

تعاریف اولیه:

زاویه یک پنل خورشیدی به صورت زاویه بین صفحه پنل و سطح زمین تعریف می‌گردد. به این ترتیب زاویه یک پنل که به صورت کاملاً مسطح و افقی روی سطح زمین نصب شده باشد صفر و پنلی که سطح آن عمود بر سطح زمین باشد، دارای زاویه 90 درجه می‌باشد. همچنین زاویه تابش خورشید به صورت زاویه بین خط واصل فرضی بین مرکز زمین و مرکز خورشید و خط تراز افق تعریف می‌گردد. به این ترتیب زاویه تابش هنگام طلوع و غروب به ترتیب برابر صفر و 180 درجه و هنگام ظهر روی خط استوا در روز اول فروردین و اول مهر برابر 90 درجه می‌باشد.

واضح است که توان تولیدی پنل سولار وقتی به مقدار بیشینه خود می‌رسد که بیشینه تابش را دریافت کند و این مقدار در زاویه تابش عمود بر صفحه پنل اتفاق می‌افتد. پس اگر زاویه پنل را با PA و زاویه تابش خورشید را با SA نشان دهیم:

$$PA(\text{Max}) = 90^\circ - SA(\text{Max})$$

اگر کره زمین در یک نقطه ثابت بود، کافی بود که پنلها 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 پنلها دو چالش اساسی وجود دارد:

1) چرخش وضعی کره زمین حول محور خود باعث تغییر موقعیت ظاهری خورشید در آسمان در طول روز به صورت قوسی از دایره می‌گردد.

2) زاویه انحراف محور زمین سبب می‌گردد که مکان همین قوس هم در آسمان در طول سال تغییر نماید.

برای تنظیم زاویه بهینه پنلها، ابتدا باید به تعریف دو مفهوم اساسی زیر پرداخت:

1) عرض جغرافیایی: (Latitude)

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 90 درجه شمالی و قطب جنوب 90 درجه جنوبی است. به عنوان نمونه، عرضهای جغرافیایی مرکز شهر تهران و کرج به ترتیب حدود 35.4 و 35.5 درجه شمالی هستند.

2) زاویه انحراف مداری کره زمین: (Obliquity)

محور گردش وضعی زمین نسبت به صفحه چرخش آن به دور خورشید دارای انحراف زاویه‌ای حدود 23.5 درجه می‌باشد که این انحراف در طی مسیر زمین در مدار خود حول خورشید همیشه در یک امتداد می‌باشد.

2) تنظیم زاویه پنلها:

به طور کلی، اگر ارتفاع زاویه ای خورشید را با SA و عرض جغرافیایی محل را با L نشان دهیم، مقادیر بیشینه و کمینه زاویه تابش در روزهای اول تابستان و زمستان (انقلاب تابستانی و زمستانی) در هر نقطه در نیمکره شمالی زمین (همچنین به ترتیب عکس در نیمکره جنوبی) برابر است با:

$$SA(\text{Max}) = 90^\circ - L + 23.5^\circ$$

$$SA(\text{Min}) = 90^\circ - L - 23.5^\circ$$

روزهای اول بهار و پاییز (اعتدال بهاری و پاییزی)، زمین در میانه مسیر مداری خود بین دو مقدار بیشینه و کمینه فوق می‌باشد و بنابراین، زاویه انحراف بی تأثیر می‌گردد:

$$SA(\text{Mid}) = 90^\circ - L$$

از روابط فوق نتایج جالبی بدست می‌آید:

1) تنها مناطقی از کره زمین دارای تابش کاملاً عمودی 90 درجه هستند که بین 2 مدار 23.5 درجه شمالی معروف به مدار رأس السرطان (Tropic of Cancer) و 23.5 درجه جنوبی معروف به مدار رأس الجدی (Tropic of Capricorn) باشند. این تابش کاملاً عمودی روی خط استوا فقط در 2 روز اول فروردین و اول مهر و روی مدارهای 23.5 درجه شمالی و 23.5 درجه جنوبی فقط در یک روز از سال به ترتیب روزهای اول تیر (شروع تابستان نیمکره شمالی) و اول دی (شروع تابستان نیمکره جنوبی) اتفاق می‌افتد. به طور کلی تمام مناطق استوایی (Tropical) که بین این دو مدار قرار دارند، دارای 2 روز تابش عمودی 90 درجه در طول سال هستند.

2) خارج از این ناحیه، هیچگاه تابش آفتاب حتی در تابستان به صورت عمودی کامل نخواهد بود. به عنوان مثال حتی در جنوبی ترین ناحیه ایران یعنی جزیره ابوموسی با عرض جغرافیایی تقریبی 25.8 درجه شمالی، زاویه تابش خورشید بیش از 87.7 درجه در روز اول تیر نخواهد شد.

3) مناطقی از کره زمین که دارای عرض جغرافیایی بیشتر از 66.5 درجه شمالی معروف به دایره شمالگان (Arctic Circle) و 66.5 درجه جنوبی معروف به دایره جنوبگان (Antarctic Circle) باشند، به ترتیب در 6 ماه دوم سال و 6 ماه اول سال خورشید زیر خط افق قرار گرفته و دارای شب قطبی طولانی و در سمت مقابل، دارای روز قطبی طولانی هستند.

با یک مثال موضوع روشنتر خواهد شد:

عرض جغرافیایی تقریبی مرکز شهر تهران 35.4 درجه شمالی می‌باشد. طبق روابط فوق، بیشترین ارتفاع آفتاب تابستانی در روز اول تیر برابر است با:

$$SA(\text{Max}) = 90^\circ - 35.4^\circ + 23.5^\circ = 78.1^\circ$$

کمترین ارتفاع آفتاب زمستانی تهران در روز اول دی برابر است با:

$$SA(\text{Min}) = 90^\circ - 35.4^\circ - 23.5^\circ = 31.1^\circ$$

و ارتفاع خورشید در روزهای اول فروردین و اول مهر برابر است با:

$$SA(\text{Mid}) = 90^\circ - 35.4^\circ = 54.6^\circ$$

با توجه به کاربرد سیستم سولار، می توان رویکردهای مختلفی برای تنظیم زاویه پنلها اتخاذ کرد:

- 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.
- ممکن است مکانی مانند یک ویلا در تمام طول سال استفاده نشده و در یک دوره زمانی خاص مثلاً فقط در طول 3 ماه تابستان استفاده گردد که در این صورت، تنظیم زاویه پنلها با مقدار مناسب آن دوره زمانی منطقی می باشد.
- اگر منطقه ای دارای روزهای ابری بسیار کم در طول زمستان باشد (مانند مناطق جنوبی کشور)، می توان رویکردی بین دو رویکرد فوق در نظر گرفت و پنلها را با زاویه بهاری-پاییزی معادل میانگین دو مقدار تابستانی و زمستانی تنظیم نمود.
- علاوه بر رویکردهای فوق، می توان به جای یکبار تنظیم اولیه و ثابت نمودن زاویه پنلها در همان مقدار، هر 3 ماه یا هر 6 ماه یکبار زاویه پنلها را به بهترین مقدار مناسب آن فصل یا نیمسال تغییر داد.

3) ردیاب خورشیدی: (Solar Tracker)

همانطور که در بخش اول توضیح داده شد، موقعیت ظاهری خورشید در آسمان در طول روز روی قوسی از دایره بین شرق و غرب موسوم به زاویه سمت (Azimuth Angle) و همچنین زاویه ارتفاع (Altitude Angle) آن در طول سال بین شمال و جنوب متغیر است. برای افزایش راندمان پنلهای سولار، می بایست زاویه پنلها پیرو موقعیت ظاهری خورشید در آسمان تغییر کند، به نحوی که زاویه تابش همیشه عمود بر سطح صفحه باشد. جهت تنظیم خودکار زاویه پنلها از وسیله ای به نام ردیاب (Tracker) استفاده می شود که رایجترین انواع آن به شرح زیر می باشد:

1) 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 سمت Azimuth می باشد. زاویه بهینه ارتفاع پنلها توسط نصب کننده سیستم بسته به استراتژی توضیح داده شده در بخش دوم روی یک مقدار ثابت برای تمام طول سال یا شروع هر فصل یا شروع هر نیمسال یک بار تنظیم می گردد.

2) ردیاب دو محوره: (Dual-Axis Tracker)

این نوع ردیاب دارای دو درجه آزادی و دو موتور مستقل می باشد و هر دو زاویه سمت (Azimuth) و ارتفاع (Altitude) 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 زوایای سمت و ارتفاع، پنلها به فضای باز بیشتری در اطراف خود نیاز دارند.