مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
ISSN 2538-581X
جلد ۲- شماره ۵- سال ۱۳۹۶
www.ElitesJournal.ir

مطالعه و بررسی سیستم‌های فتوولتائیک برای تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در جایابی بهینه نیروگاه‌های خورشیدی در ایران

بهروز نجفی

باشگاه پژوهشگران جوان، واحد کرمانشاه، کرمانشاه،ایران

behroz1.najafi1@gmail.com

ارسال: مهر ماه ۹۶ پذیرش: آبان ماه ۹۶

چکیده

در میان انواع انرژی‌های نو، انرژی خورشیدی به دلایلی همچون قابلیت تبدیل مستقیم به برق و حرارت، قابلیت دسترسی به آن در تمام نقاط کره زمین، سادگی استفاده، امکان ذخیره‌سازی و بی‌پایان بودن آن و ... بیشتر موردتوجه قرارگرفته است، با توجه به اینکه کشور ایران دارای شدت تابش بالاتری از میانگین شدت تابش جهانی است استفاده از انرژی خورشیدی به‌عنوان انرژی جایگزین علاوه بر اینکه از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است به گسترش فرهنگ استفاده از انرژی‌های پاک و بدون آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز کمک شایانی می‌کند. در این مقاله صرفاً با مرور پیشینه پژوهش، ضمن معرفی انواع سیستم‌های فتوولتائیک، کاربردها و مزیت‌های آن‌ها، معیارهای اصلی و کاربردی برای امکان‌سنجی و تعیین مکان بهینه نیروگاه‌های خورشیدی در ایران در حالت کلی معرفی می‌شود. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که مهم‌ترین معیارها برای احداث نیروگاه فتوولتاییک در ایران، پارامترهایی از قبیل تابش دریافتی، ساعات آفتابی، غبارآلودگی، رطوبت نسبی، ابرناکی، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب و دما می‌باشند.

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، نیروگاه خورشیدی، مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی، سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه، سیستم‌های فتوولتاییک مستقل از شبکه، معیارهای احداث نیروگاه خورشیدی، سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان(BIPV).

۱. مقدمه

انرژی، مهم‌ترین رکن توسعه و پیشرفت بشری در همه زمینه‌ها از صنعت گرفته تا کشاورزی و حمل‌ونقل و ... است. رشد روزافزون مصرف انرژی الکتریکی و کم بودن تولید فعلی برق، احداث نیروگاه‌های جدید را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. در دهه‌های اخیر با توجه به محدودیت‌های سوخت‌های فسیلی از قبیل افزایش قابل‌ملاحظه قیمت سوخت‌های فسیلی، تمام شدن ذخایر سوخت فسیلی و مسائل زیست‌محیطی ناشی از استفاده ازاین‌گونه سوخت‌ها همچون افزایش گازهای گلخانه‌ای از یک‌سو و محدودیت‌های سوخت اتمی از قبیل وقوع فجایع زیست‌محیطی در ارتباط با استفاده از سوخت اتمی برای تولید برق و مسائل مربوط به دفع پسماندهای هسته‌ای از سوی دیگر، میل به استفاده از سیستم‌های انرژی تجدید پذیر(RES)[1] که

[1] Renwable Energy Services

فاقد آلودگی زیست‌محیطی هستند، بسیار افزایش‌یافته است. امروزه انسان با پیشرفت‌هایی که در زمینه‌های مختلف کرده، نیازی روزافزون به انرژی پیداکرده و این امر او را بر آن داشته تا با روش‌های گوناگون انرژی موردنیاز خود را به دست آورد.
انرژی خورشیدی[1] یکی از انواع انرژی نو و منحصربه‌فردترین منبع انرژی تجدید پذیر در جهان و منبع اصلی تمامی انرژی‌های موجود در زمین است که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد[۲-۱].
ایران با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان است. استفاده از انرژی خورشیدی یکی از بهترین راه‌های برق‌رسانی و تولید انرژی در مقایسه با دیگر مدل‌های انتقال انرژی به روستاها و نقاط دورافتاده در کشور ازنظر هزینه، حمل‌ونقل، نگهداری و عوامل مشابه است. کشور چین ازنظر تولید برق از این منبع در رأس جهان قرار دارد. با توجه به استانداردهای بین‌المللی اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از ۳/۵ کیلووات ساعت در مترمربع (۳۵۰۰ وات/ساعت) باشد استفاده از مدل‌های انرژی خورشیدی نظیر کلکتورهای خورشیدی یا سیستم‌های فتوولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون‌به‌صرفه است. در بسیاری از قسمت‌های ایران انرژی تابشی خورشید بسیار بالاتر از این میانگین بین‌المللی است و در برخی از نقاط حتی بالاتر از ۷ تا ۸ کیلووات ساعت بر مترمربع اندازه‌گیری شده است ولی به‌طور متوسط انرژی تابشی خورشید بر سطح سرزمین ایران حدود ۴/۵ کیلو وات ساعت بر مترمربع است[۲-۱].
میزان انرژی تابشی خورشید که به سطح زمین می‌رسد در اثر تغییر شرایط جوی و موقعیت خورشید در طول روز و سال به مقدار زیادی تغییر می‌کند. بخشی از انرژی تابشی خورشید توسط عناصر دیگری جذب‌شده و بخشی از آن به زمین می‌رسد و بسته به نوع و جنس زمین به هوا منعکس می‌شود. به‌طور متوسط خورشید در هر ثانیه ۱۰۲۰ ×۱.۱ کیلووات ساعت انرژی و یا ۱۷۴W انرژی در هر مترمربع به سطح زمین ساطع می‌کند این میزان معادل ۶۰۰۰ برابر کل انرژی مورداستفاده انسان از ابتدا تاکنون از طریق سوخت‌های فسیلی است. همچنین در مقایسه‌ای دیگر کل انرژی که از خورشید در طول سال به کره زمین می‌تابد معادل انرژی شیمیایی ۸۹۶ تریلیون بشکه نفت است. درنتیجه می‌توان گفت که کل انرژی مصرفی جهان در طی یک سال را می‌توان با استفاده از یک ساعت و ۲۵ دقیقه تابش خورشید به زمین، تأمین کرد؛ و همچنین در اثر تابش خورشید به مدت ۴۰ روز می‌توان انرژی موردنیاز یک قرن را ذخیره نمود. با این قیاس‌ها می‌توان به میزان تأثیرگذاری این انرژی عظیم و باارزش پی برد[۲-۱].
اتحادیه اروپا با معرفی استاندارد EN ۱۶۰۰۱ در سال ۲۰۰۹ گام مؤثری را در پیاده‌سازی استاندارد مدیریت انرژی (EnMS) برداشت. این استاندارد به‌طور گسترده‌ای در کشور اسپانیا به کار گرفته‌شده و شرکت ASYS یک شرکت پیشگام در زمینه ممیزی انرژی در کشورهای آمریکای لاتین است. شایان ذکر است که کشور اسپانیا یکی از پیشروترین کشورهای جهان در زمینه مدیریت انرژی بوده و بیشترین نیروگاه‌های خورشیدی در جهان را دارد.[۲۳]. به‌طورکلی مدیریت انرژی خورشیدی شامل مدیریت در چهار حوزه اصلی است که عبارت‌اند از[۲۳]:
الف. دریافت: توسط پنل‌های خورشیدی
ب. جمع‌آوری: وظیفه جمع‌آوری و انتقال انرژی خورشیدی به منابع ذخیره کننده بر عهده تمامی اجزا تشکیل‌دهنده نیروگاه‌های خورشیدی است.
ج. ذخیره: مهم‌ترین مسئله در مدیریت انرژی خورشیدی، ذخیره‌سازی انرژی دریافتی اضافی است که با توجه به ماهیت تابشی و حرارتی صورت اولیه انرژی خورشیدی برای مدت محدود امکان‌پذیر است
د. انتقال: با توجه به اینکه انرژی خورشیدی باید به‌صورت انرژی الکتریکی تبدیل و سپس ذخیره شود باید برای انتقال انرژی تبدیل‌شده از سیستم‌های انتقال برق بین مراکز مصرف استفاده نمود.
برای استفاده از انرژی خورشیدی در تولید برق دو روش وجود دارد:

[1] Solar energy

۱- روش مستقیم یا نیروگاه فتوولتائیک[1] (فناوری PV[2]) تبدیل مستقیم انرژی خورشید به برق با این روش امکان‌پذیر است.
۲- روش غیرمستقیم یا نیروگاه حرارتی خورشیدی[3] (فناوری CSP[4]) تبدیل باواسطه انرژی خورشید به برق از طریق انرژی حرارتی در این روش انجام می‌شود.
در سرتاسر جهان از این دو روش برای تولید برق استفاده‌های فراوانی شده و یکی از مهم‌ترین روش‌های تولید برق در آینده به شمار می‌رود.
تکنولوژی سلول‌های فتوولتائیک با ورود مستقیم خود در عناصر معماری، اخیراً افق‌های تازه‌ای را پیش روی معمارها و مهندسان این حوزه قرار داده است سلول‌های فتوولتائیک به شکلی زیبا و در شیشه‌هایی به رنگ‌های مختلف ساخته می‌شوند، به‌طوری‌که مهندسین معمار می‌توانند آن‌ها را علاوه بر کارکرد اصلی، برای زیباسازی ساختمان‌ها نیز، به‌کارگیرند. لذا می‌توان گفت که با به‌کارگیری سیستم‌های فتوولتاییک در زمینه معماری و ساختمان‌سازی علاوه بر تأمین برق مصرفی ساختمان و کنترل نور عبوری از جداره‌های بنا به فضاهای داخلی، به زیبایی‌شناسی معمارانه در کلیت ساختمان نیز کمک کرده و باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های ساخت بنا هم می‌شوند. با توجه به این‌که منبع تغذیه سلول‌های فتوولتائیک نور خورشید می‌باشد، لذا محل قرارگیری سلول‌ها، جداره‌هایی از ساختمان است که زمینه مناسبی برای تابش مستقیم نور خورشید دارا باشند این محل استفاده از فتوولتائیک، غالباً نماهای بیرونی و سطوح خارجی بام ساختمان می‌باشد. سیستم‌های فتوولتائیک باید در قالب بخشی یکپارچه با کل بنا طراحی شوند. از جمله شیوه‌های ترکیب سیستم‌های فتوولتائیک با ساختمان (BIPV)[5] می‌توان به سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با بام، سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با پنجره‌های سقفی و آتریوم ها، سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با نما و سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با سایبان‌ها اشاره کرد علاوه بر سامانه فتوولتائیک یکپارچه، سامانه فتوولتائیک تلفیقی می‌توانند جایگزین سقف‌ها، نماها، دیوارهای کرکره‌ای، کار با شیشه یا عناصر ویژه‌ای مانند سایبان‌ها یا آفتاب شکن‌ها شوند[۲۴].

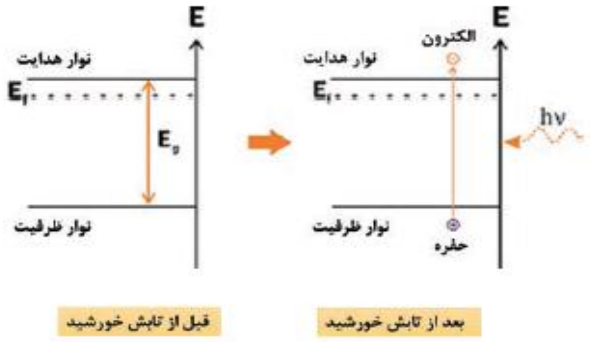
سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان درواقع یک نوع مصالح و مواد فوتوولتیک هستند که برای جایگزین کردن مواد قدیمی و سنتی در بخش‌هایی از پوشش ساختمان مثل پشت‌بام، پنجره‌های شیروانی (سقف) یا سر در و نمای خانه‌ها، به کار می‌روند. آن‌ها به‌طور فزاینده‌ایی در ساخت ساختمان‌های جدید به‌کار رفته‌اند. مزیت فوتوولتیک‌های ترکیبی نسبت به سیستم-های غیرترکیبی رایج‌تر این است که می‌توان با کاهش مبلغ خرج شده برای مصالح ساختمان، هزینه اولیه را حذف کرد و کاری که معمولاً برای ساخت قسمتی از ساختمان که جایگزین مدول‌های (بخش‌های)BIPV می‌شود را انجام نداد. این مزیت‌ها باعث شده که BIPV یکی از سریع‌ترین و پیشرفته‌ترین بخش‌های صنعت فوتوولتیک باشد[۲۴].
اطلاعات موجود در این پژوهش، صرفاً نتیجه گردآوری و طبقه‌بندی منابع مختلف است تا یک دید کلی در زمینه فوق حاصل شود. ساختار مقاله بدین گونه است که در ادامه مقاله و در بخش دوم سیستم‌های فتوولتاییک موردبررسی قرارگرفته است، بخش‌های سوم و چهارم ترسیم‌کننده سیستم‌های فتوولتاییک از لحاظ طرز ساخت و کاربری است بخش پنجم توصیف‌کننده اجزای نیروگاه خورشیدی است. در بخش ششم مزایا و معایب سیستم‌های فتوولتاییک آمده است، بخش هفتم هم معیارهای مؤثر در جایابی بهینه نیروگاه‌های خورشیدی را بیان می‌کند و در بخش هشتم؛ نتیجه‌گیری اطلاعات آماری از نصب سلول‌های خورشیدی در جهان ارائه می‌شود. تأثیر سایه‌اندازها بر پنل های فتوولتائیک در بخش نهم آمده است.بخش دهم بیان کننده نتیجه‌گیری از مباحث ذکر شده در مقاله است.

[1] Photovoltaic Power Plant
[2] Photovoltaic
[3] Solar thermal Power Plant
[4] Concentrated Solar Power
[5] Building Integrated Photovoltaic

۲. سیستم‌های فتوولتائیک

فتوولتاییک (PV)، یکی از مهم‌ترین منابع تولید پراکنده[1] (منابع کوچک تولیدکننده توان که مستقیماً به شبکه توزیع و یا سمت مصرف‌کننده وصل می‌شوند) و از انواع سامانه‌های تولید الکتریسیته از نور خورشید است. آرایه‌های فتوولتائیک، انرژی خورشیدی را به‌صورت مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند و در مقایسه با سیستم‌های سنتی تولید انرژی، باعث آلودگی محیط‌زیست نمی‌گردند.به همین دلیل سیستم‌های فتوولتائیک را منابع تولید انرژی" سبز " یا "تمیز " نیز می‌نامند[۳]. سلول فتوولتائیک نور خورشید را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. اصل پایه در سلول فتوولتائیک، پدیده" فتوالکتریک " است که اولین بار توسط انیشتین مطرح شد و منظور از آن پدیده‌هایی است که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم‌های محرک، الکتریسیته تولید کند. هر سیستمی هم که از پدیده "فتوالکتریک "استفاده کند سیستم فتوولتائیک نامیده می‌شود[۳].

اساس کار سلول‌های خورشیدی بر مبنای تئوری الکترون‌های مدارات اتم قابل توجیه است. در سطح خارجی تراز انرژی اتم دو سطح تراز مشخص وجود دارد. سطح تراز ظرفیت اتم (والانس) که در عملیات شیمیایی دخالت دارد و سطح تراز هدایت اتم (لایه رسانش) که در هدایت الکتریکی نقش دارد. هر اتم برای اینکه از تراز ظرفیتی خود به تراز هدایت منتقل شود احتیاج به مقدار انرژی مشخصی دارد که آن را انرژی گپ می‌گویند در عناصر نیمه‌هادی انرژی گپ بسیار پایین بوده و با حرارتی کم در حد حرارت محیط، قابل تأمین است. با تابش نور خورشید به نیمه‌هادی، الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش نیمه‌هادی می‌رود و تولید زوج الکترون-حفره می‌کند که می‌توانند در داخل نیمه‌هادی حرکت کرده و تولید الکتریسیته کنند. سازوکار تولید الکترون و حفره در اثر فتوولتاییک در شکل (۱)، نشان داده‌شده است[۳،۲۲]:



شکل (۱)- سازوکار تولید الکترون و حفره

۳. انواع سلول‌های فتوولتاییک از لحاظ طرز ساخت

سلول‌های فتوولتائیک به لحاظ موادی که در ساخت آن‌ها استفاده می‌شوند به سه نسل طبقه‌بندی می‌شوند[۴،۸-۳] :

الف) فناوری نسل اول، سلول خورشیدی سیلیکون کریستالی[2]

این فناوری بر پایه ویفرهای سیلیکونی باضخامت ۳۰۰ تا ۴۰۰ میکرومتر است که ساختار تک‌بلوری[3] (مونو کریستالی) یا چند بلوری[4] (پلی کریستالی) دارند. سلول‌های تک‌بلوری باوجود برخورداری از بازدهی بالا، هزینه تولید بسیار زیادی دارند.

سلول‌های خورشیدی سیلیکون چند بلوری به‌مراتب ساده‌تر و ارزان‌تر از سیلیکون تک‌بلوری به دست می‌آیند، ضمن اینکه به دلیل نقص ساختار بلوری خود (نامنظمی در مرزهای اتصال بلورها) بازده کمتری هم در تبدیل نور خورشید به الکتریسیته

[1] Distributed Generation
[2] Crystalline silicon
[3] Single Crystalline Silicon Cell
[4] Multi Crystalline Silicon Cell

دارند[۴۸-۳] .

ب) فناوری نسل دوم، لایه‌نازک سیلیکونی و غیر سیلیکونی[1]

در این فناوری با استفاده از روش‌های تبخیر، لایه‌های نازک در حدود چند میکرون از ماده نیمه‌رسانا برروی سطوحی مانند شیشه، پلیمر یا فلز تشکیل می‌شود. در این نوع از سلول‌های خورشیدی، هر لایه مسئول جذب بخشی از طول‌موج نور خورشید است. لذا میزان جذب در این نوع از سلول‌های خورشیدی بیشتر شده و تبدیل انرژی در آن‌ها افزایش می‌یابد. فناوری لایه‌نازک، علاوه بر راحت و ارزان‌تر کردن فرآیند تولید، به دلیل استفاده لایهٔ بسیار نازکی از مواد نیم‌رسانا، هزینه-های مواد اولیه را نیز کاهش می‌دهد و با توجه به خاصیت انعطاف‌پذیری و قابلیت لوله شدن، این دسته از سلول‌ها مورد توجه بسیاری از شرکت‌ها قرارگرفته است .نیمه‌رساناهای متعددی برای کاربرد در سلول‌های لایه‌نازک پیشنهادشده‌اند؛ اما سه نوع از آن‌ها بیشترین کاربرد را در صنعت پیداکرده‌اند که عبارت‌اند از :سیلیکون غیر بلوری (آمورف[2])، کادمیوم تلورایید[3] و ترکیب مس، ایندیوم، گالیوم و سلنیوم (موسوم به CIGS)[4] [۴۸-۳] .

ج) فناوری نسل سوم، موسوم به فناوری‌های نوظهور بر پایه مواد آلی و چند پیوندی

این فن‌آوری‌های درحال‌توسعه، در مرحله آزمایشگاهی هستند و هنوز تجاری‌سازی نشده‌اند.سلول خورشیدی حساس شده بارنگ[5] (این سلول‌ها ترکیبی از مواد آلی و غیر آلی هستند)، سلول‌های خورشیدی آلی (ارگانیک)[6]، سلول‌های خورشیدی چند پیوندی[7] (شامل دو یا چند سلول با شکاف انرژی متفاوت)، سلول‌های متمرکز کننده[8] از مهم‌ترین آن‌ها هستند[۴۸-۳] . .]

۴. انواع سیستم‌های فتوولتاییک از لحاظ کاربری:

به‌طورکلی سه روش برای استفاده از سیستم فتوولتائیک وجود دارد[۵۸].

الف) سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه[9]

ب) سیستم‌های فتوولتاییک مستقل از شبکه[10]

ج) سیستم‌های فتوولتاییک تغذیه چندگانه[11]

الف) سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه

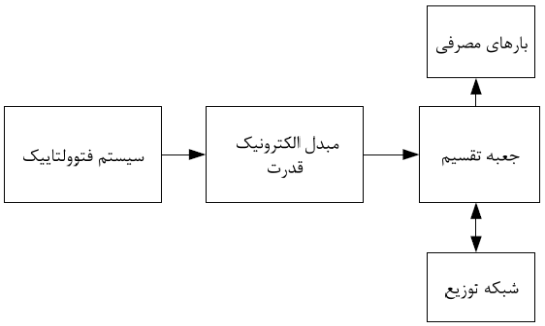
طراحی سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه، به‌گونه‌ای است که هم‌زمان و به‌طور موازی با شبکه‌ی برق سراسری، توان تولید می‌کنند. یکی از اجزاء اصلی سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه، مبدل الکترونیک قدرت است که برق DC تولیدی توسط آرایه‌های فتوولتاییک را متناسب با ولتاژ و فرکانس شبکه به برق AC تبدیل نموده و در صورت عدم نیاز، به‌طور خودکار انتقال نیرو را قطع می‌کند. به‌طورکلی ارتباطی دوجانبه میان سیستم‌های فتوولتاییک و شبکه‌ی برق وجود دارد، به‌نحوی‌که اگر برقDC تولیدی توسط سیستم‌های فتوولتاییک بیش از نیاز بار مصرفی محلی باشد مازاد آن به شبکه‌ی برق سراسری تغذیه می‌گردد و در هنگام شب و مواقعی که به دلایل اقلیمی امکان استفاده از نور خورشید وجود

---

1 Thin Film Solar Cell
2 Amorphous-Silicon (a-Si)
3 Cadmium Telluride (CdTe)
4 Copper Indium Gallium Diselenide (CIGS)
5 Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)
6 Organic Photovoltaic Solar Cell (OPVC)
7 Multi-Junction Solar Cell
8 Concentrating Photovoltaic (CPV)
9 Gridconneceted
10 Stand Alone
11 Hybrid

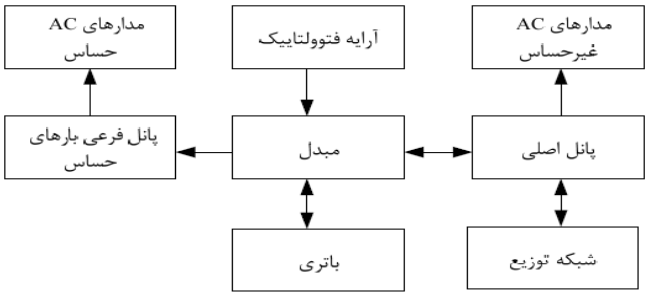
ندارد، بار الکتریکی موردنیاز سایت توسط شبکه‌ی برق سراسری تأمین می‌گردد.همچنین در کاربردهای متصل به شبکه درصورتی‌که سیستم فتوولتاییک به دلیل تعمیرات از مدار خارج گردد، برق موردنیاز مصرف محلی از طریق شبکه‌ی برق سراسری تأمین خواهد شد[۵۸].

سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه‌ی برق به دو گروه دارای سیستم ذخیره و بدون سیستم ذخیره طبقه‌بندی می‌شوند. در سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه‌ی برق بدون سیستم ذخیره، اگر به هر دلیلی شبکه‌ی سراسری قدرت، قطع شود، واحد خورشیدی نیز باید تولید توان را متوقف سازد و بارهای مصرفی قطع شوند. این تشخیص و توقف، توسط مبدل الکترونیک قدرت واحد خورشیدی صورت می‌پذیرد. طرحی از سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه‌ی برق بدون سیستم ذخیره‌ساز در شکل (۲)، نشان داده‌شده است[۵۸]:



شکل (۲)- سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه برق توزیع بدون سیستم ذخیره

در سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه‌ی برق دارای سیستم ذخیره، از سیستم‌های ذخیره کننده انرژی که عمدتاً باتری هستند، استفاده می‌شود. طرحی از سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه‌ی برق مجهز به باتری ذخیره‌ساز در شکل (۳)، نشان داده‌شده است[۵۸]:



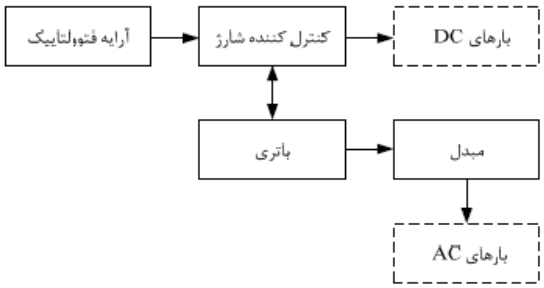
شکل (۳)- سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه سراسری برق مجهز به باتری

در سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه‌ی برق مجهز به باتری، مبدل الکترونیک قدرت توسط آرایه‌ی خورشیدی تغذیه می‌شود که خروجی آن به باتری به‌عنوان ذخیره‌ساز انرژی بار محلی و بار حساس متصل است. برای شارژ کردن باتری می‌توان از شبکه‌ی اصلی کمک گرفت. رابطه تبادل توان بین شبکه‌ی اصلی و واسط واحد خورشیدی (پنل اصلی) و همچنین رابطه تبادل توان بین واسط واحد خورشیدی و مبدل الکترونیک قدرت به‌صورت دوطرفه است زیرا درصورتی‌که شبکه‌ی سراسری برق‌دار باشد، مبدل الکترونیک قدرت، باتری را شارژ می‌نماید و درصورتی‌که شبکه بی‌برق باشد این مبدل از باتری به‌عنوان منبع انرژی استفاده می‌کند[۵۸]. مبدل در صورت قطع شبکه اصلی، کلید بین خود و واسط واحد خورشیدی را باز و کلید بین خود و بار حساس را درصورتی‌که توانایی عملکرد مستقل از شبکه برای تولید فرکانس مناسب را داشته باشد، می‌بندد. استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک در حالت متصل به شبکه، گام مهمی در بهبود مدیریت مصرف محسوب می‌شود[۵۸].

ب) سیستم‌های فتوولتاییک مستقل از شبکه

طراحی سیستم‌های فتوولتاییک مستقل از شبکه به‌گونه‌ای است که باید مستقل از شبکه‌ی برق سراسری عمل کرده و قابلیت تغذیه بارهای مستقیم (DC) و متناوب را دارا باشد .این واحدها مستقیماً به بار متصل می‌شوند و تمام بار را برخلاف سیستم‌های متصل به شبکه تأمین می‌کنند .بنابراین برای طراحی این‌گونه واحدها، بایستی مدل بار و کل توان موردنیاز بار در یک دوره شبانه‌روزی محاسبه شود و ظرفیت واحد و تعداد آرایه‌های فتوولتاییک بر این اساس محاسبه شود .همچنین به دلیل عدم وجود شبکه برق سراسری، تمامی توان باید از طریق سیستم فتوولتاییک تأمین شود[۵۸].

ازآنجایی‌که سیستم فتوولتاییک قابلیت تولید پیوسته توان را ندارد (شب‌هنگام) و میزان تولید توان آن کاملاً به شرایط جوی وابسته است (کاهش تولید در روزهای ابری و بارانی)، برای تغذیه مناسب و مطمئن بار باید واحد فتوولتاییک به سیستم ذخیره‌ساز انرژی مجهز شود .ظرفیت ذخیره‌ساز انرژی به میزان مصرف بار در ساعت‌هایی که تولید وجود ندارد، بستگی دارد .همچنین برای افزایش حاشیه امنیت، باید سیستم ذخیره‌ساز انرژی قابلیت تغذیه کل بار سیستم را بدون استفاده از انرژی سیستم فتوولتاییک برای چند روز داشته باشد. زیرا درصورتی‌که چند روز متوالی شرایط جوی مناسب نباشد (چند روز ابری متوالی)، می‌بایست بارهای محلی را تغذیه کند. طرح کلی یک سیستم فتوولتاییک مستقل از شبکه در شکل (۴)، نشان داده‌شده است[۵۸]:



شکل (۴)- سیستم فتوولتاییک مستقل از شبکه

در این شکل، سیستم فتوولتاییک مجهز به باتری برای ذخیره انرژی است و قابلیت تغذیه بارهایDC و AC را دارا می‌باشد .در این حالت، سیستم فتوولتاییک باید مجهز به مکانیزمی برای تولید فرکانس و ولتاژ مناسب برای تغذیه بار مصرفی باشد[۵۸].

ج) سیستم‌های فتوولتاییک تغذیه چندگانه یا هیبریدی

درصورتی‌که سیستم‌های فتوولتائیک با منابع دیگر تأمین انرژی، مانند توربین باد، مولد دیزل و... توان الکتریکی موردنیاز بخش را تأمین نماید، اصطلاحاً آن را سیستم تغذیه چندگانه می‌گویند[۳]. مزیت مهم این سیستم‌ها این است که در صورت قطع هرکدام از منابع تأمین‌کننده انرژی از منبع دیگر استفاده می‌گردد. در این مدل احتمال قطع برق به حداقل می‌رسد.

۵. اجزای سیستم‌های فتوولتائیک

سیستم‌های فتوولتاییک از بخش‌های مختلفی تشکیل‌شده‌اند که بایستی با توجه به کاربرد، موقعیت مکانی و نوع سیستم انتخاب شوند. اجزای اصلی سیستم‌های فتوولتاییک عبارت‌اند از [۶۸]:

-آرایه‌ی فتوولتائیک

-سیستم‌های دنبال کننده‌ی تابش خورشید

-اینورتر یا مبدل الکترونیک قدرتAC/DC

-ذخیره‌ساز

-دنبال کننده حداکثر توان[1]

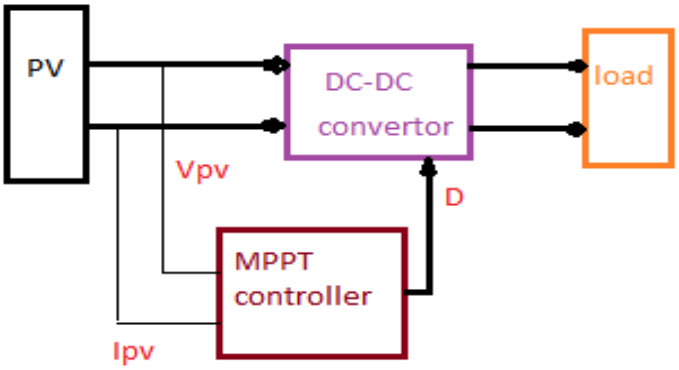
-تجهیزات متعادل‌کننده

۱.۵. آرایه فتوولتائیک

کوچک‌ترین عضو پنل خورشیدی، سلول است. از جمع چند سلول در کنار یکدیگر، ماژول (مدول خورشیدی[2]) شکل می‌گیرد. سپس از کنار هم قرار گرفتن چندین ماژول، پنل‌های خورشیدی ساخته می‌شود و درنهایت از اجتماع پنل‌های فتوولتائیک، آرایه فتوولتائیک شکل خواهد گرفت[۶،۸]. شکل (۵)، طرح‌واره‌ای از سلول، ماژول، پنل و آرایه‌های فتوولتائیک را نشان می‌دهد.

شکل (۵)- سلول، مدول، پنل و آرایه خورشیدی

مدار داخلی هر سلول خورشیدی هم در شکل (۶) نشان داده‌شده است[۷].



شکل (۶): ساختار کلی یک سیستم فتوولتاییک

۲.۵. سیستم‌های دنبال کننده تابش خورشید

این سیستم‌ها،وظیفه تغییر بار معادل آرایه فتوولتاییک و درنتیجه تغییر نقطه کار آن را به عهده دارند به‌طوری‌که با تغییرات دما و تابش همواره نقطه کار در پیک توان آرایه قرار گیرد. ازآنجایی‌که توان الکتریکی تأمین‌شده توسط سیستم‌های خورشیدی به عایق‌بندی دما و میزان تابش بستگی دارد کنترل نقاط عملکردی برای نمایش ماکزیمم توان دستگاه خورشیدی، ضروری است[۶،۸]. برای مناطقی مانند ایران که در نیمکره‌ی شمالی هستند، پنل‌های فتوولتاییک باید به‌گونه‌ای

[1] Maximum Power Point Tracker (MPPT)
[2] Solar Module

نصب شوند که سطح جاذب نور به سمت جنوب باشد زیرا خورشید در طول سال در وجه جنوبی رؤیت می‌گردد؛ اما برای اینکه میزان جذب سالانه انرژی توسط یک سیستم خورشیدی به حداکثر میزان خود برسد، باید نور خورشید حتی‌الامکان به‌صورت عمودی به پنل بتابد.برای تحقق این امر بهتر است که زاویه شیب پنل، تقریباً برابر با عرض جغرافیایی منطقه نصب باشد. حداقل زاویه‌ی نصب بایستی از ۱۰ درجه کمتر نباشد. زیرا در زمان‌های بارانی بعد از بارش، اگر شیب ۱۰ وجود داشته باشد، گردوغبار نشسته بر صفحات خورشیدی شسته می‌شود و از آن خارج می‌شود .همچنین آب باران و یا برف زودتر از روی صفحات خورشیدی خارج می‌شود. برای اینکه یک سطح فرضی که در معرض تابش خورشید است، بالاترین میزان دریافت انرژی را داشته باشد، لازم است که این سطح عمود بر زاویه تابش قرار گیرد .هر چه زاویه تابش به سطح پنل عمودتر باشد، جذب انرژی بیشتر خواهد بود[۶۸].

پنل‌هایی که به‌صورت ثابت نصب می‌شوند، در هنگام طلوع و غروب آفتاب، چون خورشید به‌صورت مایل به سطح پنل‌ها می‌تابد، تنها میزان بسیار اندکی از انرژی خورشید را جذب می‌کنند .در طول تابستان که خورشید در هنگام طلوع و غروب، تقریباً از پشت پنل‌ها تابیده می‌شود، پنل‌ها میزان بیشتری از انرژی قابل‌جذب را از دست می‌دهند .این سیستم‌ها تنها در میانه‌ی روز که تقریباً رو به خورشید هستند، می‌توانند دریافت قابل‌قبولی داشته باشند .به همین خاطر اگر بتوان با روش مناسبی، پنل‌ها را در تمام طول روز به‌صورت پیوسته رو به خورشید قرارداد، می‌توان گفت پنل‌ها تمام انرژی قابل دریافت را از خورشید تحویل می‌گیرند .برای این منظور می‌توان از ردیاب‌های تک‌محوره و یا دومحوره استفاده کرد. در دنبال کننده‌های تک‌محوره، پنل‌ها حول یک محور که در راستای شمال -جنوب و با زاویه‌ی مناسب رو به افق قرارگرفته‌اند، گردش می‌کنند .البته در این حالت نیز پنل‌ها دقیقاً رو به خورشید قرار نمی‌گیرند اما نسبت به پنل‌های ثابت دریافت انرژی بیشتری دارند؛ اما در دنبال کننده‌های دومحوره، پنل‌ها حول دو محور حرکت کرده و می‌توان گفت دائماً رو به خورشید قرار می‌گیرند. در ردیاب دومحوره صفحه‌ی خورشیدی قابلیت چرخش هم در راستای شرقی -غربی و هم چرخش در راستای شمالی و جنوبی را دارد .بنابراین بیشترین جذب انرژی در این روش رخ می‌دهد. حالت تک‌محوره تنها قابلیت چرخش در راستای شمال -جنوبی را دارد که بازده کمتری نسبت به حالت دومحوره دارد[۶۸].

۳.۵. اینورتر یا مبدل الکترونیک قدرتAC/DC

مبدل وسیله‌ای است که برق DC را از آرایه‌های فتوولتاییک می‌گیرد و آن را به جریان استانداردAC که در منزل به کار می‌رود، تبدیل می‌کند و مشخصه‌های آن مانند ولتاژ و فرکانس را با مؤلفه‌های موردنیاز مصرف‌کننده مطابقت می‌دهد مبدل‌های الکترونیک قدرت را می‌توان به دو دسته‌ی کلی، مبدل‌های مجزا از شبکه و مبدل‌های متصل به شبکه تقسیم کرد[۶۸]. مبدل‌های الکترونیک قدرت مجزا از شبکه، برقDC آرایه‌های خورشیدی را به جریان متناوب در سطح ولتاژ و فرکانس موردنظر تبدیل کرده و بایستی قابلیت تغذیه بار در ولتاژ و فرکانس موردنظر را در حالت تغییر ناگهانی بار داشته باشند .همچنین برای تغذیه‌ی بارهای راکتیو باید قابلیت تبادل توان راکتیو را داشته باشند .بیشتر مبدل‌های مجزا از شبکه برای جداسازی بخشDC و AC از یکدیگر توسط یک ترانسفورماتور ایزوله به بار متصل می‌شوند. در انتخاب مبدل‌های مجزا از شبکه، دو پارامتر اساسی باید در نظر گرفته شود، که عبارت‌اند از[۶۸]:

الف) شکل موج خروجی (شکل موج قابل‌قبول برای بارهای متناوب، شکل موج سینوسی می‌باشد.)

ب) تلفات در بی‌باری.

خروجی مبدل‌های الکترونیک قدرت متصل به شبکه باید با شبکه‌ی اصلی قدرت سنکرون شود. سنکرون شدن بدین معنی که سطح ولتاژ، فرکانس و فاز ولتاژ خروجی مبدل با ولتاژ شبکه مطابق باشد[۶۸].

۴.۵. ذخیره‌ساز

ذخیره‌ساز سیستم فتوولتاییک معمولاً از نوع باتری است مهم‌ترین فاکتور در انتخاب باتری برای سیستم‌های فتوولتاییک قابلیت تخلیه شدن و شارژ شدن شدید در دفعات مختلف بدون ایجاد هرگونه خسارت و آسیب برای باتری است .برای دستیابی به ظرفیت‌های بالاتر می‌توان باتری‌ها را با یکدیگر سری و یا موازی کرد[۶،۸]. باتری هم در سیستم‌های مجزا از شبکه و هم متصل به شبکه کاربرد دارد و درزمانی که تولید سیستم فتوولتاییک بیشتر از بار است، مازاد انرژی را ذخیره می‌سازد .زمانی که نور خورشید در دسترس نباشد و یا مقدار تولید انرژی سیستم خورشیدی کمتر از بار باشد، باتری وارد مدار می‌شود و کمبود انرژی را جبران می‌سازد .بنابراین باتری باید قابلیت شارژ و دشارژ شدن مکرر را داشته باشد[۶،۸].

۵.۵. دنبال کننده حداکثر توان

برای استفاده بهینه از انرژی تولیدشده توسط پنل فتوولتاییک باید نقطه‌ای انتخاب شود که بیشترین جریان و ولتاژ را داشته باشد .به دست آوردن نقطه بهینه توسط دنبال کننده حداکثر توان انجام می‌شود. دنبال کننده حداکثر توان درواقع یک مبدل DC-DC با بازده بالاست که برای به دست آوردن حداکثر توان، ولتاژ خروجی خود را در یک مقدار بهینه تنظیم می‌کند .دنبال کننده حداکثر توان در روزهای ابری، سرد و یا در حالتی که از باتری استفاده می‌شود می‌تواند نقش بسیار مؤثری ایفا کند. در مواردی که واحدهای فتوولتاییک مجهز به دنبال کننده حداکثر توان هستند خروجی سیستم فتوولتاییک مستقیماً به مبدل و دنبال کننده حداکثر توان مربوط می‌شود[۶،۸].

۶.۵. تجهیزات متعادل‌کننده (BOS)[1]

به سایر اجزای سیستم فتوولتاییک، در اصطلاح تجهیزات متعادل‌کننده (BOS) گفته می‌شود. این تجهیزات شامل سیستم نصب و سیم‌کشی هستند تا به‌واسطه آن‌ها ماژول‌های فتوولتاییک بتوانند در سیستم الکتریکی خانه یا محل دیگر مورداستفاده قرار بگیرند .علاوه برBOS تجهیزات دیگری از قبیل دستگاه‌های کنترل، اندازه‌گیری و غیره هستند که جزء تجهیزات اصلی نمی‌باشند[۶،۸].

۶. مزایا و معایب سیستم‌های فتوولتائیک:

سیستم‌های فتوولتائیک مزایای فراوانی دارند که در اینجا برخی از آن‌ها را ذکر می‌کنیم[۳،۱۰]:

-نصب و نگهداری سیستم فتوولتاییک نسبتاً آسان و سریع است؛ اما نصب نیروگاه با سوخت فسیلی پیچیده و زمان‌بر است.

-سیستم فتوولتاییک به سوخت یا شبکه تأمین سوخت نیاز ندارد. تنها به انرژی خورشید نیازمند است و انرژی خورشیدی تجدید پذیر و نامحدود است.

-اجزاء مورداستفاده در سیستم‌های فتوولتاییک.به اشعه ماوراءبنفش و آب‌وهوا مقاوم‌اند و تحمل دمای بالا را دارند.

-اجزاء مورداستفاده در سیستم‌های فتوولتاییک به‌صورت ماژولی هستند و سیستم‌ها فتوولتاییک می‌توانند در هراندازه‌ای در مقیاس‌های کوچک و بزرگ وجود داشته باشند.

-سیستم فتوولتاییک عمر مفید بالایی دارد (بیش از ۲۰ سال)

-تولید برق توسط سیستم فتوولتاییک هیچ‌گونه انتشار آلاینده زیست‌محیطی را در پی ندارد. ازاین‌رو باعث کاهش تشعشعات گازهای گلخانه‌ای و دی‌اکسید کربن و درنتیجه کاهش آلودگی هوا می‌شوند.

-ماژول‌های خورشیدی بدون اتلاف انرژی، نور خورشید را مستقیماً به برق تبدیل می‌کنند.

-سیستم‌های فتوولتاییک دارای اجزاء متحرک نیستند به همین دلیل نیاز به حداقل نگهداری و هزینه تعمیر دارند.

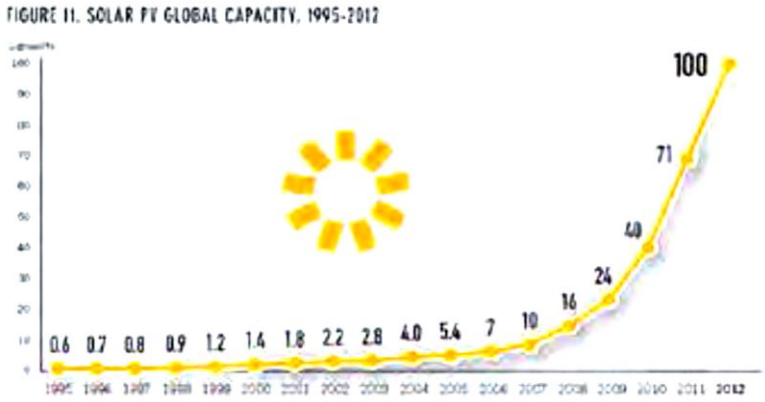
---

[1] Balance of system

-سیستم‌های فتوولتاییک به‌راحتی با افزودن تعداد ماژول‌ها و باتری‌های ذخیره‌سازی انرژی، قابل‌گسترش هستند.
-خطر آتش‌سوزی در سیستم‌های فتوولتاییک به‌مراتب کمتر از سایر سیستم‌های قدرت است.
-سیستم فتوولتائیک مستقل می‌تواند توان را تقریباً در هر نقطه از کره زمین تأمین کند. در شرایط جغرافیایی ویژه مانند مناطق صعب‌العبور و کوهستانی و مناطق دورافتاده (مانند مراکز ارتباطی خارج از شهر و همچنین مناطق نظامی) بهترین روش تولید انرژی استفاده از فن‌آوری فتوولتائیک است.
-سلول‌های فتوولتاییک در کاربردهای خانگی، تجاری و صنعتی قابل‌نصب برروی پشت‌بام‌ها هستند. ازاین‌رو فضاهای موجود اشغال نشده و برای سایر موارد به کار می‌روند.
-سلول‌های خورشیدی امروزی حتی می‌توانند به‌عنوان شیشه پنجره کار کنند. این سلول‌ها این قابلیت را دارند که بین ۸۰٪ تا ۹۰٪ نور خورشید را از خود عبور دهند. این ویژگی باعث می‌شود که پنجره‌های مجهز به سلول‌های خورشیدی بتوانند به خنک ماندن هوای داخل خانه در تابستان کمک کنند و همچنین ساختمان را هم زیباتر کنند و هم برق موردنیاز ساختمان را تأمین کنند؛ و به‌این‌ترتیب در مصرف مصالح ساختمانی ساختمان نیز صرفه‌جویی می‌شود.
-برای افزایش ظرفیت نیروگاه‌های سوخت فسیلی به‌جای تأسیس یک واحد جدید و یا تخریب و بازسازی نیروگاه، می‌توان مابه‌التفاوت میزان انرژی موردنیازی را که نیروگاه ظرفیت تولید آن را ندارد با اضافه کردن یک سیستم فتوولتائیک به نیروگاه تأمین کرد، این روش به دلیل پایین بودن بهای تأسیس سیستم فتوولتائیک به‌صرفه‌تر از ساختن یک نیروگاه جدید است.
این‌ها مزایایی هستند که آینده درخشانی را برای استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک ترسیم می‌کنند. البته سیستم‌های فتوولتائیک ایراداتی نیز با خود به همراه می‌آورند که ازجمله این معایب می‌توان موارد زیر را نام برد:
-هزینه‌های اولیه نصب سیستم‌های فتوولتاییک زیاد است.
-هزینه تولید برق توسط سلول‌های فتوولتاییک بیشتر از هزینه تولیدی برق ناشی از سوخت‌های فسیلی است.
-برق تولیدی از انرژی خورشیدی غیرقابل‌اعتماد بوده و همواره در دسترس نیست و میزان تولیدات به شرایطی نظیر حالت وضعی خورشید، شرایط اتمسفر، ابری بودن و ... بستگی دارد. لذا مهم‌ترین مشکل نیروگاه‌های خورشیدی، عدم قطعیت در میزان توان تولیدی آن‌هاست. این ساختار متغیر می‌تواند چالش‌های جدی، در سیستم قدرت به خاطر حفظ پایداری شبکه ایجاد کند. البته با استفاده از سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی و مدیریت سمت تقاضا این مشکلات را می‌توان تا حد زیادی کاهش داد.
-به‌منظور استفاده از انرژی خورشیدی در شب باید از باتری برای ذخیره‌سازی انرژی استفاده گردد.
-برای مصارف زیاد الکتریسیته، نیاز به مساحت زیادی برای نصب سلول‌های فتوولتاییک می‌باشد.
-کمبود نیروهای متخصص و کارآمد برای طراحی و نصب سیستم‌های فتوولتاییک از ایرادهای دیگر این سیستم‌هاست.

۷. اطلاعات آماری از نصب سلول‌های خورشیدی در جهان

حدود دو دهه پس از ورود سلول‌های فتوولتائیک به عرصه عمومی تولید انرژی، ارتباط تنگاتنگ سیاست و منابع انرژی موجب رشد بهره‌گیری از این سیستم‌ها گردیده است. پیشروان ظرفیت نصب‌شده سیستم‌های فتوولتائیک در جهان کشورهای آلمان، ایتالیا، چین، ایالات‌متحده آمریکا و ژاپن به‌حساب می‌آیند. در شکل (۷) میزان ظرفیت نصب‌شده فتوولتائیک در جهان در بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۲ طبق سناریوهای معتبر جهانی (REN21–2013) نشان داده‌شده است [۲۵]:



شکل (۷): میزان ظرفیت نصب‌شده فتوولتائیک در جهان ۲۰۱۲ - ۱۹۹۵

ظرفیت نصب‌شده این سیستم‌ها در جهان گواه این قضیه است به‌گونه‌ای که در سال ۲۰۱۲ ظرفیت نصب‌شده جهانی به حدود ۱۰۰ گیگاوات رسیده که نسبت به پنج سال قبل بیش از ۶ برابر شده است. بسیاری از کارشناسان حوزه خورشیدی آینده سیستم‌های فتوولتائیک را بسیار روشن پیش‌بینی می‌کنند؛ زیرا با بهبود فن‌آوری و افزایش راندمان و به بلوغ رسیدن این فن‌آوری، شاهد کاهش قیمت سلول‌های فتوولتائیک و پذیرش اجتماعی بالاتر آن در کاربردهای مستقل و متصل به شبکه خواهیم بود. پیش‌بینی ظرفیت نصب‌شده فتوولتائیک جهانی برای سال ۲۰۳۰ طبق سناریوهای معتبر جهانی (REN21-2013) در جدول زیر نشان داده‌شده است[۲۵] :

جدول (۱):پیش بینی ظرفیت نصب‌شده فتوولتائیک جهانی برای سال ۲۰۳۰ طبق سناریوهای معتبر جهانی (REN21-2013)

ظرفیت نصب شده فتوولتائیک جهان در سال ۲۰۰۶	۸ میلیارد کیلووات(گیگاوات)
ظرفیت نصب شده فتوولتائیک در سال ۲۰۱۲	۱۰۰ میلیارد کیلووات
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

۸. تأثیر سایه‌اندازها بر پنل‌های فتوولتائیک

سایه یکی از عواملی است که بر میزان دسترسی به خورشید اثر می‌گذارد. انعکاس زمین، سایه ساختمان‌های اطراف، سایه خود ساختمان و سایه خود پنل‌ها روی یکدیگر ممکن است که بر سیستم فتوولتاییک یکپارچه با ساختمان تأثیر بگذارد. طراح معمار باید موقعیت و محل پنل‌های فتوولتاییک را چنان طراحی کند که اثر سایه به‌هیچ‌وجه روی آن‌ها نباشد. چون سایه روی سلول-های فتوولتائیک علاوه بر کاهش یا عدم بازدهی باعث آسیب دیدن خود سلول‌ها نیز خواهد شد. با توجه به تأثیر سایه در کاهش بازدهی سیستم‌های فتوولتائیک باید تا حد امکان از ایجاد سایه برروی پنل‌های فتوولتاییک به‌واسطه عوامل طبیعی و مصنوعی مانند تپه‌ها و درختان و عناصر شهری و ساختمان‌های اطراف و حتی قسمت‌هایی از خود پنل‌های فتوولتائیک

جلوگیری کرد[۲۷-۲۶].

در زمینه سایه‌اندازی در طراحی ساختمان باید به مسائلی از قبیل: ۱- سایه‌اندازی خود ساختمان، همسایگی‌ها و موانع ۲- سایه-اندازی درختان ۳-سایه‌اندازی آسمان ابری ۴- سایه‌اندازی آلودگی‌ها توجه شود [۲۷-۲۶].

از سایه‌اندازی ساختمان‌ها باید دوری کرد. فاصله بین بام‌های فتوولتائیک و اشیای دیگر باید چنان باشد که به ایجاد سایه پیوسته نینجامد[۲۷-۲۶].

تا حد ممکن باید گیاهان و درختان را در جهتی کاشت که مانع تابش خورشید به پنل‌ها نگردند. برای این منظور اولاً بهتر است که در نیمکره شمالی درختان را در شمال و در نیمکره جنوبی درختان را در جنوب ساختمان کاشت ثانیاً اگر درخت‌هایی در جهت شرقی ساختمان کاشته شده باشند اما در جهت غربی درختی نباشد بهتر است که پنل‌های فتوولتائیک کمی متمایل به غرب قرار بگیرند. ثالثاً با توجه به ارتفاع ساختمان از درختانی با رشد محدود استفاده شود[۲۷-۲۶].

آسمان ابری هم بر پنل‌های فتوولتائیک سایه می‌اندازد و باعث کاهش خروجی آن‌ها می‌شود. اگر آسمان محوطه بعدازظهرها بیشتر ابری و صبح‌ها بیشتر آفتابی است پنل‌ها را می‌توان کمی به سمت شرق چرخاند[۲۷-۲۶].

آلودگی و محیط پر گردوخاک نیز نوعی سایه‌اندازی است و ممکن است که بازده پنل فتوولتائیک را تا ۴۰ درصد یا بیشتر کاهش دهد. اگرچه پنل‌هایی با زاویه بیشتر از ۲۰ درجه از طریق باران خودبه‌خود شسته خواهند شد؛ اما انواع خاصی از آلودگی‌ها نظیر ذرات دوده را باید با روش‌های دیگر تمیز کرد. لذا باید راهکار مناسبی را برای نظافت دوره‌ای پنل‌ها در نظر گرفت[۲۷-۲۶].

۹. معیارهای مؤثر در جایابی بهینه نیروگاه‌های خورشیدی در ایران

انتخاب مکان بهینه برای نیروگاه خورشیدی نیاز به داشتن یک ارزیابی دقیق از مزایا و معایب منطقه موردمطالعه با توجه به معیارهای موجود دارد زیرا مکان‌یابی نیروگاه یک فرایند پیچیده است که ممکن است منجر به نتایج پیش‌بینی‌نشده‌ای شود. باید توجه داشت که تعیین مکان مناسب برای یک نیروگاه تا حد زیادی به شناخت کامل و صحیح عوامل مؤثر و نحوه انتخاب آن‌ها وابسته است. نتایج بررسی مقالات چاپ‌شده در ایران در زمینه جایابی بهینه نیروگاه‌های فتوولتاییک نشان می‌دهد که مهم‌ترین پارامترهایی که در این امر دخیل است به‌صورت زیر بیان می‌شوند[۲۳-۹]:

تابش دریافتی: مهم‌ترین پارامتری که در شرایط جغرافیایی مختلف برروی ظرفیت پنل‌ها تأثیر می‌گذارد متوسط تابش روزانه آفتاب در یک منطقه برحسب ساعت است. خوشبختانه از این لحاظ ایران کشوری است که بیشتر روزهای سال را آفتابی می‌گذراند و متوسط سالانه روزهای آفتابی در ایران به‌خصوص مناطق مرکزی بسیار بالاست. هر چه مقدار تابش دریافتی بیشتر باشد مقدار توان تولید انرژی از سلول خورشیدی بیشتر است.

برای محاسبه مقدار تابش خورشیدی دریافتی برروی سطح زمین، باید عوامل تأثیرگذار بر آن را موردمطالعه قرارداد. عوامل مؤثر بر میزان تابش خورشیدی دریافتی را می‌توان به پنج دستهٔ عوامل هندسی، نجومی، آب و هوایی، جغرافیایی و فیزیکی تقسیم کرد که مهم‌ترین آن‌ها به‌این‌ترتیب هستند[۳]:

عوامل هندسی شامل زاویهٔ سمت‌الرأس، زاویهٔ ارتفاع خورشید، زاویهٔ عزیمت خورشید، شیب سطح دریافت‌کننده و زاویهٔ سمت گیرنده و ...

عوامل نجومی شامل مقدار ثابت خورشیدی، فاصلهٔ زمین تا خورشید، زاویهٔ میل خورشید، زاویهٔ ساعت خورشید و میانگین روزانهٔ شدت تابش خورشیدی در بالای جو و ...

عوامل آب و هوایی شامل مقدار ابر، درجهٔ حرارت هوا، دمای نقطهٔ شبنم هوا، دمای زمین و نسبت اعداد واقعی ساعات آفتابی به طول روز و ...

عوامل جغرافیایی شامل عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا و ...
عوامل فیزیکی شامل ضریب خاموشی جو، میزان بخارآب موجود در جو، ضریب کدری و میزان ازن در جو و ...
ساعات آفتابی :مهم‌ترین پارامتر اقلیمی است که نشان‌دهنده میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید است. ساعات آفتابی مجموع ساعات ماهانه یا سالانه یک منطقه است.
غبارآلودگی :این عامل، با پارامتر ساعات آفتابی رابطه عکس دارد. مناطقی که کمترین روزهای غبارآلودگی را در سال داشته باشند از اهمیت بیشتری برخوردارند.
رطوبت نسبی (میزان شرجی بودن): افزایش رطوبت نسبی موجب نشست بخارآب برروی سلول خورشیدی شده و راندمان سلول را تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد.
اَبرناکی: این عامل هم با پارامتر ساعات آفتابی رابطه عکس دارد. نیروگاه‌های خورشیدی شب‌ها کار نمی‌کنند و در مواقع ابری تولید آن‌ها کم می‌شود. واحدهای فتوولتاییک در صورت ابری بودن هوا نیز می‌توانند برق تولید کنند، اما خروجی آن‌ها کاهش می‌یابد. در یک روز بسیار ابری کم‌نور، یک سیستم فتوولتاییک ممکن است ۵ تا ۱۰ درصد نور خورشید در روزهای عادی را دریافت کند، لذا به‌طور طبیعی، خروجی آن نیز به همان میزان کم خواهد شد.
کاربری اراضی: با توجه به اثرات زیست‌محیطی و بیولوژیکی احداث نیروگاه، بهترین مکان استقرار در مناطق بایر و اراضی بلااستفاده است. جهت گسترش نیروگاه نمی‌توان در زمین‌های کشاورزی، کوهستانی و دور از مناطق مسکونی نیروگاه خورشیدی ایجاد نمود.
ارتفاع :با افزایش ارتفاع بر میزان تابش افزوده می‌شود. مناطق مرتفع به دلیل دریافت انرژی زیاد دارای پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق پست می‌باشند.
شیب: افزایش شیب تا حد مشخصی باعث ایجاد زاویه با خورشید شده و بر میزان تابش دریافتی اثر مثبت دارد؛ اما افزایش شیب از ۲۵ درجه به بالاتر برای نصب و گسترش تجهیزات مربوط به نیروگاه خورشیدی و کاهش نسبی تابش خورشیدی ایجاد مشکل می‌کند .مناطق با شیب بسیار کم نیز در فصل گرم تابش مناسبی دریافت کرده ولی در فصل سرد به دلیل زاویه تابش، انرژی کمتری به سطح می‌رسد.
همچنین تحقیقات گسترده‌ای برای تعیین شیب بهینه دریافت‌کننده‌های خورشیدی، در نقاط گوناگون دنیا انجام‌شده که در تمام این تحقیقات مقدار شیب بهینه به‌صورت تابعی از عرض جغرافیایی مکان موردمطالعه گزارش‌شده است[۱۳].
دما :بازده پنل به دمای آن بستگی دارد و دمای پنل نیز ناشی از دمای محیط و شدت تابش خورشید است. درصورتی‌که دما به بیش از ۴۰ درجه افزایش یابد از راندمان سلول خورشیدی بیش از ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. از سوی دیگر کاهش شدید دما نیز کارایی سلول را تحت تأثیر قرار داده و از مقدار تولید انرژی به‌وسیله سلول خورشیدی می‌کاهد.
پژوهشگران در [۱۲]تحقیق جامعی را در خصوص معیارهای لازم برای مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در ایران انجام داده‌اند و نتایج به دست آورده را به‌صورت یک جدول بیان کرده‌اند. ما نیز این نتایج را عیناً به خاطر جامع بودن آن تحت عنوان جدول (۲) در اینجا بکار می‌گیریم. در این جدول که معیارهای اصلی مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در ایران بیان می‌شود هیچ اولویت‌بندی در مورد معیارهای مکانی صورت نپذیرفته است؛ اما در عمل اولویت‌بندی الزامی است و این اولویت‌بندی‌ها در هر پروژه بسته به محل پروژه می‌تواند متفاوت باشد.

جدول (۲)- معیارهای اصلی مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در ایران

کلاس	زیر کلاس	معیار	متغیر در لایه	دلیل اهمیت
عوامل فیزیکی	شکل زمین	ارتفاع	ارتفاع از سطح دریا	کاهش هزینه‌ها و امکان احداث
		شیب	درصد شیب زمین	
	زمین‌شناسی و خاک‌شناسی	پایداری زمین	تیپ سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی	تأمین امنیت و کاهش هزینه‌های بازسازی و تعمیر و کاهش گردوغبار
		گسل و معدن	محل گسل‌ها و معادن منطقه	
		شنزار	مناطق و تپه‌های شنی	
عوامل بیولوژیکی	پوشش گیاهی و کاربری زمین	جنگل	محل و اطلاعات توصیفی مناطق جنگلی، باغات و زمین‌های زراعی	افزایش میزان دریافت انرژی خورشیدی
		باغ		
		زمین زراعی		
	محدوده‌های آبی	دریا، دریاچه و تالاب	اطلاعات توصیفی منابع آبی و شناسایی نقاط سیل‌خیز، رودخانه‌های اصلی و دائمی، محل باتلاق‌ها و مرداب‌ها	تأمین امنیت سازه‌های نیروگاهی
		مسیل		
		رودخانه		
		باتلاق و مرداب		
	محدوده زیست‌محیطی	مناطق حفاظت‌شده	اطلاعات توصیفی مناطق ۴ گانه	حفاظت از محیط‌زیست طبیعی
	محدوده‌های جمعیتی	مراکز پرجمعیت	محل و اطلاعات توصیفی شهرها و روستاها و مناطق مسکونی	افزایش امنیت و جلوگیری از مشکلات زیباشناختی
		مراکز کم‌جمعیت		
عوامل اقتصادی، اجتماعی	راه‌های ارتباطی	آزادراه و بزرگراه	اطلاعات توصیفی جاده‌های اصلی، فرعی و خطوط راه‌آهن	سهولت در دسترسی به محل و کاهش هزینه‌های حمل تجهیزات
		راه‌های محلی		
		راه‌آهن		
عوامل فنی	انتقال نیرو	خطوط انتقال نیرو	اطلاعات توصیفی محل خطوط انتقال نیرو	کاهش هزینه‌های انتقال نیرو
		پست برق		
	دریافت انرژی	میزان تابش دریافتی	میزان انرژی دریافتی از خورشید	افزایش راندمان دریافت انرژی
زیرساخت‌ها	تأسیسات خاص	فرودگاه‌ها	محل و اطلاعات توصیفی فرودگاه آب‌بند، سد، پالایشگاه شهرک‌های صنعتی و کارخانجات منطقه موردمطالعه	تأمین امنیت سازه و افزایش راندمان دریافت انرژی
		آب‌بندها و سدها		
		پالایشگاه‌ها و خطوط انتقال نفت و گاز		
		نیروگاه‌ها		

۱۰. نتیجه‌گیری

انرژی خورشیدی از پاک‌ترین، قابل‌دسترس‌ترین و ارزان‌ترین انرژی‌های جهان است که استفاده از آن اثرات سوء زیست‌محیطی کمتری از خود بر جای می‌گذارد. انتخاب مکان مناسب برای نصب و استفاده از این تکنولوژی‌ها یکی از مهم‌ترین مسائلی است که بایستی در مراحل اولیه پروژه بررسی شود .برای این منظور شناسایی معیارها و شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی و همچنین شناسایی محدودیت‌های مکانی از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این مقاله سعی شده است ابتدا سیستم‌های فتوولتائیک به‌صورت جامع معرفی شوند سپس بامطالعه و بررسی تعدادی از مقالات ارائه‌شده در زمینه مکان‌یابی و بررسی معیارهای مکان‌یابی ارائه‌شده در این مقالات، شاخص‌های اصلی و کاربردی در انتخاب مکان مناسب جهت نصب سیستم‌های فتوولتاییک بیان‌شده است.

۱۱. مراجع

۱. رمضان نژاد کوتنایی. ع و محمدی نیا. س و لطفی نژاد. ا، (۱۳۹۱)، انرژی خورشیدی و کاربرد نانوتکنولوژی در انرژی خورشیدی، اولین کنفرانس بین‌المللی نفت، گاز، پتروشیمی و زغال‌سنگ،3 - 2 ، مرکز همایش‌های بین‌المللی المپیک تهران.

۲. یونیسان. م و صفری. ف و کلاهچی. ن، (۱۳۸۸)، انرژی خورشیدی و بهره‌گیری از آن در قالب مکان‌یابی صحیح تأسیسات نوری، همایش ملی انسان، محیط‌زیست و توسعه پایدار،2 ، باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

۳. صمدایی ع، (۱۳۹۳)، امکان‌سنجی به‌کارگیری انرژی خورشید در تأمین انرژی الکتریکی به‌وسیله سیستم فتوولتائیک، سازمان نظام‌مهندسی ساختمان استان مازندران

۴. شمس م ح، خاوری ف، محمدی م و نوری ج، (۱۳۹۲)،" مروری بر فناوری‌های تولید برق از انرژی خورشیدی و مقایسه آماری بزرگ‌ترین نیروگاه‌های خورشیدی جهان "تهران، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی شریف، دو فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره بیست‌ویک.

5. Grid connected Photovoltaic system design review and approval, Florida solar energy center.

6. Gilbert M. Masters. (2013)," Renewable and Efficient Electric Power Systems," Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc

۷. ساوجی م، نیرومند م و عطایی م.(۱۳۹۳)." ارائه یک روش فازی بهبودیافته جهت ردیابی توان بیشینه در سیستم‌های فتوولتاییک "چهارمین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی.۲۹-۳۰ بهمن.

۸. معاونت نظارت راهبردی وزارت نیرو امور نظام فنی پژوهشگاه نیرو، (۱۳۹۳)، "راهنمای طراحی سیستم‌های فتوولتاییک به‌منظور تأمین انرژی الکتریکی به تفکیک اقلیم و کاربری "ضابطه شماره ۶۶۷.

۹. قاسمی فر م، (۱۳۹۲)،"اولویت‌بندی شهرهای استان یزد جهت به‌کارگیری انرژی خورشیدی "پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد.

۱۰. اکبری ع.(۱۳۹۳)." مکان‌یابی بهینه نیروگاه‌های خورشیدی (فتوولتائیک)و توسعه تکنولوژی انرژی‌های تجدید پذیر در ایران، دومین همایش ملی رویکردی بر حسابداری، مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فومن و شفت 32 مرداد

۱۱. یونیسان. م و صفری. ف و کلاهچی. ن، (۱۳۸۸)، انرژی خورشیدی و بهره‌گیری از آن در قالب مکان‌یابی صحیح تأسیسات نوری، همایش ملی انسان، محیط‌زیست و توسعه پایدار،2 ، باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.

۱۲. یوسفی ح، کسائیان ع، رنجبران پ و کتولی م ه.(۱۳۹۶)." مروری بر معیارهای مکانی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در ایران " نشریه علمی - ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دوره هشتم، شماره2 ، خردادماه

۱۳. طاهری ز، عباسپور فرد م ح، طبسی زاده م و ابوترابی زارچی ح، (۱۳۹۲)،" تأثیر شیب پنل‌های فتوولتاییک بر میزان تابش دریافتی از خورشید (مطالعه موردی: شهر مشهد)" هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد،۱۱-۹ بهمن.

۱۴. موقری ع.و طاوسی ت.(۱۳۹۲)،"امکان‌سنجی و پهنه‌بندی مکان‌های مستعد جهت استقرار پنل‌های خورشیدی با تکیه، بر فراسنج‌های اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان "، مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی، سال یکم، شماره ۱ بهار ۱۳۹۲، صفحات ۱۱۴-۹۹.

۱۵. احمدی ه، مرشدی ج و عظیمی ف.(۱۳۹۵)،"مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از داده‌های اقلیمی و سامانه اطلاعات مکانی "، نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی.

۱۶. یام شیخ آقایی (۱۳۹۳)،"امکان‌سنجی و پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با ملاحظات فنی اقتصادی و زیست‌محیطی در استان مرکزی "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی انرژی، دانشگاه تهران.

۱۷. نوحه‌گر ا. کمانگر م، کرمی پ، احمدی دوست ب، (۱۳۹۴)،" مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی از طریق قاعده تصمیم‌گیری مکانی تاپسیس، مطالعه موردی :استان هرمزگان "فصلنامه آمایش محیط، شماره ۳۳.

18. Aymen Chaouachi. Rashad M. Kamel & Ken Nagasaka (2010)," A novel multi-model neurofuzzy- based MPPT for three-phase gridconnected photovoltaic system", Solar Energy, Vol. 84, pp. 2219–2229.
19. Muneer, T. Younes, S. & Munawwar, S. (2007). Discourses on Solar Radiation Modeling. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(4), 551-602.
20. El-Metwally, M. (2005). Sunshine and Global Solar Radiation Estimation at Different Sites in Egypt. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 67(14), 1331-1342
21. The German Energy /SocietyDeutsche Gesellschaft fur Sonnenenergie (DGS); (2008), Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects, and engineers, 2nd ed.

۲۲. رضایی م، بستانی ح ع، بنی آدم ف، (۱۳۹۵)،" بررسی کاربرد های فناوری نانو در فرآیند تولید برق انرژی خورشیدی "، چهارمین کنفرانس تخصصی فناوری نانو در صنعت برق و انرژی، تهران - پژوهشگاه نیرو ۳-۲ شهریور.

۲۳. تقوایی م، صبوحی ع.(۱۳۹۶)." پهنه‌بندی و مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی در استان اصفهان "، نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال هشتم، شماره بیست و هشتم، صص ۸۲-۶۱

۲۴. جعفری‌ب، (۱۳۹۴)،"بررسی سیستم‌های فتوولتائیک در معماری نوین "همایش ملی عمران و معماری با رویکردی بر توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فومن و شفت،۱۵ مردادماه.

۲۵. سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، (۱۳۹۲)،" وضعیت انرژی‌های بادی و فتوولتائیک در جهان و ضرورت توسعه آنها در کشور "نشریه سازمان انرژی‌های نو ایران (پیام سانا)، سال هفتم، شماره سی و چهارم.

۲۶. وفایی‌ر، (۱۳۸۸)،"سیستم‌های فتوولتائیک در ترکیب با معماری (ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتائیک BIPV " پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، شهریورماه.

۲۷. وفایی ر، (۱۳۸۸)،"بررسی شیوه های طراحی سیستم های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان "نشریه صفه، دوره ۱۹ شماره ۴۹، صفحات ۸۰-۶۹.