سیستم‌های فتوولتائیک

فهرست مطالب

- ضرورت استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک
- تمرکز کشورهای پیشرفته در استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک
- مزایای سیستم های فتوولتائیک
- کاربرد سیستم های فتوولتائیک
- تاریخچه سیستم های فتوولتائیک
- تفاوت سیستم های فتوولتائیک با سایر سیستم های تولید کننده برق
- مواد به کار رفته در سلول های خورشیدی
- مکانیزم کاری سلول های خورشیدی
- سوال های متداول مشتریان سیستم های فتوولتائیک
- اجزای سیستم های فتوولتائیک
- اجزای مختلف یک ماژول فتوولتائیک

فهرست مطالب

- انواع پنل های خورشیدی
- روابط و فرمول‌های محاسباتی طراحی سیستم‌های فتوولتائیک
- نکاتی در مورد زاویه نصب سیستم‌های فتوولتائیک
- تعاریف اولیه و روابط محاسباتی خورشیدی
- ردیاب خورشیدی
- حداقل فاصله مجاز بین رشته پنل‌های خورشیدی
- اهمیت خنک کاری سیستم های فتوولتائیک
- انواع روش های خنک کاری سیستم های فتوولتائیک
- راندمان سیستم های فتوولتائیک

فهرست مطالب

- اهمیت تمیزکاری سیستم های فتوولتائیک
- نیروگاه شناور فتوولتائیک
- آشنایی با نرم افزار PVSyst
- بررسی اقتصادی سیستم های فتوولتائیک
- ملزومات توسعه سیستم های فتوولتائیک

ضرورت استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک

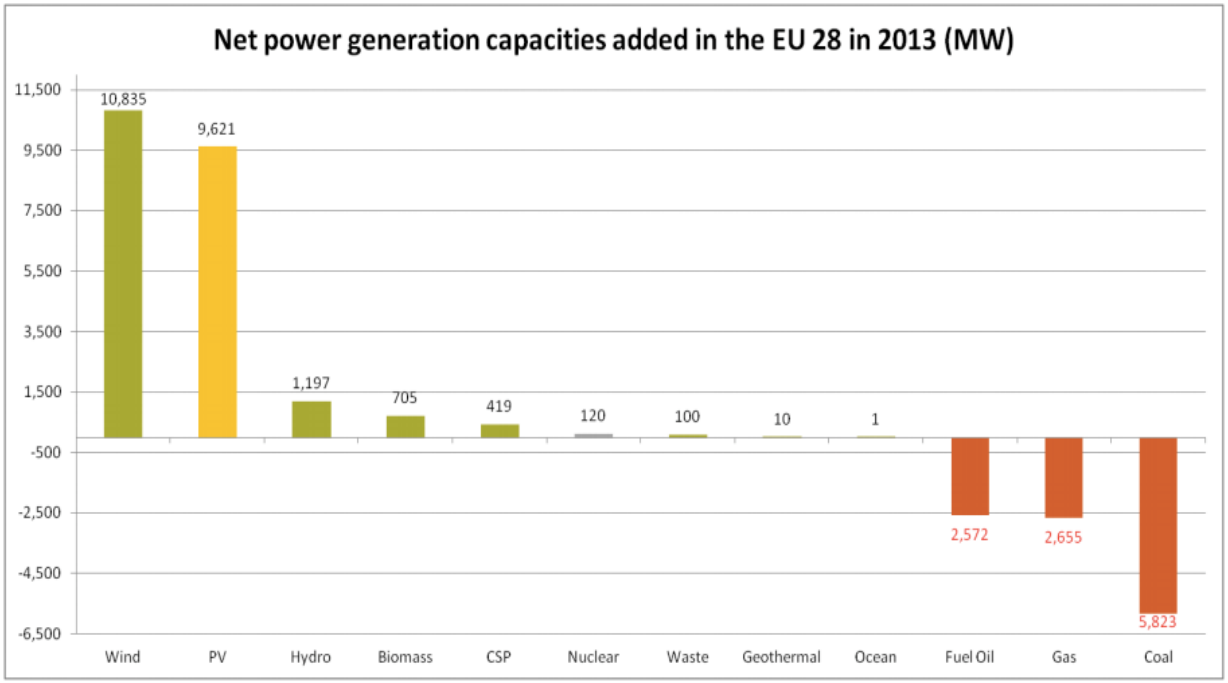
- محدود بودن ذخایر سوخت های فسیلی
- هزینه بالای سرمایه گذاری، تعمیر و نگهداری و سوخت نیروگاه های گازی، بخاری و.....
- افزایش سطح مصرف انرژی برق در ایران
- نگرانی‌های زیست محیطی
- پتانسیل اشتغال زایی صنعت فتوولتائیک
- وجود منابع سیلیس در ایران

اهمیت سیستم های فتوولتائیک برای مناطق روستایی و با جمعیت پراکنده در ایران

- ایران دارای مناطق روستایی و عشایری و مناطق با جمعیت پراکنده زیادی می باشد. برق رسانی به این مناطق مستلزم هزینه های زیاد انتقال است. همچنین تلفات بالای برق حین انتقال، برق رسانی به این مناطق را دچار مشکل می کند.
- تلفات شبکه توزیع برق در کشورهای پیشرفته مانند انگلستان ۵ درصد است اما میزان این تلفات در کشور حدود ۱۰.۶ درصد است که رقم قابل توجهی به شمار می‌آید.
- استفاده از سیستم های فتوولتائیک می تواند تا حدود زیادی هزینه های انتقال و تلفات انتقال برق به مناطق روستایی و مناطق با جمعیت پراکنده در ایران را نسبت به گسترش شبکه سراسری برق کاهش دهد.

تمرکز اروپا در استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک

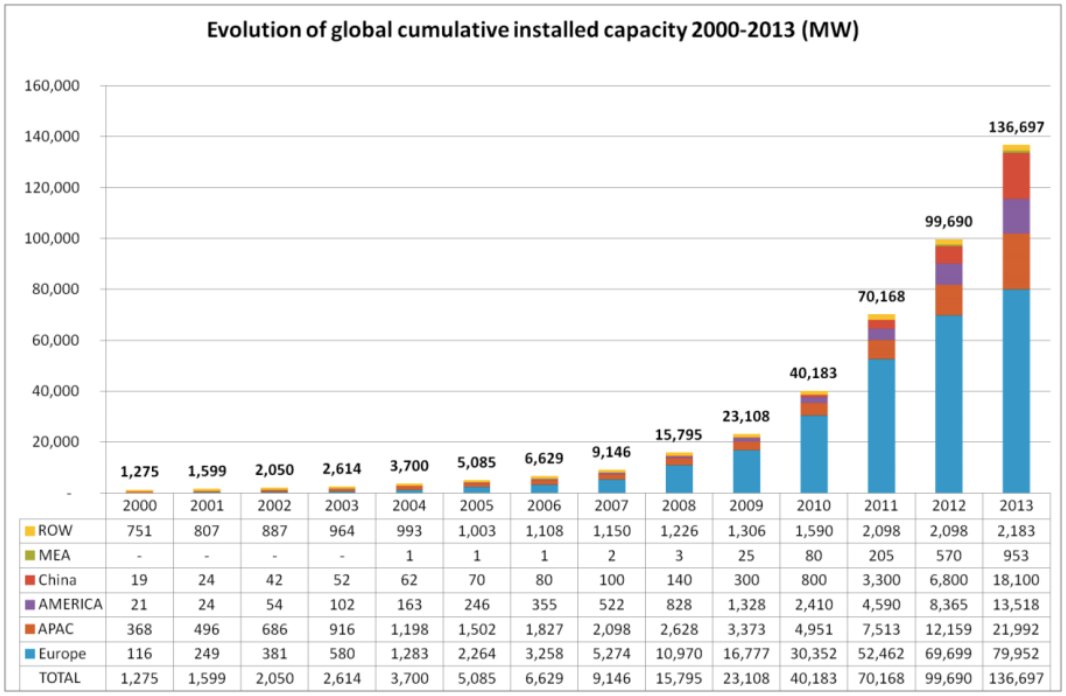
- تمرکز کشورهای پیشرفته بر روی استفاده بیشتر از سیستم های فتوولتائیک معطوف شده است. شـکل زیر افزایش ظرفیت تولید انرژی الکتریکی در سال ۲۰۱۳ میلادی با استفاده از تکنولوژی‌های گوناگون در اتحادیه اروپا را نمایش می‌دهد.



Source: EPIA, ESTELA, EU-OEA, EWEA, Platts PowerVision, PV CYCLE

تمرکز جهان در استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک

- شکل زیر ظرفیت نصب شده سیستم‌های فتوولتائیک بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ میلادی را در جهان نشان می دهد.

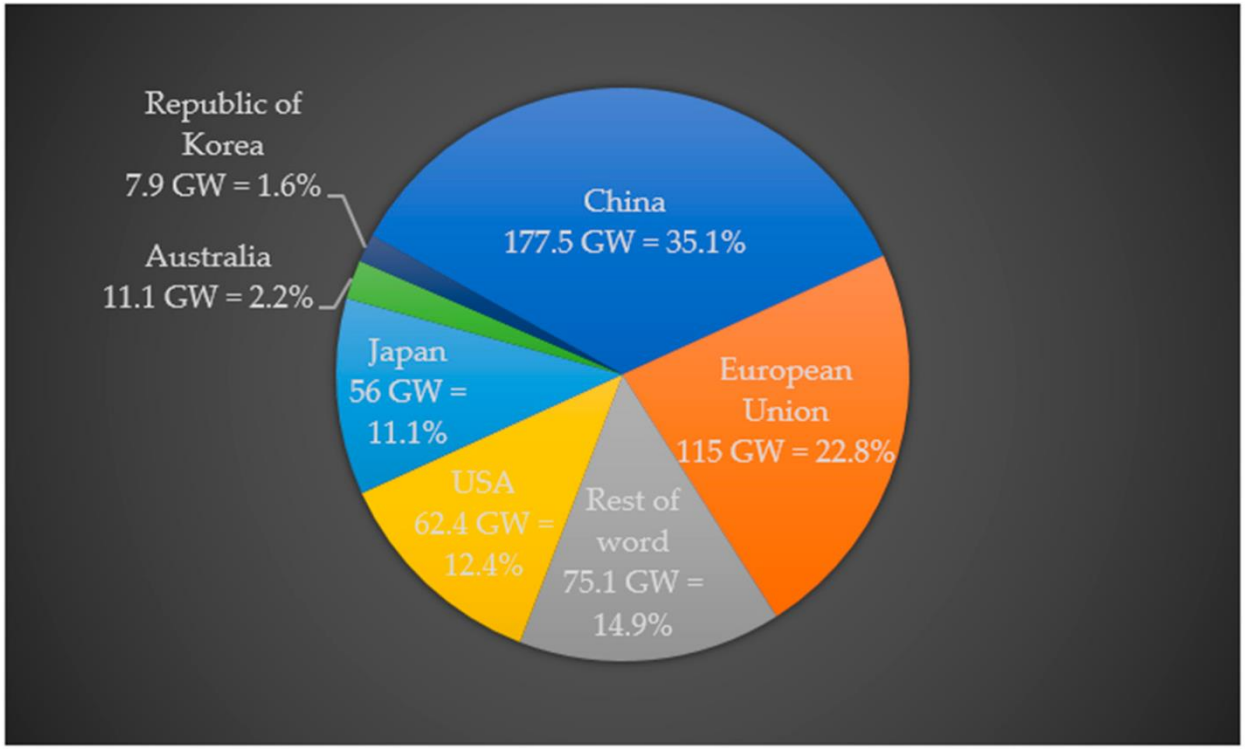


	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ROW	751	807	887	964	993	1,003	1,108	1,150	1,226	1,306	1,590	2,098	2,098	2,183
MEA	-	-	-	-	1	1	1	2	3	25	80	205	570	953
China	19	24	42	52	62	70	80	100	140	300	800	3,300	6,800	18,100
AMERICA	21	24	54	102	163	246	355	522	828	1,328	2,410	4,590	8,365	13,518
APAC	368	496	686	916	1,198	1,502	1,827	2,098	2,628	3,373	4,951	7,513	12,159	21,992
Europe	116	249	381	580	1,283	2,264	3,258	5,274	10,970	16,777	30,352	52,462	69,699	79,952
TOTAL	1,275	1,599	2,050	2,614	3,700	5,085	6,629	9,146	15,795	23,108	40,183	70,168	99,690	136,697

Source: EPIA

کشورهای پیشتاز در استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک

- شکل زیر ظرفیت نصب شده سیستم های فتوولتائیک در چند کشور پیشتاز در این زمینه را درسال ۲۰۱۸ نشان می دهد.



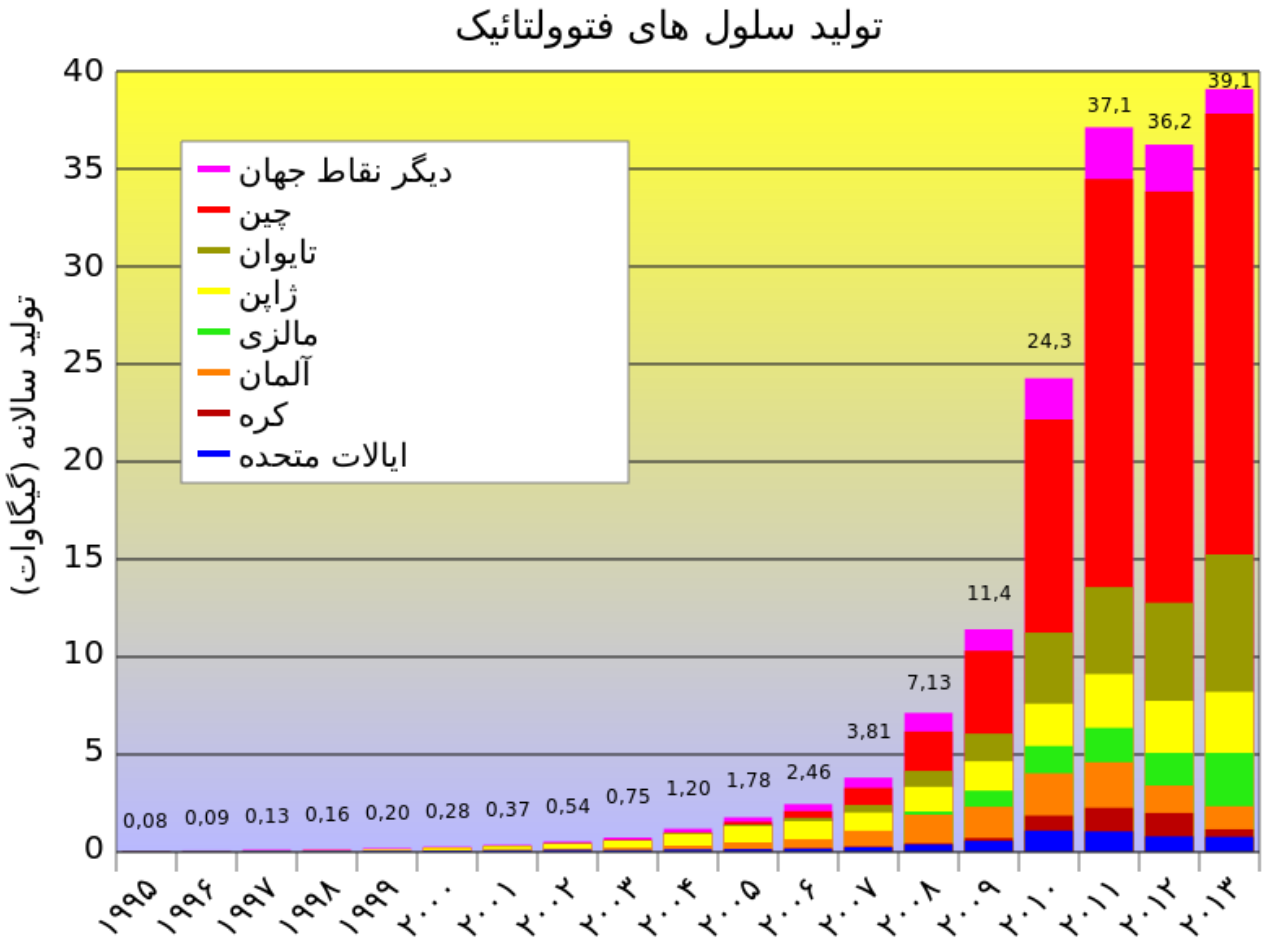
پیش بینی ظرفیت سیستم‌های فتوولتائیک در سال ۲۰۳۰

- شکل زیر پیش بینی ظرفیت نصب شده سیستم‌های فتوولتائیک در جهان برای سال ۲۰۳۰ میلادی بر اساس سناریوهای جهانی را نشان می دهد.

پیش‌بینی IEA WEO(2012) برای سال ۲۰۳۰	۴۹۰ میلیارد کیلووات
پیش‌بینی IEA ETP(2012) برای سال ۲۰۳۰	۷۰۰ میلیارد کیلووات
پیش‌بینی IEA RETD (2010) برای سال ۲۰۳۰	۱۰۰۰میلیارد کیلووات
پیش‌بینی Greenpeace(2012) برای سال ۲۰۳۰	۱۷۵۰ میلیارد کیلووات

کشورهای پیشرو در تولید سلول های فتوولتائیک

- شکل زیر سهم کشورهای مختلف جهان در تولید سلول های فتوولتائیک را نشان می دهد.



مزایای سیستم های فتوولتائیک

- مزایای سیستم های فتوولتائیک عبارتند از:

- عدم نیاز به شبکه سراسری برق، سیستم انتقال شبکه و تعمیر و نگهداری آن
- عدم نیاز به سوخت
- سازگاری با محیط زیست
- عدم ایجاد آلودگی صوتی
- عدم نیاز به آب برای تولید برق
- عدم اشغال کردن فضای زیاد
- نداشتن اجزای متحرک
- نصب آسان
- مناسب برای استفاده در مناطق دور دست، برآوردها نشان می دهد در برخی مکان هایی که خارج از شبکه قرار داشته، حتی با فاصله نیم کیلومتر از خطوط برق، استفاده از سیستم های فتوولتائیک می‌تواند از کشیدن انشعاب برق جلوگیری کرده و مقرون به صرفه تر باشد.

مزایای سیستم فتوولتائیک

- این سیستم ها خصوصا برای مناطق دور و از لحاظ زیست محیطی حساس، مانند پارک های ملی و جنگل های طبیعی، کلبه ها و خانه های واقع در مناطق دور مناسب است.
- قابلیت ترکیب با مصالح ساختمانی در خود ساختمان و نه فقط جاسازی روی سقف. در چنین ساختمان هایی، سیستم های فتوولتائیک تبدیل به بخشی از عناصر تشکیل دهنده ساختمان می شوند.

ساختمان یکپارچه فتوولتائیک

کاربردهای سیستم فتوولتائیک

- کاربردهای سلول های خورشیدی را می توان به گروه های زیر دسته بندی کرد:

- سیستمهای نیروگاهی
- روشنایی خورشیدی (معابر، پارکها و ...)
- تجهیزات برقی نصب شونده در مناطق دور از شبکه (تجهیزات مخابراتی، پمپ‌های استفاده شده در زمین های کشاورزی، مراکز دامپروری، پرورش ماهی، جنگلها، مراتع، آبشخور حیوانات، آبنماها و ...)
- تجهیزاتی که با برق DC کار می‌کنند (یخچال خورشیدی، کولر خورشیدی، تلوزیون خورشیدی، لامپ‌ها و ...)
- حفاظت کاتدی خورشیدی، به منظور جلوگیری از پوسیدگی لوله های انتقال مواد اولیه، شیمیایی، نفت و گاز، نشت مواد مذکور از لوله‌ها و جلوگیری از آلودگی محیط زیست استفاده از حفاظت کاتدیک فتوولتائیک یک راه حل مناسب و ساده جهت جلوگیری از این مسئله در نواحی دور افتاده می باشد. در این روش با اعمال جریان الکتریکی و قطبی کردن (پلاریزاسیون) سطح لوله فلزی، می توان جریان های خوردگی را متوقف نمود. شبکه ای از یون های مثبت یا منفی روی لوله تشکیل و از ورود یون های فلز به محلول یا محیط اطراف جلوگیری می کند.

کاربردهای سیستم فتوولتائیک

نیروگاه های فتوولتائیک نصب شده در ایران

- نیروگاه های فتوولتائیک نصب شده در ایران تا پایان سال ۲۰۱۸ در جدول زیر نمایش داده شده است:

Number	Consulting Co.	Province	Location	Capacity (MW)	Date of Operation
1	Atrian Parsian	Tehran	Malard	0.514	2014
2	Pak Bana	Qom	Qom	1	2016
3	Aftab Mad Rahe Abrisham	Hamedan	Qahavand	7	2016
4	Aftab Maad Rahe Abrisham	Hamedan	Aq Bolagh-e Latgah	7	2016
5	Negin Setare Marzi Taybad Shayan	Razavi Khorasan	Taybad	5	2016
6	Ayandeh Sazan Sayareh Sabz	Isfahan	Kashan	1	2016
7	Tara Moshaver	Alborz	Shams Abad	0.23	2017
8	Ghadir Energy Investment Co. (GEIC)	Isfahan	Jarghouyeh	10	2017
9	Toseeye Faragire Jaask	Kerman	Mahan	10	2017
10	Solar Energy Arka	Kerman	Mahan	10	2017
11	Mehrad Energy Arvand	Kerman	Rafsanjan	1.2	2017
12	Pejvak Omran Kish	Yazd	Ardakan	10	2017
13	Aftab Taban Kavir Part	South Khorasan	Khusf	10	2017
14	Sarzamin Abi Do Qeshm	Hormozgan	Qeshm Island	10	2017
15	Behnad Energy Pars Lian	Fars	Sarvestan	4.6	2017
16	Gostaresh Energy No Atiyeh	Sistan & Baluchestan	Zahedan,	10	2017
17	Gostaresh Energy No Atiyeh	Yazd	Ashkezar	10	2017
18	Aftab Maad Rahe Abrisham	Hamedan	Kerdabad	7	2017
19	Aftab Maad Rahe Abrisham	Hamedan	Qahavand	8.9	2017
20	Aftab Maad Rahe Abrisham	Hamedan	Famenin	8.6	2017
21	Shahrekord Cement Industries	Chaharmahal and Bakhtiari	Share-Kord	1.5	2017
22	ABO wind	Semnan	Syed Abad-Damghan	1.313	2017
23	Taban Energy Development	Fars	Eqlid	10	2018
24	Taban Energy Development	Fars	Abadeh	10	2018
25	Nika-Energy	Fars	Shiraz	10	2018
26	Tose-e Maksan Dehshir	Yazd	Dehshir	3.5	2018
27	Iran Tablo	Alborz	Nazarabad	0.628	2017
28	Pars Ray Energy Bahar	Tehran	Shahr-e-Ray	10	2017
29	Mahd Tejarat Gostaran Attar	Fars	Abadeh	10	2017
30	Mohandesi Moshaver Tajdidpazir Soheil	Tehran	Damavand	8.4	2017
31	Taban Energy Mehr Afarin	Tehran	Tehran	0.02	2017
32	Tose-e Khorshidi Mehriz Ghadir	Yazd	Mehriz	10	2018
33	Tose-e Energy Sabz Shafagh	South Khorasan	Boshruyeh,	1	2018
34	Energy Sabz Kavir Kish	Kerman	Mahan	10	2018
35	Khorshid Derakhshan Kavir	Yazd	Chahak	10	2018
36	Tose-e Energy Khorshidi Ghadir Qom	Qom	Qom	10	2018
37	Mapna	Qazvin	Kahak	2	2018
38	Installed PV Power Plants by Electricity Subscribers	Across the Country	Across the Country	4.701	–
39	Small-scale Solar Power Plants	Across the Country	Across the Country	7.9	–

نیروگاه های فتوولتائیک نصب شده در ایران

- در شکل زیر سه سیستم فتوولتائیک کوچک نصب شده در مناطق دورافتاده ایران را نمایش می دهد.

روستای مملی، قزوین

روستای برازجان، بخش دشتستان، بوشهر

روستای سیکانلو، شهرستان تاکستان، قزوین

سلول های خورشیدی

- کارکرد سلول های خورشیدی بر اساس اثر فتوولتائیک می باشد.
- اثر فتوولتائیک اولین بار در سال ۱۸۳۹ میلادی توسط هنری بکرل کشف شد.
- عبارت فتوولتائیک Photovoltaic ترکیبی از کلمه یونانی Photos به معنی نور و Volt به معنای ولتاژ و به طور کلی به معنی تولید الکتریسیته از نور است.
- بطور کلی ظهور ولتاژ الکتریکی بین دو الکترود تحت تابش نور را اثر فتوولتائیک گویند.
- به هر سیستمی که از این اثر استفاده کند سیستم فتوولتائیک گویند. این سیستم ها قادرند بدون استفاده از مکانیزم های متحرک، الکتریسیته تولید کنند.
- سلول های خورشیدی در اوایل سال ۱۹۵۸ میلادی کاربردهایی در تامین انرژی الکتریکی سفینه های فضایی پیدا نمودند.

تفاوت سلول های خورشیدی با سایر سیستم های تولید کننده برق

- بر خلاف سلول خورشیدی که کارکرد آن وابسته به نور است، یک گردآورنده حرارتی خورشیدی با جذب نور خورشید از گرمای مستقیم یا غیر مستقیم برق تولید می کند.
- بر خلاف ژنراتور های الکتریکی، سلول خورشیدی هیچ جزء متحرکی ندارد.
- برخلاف باتری ها یا پیل های سوختی، سلول های خورشیدی از واکنش های شیمیایی استفاده نمی کنند و نیاز به سوخت برای تولید برق ندارند.
- سلول های خورشیدی یکی از پرمصرف ترین کاربردهای انرژی خورشیدی می باشد و تا کنون سلول های گوناگون با ظرفیت های مختلف در سراسر جهان نصب و راه اندازی شده اند.

طرز کار سلول های خورشیدی

- در فرآیند فتوولتائیک، ذرات نور که فوتون نام داشته به سلول‌های خورشیدی برخورد می کنند و بخشی از آنها منعکس، بخشی عبور و بخش دیگر جذب می شوند. فقط فوتون جذب شده انرژی برای تولید الکتریسیته فراهم می کند.
- فوتون های جذب شده الکترون را از اتم های ماده سازنده سلول جدا و جابجا می کند.
- جابجایی الکترون های آزاد شده باعث عدم توازن بین سطوح جلویی و سطوح عقبی از نظر بار الکتریکی می شوند.
- این عدم توازن بین سطوح جلویی و عقبی باعث ایجاد یک پتانسیل (ولتاژ) شبیه قطبهای مثبت و منفی یک باتری می شود.

تقسیم بندی مواد از نظر خواص هدایت الکتریکی

- مواد از نظر خواص هدایت الکتریکی، به سه دسته رسانا، نیمه‌رسانا و نارسانا تقسیم‌بندی می‌شوند.
- اتم از دو بخش اصلی به نام هسته و ابرِ الکترونی پیرامون هسته تشکیل شده است. الکترون‌ها در اطراف هسته در حال حرکت‌اَند و به دلیل نیروی جاذبه الکتروستاتیکی بین هسته و الکترون‌ها، مقید به هسته اتم هستند. هر چه الکترون به هسته نزدیک‌تر باشد، جاذبه الکترواستاتیکی بیش‌تری به آن وارد شده و سخت‌تر می‌تواند از قید هسته اتم آزاد شود. الکترون آزاد به الکترون‌هایی گفته می‌شود که بتوانند از قید جاذبه الکترواستاتیکی هسته رها شوند و آزادانه حرکت کنند. از آنجایی که الکترون‌ها بار الکتریکی منفی دارند، با حرکت خود موجب انتقال بار الکتریکی می‌شوند. ازاین‌رو مواد جامدی که دارای الکترون آزاد هستند، رسانا یا هادی الکتریکی نام دارند. از سویی دیگر، اگر هیچ الکترونی در اتم نتواند خود را از قید جاذبه الکتروستاتیکی هسته اتم رها کند، دیگر عاملی برای انتقال بار الکتریکی وجود ندارد و آن ماده، نارسانا یا عایق الکتریکی است.
- مواد نیمه‌رسانا موادی هستند که گاف انرژی آن‌ها کمتر از گاف انرژی مواد نارسانا است. بنابراین اگر بتوان انرژی مورد نیاز را برای الکترون‌ها تأمین کرد، الکترون‌ها می‌توانند از سد انرژی ناشی از گاف عبور کرده و به تراز هدایت بروند. در مواد رسانا، عملاً این گاف انرژی وجود ندارد و الکترون‌ها به‌راحتی می‌توانند وارد تراز بالایی شده و در رسانش ماده همکاری کنند.

تقسیم بندی مواد از نظر خواص هدایت الکتریکی

- مقاومت ویژه الکتریکی نشان‌دهنده میزان مقاومت مقدار معینی از یک ماده خاص در مقابل رسانایی الکتریکی است. در جدول زیر مقاومت ویژه الکتریکی برخی مواد در دمای اتاق (۲۷ درجه‌ی سانتی‌گراد) گزارش شده است. مواد رسانا دارای مقاومت ویژه الکتریکی بسیار کم و مواد نارسانا دارای مقاومت ویژه الکتریکی بسیار زیاد هستند. مشاهده می‌شود که مقاومت الکتریکی موادی مانند سیلیسیوم و ژرمانیوم مقداری بین مقاومت ویژه الکتریکی مواد رسانا و مواد نارسانا است. چنین موادی نیمه‌رسانا یا نیمه‌هادی نام دارند.

نام ماده	مقاومت ویژه الکتریکی (اهم‌متر)
نقره	1.6×10^{-8}
مس	1.7×10^{-8}
آلومینیوم	2.8×10^{-8}
آهن	10^{-7}
ژرمانیم	4.6×10^{-1}
سیلیسیم	100–1000
شیشه	10^{10}–10^{14}
تفلون	10^{14}

مواد سازنده سلول های خورشیدی

- در سلول‌های خورشیدی، ما نیاز به استفاده از مواد نیمه‌رسانا داریم.
- اکنون سؤال این است که چرا برای تولید جریان الکتریکی در سلول‌های خورشیدی فقط مواد نیمه‌رسانا قابل استفاده هستند؟
- در سلول های خورشیدی ما هم به الکترون های آزاد نیاز داریم و هم به اختلاف پتانسیل (ولتاژ) برای ایجاد جریان الکتریکی.
- پس ماده ای که در سلول های خورشیدی استفاده می شود باید هر دو نیاز فوق را برآورده سازد.
- دقت شود منظور از اختلاف پتانسیل، ایجاد یک اختلاف پتانسیل با استفاده از مکانیزم داخلی است.

چرا استفاده از مواد نارسانا برای سلول های خورشیدی مناسب نیست؟

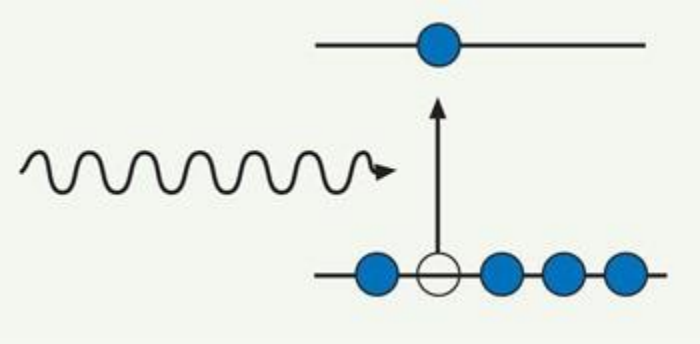
- برای تولید الکترون آزاد در مواد نیمه‌رسانا و نارسانا، لازم است شرایطی فراهم شود که الکترون‌های تراز ظرفیت بتوانند بر سد انرژی غلبه کرده و خود را به تراز هدایت ماده برسانند. در این صورت، این الکترون‌ها می‌توانند در هدایت الکتریکی ماده نقش ایفا کنند. برای غلبه بر این سد انرژی، باید به ماده انرژی بدهیم.
- یکی از راه‌های تأمین انرژی مورد نیاز الکترون‌های تراز ظرفیت برای رسیدن به تراز هدایت و غلبه بر سد انرژی، استفاده از نور خورشید است که گستره‌ای از خانواده امواج الکترومغناطیسی را در بر می‌گیرد.
- در مواد نارسانا، برای غلبه بر سد انرژی به طول موج‌های بسیار کمتری از نور خورشید نیاز داریم. بنابراین استفاده از مواد عایق در سلول‌های خورشیدی امکان‌پذیر نیست. با توجه به این توضیحات، برای استفاده در سلول‌های خورشیدی، مواد نارسانا امکان تولید الکترون و ایجاد جریان را ندارند و برای این منظور مناسب نیستند.

چرا استفاده از مواد رسانا برای سلول های خورشیدی مناسب نیست؟

- مواد رسانا به خودی خود تعداد بسیار زیادی الکترون آزاد دارند و شرط اول را به خوبی مهیا می‌کنند. بر اساس آنچه به عنوان شرط دوم استفاده از یک ماده در سلول خورشیدی بیان شد، برای استفاده از الکترون‌های تولید شده، لازم است که یک اختلاف پتانسیل بین الکترون‌ها ایجاد شود. بنابراین فلزات علی‌رغم این که به خودی خود الکترون‌های آزاد بسیار زیادی را در اختیار ما قرار می‌دهند، نمی‌توانند شرط دوم تولید جریان را مهیا کنند. رساناها فقط در مواردی استفاده می‌شوند بخواهیم با اعمال یک اختلاف پتانسیل الکتریکی، تعدادی الکترون از جایی به جای دیگر منتقل کنیم. در این شرایط رساناها به دلیل تعداد قابل توجه الکترون آزاد (الکترون‌هایی که در تراز آخر اتم وجود دارند)، به راحتی این جریان الکترون‌ها منتقل می‌کنند. به عبارت دیگر، با استفاده از فلزات نمی‌توان پتانسیل داخلی در سیستم ایجاد کرد و نیاز به ایجاد یک اختلاف پتانسیل بیرونی برای انتقال حامل‌های آزاد داریم. ولی در نیمه‌رساناها، به دلیل فاصله ترازهای انرژی از یکدیگر، با استفاده از یک سیستم چندلایه‌ای، می‌توان یک پتانسیل داخلی در سیستم ایجاد کرد و باعث حرکت الکترون‌ها و ایجاد جریان الکتریکی شد.

طرز کار سلول های خورشیدی

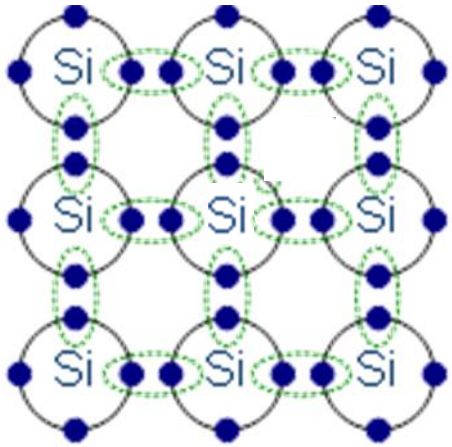
- پس از برخورد فوتون با ماده نیمه‌رسانا، انرژی فوتون به الکترون داده می‌شود. اگر انرژی فوتون برابر یا بیشتر از گاف انرژی باشد، الکترون می‌تواند بر سد انرژی غلبه کرده و خود را به تراز هدایت ماده برساند. این پدیده در شکل زیر نشان داده شده است. به محض این که الکترون از تراز ظرفیت ماده جدا شده و به سمت تراز هدایت می‌رود، به جای آن یک حفره ایجاد می‌شود. مادامی که نور خورشید در حال برخورد به ماده نیمه‌رسانا است، الکترون تولید شده و به تراز هدایت ماده می‌رود. مشابه این پدیده را در زندگی روزمره خود بسیار دیده‌ایم. برای مثال، توپی را در نظر بگیرید که در حالت طبیعی خود تمایلی به بالا رفتن ندارد. پرتاب کردن این توپ به ارتفاع بالاتر از دیدگاه «انرژی» معادل این است که بخواهید آن را از سطح انرژی پتانسیل گرانشی پایین‌تر (ارتفاع کمتر) به سطح انرژی پتانسیل گرانشی بالاتر (ارتفاع بالاتر) منتقل کنید. بنابراین اگر بخواهید به نحوی توپ را به بالا پرتاب کنید، باید مقدار مناسبی انرژی به توپ بدهید تا بتواند بر سد پتانسیل گرانشی زمین غلبه کرده و به بالا برود؛ مثلاً توپ را شوت کنید!



الکترون (گوی آبی رنگ) در اثر جذب انرژی فوتون به تراز بالایی می رود و یک حفره (گوی سفید رنگ) در تراز پایینی ایجاد می شود.

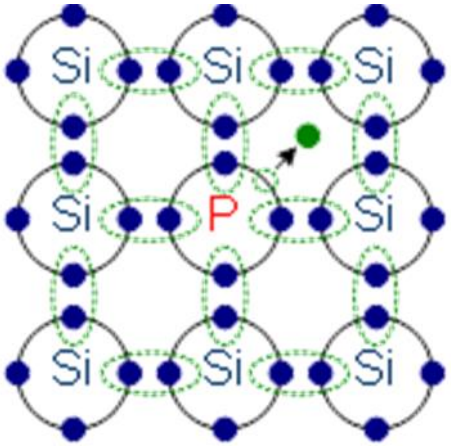
طرز کار سلول های خورشیدی

- ماده ای که سلولهای خورشیدی از آنها ساخته می شود سیلیکون یا سیلیسم است که یک ماده نیمه رسانا با ساختار جامد بلورین ترد و سخت است که رنگی آبی-خاکستری دارد.
- سیلیکون به صورت طبیعی به صورت سیلیکات (سیلیسیم دی‌اکسید) در بیشتر صخره‌ها و به طور متداول در شن‌های ساحلی یافت میشود با این حال سیلیکون مورد نیاز برای ساخت یک سلول باید کاملا کریستالی و خیلی خالص باشد.
- هر اتم سیلیکون ۴ الکترون در لایه ظرفیت دارد که با به اشتراک گذاشتن الکترون‌های لایه ظرفیت با اتم کناری تشکیل یک شبکه کوالانسی می‌دهند. برای آوردن این الکترون ها به لایه هدایت باید انرژی به آنها وارد شود تا هم این پیوندها شکسته شوند و هم غلبه شود بر نیروی جاذبه الکترواستاتیک.



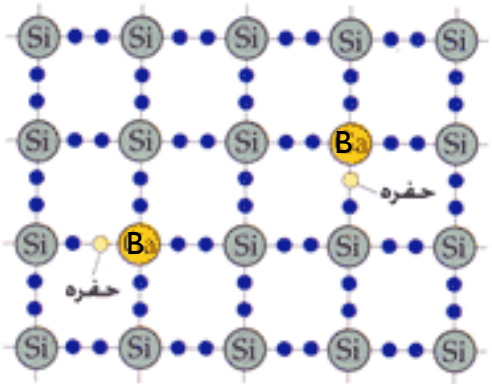
طرز کار سلول های خورشیدی

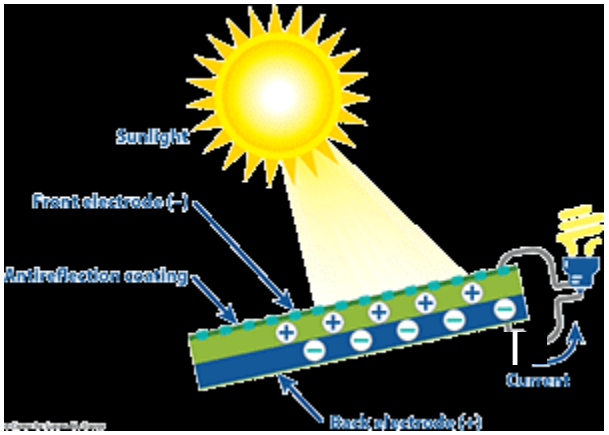
- سیلیکون یک ماده نیمه رسانا است یعنی با انرژی بسیار کمی الکترون آزاد ایجاد میکند. به همین علت است که از سیلیکون در سلول‌های خورشیدی استفاده میشود. با اینکه سیلیکون به انرژی بسیار کمی برای انتقال الکترون نیاز دارد، اما با اضافه کردن کمی ناخالصی به آن می توان این انرژی را نیز به مراتب کمتر کرد.
- دو نوع ناخالصی به اتم سیلیکون اضافه می شود، ناخالصی نوع N و نوع P. با این کار در یک قسمت سیلیکون الکترون به وفور یافت میشود و در بخش دیگر حفره.
- با اضافه کردن ماده‌ای مانند فسفر نوع N سیلیکون تشکیل می شود. در این نوع لایه نشانی، الکترون به وفور یافت میشود و به کمترین انرژی بستگی نیاز دارد.



مواد سازنده سلول های خورشیدی

- همچنین با اضافه کردن بور به اتم سیلیکون ناخالصی نوع P میدهیم که باعث افزایش ظرفیت پذیرش الکترون میشود.
- حال این دو نوع از سیلیکون را به یکدیگر اتصال میدهیم. نوع N که سرشار از الکترون است را در سمت نور قرار می‌دهیم که به محض دریافت انرژی از خورشید الکترون آزاد میکند و الکترون برای رسیدن به حالت پایه باید به سمت نوع P حرکت کند.





- به این ترتیب با قرار دادن سیم بین دو نوع ناخالصی، از انرژی الکترون عبوری استفاده میکند. این فرایند در یک سلول از سیستم برق خورشیدی انجام میشود.

سوال های متداول مشتریان سیستم های فتوولتائیک

- **سوال:** سلول های خورشیدی تا چه توانی برق تولید می کنند؟

پاسخ: باتوجه به ماژولار بودن سلول های خورشیدی، محدویتی در مقدار توان تولیدی وجود ندارد. برای مثال یک ماژول ۱*۱ متر می تواند حدود ۱۳۰ وات برق تولید کند. در صورتی که اگر ۱۰ ماژول به یکدیگر متصل شوند توان تولیدی ۱۳۰۰ وات خواهد شد.

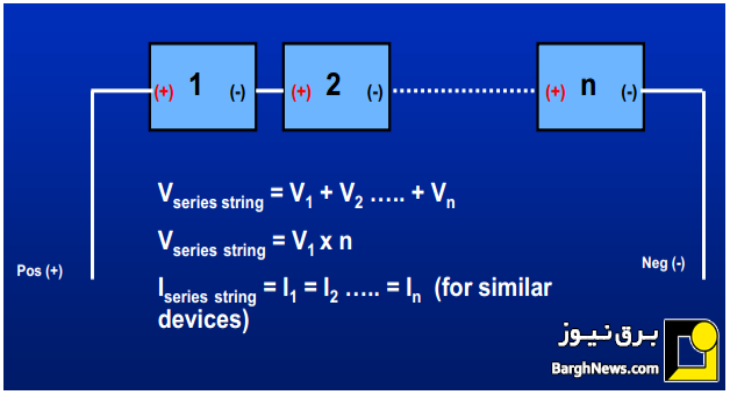
- **سوال:** اگر برق ۲۲۰ ولت AC مورد نیاز باشد چه باید کرد؟

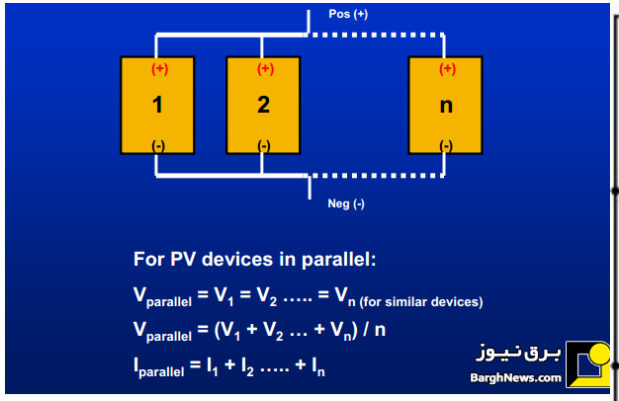
پاسخ: با قراردادن یک دستگاه مبدل (Inverter)، سطح ولتاژ تولیدی سلول های خورشیدی به سطح ولتاژ برق شهر تبدیل می‌شود.

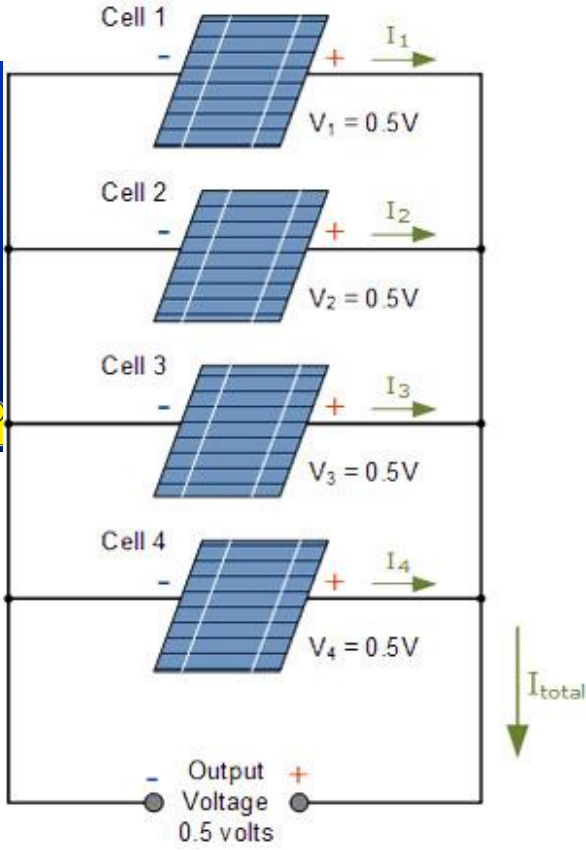
سوال های متداول مشتریان سیستم های فتوولتائیک

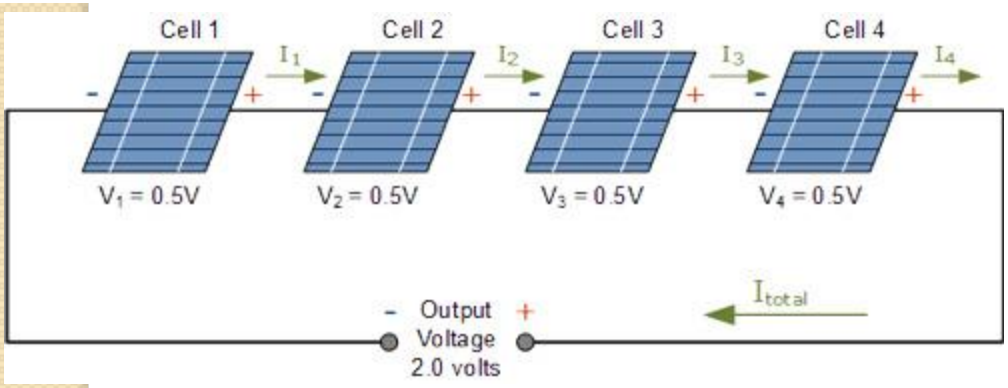
- **سوال:** سلولهای خورشیدی چه ولتاژ و جریانی تولید می کنند؟

پاسخ: با سری کردن سلولهای خورشیدی با یکدیگر می توان ولتاژ های دلخواه را بدست آورد و با موازی کردن آنها با یکدیگر، جریان افزایش خواهد یافت.









سوال های متداول مشتریان سیستم های فتوولتائیک

- **سوال:** وقتی خورشید نباشد آیا تولید برق سیستم قطع می شود؟

پاسخ: در صورتیکه سیستم مجهز به باتری باشد، هنگام تابش آفتاب، باتری ها می‌توانند برق تولیدی اضافی را در خود ذخیره کنند. هنگامی که نور خورشید نباشد، مصرف سیستم از انرژی باتری‌های شارژ شده تامین می‌شود.

- **سوال:** آیا زاویه نصب سلول‌ها در تولید برق تاثیر دارد؟

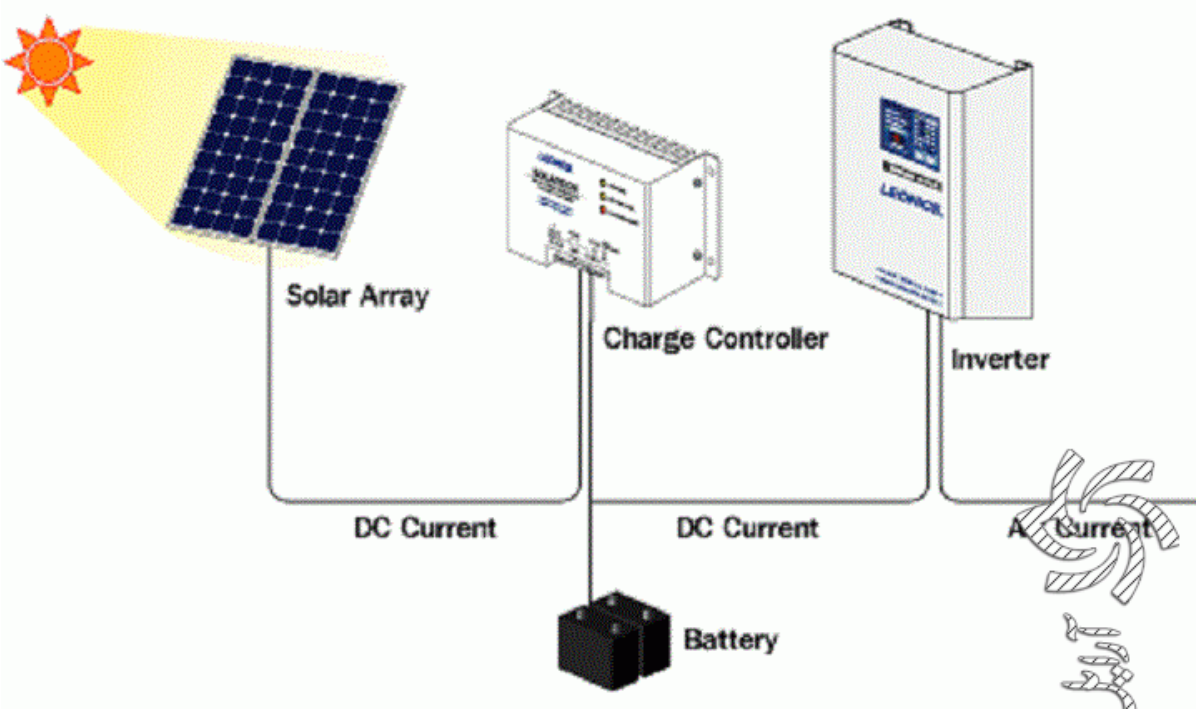
پاسخ: بله، این سیستم‌ها به زاویه تابش نور حساس هستند. عدم نصب سلول‌ها با زاویه مناسب می تواند کارایی سیستم را از ۵٪ تا ۲۵٪ کاهش دهد.

- **سوال:** طول عمر سلول‌های خورشیدی چقدر است؟

پاسخ: طول عمر سلول‌های خورشیدی بین بیست و پنج تا سی سال می باشد.

اجزای سیستم فتوولتائیک

- اجزای سیستم فتوولتائیک در شکل زیر نمایش داده شده است:

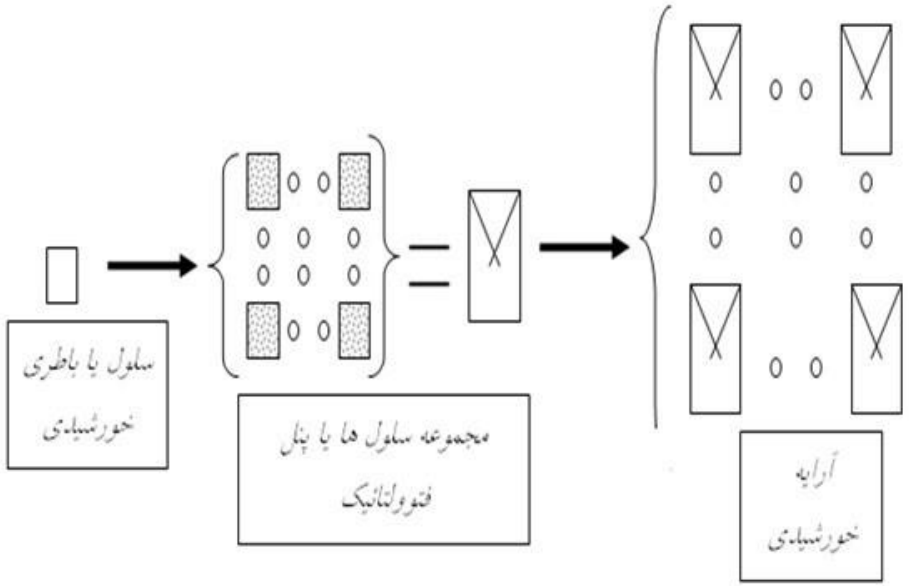


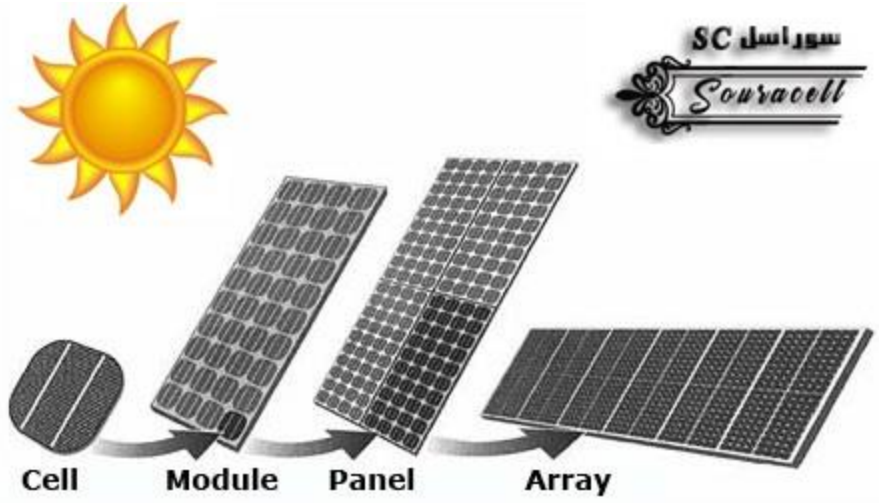
سلول های خورشیدی

- **سلول های خورشیدی،** مربع های نازک از جنس نیمه رسانا هستند. این بخش در واقع مبدل انرژی نور خورشید به انرژی الکتریکی بدون واسطه مکانیکی می باشد. لازم به ذکر است، جریان و ولتاژ خروجی از این سلول‌ها DC می باشد. این سلول‌ها طوری ساخته شده اند که در برابر همه سختی های محیط مانند سرمای شدید قطبی، گرمای بیابان، رطوبت استوایی و بادهای شدید مقاومت می کنند. با این حال، این وسایل ترد بوده و در اثر ضربات سنگین ممکن است بشکنند. برای یک سیستم خانگی در انواع ۹۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ واتی ساخته می شوند.

مفهوم ماژول، پنل و آرایه خورشیدی

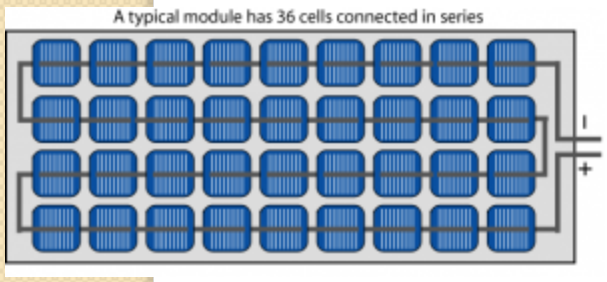
- برای دستیابی به سطح ولتاژ، شدت جریان و توان مورد نظر می توان سلول های خورشیدی را به هم متصل کرد. از کنار هم قرار دادن تعدادی سلول خورشیدی (PV Cell) یک ماژول خورشیدی (PV Module) ساخته می شود. از قرار دادن چند ماژول خورشیدی در کنار هم یک صفحه خورشیدی یا پنل (PV Panel) ساخته می شود. در مصارف بزرگ، ردیف های زیادی از پنل های خورشیدی در کنار هم قرار می گیرند و یک سری آرایه خورشیدی (PV Array) تشکیل می دهند.

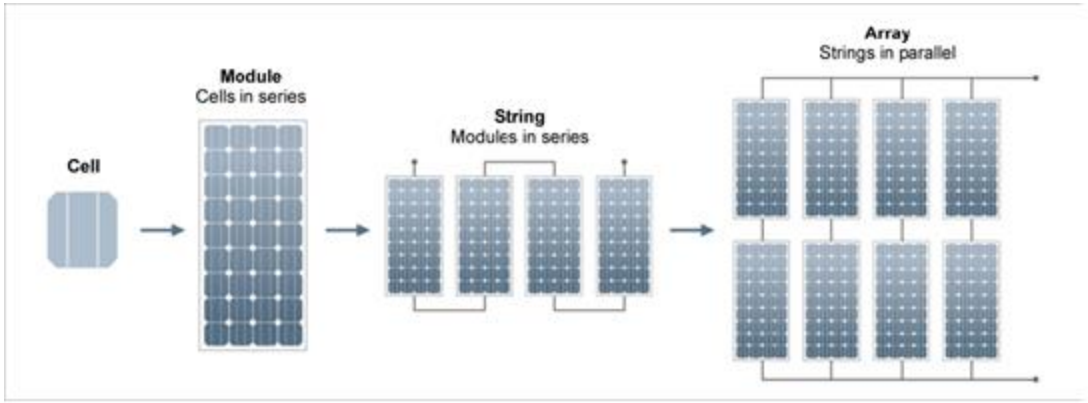




نحوه ایجاد ماژول، پنل و آرایه خورشیدی

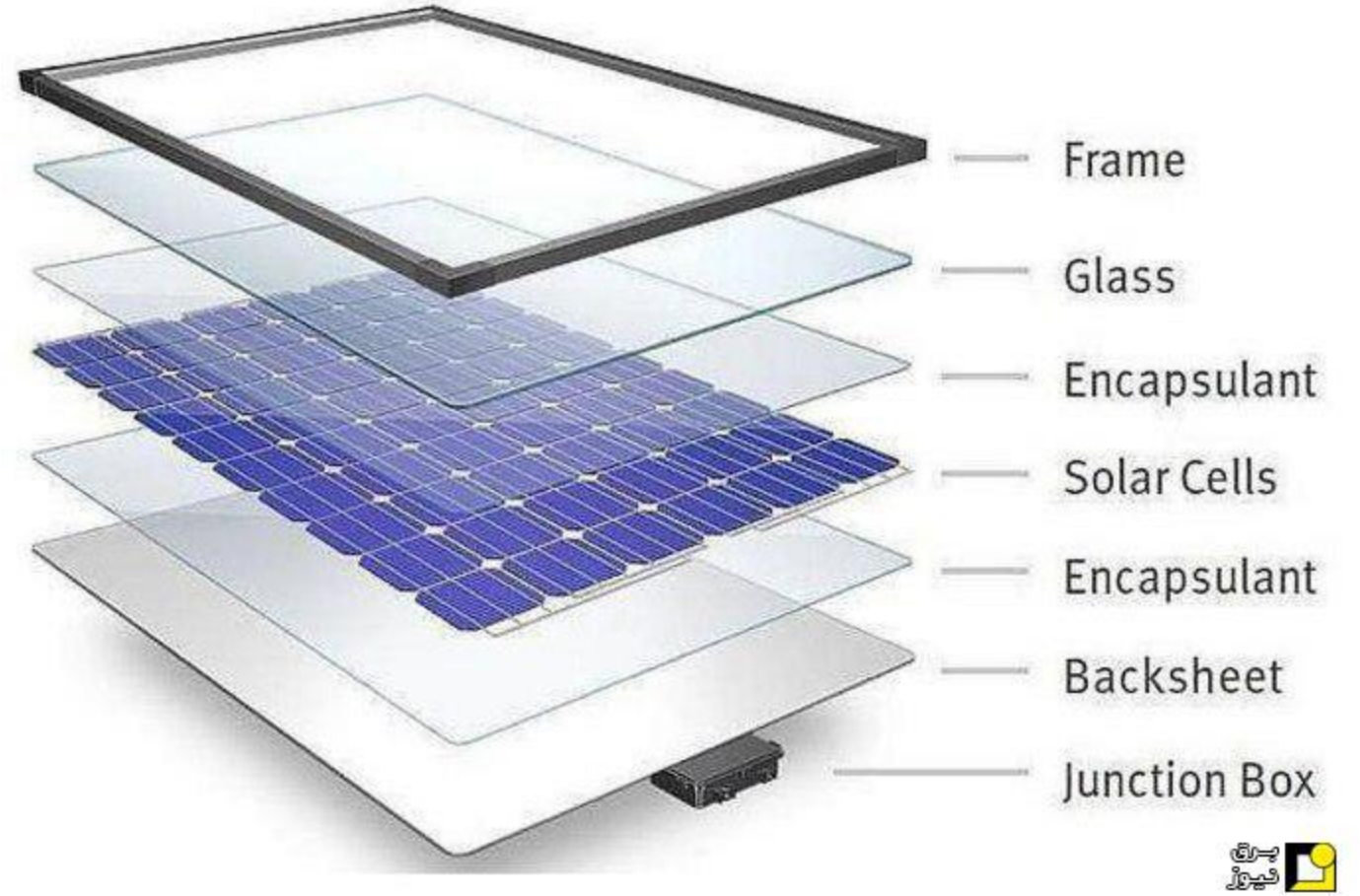
- معمولا برای دستیابی به ولتاژ بالاتر، سلول ها را سری و یک ماژول به وجود می آورند. مقدار ولتاژ ماژول بستگی به تعداد سلول‌هایی دارد که با هم سری شده‌اند. همچنین اغلب اوقات ولتاژ یک ماژول نیز برای سیستم کافی نبوده و باید با سری کردن آن‌ها به یک ولتاژ بالاتر دست پیدا کرد. ترکیب سری ماژول‌های خورشیدی، پنل نامیده می‌شود.
- برای دستیابی به سطح جریان بالا، باید پنل‌ها را با هم موازی نمود. ترکیب موازی پنل‌ها، آرایه خورشیدی نامیده می‌شود. شکل زیر تمامی این مفاهیم را به صورت یکجا نشان می‌دهد.





اجزای مختلف یک ماژول فتوولتائیک

- بعد از آماده سازی سلولهای خورشیدی، اجزا زیر برای تکمیل به آنها افزوده می شود:

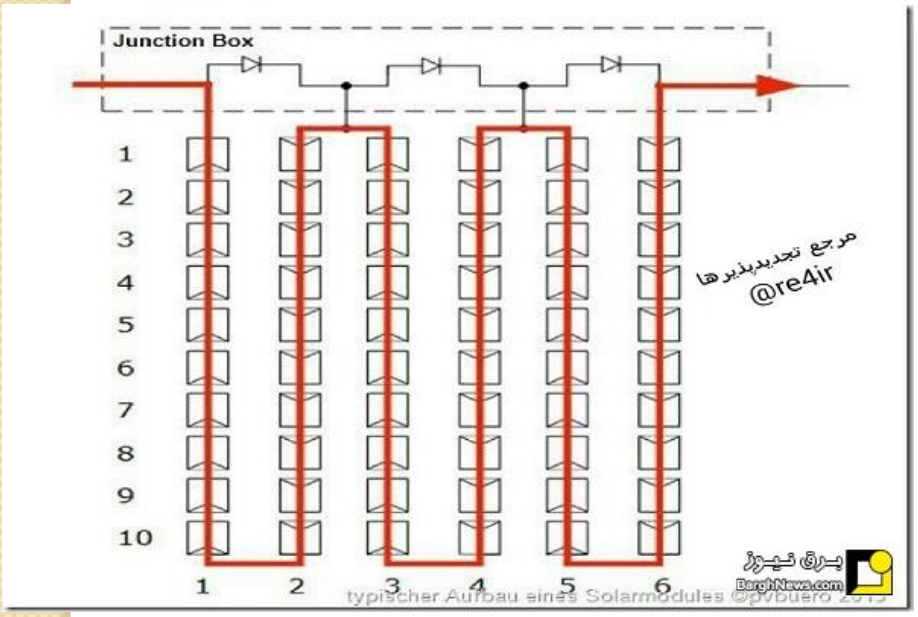


اجزای مختلف یک ماژول فتوولتائیک

- **فریم**، جنس فریم های بکار رفته در ماژول های فتوولتائیک از آلومینیوم بوده که دلیل آن افزایش مقاومت به خوردگی آنها می باشد. استفاده از فریم روی ماژول های فتوولتائیک از دو جهت حائز اهمیت می باشد: اول اینکه از ماژول در برابر آسیب های مکانیکی حفاظت می کند و دوم؛ با جلوگیری از نفوذ رطوبت در بین اتصالات الکتریکی و محل اتصال سلول های فتوولتائیک، مانع از زنگ زدگی می شود.
- **شیشه**، شیشه های بکار رفته در یک ماژول فتوولتائیک بگونه ای هستند که تحت یک عملیات حرارتی ابتدا تا دمای ۶۰۰-۷۰۰ درجله سلسیوس گرم شده و سپس بلافاصله سرد می شوند. در نتیجه این امر استحکام شیشه، ۵ تا ۱۰ برابر افزایش می یابد. از طرفی دیگر بدلیل تنش سطحی ایجاد شده ناشی از سرد شدن سریع، در هنگام خمش و شکست به ذرات ریز و بدون لبه های تیز و برنده تبدیل می شوند که آسیب دیدگی افراد را کاهش می دهد.
- **Encapsulant**، در ماژول های فتوولتائیک جهت چسبندگی بین شیشه و سلول های فتوولتائیک و همچنین سلول های فتوولتائیک و Backsheet از Encapsulant (ماده پلیمری) که عموما از نوع EVA (Ethylene Vinyl Acetate) بوده، استفاده می شود. EVA دارای شفافیت، دوام و استحکام بالا در عین حال نرم، انعطاف پذیر، سبک و مقاومت بالا در برابر دما و رطوبت است. ولی مقاومت چندانی در برابر اشعه فرابنفش نداشته و این امر منجر به آسیب زدن به مواد پلیمری می شود، لذا از پوشش ضد اشعه فرابنفش روی آن استفاده می شود.

اجزای مختلف یک ماژول فتوولتائیک

- **Backsheet**، از جنس پلیمر می باشد و در واقع محافظ پشتی سلول های خورشیدی محسوب می شود. مقاومت در برابر حرارت، رطوبت، بارهای مکانیکی و خوردگی شیمیایی و همچنین قابلیت چسبندگی و طول عمر بالا از جمله ویژگی های مهم برای Backsheet استفاده شده در یک ماژول فتوولتائیک می باشند.
- **Junction Box**، جعبه تقسیم ماژول می باشد که اتصالات کابل و دیودهای در آن قرار دارند و دارای مقاومت در برابر نفوذ گرد و غبار، آب یا رطوبت می باشد. علت کاربرد دیودها برای این است که اگر یکی از سلولها معیوب شد بقیه سلولها در آرایه های دیگر بتوانند کار خود را ادامه دهند.



مبدل در سیستم فتوولتائیک

- **مبدل DC/AC**، تبدیل توان از صورت DC به AC توسط یک مبدل (اینورتر) صورت می گیرد. در سیستم های فتوولتائیک برق حاصله بصورت DC می باشد و از آنجایکه اغلب بارهای موجود در صنعت و مصارف الکتریکی با برق AC کار می کنند، می توان این برق را توسط یک دستگاه مبدل تبدیل نموده و مشخصه های آن را مانند ولتاژ و فرکانس با مولفه های مورد نیاز مصرف کننده مطابقت داد.

انواع مبدل استفاده شده در یک سیستم فتوولتائیک

- دو نوع مبدل می توان در یک سیستم فتوولتائیک استفاده نمود:

- **مبدل متصل به شبکه،** برق تولید از پنل خورشیدی به طور مستقیم به مبدل وارد می شود. بنابراین این مبدل با مبدل های معمولی متفاوت است زیرا برق تولید شده از پنل به دلیل تاثیرات محیطی مانند تغییرات نور خورشید همیشه در حال تغییر است. پس این مبدل با یک توان ورودی یکنواخت روبرو نیست در نتیجه باید الگوی خاصی برای تبدیل برق مستقیم به متناوب داشته باشد. قیمت این مبدل بالاتر است.
- **مبدل منفصل از شبکه،** برق ذخیره شده در باتری را از حالت مستقیم به متناوب تبدیل می کند تا مناسب برای استفاده در وسایل برقی خانگی باشد. این مبدل ها برق یکنواخت باتری را تبدیل خواهند کرد.

باتری در سیستم فتوولتائیک

- **ذخیره کننده انرژی و باتری،** انرژی تابشی خورشید در طی روز متغیر می باشد، بنابراین در بسیاری از کاربردهای انرژی خورشیدی منبع ذخیره انرژی لازم است تا انرژی الکتریکی تولید شده از نور خورشید در طول روز ذخیره شده و در مواقع پیک بار و یا نبود خورشید مورد استفاده قرار می گیرد. باتری های سیستم های فتوولتائیک به دو نوع لیتیمی و سرب اسیدی تقسیم می شوند. البته برای یک سیستم فتوولتائیک خانگی نوع سرب اسیدی مناسب تر است.

واحد کنترل شارژ و کنترل ولتاژ بار در سیستم فتوولتائیک

- **واحد کنترل شارژ و کنترل ولتاژ بار،** وظیفه اصلی این بخش عبارت است از کنترل وضعیت شارژ و دشارژ باتری ها بطوریکه از حداکثر عمر مفید آن ها استفاده گردد. از دو بخش شارژ و واحد کنترل ولتاژ بار تشکیل شده است. بخش شارژ، وضعیت شارژ باتری ها را از نظر جریان و ولتاژ ورودی، دمای محیط و غلظت الکترولیت و ... کنترل کرده و در مواقع لزوم، طبق طراحی های انجام شده، عملکرد لازم را متناسب با شرایط و وضعیت باتری ها بر سیستم اعمال می کند. همچنین این قسمت از شارژ بیش از حد باتری ها جلوگیری می کند. وظیفه بخش دیگر، تنظیم و کنترل سیکل دشارژ باتری ها و جلوگیری از تخلیه کامل باتری‌ها و کاهش طول عمر و فرسودگی آن ها می باشد.
- این قسمت باید خود را با توان متغیر پنل های خورشیدی هم وفق دهد.

وظایف قسمت کنترل شارژ و واحد کنترل ولتاژ بار

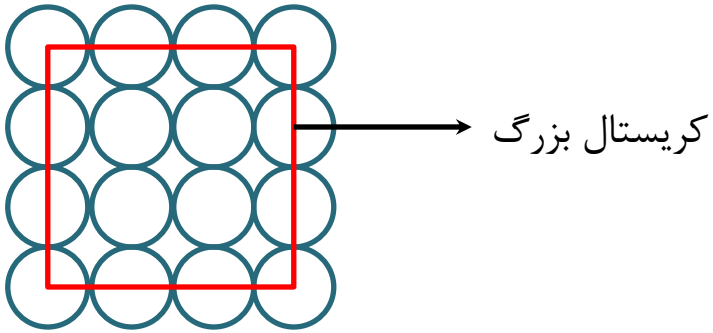
- به طور خلاصه وظایف قسمت کنترل شارژ و واحد کنترل ولتاژ بار عبارتست از:

- تست ولتاژ خروجی پنل ها
- تست جریان خروجی پنل ها
- تست دمای محیط
- تست غلظت الکترولیت باتری ها
- تست ولتاژ خروجی باتری ها
- تست جریان خروجی باتری ها
- تصمیم گیری قطع یا وصل ولتاژ و جریان خروجی پنل ها جهت شارژ باتری ها
- تصمیم گیری قطع یا وصل ولتاژ و جریان خروجی پنل ها جهت مصرف کننده

انواع سلول های خورشیدی

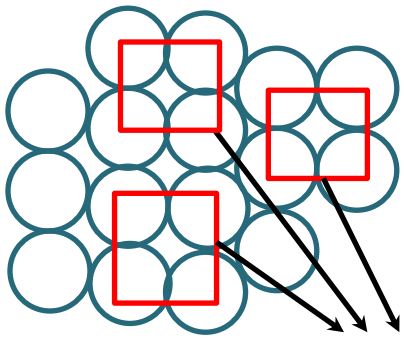
- صفحات خورشیدی مونوکریستال، پلی کریستال و نواری سه نوع متداول از صفحات خورشیدی هستند. تفاوت این صفحات در روش ساخت، ساختار اتم ها و میزان خلوص سیلیکون به کار رفته در آن ها می باشد.

- **سلول های های مونو کریستالی یا تک کریستالی MONO**، سلول‌های مونو کریستالی با استفاده از یک تک کریستال بزرگ سیلیس تولید می‌شوند. کریستال بزرگ دارای ساختار اتمی است که در سراسر حجم آن تکرار می شود. سلول‌های سیلیکون تک کریستالی در صنعت فتوولتائیک بسیار رایج هستند. صفحات فتوولتائیک تک کریستال شامل سلول های مونو کریستال هستند.



انواع سلول های خورشیدی

- **سلول های پلی کریستالی یا چند کریستالی POLY**، برای ساخت سلول‌های پلی کریستالی از ترکیب چندین کریستال سیلیس در یک سلول استفاده می‌شود. در این نوع سلول ها ساختار اتمی در سراسر حجم تکرار نمی شود. صفحات فتوولتائیک چندکریستال شامل سلول های پلی کریستال هستند. سیلیکون پلی کریستال شامل دانه‌های ریزی از سیلیکون تک کریستال می‌باشد (از چندین آرایش تک کریستالی تشکیل شده اند).



تک کریستال های یک سلول مونو کریستالی

تفاوت های سلول های خورشیدی مونو کریستال و پلی کریستال

- از لحاظ فنی ساخت سلول های مونو کریستال نسبت به سلول های پلی کریستال سخت تر می باشد.
- پنل های مونو کریستال در مناطق با نور کم و جاهایی که زاویه تابش خورشید مایل می باشد مانند مناطق سردسیر مناسب تر است. در مناطق خیلی گرمسیر شاید استفاده از پنل‌های پلی کریستال مناسب تر باشد، چون سطح آن‌ها روشن تر است و حرارت کمتری را از انرژی تابشی خورشید جذب میکنند. در نیروگاه ها پنل های مونو کریستال رایج ترند چون جای کمتری را اشغال می کنند.

انواع سلول های خورشیدی

- **صفحات فتوولتائیک نواری یا لایه نازک (Thin Film)**، از لایه نازک سیلیکون تشکیل شده که بسیار سبک و باریک بوده و به همین علت از انعطاف پذیری بالایی در کاربردهای متفاوت برخوردار هستند. فرآیند کلی تولید این نوع صفحات به صورت رسوب یا نشست یک لایه یا فیلم بسیار نازک از سیلیکون روی بستر با ضخامت کم از جنس شیشه، پلاستیک یا فلز می باشد. از نظر تکنولوژیکی جدیدترین نوع صفحات بوده و البته از بازده (راندمان) کمتری نسبت به صفحات کریستالی برخوردار هستند. به دلیل سبکی میتوان از آنها برای ساخت پنلهای خورشیدی در فضاپیماها و ماهواره‌ها استفاده می‌شود که وزن، فاکتور مهم تری از راندمان برایشان محسوب می‌گردد. برای مصارف خانگی زیاد مناسب نیستند و کاربردهای خاص دارند.

انواع سلول های خورشیدی

- در جدول زیر، مزایا و معایب انواع سلول های خورشیدی با هم مقایسه شده اند:

نوع پنل	بازده	مزایا	معایب
مونو کریستال	۱۵٪-۲۰٪	خلوص سیلیکون بیشتر، راندمان بالا، طول عمر بالا، فضای کمتر برای نصب، شکل ظاهری مربع با گوشه های گرد	قیمت نسبتا بالا، استحکام پایین و شکننده
پلی کریستال	۱۰٪-۱۶٪	قیمت نسبتا پایین، شکل ظاهری مربع، دارای استحکام بالا	خلوص سیلیکون کمتر، طول عمر کمتر، فضای بیشتر برای نصب
لایه نازک	۷٪-۱۰٪	هزینه تولید پایین تر، شکل ظاهری زیباتر به دلیل رنگ یکپارچه	طول عمر کمتر، فضای زیاد جهت نصب، راندمان بسیار پایین در مقایسه با انواع پنل کریستالی

روابط و فرمول‌های محاسباتی طراحی سیستم‌های فتوولتائیک

- پارامترهای معلوم مسئله طراحی یک سیستم فتوولتائیک عبارتند از:

  - حداکثر توان مصرفی وسیله برقی iام (MECi)
  - حداکثر ساعات روشن بودن وسیله برقی iام (MECHi)
  - حداکثر تعداد روزهای ابری (MCD)
  - حداکثر تعداد روزهای ابری متوالی (MSCD)
  - تعداد ساعات مفید تابش خورشید در روز (SEHC)
  - ولتاژ باتری (BV)
  - ضریب کاهش بهره‌وری ناشی از زاویه نصب (درصد) (IASE)
  - ضریب اطمینان اضافی (درصد) (ERC)

روابط و فرمول‌های محاسباتی طراحی سیستم‌های فتوولتائیک

- مجهول های مسئله طراحی یک سیستم فتوولتائیک عبارتند از:

➢ حداکثر مجموع توان مصرفی روزانه تجهیزات بر حسب کیلووات ساعت: (MTEC)

$$MTEC=Sigma\ (MECi\times MECHi)$$

➢ حداقل توان مورد نیاز تولیدی توسط پنل‌ها بر حسب کیلووات: (MRDSP)

$$MRDSP=[(MTEC)\times(1+IASE)\times(1+ERC)\times 30/(30-MCD)]/SEHC$$

➢ حداقل آمپرساعت مورد نیاز باتری‌ها:

$$MBAH=MTEC\times(MSCD+1)/BV$$

➢ حداقل جریان مورد نیاز برای شارژر باتری‌ها:

$$MRCC=MRDSP/BV$$

روابط و فرمول‌های محاسباتی طراحی سیستم‌های فتوولتائیک

- مجهول های مسئله طراحی یک سیستم فتوولتائیک عبارتند از:

➢ حداقل تعداد باتری‌های مورد نیاز: (MRB)

با توجه به آمپرساعت باتری‌های موجود و آمپرساعت مورد نیاز محاسبه شده تعیین می‌شود.

➢ حداقل تعداد شارژهای مورد نیاز: (MRC)

با توجه به جریان‌دهی شارژرهای موجود و جریان مورد نیاز محاسبه شده برای شارژر تعیین می‌شود.

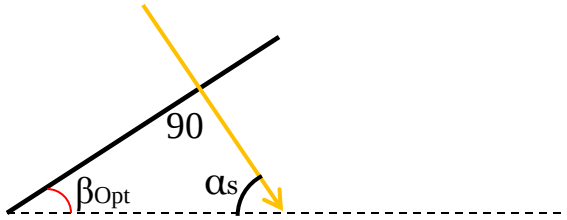
زاویه نصب پنل‌های فتوولتائیک

- زاویه پنل خورشیدی به صورت زاویه بین صفحه پنل و سطح زمین تعریف می گردد. به این ترتیب زاویه یک پنل که به صورت کاملاً افقی روی سطح زمین نصب شده باشد صفر، و پنلی که سطح آن عمود بر سطح زمین باشد، دارای زاویه ۹۰ درجه می باشد.
- زاویه بین تشعشع خورشید و سطح افقی را زاویه ارتفاع خورشید گویند.
- واضح است که توان تولیدی پنل خورشیدی وقتی به مقدار بیشینه خود می رسد که بیشینه تابش را دریافت کند و این مقدار در زاویه تابش عمود بر صفحه پنل اتفاق می افتد. پس اگر زاویه پنل را با β و زاویه ارتفاع خورشید را با α_s نشان دهیم، داریم:

$$\beta_{Opt}=90^\circ-\alpha_s$$

↓

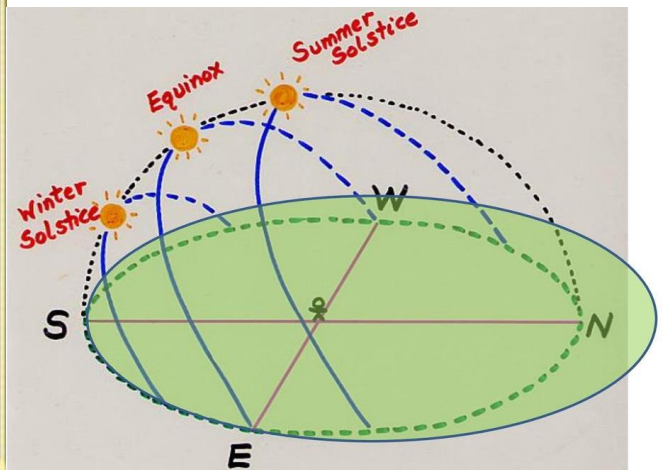
زاویه پنلی که تشعشع خورشید را عمود بر سطح خود دریافت می کند



زاویه نصب پنل‌های فتوولتائیک

- اگر کره زمین در یک نقطه ثابت بود، کافی بود که پنل ها در یک زاویه مشخص عمود بر تابش خورشید ثابت گردند تا حداکثر تابش را دریافت و حداکثر توان را تولید نمایند. اما در تنظیم زاویه پنل ها دو چالش اساسی وجود دارد:

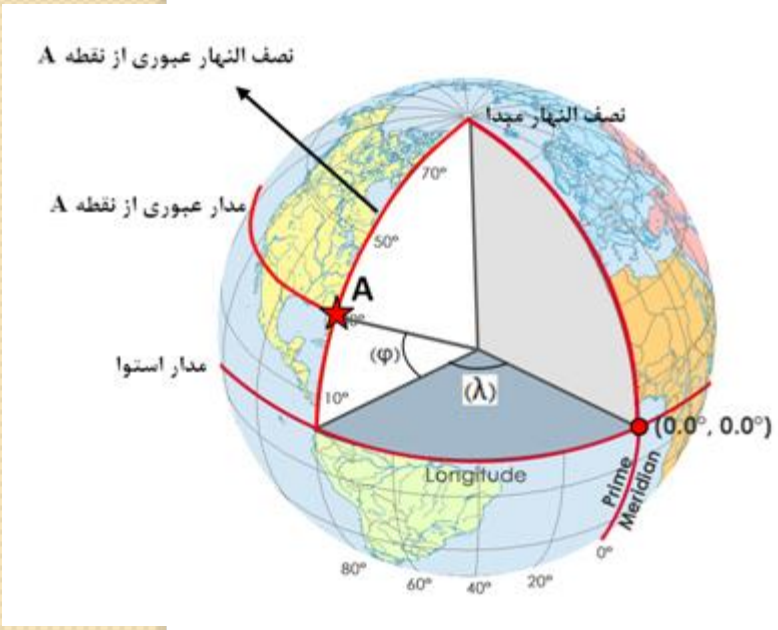
- چرخش وضعی کره زمین حول محور خود باعث تغییر موقعیت لحظه ای خورشید در آسمان در طول روز از شرق به غرب می گردد.
- حرکت انتقالی زمین موجب تغییر موقعیت روزانه خورشید در آسمان در طول سال بین شمال و جنوب می شود.



زاویه نصب روزانه پنل های فتوولتائیک

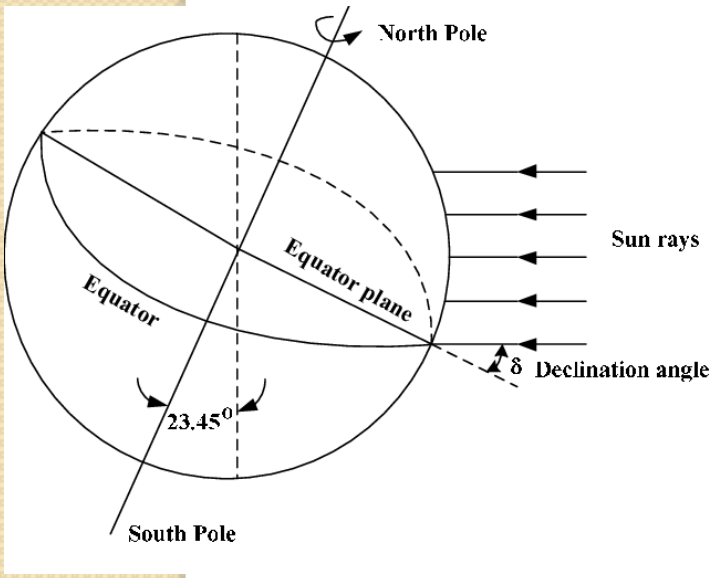
- برای تنظیم زاویه بهینه پنل ها، ابتدا باید به تعریف دو مفهوم اساسی زیر پرداخت:

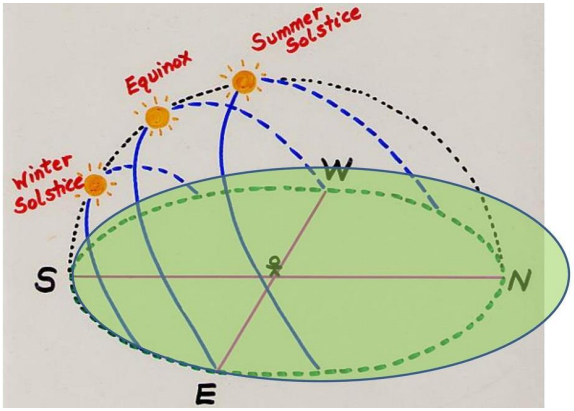
➢ **عرض جغرافیایی**، به زاویه بین خط واصل هر نقطه روی سطح کره زمین به مرکز کره زمین و صفحه دایره خط استوا، عرض جغرافیایی آن نقطه گفته میشود. با این تعریف، عرض جغرافیایی تمام نقاط خط استوا صفر، قطب شمال ۹۰ درجه شمالی و قطب جنوب ۹۰ درجه جنوبی است. به عنوان نمونه، عرضهای جغرافیایی مرکز شهر تهران و کرج به ترتیب حدود ۳۵،۴ و ۳۵،۵ درجه هستند.



زاویه نصب روزانه پنل های فتوولتائیک

- **زاویه میل خورشیدی (Declination angle)**، به زاویه بین اشعه خورشید و صفحه استوا در ظهر خورشیدی گویند که آن را با δ نمایش می دهند. این زاویه به خاطر حرکت انتقالی زمین در طول سال از ۲۳.۴۵- درجه تا ۲۳.۴۵+ درجه تغییر می کند.
- ظهر خورشیدی یک نقطه روی کره زمین، لحظه‌ای را توصیف می‌کند که خورشید در میانه مسیرش بین شرق و غرب قرار دارد.





$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right)$$

زاویه نصب روزانه پنل های فتوولتائیک

- n در فرمول از جدول زیر محاسبه می شود:

Month	n for ith Day of Month	For Average Day of Month		
		Date	n	δ
January	i	17	17	−20.9
February	$31 + i$	16	47	−13.0
March	$59 + i$	16	75	−2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	−9.6
November	$304 + i$	14	318	−18.9
December	$334 + i$	10	344	−23.0

زاویه نصب روزانه پنل های فتوولتائیک

- زاویه ارتفاع خورشیدی در ظهر خورشیدی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\sin(\alpha_s) = \cos(\varphi)\cos(\delta) + \sin(\varphi)\sin(\delta)$$

که φ و δ به ترتیب عرض جغرافیایی و زاویه میل خورشیدی می باشند.

پس با داشتن زاویه ارتفاع خورشیدی (α_s)، می توان β_{Opt} را در ظهر خورشیدی از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\beta_{Opt}=90^\circ-\alpha s$$

زاویه نصب پنل های فتوولتائیک به صورت ثابت

- به طورکلی، اگر زاویه ارتفاع خورشید را با α_s و عرض جغرافیایی محل را با ϕ نشان دهیم، مقادیر بیشینه و کمینه زاویه ارتفاع خورشید در روزهای اول تابستان و زمستان در هر نقطه در نیمکره شمالی زمین در ظهر خورشیدی برابر است با:

α_s(بیشینه در روز اول تابستان)$=90^\circ-\phi+23.5^\circ$

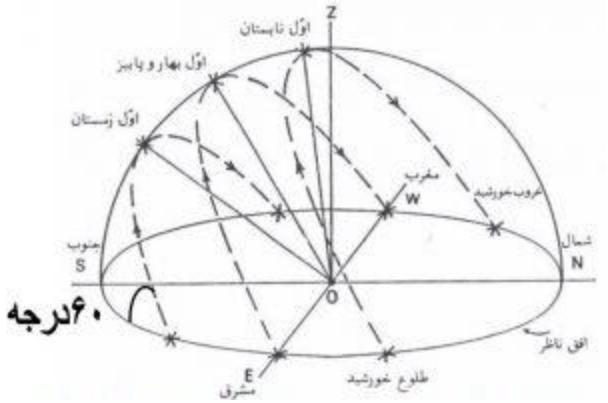
α_s(کمینه در روز اول زمستان)$=90^\circ-\phi-23.5^\circ$

- روزهای اول بهار و پاییز، زمین در میانه مسیر مداری خود بین دو مقدار بیشینه و کمینه فوق می باشد.

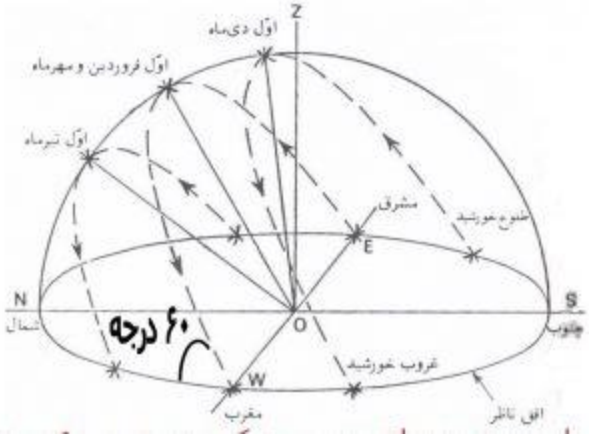
α_s(میانه در روزهای اول پاییز و بهار) $=90^\circ-\phi$

مقایسه مسیر حرکت ظاهری خورشید در نیمکره شمالی و جنوبی

- شکل زیر مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در نقطه ای در نیمکره شمالی در ظهر خورشیدی را نشان می دهد:



- بیشینه و کمینه زاویه ارتفاع خورشید در نیمکره جنوبی عکس نیمکره شمالی است. چون فصلها در نیمکره شمالی معکوس هستند. شکل زیر مسیر حرکت ظاهری روزانه حورسید در نقطه ای در نیمکره جنوبی در ظهر خورشیدی را نشان می دهد:



زاویه نصب پنل های فتوولتائیک به صورت ثابت

- اگر تغییر زاویه پنل خورشیدی امکان ندارد، می توان زاویه نزدیک عرض جغرافیایی منطقه در نظر گرفت.

$\alpha_s(Max)=90°-\phi+23.5°,\ \beta_{Opt}=90°-\alpha_s \longrightarrow \beta_{Opt}=\phi-23.5°$

$\alpha_s(Min)=90°-\phi-23.5°,\ \beta_{Opt}=90°-\alpha_s \longrightarrow \beta_{Opt}=\phi+23.5°$

$\beta_{opt,ave}=\phi$

- همچنین می توان زاویه پنل خورشیدی را فصلی تعیین کرد. مثلا برای فصل تابستان:

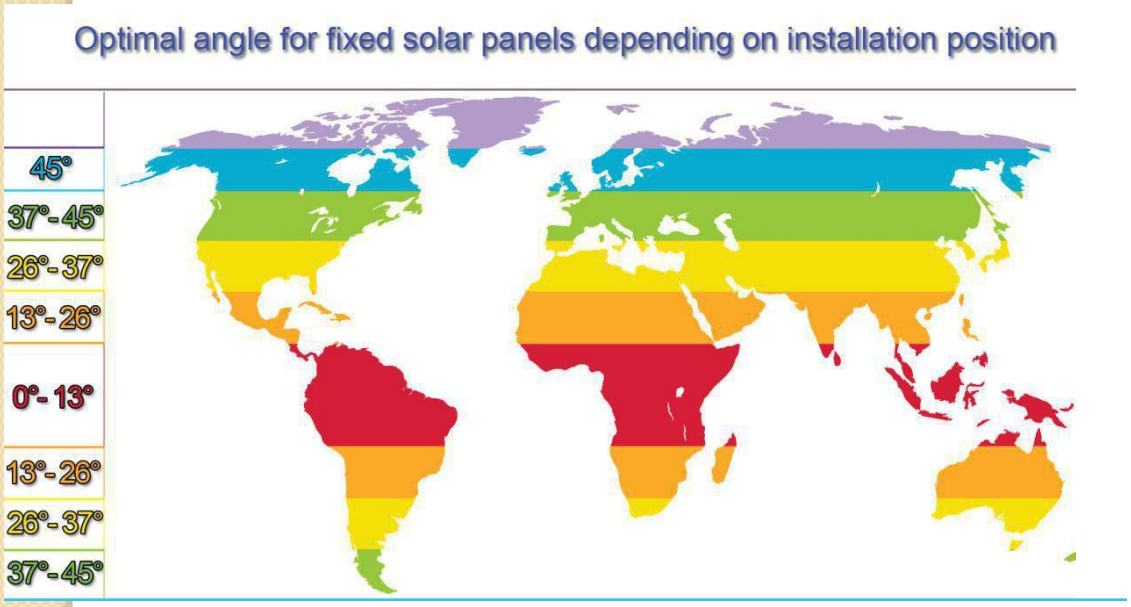
$\alpha s(Max)=90°-\phi+23.5°,\ \beta_{Opt}=90°-\alpha s \longrightarrow \beta_{Opt}=\phi-23.5°$

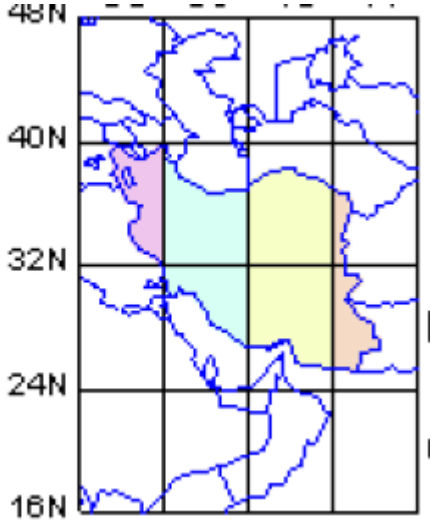
$\alpha s(Min)=90°-\phi,\ \beta_{Opt}=90°-\alpha s \longrightarrow \beta_{Opt}=\phi$

$\beta opt,ave=\phi-11.75°$

زاویه نصب پنل های فتوولتائیک به صورت ثابت

- شکل زیر زاویه بهینه نصب سیستم‌های فتوولتائیک تحت زاویه ثابت با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه را نشان می دهد:





نکاتی در مورد زاویه نصب سیستم‌های فتوولتائیک

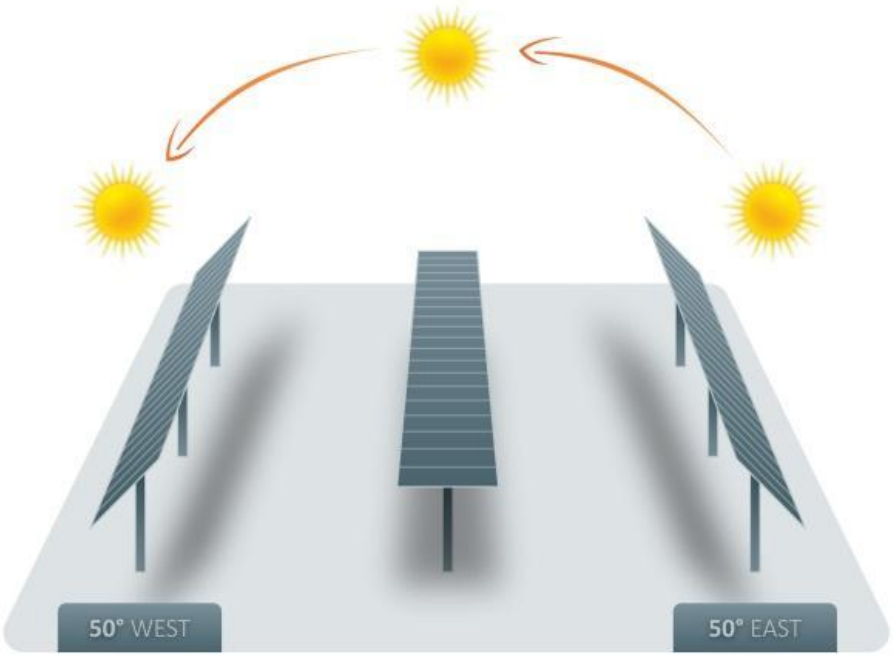
- ممکن است مکانی مانند یک ویلا در تمام طول سال استفاده نشده و در یک دوره زمانی خاص مثلاً فقط در طول ۳ ماه تابستان استفاده گردد که در این صورت، تنظیم زاویه پنل ها با مقدار مناسب آن دوره زمانی منطقی می باشد.
- اگر سیستم وظیفه تأمین انرژی در تمام طول سال را داراست، رویکرد محتاطانه این است که زاویه پنلها با مقدار زمستانی تنظیم گردد، چون به طور کلی انرژی تابشی دریافتی در زمستان به دلیل تعدد روزهای ابری و تابش مایل خورشید، کمتر از بقیه طول سال می باشد.
- اگر منطقه ای دارای روزهای ابری بسیار کم در طول زمستان باشد (مانند مناطق جنوبی کشور)، می توان پنل ها را با زاویه ای برابر عرض جغرافیایی منطقه تنظیم نمود.

ردیاب خورشیدی (Solar Tracker)

- موقعیت ظاهری خورشید در آسمان در طول روز روی قوسی از دایره بین شرق و غرب و همچنین در طول سال بین شمال و جنوب متغیر است. برای افزایش راندمان پنل های خورشیدی، می بایست زاویه پنل ها پیرو موقعیت ظاهری خورشید در آسمان تغییر کند، به نحوی که زاویه تابش همیشه عمود بر سطح صفحه باشد. جهت تنظیم خودکار زاویه پنل ها از وسیله ای به نام ردیاب (Tracker) استفاده می شود که رایج ترین انواع آن به شرح زیر می باشد:
  - ردیاب تک محوره (Single-Axis Tracker)
  - ردیاب دو محوره (Dual-Axis Tracker)

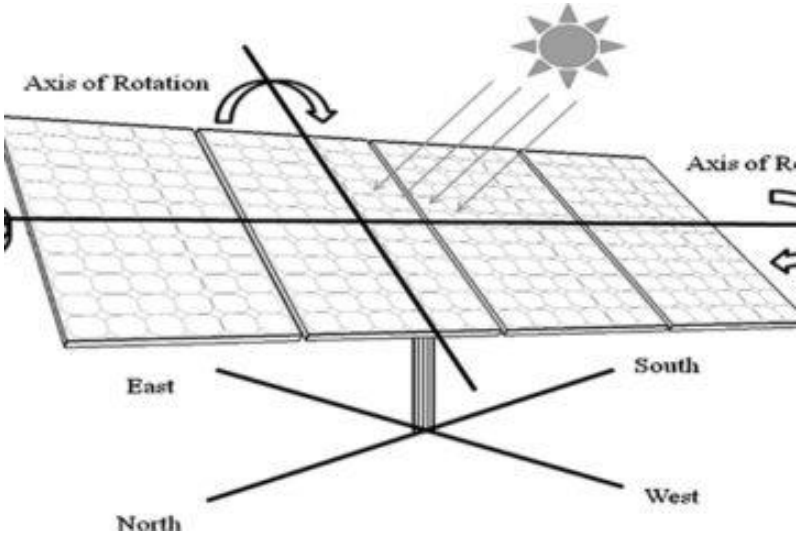
ردیاب تک محوره (Single-Axis Tracker)

- این نوع ردیاب دارای یک درجه آزادی و یک موتور جهت تنظیم زاویه پنل از هنگام طلوع خورشید از شرق تا غروب خورشید در غرب جهت تنظیم زاویه می باشد. زاویه بهینه شمال-جنوب پنلها توسط نصب کننده سیستم بسته به استراتژی توضیح داده شده روی یک مقدار ثابت برای تمام طول سال یا شروع هر فصل یا شروع هر نیمسال یک بار تنظیم میگردد .



ردیاب دو محوره (Dual-Axis Tracker)

- این نوع ردیاب دارای دو درجه آزادی و دو موتور مستقل می باشد و هر دو زاویه شرقی-غربی و شمالی-جنوبی توسط آن تنظیم می گردد. این نوع ردیاب بازده سیستم را از ردیاب نوع اول بیشتر بهتر می بخشد، اما به دلیل پیچیدگی مکانیسم سخت افزاری و نرم افزاری کنترلر دو جهته آن، از نظر هزینه تفاوت چشمگیری نسبت به نوع تک محوره دارد. همچنین به دلیل حرکات دوگانه موتورها در راستای دو زاویه، پنل ها به فضای باز بیشتری در اطراف خود نیاز دارند .



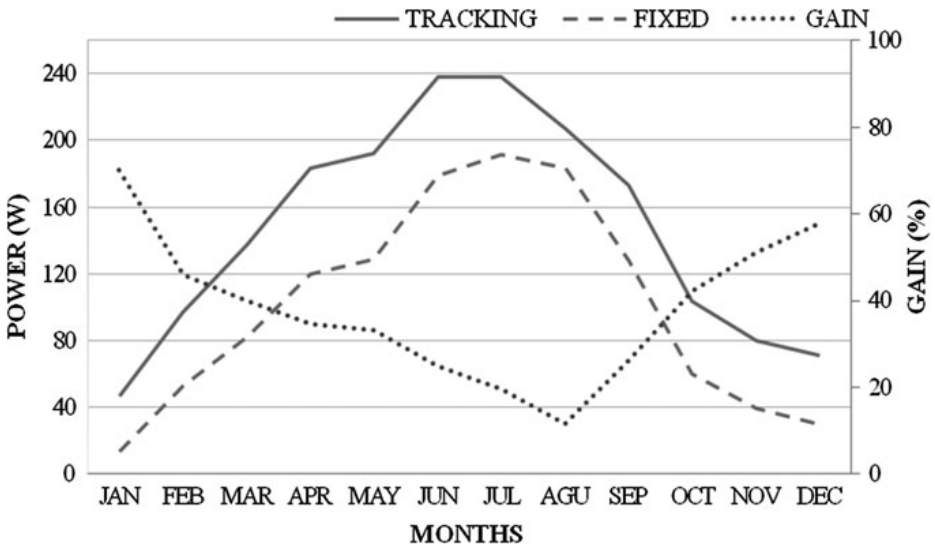
ردیاب خورشیدی

- با توجه به اینکه تغییر زاویه شمالی–جنوبی خورشید به میزان ۰٫۲۶ درجه در طول هر روز نسبت به روز قبل می باشد، می توان تغییرات زاویه محور شمالی–جنوبی را به صورت غیر مکانیزه در هر ماه یا هر ۴ ماه انجام داد. بدیهی است تلفیق این سیستم با ردیاب شرقی–غربی دارای بهترین عملکرد در بین انواع سیستم های ردیاب خواهد بود.

هزینه سرمایه گذاری و نگهداری	بازده دریافت انرژی	نوع نصب
خیلی کم	۷۳ درصد	نصب با زاویه ثابت
متوسط	۷۹ درصد	ردیاب تک محوره شرقی–غربی
زیاد	۱۰۰ درصد	ردیاب دو محوره

ردیاب خورشیدی

- در شکل زیر تاثیر استفاده از ردیاب دو محوره روی بازده خروجی از یک سیستم فتوولتائیک در ماه های مختلف برای دیاربکر (ترکیه) در سال ۲۰۱۲ نمایش داده شده است [1].

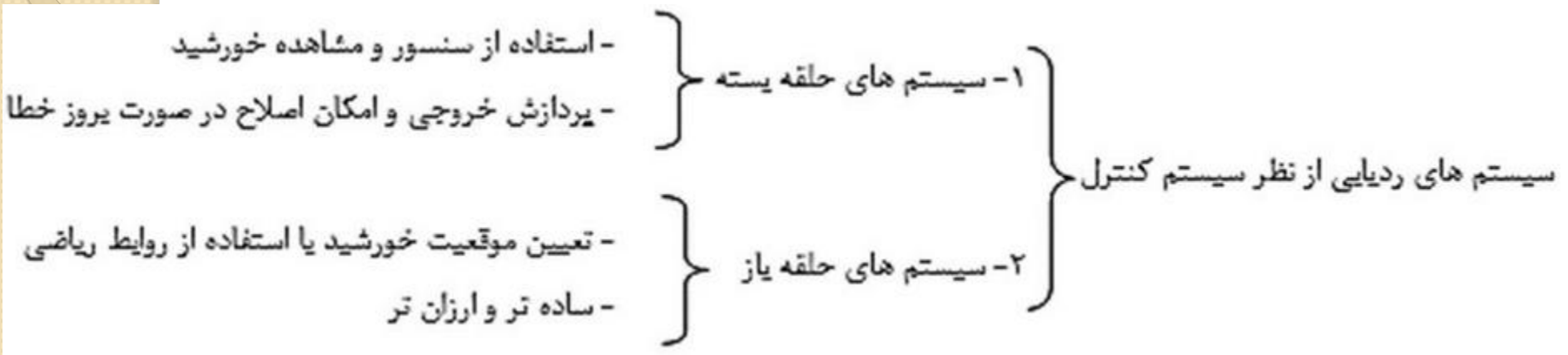


[Gain=(Power tracked–Power fixed)*100/Power tracked]

[1] Yılmaz M. (2013), Determination of methods deriving electrical energy from solar energy and optimum efficiency by solar tracking system, PhD thesis, Department of Electrical Education, Marmara University, Istanbul.

طبقه بندی سیستم های ردیاب خورشیدی

- سیستم های ردیابی از نظر سیستم کنترل به صورت زیر طبقه بندی می شوند:



وقتی مقدار خروجی یک سیستم کنترل بر ورودی اثری نگذارد، آن سیستم را حلقه باز می‌نامیم. در سیستم‌های کنترل حلقه‌باز، فیدبک وجود ندارد. اما در سیستم های حلقه بسته یا فیدبکی، با پایش خروجی فرآیند و فرستادن آن به ورودی برای مقایسه با خروجی مطلوب، می‌توان خطا را کاهش داد.

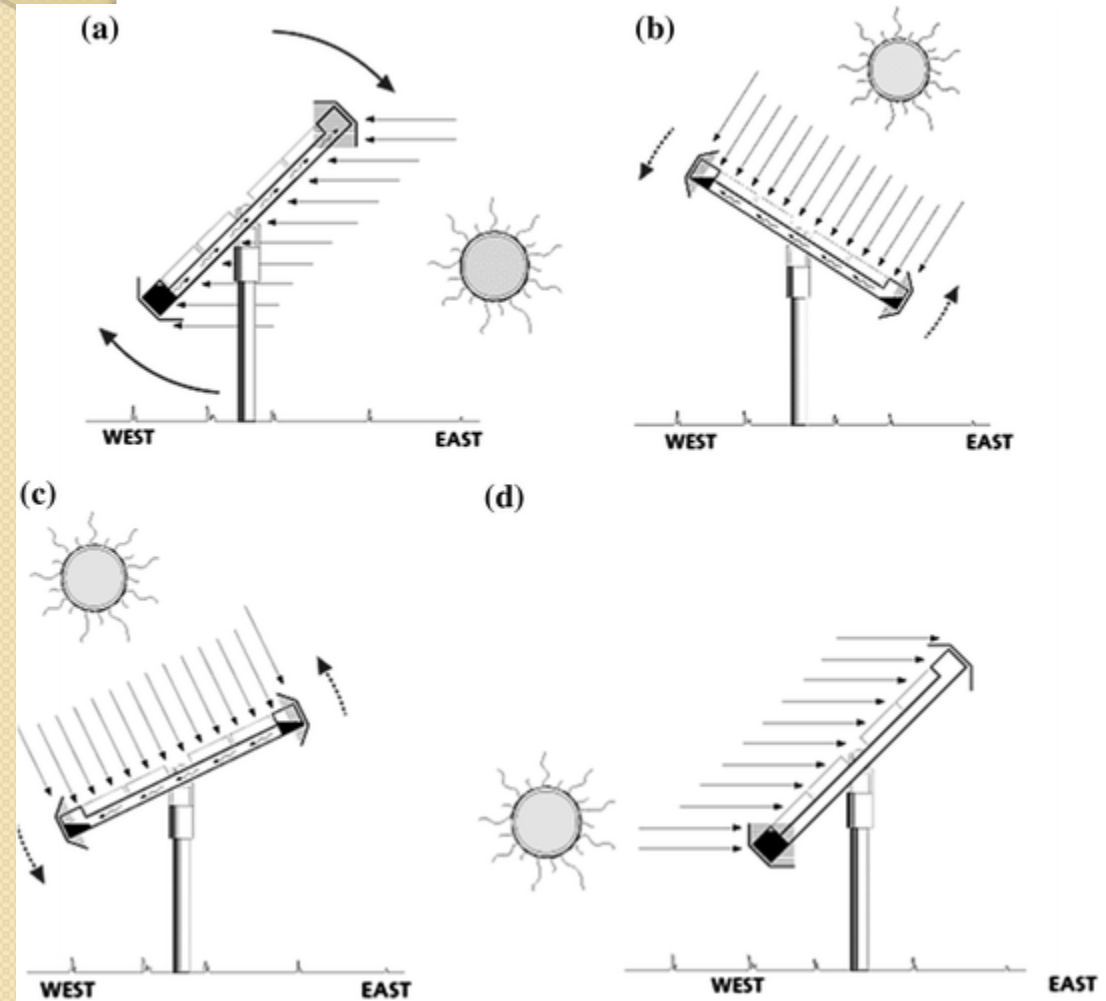
طبقه بندی سیستم های ردیاب خورشیدی

- سیستم های ردیابی همچنین به دو گروه فعال و غیرفعال تقسیم بندی می شوند.

- **سیستم های ردیابی فعال**، برای هدایت پنل به سمت خورشید از موتورها و چرخدنده ها استفاده می کنند. این سیستم ها احتیاج به منبع انرژی خارجی دارند.
- **سیستم های ردیابی غیرفعال**، احتیاج به منبع انرژی خارجی ندارند. از سیال با نقطه جوش کم استفاده می کنند که با دریافت گرمای خورشیدی تبخیر می شود.

سیستم ردیاب خورشیدی غیر فعال

- شرکت Portasol tracking systems—Australia یک سیستم غیرفعال ردیاب هیدرولیکی طراحی نمود. مکانیزم این ردیاب در شکل زیر نمایش داده شده است.



a) Morning
b) Before noon
c) After noon
d) Night

زاویه ساعتی ارتفاع خورشیدی

- زاویه ساعتی ارتفاع خورشیدی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\sin(\alpha_s) = \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(\omega) + \sin(\varphi)\sin(\delta)$$

که ω از رابطه زیر قابل محاسبه است (صبح منفی و عصر مثبت):

$$\omega = 15 \times (\text{Watch} - 12)$$

- Watch در رابطه بالا ساعت خورشیدی است و نسبت به ظهر خورشیدی سنجیده می شود. در ظهر خورشیدی ساعت برابر ۱۲ است.
- روابط زیادی برای محاسبه ساعت خورشیدی ارائه شده است. از جمله رابطه زیر:

$$\text{Solar time} = \text{Standard time} + 4(L_{st} - L_{loc}) + E$$

L_{st}:(اختلاف ساعت با گرینویچ)×۱۵ L_{loc}:طول جغرافیایی منطقه

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868\cos B - 0.032077\sin B - 0.014615\cos 2B - 0.04089\sin 2B)$$

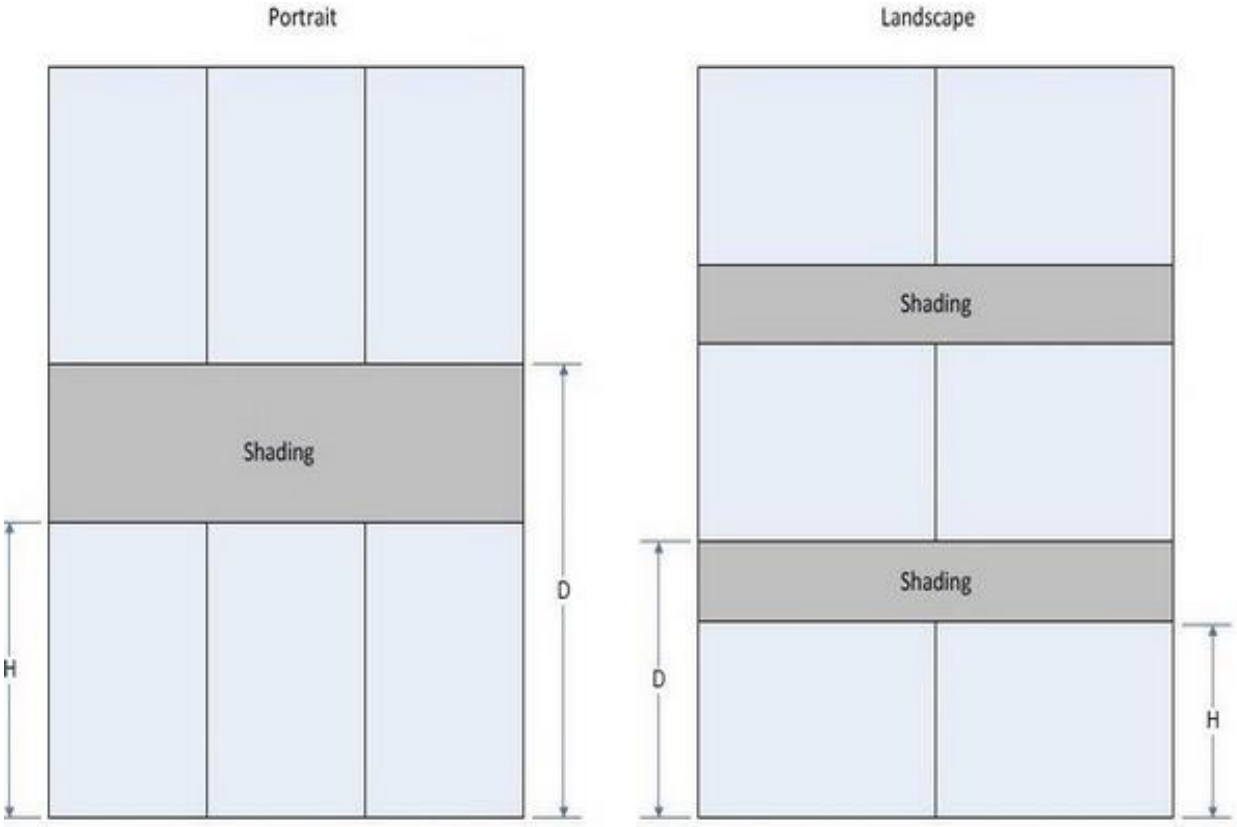
$$B = (n-1)\frac{360}{365}$$

حداقل فاصله مجاز بین رشته پنل‌های خورشیدی

- در نیروگاه‌های خورشیدی که در آنها رشته پنل‌ها به صورت سری یا موازی پشت سر هم قرار می‌گیرند، تعیین حداقل فاصله مجاز بین رشته‌ها بسیار مهم می‌باشد. این اهمیت در راستای جلوگیری از ایجاد سایه رشته پنل‌های جلویی بر سطح رشته پنل‌های ردیف‌های بعدی می‌باشد. عدم تعیین فاصله بهینه در صورتیکه منجر به کاهش فاصله شود باعث سایه افکنی بر روی پنل ها و در نتیجه افت راندمان تولید انرژی نیروگاه می‌شود.
- اگر این فاصله به صورت بهینه تعیین نشود، مشکل سایه افکنی برطرف شده اما فاصله بیش از حد پنل ها باعث کاهش ظزفیت اسمی نیروگاه خواهد شد. ضمن اینکه فواصل طولانی‌تر پنل‌ها طول سیم‌کشی را افزایش داده که همین امر باعث افزایش تلفات نیز خواهد شد. به همین دلیل بسیار ضروریست این فاصله به صورت بهنیه و بر مبنای موقعیت مکانی نیروگاه و زاویه نصب پنل ها تعیین شده تا هم حداکثر ظرفیت ممکن نیروگاه و هم حداکثر راندمان تولیدی به صورت توامان حاصل شود.

حداقل فاصله مجاز بین رشته پنل‌های خورشیدی

- مطابق شکل زیر، چیدمان پنل ها در نیروگاه‌های فتوولتائیک در دو حالت عمودی (portrait) و یا افقی (landscape) صورت می‌پذیرد.



حداقل فاصله مجاز بین رشته پنل‌های خورشیدی

- برای تعیین فاصله بهینه بین پنل‌ها (D)، سه پارامتر دیگر مورد نیاز است. H، عرض پنل می باشد، برای آرایش عمودی H برابر با طول ضلع بزرگتر پنل و در آرایش افقی برابر ضلع کوچکتر می باشد. دو پارامتر دیگر یکی عبارت است از زاویه نصب پنل نسبت به سطح افق (β) و دیگری زاویه ارتفاع خورشیدی (α_s) می‌باشد. فاصله بین پنل‌ها از رابطه ذیل تعیین می‌شود:

$$D=\sin(\alpha_s+\beta)\times H/\sin(\alpha_s)=H\times(\cos(\beta)+\sin(\beta)\cot(\alpha_s))$$

زاویه ارتفاع خورشیدی در عرض‌های جغرافیایی مختلف و روزها و ساعات مختلف سال متفاوت می‌باشد.

حداقل فاصله مجاز بین رشته پنل‌های خورشیدی

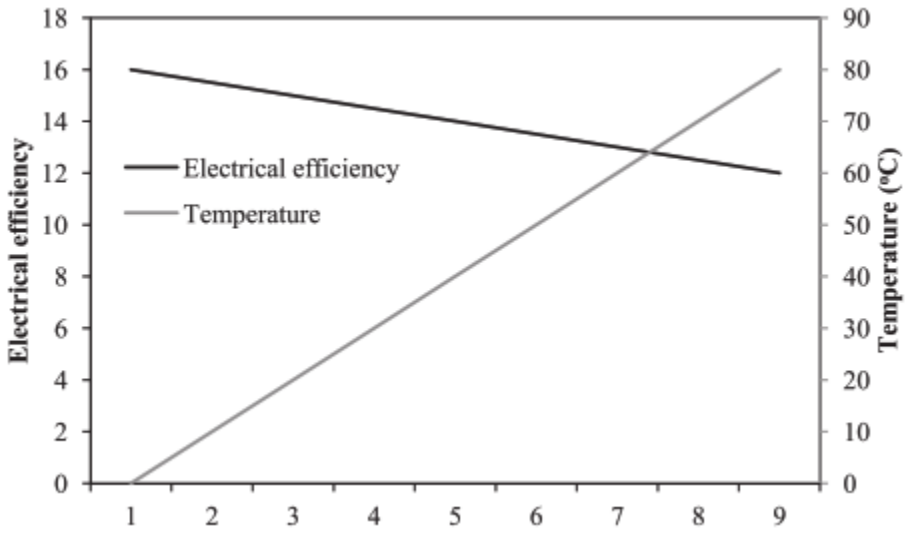
- برای محاسبه حداقل فاصله مجاز بین رشته پنل‌های خورشیدی، باید یک مقدار بهینه برای αs استفاده کنیم.
- برای حصول بهترین عملکرد نیروگاه، ما کم تابشترین روز سال را به عنوان روز مناسب برای محاسبه αs اتخاب می کنیم. به همین منظور می توانیم یکی از روزهای پایانی آذر یا روزهای ابتدایی دی ماه را انتخاب کنیم. اما در خصوص ساعت مناسب روز کمی متفاوت عمل می کنیم. در اینجا میانگین روزانه αs را مدنظر قرار خواهند داد.

اهمیت خنک کاری سیستم های فتوولتائیک

- لایه سوم پنل فتوولتائیک لایه ای از سلول های فتوولتائیک است که عمدتا از سیلیکون تشکیل شده است، که برای تولید برق استفاده می شود. این لایه تا ۸۰٪ اشعه خورشیدی موجود در طیف خورشیدی را جذب می کند.
- درصد مشخصی از تشعشع خورشیدی برق تولید می کند و بقیه این تشعشع گرما ایجاد می کند که باعث ایجاد درجه حرارت بالا در پنل فتوولتائیک می شوند.
- حدود ۵۰٪ از کل تابش خورشیدی توسط پنل فتوولتائیک تبدیل به گرما شده که باعث افزایش دمای آن می شود.
- دمای بالای کاری پنل فتوولتائیک باعث کاهش راندمان الکتریکی آن می شود. اگر تنش حرارتی به مدت طولانی در پنل فتوولتائیک باقی بماند، می تواند موجب آسیبهای ساختاری به نام تخریب حرارتی در این سیستم ها شود.

اهمیت خنک کاری سیستم های فتوولتائیک

- شکل زیر رابطه افزایش دما و افت بازدهی الکتریسیته سیستم فتوولتائیک را نشان می دهد [1]:

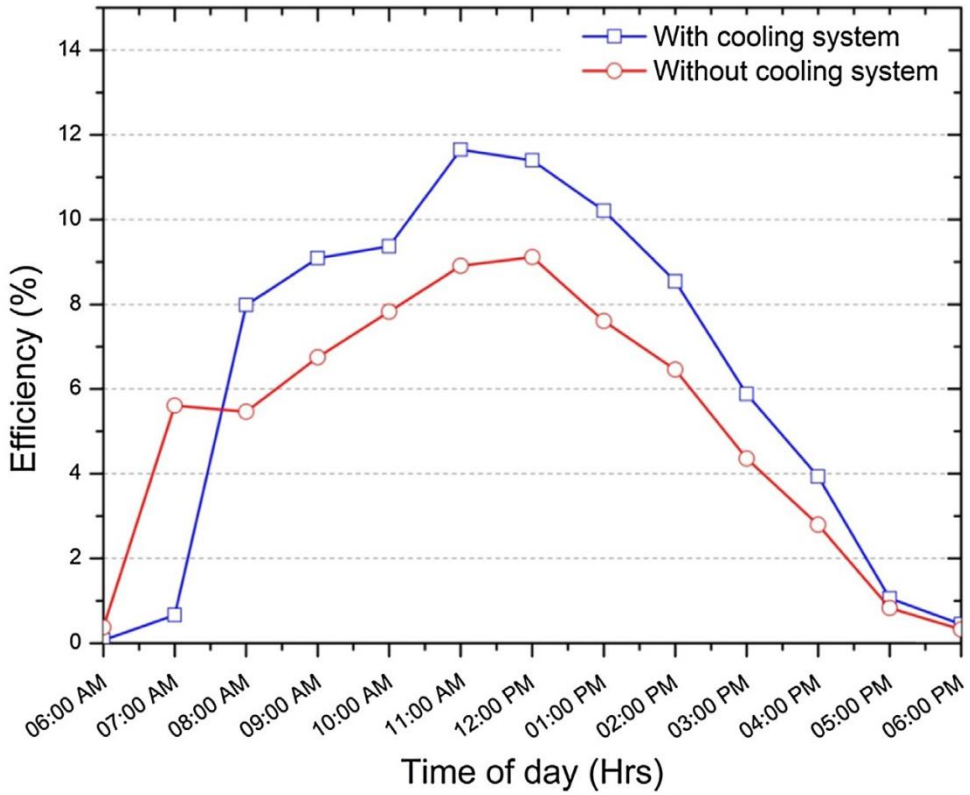


[1] Fesharaki JV, Dehghani M, Fesharaski JJ. The effect of temperature on Photovoltaic cell efficiency. In: Proceedings of the 1st international conference on emerging trends in energy conservation; 2011, p. 1–6.

- از شکل می توان دریافت که بازدهی سیستم فتوولتائیک تا ۲۵ درصد میتواند با افزایش دما کاهش یابد. در نتیجه، استفاده از سیستم های خنک کاری در سیستم های فتوولتائیک خیلی مهم است.

اهمیت خنک کاری سیستم های فتوولتائیک

- شکل زیر تاثیر استفاده از سیستم خنک کاری در سیستم فتوولتائیک را نشان می دهد [1]:

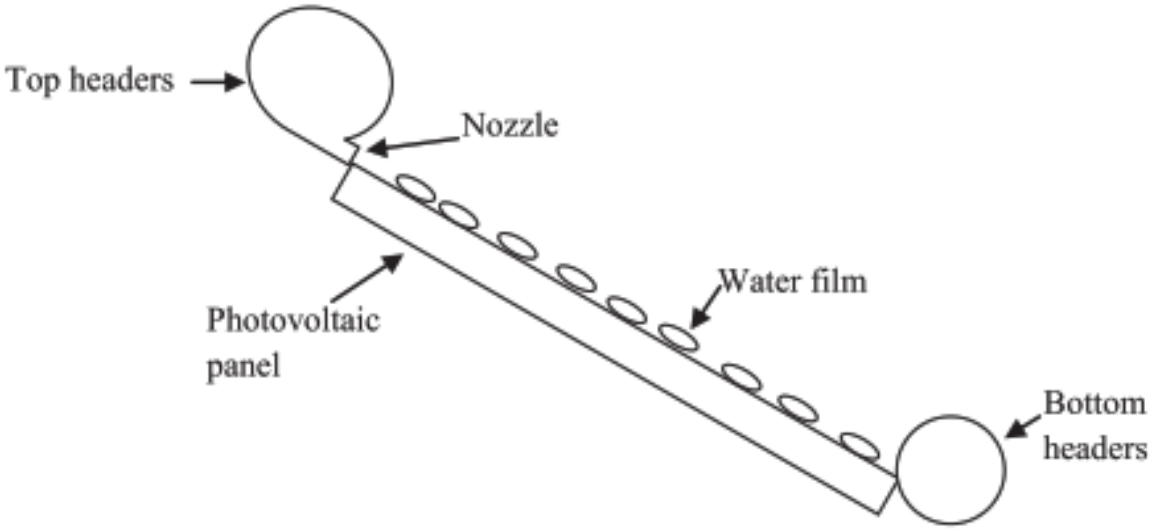


[1] Ahmed Elnozahya, Ali K. Abdel Rahmana, Ahmed Hamza H. Alib, Mazen Abdel-Salamc, S. Ookawarad, Performance of a PV module integrated with standalone building in hot arid areas as enhanced by surface cooling and cleaning, Energy and Buildings, 88 (2015) 100– 109.

انواع خنک کاری سیستم های فتوولتائیک

- دو روش خنک کاری در پانل های فتوولتائیک مورد استفاده قرار می گیرد:

➢ روش اول، استفاده از روش خنک کاری هیدرولیکی در سیستم فتوولتائیک می باشد. در این روش، معمولا از سیال آب یا هوا روی سطح جلویی پنل برای خنک کاری استفاده می شود.



انواع خنک کاری سیستم های فتوولتائیک

- استفاده از سیستم فتوولتائیک/حرارتی یکپارچه ترکیبی، این سیستم ترکیبی از پنل فتوولتائیک و سیستم حرارتی خورشیدی است که که از گرمای سیستم فتوولتائیک به عنوان محصول فرعی برای اهداف مختلف گرمایشی استفاده می شود. از جمله مزایای این سیستم عبارتند از:

- ✓ تولید همزمان برق و حرارت
- ✓ بازدهی کلی بالاتر سیستم ترکیبی در مقایسه با بازدهی دو سیستم مجزا
- ✓ اشغال فضای کمتر در مقایسه با دو سیستم مجزا
- ✓ کاهش آسیب حرارتی پنل فتوولتائیک و افزایش طول عمر آن

طبقه بندی سیستمهای فتوولتائیک/حرارتی یکپارچه ترکیبی

- سیستم های سیستمهای فتوولتائیک/حرارتی یکپارچه ترکیبی در گروه های زیر طبقه بندی می شوند:

✓ سیستم فتوولتائیک/حرارتی مبتنی بر آب

✓ سیستم فتوولتائیک/حرارتی مبتنی بر هوا

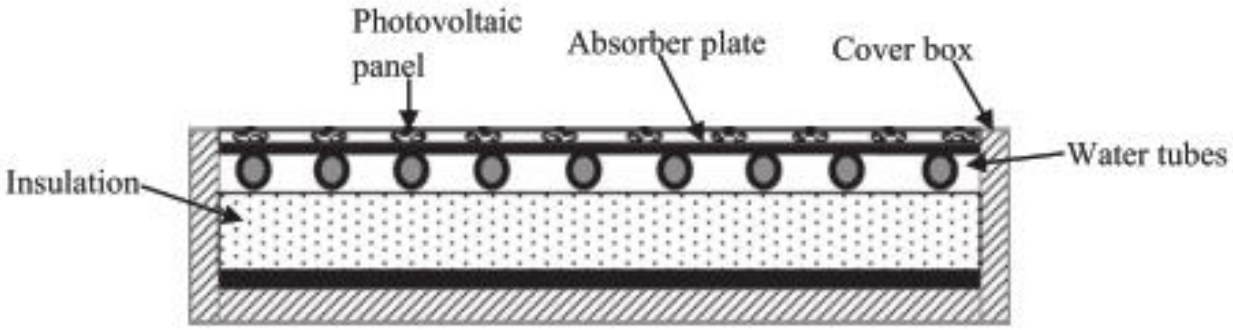
✓ سیستم فتوولتائیک/حرارتی مبتنی بر مبرد

✓ سیستم فتوولتائیک/حرارتی مبتنی بر لوله حرارتی

✓ پنل فتوولتائیک با مواد تغییر فاز دهنده

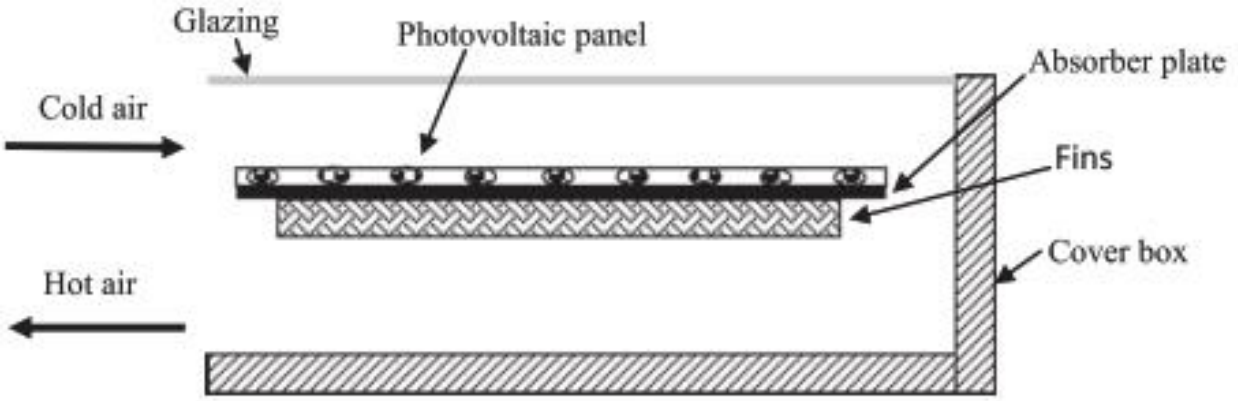
سیستم فتوولتائیک/حرارتی مبتنی بر آب

- سیستم فتوولتائیک/حرارتی مبتنی بر آب دارای ساختاری مشابه آب گرم کن خورشیدی است که در آن صفحه جاذب فلزی در قسمت زیرین پنل فتوولتائیک قرار دارد. لوله های فلزی در زیر صفحه جاذب بصورت موازی یا مارپیچی قرار می گیرند و آب درون آنها جریان می یابد.



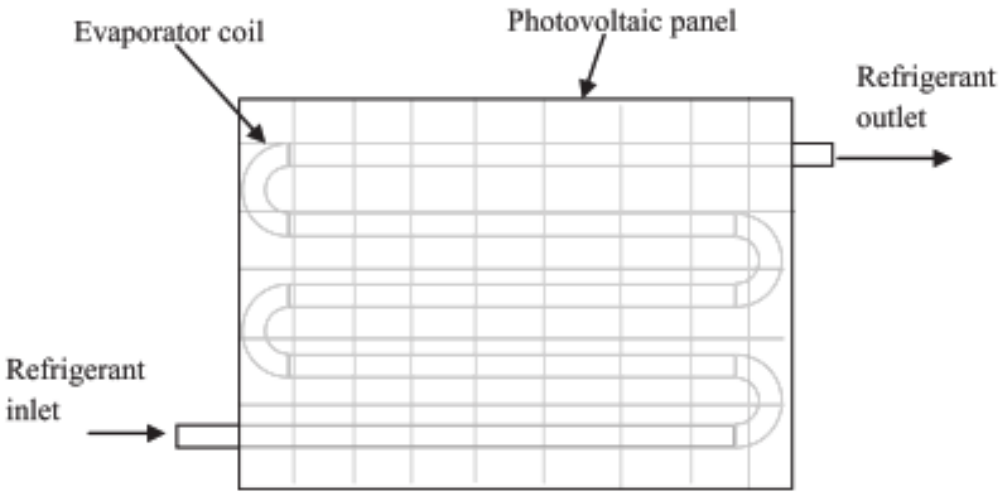
سیستم فتوولتائیک/حرارتی مبتنی بر هوا

- سیستم فتوولتائیک/حرارتی مبتنی بر هوا دارای ساختاری مشابه هوا گرم کن خورشیدی است. هوا مطابق شکل از روی پنل ها عبور کرده و با دریافت حرارت پنل ها و خنک کردن آنها گرم می شوند. پره ها یا زبری ها در پشت صفحه جاذب برای بهبود نرخ انتقال حرارت متصل می شوند.



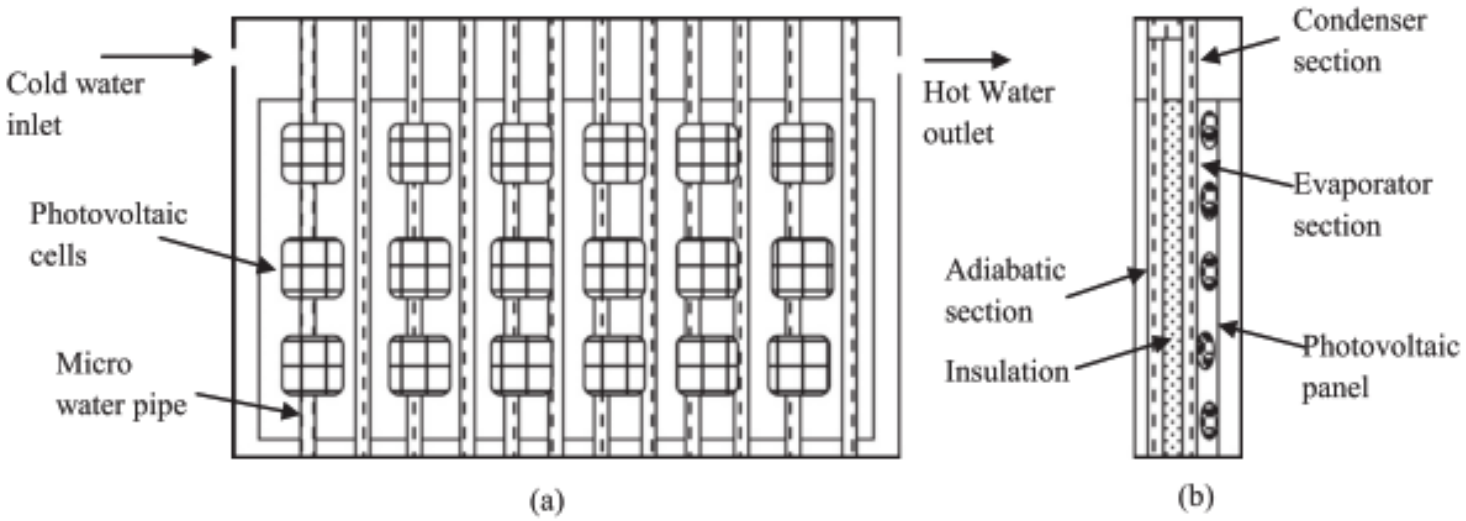
سیستم فتوولتائیک/حرارتی مبتنی بر مبرد

- در این سیستم، کویلهای تبخیری در پشت پنل های فتوولتائیک تعبیه می شود. مبرد از این کویلها عبور کرده و با جذب حرارت پنل ها تبخیر می شود. بخار وارد واحد چگالنده می شود و گرمای موجود در واحد کندانسور می تواند برای اهداف مختلفی استفاده شود.



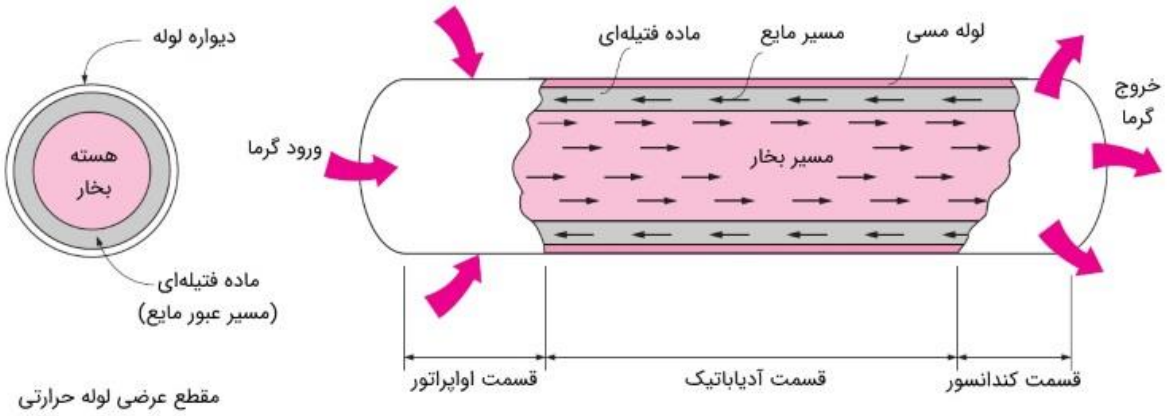
سیستم فتوولتائیک/حرارتی مبتنی بر لوله حرارتی

- این سیستم مانند لوله گرمایی معمولی شامل سه بخش چگالنده، عایق، و تبخیر کننده است. بخش تبخیر کننده چسبیده به پشت پنل های خورشیدی می باشد و سیال درون این بخش با جذب حرارت از پنل های خورشیدی تبخیر می شود و به قسمت چگالش برای آزاد کردن گرمای نهان و مایع شدن دوباره می رود. بدلیل حرارت زیاد مورد نیاز برای تغییر فاز، لوله های گرمایی قادر به جابجایی حرارت زیاد می باشند.



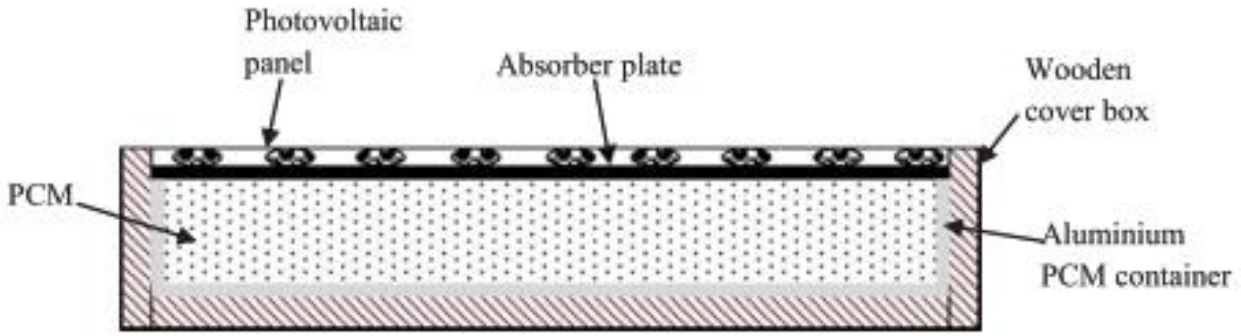
سیستم فتوولتائیک/حرارتی مبتنی بر لوله حرارتی

- لوله گرمایی وسیله ساده‌ایست که هیچ قطعه متحرکی در آن به کار نرفته و قادر است حرارت زیادی را انتقال دهد. این وسیله به توان ورودی نیازی ندارد و فرآیند انتقال حرارت را با تغییر دما جزئی انجام می‌دهد. شکل زیر یک لوله گرمایی معمولی را نشان می دهد:



خنک کاری پنل فتوولتائیک با مواد تغییر فاز دهنده

- از مواد تغییر فاز دهنده نیز می توان برای خنک کاری پنل فتوولتائیک استفاده نمود. این مواد معمولا در پشت پانل فتوولتائیک تعبیه می شوند. این مواد گرما را از پنل دریافت و و بدون افزایش دما در خود ذخیره می کنند. این کار باعث خنک شدن یکنواخت پنل فتوولتائیک می شود.
- بهترین دمای کارکرد پنل فتوولتائیک دمای ۲۵ درجه سانتیگراد است. بنابراین باید مواد مواد تغییر فاز دهنده با نقطه ذوب نزدیک به این دما انتخاب شوند.

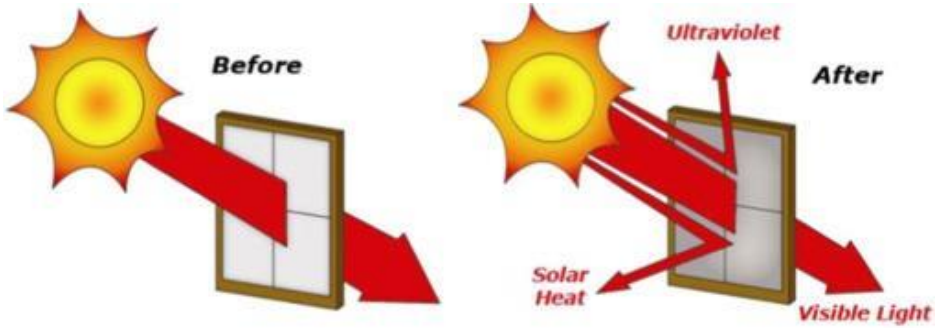


انتخاب نوع مواد تغییر فاز دهنده

- مواد تغییر فاز دهنده با نقطه ذوب پایین (حدود ۲۵ درجه سانتیگراد) قادر به حفظ دمای پنل های فتوولتائیک در محدوده مورد نظر برای فواصل بسیار کوتاه هستند و بعد از ذوب شدن غیر موثر می شوند.
- افزایش ضخامت مواد تغییر فاز دهنده با نقطه ذوب پایین باعث ایجاد مشکل بعلت ذوب ناقص می شود.
- مواد تغییر فاز دهنده با نقطه ذوب بالا (بالاتر از ۳۰ درجه سانتیگراد) نمی تواند پنل های فتوولتائیک را در محدوده دمای مطلوب؛ ۲۵ درجه سانتیگراد؛ حفظ کند. اگرچه می تواند در کل مدت زمان پنل را در زیر دمای خاص حفظ کند.
- در نتیجه استفاده از مواد تغییر فاز دهنده با نقطه ذوب بالا، می تواند پانل را در دمای کمی بالاتر اما یکنواخت حفظ کند و از ایجاد نقاط داغ جلوگیری کند. در حالی که استفاده از مواد تغییر فاز دهنده با نقطه ذوب پایین، می تواند پانل را در دمای کم، که حداکثر بازده را به همراه دارد، اما فقط برای مدت زمان محدود حفظ کند.
- پس برقراری توازن میان نقطه ذوب و ضخامت مواد تغییر فاز دهنده و راندمان سیستم بسیار مهم است.

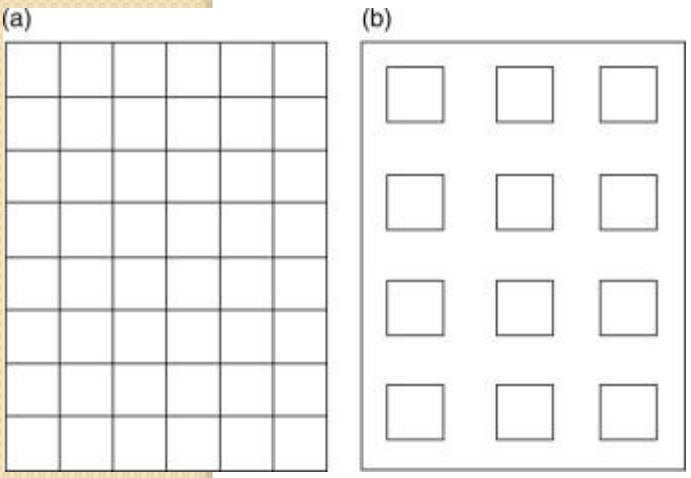
خنک کاری پنل فتوولتائیک با پوشش شفاف

- در این روش از پوشش شفاف (کریستال فوتونی) استفاده می شود. این نوع پوشش اجازه عبور بخش مرئی طیف نور خورشید را می‌دهد اما طیف حرارتی (امواج مادون قرمز) و امواج مضر (ماوراء بنفش) را منعکس و فیلتر می‌کنند. استفاده از این روش سبب کاهش دمای عملیاتی سطح پنل و افزایش راندمان آن می شود.



Packing factor

- در برخی از سیستم های فتوولتائیک/حرارتی، فاصله بین ردیف های مجاور سلول ها باعث می شود بخشی از تابش خورشیدی از آن عبور کرده و مستقیماً توسط صفحه جاذب دریافت شود. Packing factor پارامتری است که این میزان این فاصله را تعیین می کند. این پارامتر به صورت نسبت مساحت سلول های خورشیدی به کل مساحت صفحه جاذب پنل فتوولتائیک/حرارتی تعریف می شود. در شکل زیر Packing factor ۱۰۰ درصدی و ۲۵ درصدی نمایش داده شده است.



PV/T collectors with different packing factor (PF) of pasted cells: (a) 100% and (b) 25%

Packing factor

- Packing factorدر سیستم های فتوولتائیک/حرارتی بسته به اولویت بار خروجی، بار الکتریکی یا بار حرارتی، انتخاب می شود.

- وقتی که بار الکتریکی در اولویت باشد، از مقادیر بزرگتر Packing factor (بزرگتر از ۰.۷) استفاده می شود.
- وقتی که بار حرارتی در اولویت باشد، از مقادیر کوچکتر Packing factor استفاده می شود.

راندمان سیستم های فتوولتائیک

- راندمان برقی سیستم های فتوولتائیک/حرارتی از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$\eta_{Electrical} = \frac{P_{electrical}}{I \times A_C}$$

I: شدت تابش محلی

Ac: مساحت سلول خورشیدی

$P_{electrical}$: توان الکتریکی

راندمان سیستم های فتوولتائیک

- راندمان حرارتی سیستم های فتوولتائیک/حرارتی از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$\eta_{Thermal} = \frac{m \times Cp \times (T_o - T_i)}{I \times A}$$

m: دبی جرمی

Cp: گرمای ویژه

To: دمای خروجی

Ti: دمای ورودی

I: شدت تابش محلی

A: مساحت کلکتور حرارتی

اهمیت تمیزکاری سیستم های فتوولتائیک

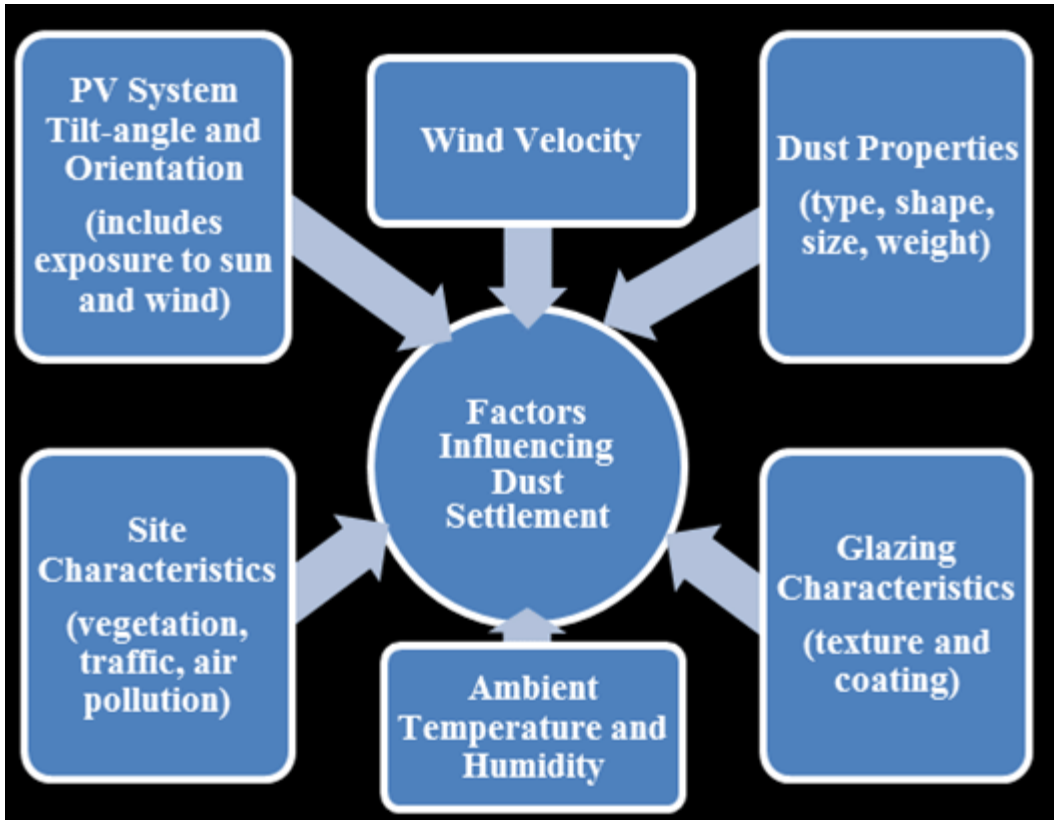
- تمیزکاری سیستم های فتوولتائیک موجب افزایش راندمان و افزایش طول عمر این سیستم ها می شود. بنابراین از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در جدول زیر تاثیر گردوغبار بر راندمان و توان ماکزیمم سیستم فتوولتائیک نمایش داده شده است [1]. مشاهده می شود که گردوغبار می تواند حدود ۴۷ درصد از توان و راندمان پنل فتوولتائیک تجهیز شده با ردیاب بکاهد. گردوغبار می تواند حدود ۵۶ درصد از توان و راندمان پنل فتوولتائیک بدون ردیاب بکاهد.

System	Cleaned Panel With Tracking	Cleaned Panel Without Tracking	Dusty Panel with tracking	Dusty panel without tracking
P_{max}	7.48W	6.39 W	3.99 W	2.819 W
% Efficiency	7.13%`	6.08 %	3.8 %	2.653

[1] Abhilash Bandam, Panchal Ashish K., Self-Cleaning and Tracking Solar Photovoltaic Panel for Improving Efficiency, International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB16), IEEE, 2016.

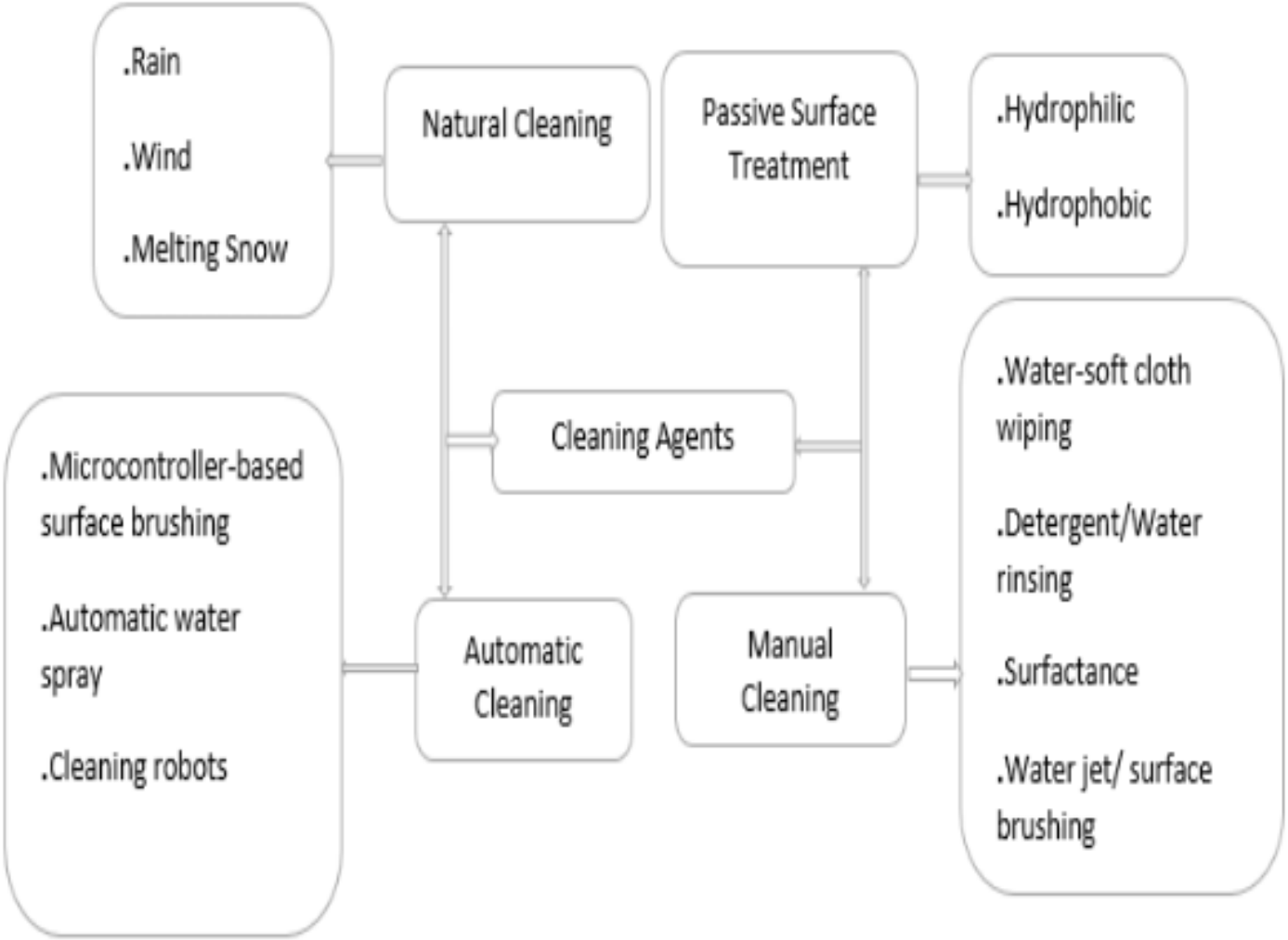
اهمیت تمیزکاری سیستم های فتوولتائیک

- در شکل زیر عوامل موثری که باعث ایجاد آلودگی روی پنل های خورشیدی می شوند نمایش داده شده است:



اهمیت تمیزکاری سیستم های فتوولتائیک

- در شکل زیر روش های مختلف تمیز کاری پنل های خورشیدی نمایش داده شده است:



اهمیت تمیزکاری سیستم های فتوولتائیک

- در شکل زیر روش های مختلف اتومات (غیردستی) تمیز کاری پنل های خورشیدی نمایش داده شده است:

Surface brushing machine

Automatic water spray

Robot cleaning

اهمیت تمیزکاری سیستم های فتوولتائیک

- در شکل زیر روش های مختلف اتومات (دستی) تمیز کاری پنل های خورشیدی نمایش داده شده است:

Water-soft cloth wiping

Detergent/water rinsing

Water-jet

اهمیت تمیزکاری سیستم های فتوولتائیک

- در جدول زیر چهار روش تمیزکاری با هم مقایسه شده اند:

Cleaning Equipment	Unit	Brush	Microfiber Cloth Wiper	Vacuum Cleaner & Brush	Vacuum Cleaner & Microfiber Cloth Wiper
Normalized Capital Cost	US $/panel	0.12	0.11	0.33	0.32
Duration of Cleaning Per Panel	minutes/panel	1	0.75	2	1.75
Electricity Cost of Cleaning Per Panel	US $/panel	0	0	0.000021	0.000021
Manpower Cost	US $/panel	0.25	0.19	0.5	0.44
Cost of One Cleaning Per Panel	US $/panel	0.37	0.29	0.83	0.76
Total Cost of One Cleaning Per Unit PV Area	US $/m^2	0.51	0.41	1.15	1.05
Total Yearly Cost of Cleaning Per Unit PV Area	US $/m^2/year	26.42	21.07	59.76	54.45

نیروگاه شناور فتوولتائیک

- امروزه بدلیل مزایای فراوان، کشورهای پیشرفته به سمت تاسیس نیروگاه شناور فتوولتائیک رفته‌اند. از جمله مزایای این نیروگاه ها عبارتند از:

- جلوگیری از تبخیر آب از مخازن آب شرب، دریاچه‌ها، مخازن آب کشاورزی و دریاچه پشت سدها
- کشورهای مثل انگلستان به دلیل کمبود زمین به استفاده از نیروگاه‌های شناور روی آورده‌اند.
- بخش بزرگی از ایران با معضل گرد و غبار مواجه است. قرار گرفتن نیروگاه‌های شناور بر بستری از آب، نه تنها احتمال قرار گرفتن صفحات خورشیدی در معرض آلاینده‌های هوا همچون گرد و غبار را کمتر می‌کند بلکه هزینه تمیز کردن این صفحات را نیز کاهش می‌دهد.

نیروگاه شناور فتوولتائیک

- گرمای هوا بخصوص در فصل تابستان باعث افت کارآیی نیروگاه فتوولتائیک می‌شود، اما نیروگاه‌های شناور به علت وجود آب و اثر خنک کنندگی آن با این مشکل مواجه نیستند یا بسیار کمتر مواجهند.
- به دلیل این که این نیروگاه ها نیاز به حفاری ندارند، اثر زیست‌محیطی مخربی نداشته و آزمایش‌ها نشان می‌دهد که بر کیفیت آب مخزن هم بی‌تاثیر است.
- در مخازن آبی وسیع، امواج آب روی آن موجب خوردگی یا صدمه به ساختار مخزن می‌شود، اما با استفاده از این روش، شدت امواج و خوردگی کاهش پیدا می‌کند.

نیروگاه شناور فتوولتائیک

- در شکل های زیر استراکچر نیروگاه های شناور فتوولتائیک نمایش داده شده اند:

آشنایی با نرم افزار PVSyst

- PVsyst نرم افزاری کامپیوتری جامع و کاربردی در زمینه کار با سیستم های فتوولتائیک است و با هدف کمک به معماران، مهندسین، پژوهشگران و حتی دانشجویان علاقمند به تحقیق و کار در این حوزه، طراحی شده است. این نرم افزار شامل یک منوی راهنما (Help) بسیار دقیق است که مدل ها و روش هایی که مورد استفاده قرار می گیرند را کاملاً توضیح می دهد تا هر شخصی قادر باشد در یک محیط شهودی، پروژه ی خود را آغاز نموده و به اتمام برساند.
- قابلیت های این نرم افزار عبارتند از:

- امکان تعیین جزئیات و پارامترهای سیستم های فتوولتائیک ویژه‌ی هر کشور، شهر و منطقه
- امکان ورود اطلاعات دستی و اطلاعات فنی تجهیزات مورد نیاز برای شبیه سازی دقیق‌تر و واقعی‌تر

قابلیت های کلیدی نرم افزار PVSyst

- گزارش گیری‌های کامل در زمینه های فنی، اقتصادی، میزان سودآوری، میزان تولید و ...
- امکان تهیه گرافیکی سایت پروژه و خروجی های تصویری مرتبط با آن
- مناسب برای انجام کارهای پژوهشی و آموزشی در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک
- وارد کردن داده‌های هواشناسی از منابع مختلف
- مشاهده گرافیکی مسیر تابش خورشید در طول سال و پیش‌بینی تولید
- سرعت شبیه سازی بالا
- دیتابیس قوی و تقریبا کامل از تمام تجهیزات سیستم فتوولتائیک با برندهای معتبر دنیا
- محاسبه تلفات
- امکان بررسی اثر سایه بر راندمان سیستم

بررسی اقتصادی سیستم های فتوولتائیک

- هزینه تمام شده تولید توان توسط ماژول های فتوولتائیک را می توان به صورت بین المللی بر حسب کیلووات ساعت بر دلار (kWH/$) سنجید و با سایر سیستم های تولید برق مقایسه نمود.

بررسی اقتصادی سیستم های فتوولتائیک

- پارامترهای هزینه اولیه سیستم های فتوولتائیک عبارتند از:
  - هزینه ماژول فتوولتائیک
  - هزینه ذخیره سازی (در صورت وجود باتری)
  - هزینه مبدل
  - هزینه شارژر باتری
  - هزینه سایر تجهیزات
  - هزینه طراحی سیستم فتوولتائیک
  - هزینه نصب سیستم فتوولتاییک

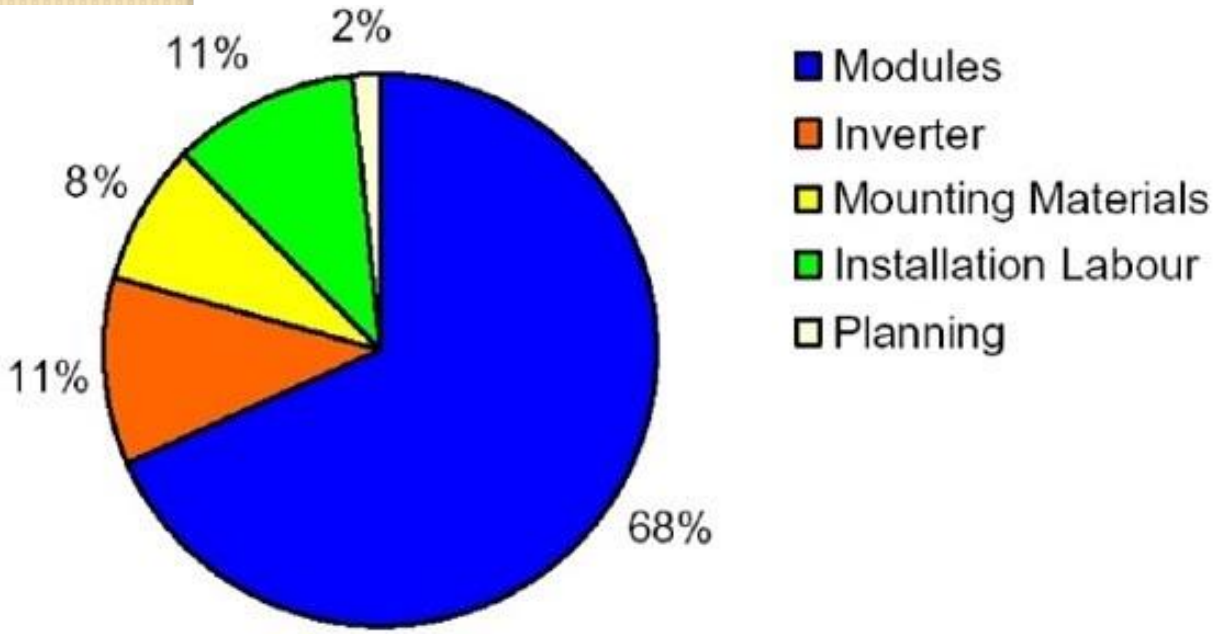
بررسی اقتصادی سیستم های فتوولتائیک

- استفاده از سیستم های فتوولتائیک در زمینه های زیر سودآوری دارد:

- سود کاهش مصرف برق
- سود کاهش دیماند برق
- سود کاهش آلایندگی محیط
- سود کاهش هزینه معماری
- سود فروش به شرکت برق
- سود کاهش هزینه برق اضطراری (در صورتی که از سیستم فتوولتائیک به عنوان سیستم برق اضطراری استفاده شود)

بررسی اقتصادی سیستم های فتوولتائیک

- از آنجا که ماژول های فتوولتائیک بخشی از سیستم فتوولتائیک را تشکیل می دهند، برای بررسی هزینه باید سایر اجزا را نیز در نظر گرفت. هزینه ماژول ها بخش اعظم هزینه سیستم فتوولتائیک را تشکیل و پس از آن هزینه مبدل بیشترین سهم را دارد.



درصد مشارکت اجزای مختلف سیستم فتوولتاییک در هزینه کل

بررسی اقتصادی سیستم های فتوولتائیک

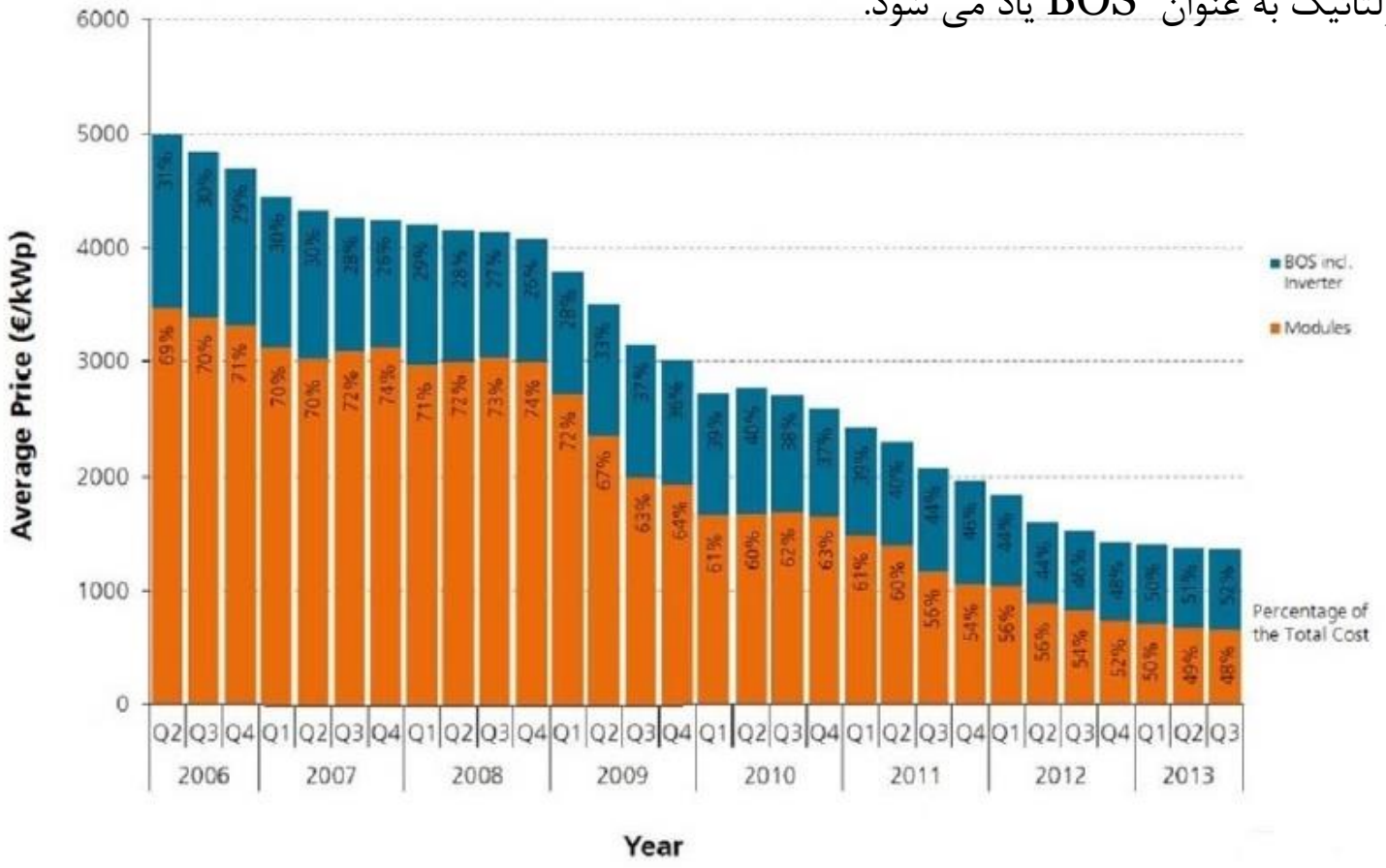
- در سال های اخیر قیمت تمام شده ماژول های فتوولتائیک و سایر اجزای یک سیستم فتوولتائیک همواره کاهشی بوده است. دلایل کاهش قیمت تمام شده ماژول های فتوولتائیک عبارتند از:

- عملکرد شرکت هایی است که کار طراحی، نصب و راه اندازی این سیستم ها را بر عهده دارند.
- نقش مؤسسات تحقیقاتی در تولید نسل های جدید سیستم های فتوولتائیک با بازده بالا و صرفه اقتصادی بیشتر.
- نقش یارانه های دولت در رشد استفاده از این سیستم ها و رونق بخشیدن به صنایع مربوطه و ایجاد انگیزه برای تولیدکنندگان.

بررسی اقتصادی سیستم های فتوولتائیک

- با پیشرفت تکنولوژی شاهد کاهش قیمت ماژول های فتوولتائیک در سال های اخیر بوده ایم. کاهش قیمت در مورد سایر بخش ها نیز رخ داده است ولی درصد کاهش کمتر است.

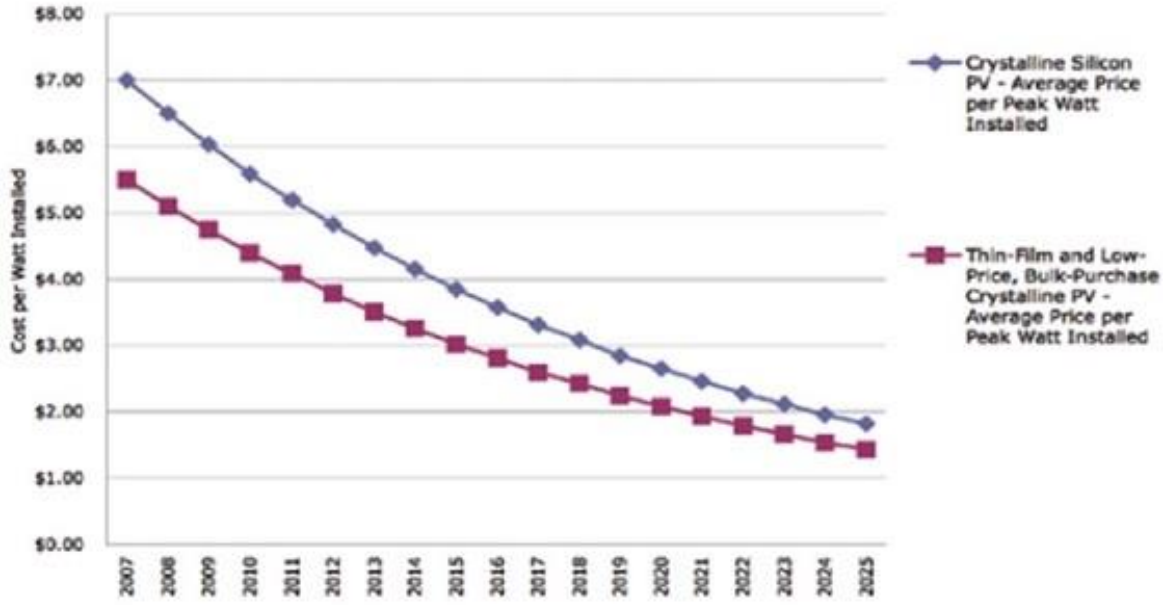
از بقیه اجزای سیستم فتوولتائیک به عنوان BOS یاد می شود.



روند تغییر قیمت سیستم فتوولتاییک در کشور آلمان طی سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳

بررسی اقتصادی سیستم های فتوولتائیک

- روند تغییر قیمت این ماژول ها در سال های گذشته همواره کاهشی بوده است. طبق پیش بینی های انجام شده، میزان شیب کاهش قیمت تا سال ۲۰۲۵ میلادی نیز زیاد خواهد بود. طی سال های اخیر، این میزان کاهش قیمت، روند ملایم تری به خود گرفته است؛ در واقع، برای ادامه روند کاهش قیمت باید سرمایه گذاری و نوآوری بیشتری در تولید و توسعه تکنولوژی های فتوولتائیک مد نظر قرار گیرد.



پیش‌بینی روند تغییرات قیمت ماژول فتوولتاییک تا سال ۲۰۲۵ بر حسب توان نصب‌شده

ملزومات توسعه سیستم های فتوولتائیک در ایران

- در زمینه سیاست، ملزومات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:
  - وضع سیاستهای مؤثر برای توسعه سیستم های فتوولتائیک در ایران
  - استمرار مشوق های دولت برای سیستم های فتوولتائیک
  - سادگی و شفافیت مقررات در بخش سیستم های فتوولتائیک
  - پشتیبانی از صنایع بومی در زمینه تولید برق از فن آوری فتوولتائیک
- در زمینه بودجه، ملزومات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:
  - در دسترس بودن بودجه و اعتبارات مورد نیاز
  - قابلیت اطمینان و پایداری تعرفه های تشویقی بودجه
  - کمک به فرایند تأمین اعتبار اولیه برای سرمایه گذاران
  - معافیت مالیاتی برای پنل و سیستم های خورشیدی

ملزومات توسعه سیستم های فتوولتائیک

- در زمینه منابع انسانی، ملزومات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:
  - تربیت نیروی انسانی در زمینه طراحی سیستم های فتوولتائیک
  - تربیت نیروی انسانی در زمینه نگهداری سیستم های فتوولتائیک
  - تربیت نیروی انسانی در زمینه تکنولوژی ساخت پنل های خورشیدی
- در زمینه قابلیت های صنایع، فن آوری ها و زیرساخت ها ملزومات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:
  - امکان اتصال به شبکه و ضمانت آن
  - امکان ذخیره سازی انرژی
  - پیش بینی و برنامه ریزی در زمینه انتقال انرژی
  - وجود زنجیره تأمین سیستمهای فتوولتائیک در داخل کشور، به ویژه تولید پنل ها و سیستم ها
  - وجود استانداردهای فنی مربوطه
  - تنوع در فن آوری سیستم های فتوولتائیک

ملزومات توسعه سیستم های فتوولتائیک

- وجود شرکت های سرویس دهنده (مشاوران و پیمانکاران باتجربه)
- دسترسی تولید کنندگان به بازار برق
- وجود و انتشار مطالب مرتبط اطلاعاتی مانند نقشه پتانسیل تابش خورشیدی
- کیفیت و طول عمر سیستم های فتوولتائیک در کشور (وارداتی یا تولیدی) بویژه پنل ها و مبدل ها
- تعامل مناسب بین صنعت ساختمان و صنعت فتوولتائیک
- امکان تهیه پنل ها مطابق با شرایط جغرافیایی هر منطقه
- بازاریابی مؤثر توسط تولید کنندگان و واردکنندگان سیستم های فتوولتائیک
- وجود مراکز تست در داخل کشور
- ارائه خدمات اساسی و زیرساخت ها در مناطق روستایی

ملزومات توسعه سیستم های فتوولتائیک

- در زمینه جغرافیایی، اقلیمی و زیست محیطی ملزومات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:
  - طراحی فضاهای شهری برای اجرای پروژه
  - شناسایی خصوصیات هر منطقه از نظر مشوق ها، پتانسیل ها و خطرات