بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

استفاده از لوله های گرمایی ترموسیفون به عنوان چاه حرارتی جهت خنک کردن صفحات فتوولتائی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد فراوری و انتقال گاز

میثم مرادقلی

اساتید راهنما

دکتر سید مصطفی نوعی

دکتر سید حسین نوعی

۱۳۹۱

سپاس خداوند متعال را که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگیست

در اینجا لازم می دانم از ستاد ویژه توسعه فناوری نانو که این پایان نامه را مشمول حمایت خود قرار دادند

و هم چنین زحمات و راهنمایی های استاد بزرگوارم **جناب آقای دکتر سید مصطفی نوعی**

تشکر و قدردانی نمایم

تقدیم به

پدر عزیز

و

مادر مهربانم

به خاطر زحمات بی دریغشان

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	۱
فصل اول : مقدمه	۲
فصل دوم : سیستم های فتوولتائیک و فتوولتائیک/حرارتی	
۲-۱ تاریخچه فتوولتائیک	۵
۲-۲ سیستم های فتوولتائیک	۶
۲-۳ انواع سلول های خورشیدی	۷
۲-۴ اساس کار سلول های خورشیدی	۷
۲-۵ مزایا و معایب سیستم های فتوولتائیک	۱۰
۲-۶ کاربردهای سیستم های فتوولتائیک	۱۱
۲-۷ اهمیت خنک کردن پانل های فتوولتائیک	۱۲
۲-۸ سیستم های فتوولتائیک/حرارتی	۱۳
فصل سوم : لوله های گرمایی و ترموسیفون ها	
۳-۱ مقدمه	۱۵
۳-۲ تاریخچه	۱۵
۳-۳ لوله های گرمایی	۱۶
۳-۴ خصوصیات لوله های گرمایی	۱۷
۳-۵ اجزای لوله های گرمایی	۱۷

۳-۶ اساس کار لوله های گرمایی ۲۱

۳-۷ محدودیت های لوله های گرمایی ۲۱

۳-۸ ترموسیفون ها ۲۳

۳-۹ کاربردهای لوله های گرمایی ۲۶

فصل چهارم : نانو سیال ها

۴-۱ مقدمه ۲۸

۴-۲ نانو سیال ها ۲۹

۴-۳ روش های تهیه نانو سیال ها ۳۰

۴-۴ روش های اندازه گیری ضریب هدایت گرمایی در نانو سیال ها ۳۱

۴-۵ کاربرد نانو سیال ها در لوله های گرمایی و ترموسیفون ها ۳۳

فصل پنجم : مروری بر مطالعات دیگران ۳۶

فصل ششم : شرح انجام آزمایش ها و نتایج

۶-۱ تئوری آزمایش ۳۹

۶-۲ ساختار سیستم فتوولتائیک/حرارتی ۴۱

۶-۳ شرح انجام آزمایش ها ۴۵

۶-۴ نتایج ۴۸

۶-۵ آنالیز خطا ۶۹

فصل هفتم : جمع بندی و پیشنهادات

۷-۲ جمع بندی ۷۰

۷-۳ پیشنهادات ۷۱

منابع ۷۳

چکیده

پانل های فتوولتائیک که متشکل از سلول های خورشیدی می باشند، انرژی تابشی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می-کنند. در سلول خورشیدی فقط بخشی از انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی تبدیل می شود و بیشتر انرژی تابشی خورشید به گرما تبدیل می شود، در نتیجه دمای سلول خورشیدی بالا می رود. دمای بالای سلول خورشیدی منجر به کاهش راندمان الکتریکی پانل می شود. محققین نشان داده اند که با خنک کردن پانل فتوولتائیک می توان دمای سلول های خورشیدی را کاهش داد، در نتیجه پانل فتوولتائیک می تواند توانی نزدیک به توان اسمی خود تولید نماید.

در این تحقیق یک سیستم فتوولتائیک/حرارتی ساخته شده از لوله های گرمایی (نوع ترموسیفون) جهت خنک کردن پانل فتوولتائیک استفاده شده است. از متانول و نانو سیال اکسید آلومینیوم/متانول به عنوان سیال عامل در ترموسیفون ها استفاده شده است. پس از تعیین زاویه شیب بهینه برای پانل های فتوولتائیک، متانول در نسبت های پر شدن متفاوت درون ترموسیفون ها ریخته شد. در نسبت پر شدن ۵۰ درصد که سیستم فتوولتائیک/حرارتی در مقایسه با سیستم فتوولتائیک انرژی الکتریکی و حرارتی بیشتری تولید نمود به عنوان بهترین نسبت پر شدن انتخاب شد. در نسبت پر شدن ۵۰ درصد سیستم فتوولتائیک/حرارتی در مقایسه با سیستم فتوولتائیک، ۵/۶۷ درصد توان بیشتری تولید نمود. در نسبت پر شدن ۵۰ درصد، نانو سیال اکسید آلومینیوم/متانول با غلظت های متفاوت به عنوان سیال عامل در ترموسیفون ها استفاده شد. نتایج تجربی نشان دادند که در صورت استفاده از نانو سیال اکسید آلومینیوم/متانول به جای متانول، راندمان الکتریکی و راندمان حرارتی سیستم فتوولتائیک/حرارتی افزایش می یابد. به طوریکه در غلظت ۱/۵ درصد سیستم فتوولتائیک/حرارتی در مقایسه با سیستم فتوولتائیک، ۷/۷ درصد توان بیشتری تولید نمود.

کلمات کلیدی : سیستم فتوولتائیک/حرارتی، خنک کردن پانل فتوولتائیک، ترموسیفون، نانو سیال

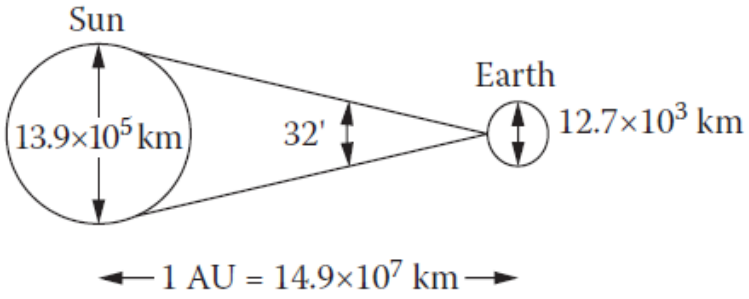
فصل اول

مقدمه

منابع انرژی به دو گروه منابع انرژی تجدید پذیر و منابع انرژی تجدید ناپذیرتقسیم می شوند. منابع انرژی تجدید پذیر می توانند به عنوان انرژی به دست آمده از جریان های مداوم و مکرر در محیط زیست طبیعی تعریف شوند. منابع انرژی تجدید پذیر شامل انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی زمین گرمایی و ... می-باشند، و منابع انرژی تجدید ناپذیر شامل سوخت های فسیلی مانند نفت و گاز طبیعی می باشند.

انرژی های تجدید پذیر یک جایگزین اصلی برای سوخت های فسیلی در سال های آینده خواهند بود. انرژی خورشیدی یکی از مهم ترین منابع انرژی تجدیدپذیر است.

خورشید کره ای به قطر $۱۳/۹\times۱۰^{۵}$ کیلومتر است و فاصله اش از کره زمین $۱۴/۹\times۱۰^{۷}$ کیلومتر می باشد، که این فاصله به عنوان یک واحد نجومی (AU) تعریف می گردد. رابطه هندسی بین زمین و خورشید در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ رابطه هندسی بین زمین و خورشید

در واقع خورشید یک راکتور هسته ای است. منبع انرژی خورشیدی فعل و انفعالات هسته ای در هسته خورشید است. مهم ترین واکنش های گداخت که تامین کننده انرژی خورشید است ترکیب اتم های هیدروژن (چهار پروتون) و تشکیل هلیوم (دارای یک هسته) است. جرم هر هسته هلیوم مقداری کمتر از مجموع چهار پروتون است و بنابراین تفاوت این جرم ها به انرژی تبدیل می شود. انرژی خورشیدی توسط امواج الکترومغناطیسی به زمین منتقل می شود [۱]. انرژی خورشیدی، انرژی ای است که باعث برقرای حیات بر روی زمین برای همه گیاهان، حیوانات و مردم می شود.

کاربردهای عمده انرژی خورشیدی به دو دسته طبقه بندی می شوند : سیستم های گرمایش خورشیدی و سیستم های فتوولتائیک.

سیستم های گرمایش خورشیدی انرژی تابشی خورشید را به انرژی گرمایی تبدیل می کنند.

پانل های فتوولتائیک[1] که متشکل از سلول های خورشیدی می باشند، اصلی ترین بخش سیستم های فتوولتائیک می باشند که انرژی تابشی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند.

در سلول های خورشیدی فقط بخشی از انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی تبدیل می شود و بیشتر انرژی تابشی خورشید به گرما تبدیل می شود، در نتیجه دمای سلول های خورشیدی بالا می روند. دمای بالای سلول های خورشیدی منجر به کاهش راندمان الکتریکی پانل می شود. در فصول گرم و در حوالی ظهر که بیشترین تابش خورشیدی را داریم پانل های فتوولتائیک حتی نصف توان اسمی خود را نیز تولید نمی کنند. محققین نشان داده اند که با خنک کردن پانل های فتوولتائیک می توان دمای سلول های خورشیدی را کاهش داد، در نتیجه ی این کار پانل های فتوولتائیک می توانند توانی نزدیک به توان اسمی

[1] Photovoltaic Panels

خود تولید نمایند. بنابر این خنک کردن پانل های فتوولتائیک از اهمیت اساسی برخوردار می باشد. با توجه به اهمیت موضوع، محققین زیادی روی این زمینه کار کرده اند. از هوا، آب و لوله های گرمایی برای خنک کردن پانل های فتوولتائیک استفاده شده است.

هدف اصلی این تحقیق خنک کردن پانل فتوولتائیک می باشد. در این تحقیق یک سیستم فتوولتائیک/حرارتی ساخته شده که برای اولین بار از ترموسیفون ها که یکی از انواع لوله های گرمایی می-باشند، جهت خنک کردن پانل فتوولتائیک استفاده شده، و از متانول و نانو سیال متانول/Al_2O_3 به عنوان سیال عامل در ترموسیفون ها استفاده شده است.

بنابراین در فصل دوم این تحقیق، سیستم های فتوولتائیک و سیستم های فتوولتائیک/حرارتی بررسی شده-اند. در فصل سوم لوله های گرمایی و ترموسیفون ها شرح داده شده اند. در فصل چهارم نانو سیال ها و تکنیک های تهیه آن ها شرح داده شده اند. در فصل پنجم که عنوانش مروری بر مطالعات دیگران می باشد، تاریخچه ای از کارهای انجام شده برای خنک کردن پانل فتوولتائیک جمع آوری شده است. در فصل ششم شرح انجام آزمایش ها و نتایج آورده شده است. فصل هفتم به جمع بندی و پیشنهادات برای بهبود و ادامه کار اختصاص داده شده است.

فصل دوم

سیستم های فتوولتائیک و فتوولتائیک/حرارتی

۲-۱ تاریخچه فتوولتائیک

تاریخ فتوولتائیک در سال ۱۸۳۹ شروع شد، هنگامی که الکساندر ادموند بکرل[۲] [۲]، فیزیکدان فرانسوی مشاهده کرد که جریان هایی الکتریکی از بعضی واکنش های شیمیایی ناشی از نور بوجود آمد. در ادامه در دو بخش تکنولوژی و کاربردی تاریخچه ای مختصر از فتوولتائیک ارائه می شود.

۲-۱-۱ تکنولوژی

اولین دستگاه فتوولتائیک توسط فریتس[۳] در سال ۱۸۸۳ ساخته شد. دوران مدرن فتوولتائیک ها در سال ۱۹۵۴ آغاز شد.

[2] Alexandre-Edmund Becquerel
[3] Fritts

نخستین سلول خورشیدی سیلیکونی، در سال ۱۹۵۴ در آزمایشگاه های بل[4] در ایالات متحده، توسط چاپین[5] و همکاران ابداع شد. چاپین و همکارانش به طور تصادفی پی بردند که وقتی چراغ های اتاق روشن است، دیودهای پیوند p-n تولید یک ولتاژ می کنند [۳].

۲-۱-۲ کاربردی

نیاز به فراهم کردن توان برای وسایل نقلیه فضایی نقطه عالی ورود برای راه اندازی سلول های خورشیدی در اواخر دهه ۱۹۵۰ بود. در سال ۱۹۵۸، ۱۰۸ سلول خورشیدی برای تامین توان ماهواره در مدار قرار داده شدند. آنها توانی بیشتر از حد انتظار را برای ماهواره فراهم کردند [۴].

۲-۲ سیستم های فتوولتائیک

به پدیده ای که در اثر تابش نور خورشید، بدون استفاده از سازوکار های مکانیکی الکتریسیته تولید کند، پدیده فتوولتائیک گویند. هر سیستمی که از این خاصیت استفاده نماید را سیستم فتوولتائیک گویند.

بخش های اصلی سیستم های فتوولتائیک عبارتند از :

- پانل های فتوولتائیک :

به مجموعه ای از سلول های خورشیدی که در کنار یکدیگر به صورت سری و موازی قرار گرفته-اند، پانل فتوولتائیک گویند. این بخش مبدل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی می باشد. پانل های فتوولتائیک جریان الکتریکی مستقیم (DC) تولید می کنند.

- بخش واسطه :

این بخش که شامل باتری (برای ذخیره سازی انرژی الکتریکی تولید شده)، کنترل کننده شارژ باتری، اینورتر (برای تبدیل جریان الکتریکی مستقیم به جریان الکتریکی متناوب) و ... می باشد، انرژی الکتریکی حاصل از پانل های فتوولتائیک را متناسب با نیاز مصرف کننده کنترل و القا می-کند.

- مصرف کننده :

کلیه مصرف کنندگان الکتریکی (DC و AC) را متناسب با نیاز مصرف شامل می گردد.

---

[4] Bell
[5] Chapin

۲-۳ انواع سلول های خورشیدی

همه سلول های خورشیدی به یک ماده جاذب نور در داخل ساختار سلول ، برای جذب فوتون ها و تولید الکترون ها و حفره ها از طریق اثر فتوولتائیک نیاز دارند. بر این اساس سلول های خورشیدی به انواع گوناگونی تقسیم می شوند که به برخی از آن ها اشاره می گردد :

۲-۳-۱ سلول های خورشیدی سیلیکونی

غیر از اکسیژن، سیلیکون فراوان ترین عنصر موجود در سطح زمین است [۴]. سلول های خورشیدی سیلیکونی کریستالی بیشتر از ۸۵ درصد بازار فتوولتائیک امروز را تشکیل داده اند [۳]. سلول های خورشیدی سیلیکونی شامل سلول های خورشیدی سیلیکونی آمورف و سلول های خورشیدی سیلیکونی کریستالی می-باشند.

سلول ها ی خورشیدی سیلیکونی کریستالی به دو بخش سلول های خورشیدی سیلیکونی تک کریستالی و سلول های خورشیدی سیلیکونی چند کریستالی تقسیم می شوند.

۲-۳-۲ سلول های خورشیدی آلی و پلیمری

سلول های خورشیدی آلی و پلیمری از لایه های نازک نیمه هادی های آلی ساخته شده اند، و بیشترین راندمان آن ها ۴ تا ۵ درصد می باشد.

۲-۳-۳ سلول های خورشیدی لایه نازک

سلول های خورشیدی لایه نازک اساسا از لایه های نازک مواد نیمه هادی استفاده می کنند. سلول های لایه نازک تا حد زیادی مقدار مورد نیاز از مواد نیمه هادی را برای هر سلول کاهش می دهند، و در مقایسه با سلول های سیلیکونی هزینه تولید سلول های فتوولتائیک را کاهش می دهند [۵].

۲-۴ اساس کار سلول های خورشیدی

۲-۴-۱ مقدمه

مواد شناخته شده عبارتند از :

رساناها با رسانایی الکتریکی بزرگتر از $10^{4}\ (\Omega cm)^{-1}$؛

نیمه هادی ها با رسانایی الکتریکی بین 10^{-8} تا $10^{4}\ (\Omega cm)^{-1}$؛

نارساناها (عایق ها) با رسانایی الکتریکی کمتر از $10^{-8}\ (\Omega cm)^{-1}$.

نیمه هادی ها جامد، و مانند فلزات، رسانایی الکتریکی آنها بر اساس الکترونهای متحرک است. قابلیت هدایت نیمه هادی های خالص با افزایش دما زیاد می شود [۴].

۲-۴-۲ ساختار سلول خورشیدی

بیشتر سلول های خورشیدی رایج اساسا دیودهای پیوند p-n بزرگی هستند که با استفاده از انرژی نور (فوتونها) الکتریسیته تولید می کنند. دیود یک قطعه الکترونیکی است که اجازه عبور جریان را از یک طرف می دهد. سلول خورشیدی با داشتن لایه های n و p، که یک پیوند را تشکیل می دهند ساخته شده است. پیوند p-n توسط ترکیب ناخالص شده مواد نیمه هادی مثل سیلیسیوم تشکیل شده است [۱]. نیمه هادی ها ظرفیت جذب نور و تحویل بخشی از انرژی فوتون های جذب شده به حامل های جریان الکتریکی الکترون-ها و حفره ها را دارند. بنابراین، یک سلول خورشیدی یک دیود نیمه هادی است که با دقت طراحی و ساخته شده برای جذب و تبدیل انرژی نور خورشید به انرژی الکتریکی [۳].

۲-۴-۳ نحوه تولید انرژی الکتریکی در یک سلول خورشیدی

تبدیل انرژی نور خورشید به انرژی الکتریکی در یک سلول خورشیدی متشکل از دو مرحله اصلی است. مرحله اول : جذب نور از یک طول موج مناسب و مرحله دوم : تولید یک زوج الکترون و حفره.

مرحله اول : جذب نور از یک طول موج مناسب

جذب نور اشاره به جذب فوتون ها دارد. الکترونها توسط فوتون ها از باند ظرفیت به باند هدایت پمپ می-شوند.

مرحله دوم : تولید جفت های الکترون و حفره

شرط تولید یک جفت الکترون و حفره، این است که انرژی فوتون تابشی بیشتر از انرژی شکاف بین باندها باشد. یعنی

$$h\vartheta > E_g$$

h : ثابت پلانک

ϑ : فرکانس موج نور، که ϑ از رابطه زیر بدست می آید

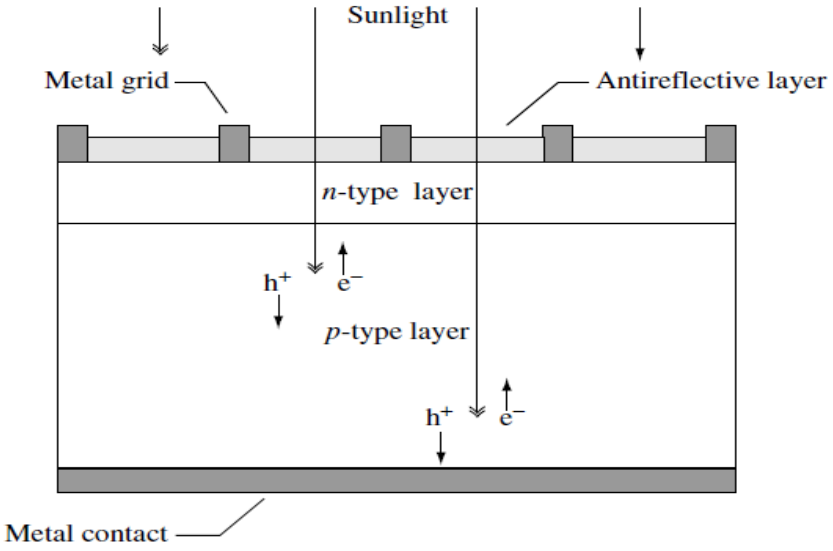
$$\vartheta = \frac{c}{\lambda}$$

c : سرعت نور

λ : طول موج نور

فوتون هایی با انرژی کمتر از انرژی شکاف بین باندها توسط نیمه هادی جذب نمی شوند و نمی توانند جفت الکترون حفره تولید کنند [۶].

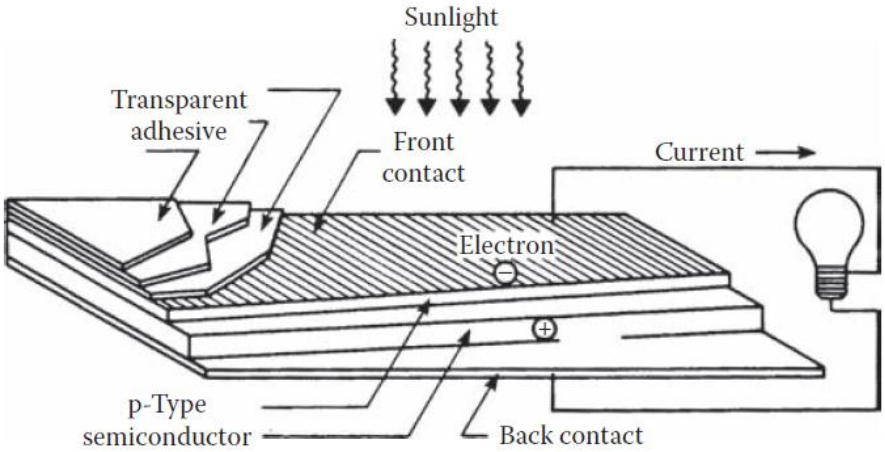
تولید جفت های الکترون و حفره در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱ ایجاد جفت های الکترون (e^-) و حفره (h^+) [۳]

این الکترون ها و حفره ها در خلاف جهت یکدیگر به سمت یک پیوند پخش می شوند. این پیوند یک پیوند pn می باشد، که در آن یک میدان الکتریکی درونی قوی وجود دارد. الکترون ها و حفره ها توسط این میدان الکتریکی از یکدیگر جدا می شوند و سبب تشکیل ولتاژ و جریان الکتریکی در مدار خروجی می-شوند [۷].

در شکل ۲-۲ به مجرد جذب فوتون های نور، حامل های بار الکتریکی مثبت و منفی در یک نیمه هادی تولید می شوند. این حامل ها، هنگامی که توسط یک پیوند pn جمع آوری شدند سبب تشکیل یک جریان الکتریکی در یک مدار خارجی می شوند.



شکل ۲-۲ استفاده از جریان الکتریکی حاصل از یک سلول خورشیدی برای روشن کردن یک لامپ [۱]

۲-۵ مزایا و معایب سیستم های فتوولتائیک

مزایای سیستم های فتوولتائیک عبارتند از :

- منبع انرژی (خورشید)، رایگان، در همه جا موجود و پایان ناپذیر است،
- تبدیل مستقیم تابش خورشیدی به الکتریسیته،
- فتوولتائیک یک منبع انرژی بسیار انعطاف پذیر است، محدوده توان آن از میکرو وات تا مگا وات می باشد،
- بدون قطعات متحرک مکانیکی، بدون سر و صدا،
- بدون آلودگی،
- بدون تولید گازهای گلخانه ای،
- هزینه های عملیاتی پایین،

- بدون خوردگی در دماهای بالا،
- طول عمر بالا (بیشتر از بیست سال)،
- نصب سریع،
- می توانند نزدیک به نقطه استفاده نصب گردند،
- ایمنی عالی.

معایب سیستم های فتوولتائیک عبارتند از :

- هزینه های نصب بالا،
- عدم ذخیره سازی انرژی [۳-۴].

۲-۶ کاربردهای سیستم های فتوولتائیک

- سیستم های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان (BIPV) :

سیستم های فتوولتائیک را می توان در ساختمان ها با بام ها، پنجره های سقفی، نماها، سایبان ها و غیره ادغام و یکپارچه نمود. مهم ترین عواملی که باید در طراحی سیستم های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان در نظر گرفت عبارتند از جهت و شیب بهینه پانل های فتوولتائیک و تاثیر سایه اندازها بر پانل های فتوولتائیک؛

- فتوولتائیک در حمل و نقل :

فتوولتائیک به طور فزاینده ای برای تامین توان کمکی در قایق ها و اتومبیل ها استفاده می شود؛

- فتوولتائیک در دستگاه های مستقل :

فتوولتائیک برای تامین توان ماشین حساب ها استفاده می شود. فتوولتائیک در تامین برق علایم راهنمایی و رانندگی درون شهری و برون شهری استفاده می شود؛

- فتوولتائیک در کشاورزی :

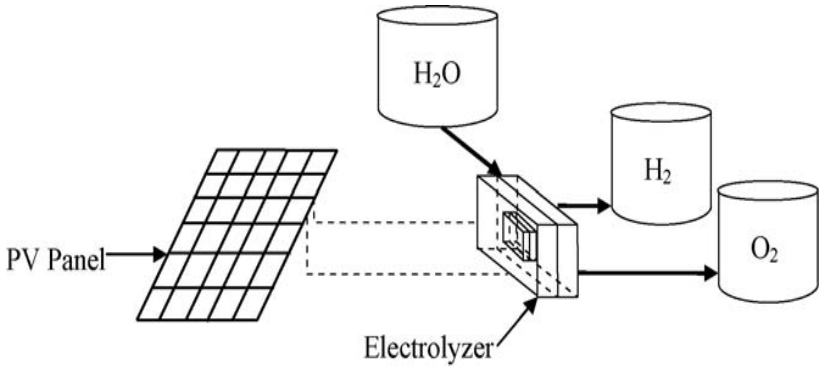
سیستم های فتوولتائیک به طور موثری در سراسر جهان به منظور پمپاژ آب برای دام ها، گیاهان و انسان ها استفاده می شوند؛

- روشنایی خورشیدی :

روشنایی خورشیدی بیشترین کاربرد سیستم های فتوولتائیک را در دنیا دارد، مانند کاربرد در چراغ-های خیابان؛

- یخچال های نگه داری دارو در نقاط دور دست؛
- استفاده از سیستمهای فتوولتائیک جهت تامین برق ایستگاه های تلویزیونی؛
- کاربرد در فضاپیما؛
- تولید هیدروژن :

پانل های فتوولتائیک می توانند برای تولید هیدروژن توسط الکترولیز آب با استفاده از برق تولید شده توسط آن ها مورد استفاده قرار گیرند. همان طور که در شکل ۲-۳ مشاهده می شود، محصول نهایی الکترولیز اکسیژن نیز می باشد [۸-۹].

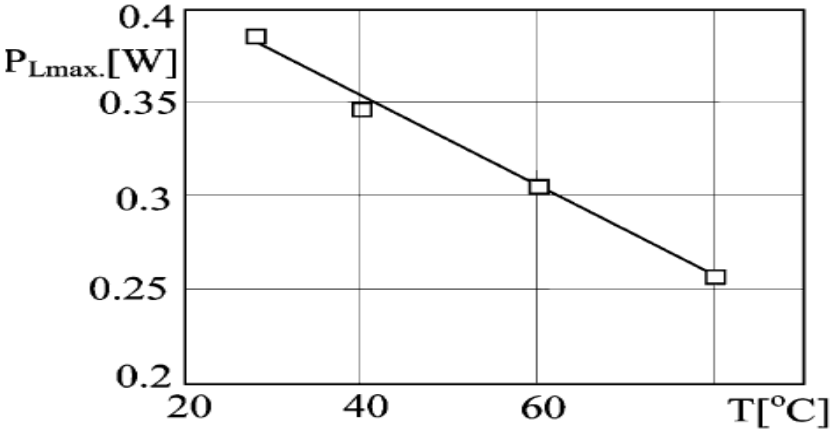


شکل ۲-۳ سیستم تولید هیدروژن فتوولتائیک [۹]

۲-۷ اهمیت خنک کردن پانل های فتوولتائیک

پانل فتوولتائیک ۷ تا ۲۲ درصد انرژی نور خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. حدود ۵۵ درصد از انرژی نور خورشید را نمی توانند استفاده کنند [۱]. در سلول های خورشیدی بیشتر تابش خورشید به گرما تبدیل می شود، که منجر به بالا رفتن دمای سلول های خورشیدی و در نتیجه کاهش راندمان الکتریکی پانل، به دلیل افت ولتاژ می شود. رادزیم اسکا[6] [۶]، به صورت تجربی نشان داد که با افزایش دمای پانل، توان بیشینه خروجی کاهش می یابد. این مطلب در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. با توجه به نمودار، به ازای $۲۰^{\circ}C$ افزایش دما، توان بیشینه خروجی تقریبا ۰/۰۵ کاهش می یابد.

[6] Radziemska



شکل ۲-۴ نمودار توان بیشینه خروجی پانل بر حسب دما

هم چنین ونگ[۷] و همکاران [۱۰]، نشان دادند که افزایش دما به میزان یک کلوین باعث کاهش راندمان الکتریکی به میزان ۰/۲ تا ۰/۵ درصد می شود. علاوه بر این، افزایش دما در دراز مدت طول عمر سلول ها را کوتاه می کند. بنابراین، خنک کردن سلول های خورشیدی پانل های فتوولتائیک اهمیت اساسی دارد.

۲-۸ سیستم های فتوولتائیک/حرارتی[۸]

مهم ترین تفاوت بین سیستم های گرمایش خورشیدی و سیستم های فتوولتائیک در این است که سیستم های گرمایش خورشیدی، گرما تولید می کنند و سیستم های فتوولتائیک، الکتریسیته تولید می کنند.

سیستم های ترکیبی فتوولتائیک/حرارتی (PV/T) به عنوان جایگزینی برای پانل های فتوولتائیک ساده در بسیاری از برنامه های کاربردی در نظر گرفته می شوند. سیستم فتوولتائیک/حرارتی سیستمی است که در آن پانل فتوولتائیک بکار رفته در آن نه تنها برق تولید می کند، بلکه به عنوان یک جاذب حرارتی نیز عمل کرده، و می تواند گرما نیز تولید کند. بنابراین، یک سیستم فتوولتائیک/حرارتی می تواند همزمان برق و گرما تولیدکند[۱۱-۱۲].

مزایای اصلی سیستم های فتوولتائیک/حرارتی عبارتند از :

- تولید بیشتر انرژی الکتریکی و انرژی گرمایی،
- استفاده اقتصادی از فضا

[7] Weng
[8] Photovoltaic/Thermal

- با توجه به اینکه فقط یک نوع سیستم به جای دو سیستم نصب می شود، کاهش هزینه های نصب و راه اندازی امکان پذیر است [۱۳].

سیستم های فتوولتائیک/حرارتی بر اساس خنک کننده مورد استفاده به سه بخش کلی طبقه بندی شده اند

- سیستم های فتوولتائیک/حرارتی بر اساس هوا

در این سیستم ها از هوا برای خنک کردن پانل فتوولتائیک استفاده می شود. برای این منظور از گردش طبیعی یا اجباری هوا استفاده می کنند. در حالت گردش اجباری هوا، معمولا از تعدادی فن که به پانل متصل می گردد، استفاده می شود. هوای گرم تولید شده نیز برای مصارف مختلفی مثل خشک کردن محصولات کشاورزی به کار می رود [۱۴].

- سیستم های فتوولتائیک/حرارتی بر اساس آب

در این سیستم ها از آب برای خنک کردن پانل فتوولتائیک استفاده می شود. برای این منظور، از گردش آب در پشت پانل توسط روش های مختلف، یا از پاشش آب روی سطح پانل استفاده می-شود.

- سیستم های فتوولتائیک/حرارتی بر اساس لوله گرمایی

در این سیستم ها از انواع لوله های گرمایی برای خنک کردن پانل فتوولتائیک استفاده می شود.