واحد یادگیری دوم
نصب سامانه‌های فتوولتاییک

هـدف: نـصب سامانـه فتوولـتاییـک و اندازه‌گیـری کمـیت‌های الکـتریکی، مهارت قطعه‌شناسی، کاتالوگ‌خوانی

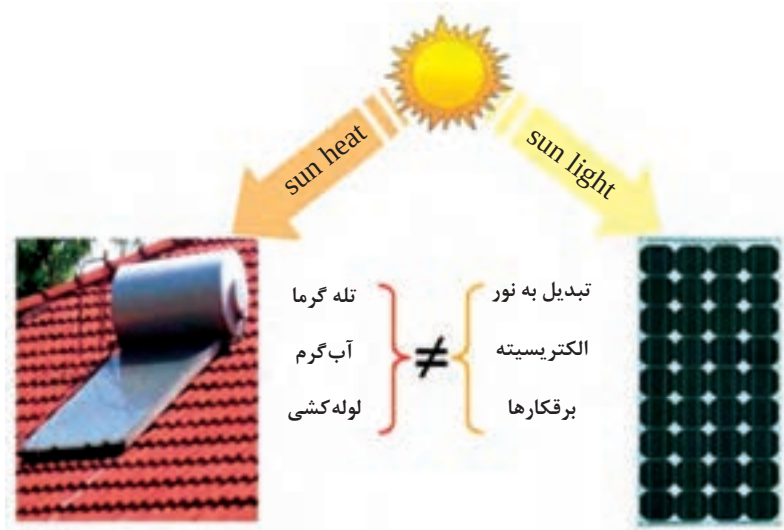
مقدمه

انرژی خورشیدی به دوصورت حرارت و نور به‌طبیعت عرضه می‌شود و در دو مدل اصلی سامانه خورشیدی، این انرژی به‌کارگرفته می‌شود (شکل ۱).

۱ استفاده از حرارت و گرمای خورشید برای گرم کردن آب یا همان آب گرم‌کن خورشیدی (Passive)

۲ پدیده فتوولتاییک که بدون فرایند مکانیکی نور را به الکتریسیته تبدیل می‌کند (Active).

در شکل ۱ این دو نوع بهره‌برداری از انرژی خورشیدی با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل۱ـ کاربرد انرژی خورشیدی (حرارت و نور)

۲ـ۱ـ انواع سامانه‌های فتوولتاییک (از نظر کاربرد)

- متصل به شبکه برق Grid- Connected (grid –tied)
- مستقل از شبکه برق off-Grid (Stand alone)

الف) سامانه مستقل از شبکه

سامانه فتوولتاییک مستقل از شبکه در زمان تابش نور خورشید انرژی الکتریکی تولید می‌کند و در هنگام قطع تابش منبع نور انرژی لازم برای مصرف‌کننده را توسط باتری شارژ شده فراهم می‌کند (شکل ۲).

شکل ۲ـ سامانه مستقل از شبکه برق

این سامانه برای مناطق خارج از دسترس برق مناسب است (روستاها، جزایر دور از ساحل و ایستگاه‌های مخابراتی، چراغ‌های راهنمایی و رانندگی و نظایر آن). البته به دلیل استفاده از باتری هزینه این نوع سامانه بیشتر از نوع متصل به شبکه است. یک سامانه جدا از شبکه به باتری قابل شارژ و دشارژ نیاز دارد. این باتری می‌تواند باتری اسید ـ سرب یا نیکل کادمیوم باشد.

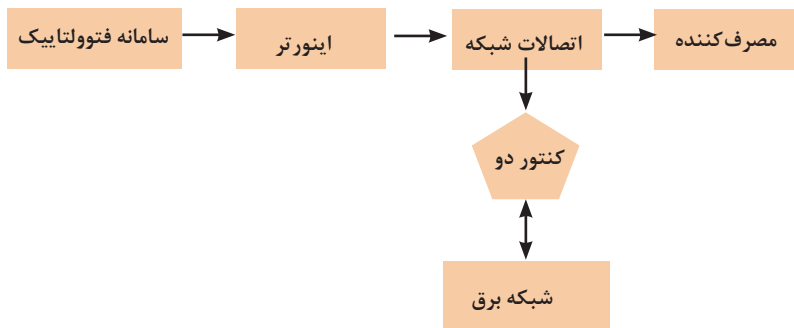
ب) سامانه متصل به شبکه

سامانه متصل به شبکه در طول روز تقاضای مصرف را تأمین می‌کند و مازاد بر مصرف را به‌شبکه سراسری می‌دهد ولی هنگام شب و مواقعی که نور خورشید نیست مصرف برق از طریق شبکه تأمین می‌شود. این سامانه در دو نوع دارای

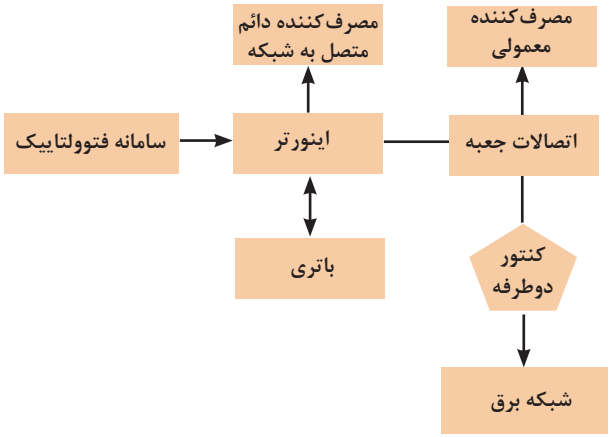
باتری و بدون باتری استفاده می‌شود. نوع دارای باتری برای بارهای خاص که دائم و حساس می‌باشند مناسب است.
سامانه متصل به شبکه بدون باتری در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳ــ سامانه متصل به شبکه

این سامانه‌ها در دو نوع دارای باتری و بدون باتری قابل استفاده است. نوع بدون باتری مستقیماً انرژی الکتریکی تولید شده توسط سامانه با مبدل به جریان متفاوت تبدیل شده و به شبکه سراسری هم فرکانس می‌شود ولی در نوع دارای ذخیره‌کننده انرژی الکتریکی، با استفاده از باتری، این انرژی ذخیره می‌شود. در این نوع سامانه‌ها بارهایی که دائم باید به شبکه برق متصل باشند استفاده می‌شوند.
کنتور یا دستگاه اندازه‌گیری انرژی مکانیکی در این سامانه‌ها باید دو طرفه باشد تا میزان صدور انرژی به شبکه و دریافت انرژی از شبکه را گزارش کند. عملکرد این دو نوع سامانه متصل به شبکه در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. یکی از کاربردهای سامانه متصل به شبکه به همراه باتری بارهای حساس بیمارستانی است.



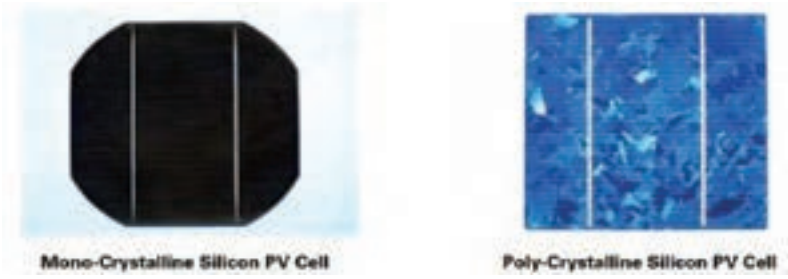
شکل ۴ــ سامانه متصل به شبکه بدون باتری



شکل ۵ـ سامانه متصل به شبکه دارای باتری

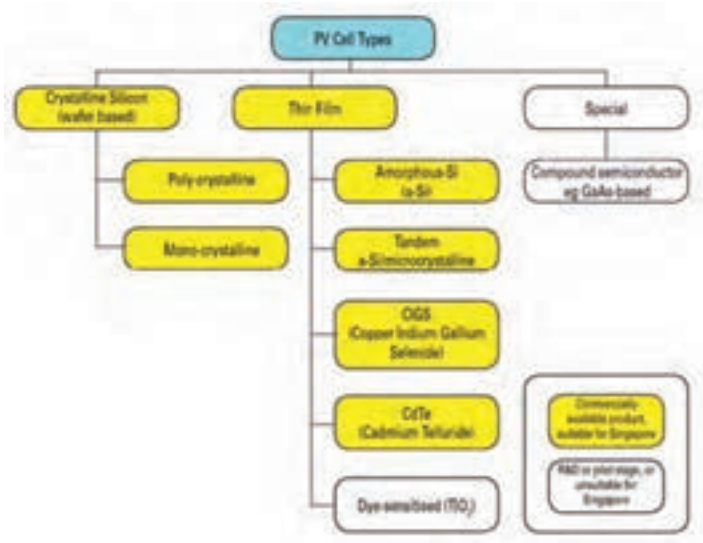
۳ـ۱ـ تکنولوژی سلول‌های خورشیدی

تکنولوژی ساخت سلول‌های خورشیدی برمبنای دو نوع مؤثر کریستالی و پلی‌کریستال است (شکل ۶).



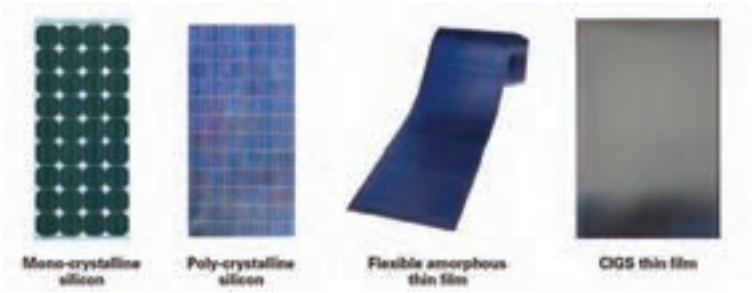
شکل ۶ـ انواع سلول خورشیدی

نوع دیگری از مدول خورشیدی با عنوان فیلم نازک نیز تولید می‌شود که محبوبیت زیادی داشته و آمورف نام دارد. دسته‌بندی این نوع (دسته سوم) از سلول خورشیدی در شکل ۷ نمایش داده شده است. نوع آمورف در ماشین حساب‌های خورشیدی و پاوربانک‌های خورشیدی و نظایر آن کاربرد دارد.



شکل ۷ــ دسته‌بندی سلول‌های خورشیدی

نمونه‌هایی متفاوت از مدول‌های خورشیدی در شکل۸ نشان داده شده است:



شکل ۸ــ نمونه‌های مختلف مدول خورشیدی

۴ــ۱ــ تکنولوژی کریستال سیلیکون و فیلم نازک

سلول‌های کریستالی از ترکیب زیاد سیلیکون با فلزات تحت‌عنوان نیمه‌هادی تشکیل می‌شود. این قطعات پنجره‌ای شکل در ضخامت ۲۰۰ـ۱۵۰ میکرون (یک پنجم میلیمتر) ساخته می‌شوند. فیلم نازک از لایه‌های ته‌نشین میله‌ای فلزات نیمه‌هادی به شکل‌های با ضخامت ۰/۳ تا ۲ میکرومتر روی لایه‌ای از شیشه یا فولاد ضدزنگ ساخته می‌شود.

۵ـ۱ـ میزان راندمان انواع مدول‌های خورشیدی

در جدول ۱ راندمان انواع تکنولوژی مدول‌های خورشیدی ملاحظه می‌شود.

جدول ۱ـ راندمان انواع مدول های خورشیدی

Technology	Module Efficiency
Mono-crystalline Silicon	12.5-15%
Poly-crystalline Silicon	11-14%
Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)	10-13%
Cadmium Telluride (CdTe)	9-12%
Amorphous Silicon (a-Si)	5-7%

Table 1. Conversion efficiencies of various PV module technologies

این بازده تحت شرایط نرمال استاندارد STC (Standard Test Condition) اتفاق می‌افتد. شرایط نرمال عبارت است از:

۱. تابش خورشید برابر $1000\ W/m^2$ (تابش خورشید توسط دستگاه پیرانومتر اندازه‌گیری می‌شود.)
۲. دمای ۲۵ درجه سانتیگراد
۳. طیف در ۱۰۵ جرم هوا

۶ـ۱ـ شرایط (Standard Test Condition) STC

منحنی جریان ولتاژ مدول خورشیدی تحت شرایط استاندارد نشان داده می‌شود این شرایط شامل میزان تابش خورشید و دمای سطح مدول است. مقدار تابش خورشید برای یک روز آفتابی $1000\ W/m^2$ که دمای سطح مدول برابر ۲۵ درجه سانتیگراد است مدنظر قرار می‌گیرد. مقادیر اصلی V_{oc} ، I_{SC} ، V_{mp} ، I_{mp} در این دو شرط معرفی و روی پلاک مدول خورشیدی درج می‌شود.

تذکر: در شرایط دیگری نیز مدول خورشیدی به شبیه سازی واقعی‌تر نزدیک است که با شرایط STC متفاوت بوده و اصطلاحاً NOCT (Normal Operation Cell Temperature) گفته می‌شود. در این وضعیت مقدار تابش خورشید $800\ W/m^2$ و دمای سطح مدول خورشید تا $45^\circ C$ و سرعت باد برابر $1m/s$ با دمای $25^\circ C$ درنظر گرفته شده است. به‌همین دلیل شرایط خروجی مدول خورشیدی در حالت STC مقدار خروجی بیشتری در مقایسه با NOCT دارد.

۷ـ۱ـ اندازه گیری شدت تابش نور خورشید (W/m^2)

برای اندازه‌گیری مقدار تابش نور خورشید از دستگاه آفتاب‌سنج یا پیرانومتر (Pyranometer) استفاده می‌شود. مقدار تابش نور خورشید در روزهای ابری و غبارآلود کمتر خواهد بود و به دنبال آن شدت تابش نور کمتر می‌شود. (شکل ۹)

شکل ۹ـ دستگاه آفتاب‌سنج (پیرانومتر)

۸ـ۱ـ عوامل مؤثر بر خروجی مدول خورشیدی

عوامل تأثیرگذار بر خروجی مدول خورشیدی شامل دما، زاویه تابش و میزان تمیزی سطح مدول خورشیدی است. در ادامه به تأثیر آنها پرداخته می‌شود.

الف) تأثیر دما

دما در مناطق گرمسیر بر توان خروجی اثر دارد. هرقدر دما از 25° بالاتر باشد به‌اندازه تفاضل دمای محیط تا ۲۵ درجه ضربدر ضریب تأثیر دما مقدار توان خروجی کم خواهد شد، مثلاً اگر دمای محیط برابر ۵۰ درجه باشد کاهش بازدهی برابر است با:

ضریب تأثیردما × (۲۵ـ۵۰)

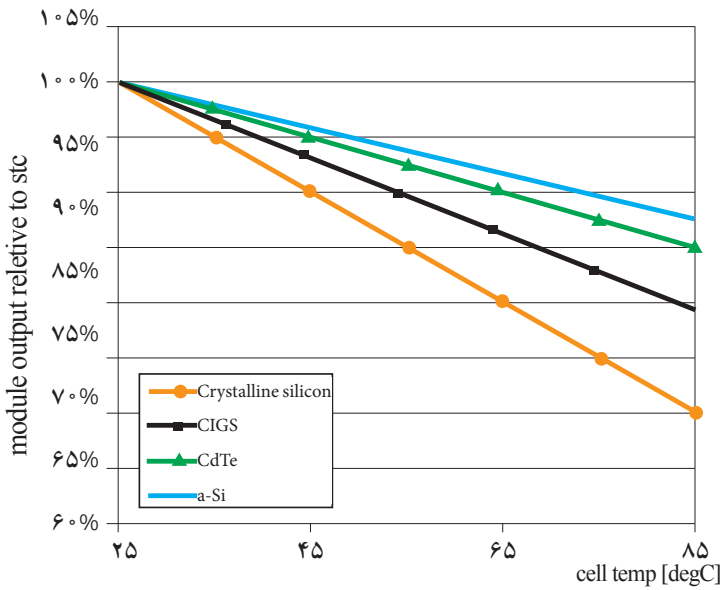
تکنولوژی فیلم نازک دارای ضریب منفی دمایی نسبت به کریستال است. به‌عبارت دیگر این نوع تکنولوژی، سلول‌ها در دمای بالا تلفات کمتری دارند. به‌همین منظور در محیط‌های گرم کارایی بیشتری دارند. ضریب تأثیر دما روی نمونه‌های مختلف مدول خورشیدی در جدول ۲ دیده می‌شود.

جدول ۲ـ تأثیر دما بر خروجی

Technology	Temperature Coefficient [%/°C]
Crystalline silicon	-0.4 to -0.5
CIGS	-0.32 to -0.36
CdTe	-0.25
a-Si	-0.21

Temperature coefficient of various PV cell technologes

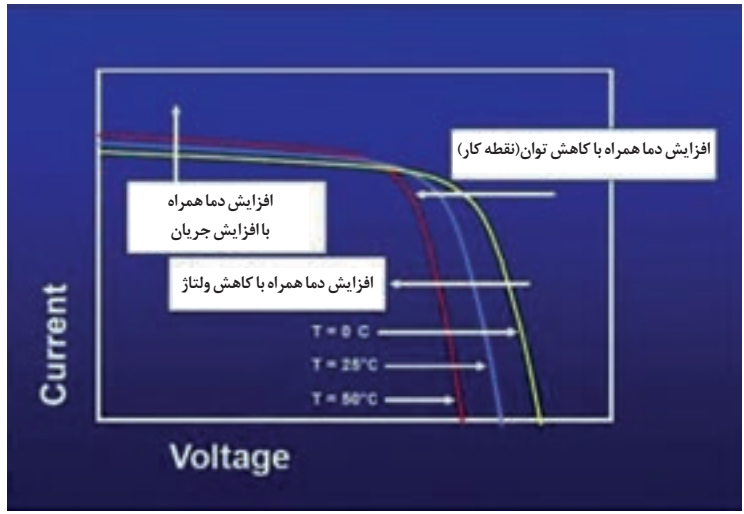
ضریب تأثیردما در دیتا شیت مدول PV حتماً باید قید شود. (شکل ۱۰):



شکل ۱۰ـ ضریب دما در دیتاشیت

افزایش دما

افزایش دما باعث افزایش جریان خروجی و کاهش ولتاژ بی‌باری می‌شود. افزایش دما در نهایت باعث کاهش توان و پایین آمدن نقطه کار خواهد شد (شکل ۱۱).



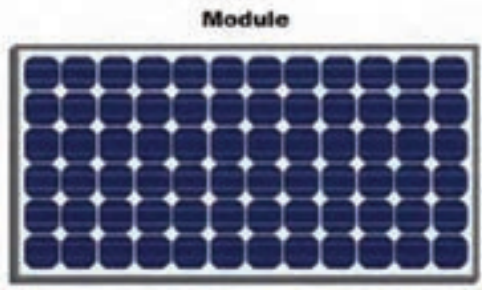
شکل ۱۱ــ تأثیر دما بر ولتاژ و جریان

برای تدریس این موضوع با استفاده از یک ظرف آب سرد هم‌زمان اثر ولتاژ بی‌باری مدول خورشیدی را روی یک مدول خورشیدی در فضای آزاد انجام دهید. با خنک شدن مدول خورشیدی ولتاژ بی‌باری به‌طور متوسط حدود ۲ تا ۳ ولت افزایش می‌یابد. ممکن است فرایند خنک شدن مدول کمی طول بکشد تا تأثیر آن در افزایش ولتاژ خروجی دیده شود بنابراین کمی صبور باشید. در شکل ۱۲ ولتاژ بی‌باری با خنک شدن مدول در اثر آب سرد از مقدار ۲۰/۷ ولت به مقدار ۲۲/۳ ولت افزایش یافته است.این مقدار افزایش به جنس مدول خورشیدی بستگی دارد.

شکل۱۲ــ تأثیر دما بر ولتاژ بی باری

هر مدول خورشیدی به‌طور میانگین دارای ۵۰ تا ۷۲ سلول است.اگر هر سلول ۰/۵ولت تولید کند در مجموع هر مدول ولتاژی بین ۲۰ تا ۴۰ ولت و توانی معادل ۱۰۰تا ۳۵۰ وات دارد (البته ولتاژ هر سلول بین ۰/۵ تا ۰/۶ ولت متغیر است). مدول نشان داده شده در شکل۱۳ برابر ۴۳ ولت است.اتصال سری و موازی مدول

خورشیدی را شبیه اتصالات پیل‌های الکتریکی برای هنرجویان تدریس نمایید (اتصال سری ولتاژ دهی بیشتر و اتصال موازی برای جریان‌دهی بالاتر).



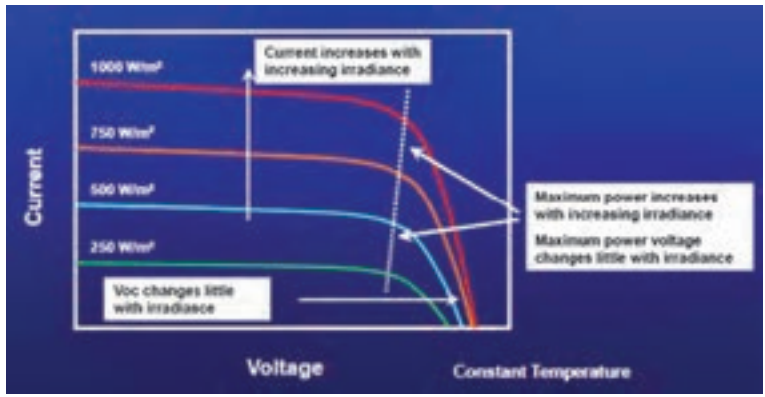
شکل ۱۳ـ اتصال سری سلول های خورشیدی در یک مدول

سامانه‌های برق خانگی تا ۶۰۰ ولت DC و نوع تجاری تا ۱۰۰۰ ولت تولید دارند. یک سامانه آرایه خورشیدی با ۱۰ مدول خورشیدی قادر به تولید ۶ کیلو وات توان الکتریکی است و در حدود ۴۵۰ کیلوگرم وزن دارد. فضای مورد نیاز برای اجرای پروژه فتوولتاییک برای این توان حدود ۱۲۵ متر مربع است. اتصال سری مدول‌ها تشکیل رشته مدول خورشیدی داده و اتصال موازی رشته‌ها، آرایه را شکل می دهد. در شکل۱۴، نیروگاه از۲۰ عدد مدول خورشیدی ۲۶۰ وات تشکیل شده است. با درنظر گرفتن تلفاتی در حدود ۲۰۰ وات، توان خروجی نیروگاه برابر ۵کیلووات خواهد بود.

شکل۱۴ـ اتصال سری سلول‌های خورشیدی در یک مدول و مشخصه فنی آن

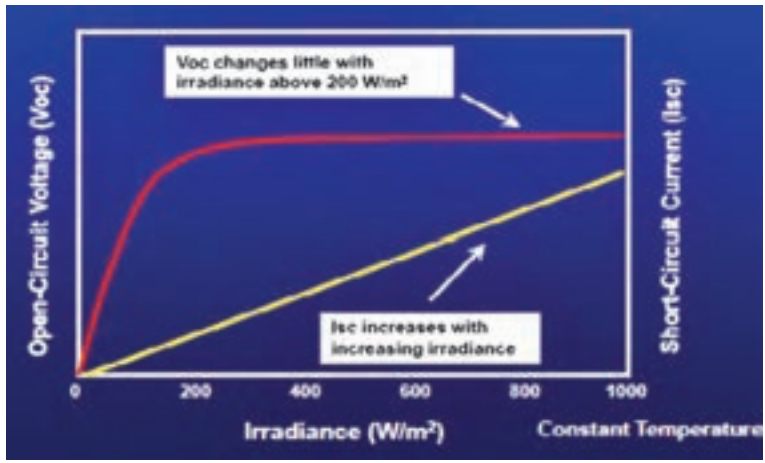
ب) تأثیر میزان تابش نور

با افزایش تابش نور خورشید مقدار جریان اتصال کوتاه افزایش یافته و به‌دنبال آن نقطه کار بالاتر می‌رود (شکل۱۵).



شکل ۱۵ــ اثر تابش نور بر نقطهٔ کار

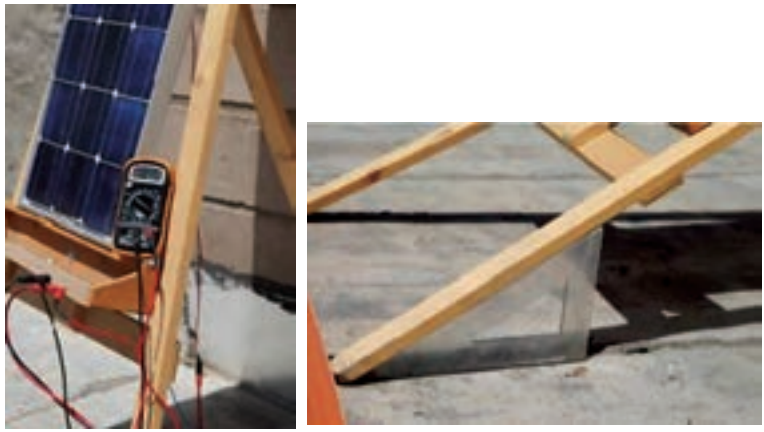
زیادتر شدن تابش خورشید بیش از ۲۰۰ وات بر متر مربع دیگر تأثیری بر افزایش ولتاژ خروجی نداشته و بعد از آن ولتاژ ثابت باقی می‌ماند ولی جریان افزایش می‌یابد (شکل۱۶).



شکل ۱۶ــ اثر تابش نور بر جریان

ج) تأثیر زاویه مدول نسبت به زمین

تغییر زاویه نصب مدول باعث تغییر اثر تابش نور خورشید می‌شود. این کار در مقدار خروجی مدول تأثیر دارد. برای بررسی این اثر می‌توان مشابه شکل ۱۷ عمل کرد و با تغییر زاویه تغییرات مقدار خروجی را دنبال کرد. برای بررسی اثر زاویه می‌توان از سه پایه مطابق شکل ۱۷استفاده کرد.



شکل ۱۷ــ تغییر زاویه نصب مدول

د) تأثیر سایه بر خروجی مدول خورشیدی(Shading)

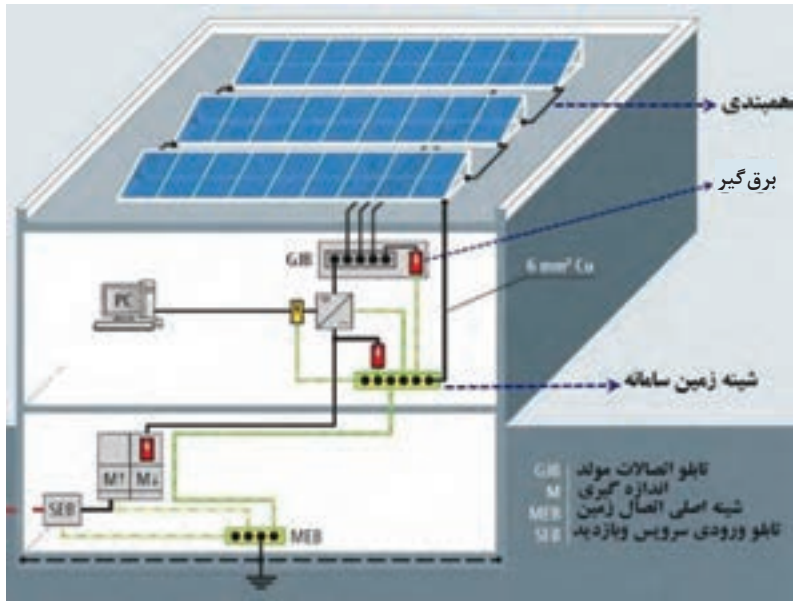
با داشتن سه پایه و محکم کردن مدول خورشیدی روی آن می‌توان اثر سایه را بر ولتاژ بی باری و جریان اتصال کوتاه بررسی کرد. سایه روی هر سلول جریان آن را محدود می‌کند. چون سلول‌ها با یکدیگر سری هستند جریان نهایی مدول جریان سلول سایه افتاده خواهد بود. با افزایش مقدار سایه ولتاژ خروجی نیز کم می‌شود (شکل ۱۸).

شکل ۱۸ــ اثر سایه بر ولتاژ بی باری خروجی

یادآوری: جریان اتصال کوتاه با دو وسیله مولتی‌متر معمولی و آمپرمتر انبری قابل اندازه‌گیری است.

۹ـ۱ـ اتصال زمین PV

اتصال زمین نقش حفاظتی در سامانه PV دارد. برای حفاظت بیشتر باید پایه‌های پنل خورشیدی از فلز ساخته شده و همگی با همدیگر همبندی شوند و درنهایت به اتصال زمین مناسب متصل باشند.
این کار باعث عملکرد بهتر سامانه می‌شود. برای اطمینان از عملکرد و ایمنی بهتر باید در نگهداری سامانه به‌طور منظم در عایقی سامانه نصب قطعات و اتصال زمین اطمینان حاصل کرد (شکل ۱۹).

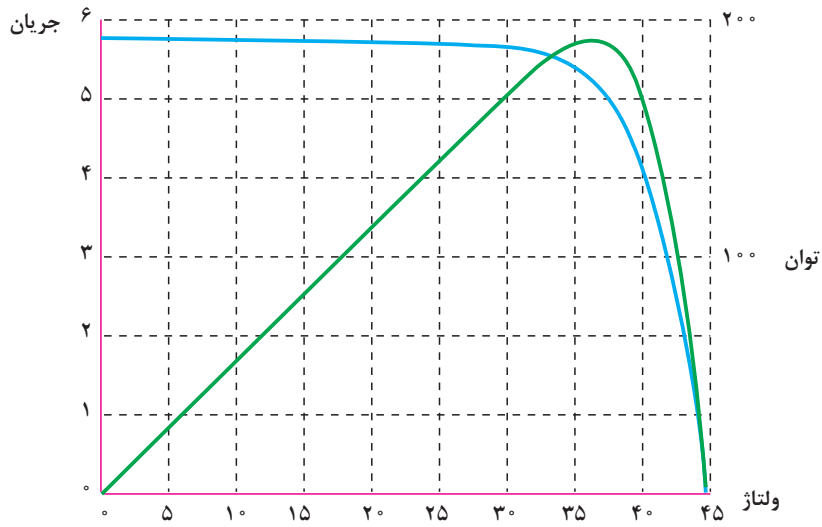


شکل ۱۹ـ همبندی و اتصال زمین PV

۱۰ـ۱ـ منحنی جریان ـ ولتاژ مدول خورشیدی

منحنی جریان ـ ولتاژ مدول خورشیدی رفتار الکتریکی آن را در ولتاژ کار و جریان دریافتی نشان می‌دهد. محور افقی ولتاژ و محور عمودی این منحنی جریان را نشان می‌دهد. هرچه مقدار ولتاژ افزایش می‌یابد مقدار جریان کمتر می‌شود در بیشترین

مقدار ولتاژ یعنی ولتاژ مدار باز (V_{oc}) مقدار جریان صفر است (شکل ۲۰).



شکل ۲۰ـ منحنی ولتاژ ـ جریان

بیشترین مقدار جریان تولیدی یک مدول خورشیدی ،جریان اتصال کوتاه (I_{SC}) است. منحنی جریان ولتاژ هر مدول خورشیدی دارای یک نقطه با بیشترین توان الکتریکی است. این نقطه با توان بیشینه اصطلاحاً نقطه کار مدول شناخته می‌شود. توان نقطه کار با P_m معرفی می‌شود. مقدار ولتاژ متناظر توان ماکزیمم (p_m) با V_{mp} و جریان متناظر مقدار توان ماکزیمم با I_{mp} نشان داده می‌شود به‌طوری‌که رابطه $P_m = V_{mp} \times I_{mp}$ برای مدول خورشیدی برقرار است. به‌طور تقریبی مقدار V_{mp} حدود ٪۸۰ ولتاژ مدار باز مدول V_{oc} و مقدار I_{mp} برابربا ٪۹۰مقدار I_{SC} است:
به‌عنوان مثال در پلاک مدول خورشیدی شکل ۲۱ این مقادیر برابر است با :

V_{OC} = ۳۷/۴V→۳۷/۴V

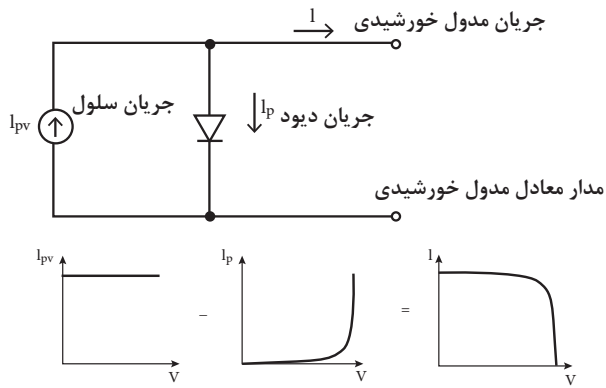
V_{mp} = ۳۱/۱V→۳۱/۱V

I_{SC} = ۸/۵۶A→۸/۵۶A

I_{mp} = ۷/۸۹A

شکل ۲۱ـ پلاک مدول خورشیدی

یادآوری: به‌طور معمول مقدار ولتاژ مدار باز هر سلول حدود ۰/۶ V است.منحنی ولتاژ ـ جریان مدول خورشیدی از حاصل تفاضل جریان ثابت خروجی مدول خورشیدی و منحنی مشخصه غیرخطی دیود حاصل می‌شود (شکل۲۲).

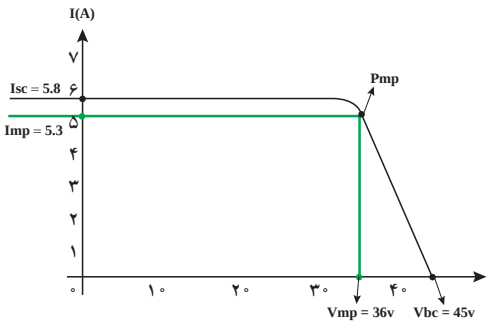


شکل۲۲ـ تشکیل منحنی مشخصه جریان و ولتاژ مدول خورشیدی

در کتاب درسی منحنی جریان ولتاژ یک مدول خورشیدی در شرایط STC آورده شده است. مقدار ولتاژ بی‌باری در این منحنی ۴۵ ولت است. با درنظر گرفتن ۸۰درصد

این مقدار ولتاژ نقطه کار V_{mp} برابر ۳۶ ولت خواهد بود. از طریق نقطه‌یابی و مقدار ۹۰درصدی جریان بی‌باری مقدار جریان متناظر توان ماکزیمم یا جریان نقطه کار I_{mp} حدود ۵/۳ A به‌دست می‌آید و شکل ۲۳ منحنی جریان ولتاژ به‌دست می‌آید.

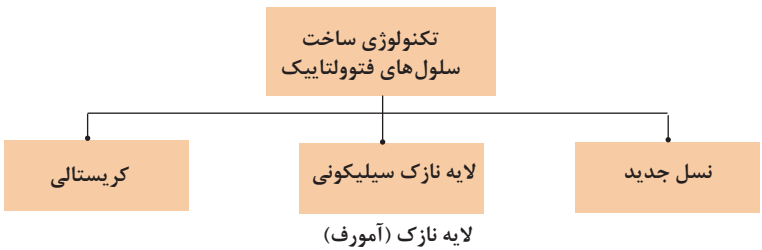
$$P_m = ۳۶ \times ۵/۳ \cong ۱۹۱W$$



شکل ۲۳ــ منحنی جریان ولتاژ و به‌دست آوردن نقطه کار

۱۱ــ۱ ــ راندمان پانل‌ها

راندمان پانل‌ها با توجه به ابعاد، کیفیت سلول‌ها و تکنولوژی مورد استفاده (منوکریستال، پلی کریستال و فیلم نازک) متفاوت می‌باشد. راندمان باید در محدودهٔ ۱۲ تا ۲۴ درصد قرار داشته باشد. لازم به ذکر است هرچه راندمان پانل بیشتر باشد برای رسیدن به‌توان مشابه تعداد پانل‌های کمتری مورد نیاز خواهد بود. تکنولوژی پنل‌های خورشیدی مطابق شکل ۲۴ تقسیم می‌شود.



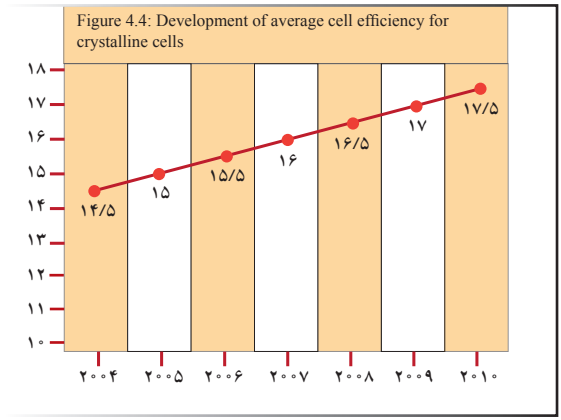
شکل ۲۴ــ تکنولوژی‌های مختلف سلول‌های فتوولتاییک

راندمان سلول‌های خورشیدی از نوع آمورف از ۵ الی ۱۳٪ می‌باشد. راندمان سلول‌های خورشیدی کریستالی ۱۲ الی ۱۷٪ می‌باشد و در حدود ۹۰٪ از سهم بازار

جهانی سیستم‌های برق خورشیدی را به‌خود اختصاص داده است. درشکل ۲۵یک نمونه پلاک مدول خورشیدی نصب شده توسط برق منطقه‌ای در یک هنرستان با بازده۱۶درصد نشان داده شده است.

شکل ۲۵ـ یک نمونه مشخصات سامانه فتوولتاییک با تکنولوژی تک کریستالی

در شکل ۲۶ روند رشد راندمان سلول‌های فتوولتاییک از نوع کریستالی بین سال‌های ۲۰۰۴ تا۲۰۱۰ میلادی نشان داده شده است. مقدار راندمان حدود ۳ درصد افزایش یافته است.



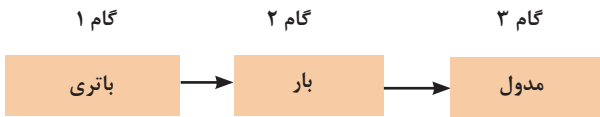
شکل ۲۶ـ ارتقای راندمان مدول خورشیدی بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰

۱۲ـ۱ـ کنترل شارژ

ولتاژ و جریان آرایه‌ها و مدول‌های خورشیدی با توجه به تغییرات نور خورشید، دما و رطوبت تغییر می‌کنند. برای اینکه ولتاژ و جریان مشخصی برای شارژ باتری‌ها تعیین می‌شود از کنترل شارژ استفاده می‌شود. از طرفی این وسیله از شارژ بیش از حد باتری و از تخلیه خارج از حد باتری جلوگیری می‌کند (شکل ۲۷).

شکل ۲۷ ـ دونمونه کنترل شارژ

اتصال قطعات سامانه باید مطابق با شکل ۲۸ به ترتیب ابتدا باتری، سپس بار و در انتها مدول متصل شود.اگر این توالی رعایت نشود ممکن است به کنترل شارژ آسیب وارد شود.



شکل ۲۸ـ مراحل اتصال قطعات سامانه به کنترل شارژ

توجه: برای انجام آزمایش اتصال بار به سامانه می‌توانید از لامپ‌های ۱۲ ولتی خودرو یا مقاومت‌های آجری با توان بالا استفاده کنید.

همکار گرامی برای اینکه تجهیزات سامانه دوام بیشتری داشته و عمر مفید آن بیشتر شود توصیه می‌شود با استفاده از فیش و فیبر فشرده، تجهیزات داخل قاب قرار گیرد تا استفاده از آن راحت‌تر باشد و بادوام باقی بماند. نمونه کنترل شارژ با اتصال فیش در شکل ۲۹ دیده می‌شود.

شکل۲۹ ـ اتصال فیشی قطعات به کنترل شارژ

محاسبه‌اندازه کنترل شارژ

کنترل شارژ عموماً بر مبنای ظرفیت ولتاژ و جریان ارزیابی می‌شود. ولتاژ باید مطابق با باتری و پانل‌ها درنظر گرفته شده و همچنین بتواند جریان مجموع پانل‌ها را تحمل کند. برای تعیین اندازه کنترل شارژ، جریان مدار کوتاه (ISC) مجموع پانل‌های محاسبه شده در عدد ۱/۳ ضرب می‌شود. تقدم و تأخر اتصال قطعات سامانه به کنترل شارژ بسیار اهمیت دارد. برای اتصال ابتدا باتری سپس بار و در انتها مدول خورشیدی به کنترل شارژ متصل می‌شود.

نکته

در برخی از موارد ممکن است کنترل شارژ موجود در بازار قادر به تحمل جریان محاسبه شده نباشد. در چنین حالتی می‌توان از سری کردن پانل‌ها برای بالا بردن ولتاژ و در نتیجه پایین آمدن جریان ورودی به کنترل شارژ استفاده کرد. مشخصه‌های زیر در انتخاب کنترل شارژ مهم است:

۱ **کنترل شارژ باید دارای تکنولوژی مدولاسیون پهنای پالس (PWM) جهت افزایش راندمان کیفیت شارژ باشد.**

۲ **سیستم کنترل شارژ باید مجهز به سیستم دنبال‌کننده نقطه حداکثر توان باشد.**

۳ **دارای قابلیت تنظیم ولتاژ DC ۱۲/۲۴/۴۸ ولت باشد.**

۴ **باید دارای قابلیت ردیابی ولتاژ پایین برای جلوگیری از دشارژ بیش از حد باتری باشد.**

۵ **بهتر است مجهز به فیوز حفاظتی باشد.**

تست صحت عملکرد کنترل شارژ

اگر از یک منبع ولتاژ متغیر به‌جای باتری استفاده شود با تغییر ولتاژ منبع و تغییر وضعیت رنگ ال‌ای‌دی کنترل شارژ می‌توان عملکرد آن را مورد بررسی قرار داد. مراحل نشان داده شده در جدول ۴ یک کنترل شارژ سالم را نشان می‌دهد.

جدول ۴ـ مراحل تست صحت کنترل شارژ

ولتاژ کمتر از ۱۲ ولت است و ال‌ای‌دی خاموش است.	
ولتاژ نزدیک به ۱۲ ولت است و ال‌ای‌دی با رنگ قرمز شارژ کم را نشان می‌دهد.	
ولتاژ شارژ بیش از ۱۲ ولت است و ال‌ای‌دی با رنگ سبز شارژ کامل را نشان می‌دهد.	
ولتاژ منبع در نقش مدول خورشیدی و باتری کاملاً شارژ شده نیز در محل باتری نصب شده و هر دو ال‌ای‌دی به رنگ سبز است.	

۱۳ـ۱ـ اینورتر

برای تبدیل ولتاژ DC تولید شده توسط مدول خورشیدی به‌ولتاژ و جریان متناوب از اینورتر (مبدلDC/AC) استفاده می‌شود. ولتاژ DC تولید شده توسط مدول خورشیدی با استفاده از اینورتر به ۲۲۰ ولت متناوب تبدیل می‌شود (شکل۳۱).

توجه: هنگام اتصال قطعات سامانه اینورتر جزء بار محسوب می‌شود.

شکل ۳۱ـ اینورتر

اینورترهای مجزا از شبکه (مستقل از شبکه) باید قابلیت تبدیل ولتاژ DC به متناوب در سطح ولتاژ و فرکانس موردنظر و قابلیت تغذیه بار درحالت ناگهانی تغییر بار را داشته باشند. همچنین برای تغذیه بارهای راکتیو قابلیت تبدیل توان راکتیو را داشته باشند. بیشتر مبدل‌های مستقل از شبکه برای جداسازی بخش DC و AC از همدیگر توسط یک ترانسفورماتور ایزوله (یک به‌یک) به‌بار متصل می‌شوند. مبدل‌هایی که موج شکل سینوسی نداشته و موج مربعی ایجاد می‌کنند راه‌اندازی الکتروموتورهای القایی را دچار مشکل می‌کنند. درضمن درحالت بی‌باری اگر مبدل روشن باشد جریان بی‌باری مصرف می‌کند و این قضیه منجر به تخلیه باتری می‌شود. بنابراین سیستم کنترل مبدل باید به‌گونه‌ای طراحی شود که این مشکل مرتفع شود. سمت دیگر اینورتر ترمینال USB برای مصرف‌کننده‌های ۵ ولتی ۵۰۰ میلی‌آمپر تا حدود ۲ آمپری مثل روشنایی، فن(بادبزن برقی) و رادیو درنظر گرفته شده است (شکل ۳۲).

شکل ۳۲ـ خروجی USB

توجه: خروجی یو اس بی اینورتر برای انتقال دیتا نیست. از اتصال حافظه‌های دیجیتالی و MP۳Playerبه این خروجی خودداری کنید.

محاسبه ظرفیت اینورتر

توان خروجی اینورتر باید از مجموع توان تمام تجهیزات برقی مورد استفاده بیشتر باشد. همچنین ولتاژ نامی طرف DC اینورتر و ولتاژ بانک باتری باید باهم برابر باشند.

نکته

اگر از موتور یا کمپرسور استفاده شود، اندازه اینورتر باید حداقل ۳ برابر ظرفیت آنها باشد تا بتواند جریان ضربه را تحمل کند.

برای سامانه‌های متصل به شبکه : توان ورودی اینورتر باید ۱۰ درصد از مجموع توان پانل‌های محاسبه شده بیشتر باشد تا عملکرد سامانه ایمن و مؤثر باشد.

نکته

ظرفیت اینورتر به هیچ وجه نباید از مجموع توان پانل‌های خورشیدی محاسبه شده کمتر انتخاب شود.
موارد اشاره شده زیر در انتخاب اینورتر باید مورد توجه قرار گیرد:
۱ برای حفاظت از اینورتر در برابر اصابت صاعقه به پانل‌ها و یا اضافه ولتاژهای شبکه (در صورت اتصال به شبکه) باید در طرف DC و AC مجهز به برق‌گیر باشد.
۲ خروجی اینورتر باید ولتاژ سینوسی کامل با اعوجاج کمتر از ۵٪ باشد.
۳ راندمان اینورتر حداقل باید برابر ۹۵ درصد باشد.

ضوابط نصب اینورتر:
۱ اینورتر باید در جای تمیز و خشک و دارای فضای لازم برای تهویه طبیعی جهت خنک‌سازی سیستم آن باشد.
۲ اینورتر باید جدا از بانک باتری بوده و به‌هیچ عنوان در بالای آن نصب نشود.
۳ برای عبور سیم‌ها از داخل دیوار جهت نصب پانل‌های خورشیدی به اینورتر حتماً باید از لوله‌های فلزی یا انعطاف‌پذیر استفاده کرد.

۱۴ـ۱ـ باتری

زمانی که تابش خورشید ضعیف باشد (مثلاً هوای ابری و شب هنگام) برای تأمین انرژی الکتریکی نیاز است تا انرژی الکتریکی ذخیره شده در مجموعه باتری‌ها به سیستم برگردانده شود (شکل۳۳). بهتر است باتری نیز شبیه کنترل شارژ داخل قاب مخصوص قرار گرفته و به یک فیوز حفاظتی متناسب با جریان مجاز مجهز شود.

شکل۳۳ـ باتری و اتصال باتری به کنترل شارژ

محاسبه ظرفیت باتری

ظرفیت باتری باید به اندازه‌ای باشد که بتواند وسایل و تجهیزات مورد استفاده را در شب و روزهای ابری راه‌اندازی نماید.

برای انتخاب باتری مناسب موارد زیر اهمیت دارد:

۱ مجموع انرژی مصرفی بارهای متصل به سامانه خورشیدی در طول یک روز محاسبه می‌شود.

۲ برای در نظر گرفتن تلفات باتری، عدد به‌دست آمده در مرحله ۱ بر ۰/۸۵ تقسیم می‌شود.

۳ برای درنظر گرفتن عمق دشارژ باتری عدد به‌دست آمده در مرحله قبل بر ۰/۶ تقسیم می‌شود (هرچه دشارژ کم‌عمق‌تر باشد، طول عمر باتری بیشتر است).

۴ عدد مرحله ۳ بر ولتاژ نامی باطری (که همان ولتاژ باس سامانه و ولتاژ ورودی اینورتر است) تقسیم می‌شود.

۵ عدد مرحله ۴ در تعداد روزهایی که تابش خورشید وجود ندارد (روزهای ابری که پانل‌ها توانی تولید نمی‌کنند معمولاً بین ۳ تا ۵ روز متوالی) ضرب می‌شود. عدد به‌دست آمده برحسب آمپر ساعت خواهد بود.

۶ مقدار به‌دست آمده در مرحله ۵ بر ظرفیت باتری انتخابی (از ۵۰ تا ۲۰۰ آمپر ساعت) تقسیم می‌شود تا تعداد باتری‌های مورد نیاز مشخص شود.

توجه

با توجه به مشخص بودن باتری انتخابی در کاتالوگ سازنده باید فضای مناسب جهت استقرار باتری‌ها هم محاسبه و در نظر گرفته شود.

- باتری‌های سامانه خورشیدی می‌توانند از نوع سرب‌ـاسیدی یا نیکـل کادمیـومی باشند. اما به دلیل هزینه بسیار پایین‌تر باتری‌های سرب ـ اسیدی در اکثر پروژه‌های خورشیدی از این نوع استفاده می‌شود.
- دقت به سیکل کاری باتری: سیکل کاری باتری‌ها از نوع عمیق یا کم‌عمق می‌باشند.

باتری‌های سیستم خورشیدی باید از نوع سیکل کاری عمیق یعنی قابلیت عمق دشارژ بالا و تعداد دفعات دشارژ بیشتر باشند.

توجه

باتری‌های ۱۲ ولت اتومبیل‌ها (سیکل کاری کم‌عمق) به هیچ وجه نباید در نیروگاه خورشیدی استفاده شوند.

ضوابط نصب باتری:

۱ بانک باتری در محلی (باکس یا اتاق جداگانه) نصب شود که تنها افراد مجاز به آن دسترسی داشته باشند.

۲ حتماً باید علامت‌های اعلام خطر مناسب روی محل باتری نصب شود.

۳ توالی اتصال باتری، بار و مدول خورشیدی حتماً رعایت شود (شکل۳۴).

شکل۳۴ــ اتصال باتری و بار به کنترل شارژ

کلیدهای جداکننده فیوز و حفاظت:

هنگام اتصال بار به سیستم، برای جلوگیری از هرگونه اضافه بار و خطاهای ممکن در بهره‌برداری به فیوز نیاز است .همچنین برای جداسازی قسمت‌های مختلف AC و DC نیاز به کلید جداکننده است.

در شرایط نرمال، یک ماژول فتوولتاییک ممکن است ولتاژ و جریان‌هایی بیشتر از مقدار گزارش شده در شرایط استاندارد را تولید کند. بنابراین مقادیر ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه گزارش شده هر پانل مطابق استاندارد باید در ضریب ۱/۲۵ برای اندازه کابل کلید و فیوز متصل به خروج پانل ضرب شود.

۱۵ــ۱ــ کابل

۱ کابل استفاده شده فقط باید از نوع مسی باشد.
(کابل‌های آلومینیومی‌قابل قبول نیست)

۲ به دلیل استفاده از کابل‌های سیستم خورشیدی در فضای آزاد، این کابل‌ها

باید دارای تحمل دما بین ۴۰ـ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد و مقاوم در برابر اشعه UV باشند.

۳ ساختار کابل باید بدون هالوژن، ضدآتش و یا دود کم باشد.

۴ سطح عایقی کابل باید ۱/۸ کیلو ولت DC و ۱ کیلو ولت AC باشد.

۵ به هیچ وجه نباید اتصالات هنگام اتصال بار قطع شود (شکل۳۵)

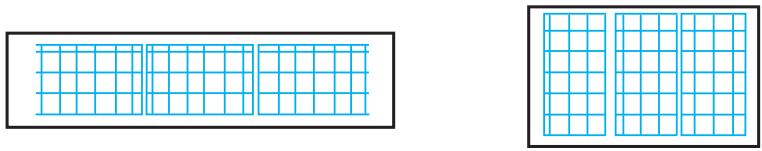
شکل۳۵ـ اتصال MC۴ زیر بار قطع نشود.

۱۶ـ۱ـ محاسبه مساحت زمین مورد نیاز

بعد از انتخاب نوع پانل و محاسبه تعداد مورد نیاز مهم‌ترین قسمت در نظر گرفتن مساحت قابل اختصاص به نیروگاه کوچک مقیاس خورشیدی در محل مورد نظر (زمین یا پشت بام) می‌باشد.

برای اینکه میزان جذب سالانه انرژی توسط یک سیستم خورشیدی به حداکثر میزان خود برسد، باید نور خورشید حتی‌الامکان به صورت عمودی به پانل بتابد. برای تحقق این امر بهتر است که زاویه شیب پانل، تقریباً برابر با عرض جغرافیایی منطقه نصب باشد. به عنوان نمونه شهر تهران در صورتی که پانل‌ها در زاویه حدود ۳۰/۴۶ درجه نسبت به افق قرار داده شوند، بالاترین دریافت انرژی در طول سال وجود خواهد داشت. از طرف دیگر با توجه به اینکه زاویه تابش خورشید در فصول مختلف سال تغییر می‌کند، زاویه شیب مناسب در فصل زمستان در شهر تهران برابر ۴۰/۵۶ درجه، در فصل تابستان برابر ۲۸/۸ درجه و در بهار و پاییز برابر ۳۲/۹۸ درجه می‌باشد.

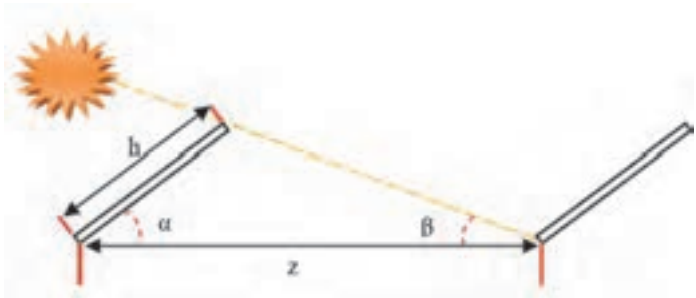
با توجه به مشخص بودن ابعاد پانل انتخابی (طول و عرض در برگه اطلاعات فنی سازنده) و در نظر گرفتن زاویه نصب ۳۰/۴۶ درجه دو گزینه برای نصب وجود خواهد داشت (شکل ۳۶ نحوه چیدمان پانل‌ها به صورت الف ـ عرضی و ب ـ طولی).



ب الف

شکل ۳۶ـ نحوه چیدمان پانل‌ها

برای جلوگیری از سایه‌اندازی پانل‌ها روی هم مطابق شکل ۳۶ باید مطابق رابطه زیر فاصله مناسب بین ردیف پانل‌ها محاسبه شود. زاویه تابش ماکزیمم در تهران در ظهر تیرماه ۷۷/۵ درجه و در ظهر دی ماه ۳۰/۵ درجه می‌باشد که در محاسبه فاصله ردیف‌ها باید کمترین زاویهٔ تابش یعنی ۳۰/۵ در نظر گرفته شود (شکل ۳۷).



شکل ۳۷ـ نحوه محاسبه فاصله مناسب پانل‌ها برای جلوگیری از سایه‌انداز

$$\frac{z}{h}=\frac{\sin ۱۸۰^\circ-(\alpha+\beta)}{\sin\beta}=۱/۷۲۳$$

در این رابطه:

α: زاویه نصب پانل و برابر ۳۰/۴۶ درجه

β: مینیمم زاویه تابش در تهران در ظهر دی ماه و برابر ۳۰/۵ درجه

h: طول پانل در نصب عرضی و عرض پانل در نصب به شکل طولی (شکل ۲۵).

Z: فاصله مجاز ردیف بین پانل‌ها می‌باشد.

با انتخاب نحوه چیدمان و فاصله مناسب بین پانل‌ها مساحت مورد نیاز جهت نصب مجموعه مدول محاسبه خواهد شد. اگر مساحت به‌دست آمده در دو روش چیدمان از مساحت قابل اختصاص بزرگ‌تر باشد، باید با کاهش بارهای متصل به سیستم خورشیدی (حذف تعدادی از بارها به ترتیب اولویت) و انجام مجدد محاسبات مساحت مورد نیاز را با فضای قابل اختصاص تطبیق داد.

۱۷ـ۱ـ عوامل ایجاد سایه روی مدول‌ها

سایه روی مدول خورشیدی در اثر عوامل زیر ایجاد می شود:

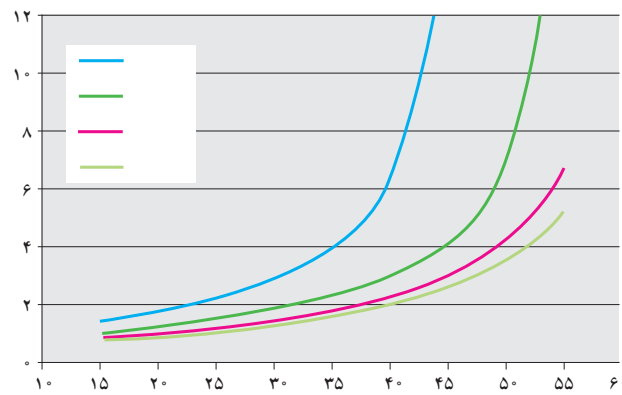
۱ درختان
۲ برج‌ها
۳ خطوط هوایی برق
۴ ساختمان و سازه‌ها
۵ آنتن‌ها
۶ دودکش‌ها
۷ لوله‌های تهویه
۸ استراکچر و دیگر مدول‌های خورشیدی
۹ انباشت گرد و خاک روی مدول

ـ آرایه خورشیدی حداقل، ۶ ساعت در طول میانه روز باید بدون سایه باشد (از ۹ صبح تا ۳ بعد از ظهر).

ـ سایه آرایه مجاور قادر است کل توان الکتریکی یک رشته مدول سری شده را تضعیف و حتی به صفر برساند. سایه‌اندازی آرایه‌ها در زمستان بیشتر از تابستان است به همین خاطر اگر به‌طور متوسط برای ارتفاع آرایه از کف به عنوان مثال ۹۰ سانتی‌متر منظور شود فاصله ردیف دو آرایه از همدیگر باید حدود ۲۷۰ سانتی‌متر باشد تا اثر سایه حذف شود.

البته این حد مجاز به عرض جغرافیایی منطقه بستگی دارد و همچنین به ارتفاع آرایه و زمان روز و سال که قصد کاهش سایه در آن در نظر گرفته شده است.

در منحنی شکل ۳۸ ضریب فاصله بین آرایه‌ها متناسب با عرض جغرافیایی منطقه و ساعات روز نشان داده شده است.



شکل ۳۸ـ نسبت فاصله بین مدول‌ها به ارتفاع مدول برحسب عرض جغرافیایی

ایران بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض جغرافیایی قرار دارد. به عنوان مثال شهر یزد که روی مدار ۳۲ درجه عرض جغرافیایی قرار دارد در ساعات بین ۹ صبح تا ۳ بعد از ظهر فاصله بین آرایه‌ها باید حدود ۲ برابر ارتفاع آرایه مجاور باشد. همین شرایط برای پارس‌آباد در حدود ۳ برابر است.جدول ۳ عرض جغرافیایی شهرهای مختلف ایران را نشان می‌دهد.

جدول۳ـ عرض جغرافیایی مراکز استان‌های ایران

اراک	۳۴/۰۶	تبریز	۳۸/۰۶	قزوین	۳۶/۱۵
اردبیل	۳۸/۱۵	تهران	۳۵/۰۷	قم	۳۴/۴۹
ارومیه	۳۷/۳۴	خرم‌آباد	۳۳/۰۶	کرج	۳۵/۴۸
اصفهان	۳۲/۰۷	رشت	۳۳/۰۳	کرمان	۳۰/۰۳
اهواز	۳۱/۲۲	زاهدان	۲۹/۰۳	کرمانشاه	۳۴/۲۳
ایلام	۳۳/۰۶	زنجان	۳۶/۰۷	گرگان	۳۶/۰۸
بجنورد	۳۷/۲۷	سمنان	۳۵/۰۶	مشهد	۳۶/۱۹
بندرعباس	۲۷/۱۷	سنندج	۳۵/۰۳	همدان	۳۶/۰۴۶
بوشهر	۲۷/۰۴	شهرکرد	۳۲/۰۲	یاسوج	۳۰/۰۷
بیرجند	۳۲/۰۹	شیراز	۲۹/۰۶	یزد	۳۲

برای تنظیم بهینه زاویه مدول خورشیدی با توجه به فصل‌های مختلف از جدول ۴ می‌توان استفاده کرد :

جدول۴ـ زوایای بهینه مراکز استان‌ها به تفکیک ۲۱ ماه سال

اراک	۱۸/۸	۵/۲	-۴	-۲/۲	۷/۹	۲۲/۸	۲۹/۲	۴۸/۵	۵۴/۹	۴۹/۲	۴۳	۲۷/۱
اردبیل	۱۸/۲	۷/۳	-۱/۳	-۰/۱۵	۱۰/۷	۲۵/۴	۴۰/۴	۵۱/۹	۵۵/۷	۵۴/۹	۳۰/۴	۲۷/۸
ارومیه	۲۰	۷/۴	-۲	-۱/۲	۱۱/۷	۲۶	۳۹/۵	۴۹/۵	۵۴/۹	۵۰/۸	۲۲/۲	۲۳/۴
اصفهان	۱۹/۲	۹/۶	-۵/۲	-۲/۶	۷/۲	۲۲	۲۰/۲	۵۲	۵۷	۵۵/۷	۲۹/۵	۲۲/۹
اهواز	۱۵/۲	۲/۶	-۳/۲	-۵/۲	۵/۲	۲۱/۶	۳۴/۸	۴۵	۵۰/۱	۴۵/۵	۲۲/۲	۲۲/۲
ایلام	۱۸/۲	۹/۸	-۲/۷	-۴	۸/۲	۲۵/۱	۲۰/۹	۲۹/۵	۵۲/۶	۵۱	۲۱/۸	۲۰
بجنورد	۲۱/۲	۷/۸	-۱/۲	-۱/۶	۱۰/۲	۲۵	۲۱/۲	۵۳/۱	۵۶/۲	۵۶/۲	۵۱/۱	۲۰/۲
بندرعباس	۱۲/۹	۰/۱	-۸	-۴/۶	۱/۵	۱۵/۸	۲۱/۹	۲۲/۹	۲۸/۲	۲۳/۱	۲۵/۹	۲۱
بوشهر	۱۲/۹	۰	۸/۲	۷/۹	۲/۱	۲۰/۸	۲۰/۸	۴۰/۵	۴۲/۳	۴۵	۴۲/۲	۱۹/۲
بیرجند	۱۹/۲	۹/۸	-۵/۲	-۴/۶	۷/۸	۲۵/۱	۲۱/۵	۵۲	۵۸/۲	۴۹/۲	۳۵/۱	۲۸/۵
تبریز	۱۹/۲	۸/۲	-۱/۲	-۰/۲	۱۳/۹	۳۰	۴۵/۲	۵۲	۵۹/۶	۴۹/۸	۳۰/۶	۲۸/۲
تهران	۱۹/۵	۶/۶	-۳/۲	-۲/۲	۹/۸	۲۲/۱	۲۰/۹	۵۰/۲	۵۲/۲	۱۶/۷	۲۲/۲	۲۷/۸
خرم آباد	۲۱/۲	۹/۲	-۴/۲	-۲/۲	۹/۶	۲۲/۶	۲۲/۲	۵۲/۲	۵۸/۲	۵۰/۸	۲۲/۲	۲۹/۶
رشت	۷/۹	۱/۸	-۶	-۳	۳	۹	۹	۲۲	۲۶/۲	۲۰/۲	۱۲/۹	۱۲/۶
زاهدان	۱۶/۸	۱/۶	-۷/۵	-۴/۸	۳/۸	۲۰/۱	۲۴/۲	۲۹/۲	۵۲/۶	۴۵/۸	۲۲/۲	۲۵
زنجان	۱۸/۲	۸/۷	-۲/۲	-۱/۶	۱۰/۱	۲۵/۹	۲۱	۲۸/۸	۵۲/۲	۵۲/۲	۲۱	۲۷/۲
سمنان	۲۰/۲	۹/۵	-۳/۲	-۲/۵	۱۰/۲	۲۶/۲	۲۰/۹	۵۰/۱	۵۲/۹	۵۲/۹	۲۲/۱	۲۸/۱

بهترین زاویه نصب مدول خورشیدی مطابق با عرض جغرافیایی همان محل نصب است مثلاً برای تهران زاویه ۳۶ درجه به سمت جنوب بالاترین دریافت انرژی را دارد. حداقل شیب نصب نباید از ۱۰ درجه کمتر باشد زیرا هنگام بارش باران غبار روی مدول شسته و از روی آن خارج می‌شود.

نصب آرایه‌ها

نگهداری از مدول خورشیدی به محل نصب مدول و آرایه‌ها بستگی دارد.
نگهداری و دسترسی به مدول خورشیدی نسبت به محل نصب آنها متفاوت است.
محل نصب آرایه خورشیدی به طور معمول روی زمین، پشت بام و دیگر سازه‌ها است.

الف) نصب روی بام: متداول‌ترین محل نصب پشت بام است. محدودیت‌های دسترسی و حفاظت فیزیکی ایمنی بیشتری را به همراه دارد و نور خورشید مستقیم دریافت می‌کند. همچنین نصب PV روی بام فضای زمین را اشغال نمی‌کند. محدودیت دسترسی برای مهار آتش احتمالی و خطر سقوط از شیب بام در سقف‌های شیروانی از محدودیت‌های تعمیر و نگهداری روی بام است.

ب) نصب روی زمین: به‌طور معمول آرایه‌های نصب شده روی زمین بیشتر از نصب روی بام در معرض آسیب هستند. مخصوصاً سیم‌کشی آرایه‌های نصب شده روی زمین باید بیشتر مورد محافظت قرار گیرد. عبور سیم از داخل لوله PVC و فنس‌کشی سیستم از جملهٔ این حفاظت‌هاست.

ج) نصب خاص: نصب مدول روی پایه‌های فلزی برای روشنایی پارک‌ها، چراغ راهنمایی و رانندگی و ایستگاه‌های مخابراتی از جمله نصب‌های خاص است. نمونه‌ای از کاربرد فتوولتاییک در چراغ راهنمایی و رانندگی در شکل ۳۹ نشان داده شده است.

شکل ۳۹ـ چراغ راهنمایی و رانندگی خورشیدی

ضوابط فنی عملکرد و نگهداری

سیستم‌های خورشیدی در مقایسه با تمامی‌سیستم‌های دیگر تولید انرژی، نیاز به تعمیر و نگهداری کمتری دارند. با این حال مطالعات نشان می‌دهد تعمیر و نگهداری مناسب سامانه‌های خورشیدی سبب افزایش ۱۲ درصدی مقدار انرژی قابل دریافت از سیستم نصب شده خواهد شد.

اقدامات زیر برای بهبود عملکرد سامانه خورشیدی قابل توجه است:

پانل خورشیدی

در دوره‌های ۳ ماهه باید عملیات زیر در مورد پانل‌ها انجام گیرد:

۱ تمیز کردن پانل‌ها تنها با آب بدون استفاده از مواد شیمیایی و حلال

نکته

در صورت کثیف شدن زیاد تنها با آب گرم باید تمیز شود.

۲ برای جلوگیری از شوک الکتریکی به هنگام تمیز کردن مدول‌ها جواهرات فلزی باید از دست خارج شوند.

۳ هرگز نباید روی پانل‌ها ایستاده یا پرید و از افتادن اجسام روی آنها باید جلوگیری کرد.

۴ مدول‌ها باید از گازهای قابل اشتعال دور باشند.

۵ آسیب‌دیدگی مدول‌ها بعد از عملیات پاک‌سازی بررسی شود و اقدام لازم برای تعویض مدول‌های معیوب انجام شود.

۶ بررسی اتصالات کابلی بین مدول‌ها و محکم کردن اتصالات شل شده انجام شود.

۷ بررسی ساختمان پانل‌ها از نظر شل شدن پیچ‌ها و ساختار و سازه صورت گیرد.

۸ ثبت ولتاژ و جریان خروجی مدول ثبت شود و با مقادیر مجاز مقایسه شود. در صورت اختلاف بیش از ۲۵ درصد ولتاژ و جریان ثبت شده مدول نسبت به مقادیر داده شده در برگه اطلاعات فنی سازنده مربوطه در شرایط هوای کاملاً آفتابی ظهر باید مدول تعویض شود.

در دوره‌های ۳ ماهه عملیات زیر باید انجام شود:

۱ بررسی عملکرد صحیح: ولتاژ خروجی ۲۲۰ ولت، توان در محدوده نرمال

۲ تمیز کردن اینورتر با دستمال خشک به خصوص قسمت‌های مربوط به خنک‌سازی دستگاه

۳ پاک کردن حشرات موذی از رو و داخل دستگاه به خصوص در قسمت‌هایی از دستگاه که باید خنک شوند.

۴ اطمینان از عملکرد صحیح اینورتر از طریق LED و صفحه نمایشگر روی دستگاه

۵ بررسی دمای عملکرد دستگاه و روشن بودن فن‌های خنک‌کننده: در صورت خاموش بودن فن‌ها (بی‌صدا شدن اینورتر) و غیرعادی بودن دما سریعاً باید سیستم خاموش شود.

برای تست عملکرد اینورتر ابتدا باید تمامی مصارف متصل به سیستم خورشیدی را خاموش کرد. سپس اینورتر روی حالت عملکرد اتصال قرار داده شود. پس از این با روشن کردن کوچک‌ترین مصرف‌کننده موجود، اینورتر باید سریعاً شروع به کار کند.

نگهداری کنترل شارژ

در دوره‌های ۳ ماهه عملیات زیر باید انجام شود:

بررسی عملکرد صحیح: هنگامی که ولتاژ باطری به مقدار مشخص رسید باید جریان شارژ قطع و یا کاهش یابد، در غیر این صورت شارژر معیوب است.

نگهداری باتری

باتری‌های سرب ـ اسیدی دارای عمر متوسط ۵ سال بوده و دارای بیشترین هزینه تعمیر و نگهداری در سیستم به دلیل عمر کوتاه نسبت به دیگر اجزای سیستم خورشیدی هستند. بنابراین دقت در نوع استفاده و انجام عملیات نگهداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. پیش از انجام عملیات نگهداری باید سیستم به ترتیب زیر خاموش و ایزوله شود.

۱ ابتدا تمامی بارهای وصل شده به سیستم خورشیدی خاموش شود.

۲ مدول و اینورترها با استفاده از کلیدهای جداکننده مربوطه جداسازی شوند.

۳ بانک باتری با استفاده از کلیدها و فیوزهای مربوط به بانک باتری جداسازی شود.

نکته

ابتدا باید فیوزهای ترمینال منفی بانک باتری و سپس فیوزهای ترمینال مثبت خارج شوند.

۴ اتصالات و ترمینال‌های باتری‌ها با جوش شیرین و فرچه مخصوص شسته و تمیز شوند.

۵ الکترولیت با آب مقطر در صورت کم شدن الکترولیت باید پر شود.

- باتری‌های سرب ـ اسیدی نباید بیش از چند روز در حالت دشارژ کامل باقی بمانند. این حالت به سرعت باتری را غیرقابل‌استفاده خواهد کرد.
- بعد از هر بار دشارژ عمیق: شب‌ها یا روزهای ابری، باتری باید به صورت کامل دشارژ شود. عدم شارژ مجدد به صورت کامل (حتی نیمه‌شارژ) عمر باطری را به کمتر از یک سال کاهش خواهد داد.
- بازدید منظم باتری‌ها هر ۳ ماه یک‌بارصورت گیرد.

ـ تمیز بودن ترمینال‌ها
ـ سطح الکترولیت در باتری‌های اسیدی
ـ نشت الکترولیت به بیرون
ـ اندازه‌گیری ولتاژ باتری

تست مقاومت عایقی:

تست مقاومت عایقی یکی از تست‌های روتین هنگام تحویل سامانه نصب شده است. این تست بین هر هادی‌های برق‌دار و زمین و بین هر دو هادی قبل از اینکه مدول خورشیدی به مدار اضافه شود انجام می‌شود. مقدار ولتاژ اعمال شده برای این تست ۵۰۰VDC است.

مرحله اول: اتصال سیم مثبت و منفی مدار به یکدیگر و اندازه‌گیری مقاومت عایقی بین این دو و بدنه فلزی مدول خورشیدی است (شکل ۴۰).

شکل ۴۰ـ انجام تست عایقی

مرحله دوم: اندازه‌گیری مقاومت عایقی بین اتصال و هادی زمین سامانه خورشیدی است. برای انجام این تست می‌توان جداگانه سیم مثبت و منفی را با اتصال زمین تست کرد.

توجه

در حالت دوم باید دقت کرد مقدار ولتاژ تست از مقدار ولتاژ نامی کابل‌ها تجاوز نکند.

پاسخ به فعالیت‌ها و پرسش‌ها و تمرین‌ها

پرسش

در شهرهای زیر کدام یک از منابع تجدیدپذیر در تولید انرژی مورد استفاده قرار گرفته است؟

پاسخ: گیلان (انرژی باد) ـ مشکین‌شهر (زمین گرمایی) ـ تهران (زیست توده) ـ مسجد سلیمان (نیروگاه آبی) ـ یزد (خورشیدی)

پرسش

در مورد تأثیرگذاری انواع مختلف منابع انرژی بر روی محیط زیست با همکلاسی‌های خود بحث کنید و با توجه به نتایج بحث کلاسی، جدول ۵ را کامل نمایید.

جدول۵ـ تأثیر منابع انرژی

انواع منبع	منابع انرژی	حیات وحش	آلودگی هوا	تغییر اقلیم	نمونه تأثیرگذاری
تجدیدناپذیر	زغال سنگ	بسیار زیاد	بسیار زیاد	دارد	اثرات محیطی معادن زغال‌سنگ
	نفت خام و فرآورده‌های نفتی	بسیار زیاد	متوسط تا زیاد	دارد	شهرهای نفت‌خیز
	گاز طبیعی	بسیار زیاد	متوسط تا زیاد	دارد	شهرهای نفت‌خیز
	هسته ای	زیاد	متوسط	دارد	نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل
تجدیدپذیر	زیست توده	کم	کم تا متوسط	کم	نیروگاه زیست توده تهران
	باد	کم	ندارد	خیلی کم	نیروگاه بادی منجیل
	خورشید	کم	ندارد	خیلی کم	نیروگاه خورشیدی همدان
	زمین گرمایی	نزدیک صفر	کم	کم	مشکین شهر

تحقیق کنید

کدام یک از استان‌های کشورمان ایران، ظرفیت بیشتری برای تولید انرژی الکتریکی خورشیدی دارد؟

پاسخ: استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان، یزد، فارس و اصفهان ظرفیت و پتانسیل خوبی برای تولید انرژی الکتریکی دارند.

پرسش

کمترین تابش در کشور ایران از بیشترین میزان تابش در کشور آلمان بیشتر است. به نظر شما کمترین تابش در ایران چند PSH است؟

پاسخ: کمترین تابش در ایران حدود ۴/۵PSH است.

فعالیت

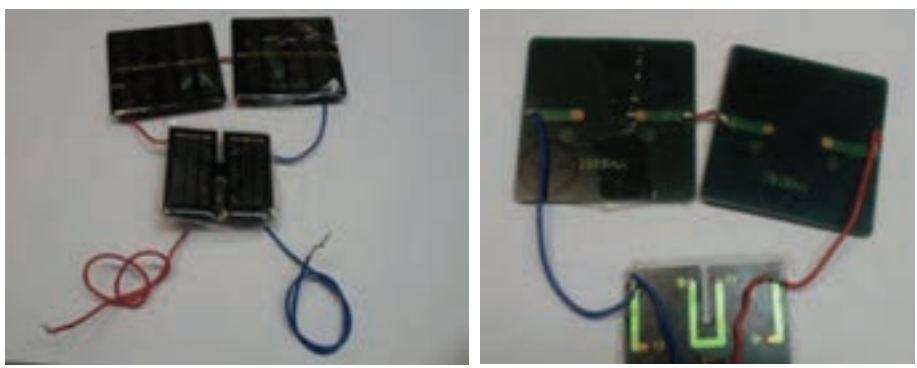
با استفاده از شکل ۹ چه تفاوت‌هایی بین این دو نوع سامانه دیده می شود. در مورد آنها بحث کنید.

پاسخ: در سامانه مستقل از شبکه از باتری استفاده شده است. در سامانه متصل به شبکه سامانه به شبکه برق سراسری متصل است.

فعالیت

با اتصال چند سلول خورشیدی به صورت سری و موازی مطابق شکل ۳۰ مقدار ولتاژ خروجی را در موقعیت‌های مختلف نور در روز امتحان کنید. اگر پلاریته مثبت و منفی درست رعایت نشود چه اتفاقی می‌افتد؟

پاسخ: شبیه اتصال پیل‌های الکتریکی جریان گردشی اتفاق می افتد و اتصال متقابل رخ می‌دهد (شکل ۴۱).



شکل ۴۱ـ اتصال پیل‌ها

پرسش

در جدول ۶ یک مدول خورشیدی با کاتالوگ مشخصات فنی آورده شده است. پارامترهای مشخصه فنی آن را استخراج نمایید، چرا توان‌های خروجی متفاوتی برای مدول خورشیدی در نظر گرفته شده است؟

پاسخ: جریان اتصال کوتاه (ISC): ۱۰/۰۵A ولتاژ بی‌باری (Voc): ۴۰/۹V
راندمان: ۱۹/۵ درصد

جدول ۶ــ مشخصات کاتالوگ

Electrical Properties (STC*)

Module Type	320 W	315 W	310 W	305 W
MPP Voltage (Vmpp)	33.6	33.2	32.8	32.5
MPP Current (Impp)	9.53	9.50	9.45	9.39
Open Circuit Voltage (Voc)	40.9	40.6	40.4	40.1
Short Circuit Current (Isc)	10.05	10.02	9.96	9.93
Module Efficiency (%)	19.5	19.2	18.9	18.6
Operating Temperature (°C)	-40 - +90			
Maximum System Voltage (V)	1000			
Maximum Series Fuse Rating (A)	20			
Power Tolerance (%)	0 - +3			

* STC (Standard Test Condition): Irradiance 1000 W/m², Module Temperature 25 °C, AM 1.5

فعالیت

تصویر و متن زیر را تفسیر کنید.

پاسخ: در این مدول خورشیدی، تعداد ۳۶ سلول برای تولید ولتاژ مؤثر ۱۲ ولت سری شده‌اند تا باتری را شارژ کنند. اغلب مدول‌ها دارای ۳۶ سلول سری شده هستند. ولتاژ مدار باز این مدول حدود ۲۱ ولت در شرایط استاندارد است و مقدار ولتاژ مدار باز در شرایط توان ماکزیمم حدود ۱۷ تا ۱۸ ولت است.

پرسش

در سه حالت زیر، چه رابطه‌ای بین تعداد سلول‌های سری و موازی شده و منحنی جریان ــ ولتاژ آن اتصال وجود دارد. در مورد آن بحث و تبادل نظر کنید.

پاسخ: با اتصال سری مدول‌ها، منحنی جریان ولتاژ به سمت راست (افقی) و با اتصال موازی مدول‌های منحنی به سمت بالا (عمودی) تمایل پیدا می‌کند. در حالت سری ولتاژ و در حالت موازی جریان افزایش می‌یابد.

پرسش

آیا ممکن است یک مدول خورشیدی چند نقطه کار مختلف داشته باشد؟

پاسخ: خیر، هر مدول یک نقطه کار دارد.

پرسش

آیا ممکن است این ولتاژ وجریان DC را به متناوب (AC) تبدیل کرد؟

پاسخ: بله، با استفاده از اینورتر یا مبدل

پرسش

آیا مقدار مقاومت اهمی کار عملی با مقدار به‌دست آمده طبق رابطه قانون اهم یکی است؟

پاسخ: بله

پرسش

آیا با کاهش دما، ولتاژ بی‌باری بیشتر می‌شود؟ چقدر؟

پاسخ: با کاهش دما ولتاژ بیشتر می‌شود، حدود ۲ تا ۳ ولت.

پرسش

در چه وضعیتی بیشترین ولتاژ بی‌باری و بیشترین جریان اتصال کوتاه ایجاد می‌شود؟

پاسخ: در حالت نقطه کار بیشترین جریان و ولتاژ ایجاد می‌شود.

پرسش

کدام یک تأثیر بیشتری بر خروجی مدول دارد؟ سایه مداد، سایه کف دست، سایه کتاب

پاسخ: سایه کتاب

پرسش

مقدار توان خروجی را در سه حالت (الف، ب و ج) شکل ۱۵ به‌دست آورید. کدام اتصال توان خروجی بیشتری دارد؟ اگر تعداد ۶۰ مدول (۱۲V/۴A) روی بام خانه در ۵ ردیف سری شده باشد توان خروجی آن چند کیلو وات خواهد بود؟

حالت الف: $P_m = ۲۴ \times ۴ = ۹۶\ w$

حالت ب: $P_m = ۱۲ \times ۱۲ = ۱۴۴\ w$

حالت ج: $P_m = ۲۴ \times ۸ = ۱۹۲\ w$

با اتصال ۶۰ مدول در ۵ رشته تعداد هر رشته ۱۲ عدد خواهد بود.

توان هر رشته = ۶۰ × ۴ = ۲۴۰

توان کل = ۲۴۰ × ۵ = ۱۰۰۰ w = ۱Kw

فعالیت

در شکل ۱۵ نام هر قسمت را بنویسید.

پاسخ: از چپ به راست ۱ـ سلول ۲ـ مدول ۳ـ پنل ۴ـ آرایه

پرسش

نیروگاه برق خورشیدی نصب شده به ظرفیت ۳kw در یک هنرستان فنی و حرفه‌ای در شکل ۱۶ نشان داده شده است. برآورد کنید این توان روشنایی حدوداً چه بخشی از کارگاه یا کلاس درس را می‌تواند تأمین کند؟

پاسخ: اگر تلفات را در نظر نگیریم و ولتاژ تغذیه مصرف‌کننده‌ها را ۲۲۰ ولت فرض کنیم:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{۳۰۰۰}{۲۲۰} = ۱۵\ A$$

تا ۱۵ آمپر خروجی دارد.

فعالیت

دو نمونه کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی درتولید برق در شکل ۱۷ نشان داده شده است. کاربردهای دیگری مانند شکل ۱۸ را نام ببرید.

پاسخ:

الف: شارژ گوشی تلفن همراه و دوربین دیجیتال و نظایر آن.

ب: شارژ خودروهای هیبریدی و برقی

فعالیت

در شکل ۲۲ با استفاده از سیستم فتوولتاییک چه کاری انجام می‌شود؟

پاسخ: کاربرد فتوولتاییک در الکترولیز را نشان می‌دهد.

پرسش

به نظر شما نقطه کار نهایی این دو اتصال چگونه خواهد بود؟

پاسخ: نقطه کار نهایی تابع عامل ناسازگار است پس نقطه کار مشخصی نخواهد داشت.

پرسش

چرا توان نهایی با مجموع توان دو مدول برابر نیست؟

پاسخ: زیرا در هر حالت یک عامل ناسازگار وجود دارد. وقتی دو مدول غیرمشابه سری می‌شوند، جریان کل برابر جریان مدول با جریان کمتر خواهد بود و جریان عامل ناسازگار است. اما در اتصال موازی دو مدول غیرمشابه ولتاژ خروجی برابر ولتاژ مدول با خروجی کمتر است و در این حالت عامل ناسازگار ولتاژ است.

فعالیت

اگر مطابق شکل ۲۴ با فرض هم‌ولتاژ بودن باتری و مدول خورشیدی، مستقیماً به همدیگر وصل شوند چه پیامدی خواهد داشت؟

پاسخ: ولتاژ تولیدی مدول خورشیدی متغیر است پس اتصال مستقیم آن به باتری که ولتاژ ثابت دارد مجاز نیست.

پرسش

اینورتر نصب شده در برق خورشیدی روستاهای دور افتاده و خارج از دسترس شبکه برق کشور از کدام نوع است؟

پاسخ: اینورتر مستقل از شبکه

فعالیت

در شکل۳۵ دو نمونه نصب سامانه فتوولتاییک خانگی نشان داده شده است. چه تفاوتی بین اتصالات این دو نصب مشاهده می‌کنید در مورد آن بحث و تبادل نظر نمایید.

پاسخ: در تصویر سمت راست داکت‌کشی و سیم‌کشی سامانه بهتر از تصویر سمت چپ است. در ضمن پوشش باز روی باتری می‌تواند احتمال اتصال کوتاه قطب‌های باتری و آتش‌سوزی را ایجاد کند.

پرسش

دیاگرام زیر را تفسیر کنید. در این دیاگرام اجزای سیستم و ارتباط آنها با یکدیگر را بررسی کنید. وظیفه هر قسمت را توضیح دهید.

پاسخ: سامانه متصل به شبکه را نشان می‌دهد.

بحث کنید

عملکرد چراغ خورشیدی خیابانی: بسیاری از چراغ روشنایی خیابانی امروزه با استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک انرژی خود را تأمین می‌کنند .در مورد عملکرد این چراغ‌های خورشیدی بحث و تبادل نظر کنید و در مورد توان مصرفی آنها تحقیق کنید.

پاسخ: این سامانه مربوط به چراغ چشمک‌زن می‌باشد. ۱۲ ولت و ۱۰ وات با دو باتری موازی و دو عدد مدول سری شده است.

پرسش

کدام یک از دو نمونه پایه معرفی شده در برابر باد شدید و باران استحکام بیشتری دارد؟

پاسخ: نمونه‌ای که دارای پایه فلزی است استحکام بیشتری دارد.

پرسش

هنرستان فنی و حرفه‌ای شهید رجایی تهران دارای یک نیروگاه خورشیدی با توان ۵KW است. طبق شکل ۴۴ مدول‌ها در دو ردیف ۱۰ تایی نصب شده است. اگر طول و عرض هر مدول به ترتیب ۱/۶۶ و ۰/۹۵ متر باشد. برای نصب این دو ردیف حدوداً به چند متر مربع فضای نصب نیاز است؟

پاسخ: ابعاد هر پنل ۱/۶۶متر طول و ۰/۹۵متر عرض است که مساحت برابر ۱/۵ متر مربع خواهد بود. ابعاد مدول‌های هر رشته ده تایی ۱۵ مترمربع است. که برای کل پنل‌ها ۳۰ مترخواهد بود. با احتساب ضریب ۱/۷۳ برای جلوگیری از سایه، فضای بین دو رشته برابر می‌شود با:۱۳=۱۵ـ۲۸، و با لحاظ فاصله مجاز از لبه بام حدود ۴۰ متر مربع فضا نیاز است.

پرسش

در شکل ۴۷ مسیر خروجی آرایه، ورود به شارژ کنترولر، خروجی باتری و اینورتر را مشخص کنید.

پاسخ: مسیرهای ورودی و خروجی مطابق شکل ۴۲ است.

شکل ۴۲ـ اتصالات سامانه فتوولتاییک

پاسخ به پرسش‌ها و فعالیت‌های بخش نگهداری سامانه فتوولتاییک

فعالیت

پیام زیر چه نکته‌ای را به برق‌کاران توصیه می کند؟

پاسخ: کاربرد سامانه‌های فتوولتاییک هر روزه متداول‌تر می‌شود و خیلی مهم است که هر برق‌کاری بتواند فعالیت‌های بازرسی و تست سامانه فتوولتاییک را انجام دهد.

پرسش

چرا نگهداری دیزل ژنراتورها نسبت به سامانه‌های فتوولتاییک دارای هزینه بیشتری است؟

پاسخ: دیزل ژنراتورها نسبت به سامانه‌های فتوولتاییک بسیار مفصل هستند و از تجهیزات مکانیکی و متحرک تشکیل شده و استهلاک دارند.

تحقیق کنید

بازدهی نصب مدول خورشیدی در کدام دو فصل به هم نزدیک‌تر است؟ با افزایش عرض جغرافیایی چه تغییر در زاویه تابش خورشید ملاحظه می‌شود؟

پاسخ: فصول بهار و تابستان زاویه تابش نزدیک به یکدیگر دارند و فصل‌های پاییز و زمستان نیز هم به همین صورت است. هر قدر عرض جغرافیایی بیشتر می‌شود زاویه تابش مایل‌تر بوده و زاویه نصب نیز بیشتر می‌شود.

پرسش

چه عواملی در کاهش توان خروجی چراغ‌های خورشیدی پارک‌ها و چراغ‌های راهنمایی رانندگی اثرگذار است؟

پاسخ: تمیزی مدول خورشیدی، تغییر زاویه نصب مدول خورشیدی ، دما

فعالیت

متن زیر چه تذکر مهمی در مورد تمیز کردن و بازرسی مدول خورشیدی را بیان کرده است؟

پاسخ: از برس فلزی برای تمیز کردن صفحات استفاده نشود. هنگام نگهداری و نظافت پنل‌های روی بام مواظب سقوط از ارتفاع باشید.

فعالیت

متن زیر چه تذکر مهمی در مورد جلوگیری از شوک الکتریکی با مدول خورشیدی را بیان کرده است؟

پاسخ:هنگام تست مدول‌های خورشیدی سطح روی مدول را از تابش خورشید بپوشانید.

پرسش

نکته ایمنی متن روبه‌رو را بررسی و تفسیر کنید.

پاسخ: اگر ولتاژ مدار باز مدول‌های سری شده به ۱۲۰ ولت یا بیشتر مستقیم برسد نگهداری و بررسی حتماً باید توسط کارگر ماهر دارای صلاحیت حرفه‌ای انجام شود.

فعالیت

با توجه به ضریب تأثیر دما در کاتالوگ مدول خورشیدی جدول ۲ـ با فرض دمای ۴۰ درجه محیط مقدار اندازه‌گیری شده V_{oc}چقدر خواهد بود؟ اگر تعداد ۱۰ عدد مدول در یک رشته با هم سری شده باشد این مقدار افت ولتاژ چقدر خواهد بود؟

طبق ضریب اثر دما در جدول:

$(۴۰ - ۲۵) \times ۰/۱۷۲ = ۲/۵۸ \text{ v}$

$۱۰ \times ۲/۵۸ = ۲۵/۸ \simeq ۳۰ \text{ v}$ مقدار نهایی

فعالیت

با توجه به مقدار ضریب دما برای جریان اتصال کوتاه و مقدار جریان ISC، اگر دمای محیط ۴۰ درجه باشد جریان اتصال کوتاه چند میلی‌آمپر بیشتر خواهد شد؟

$(۴۰ - ۲۵) \times ۰/۸۸ = ۱۳/۲ \text{ mA}$

فعالیت

فعالیت (صفحه ۱۸۵)

ـ بهره‌برداری باتری به نحو صحیح استفاده شود.

ـ جریان بار و جریان مدول خورشیدی از جریان مجاز کنترل شارژ بیشتر نباشد.

ـ بازرسی تلفات، شکستگی و اتصالات سوخته سیم انجام شود و نسبت به تعویض آنها اقدام شود.

پرسش

چه نکات حفاظتی نصب و سیم‌کشی کنترل شارژ در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

۱ استفاده از فیوز محافظ در مسیر بار و باتری

۲ فاصله مجاز برای تهویه کنترل شارژ در حدود ۵۱ سانتی‌متر

فعالیت

متن زیر به چه نکاتی در بازرسی از طریق مشاهده باتری اشاره می‌کند؟

پاسخ: یکی از بازرسی‌های مشاهده‌ای، بررسی وضعیت عمومی باتری‌هاست.
هرگونه نشتی، شکستگی و ترک روی باتری و اتصالات باید بررسی شود.

فعالیت

متن زیر چه تذکر مهمی در مورد جلوگیری از آتش‌سوزی توسط باتری را بیان کرده است؟

پاسخ: قطب + و ـ باتری اتصال کوتاه نشوند.
ـ نزدیک باتری از استعمال سیگار خودداری شود. گاز هیدروژن تولید شده باتری مشتعل می‌شود.

فعالیت

متن زیر چه اخطار مهمی در مورد محل نصب اینورتر بیان کرده است؟

مبدل اینورتر در محل تردد تصادفی افراد نصب نشود.

فعالیت

متن زیر چه اخطار مهمی در مورد خنک شدن اینورتر بیان کرده است؟

پاسخ: تهویه اینورتر در کیفیت خروجی آن تأثیرگذار است. اینورتر در محیط با تهویه مناسب نصب شود.

فعالیت

متن زیر چه اخطار مهمی در مورد سیم‌کشی اینورتر بیان کرده است؟

پاسخ: خطر شوک ـ قبل از سیم‌کشی اینورتر مطمئن شوید که کلید اصلی اولیه در حالت قطع است.
این کلید فقط بعد از پایان و تکمیل سیم‌کشی در حالت وصل قرار گیرد.

فعالیت

متن زیر هشدار مهمی در مورد جلوگیری از خسارت به اینورتر بیان کرده است؟

پاسخ: خسارت به تجهیزات ـ برای مخالفت از آسیب به اینورتر، ولتاژ در باز آرایه نباید در هر شرایطی بیش از ۶۰۰ ولت باشد.

فعالیت

برچسب‌های داده شده شکل ۲۷ مربوط به کدام قسمت سامانه بوده و حامل چه پیامی است؟

پاسخ: بر چسب‌ها شامل هشدار خطوط برق دار DC و AC و خطر برق‌دار بودن جعبه اتصالات آرایه خورشیدی است و همچنین هشدار عدم قطع کلید DC در زمانی که سامانه تحت بار است و تذکر قطع بار AC قبل از قطع بخش DC است

فعالیت

مشخصه‌های الکتریکی داده شده در شکل ۲۸ را با یکدیگر مقایسه کنید.

پاسخ: هر دو دارای باتری ۲۱ ولت هستند ولی توان یکی سه برابر دیگری است.

فعالیت

با توجه به آنچه در واحد یادگیری همبندی و صاعقه‌گیر فرا گرفته‌اید نقش همبندی و صاعقه گیر در شکل ۳۳ را تفسیر کنید.

پاسخ: همبندی در سامانه فتوولتاییک به معنی هم پتانسیل کردن قطعات فلزی پایه‌های سامانه است و اتصال برق‌گیر و میله صاعقه‌گیر با رعایت فاصله‌های ایمنی و اندازه هادی راهنمای برق‌گیر انجام می‌شود (۶۱ میلی‌مترمربع)

فعالیت

در مورد هادی زمین شده و زمین نشده در شکل ۳۳ بحث و تبادل نظر کنید.

پاسخ: بدنه فلزی تجهیزات و پایه‌های سامانه اتصال زمین شده است.