات جذب ترکیبی را مطابق شکل ۲ به چهار گروه تقسیم کردند: (الف) ورق و لوله، (ب) کانل، (ج) جریان آزاد، (د) کلکتورهای دو جذبی^[۱۰]. این کلکتورها را می‌توان با استفاده از الگوی جریان هوا یا آب درون آنها نیز تقسیم‌بندی کرد. در نوع کلکتور ترکیبی آبی، الگوی جریان آب و برای نوع کلکتورهای ترکیبی هوایی، الگوی حرکتی هوا در بالا، زیر و یا دو طرف کلکتور انجام می‌گیرد.

امروزه استفاده از انرژی‌های پاک گسترش چشمگیری داشته و با سرعت بالایی در حال رشد است. انرژی خورشیدی در بین انرژی‌های تجدید شونده جایگاه خاصی دارد. تبدیل انرژی خورشیدی به دو صورت تبدیل انرژی روشنایی به الکتریکی (فتوولتائیک) و تبدیل آن به حرارت به صورت غیر مستقیم استفاده می‌شود. راندمان سلول‌های خورشیدی تجاری دارای محدودیت می‌باشد. این راندمان در پانل‌های خورشیدی تجاری امروزه به حدود ۱۸٪ رسیده است. این محدودیت به این معنی است که تقریباً ۸۰٪ از انرژی خورشیدی قابل تبدیل نبوده و در محیط اطراف به صورت حرارت و گرم شدن پانل اتلاف می‌گردد^[۱]. براساس فعالیت و طرح‌های نوین افزایش راندمان پانل‌های خورشیدی، استفاده همزمان از تبدیل نور به الکتریسته و حرارت، می‌تواند مقدار قابل توجهی به راندمان کل سیستم اضافه نماید. این سیستم‌ها تحت عنوان سیستم‌های ترکیبی فتوولتائیک/حرارتی شناخته شده‌اند. براساس نظر هوفمن^۱ سیستم‌های ترکیبی فتوولتائیک/حرارتی از این جهت جزء رده سیستم‌های انرژی خورشیدی فتوولتائیک قرار می‌گیرد که هر دو سیستم خورشیدی حرارتی و خورشیدی برقی را با یکدیگر ترکیب می‌کند، به همین دلیل به آن سیستم ترکیبی خورشیدی فتوولتائیک/حرارتی می‌گویند^[۲]. براساس کارهای زونداگ^۳ و پراکاش^۴ سیستم خورشیدی فتوولتائیک/حرارتی را می‌توان به دو بخش جداگانه تقسیم کرد: تکنولوژی فتوولتائیک که از تکنولوژی سلول‌های خورشیدی گرفته شده و نور را به الکتریسته تبدیل می‌کند و تکنولوژی حرارتی خورشیدی که از کلکتورهای حرارتی به دست می‌آید و انرژی خورشیدی را به گرما تبدیل می‌کند^[۳،۴]. در این راستا الگوهای متفاوتی برای افزایش راندمان این سیستم‌ها پیشنهاد گردیده است. در مطالعه این سیستم‌ها جهت تسلط بر موضوع و نظم در تحقیق لازم است که مجموعه فعالیت‌های انجام گرفته در طرح‌های مختلف طبقه بندی گردند. هدف این مقاله، مقایسه عملکرد طرح‌های متفاوت سیستم‌های خورشیدی ترکیبی و بررسی ساز و کار آنها می‌باشد. در شکل ۱ طبقه بندی انجام گرفته روی این سیستم‌ها نشان داده شده است.



1. Photovoltaic/thermal
2. Hoffmann
3. Zondag
4. Prakash

5. Wolf
6. Kern & Russell
7. Hendrie
8. Raghuraman
9. Siddiqui
10. Teo
11. Siddiqui & Zubair
12. Frank
13. Zondag



عکس کردن ولتاژ، جریان از طریق مواد تائیری بر روی پمپ حرارتی می‌گذارد، به طوری که یک سمت را خنک و سمت دیگر را گرم می‌کند [۱۴].

۳-۱-۲- لوله‌های حرارتی

لوله‌های حرارتی به‌گونه‌ای است که انتقال گرما از یک منبع به روش تبخیر و تراکم مایع صورت می‌گیرد. لوله‌های حرارتی، مکانیزمی برای انتقال حرارت می‌باشد که می‌تواند گرما را از فاصله‌های طولانی منتقل کرده و انتظار می‌رود دمای آنها کاهش پیدا کند. این روش برای پانل‌های فتولتائیک متمرکز^۲ استفاده می‌گردد.

۴-۱-۲- تغییر فاز مواد

تغییر فاز مواد^۳ براساس پارامترهای مختلف به ویژه بر مبنای دمای ذوب یا انتقال فاز و ترکیب مواد تعیین می‌شود. دمای ذوب تغییر فاز مواد به دو محدوده تقسیم می‌شود، دمای ذوب پایین که کمتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد است و دمای ذوب بالا که بیشتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد است.

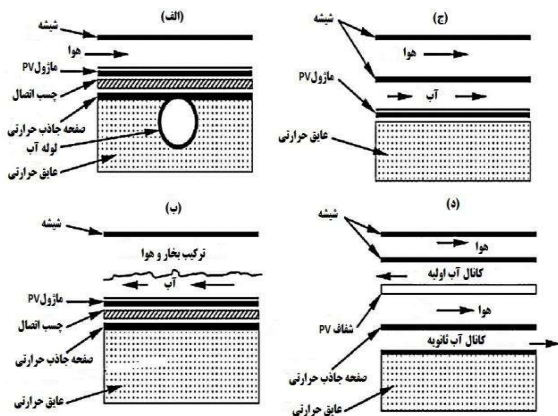
۲-۲- اجزای مختلف کلکتورهای ترکیبی

۱-۲-۲- پوشش شفاف

استفاده از تعدادی پوشش شفاف در مونتاژ ورق و لوله توسط فوجی سوا^۴ مطرح گردید و سپس توسط چند محقق دیگر مورد بررسی قرار گرفته است [۱۵]. فرایس^۵ در سال ۲۰۰۷ به این نتیجه رسید که استفاده از شیشه شفاف در سلول‌های خورشیدی ترکیبی، راندمان حرارتی بالاتری نسبت به استفاده از شیشه‌های مات دارد ولی راندمان الکتریکی به دلیل وجود نور زیاد و اضافی کاهش پیدا می‌کند [۱۶]. موریتا^۶ مشخص کرد که راندمان کلکتورهای ترکیبی با دمای حداکثری ۸۳/۶ درجه سانتیگراد با پوشش شفاف، ۱۳/۳۶٪ افزایش و با دمای حداکثری ۳۸/۸ درجه سانتیگراد با پوشش مات، ۱۱/۹۲٪ افزایش پیدا می‌کند [۱۷]. اولین تحلیل نشان داد اگر حرارت یا کل انرژی تولیدی حداکثر شود در آن حالت طراحی پوشش شفاف همیشه مناسب‌تر خواهد بود. گرچه تجزیه و تحلیل‌های انجام شده نشان داده بود که عامل بسته‌بندی و جرم آب و سرعت باد برای بالا بردن راندمان موثر است، ولی برای سیستم‌هایی با پوشش شفاف افزایش تابش خورشید و دمای محیط بیشتر نقش خواهد داشت. برای انتخاب جنس پوشش سلول‌های فتولتائیک می‌توان از مواد سبک‌تر دیگری مانند پلی‌کربنات^۷، پلی‌متیل متاکریلات^۸، پلی‌وینیل فلوراید^۹ به جای شیشه استفاده کرد، با این حال استفاده از شیشه بخاطر خواص نوری خوب، مقاومت در برابر امواج فرابنفش^{۱۰} و مقاوم در برابر درجه حرارت بالا بهترین گزینه بوده است. در تحقیقی که آسته^{۱۱} در سال ۲۰۱۴ انجام داده است به این نتیجه رسید که فاصله بین پوشش مواد و سلول فتولتائیک باید به اندازه کافی کم باشد تا از خواص عایقی هوا جلوگیری شود و به طور کلی این فاصله باید به اندازه ۱۵ تا ۴۰ میلی‌متر باشد [۱۸].

۲-۲-۲- ماژول‌های فتولتائیک

در ماژول‌های فتولتائیک برای جذب‌های حرارتی از پوشش EVA بر روی سلول استفاده می‌شود با این وجود مشکلات خاصی بین پوشش و ماژول



شکل ۲ طبقه بندی انواع کلکتورهای ترکیبی

ماژول فتولتائیک می‌تواند مات یا شفاف و یا بصورت جداگانه دارای جذب حرارت در زیر کانال باشد. برای کاهش مقاومت در برابر فشار آب در کانال‌ها بهتر است کانال به صورت گسترده و پهن ساخته شود، که در این صورت از نوع ساختار جعبه‌ای برای کانال استفاده می‌گردد. در این ساختار کانال جذب مربع شکل با گرانول‌های سرامیکی پر می‌شود که این کار باعث بهبود انتقال حرارت به سیال می‌گردد. اخیراً بیشتر از این نوع جذب‌ها در کلکتورهای ترکیبی استفاده می‌شود [۱۱]. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده پانل دارای دو جذب است که به‌طور خاص ترکیبی از کانال و جریان سیال است. ورق شفاف فتولتائیک بعنوان یک جذب اولیه در زیر کانال آب استفاده می‌شود و صفحه فلزی به عنوان جذب ثانویه در سلول فتولتائیک نصب شده است که هوا را از کانال آب جدا می‌کند. عبور آب از طریق کانال بالایی و پایینی صورت می‌گیرد. این طراحی بازده حرارتی بالایی دارد [۱۲].

۲- پارامترهای مهم و موثر در طراحی صفحات جذب ترکیبی

و بررسی کارایی آنها

۱-۲-۱- خنک‌سازی کلکتورهای ترکیبی

راندمان الکتریکی سلول‌های فتولتائیک با خنک‌کردن افزایش و بهبود می‌یابد. ساهای^۱ در سال ۲۰۱۳ روش‌های مختلفی را برای خنک‌کردن کلکتورهای ترکیبی بررسی کرده است. از آن جمله سیستم خنک‌سازی میکروکانال، سیستم خنک‌سازی ترموالکتریک، سیستم خنک‌سازی لوله حرارتی، سیستم خنک‌سازی لایه آب و سیستم خنک‌کاری تغییر فاز می‌باشند [۱۳].

۱-۲-۱- میکرو کانال‌ها

میکرو کانال گرم‌ترین محفظه در مبدل‌هاست، این سیستم دارای کانال‌هایی با قطر کمتر از یک میلی‌متر است که اغلب در خنک‌کننده‌های الکترونیکی استفاده می‌شود. کانال‌ها را می‌توان در پشت قطعات و مدارهای الکتریکی ماشین‌کاری کرد تا گرمای تولید شده توسط اجزای الکترونیکی را توسط جابجایی اجباری به سمت خنک‌کننده منتقل کند.

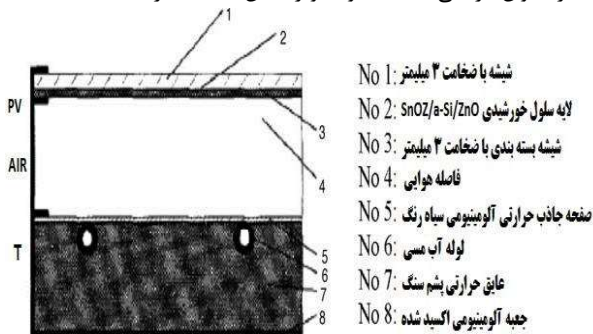
۲-۱-۲- سیستم‌های خنک‌سازی ترمو الکتریک

سیستم خنک‌سازی ترموالکتریک براساس دستگاه ترموالکتریک و دستگاه‌هایی که از دو نیمه تشکیل شده بوجود آمده است که مشتمل بر دو نوع N و P می‌باشد. هنگامی که یک گرادیان دما وجود دارد اکثر حامل‌ها از سمت گرم به سمت سرد پخش می‌شوند و ولتاژ و جریان را تنظیم می‌کند. در اثر

1. Sahay

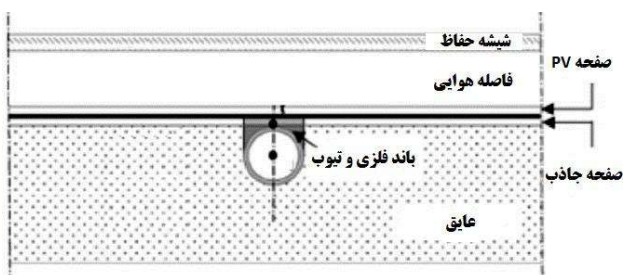
2. Concentrator Photovoltaic Panels
3. Phase Changing Materials
4. Fujisawa
5. Fraiese
6. Morita
7. Polycarbonate
8. Polymethyl-Methacrylate
9. Polyvinyl Fluoride
10. UV
11. Aste

نازک α -Si ابتدا توسط استیلر^۳ و همکارانش صورت گرفت که حاکی از کاهش هزینه‌ها بود. آنان مطابق شکل ۴ از یک لوله مسی با ورقه و پره استفاده کردند. این کار باعث شد راندمان گرمایی ۳۲/۵٪ حفظ شود. آزمایش آنها نشان داد که کلکتورهای جذب حرارت در دمای میانگین ۵۲ درجه سانتیگراد توان گرمایی ۱۱۷/۲۵ وات و راندمان ۱۸/۶٪ دارند [۲۴].



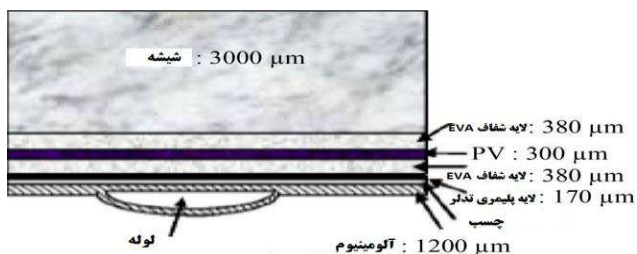
شکل ۴ سطح مقطع مازول سلول خورشیدی لایه نازک α-Si در ترکیب با کلکتور ترکیبی

چو^۴ با یک مدل دینامیکی برای طراحی مشابه نشان داد که راندمان پره و کیفیت اتصال میان کلکتور و ورقه‌ها در زیر پانل‌ها یک عامل مهم است و می‌تواند محدودیت‌هایی را برای راندمان کل ایجاد کند (شکل ۵) [۲۵].



شکل ۵ سطح مقطع کلکتور ترکیبی آبی تک شیشه‌ای

تکنولوژی ارزان قیمت رول باند که در آن از آلومینیوم استفاده می‌شود مخصوص لوله‌های توخالی (ورقه و لوله) است. قسمت میانی این طرح نقش سیستم مبدل حرارتی در زیر مازول فتولتائیک را ایفا می‌کند (شکل ۶) [۲۶].



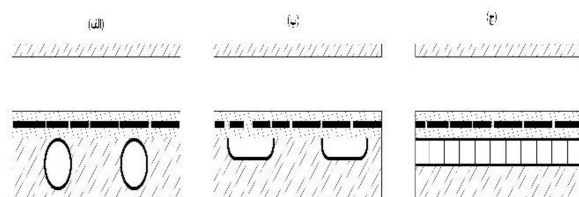
شکل ۶ سطح مقطع پانل‌های خورشیدی پلی کریستال سیلیکون همراه مبدل حرارتی

راندمان‌های جانبی سیستم‌های ترکیبی در بازافت گرمای آب در صنعت به-طور جامع و کامل توسط برنامه TRNSYS مورد بررسی قرار گرفته است. این برنامه شامل فرآیند صنعتی سیستم گرمایی می‌باشد که در دو دمای متفاوت

فتولتائیک وجود دارد. وجود اسیداستیک در دمای بالاتر از ۸۰ درجه سانتیگراد باعث تجزیه و تخریب سلول‌های فتولتائیک می‌شود بنابراین پوشش‌های معمولی فتولتائیک نمی‌تواند مقاومت بالایی (۱۸۰ تا ۱۲۰ درجه سانتیگراد) با پوشش شفاف داشته باشد. کلکتورهای ترکیبی برپایه پوشش فتولتائیک با ژل سیلوکسان^۱ در دانشگاه چک توسط ماتوسکا^۲ در حال بررسی می‌باشد. استفاده از ژل سیلوکسان به جای لایه EVA در کلکتورهای ترکیبی مزایایی از قبیل مقاومت در برابر حرارت، شفافیت بالا، سازگاری با تنش‌های گرمایی و انتقال حرارت دارد [۱۹].

۲-۳- ساختار صفحات جذب

وجود صفحات جذب در کلکتورهای ترکیبی از اجزا مهم محسوب می‌شود زیرا حرارت انرژی خورشیدی را انتقال می‌دهد. از محاسن صفحه‌های جذب هدایت حرارتی بالا آنها می‌باشد و به همین دلیل در صفحات ترکیبی آبی از صفحات جذب فلزی مانند مس و آلومینیوم استفاده شده و کمتر از فولاد استفاده می‌گردد. صفحه بالای سلول‌های فتولتائیک باید به طور کامل چسبندگی داشته باشد تا باعث افزایش انتقال گرما شود. معمول ترین روش برای جذب در سلول‌های ترکیبی آبی استفاده از ورق و لوله می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳ ساختار کلکتورهای خورشیدی (الف) ورق و لوله، (ب) رول باند، (ج) جعبه کانال

در ساختار رول باند از دو ورق آلومینیومی مانند ساندویچ استفاده شده که طی یک فرآیند گرم یا سرد می‌شود. کانال مورد نظر بر روی ورق داخلی را قبل از فشار بر ورق‌های آلومینیومی بوجود می‌آورند که این کار باعث انعطاف پذیری بیشتری برای انواع مختلف کانال‌ها شده و هزینه تولید آن را کاهش می‌دهد [۲۰]. ساختار کانال‌هایی با مقطع مستطیلی موازی توسط آلومینیوم و گاهی از مواد پلیمری ساخت می‌شود [۲۱].

۳- بررسی کلکتورهای سیستم‌های ترکیبی PV/T

۱-۳- بررسی کلکتورهای ترکیبی آبی

سلول‌های خورشیدی معمول تجاری حدود ۱۶٪ تا ۱۸٪ از انرژی خورشیدی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند و بقیه انرژی توسط انعکاس و یا نفوذ گرما به درون سلول‌های فتولتائیک از بین می‌رود. استفاده از بازتابنده‌ها، تقویت‌کننده و شیشه شفاف در سیستم ترکیبی آبی در سلول‌های pc-si باعث بهبود کلی در راندمان آنها می‌شود در حالی که راندمان حرارتی سیستم به ۷۹٪ و راندمان الکتریکی سیستم به ۸/۸٪ می‌رسد [۲۲].

طراحی ورق و لوله راحت‌ترین کار در تولید و ساخت این نوع سیستم‌ها است، در حالی که راندمان آن تنها ۲٪ از انواع دیگر کلکتورها پایین‌تر است [۲۳]. ساخت و آزمایش سیستم‌های ترکیبی با استفاده از سلول‌های لایه

3. Staebler
4. Chow

1. Siloxane
2. Matuska