فصلنامه علمی تخصصی معماری سبز
سال پنجم، شماره ۴ (پیاپی: ۱۷)، پاییز ۱۳۹۸
ISSN: 2476-5368

سلول‌های خورشیدی و امکان استفاده در نمای ساختمان برای تولید انرژی الکتریکی خورشیدی با راندمان بالا

کیانا منصوری[۱]، سید عمیدالدین موسوی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۰۱
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۲۷
کد مقاله: ۲۲۵۹۸

چکـیده

امروزه یکی از عوامل مهم ایجاد آلودگی در جهان استفاده از نیروگاه‌های برقی است که در آن‌ها برای تولید انرژی الکتریکی از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند. یکی از راه‌های کاهش این نوع آلودگی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید برق مصرفی ساختمان‌ها و اماکن صنعتی است. استفاده از سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک در سال‌های اخیر جزء روش‌های تولید برق با قابلیت اطمینان بالا محسوب می‌شود. هزینه‌ی اولیه این سلول های در ابتدا نسبت به روش-های دیگر تولید انرژی برق پاک، بالاتر است ولی پیش بینی می شود در سال‌های آتی این هزینه کاهش یابد. با توجه به مطلب ذکر شده و با عنایت به اینکه، استفاده از سلول‌های خورشیدی برای تولید برق با توجه به این که این سلول‌ها برای تولید برق از هیچ قسمت متحرکی استفاده نمی‌کنند و طول عمر بالایی دارند، به نظر می‌رسد در آینده از استقبال مناسبی از سوی کارفرمایان و مهندسین مواجه گردد. به این دلیل در مقاله حاضر روابط محاسباتی مربوط به تابش‌های خورشیدی به یک سطح شیبدار نسبت به افق واقع در نقطه ای از کره زمین که دارای عرض و طول جغرافیایی معینی است، بطور مشروح ارائه شده است. در ادامه نویسندگان مقاله پیشنهادات جدیدی را برای افزایش راندمان سلول‌های فتوولتائیک نصب شده در ساختمان ها ارائه داده‌اند تا محققین بتوانند به عنوان موضوع جدید در آینده در مورد این مسائل پیشنهاد شده تحقیقات لازم را انجام دهد.

واژگـان کلـیدی: زاویه اوج، زاویه آزیموت، زاویه ارتفاع، زاویه اوج، پنل فتوولتائیک.

۱- دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان، زنجان، ایران
۲- آموزشکده فنی و حرفه‌ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان، زنجان، ایران

۱- مقدمه

بیش از یک سوم از گازهای گلخانه‌ای تولید شده در جهان مربوط به ساختمان‌ها و بناهای مختلف و عملکرد آن‌ها بوده و علت اصلی استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تأمین انرژی الکتریکی این بناها و تأمین انرژی لازم برای سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی آن‌ها است (Lucan, 2014:674). به علت این امر محققین می‌توانند به منظور کاهش دی‌اکسید کربن موجود در جو زمین بر روی طراحی، ساخت و بهبود عملکرد بناهای مختلف کارهای تحقیقاتی مناسبی را انجام دهند (Nagy, 2015:143). این امر یکی از دلایلی است که کشورهای اتحادیه‌ی اروپا تصمیم گرفته‌اند، تا سال ۲۰۲۰ میلادی اکثر ساختمان‌های جدید خود را به گونه‌ای طراحی و اجرا نماید تا انرژی مصرفی آن‌ها صفر گردد (European parlimant report, 2013:13). یکی از راه-های کاهش گازهای گلخانه‌ای تولید انرژی الکتریکی از منابع تجدیدپذیر و پاک است. امروزه استفاده از سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک مرسوم و سنتی سیلیکونی در سقف‌های ساختمان در بیشتر کشورهای پیشرفته و در حال توسعه مرسوم شده است. ولی مشکلی که این سلول های برای ساختمان‌ها ایجاد می‌کنند سنگینی وزن آن‌ها و ایجاد فشار بر سقف ساختمان است. مشکل دیگر رنگ آبی منحصر به فرد آن‌ها و عدم تنوع رنگ است که اگر در اغلب سقف و نماهای خانه‌های یک شهر نصب شوند مشکل بصری زیادی را برای بینندگان ایجاد می‌نماید (Frontini,2015). در دهه گذشته از سلول‌های فتوولتائیک ساخته شده از مواد آلی(سلول‌های فتوولتائیک ارگانیک) در ساختمان‌ها استفاده شد که دارای وزن کم و تنوع رنگ زیادی بودند. از این نوع سلول‌های فتوولتائیک معمولاً در پنجره ساختمان‌های بلند و برج‌های مرتفع استفاده می شد. ولی به علت راندمان پایین این سلول‌ها کاربرد آن‌ها محدودتر شد (Barraud, 2013:181). امروزه از نوع دیگری از سلول‌های خورشیدی به نام سلول‌های فتوولتائیک فیلم نازک در بناها و ساختمان‌ها استفاده می شود که قیمت بالاتری نسبت به انواع دیگر سلول‌های فتوولتائیک دارند و دارای راندمان بالا، وزن کم، انعطاف پذیری بالا و تنوع رنگ مناسبی هستند. در تحقیقات اخیر نشان داده شده است مزایای این سلول‌های به گونه‌ای موجب کاهش هزینه می‌شوند که یک وات توان الکتریکی تولید شده با آن‌ها با یک وات توان الکتریکی تولید شده با سلول‌های خورشیدی سنتی سیلیکونی به یک مقدار هزینه مصرف می‌کنند (Nagy, 2015:143). امروزه سلول‌های فتوولتائیک فیلم نازک کاندید مناسبی برای استفاده در بناها وسقف‌های ساختمانی هستند (Nagy, 2015:143).

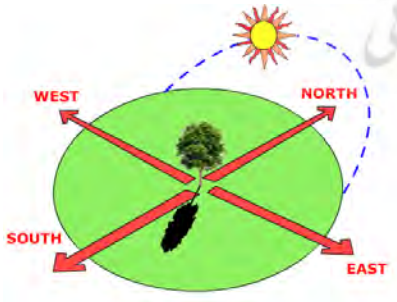
در مقاله حاضر نویسندگان سعی شده است پیشنهادات مناسبی برای استفاده از سلول‌های خورشیدی در نما و دیگر اجزاء ساختمان ارائه دهند تا محققان بتوانند به عنوان موضوعات تحقیقاتی آینده بتوانند در مجامع دانشگاهی و صنعتی استفاده نمایند.

مقاله حاضر از سه بخش اصلی تشکیل شده است. در بخش اول اطلاعات جامعی از روابط مربوط به توان تابشی خورشیدی بر یک سطح مفروض زاویه‌دار نسبت به افق، که در عرض و طول جغرافیایی مشخصی نصب شده است، ارائه گردیده تا به عنوان مرجع مناسبی برای محققان قابل استفاده باشد. در بخش بعدی پیشنهاداتی برای نصب سلول‌های خورشیدی در نمای ساختمان‌ها ارائه شده که می‌تواند به عنوان تیتر پروژه‌های آتی در مجامع علمی و صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. و در انتها نتیجه‌گیری از این کار تحقیقاتی ارائه خواهد شد.

۲- تئوری

۲-۱- حرکت ظاهری خورشید نسبت به زمین

حرکت ظاهری خورشید در آسمان، به دلیل چرخش زمین به دور محورخودش است. این چرخش باعث می‌شود تا مؤلّفه‌ی اصلی نور تابشی به سطح زمین با زاویه‌ی خاصی بتابد. از دید ناظر ساکن در سطح زمین، به نظر می‌رسد که خورشید در آسمان حرکت می‌کند. وضعیت خورشید در آسمان به عواملی از قبیل طول و عرض جغرافیایی محل، قرار داشتن در چندمین ساعت از روز و همچنین قرار داشتن در چندمین روز از سال میلادی بستگی دارد. حرکت ظاهری خورشید به دور زمین در شکل ۱ نشان داده شده است. این حرکت ظاهری تأثیر مهمی بر توان دریافتی توسط سلول‌های خورشیدی دارد.



شکل ۱- حرکت ظاهری خورشید به دور زمین

وقتی پرتوهای نور بصورت عمود به سطح سلول‌های خورشیدی می‌تابد چگالی توان رسیده به سطح آن‌ها با چگالی توان پرتو تابشی برابر است. وقتی که زاویه‌ی بین پرتو تابشی و سطح سلول خورشیدی تغییر پیدا می‌کند، شدت توان تابشی به سطح سلول خورشیدی کاهش می‌یابد. وقتی که سلول خورشیدی با اشعه خورشید بصورت موازی قرار می‌گیرد مقدار زاویه‌ی بین سلول و پرتو ۹۰ درجه می‌شود و شدت توان تابشی به عدد صفر می‌رسد. وقتی سلول خورشیدی با نور خورشید زاویه‌ی θ دارد شدت توان تابیده

شده به پنل خورشیدی با $\cos\theta$ رابطه‌ی مستقیم دارد. زاویه‌ی تابشی پنل خورشیدی به سطح زمین به عرض جغرافیایی محل، قرار گرفتن در چندمین روز سال و قرار گرفتن در چندمین ساعت از روز بستگی دارد. علاوه بر این زمان طلوع و غروب خورشید به عرض جغرافیایی محل بستگی دارد. بنابراین می‌توان گفت برای مدلسازی زاویه‌ی تابیده شده‌ی نور خورشید به یک نقطه‌ی ثابت از سطح زمین به پارامترهای زیر نیاز است:

- عرض جغرافیایی
- طول جغرافیایی
- قرار گرفتن در چندمین روز از سال
- قرار گرفتن در چندمین ساعت از روز

۲-۲- زمان خورشیدی محلی و زمان محلی(LST: Local Solar Time and LT: Local Timer)

ساعت ۱۲ ظهر بر اساس زمان خورشیدی محلی که به LST موسوم است، طبق تعریف، زمانی است که خورشید در بالای سر ما در بیشترین ارتفاع خود در آسمان قرار دارد. زمان محلی یا LT با زمان محلی خورشیدی یا LST متفاوت است. علت این امر را می‌توان موارد زیر ذکر کرد:

- تغییرات در مدار زمین
- تغییرات انسانی انجام شده در زمان‌های محلی به خاطر صرفه‌جویی در مصرف برق
- تغییرات انسانی از قبیل تعریف و تعیین قاچ‌های زمانی

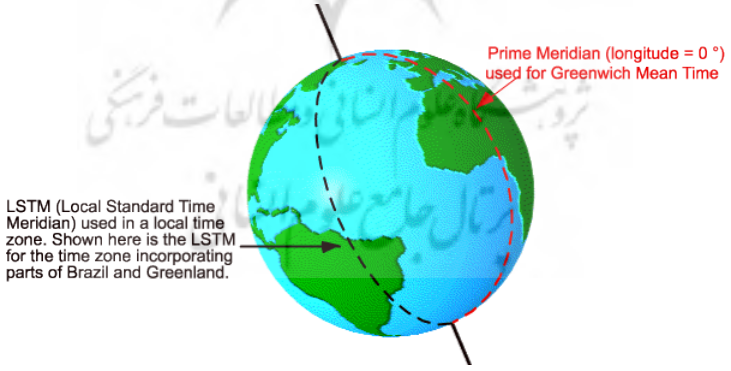
۲-۳- نصف‌النهار استاندارد زمانی(LSTM: Local Standard Time Meridian)

نصف‌النهار استاندارد زمانی (LSTM) نصف‌النهار مرجعی است که برای یک قاچ زمانی خاص به عنوان مرجع اندازه‌گیری زمان آن قاچ در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال نصف‌النهار مبدأ به عنوان یک نصف‌النهار مبنا برای اندازه‌گیری زمان در منطقه گرینویچ استفاده می‌شود. برای محاسبه‌ی LSTM می‌توان از رابطه‌ی زیر استفاده کرد :

$$LSTM=15^{\circ}\Delta T_{GMT} \qquad (۱)$$

که در آن ΔT_{GMT} اختلاف زمانی بین زمان محلی یا LT با گرینویچ بر حسب ساعت می‌باشد. عدد 15^{o} نیز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$15^{\circ}=\frac{360^{\circ}}{24} \qquad (۲)$$



شکل ۲ - نصف‌النهار مرجع که دارای طول جغرافیایی صفر بوده و نصف‌النهار استاندارد زمانی منطقه برزیل

۲-۴- رابطه‌ی زمانی (EoT: Equation of Time)

رابطه‌ی زمانی (EoT) که بر حسب دقیقه محاسبه می‌شود، یک رابطه‌ی تجربی برای تصحیح خروج از مرکز مدار بیضوی زمین و همچنین تصحیح کج بودن محور چرخش زمین به دور خودش نسبت به مدار گردش آن به دور خورشید استفاده می‌شود. رابطه‌ی زمانی از محاسبات تجربی زیر حاصل می‌گردد:

$$EoT=9.87\sin 2B-7.53\cos B-1.5\sin B \qquad (۳)$$

که در آن:

$$B=\frac{360}{364}(d-81) \qquad (۴)$$

در رابطه‌ی (۴) پارامتر B بر حسب درجه بدست می‌آید و پارامتر d برابر فاصله روز قرار گرفته از اولین روز سال است. در شکل ۳ نمودار EoT بر حسب روز- سال رسم شده است.

شکل ۳- نمودار EoT بر حسب شماره روز سال

۲-۵- ضریب تصحیح زمان (TC: Time Correction Factor)

ضریب تصحیح زمان(TC) که بر حسب دقیقه بیان می‌شود، به منظور تصحیح اختلاف در زمان محلی خورشیدی (LST) نقاط مختلف قرار گرفته در یک قاچ زمانی محاسبه می‌شود. ضریب تصحیح زمان به رابطه‌ی زمانی (EoT) نیز وابسته است و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$TC = 4(Longitude - LSTM) + EoT \qquad (۵)$$

که در آن Longitude طول جغرافیایی محل است. عدد ۴ بیانگر این واقعیت است که زمین در هر ۴ دقیقه ۱ درجه به دور خود می‌گردد.

۲-۶- زمان خورشیدی محلی (LST: Local Solar Time)

با استفاده از دو ضریب تصحیح گفته شده در بخش‌های قبلی می‌توان زمان محلی خورشیدی(LST) را مطابق رابطه‌ی (۶) با تصحیح دقیق زمان محلی(LT) بدست آورد.

$$LST=LT+\frac{TC}{60} \qquad (۶)$$

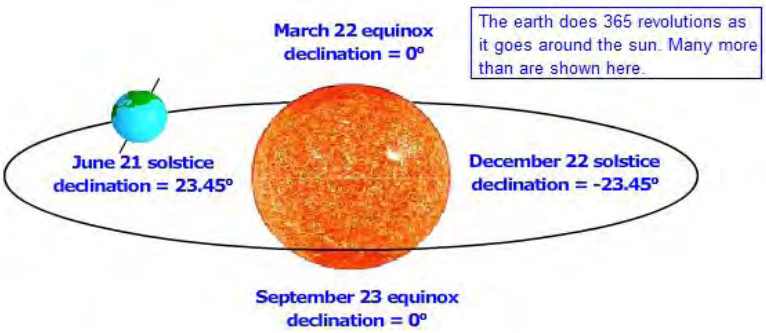
۲-۷- زاویه‌ی ساعت (HRA :Hour Angle)

زاویه‌ی ساعت، زمان محلی خورشیدی (LST) را به زاویه‌ای تبدیل می‌کند که خورشید در آسمان در آن قرار دارد. در ظهر که خورشید درست بالای سر ناظر انسانی و در بیشترین ارتفاع خود قرار دارد، برای زاویه‌ی ساعت عدد صفر در نظر گرفته می شود. از آنجائی که زمین در هر ساعت ۱۵ درجه به دور خود می‌چرخد، به نظر می‌رسد بعد از هر ساعت که از ظهر می‌گذرد خورشید در آسمان ۱۵ درجه تغییر مکان می‌دهد. در طلوع خورشید HRA منفی است و هنگام غروب مقدار مثبتی دارد.

$$HRA=15^{\circ}(LST-12) \qquad (۷)$$

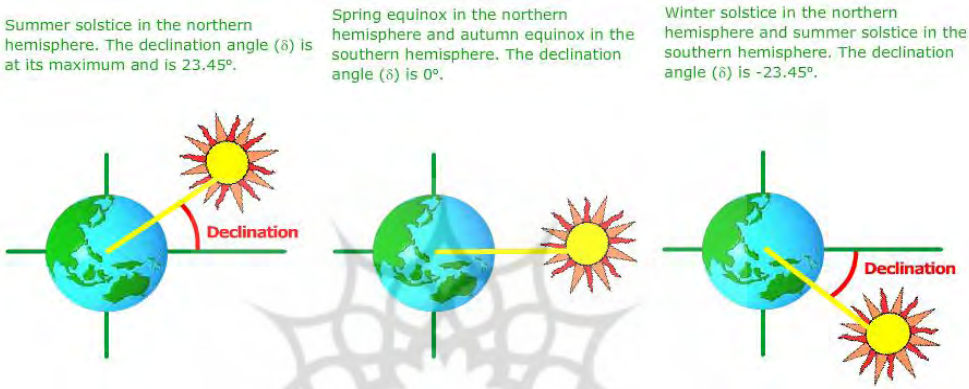
۲-۸- زاویه‌ی میل (Declination Angle)

زاویه میل خورشید که با δ نمایش داده می شود، با تغییر فصول سال به سبب زاویه‌دار بودن محور چرخش زمین به دور خودش و همچنین به سبب گردش زمین به دور خورشید تغییر می‌کند. اگر محور چرخش زمین به دور خود زاویه‌دار نبود همواره زاویه‌ی میل خورشید برابر صفر در نظر گرفته می‌شد. بیشترین مقدار زاویه میل برابر ۲۳/۴۵+ درجه و کمترین مقدار آن ۲۳/۴۵- درجه است و همواره زاویه میل خورشید بین این دو مقدار تغییر می‌کند. در اعتدالین بهاری و پائیزی مقدار زاویه‌ی میل صفر درجه می‌شود.



شکل٤- تغییرات زاویه میل خورشید در طول سال

زاویه‌ی میل خورشیدی زاویه‌ی بین خط استوا و خطی است که مرکز زمین را به مرکز خورشید متصل می‌کند. تغییرات فصلی در شکل ۵ دیده می‌شود.



شکل ۵ - زاویه‌ی میل خورشیدی در فصول مختلف سال

بر خلاف واقعیت که زمین به دور خورشید می‌چرخد، برای سادگی، بهتر است که فرض شود خورشید به دور زمین می‌چرخد. لازمه‌ی این کار تبدیل درست روابط است. بعد از انجام تصحیحات در روابط ریاضی فرض خواهد شد که بطور ظاهری خورشید به دور زمین می‌چرخد. زاویه‌ی میل (Declination Angle) از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید :

$$\delta=-23.45\times cos\left[\frac{360}{365}\times(d+10)\right] \qquad (۸)$$

که d شماره روز سال میلادی است و برای روز اول ژانویه مقداری برابر عدد ۱ در نظر گرفته می‌شود. در اعتدالین بهاری و پائیزی برای زاویه‌ی میل عدد صفر حاصل می‌شود. اعتدال بهاری مصادف با روز ۲۲ ژوئن و اعتدال پاییزی مقارن با روز ۲۲ سپتامبر است. در نیمکره‌ی جنوبی در تابستان زاویه‌ی میل مثبت و در زمستان منفی است. در نیمکره‌ی جنوبی در روز ۲۲ ژوئن که مصادف با انقلاب تابستانی است، زاویه میل به بیشترین مقدار خود که برابر ۲۳/۴۵+ درجه است، می‌رسد و در انقلاب زمستانی و در روزهای ۲۱ و ۲۲ دسامبر مقدار زاویه‌ی میل به کمترین مقدار خود که برابر است با مقدار ۲۳/۴۵- درجه، خواهد رسید. در رابطه‌ی (۸) عدد ۱۰+ بیانگر این واقعیت است که انقلاب زمستانی قبل از شروع سال میلادی اتفاق می افتد. همچنین در رابطه‌ی (۸) مدار چرخش زمین به دور خورشید کاملاً دایره‌ای در نظر گرفته شده است. در این رابطه عبارت $\frac{360}{365}$ شماره‌ی روز را به موقعیت زمین در مدار خود به دور خورشید تبدیل می‌کند. در مقالات علمی معمولاً از روابط زیر برای محاسبه‌ی زاویه‌ی میل خورشیدی استفاده می شود (Mousavi, 2018:107):

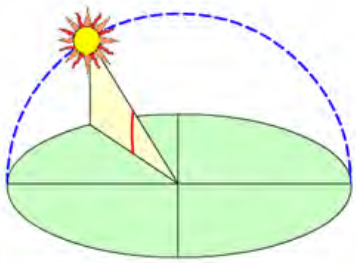
$$\delta=23.45^{\circ}\times sin\left(\frac{360}{365}(d+284)\right) \qquad (۹)$$

$$\delta=23.45^{\circ}\times sin\left(\frac{360}{365}(d-81)\right) \qquad (۱۰)$$

در روابط (۹) و (۱۰) به جای ابتدای سال اعتدالین را به عنوان مبدأ شمارش روز در نظر گرفته‌اند. به همین خاطر در تبدیل روابط به جای عبارت cos از sin استفاده شده است.

۲-۹- زاویه‌ی ارتفاع (Elevation Angle)

زاویه ارتفاع خورشید که در زبان انگلیسی Elevation Angle و یا Altitude Angle نیز گفته می‌شود، طبق تعریف زاویه‌ای است که خورشید به سبب ارتفاعش از افق با خط افق می‌سازد. زاویه‌ی ارتفاع در هنگام طلوع خورشید برابر صفر درجه است و در هنگام ظهر که خورشید در بالای سر ما است برابر ۹۰ درجه خواهد بود (مانند آنچه در اعتدالین بهاری و پائیزی در استوا اتفاق می‌افتد). زاویه‌ی ارتفاع در طول روز تغییر می‌کند. همچنین مقدار این زاویه به کمیاتی چون طول جغرافیائی و قرار داشتن در چندمین روز از سال وابسته است. از پارامترهای مهم در طراحی و نصب سلول‌های فتوولتائیک حداکثر مقدار زاویه‌ی ارتفاع آن محل است که نشان دهنده‌ی بیشترین ارتفاعی است که خورشید در روزهائی از سال در آسمان قرار می گیرد. حداکثر مقدار زاویه‌ی ارتفاع در ظهر خورشیدی اتفاق می‌افتد و مقدار آن به عرض جغرافیائی و زاویه‌ی اوج بستگی دارد.



شکل ٦- زاویه ارتفاع

با توجه به شکل ۶ زاویه‌ی ارتفاع در ظهر خورشیدی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha=90+\varphi-\delta \qquad (۱۱)$$

وقتی زاویه‌ی ارتفاع زاویه‌ای بزرگتر از ۹۰ درجه بدست آید باید مقدار آن را از ۱۸۰ درجه کم کرد. در این حالت مکان مورد نظر در نیمکره جنوبی قرار دارد و در ظهر خورشیدی، خورشید از طرف شمال نزدیک می شود. در رابطه‌ی (۱۱) پارامتر φ مربوط به عرض جغرافیائی محل بوده که این مقدار برای مکان‌های قرار گرفته در نیمکره شمالی کره زمین عدد منفی و برای نیمکره جنوبی عددی مثبت است. پارامتر δ مربوط به زاویه‌ی میل است که پارامتری وابسته به شماره روز- سال است. در انقلاب تابستانی و در رأس‌السرطان در ظهر خورشیدی، خورشید دقیقاً در بالای سر ناظر قرار دارد و زاویه‌ی ارتفاع دقیقاً ۹۰ درجه است و در تابستان و در عرض جغرافیائی بین استوا و رأس‌السرطان زاویه‌ی ارتفاع در هنگام ظهر بیشتر از ۹۰ درجه می‌باشد و بدان معنی است که نور خورشید از سمت جنوب می‌تابد به طریق مشابه در عرض جغرافیائی بین استوا و رأس‌السرطان در دوره‌ای خاص از سال نور خورشید از شمال می‌تابد. حداکثر مقدار زاویه‌ی ارتفاع در طراحی پنل‌های فتوولتائیک ساده استفاده می‌شود ولی در طراحی پنل‌های فتوولتائیک پیچیده و دقیق، به چگونگی تغییر زاویه‌ی ارتفاع در طول روز نیاز است. زاویه‌ی ارتفاع از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود(Mousavi, 2018:107) :

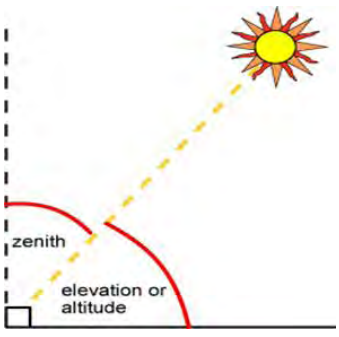
$$\alpha=\sin^{-1}[\sin\delta\sin\varphi+\cos\delta\cos\varphi\cos(HRA)] \qquad (۱۲)$$

که در آن HRA زاویه‌ی ساعت است.

۲-۱۰- زاویه‌ی اوج (قله) (Zenith Angle)

زاویه‌ی اوج زاویه بین خورشید و خط عمود است. زاویه‌ی اوج شبیه زاویه‌ی ارتفاع بوده و تفاوت آن در این است که نسبت به خط عمود اندازه‌گیری می شود ولی زاویه‌ی ارتفاع نسبت به خط افق اندازه‌گیری می‌شود. پس می‌توان گفت :

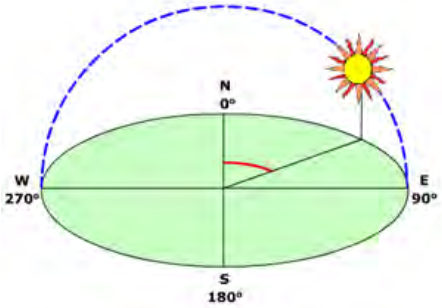
$$\zeta=90-\alpha \qquad (۱۳)$$



شکل ۷- زاویه اوج

۲-۱۱- زاویه‌ی آزیموت(Azimuth Angle)

زاویه‌ی آزیموت طبق تعریف زاویه‌ی تصویر خورشید بر روی زمین با شمال مغناطیسی است (جهت نمایش داده شده شمال توسط قطب‌نما را شمال مغناطیسی گویند).



شکل۸ - زاویه‌ی آزیموت (Mousavi, 2018:107)

رابطه بدست آوردن زاویه‌ی آزیموت در رابطه‌ی (۱۴) بیان شده است (Mousavi, 2018:107):

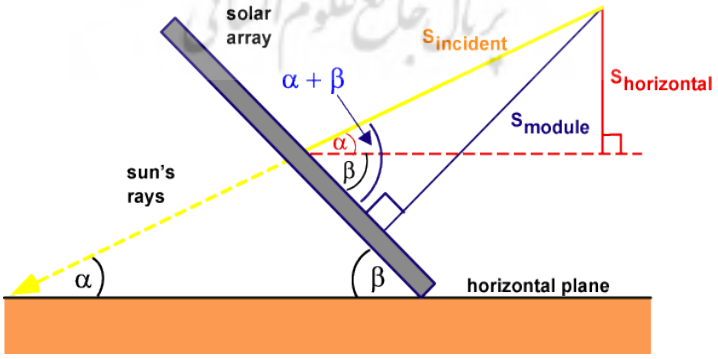
$$Azimuth = \cos^{-1}\left(\frac{\sin\delta\cos\varphi - \cos\delta\sin\varphi\cos HRA}{\cos\alpha}\right) \qquad (۱۴)$$

که در آن α زاویه‌ی ارتفاع بوده و φ عرض جغرافیائی محل است. زاویه‌ی آزیموت بدست آمده با استفاده از رابطه‌ی (۱۴) مطابق رابطه‌ی (۱۵) باید تصحیح گردد.

$$\begin{cases} Azimuth = Azimuth & for\ LST<12\ or\ HRA<0 \\ Azimuth = 360^{\circ} - Azimuth & for\ LST>12\ or\ HRA>0 \end{cases} \qquad (۱۵)$$

۲-۱۲- تابش نور خورشید به یک سطح زاویه دار

توان تابشی به سطح پنل خورشیدی زاویه‌دار نسبت به افق، علاوه بر توان تابشی پرتو نور رسیده به سطح زمین، به زاویه‌ای پنل با سطح افق و زاویه‌اش با پرتو نور خورشیدی که به آن می‌رشد نیز وابسته است. زمانی که نور خورشید بصورت عمودی به سطح پنل می‌تابد، توان تابشی تابیده شده به سطح پنل با توان تابشی پرتو نور رسیده به سطح زمین برابر است. به عبارت دیگر وقتی نور خورشید به طور عمودی به پنل می‌تابد در این حالت پنل حداکثر توان را از خورشید دریافت می‌کند و اگر پنل زاویه دار باشد توان رسیده به سلول خورشیدی از توان تابشی خورشید کمتر خواهد بود. شکل ۹ نحوه‌ی محاسبه‌ی توان تابشی به سطح سلول خورشیدی که با سطح افق زاویه دارد و با Smodule نمایش داده می‌شود را از روی توان تابشی تابیده شده به سطح زمین که با Shorizon نمایش داده می‌شود و با استفاده از توان تابشی به سطح عمود بر پرتو نور که با Sincident نمایش داده می‌شود را نشان می‌دهد.



شکل ۹- نحوه محاسبه توان تابشی به سلول خورشیدی زاویه‌دار با افق

روابطی که توان تابیده شده به پنل زاویه‌دار، توان تابیده شده به سطح زمین و توان تابیده شده به پنل عمود بر پرتو نور خورشید را به یکدیگر مربوط می سازند در زیر آورده شده‌اند:

$$S_{horizon} = S_{incident} \sin\alpha \qquad (۱۶)$$

$$S_{module}=S_{incident}\,sin(\alpha+\beta) \qquad (۱۷)$$

که در آن α زاویه ارتفاع و β زاویه پنل نسبت به افق است. همانطور که می دانیم زاویه‌ی ارتفاع از رابطه‌ی (۱۲) بدست می-آید و تابعی از φ یعنی عرض جغرافیایی و وابسته به زاویه‌ی میل δ است. زاویه میل نیز از رابطه‌ی (۹) بدست می‌اید و تابع شماره روز سال است. رابطه‌ی بین Smodule و Shorizon به شرح زیر است:

$$S_{module}=\frac{S_{horizon}\,sin(\alpha+\beta)}{sin\,\alpha} \qquad (۱۸)$$

زاویه‌ی پنل تأثیر بسیار مهمی در توان تابشی نور خورشید بر پنل دارد. در طول یکسال پنل ثابت وقتی بیشترین توان را دریافت می‌کند که زاویه‌ای معادل با عرض جغرافیایی خود داشته باشد. ولی همواره بهتر است در زمستان شیب پنل تندتر باشد و در تابستان شیب کمتر باشد.

۳- پیشنهادات لازم برای نصب سلول‌های خورشیدی در نما و اجزاء اصلی ساختمان

۳-۱- استفاده از سلول‌های فتوولتائیک در ساختمان‌های گنبدی و مساجد

نقش نور، سایه، انعکاس و انکسار آن در معماری اسلامی مهم است. به علت این اهمیت است که استفاده از عواملی از قبیل:

- کف و دیوارهای صیقلی برای جذب و بازتابش نور
- مقرنس برای دریافت، شکست و پخش نور
- گنبدها، برای جذب و بازتابش نور جهت افزایش جذابیت و تاثیرگذاری
- نورگیر های سقفی به صورت گنبد های کوچک ونورگیرهای عمودی در اطراف گنبد ودیوار ها
- مرمرهای صیقلی در قسمت‌های مختلف بناها ازجمله گنبدها و مناره‌ها

شکل ۱۰ - شکل گنبد حسینیه اعظم زنجان

یکی از این المان‌ها گنبد است. گنبد فضایی شبیه نیم کره است که بر فضایی با نقشه های مربع یا چند ضلعی های منظم قابل احاطه شدن است.گنبد از دیدگاه فضایی امکان مسقف کردن فضا های بزرگ را میسر می‌سازد. اما خصوصیات بصری و مفاهیم سمبلیک گنبد آن را به نمادی برای فضا های مقدس در آورده است. گنبد المانی است که همواره در هر روز از سال و هر ساعت از روز قسمتی از سطح آن بر پرتوهای نور عمودند و درعلم و هنر معماری از خاصیت انعکاسی این سطح در انعکاس اشعه‌ها، برای جلوه بیشتر استفاده می‌کردند. و یا حتی چون همواره سطوحی از آن‌ها عمود بر پرتوهای نور بوده‌اند برای انتقال این پرتوها به داخل فضا استفاده شده‌اند.

عوامل ذکر شده نشان می‌دهند، این سطح تقریبا کروی در معماری اسلامی یکی از عوامل نورگیری نقش موثری ایفا میکرده است و با توجه به روابط ذکر شده در طول سال و در طول ساعات مختلف روز قسمتی از سطح آن بطور حتم بر پرتو نور عمود است. باتوجه به ساخت و تولید سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک قابل انعطاف، نصب این‌گونه از سلول‌های خورشیدی بر روی بام-های گنبدی شکل از جمله مساجد به نظر یکی از راهکارهای موثر افزایش راندمان سلول‌های خورشیدی است.

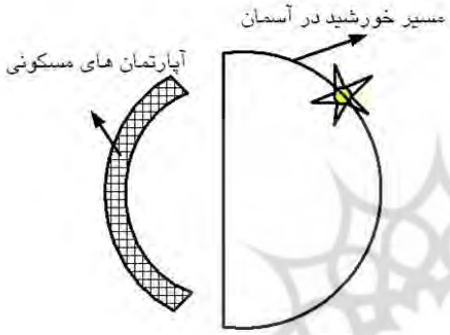
۳-۲- ساخت بناهای گنبدی شکل در باغشهرها و ساختمان‌هایی که بوسیله‌ی حیاط‌های بزرگ پیرامون خود از ساختمان‌های مجاور فاصله ی زیادی دارند

در چنین مواردی از دیدگاه انرژی بسیار بهینه است که ساختمان‌ها برای استفاده بهینه از انرژی خورشیدی به شکل کاملا گنبدی ساخته شوند. شکل ۱۱ پروژه‌ی مسجد در دست ساختی را نشان می‌دهد که در شهر Pirishtina کشور کوزوو بصورت کاملا گنبدی ساخته خواهد شد و سطح آن نیز از سلول‌های فتوولتائیک پوشیده خواهد شد

شکل ۱۱- مسجد در حال اجرا در شهر Pirishtina در کشور کزوو دارای سلول‌های فتوولتائیک کنترل شونده

۳-۳- ساختن مجتمع های مسکونی قوسی شکل که دارای قوس مناسب و دارای وجه اصلی رو به خورشید و استفاده از سلول‌های خورشیدی در نمای اصلی

ساختن مجتمع‌های مسکونی به هم پیوسته و دارای ارتفاع مناسب که قوسی شکل بوده و در نیمکره شمالی به سمت جنوب ساخته شوند و برعکس. این ساختمان‌ها بر اساس روابط ذکر شده می‌بایست دارای قوس مناسب باشند که در طول سال و همچنین در طول ساعت‌های روز توان خورشیدی را با راندمان بالا دریافت کنند. بنا به پیشنهاد نویسندگان، محققان می توانند با استفاده از نرم‌افزارهای محاسباتی پیشرفته به دنبال محاسبه‌ی قوس مناسب و بهینه‌ی این ساختمان‌ها باشند و یا حتی می‌توانند از نتیجه این محاسبات استفاده کرده و از دیدگاه معماری طرح زیبا و مدرنی را برای ساختمان‌های مذکور طراحی نمایند.



شکل ۱۲ - آپارتمان‌های مسکونی قوس‌دار رو به خورشید

در چنین مجتمع‌های مسکونی می‌توان سقف‌ها را شیب‌دار ساخت که سلول های خورشیدی بصورت ثابت بر روی این سقف‌ها نصب شوند. طبق تحقیقات انجام شده اگر سلول‌های فتوولتائیک ثابت نصب شده در سقف‌ها بصورتی نصب شوند که با افق زاویه-ای برابر با عرض جغرافیایی داشته باشند در طول سال بیشترین راندمان را خواهند داشت(Mousavi, 2018:107).

۴-۳- ساختن برج های بلند بصورت استوانه‌ای

یکی دیگر از پیشنهادات برای نصب سلول‌های فتوولتائیک، نصب این سلول‌ها بر روی برج‌های بلندی است که مقطع استوانه‌ای شکل و یا شبه استوانه‌ای داشته باشند. پیشنهاد می شود محققان بر روی افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی بر روی چنین ساختمان‌های نسبت به برج‌های معمولی مطالعات ویژه‌ای انجام دهند.

شکل ۱۳ - برج‌هایی با مقاطع دایره‌ای

۵-۳- نصب سلول‌های خورشیدی بصورت نماهایی که نور را دنبال می‌کنند

در تمامی مراحل نصب سلول‌های خورشیدی بصورت نما این نماها می‌توانند ثابت یا متحرک باشند و نور را تعقیب کنند. حتی می‌توان در ساختمان‌ها از ترکیبی از این سلول های خورشیدی استفاده نمایند. امروزه تحقیقات گسترده ای در این زمینه در حال انجام است (Nagy, 2015:143) و پیشنهاد می شود تا محققان در این زمینه و با کمک گرفتن از پیشنهادات بخش های قبلی کارهای جدیدی را آغاز نمایند.

۴- نتیجه‌گیری

در مقاله‌ی حاضر نویسندگان ابتدا بصورت کاملاً مشروح روابط ریاضی مربوط به توان تابشی خورشیدی بر روی سطح شیبداری که بر روی سطح زمین و در نقطه‌ای خاص که دارای عرض و طول جغرافیایی مشخص نصب شده است را ارائه داده و به کمک این روابط پیشنهاداتی را برای نصب سلول‌های خورشیدی بر روی اجزای مختلف ساختمان علی‌الخصوص نمای ساختمان ارائه داده‌اند تا محققان بتوانند در مورد این موضوعات تحقیقات مناسبی را انجام دهند.

مراجع

1. Barraud, E.(2013). Stained glass solar windows for the swisstech convention center, CHIMIA Int. J. chem 67. pp. 181-182.
2. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings.(2013). Official Journal of the European Union, 153(L). pp. 13–35.
3. Frontini, F., Bonomo, P., Chatzipanagi, A.(2015), BIPV Product Overview for Solar Facades and Roofs. Technical Report, Swiss BIPV Competence Centre, SUPSI
4. Lucon, O., Ürge-Vorsatz, D.(2014), Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. Fifth Assessment Report, pp.674–738.
5. Mousavi, S. A., , Safavi, S. R., Naderlou, A., Shahmohammadi, H., Moshfegh, S., Tashakkori, P., Shamipour, R. A.(2018), Important Solar Parameters in Installing Solar Cells Case study of Zanjan city in Iran, 5th IEEE International Conference on Renewable Energy: Generation and Applications, Al Ain, UAE, pp.107-111.
6. Nagy, Z., Svetozarovic, B., Gayathissa, p., Begle, M., Hofer, J., Lydon, G., Willmann, A., Schlueter, A.(2015), The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes, Frontiers of Architectural Research, Issue 5, pp.143–156, 2015.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی