DOI : 10.22034/jrenew.2023.185722

سال یازدهم، شماره اول، بهار و تابستان 1403، ص ص 148- 157

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

Online ISSN 2676-2994 print ISSN 2423-4931

مقاله ترویجی

تاریخ دریافت: 1401/09/18

تاریخ پذیرش: 402/01/19

بهترین رویکرد احداث نیروگاه خورشیدی جهت افزایش راندمان و مکان‌یابی در چند اقلیم آب‌وهوایی ایران با استفاده از نرم‌افزار AHP

هیمن خودکام[1*]، جواد طریقی[2]

1- دانشجوی دکتری انرژی‌های تجدیدپذیر، مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

* بوکان، 5951994946، himan.khodkam@gmail.com

2- استادیار، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

افزایش تقاضای انرژی، مرغوبیت سوخت‌های فسیلی و محدودیت منابع سبب جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر شد. ایران به دلیل واقع‌شدن بین مدارهای 25 تا 40 درجه عرض شمالی، به لحاظ دریافت انرژی بالاترین رده‌ها جهان را به خود اختصاص داده است. در موقعیت جغرافیایی ایران باید پنل‌ها در جهت جنوب مطلق جغرافیایی تنظیم گردند تا همواره به سوی پنجره خورشیدی باشند. زاویه جهت‌گیری پنل‌ها در فصل‌های مختلف متفاوت است و در استراکچرهای ثابت این زاویه بر اساس داده‌های فصل زمستان تنظیم می‌شوند. استراکچرهای ردیاب ۱۵ الی ۳۰ درصد بازدهی بالاتری نسبت به ثابت دارند؛ اما استفاده از آن صرفه اقتصادی ندارد. دما اثر قابل توجهی در بازدهی پنل‌های فتوولتاییک دارد و تجاوز دما از 25 درجه سانتیگراد سبب کاهش میزان بازدهی می‌گردد. از بین روش‌های متعدد کنترل دمایی فقط روش استفاده از مواد تغییر فازدهنده اقتصادی بوده و قابلیت اجرا دارد. اینورترها جریان مستقیم را به متناوب تبدیل می‌کنند و لازمه استفاده از برق نیروگاه خورشیدی بشمار می‌رود. با توجه به معیارها و وزن‌های عوامل موثر از سوی مراجع ذی‌ربط مشخص گردید که روزهای آفتابی در بین معیارها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice روش AHP اجرا شد که معیار تعداد روز آفتابی بالاترین اهمیت را کسب نمود. بین پنج نقطه انتخابی شهرستان کرمان در اولویت اول جهت احداث نیروگاه واقع شد.

کلیدواژگان: AHP، استراکچر، انرژی خورشیدی، اینورتر، بازدهی، خنک‌سازی، مکان‌یابی.

The best approach to build a solar power plant to increase efficiency and location in several climatic climates of Iran using AHP software

Himan khodkam[1*], Javad Tarighi[2]

1- Master of Biosystem Mechanics, Renewable Energy, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

* P.O.B. 123456789 Boukan, Iran, himan.khodkam@gmail.com

2- Assistant Professor, Department of Biosystem, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

Received: 9 November 2022 Accepted: 8 April 2023

Abstract

Increasing consumption of energy, fossil fuels, and resources that replace renewable energies. Due to its location between 25 and 40 degrees north latitude, Iran has the highest rank in the world in terms of receiving energy. In the geographical location of Iran, the panels should be set in the direction of the absolute geographical south so that they are always facing the solar window. The orientation angle of the panels is different in different seasons, and in fixed structures, this angle is adjusted based on the data of the winter season. The detector structures have a 15-30% higher efficiency than the fixed ones, But using it is not economical. Temperature has a significant effect on the efficiency of photovoltaic panels, and exceeding the temperature of 25 degrees Celsius reduces the efficiency. Among the many methods of temperature control, only the method of using phase change materials is economical and can be implemented. Inverters convert direct current into alternating current and it is necessary to use the electricity of the solar power plant. According to the criteria and weights of the effective factors, it was determined by the relevant authorities that sunny days are of special importance among the criteria. Using the Expert Choice software, the AHP method was implemented, and the criterion of the number

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص 4 کریتیو کامنزمحفوظ است

of sunny days gained the highest importance. Among the five selected points in Kerman City, it was the first priority for the construction of a power plant.

Keywords: AHP, Structure, solar energy, inverter, efficiency, cooling, location.

1- مقدمه

امروزه سوخت‌های فسیلی بیش از 80 درصد انرژی مورد استفاده بشر را تامین می‌کنند. سیستم‌های جدید انرژی متکی به تغییرات ساختاری و بنیادی هستند تا عواملی همچون آلودگی و کمبود انرژی، زندگی بشر را تهدید نکنند. سوخت-های فسیلی از نوع انرژی شیمیایی متمرکز بوده و کاربردی بهتر از احتراق دارند و حفظ سلامت اتمسفر که از مهم‌ترین پیش‌شرط‌های توسعه اقتصادی پایدار جهانی به شمار می‌آید جامعه را ملزم به جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر نموده است. برای این منظور باید از منابع انرژی بدون کربن نظیر انرژی خورشیدی، بیومس و... استفاده گردد.

در این مقاله انرژی خورشیدی به‌عنوان یکی از انرژی‌های تجدیدپذیر مورد بررسی قرار گرفته است. خورشید نه‌تنها خود منبع عظیم انرژی است، بلکه سرآغاز حیات و منشأ تمام انرژی‌های دیگر است. این انرژی دو نوع کاربرد نیروگاهی و غیر نیروگاهی (اعم آب‌شیرین‌کن، خشک‌کن، آب‌گرم‌کن و...) دارد. برای کشورهایی که فاقد انرژی زیر زمینی هستند، مناسب‌ترین راه برای دستیابی به نیرو، انرژی خورشیدی می‌باشد. این انرژی پاک، رایگان و بی‌پایان است که با استفاده از آن می‌توان تا حد زیادی در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی نمود [1]. به‌ازای هر کیلووات‌ساعت برق تولیدی از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌جای زغال‌سنگ، از انتشار حدود یک کیلوگرم CO_2 جلوگیری خواهد شد. برای هر یک درصد انرژی متداول که توسط انرژی خورشیدی جانشین شود حدود 13 درصد انتشار گاز CO_2 کاهش می‌یابد. انرژی خورشیدی در سراسر جهان قابل‌دستیابی و استفاده می‌باشد، اما میزان تابش در نقاط مختلف جهان متغیر و در کمربند خورشیدی زمین بالاترین مقدار را داراست. ایران بین مدارهای 25 تا 40 درجه عرض شمالی قرار گرفته است که به لحاظ دریافت انرژی در سطح جهان جزء بالاترین رده‌ها قرار دارد.

ایران سالیانه به طور متوسط بیش از 280 روز آفتابی دارد که بیانگر پتانسیل بالای انرژی خورشیدی است. میزان تابش خورشیدی در ایران بین 1800 تا 2200 کیلووات ساعت بر متر مربع در سال تخمین زده شده است که بالاتر از میزان متوسط جهانی است. میزان تابش متوسط روزانه آفتاب در ایران به 4 کیلووات ساعت بر متر مربع می‌رسد. بیشتر نقاط ایران در ارتفاعی بالاتر از 1000 متر از سطح دریا واقع شده‌اند که دریافت انرژی تابشی را تسهیل نموده است.

2- شرایط محیطی احداث نیروگاه خورشیدی

موقعیت جغرافیایی کشور ایران، حمایت دولت و خرید تضمینی احداث نیروگاه خورشیدی را توجیه‌پذیر نموده است. میزان تابش به‌صورت نقطه‌ای متغیر بوده و دریافت آن در شهرهای مختلف متفاوت است، به همین دلیل یکی از عوامل موثر در بازدهی پنل‌های خورشیدی انتخاب مکان و زمین مناسب می‌باشد. در این مطالعه عوامل موثر در احداث نیروگاه و استانداردهای لازم جهت بالاترین بازدهی معرفی گردید.

2-1- اثرات شیب زمین

شیب زمین به طور چشمگیری بر پایداری محل نصب نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک اثرگذار هست و باید به‌عنوان پارامتر مهمی در مطالعه اولیه جهت احداث نیروگاه خورشیدی به آن توجه شود. بهتر است که محل انتخابی جهت احداث نیروگاه خورشیدی حدالمقدور صاف و نهایتاً دارای شیب جزئی باشد [2]. شیب اقتصادی برای محل احداث نیروگاه خورشیدی بین ۰ تا ۳ درجه است و شیب بیشتر از این میزان روی هزینه عمرانی نیروگاه خورشیدی اثر مستقیم خواهد داشت. نوع پنل‌ها، نوع استراکچر، شرایط محیطی محل و شرایط فنس‌کشی در محاسبه میزان مساحت زمین موثر است. با استفاده از ظرفیت نیروگاه و شیب، میزان فضای لازم تخمین زده و در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1 مساحت لازم برای احداث انواع نیروگاه خورشیدی

فضای نصب روی سطح شیب‌دار با زاویه 12 تا 15 درجه	فضای نصب روی سطح زمین یا سقف مسطح با استراکچر در زاویه 30 درجه	ظرفیت نیروگاه
42 مترمربع	50-60 مترمربع	5 کیلووات
85 مترمربع	100-120 مترمربع	10 کیلووات
170 مترمربع	180-240 مترمربع	20 کیلووات
420 مترمربع	450-600 مترمربع	50 کیلووات
850 مترمربع	1000-1200 مترمربع	100 کیلووات
950 مترمربع	10000-12000 مترمربع	1 مگاوات

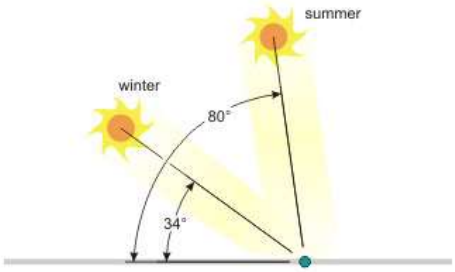
* این مساحت‌ها باتوجه‌به شرایط تابش، زاویه قرارگیری و ظرفیت پنل‌های خورشیدی موجود در بازار توسط نرم‌افزار شبیه‌ساز PVsyst محاسبه شده است.

2-2- جهت شیب یا جهت نصب پنل‌ها

مهم‌ترین مبحث در احداث نیروگاه خورشیدی، جهت‌گیری[1] و زاویه پنل‌های خورشیدی[2] است که نقش اساسی در راندمان نیروگاه فتوولتاییک دارد. جهت‌گیری پنل‌های خورشیدی نسبت به خط استوا تعیین می‌گردد؛ بدین شکل که در مناطق نیمکره شمالی به سمت جنوب و در مناطق نیمکره جنوبی به سمت شمال جهت‌گیری می‌شوند. به‌طورکلی جهت آرایه پنل‌های خورشیدی همواره رو به‌سوی پنجره خورشیدی[3] است تا بهترین حالت دریافت نور را داشته باشد و در حین حرکت وضعی خورشید در روز، ماه و فصل هیچ سایه‌ای ایجاد نشود. درصورتی‌که نور خورشید به‌صورت عمود به صفحه پنل بتابند، پنل‌ها بیشترین میزان انرژی را از خورشید دریافت خواهند کرد. همان‌طور که در شکل 1 نشان داده شده است، زاویه تابش خورشید در

1. array azimuth angle
2. array azimuth angle
3. Solar window

طول سال متفاوت است، بنابراین زاویه شیب بهینه برای یک پنل فتوولتائیک در فصل زمستان با تابستان تفاوت دارد.



شکل 2 زاویه تابش در فصل‌های مختلف

2-2-1- رویکردهای مختلف برای تنظیم زاویه پنل‌ها:

اگر سیستم وظیفه تامین انرژی در تمام طول سال را داراست، رویکرد محتاطانه این است که زاویه پنل‌ها با مقدار زمستانی تنظیم گردد. به‌طورکلی انرژی دریافتی در زمستان به دلیل تعدد روزهای ابری و تابش مایل خورشید، کمتر از بقیه فصل‌های سال است. ممکن است فقط در یک بازه زمانی خاصی از سیستم استفاده گردد که در این صورت، تنظیم زاویه پنل‌ها متناسب آن دوره زمانی تنظیم می‌کنند. اگر منطقه‌ای دارای روزهای ابری بسیار کم در طول زمستان باشد (مانند مناطق جنوبی کشور)، می‌توان رویکردی بین دو رویکرد فوق در نظر گرفت و پنل‌ها را با زاویه بهاری-پاییزی معادل میانگین دو مقدار تابستانی و زمستانی تنظیم نمود.

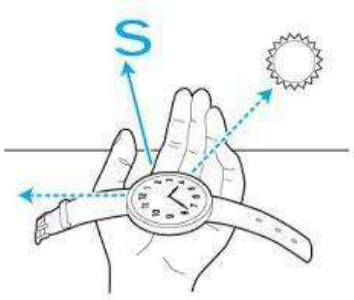
هنگام مکان‌یابی برای احداث نیروگاه خورشیدی به موانع، درختان و سازه‌های اطراف که احتمال سایه‌اندازی در زمان‌های مختلف روز یا در طول ماه‌های زمستان که خورشید در زاویه پایینی در آسمان قرار می‌گیرد، توجه کنید. در صورت احداث نیروگاه در همچنین مکان‌هایی باید پنل‌های خورشیدی را به‌صورت افقی قرار دهید تا مستقیماً رو به آسمان باشد. پنل‌ها در حالت قرارگیری افقی سریع‌تر کثیف می‌شوند.

در حالت کلی می‌توان گفت که اگر عرض جغرافیایی را با عدد 15 جمع کنیم زاویه مناسب پنل‌های خورشیدی در زمستان و اگر از عدد 15 کسر کنیم زاویه مناسب در تابستان به دست می‌آید؛ ولی برای سازه‌های ثابت زاویه مناسب در زمستان در اولویت است. عواملی همچون وزش بادهای شدید و سایه‌اندازی زاویه‌های فوق را دستخوش تغییر قرار می‌دهد و احداث نیروگاه بر اساس این زوایا لزوماً امکان‌پذیر نیست. با توجه به موقعیت جغرافیای ایران بهینه‌ترین جهت و زاویه برای دریافت بیشترین میزان نور خورشید، جنوب مطلق جغرافیایی با زاویه 30 درجه است.

2-2-2- روش‌های تعیین جنوب مطلق جغرافیایی

هرگز برای تعیین جهت جنوب مطلق نباید از قطب‌نما استفاده کرد؛ زیرا قطب‌نما جهت جنوب مغناطیسی را نشان می‌دهد که با جنوب مطلق متفاوت است. با استفاده از روش دستی (به‌وسیله ساعت)، اپلیکیشن تعیین جهت و تعیین جهت به‌صورت آنلاین می‌توان جنوب مطلق را تعیین نمود.

عملکرد صحیح روش دستی در فصل تابستان مابین ساعات 9:00 الی 17:00 و در زمستان بین ساعات 10 تا 14:30 است. نیمساز عقربه کوچک ساعت (که در راستای خورشید است) با ساعت 12، جهت جنوب مطلق را نشان خواهد داد (شکل 1). فقط توجه کنید با کشیدن ساعت رسمی در نیمه اول سال باید نیمساز عقربه کوچک را با ساعت 13 رسم نمایید. برای دریافت بهترین راندمان، جهت قرارگیری پنل خورشیدی بسته به فصول به‌روزرسانی شود.



شکل 3 تعین جنوب مطلق به وسیله ساعت

در احداث سیستم‌های بزرگ و متصل به شبکه، محاسبات زاویه و شیب به‌صورت دقیق‌تر انجام می‌شود. نرم‌افزار PVsyst یکی از نرم‌افزارهایی است که با انتخاب محل نصب پنل‌ها به‌راحتی می‌توانید زاویه شیب پنل‌ها را در طول فصل‌های سال به دست آورید. جدول 2 مربوط به زاویه بهینه نصب پنل‌های خورشیدی در مراکز استان‌های کشور می‌باشد که توسط برنامه PVsyst محاسبه و مرتب شده است. این زاویه ممکن است برای شهرهای مختلف استان متفاوت باشد. برای اطمینان از زاویه بهینه نصب پنل برای هر شهر باید اطلاعات مربوط به موقعیت جغرافیایی آن شهر مورد بررسی قرار گیرد.

جدول 2 زاویه بهینه سالیانه نصب پنل‌های خورشیدی در مراکز استان

نام مرکز استان	زاویه بهینه نصب	نام مرکز استان	زاویه بهینه نصب
اهواز	27-30	قزوین	33-37
اراک	32-35	قم	32-36
اردبیل	34-37	رشت	30-33
بندرعباس	26-29	سنندج	32-35
بیرجند	31-35	ساری	33-36
بجنورد	35-38	سمنان	34-38
بوشهر	27-30	شهرکرد	30-33
گرگان	34-38	شیراز	29-32
ایلام	31-34	تبریز	34-37
اصفهان	31-35	تهران	32-36
کرج	33-37	یاسوج	29-31
کرمان	29-33	یزد	31-34
کرمانشاه	31-35	زاهدان	29-33
خرم‌آباد	31-34	زنجان	33-37
مشهد	33-36	همدان	31-35
ارومیه	33-37		

2-3- ارتفاع محل احداث از سطح دریا

با افزایش ارتفاع از سطح دریا، میزان لایه‌های جو کاهش پیدا کرده و لایه اتمسفر نازک‌تر می‌شود که همین امر در افزایش میزان تابش نور خورشید به زمین موثر واقع می‌گردد. از سوی دیگر، افزایش ارتفاع از سطح دریا باعث کاهش دما می‌شود که عملکرد ماژول‌های فتوولتاییک را بهبود می‌بخشد [3]. کارایی پنل‌های فتوولتاییک در ارتفاعات بالاتر از سطح دریا بیشتر است. البته زمین‌هایی که نسبت به اطراف بالاتر واقع شده‌اند اولویت بهتری برای احداث نیروگاه دارند به‌شرط اینکه دسترسی لازم به آن نقطه وجود داشته باشد.

2-4- گسل‌ها

گسل به مکانی اتلاق می‌شود که وقوع زلزله منجر به تخریب سازه شده است. تخریب سازه نیروگاه خورشیدی در نزدیکی گسل‌های زمین ریسک بالایی دارد؛ بنابراین احداث نیروگاه خورشیدی در فاصله‌ای مناسب از گسل‌های زمین امری ضروری است. سازه‌های پنل‌های خورشیدی محکم و سبک هستند که اغلب تحمل ارتعاش را دارند و باید فاصله ۲۰۰ متری از گسل‌های اصلی برای احداث نیروگاه خورشیدی لحاظ شود.

2-5- رودخانه‌ها و دریاچه‌ها

سیستم‌های خورشیدی نسبت به سوخت‌های فسیلی آلایندگی خیلی کمتری دارند و منابع آبی را تهدید نمی‌کنند. بر اساس مدل بولین[1] رعایت فاصله حداقل ۲۰۰ متری با رودخانه جهت احداث نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک برای افزایش امنیت نیروگاه در مقابل مخاطرات طبیعی (مثل وقوع سیل) الزامی است. در شرایط خاص که احتمال تهدید پدیده‌های طبیعی وجود ندارد، عدم رعایت این فاصله هیچ اشکالی در احداث نیروگاه ایجاد نمی‌کند.

2-6- راه ارتباطی

دسترسی به جاده یک مزیت برای احداث نیروگاه خورشیدی بشمار می‌آید؛ ولی نقشی در موفقیت یا شکست پروژه ندارد. راه ارتباطی مناسب باعث سهولت در رفت‌وآمد نیروی انسانی و حمل تجهیزات نیروگاه می‌شود که به دلیل مسائل ایمنی، فاصله حریم ۳۰۰ متری تا جاده اصلی مدنظر قرار می‌گیرد.

2-7- فاصله از سکونتگاه

احداث نیروگاه در نزدیک سکونتگاه دارای مزایا و معایبی است. هزینه حمل‌ونقل، سرکشی و انتقال کاهش می‌یابد و از طرفی به دلیل دردسترس‌بودن امکان واردآمدن خسارات وجود دارد. در صورت احداث در نزدیکی شهر یا روستا لازم است حاشیه‌های اطراف بیشتر از مناطق دور از دسترس در نظر گرفته شود که همین امر باعث افزایش هزینه تهیه زمین می‌گردد.

2-8- رطوبت هوا در محل احداث نیروگاه خورشیدی

رطوبت تابعی از دما است و با تغییر دما در طی روز، رطوبت نسبی نیز متناسب با آن تغییر می‌کند. در نقاطی که میزان رطوبت نسبی زیاد است عملکرد نیروگاه خورشیدی تحت تاثیر قرار می‌گیرد؛ زیرا زمانی که نور خورشید به قطرات بخار در هوا برخورد می‌کند دچار شکست و انعکاس می‌شود. این عمل مسبب کاهش برخورد تابش مستقیم نور به سطح پنل شده و در نتیجه بازدهی نیروگاه کاهش می‌یابد [4].

3- افزایش راندمان پنل‌های خورشیدی

پارامترهای زیست‌محیطی از قبیل سرعت باد، دمای محیط، رطوبت نسبی، گردوغبار و تابش خورشیدی رایج‌ترین عوامل طبیعی است که بر دمای سطح یک سلول فتوولتائیک تاثیر می‌گذارد. افزایش دمای سطح پنل‌های خورشیدی، یکی از عوامل کاهش راندمان پنل‌ها بشمار می‌آید. نور خورشید که عامل تولید برق در سلول‌های فتوولتاییک است، از طرفی با تولید گرما عامل کاهش راندمان نیز محسوب می‌شود.

طراحان به دنبال رشد و ارتقا روش‌هایی برای افزایش راندمان سلول‌های خورشیدی در تولید برق هستند. اکثر شرکت‌های سازنده پنل‌ها، از سیلیکون برای تبدیل نور خورشید به برق استفاده می‌کنند؛ اما سلول‌های سیلیکون معمولی تنها 20 درصد از انرژی خورشیدی را تبدیل و مابقی به شکل گرما هدر می‌رود. گرمای تولیدی باعث افزایش دمای پنل‌ها تا 40 درجه سانتیگراد خواهد شد و با افزایش دما بیش از 25 درجه سانتیگراد، راندمان پنل‌ها کاهش می‌یابد این در حالی است که مهندسان برای هر 0/1 درصد افزایش راندمان تلاش می‌کنند. بازدهی پنل‌ها به‌ازای هر درجه سانتیگراد بالاتر از 25 درجه، به طور متوسط بین 0/3 تا 0/5 درصد کاهش می‌یابد [5]. کنترل دمای پنل-های خورشیدی در 25 درجه سانتیگراد به طور مستقیم بر روی بازدهی پنل‌ها و تولید برق موثر است. محققان روش‌های متعددی جهت کنترل دمای سطح پنل خورشیدی مورد بررسی قرار داده‌اند. در زیر نحوه عملکرد هر یک از روش‌ها همراه با مزایا و معایب به‌صورت کامل تشریح شده است [6]:

3-1- روش گردش طبیعی هوا برای خنک‌سازی پنل‌های خورشیدی

به‌ازای دمای بالاتر از 25 درجه سانتیگراد میزان برق تولیدی کاهش می‌یابد، به همین منظور راهکارهایی برای عدم افزایش دمای سطح پنل‌ها ارائه گردید که ابتدایی‌ترین تدبیر برای خنک‌سازی، گردش طبیعی هوا بود. در این روش هیچ تجهیزاتی استفاده نمی‌گردد و تنها گردش هوای طبیعی بر روی سطح پنل‌ها باعث کاهش دما خواهند شد. کاهش دمای سطح پنل بر افزایش راندمان تاثیر مطلوبی دارد. در پشت پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک چند کانال هوایی برای خنک‌سازی تعبیه شده است. خنک‌سازی به وسیله هوا منجر به بهینه‌سازی تولید برق می‌شود [7] زیرا بازدهی الکتریکی با دما رابطه خطی و معکوس دارد. مزایای روش خنک‌سازی پنل‌های خورشیدی با تکیه بر گردش طبیعی هوا شامل:

1) عدم نیاز به سرمایه اولیه
2) عدم نیاز به تعمیر و نگهداری
3) بدون سر و صدا بودن این روش
4) عدم نیاز به انرژی محرک

معایب این روش:

1) پایین‌بودن میزان دفع حرارت
2) وابستگی به جریان باد و دمای هوا
3) نرخ جرمی جریان هوا کم
4) محدودیت در میزان خنک‌سازی

در این روش خنک‌سازی سطح پنل‌های خورشیدی رضایت‌بخش نیست و متخصصان در صدد جایگزینی روش‌هایی با کارایی بالاتر و معایب کمتر هستند.

3-2- روش گردش اجباری هوا برای خنک‌سازی پنل‌های خورشیدی

در این روش نیاز به تجهیزاتی برای ایجاد جریان هوا با سرعت و میزان بالا بر روی سطح پنل می‌باشد که دارای مزایا و معایبی است. مزایا:

1) کاهش دمای بیشتری در سطح پنل
2) نرخ انتقال حرارت بالاتر
3) عدم وابستگی به‌سرعت باد و دمای هوا

1. Boolean

4) نرخ جرمی هوا بیشتر

معایب آن:

1) هزینه اولیه بالا
2) مصرف برق بالا
3) هزینه تعمیر و نگهداری
4) ایجاد سروصدا

دمای سطح پنل‌ها نسبت به روش قبل پایین‌تر بوده که راندمان تولید برق را افزایش می‌دهد اما می‌توان اذعان داشت که میزان برق مصرفی برای خنک‌کاری اجباری، بیشتر از میزان برق مازاد تولیدی است و صرفه اقتصادی ندارد. عملاً می‌توان اعلام داشت که این روش، راه مناسبی برای کنترل دمای سطح پنل‌های خورشیدی نمی‌باشد.

3-3- روش خنک‌سازی پنل‌های خورشیدی به‌وسیله آب

دومین روش مکانیزه خنک‌سازی سطح پنل‌های خورشیدی که به ذهن متخصصان خطور کرد روش خنک‌سازی با آب بود. این روش تجهیزات مخصوصی نیاز دارد که سرمایه اولیه آن خیلی بالاست. این روش در مناطق خشک کارایی پایینی دارد و می‌توان گفت که اجرای این طرح غیرممکن خواهد بود. متاسفانه این روش نیز همانند روش گردش اجباری نیازمند هزینه‌های اولیه و تعمیر و نگهداری است. مزایای این روش شامل:

1) نرخ انتقال حرارت بیشتر هوا نسبت به دو روش قبلی
2) کاهش دمای بیشتر نسبت به روش‌های قبلی
3) هدایت حرارتی بیشتر هوا
4) نرخ جرمی بالاتر

معایب این روش شامل:

1) عمر کوتاه به دلیل استهلاک
2) مصرف برق بالا
3) هزینه اولیه بالا
4) هزینه تعمیر و نگهداری زیاد

در آزمون استفاده از پاشیدن آب بر روی سطح پنل‌های فتوولتاییک برای خنک‌سازی آن‌ها، بر اساس گزارش‌ها با افزایش 10 درجه دما و رسیدن دما از 35 درجه سانتی‌گراد به 45 درجه، بازدهی پنل‌ها حدود 11 درصد کاهش پیدا کرد [8]. این روش به دلیل معایبی که دارد از لیست روش‌های محبوب برای خنک‌سازی سطح پنل‌های خورشیدی خارج شده و احتمالاً در موارد بسیار خاص که توجیه اقتصادی داشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه استفاده از موادی که بخار آب موجود در هوای اطراف را جذب کرده و به آب تبدیل کند مورد استقبال قرار گرفته است.

3-4- روش خنک‌سازی پنل‌های خورشیدی با مواد تغییرفازدهنده [9-10]

در این روش از موادی موسوم به مواد تغییر فاز در ساخت پنل‌های خورشیدی که باعث کنترل دمای سطح این پنل‌ها می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرد و جایگزین مناسبی برای روش‌های منسوخ قدیمی شده‌اند. مزایا و معایب:

1) جذب بیشتر گرما در این مواد به‌خاطر گرمای نهان
2) نرخ انتقال حرارت بیشتر از هوا و آب
3) عدم نیاز به تعمیر و نگهداری
4) عدم نیاز به برق
5) ایجاد فرایند هم دما
6) هزینه اولیه بالا
7) احتمال پدیده ابر سرمایش

چندین نوع مواد تغییرفازدهنده اعم از کاپریک-لاریک اسید[1]، پارافین وکس[2]، کاپریک-پالمیتیک اسید[3]، کلرید کلسیم[4] و... وجود دارد که کلرید کلسیم نسبت به سایر موارد بهترین عملکرد داشت. این ژل پلیمری قابلیت جذب گرمای پنل‌ها را داشته و در رشد بازدهی نقشی موثر ایفا می‌کند. کلرید کلسیم به دلیل چسبندگی بالا به‌راحتی در پشت پنل‌های خورشیدی استفاده می‌شود. این ماده که خواص خشک‌کنندگی فوق‌العاده‌ای دارد، در طول شب هوای مرطوب فضای بیرون را به درون ژل منتقل و به‌عنوان مایع درون خود ذخیره می‌نماید [11]. ژل در اثر جذب رطوبت محیط منبسط می‌شود. نانولوله‌های کربن در طول روز گرمای خورشید را از پنل خورشیدی جذب می‌کنند. زمانی که گرما به‌اندازه کافی به ژل منتقل شد، آب ذخیره شده در ژل به بخار تبدیل و تبخیر می‌شود. با این عمل گرمای ناشی از تابش خورشید به بیرون منتقل می‌گردد و بدین ترتیب مانع افزایش دما در سطح پنل خواهد شد. از تاثیرات این ژل می‌توان به کاهش 10 درجه سانتیگراد دمای پنل خورشیدی و بهبود 19 درصد راندمان پنل خورشیدی اشاره نمود [12]. زاویه قرارگیری پنل‌ها در عملکرد مواد تغییرفازدهنده موثر واقع می‌شود. بیشترین کاهش دما و یکنواختی دما در سطح پنل در زاویه 45 درجه اتفاق افتاد که باعث بهبود بازده تولید می‌گردد [13].

4- استراکچر خورشیدی

برای پیاده‌سازی یک نیروگاه خورشیدی اعم از بزرگ یا کوچک نیاز به سازه نگهداری است. به سازه نگهدارنده و قفسه‌بندی پنل‌های خورشیدی استراکچر گفته می‌شود که جهت نصب روی پشت‌بام ساختمان، نمای ساختمان و زمین مسطح مورد استفاده قرار می‌گیرد. استراکچر از مهم‌ترین تجهیزات زیرساختی سیستم‌های خورشیدی بشمار می‌رود. اگر اصولی نباشد، بعد از چند سال تغییر جهت داده و سبب کاهش راندمان تولیدی می‌شود.

4-1- مشخصات فنی و عمومی استراکچرهای خورشیدی

توانایی مقاومت در برابر عوامل طبیعی: سازه خورشیدی می‌بایست متناسب و مقام در برابر سرعت باد تا 120 کیلومتر در ساعت باشد. میزان تحمل برف در فصل زمستان 150 کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته می‌شود.

مواد استراکچر یا سازه: فولاد گالوانیزه گرم یا آلیاژ آلومینیوم

پیچ و مهره‌ها، واشرها، بست‌ها، کلمپ‌ها یا گیره‌های نصب پنل: از جنس استیل ضدزنگ

نصب: استراکچر باید به‌گونه‌ای طراحی شود تا امکان نصب ساده و آسان در سایت فراهم گردد و نیازی به جوشکاری یا ماشین پیچیده برای نصب در سایت نداشته باشد. سیستم نصب شده باید از آسیب‌های ناشی از آب، حیوانات و سایر فاکتورهای محیطی در امان باشد.

دسترسی برای تمیزکردن پنل و تعمیر و نگهداری: پنل‌های فتوولتاییک می‌بایست به‌گونه‌ای نصب گردند که تمیز نمودن کل بدنه پنل و جعبه اتصالات امکان‌پذیر باشد. حداقل ارتفاع سازه و لبه پایینی پنل‌ها از زمین باید به‌گونه‌ای در طراحی لحاظ شود که گل‌ولای ناشی از پاشش باران به پنل‌ها نرسد و امکان تمیزکاری و شستشوی سطح زمین باشد.

4-2- انواع استراکچر پنل‌های خورشیدی

1. Eutectic mixture of capric-lauric acid
2. Paraffin wax
3. Eutectic mixture of capric-palmitic acid
4. Pure salt hydrate

استراکچر پنل خورشیدی یا سازه خورشیدی یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده نیروگاه خورشیدی هستند و باتوجه‌به موقعیت جغرافیایی منطقه محل نصب، شکل طراحی، جنس استراکچر و نوع طراحی انتخاب می‌شوند. استراکچر خورشیدی باید مستحکم، زیبا، سبک و درعین‌حال مقرون‌به‌صرفه باشند. استراکچرها در چهار دسته ثابت، چند زاویه‌ای، سقفی و متحرک (با دنبال‌کننده خورشیدی) تقسیم‌بندی می‌شوند.

استراکچرهای ثابت: این سازه باتوجه‌به زاویه بهینه و مناسب سالانه طراحی و ساخته می‌شود و امکان تغییر زاویه در آن وجود ندارد. در این روش ابتدا بهترین موقعیت قرارگیری پنل‌ها مشخص و سپس پایه‌ها را در مکان موردنظر، به‌صورت ثابت و بدون قابلیت تنظیم مجدد نصب می‌نمایند (شکل 2).

شکل 2 نمای از استراکچر ثابت

استراکچر چند زاویه‌ای: در این روش قابلیت تغییر زاویه از حدود ۱۰ تا ۶۵ درجه برای استراکچرها وجود دارد و باتوجه‌به تغییر زاویه خورشیدی در فصول متفاوت سال، زاویه قرارگیری پنل را تغییر می‌دهند. بازده این روش حدوداً تا ۲۰ درصد نسبت به روش ثابت بیشتر است.

استراکچرهای دو فصل: این سازه‌ها نیز مانند سازه‌های ثابت طراحی می‌شود؛ اما باتوجه‌به زاویه مناسب برای نیمه اول سال و نیمه دوم سال قابلیت تغییر زاویه دستی دارد.

استراکچرهای چهارفصل: طراحی این سازه‌ها بر اساس زاویه مناسب فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان بوده و به‌صورت دستی قابلیت تغییر دارند (شکل 3).

شکل 3 نمای از استراکچر چند زاویه‌ای

استراکچر سقفی: مخصوص مناطقی است که بام خانه‌ها شیروانی می‌باشند؛ مانند شمال کشور. بام‌های شیروانی دارای زاویه مناسب هستند و فقط کافی است پنل‌ها را روی بام قرار دهید (شکل4).

شکل 4 نمای از استراکچر سقفی

استراکچر ردیاب یا هوشمند (تراکر خورشیدی)

زاویه تابش خورشید به‌صورت زاویه بین خط واصل فرضی بین مرکز زمین، مرکز خورشید و خط تراز افق تعریف می‌گردد. به‌این‌ترتیب زاویه تابش هنگام طلوع، غروب و ظهر به ترتیب برابر صفر، ۱۸۰ درجه و روی خط استوا است. در روز اول فروردین و اول مهر برابر ۹۰ درجه می‌باشد. ساده‌ترین و ارزان‌ترین حالت نصب پنل‌ها به‌صورت ثابت است؛ اما موقعیت ظاهری خورشید در طول روز روی قوسی از دایره بین شرق و غرب موسوم به زاویه سمت[1] و زاویه ارتفاع[2] است و در طول سال بین شمال و جنوب و متغیر می‌باشد. برای افزایش راندمان پنل‌های خورشیدی می‌بایست زاویه پنل‌ها پیرو موقعیت ظاهری خورشید در آسمان تغییر کند، به‌نحوی‌که زاویه تابش همیشه عمود بر سطح صفحه باشد. جهت تنظیم خودکار زاویه پنل‌ها از وسیله‌ای به نام ردیاب[3] استفاده می‌شود که رایج‌ترین انواع آن به شرح زیر می‌باشد:

ردیاب‌هایی که بر روی یک محور[4] یا بر روی دو محور[5] دوران می‌کنند همواره پنل‌های خورشیدی را در جهت تابش خورشید نگه می‌دارند که موجب افزایش بازده خروجی پنل‌ها می‌شوند (شکل5). در دنبال‌کننده‌های تک‌محوره، پنل‌ها قابلیت چرخش حول یک محور (راستای شمال-جنوب) و با زاویه مناسب دارند. البته در این حالت نیز پنل‌ها دقیقاً رو به خورشید قرار نمی‌گیرند؛ اما نسبت به پنل‌های ثابت دریافت انرژی بیشتری دارند. پنل‌ها در دنبال‌کننده‌های دومحوره، حول دو محور (راستای شرقی-غربی و شمالی-جنوبی) حرکت کرده و دائماً رو به خورشید قرار می‌گیرند تا بیشترین جذب انرژی اتفاق افتد. حالت دومحوره نسبت به حالت تک‌محوره حصول بازده بیشتری را داراست. استراکچرهای دومحوره باتوجه‌به دستورات یک سنسور حرارتی تغییر جهت می‌دهند (مانند گل آفتاب‌گردان) به‌گونه‌ای که همیشه در بهترین موقعیت جذب نور خورشید قرار گیرند. بازده این روش بین ۱۵ الی ۳۰ درصد افزایش می‌یابد؛ ولی به دلیل قیمت بالای آن صرفه اقتصادی ندارد و فقط در مکان‌هایی که محدودیت فضا و وزن دارند استفاده می‌شوند.

1. Azimuth Angle
2. Altitude Angle
3. Tracker
4. Single-Axis Tracker
5. Dual-Axis Tracker

شکل 5 تصویر اول دنبال‌کننده تک محوره و تصویر دوم دنبال‌کننده دو محوره است.

5- اینورتر خورشیدی در سیستم On-grid و Off-grid، انواع اینورتر خورشیدی و شکل موج اینورتر

اینورِتر وسیله‌ای است که جریان مستقیم (DC) را به جریان متناوب (AC) تبدیل می‌کند. اینورتر در پنل‌های خورشیدی و باتری‌ها کاربرد زیادی دارد تا در فعال‌سازی لوازم برقی مورد استفاده قرار گیرد. فرکانس، ولتاژ و توان تولیدی اینورتر به مقادیر دلخواه قابل تنظیم است. اینورترها می‌توانند تک فاز یا سه فاز باشند. در واقع، کار این مبدل‌ها دقیقاً نقطه مقابل یک آداپتور AC یا منبع تغذیه معمولی است، چون با دریافت یک ولتاژ ۱۲ ولت DC، برق AC مورد نیاز بسیاری از دستگاه‌ها و لوازمات برقی در رنج ۱۱۰ یا ۲۲۰ ولت را مهیا می‌کند. اینورتر خورشیدی باید دو هدف را برآورده کند:

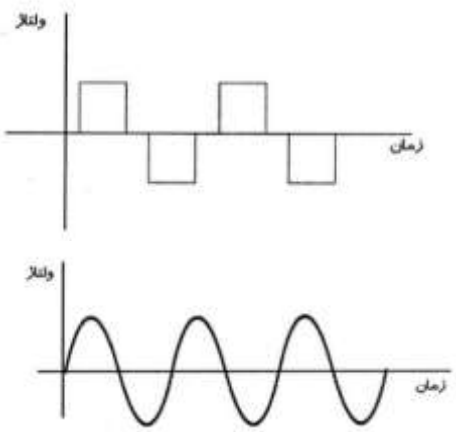
1) توان ورودی DC را به جریان AC خروجی مناسب تبدیل کند که اعوجاج هارمونیکی کل کم و ضریب توان مورد قبولی داشته باشد.
2) حداکثر توان را از منبع نور دریافت کند.

5-1- انواع شکل موج‌ها در اینورتر خورشیدی

شکل موج خروجی در اینورتر خورشیدی تابع کیفیت سیگنال AC خروجی اینورتر، در مقایسه با شکل موج برق متناوب شهر است. اینورترها باتوجه‌به شکل موج خروجی طبقه‌بندی می‌شوند که سه نوع متداول آنها موج مربع، موج سینوسی خالص و موج سینوسی اصلاح شده (شبه سینوسی) است.

برق AC خروجی اینورترهای ارزان‌قیمت‌تر به‌صورت یک موج سینوسی کاذب (به عبارتی شبه سینوسی) است. برخی از وسایل برقی به‌خصوص دستگاه‌های مجهز به موتورهای الکتریکی AC، با این‌گونه اینورترها سازگار نبوده و عملکرد مناسبی ندارند. برای مثال، تجهیزات پزشکی، استریوها، شبیه لپ‌تاپ‌ها و تلویزیون‌های پرتابل، با خروجی این نوع اینورترها اصلاً کار نمی‌کنند درحالی‌که بعضی از سیستم‌های صوتی با این نوع برق‌ها کار می‌کنند؛ ولی کارایی مناسبی نداشته و یک‌صدای نویز با خروجی آنها همراه می‌گردد.

سیگنال‌های خروجی اینورترهای مدرن‌تر به‌صورت یک موج سینوسی خالص و بی‌نقص با بهترین شکل موج با کمترین THD (حدود 3 درصد) است. برای سیستم‌های خورشیدی از اینورتر خورشیدی سینوسی خالص استفاده می‌شود. موج مربعی، ساده و ارزان‌تر است و در مقایسه با دو مورد دیگر کیفیت برق کمی دارد. موج مربع اصلاح شده کیفیت برق بهتری(THD ~ 45%) را فراهم می‌کند و برای اکثر تجهیزات الکترونیکی مناسب است. این موج‌ها دارای پالس‌های مستطیلی بوده که بین نیمه چرخه مثبت و نیمه چرخه منفی دارای نقاط مرده (**24**٪~THD) هستند. در شکل 6 شکل موج خروجی مربعی و شکل موج خروجی کاملاً سینوسی نمایش داده شده است.



شکل 6 شکل موج خروجی مربعی و شکل موج خروجی کاملاً سینوسی

5-2- اینورتر در مدار سیستم سولار مستقل از شبکه برق شهر (OFF grid)

اینورترهایی که صرفاً برای سیستم‌های خورشیدی مستقل از شبکه استفاده می‌شوند، قابلیت اتصال به شبکه را ندارند و برق ذخیره شده در باتری را از DC به AC تبدیل می‌کنند.

5-3- اینورتر در مدار سیستم سولار متصل به شبکه برق شهر(ON grid)

برق تولیدی پنل‌ها به دلیل تغییرات شرایط محیطی مانند شدت تابش خورشید، متغیر است و مستقیم وارد اینورتر می‌شود؛ بنابراین توان برق ورودی این اینورترها یکنواخت نیست و باید از الگوی خاصی برای تبدیل برقDC به ACپیروی کنند. اگر هدف، طراحی یک سیستم متصل به شبکه است، باید چیزهای دیگری را هم در نظر گرفت زیرا:

- شکل موج سینوسی برق AC خروجی آن‌ها باید دقیقاً با مشخصات برق شبکه، همخوانی داشته باشد.
- اینورترهای متصل به شبکه در ابعاد کوچک و ظریفی تولید می‌گردند درحالی‌که اینورترهای معمولی، حجیم‌تر بوده و قیمتشان هم کمتر است.
- در این اینورترها تمهیدات امنیتی خاصی پیش‌بینی شده که در صورت قطع برق شبکه سراسری یا محلی، ارتباط سلول خورشیدی با شبکه را قطع می‌نمایند.
- در سیستم متصل به شبکه، برای بالابردن ولتاژ خروجی و کم‌کردن تلفات توان، اینورترها مستقیماً با پنل‌های خورشیدی به‌صورت سری با یکدیگر در ارتباط هستند. به‌این‌ترتیب اینورترهای مزبور باید بر ولتاژ خروجی متغیر که به‌صورت لحظه‌ای در حدود چند ولت بالا و پایین می‌رود، نظارت نمایند.

5-4- ردیابی حداکثر توان (MPPT) در سیستم فتوولتاییک

اگر می‌خواهید یک اینورتر متصل به شبکه تهیه کنید، بهتر است نمونه‌ای که مجهز به قابلیت ردیابی حداکثر توان با اختصار MPPT است را خریداری نمایید؛ زیرا در مقایسه با انواع فاقد این قابلیت توانایی تامین ۱۵ تا ۲۰ درصد توان بیشتر را دارند. اکثر اینورترهای متصل به شبکه جدید به‌صورت فابریک و به‌عنوان یک قابلیت استاندارد به MPPT مجهزند.

5-5- ساختار اینورترهای خورشیدی

اینورتر باید در شرایط مختلف به طور خودکار عمل کند و سیستم را در مقابل تخلیه کامل باتری، اضافه ولتاژ باتری، دمای بیش از حد و اتصال کوتاه محافظت

نماید. به چهار دسته اینورتر مرکزی، اینورتر رشته‌ای، اینورتر چندرشته‌ای و میکرو اینورتر (اینورتر ماژول-یکپارچه) تقسیم می‌شوند.

• اینورتر مرکزی

متداول‌ترین نوع اینورتر خورشیدی در سیستم‌های بزرگ که عموماً سه‌فاز هستند. نصب نسبتاً ساده و کم هزینه‌ای دارند که قابلیت اتصال چندین پنل خورشیدی را دارد و قابلیت ارتقا زیادی ندارد. این اینورترها در تابش کم بهره‌وری خوبی نخواهد داشت.

• اینورتر رشته‌ای

کاربرد تجاری و مسکونی دارد که یک‌رشته از صفحه‌های خورشیدی به اینورتر وصل شده است. اگر پنل‌های خورشیدی تابش‌های متفاوتی دریافت کنند، جریان ایجاد شده در آن‌ها متفاوت خواهد بود و اتصال موازی بین رشته‌ها باعث عدم تطابق می‌شود که در اینورتر رشته‌ای این مسئله حل می‌شود.

• اینورتر چندرشته‌ای

اینورتر چندرشته‌ای در واقع اینورتر رشته‌ای توسعه‌یافته است. در اینورتر چندرشته‌ای می‌توان هر رشته را به طور جداگانه کنترل کرد.

• میکرو اینورترها

اخیراً میکرو اینورترها باتوجه‌به مزایای نسبی که نسبت به سایر موارد دارد، موردتوجه قرار گرفته است. میکرو اینورترها در واقع نوعی ماژول ترکیبی از یک سلول خورشیدی و یک اینورتر الکترونیک قدرت هستند که با اتصال به شبکه، نور را به برق تبدیل می‌کند. استفاده از میکرو اینورترها به‌منظور نصب بر روی سقف منازل از نظر اقتصادی ارزان‌تر هستند. سیستم‌های فتوولتاییک بر پایه میکرو اینورترها به دلیل این که در هر ماژول ردیابی نقطه حداکثر توان جداگانه صورت می‌گیرد در مقایسه با سیستم‌هایی که بر پایه اینورتر مرکزی و رشته‌ای کار می‌کنند، این قابلیت را دارند که انرژی بیشتری استخراج کنند.

در سیستم‌های مبتنی بر میکرو اینورتر ولتاژ DC بالا با توان بالا در سیستم سیم‌کشی ایجاد نمی‌شود و در نتیجه احتمال رخداد قوس الکتریکی کمتر است. در این‌گونه سیستم‌ها اتصال جداگانه و مستقل هر ماژول به شبکه موجب می‌شود خرابی یک ماژول بر بهره‌برداری از ماژول‌های دیگر موثر واقع نشود. تشخیص خرابی، نصب و راه‌اندازی میکرو اینورترها راحت‌تر از سایر موارد است.

5-6- خنک‌کردن اینورتر خورشیدی

اگر هدف نصب یک سیستم برق خورشیدی در یک ناحیه گرمسیری است، برای خنک‌کردن اینورتر باید تدابیری اندیشید؛ زیرا توان خروجی با دما رابطه معکوس دارد و با افزایش دما به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای توان کاهش می‌یابد. یکی اقدامات لازم برای پیشگیری از گرم‌شدن، استفاده از یک گرماگیر یا هیت سینک خارجی است که به قسمتی از بدنه دستگاه اصلی متصل و به خنک‌شدن آن کمک می‌کند.

وسیله دیگر، فن خنک‌کننده‌ای است که به سنسور دما تجهیز است و هنگام بالارفتن دمای بدنه اینورتر، عمل کرده و دما را کنترل می‌نماید. اگر اینورتر به هیچ یک از این لوازم اضافی مجهز نیست، لااقل آن را در محلی قرار دهید که دوران طبیعی هوا در اطراف بدنه دستگاه جاری باشد.

5-7- اشکالات در عملکرد اینورتر خورشیدی

اگر در طرح موردنظر لازم باشد چند باتری را با هم موازی نمود الزاماً باید تمامی شرایط باتری‌های کاملاً مشابه همدیگر باشند؛ زیرا وجود تفاوت در ولتاژ و بارهای ذخیره شده در باتری‌ها سبب تبادل انرژی با یکدیگر می‌شود. در صورت وجود اختلاف‌پتانسیل در کابل‌های رابط باتری‌های ضعیف‌تر و قوی‌تر، بعضاً جریانات بسیار شدید و خطرناکی جاری گردد. با دلایل ارائه شده لازم است تمامی شرایط اعم از جنس، سن، میزان شارژ و... کلیه باتری‌ها کاملاً یکسان باشد.

6- پنل و اینورتر خورشیدی

توان مجاز اینورتر خورشیدی: بیشترین توان پیوسته‌ای که اینورتر در اختیار مصرف‌کننده‌ها قرار دهد، توان مجاز گویند. برای محاسبه توان مورد نیاز کافی است توان مصرفی تمامی وسایلی که به سیستم متصل هستند را با هم جمع کنید. برای جبران خطاهای صورت پذیرفته یک ضریب اطمینان در نظر بگیرید؛ زیرا درصورتی‌که توان کشیده شده از اینورتر فراتر از حد مجاز آن باشد، از ادامه کار بازمانده و به‌صورت خودکار قطع می‌شود.

بسیاری از اینورترها علاوه بر توان مجاز پیوسته، یک توان مجاز پیک یا حداکثری را هم شامل می‌شوند. برخی از لوازم برقی مثل یخچال در لحظه آغاز به کار، به توان موقتی بالایی نیاز داشته و سپس به حد عادی خود باز می‌گردد. این توان‌های مجاز حداکثری در این‌گونه موارد به کمک خط آمده و از قطع‌کردن اینورتر و کم‌آوردن آن در زیر بار لحظه‌ای، ممانعت می‌نماید.

توان نامی خروجی اینورتر: توانی که معادل توان وسایل و تجهیزات الکتریکی باشد که به آن‌ها متصل می‌شود.

توان لحظه‌ای اینورتر: ماکزیمم توانی است که اینورتر در مدت یک ثانیه به سیستم اعمال می‌کند. برخی تجهیزات مانند موتورها (به طور مثال موتور کولر آبی) جریان راه‌اندازی بالایی دارند؛ بنابراین اینورتر باید قادر باشد این توان را تامین کند.

7- فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

Expert Choice یک نرم افزار کاربردی جهت حل مسائل تحلیل سلسله مراتبی بر اساس مقایسات زوجی که ارزش‌ها را با دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها نشان دهد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی[1] به اختصار به AHP معروف است. در این روش پس از تعیین هدف باید معیارهای تصمیم‌گیری شناسایی شوند؛ زیرا هدف اصلی این روش انتخاب بهترین گزینه بر اساس معیارهای مختلف از طریق مقایسه زوجی است.

دخیل معیارهای زیاد در مدل سبب افزایش دقت و صحت می‌شود؛ ولی بهترین مدل، مدلی است که با کمترین معیارها بهترین نتیجه را ارائه نماید [14]. معیارها بر اساس استاندارد تعریف شده توسط سازمان‌های ذی‌ربط انتخاب (جدول ۳) و وزن معیارها بر اساس نظریات 10 متخصص در این زمینه در نظر گرفته شد که در جدول ۴ آورده شده است. شهرهای کرمان، تهران، اردبیل، بوکان و مازندران را جهت احداث نیروگاه خورشیدی انتخاب نمودیم. برای پیدا کردن بهترین مکان از بین مکان‌های انتخابی از نرم‌افزارAHP استفاده شود؛ زیرا این روش علاوه بر پارامترهای مورد نظر اثرات متقابل و هم‌زمان وضعیت‌های پیچیده را مشخص می‌نماید.

1. Analytical Hierarchy process

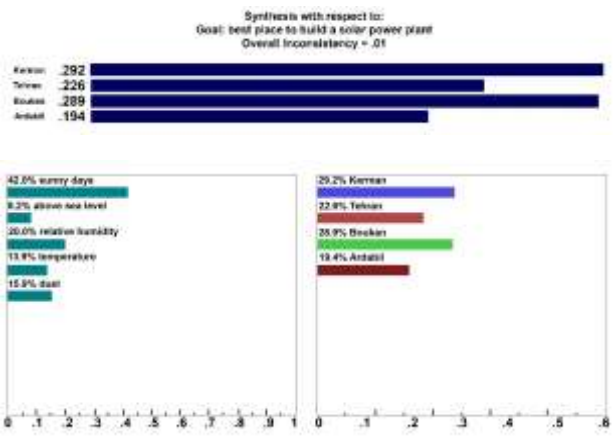
جدول 3 معیارهای مهم انتخابی جهت مکان‌یابی

ردیف	معیارها	ویژگی
1	تعداد روزهای آفتابی	هر چه تعداد و ساعات روزهای آفتابی بیشتر باشد بهتر است.
2	ارتفاع از سطح دریا	هر چه بالاتر، بهتر
3	رطوبت نسبی هوا	رطوبت زیاد مانع جذب نور
4	دمای هوا	دمای پایین‌تر بهتر
5	ریزگردها	باعث کاهش بازدهی

جدول4 معیار و شاخص‌های مقایسه‌ای

شاخص	تعداد روزهای آفتابی	ارتفاع از سطح دریا	رطوبت نسبی	دمای هوا	ریزگردها
تعداد روزهای آفتابی	1	5	2	3	3
ارتفاع از سطح دریا		1	-2	-2	-2
رطوبت نسبی			1	2	1
دمای هوا				1	1
ریزگردها					1

در پژوهش حاضر از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است که برای محاسبه وزن معیارها با استفاده از جداول مقایسه زوجی معیارها و تعیین ارجحیت عوامل نسبت به یکدیگر و نرمال کردن آنها استفاده گردید. سطر نشان‌دهنده ارجحیت نسبت به ستون‌ها هستند. در روش مقایسه زوجی برای به‌دست‌آوردن وزن نهایی می‌توان از روش‌های مختلفی همچون نرمالیزه‌کردن، حداقل مربعات معمولی، حداقل مربعات لگاریتمی، بردار ویژه و روش‌های تقریبی استفاده نمود. بر اساس محاسبات صورت‌گرفته نرخ ناسازگاری تمام ماتریس‌ها کمتر از 0/1 بوده که نشان دهنده سازگاری ماتریس‌ها می‌باشد و این عدد رضایت‌بخش و قابل قبول است (شکل7).



شکل 7 شکل موج خروجی مربعی و شکل موج خروجی کاملاً سینوسی

از بین معیارهای انتخابی، تعداد روزهای آفتابی نسبت به سایر معیارها از اهمیت بیشتری برخوردار بود و معیار ارتفاع از سطح دریا کمترین اهمیت اختصاص گرفت. تمامی معیارهای دیگر را می‌توان با روشی مهندسی اصلاح و رفع کرد؛ ولی تعداد روزهای آفتابی و ساعت آفتاب غیرقابل‌تغییر است و از شروط اصلی احداث نیروگاه خورشیدی محسوب می‌شود. با اعمال معیارها و وزن‌های اختصاصی شهر کرمان بالاترین امتیاز را کسب نمود و به‌عنوان بهترین گزینه در بین شهرها انتخاب شد. شهر بوکان رتبه دوم و اردبیل آخرین رتبه را به خود اختصاص دادند. با این تعاریف اردبیل اصلاً گزینه مناسبی برای احداث نیروگاه خورشیدی نیست. با احداث نیروگاه در اردبیل در برابر سرمایه صرف شده برق کمی تولید می‌گردد که بسیار ناچیز است و صرفه اقتصادی نخواهد داشت.

8- نتیجه‌گیری

انتخاب مکان و زمین از عوامل موثر در بازدهی پنل‌های خورشیدی بشمار می‌آیند که رعایت یک سری استانداردها برای افزایش بازدهی الزامی است. نوع پنل‌ها، نوع استراکچر، شرایط محیطی محل و شرایط فنس‌کشی در محاسبه میزان مساحت زمین موثر است. شیب اقتصادی برای محل احداث نیروگاه خورشیدی بین ۰ تا ۳ درجه است. اگر تامین انرژی در چهارفصل سال مدنظر باشد، زاویه پنل‌ها را بر اساس مقدار زمستانی تنظیم می‌کنند. باتوجه‌به موقعیت جغرافیایی ایران، جهت‌گیری پنل‌های خورشیدی به سمت جنوب با زاویه 30 درجه می‌باشد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا کارایی پنل‌های فتوولتاییک بیشتر خواهد بود. رطوبت نسبی به دلیل شکست و انعکاس نور عملکرد نیروگاه خورشیدی را کاهش می‌دهد.

پارامترهای زیست‌محیطی از قبیل سرعت باد، دمای محیط، رطوبت نسبی، گردوغبار و تابش خورشیدی رایج‌ترین عوامل طبیعی است که بر دمای سطح یک سلول فتوولتائیک تاثیر می‌گذارد. افزایش دمای سطح پنل‌های خورشیدی، یکی از عوامل کاهش راندمان پنل‌ها بشمار می‌آید و به‌ازای هر درجه سانتیگراد بالاتر از 25 درجه، به طور متوسط بین 0/3 تا 0/5 درصد کاهش می‌یابد. روش اقتصادی و عملی برای کاهش سطح دمای پنل‌ها استفاده از مواد تغییرفازدهنده است. از بین مواد تغییرفازدهنده، کلرید کلسیم بهترین عملکرد را در خنک‌سازی پنل‌ها ایفا می‌کند. استراکچرهای دومحوره سبب افزایش ۱۵ الی ۳۰ درصد بازده می‌شود؛ ولی هزینه اولیه آن زیاد است و تنها در مکان‌هایی که محدودیت فضا و وزن دارند استفاده می‌گردد. معیارها و وزنشان بر اساس استاندارد سازمان‌های ذی‌ربط و نظریات متخصصین ثبت شده است. معیار روزهای آفتابی و ارتفاع از سطح دریا به ترتیب بیشترین و کمترین اهمیت را در انتخاب محل احداث نیروگاه داشتند. با اعمال معیارها و وزن‌ها، شهر کرمان بالاترین پتانسیل احداث نیروگاه را کسب نمود و به‌عنوان بهترین گزینه در بین شهرهای مدنظر انتخاب شد.

9- مراجع

[1] C. M. S. Kumar, S. Singh, M.K. Gupta, Y.M. Nimdeo, R. Raushan, A.V. Deorankar, ... & A.D. Nannaware, (2023). Solar energy: A promising renewable source for meeting energy demand in Indian agriculture applications. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 55, No. 102905, 2023.

[2] M. Mousavi Baighi and B. Ashraf, Identifying the areas with the lowest amount of clouds in order to zone the launch areas of the country, *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries),* Vol. 3, No. 25, pp. 3-25, 2011. (in Persian)

[3] A. Alizadeh, Principles of applied hydrology, *Publications of Imam Reza University*, 2007. (in Persian)
[4] Z.A. Sadeghi, Z. Dalalbashi Esfahani, H. Hari, Prioritization of factors affecting the location of renewable energy power plants (solar energy and wind energy) in Kerman province using geographic information system (GIS) and multi-criteria decision making techniques, *Research Journal of Energy Planning and Policy*, Vol. 2, No. 1, pp. 93–110, 2013. (in Persian)
[5] P. Biwole, P. Eclache, and F. Kuznik, Improving the performance of solar panels by the use of phase-change materials, *World Renewable Energy Congress*, Sweden, 2011.
[6] A. Hasan, J. Sarwar, H. Alnoman, S. Abdelbaqi, Yearly energy performance of a photovoltaic-phase change material (PV-PCM) system in hot climate, *Sol. Energy*, vol. 146, pp. 417-429, 2017.
[7] H.G. Teo, P.S. Lee, M.N.A. Hawlader, An active cooling system for photovoltaic modules, *Applied Energy*, Vol. 1, No. 90, pp. 309-315, 2011.
[8] K.A. Moharram, M.S. Abd-Elhady, H.A. Kandil, H. El-Sherif, Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling, *Ain Shams Engineering Journal*, 2013.
[9] S.C. Fok, W. Shen, F.L. Tan, Cooling of portable hand-held electronic devices using phase change materials in _nned heat sinks, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 1, No. 49, pp. 109-117, 2009.
[10] S. Ghafarian, H. Yousefi, M. Yarahmadi, Review on using of Phase Change Material (PCM) for Photovoltaic (PV) cooling, *Scientific Quarterly - Promotion of renewable and new energies*, Vol. 1, No. 7, pp. 74-83, 2020. (in Persian)
[11] A. Hasan, S.J. McCormack, M.J. Huang, B. Norton, Evaluation of phase change materials for thermal regulation enhancement of building integrated photovoltaic, *Solar Energy*, Vol. 9, No. 84, pp. 1601-1612, 2010.
[12] S. R. Mousavi Baygi and S. M. Sadr Aamili, Designing and building a cooling system to increase the efficiency of photovoltaic panels with the help of phase change materials, *mechanical engineering*, Vol. 1, No32, pp. 77-82, 2016.
[13] M. Emam, S. Ookawara, M. Ahmed, S. Ookawara, M. Ahmad, performance study and analysis of an inclined concentrated photovoltaic-phase change material system, sol. *Energy*, Vol. 150, pp. 229-245, 2017.
[14] H. Khodkam, B. Najafi, The impact of wealth on the amount and type of waste produced and type of waste produced and choosing the best place it build a biogas plant using hierarchical analysis (A case study of Boukan city), *The scientific quarterly of renewable and new energies*, Vol. 2, No. 8, pp. 43–49, 2020. (in Persian)