فصلنامه علمی – ترویجی «نشریه انرژی ایران»
دوره ۲۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، صفحه ۱۲۰-۱۰۵

طراحی نیروگاه ۰/۵ مگاواتی فتوولتاییک متصل به شبکه در پردیس دانشگاهی

[۱]مصطفی اسماعیلی شایان*، [۲]غلامحسن نجفی، [۳]احمد بناکار، [۴]برات قبادیان

تاریخ دریافت:
۱۳۹۵/۲/۱۰

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۵/۵/۶

کلمات کلیدی:
معماری پایدار،
نیروگاه فتوولتاییک،
SketchUp,
HelioScope

چکیده

در استفاده از بام ساختمان‌ها با معماری پایدار به عنوان نیروگاه فتوولتاییک هندسه‌ی ساختمان نقش اساسی دارد. دیوارهای جنوبی در ساختمان دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، امکان مناسبی در تولید توان در فصول زمستان و در ساعات اداری (۹ صبح تا ۱۵ بعدازظهر) دارند. نرم افزار SketchUp وHelioScope راهنمای مناسبی جهت تعیین مسیر سایه‌ها در طول سال می‌باشد. داده‌های هواشناسی ایستگاه آکوستیک مهرآباد و ایستگاه مجازی ناسا با دقت بالا قابل استفاده هستند. نیروگاه با داده‌های ایستگاه هواشناسی مهرآباد با عملکرد ۷۸/۷٪ می‌تواند سالانه ۷۳۵/۳ مگاوات و با توجه به ایستگاه مجازی ناسا با عملکرد ۷۹/۸٪ معادل ۷۲۴/۷ مگاوات تولید توان داشته باشد. بیشترین اتلاف توان در بخش دما و کمترین آن مربوط به سیم کشی و عدم تطابق اینورتر می‌باشد.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
(نویسنده مسئول) mostafa.esmaeili@modares.ac.ir
۲. دانشیار و عضو هیئت علمی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳. استادیار و عضو هیئت علمی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۴. استاد و عضو هیئت علمی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

۱. مقدمه

پاسخ به نیاز انرژی انسان‌ها، افزایش گازهای گلخانه‌ای به همراه اثرات جبران‌ناپذیر آن‌ها و همچنین محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی در جهان سالانه عناوین بسیاری از پژوهش‌ها را به خود اختصاص داده است. مجامع علمی انرژی خورشیدی را به عنوان منبع انرژی پاک، پایان‌ناپذیر و رایگان پیشنهاد می‌کنند[۵-۱] حال‌آن که محدودیت منابع فسیلی(سوخت‌های فسیلی رایج) و پیامدهای حاصل از تغییرات زیست محیطی و آب و هوایی جهان و همچنین مشکل افت فشار چاه‌های نفت در سال‌های اخیر منجر به افزایش هزینه‌های حفاری، استخراج و انتقال شده و نیاز به جذب سرمایه‌های سنگین‌تر و ارائه‌ی سود نهایی پایین‌تر شده است [۶]. این چالش فرصت مناسبی را برای رقابت انرژی خورشیدی با انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی خصوصاً در کشورهایی با پتانسیل بالای تابش انرژی خورشیدی ایجاد کرده است. به عنوان مثال به منظور پاسخ‌گویی به نیاز انرژی جهان با در نظر گرفتن تمام تکنولوژی‌ها (۱۴ TW) کافی است ۶ ٪ از سطح بیابان ساها را در کشور آفریقا با سلول‌های خورشیدی با کمینه عملکرد ۱۰ ٪ پوشش داده شود [۷]. با توجه به این‌که کشور ایران ۸ تا ۹ از سال آسمانی صاف دارد، می‌تواند بخش عظیمی از انرژی مورد نیاز خود را از تابش نور خورشید تأمین کند[۸].

هدف از مقاله حاضر بررسی بام دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به عنوان نیروگاهی با قابلیت تولید توان ۰/۵ مگاوات متصل به شبکه و ارزیابی افت توان در بخش‌های مختلف سیستم و نهایتاً مقایسه‌ی این سایت توسط داده‌های هواشناسی ناسا و ایستگاه هواشناسی مهرآباد با کمک نرم‌افزارهای شبیه‌سازی SketchUp و Helioscope می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

۲. مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی سایت و متغیرهای هواشناسی

ایران با داشتن حدود ۱ ٪ از جمعیت جهان، حدود ۹ ٪ از فرآورده‌های نفتی دنیا را مصرف می‌کند[۹]. اطلس تابشی کشور ایران نشان می‌دهد بیشتر پهنه‌ی جغرافیایی آن در منطقه‌ی گرم و خشک با استعداد بالقوه‌ی بالا در بهره‌برداری از سامانه‌های برق فتوولتاییک است[۱۲-۱۰].

بیشترین میزان تابش در ایران مربوط به نقاط مرکزی و کمترین آن در قسمت‌های شمالی رخ می‌دهد. با آگاهی از تفاوت تابش در نقاط مختلف کشور، می‌توان ارزیابی دقیق‌تری از محل به‌کارگیری نیروگاه‌های فتوولتاییک به منظور رسیدن به بیشینه‌ی توان و کمینه‌ی اتلاف توان داشت[۱۲و۱۳].

پردیس دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در ۱۶ کیلومتری اتوبان تهران-کرج با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و در ارتفاع ۱۳۵۲ متری سطح دریا قرار گرفته است. کمینه‌ی دمای هوا در این محل ۰/۱- درجه سلسیوس و بیشینه‌ی آن به ۴۲/۷ درجه سلسیوس می‌رسد. با توجه به این‌که مساحت این پردیس حدوداً ۳۷ هکتار و در قسمت مطلوب دریافت انرژی خورشیدی قرار گرفته است (منبع: نوید هوشنگی)، متوسط دریافت انرژی خورشیدی در آن ۴/۹ $KWh/m^2/day$ است[۱۳]. میانگین سالانه‌ی دمای محیط در ارزیابی موقعیت جغرافیایی و پارامترهای هواشناسی با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مهرآباد برابر ۲۱/۲ درجه سلسیوس و با استفاده از داده‌های هواشناسی ناسا ۲۱/۱ درجه سلسیوس بدست آمد.

طراحی سامانه‌ی فتوولتاییک

طراحی پنل و اینورتر

سامانه‌ی فتوولتاییک متصل به شبکه شامل مجموعه‌ای از اجزای متشکل از آرایه فتوولتاییک، اینورتر و تجهیزات ارتباط با شبکه تعریف شده است. بدیهی است که همه رشته ماژول‌های متصل به ورودی

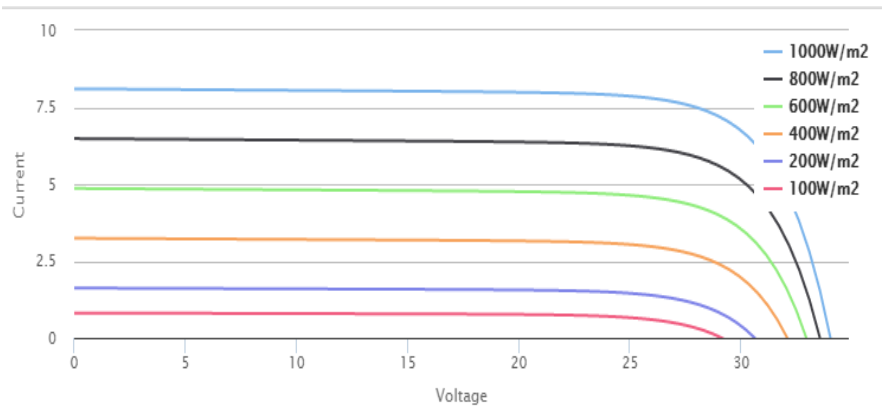
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

اینورتر یا ورودی ردیاب نقطه‌ی بیشینه توان[1](MPPT)، باید همگن باشند. همگن بودن رشته‌های ماژول به معنی وجود ماژول‌های یکسان در رشته‌ها، برابر بودن تعداد ماژول‌های رشته و نیز پلاریته یکسان ماژول‌هاست. البته گاهی اوقات استثناها ممکن است قابل قبول باشد تا آن جا که تنها تفاوت در جریان حاصل از رشته‌ها در هر ردیف باشد. به منظور طراحی این نیروگاه و با توجه به مقرون به صرفه بودن، کاهش مساحت اشغال، سهولت تعمیر و نگهداری و عیب‌یابی، کاهش اتصالات ماژول‌ها، کاهش وزن ماژول‌ها و روند انتخاب نیروگاه‌های جهان و عملکرد بالا (با توجه به خط تولید فعال شرکت‌ها در ماژول ۲۳۰ وات)، اقدام به انتخاب پنل ۲۳۰ وات با مشخصات جدول(۱) گردید[۱۴].

جدول ۱. مشخصات پنل YL230P-29b در شرایط استاندارد [۱۴].

نوع پنل	بیشینه توان	جریان اتصال کوتاه(**A**)	ولتاژ مدار باز(**V**)	ولتاژ در نقطه‌ی توان بیشینه(**V**)	جریان در نقطه‌ی توان بیشینه(**V**)
پلی کریستال- سیلیسیوم	۲۴۰ وات	۸/۱	۳۴	۲۸/۵	۷/۳۶

شکل (۱) منحنی مشخصه‌ی ولتاژ-جریان بر حسب تغییرات شدت تابش خورشید در دما ۲۵ درجه سلسیوس برای این ماژول خاص را نشان می‌دهد[۱۴].



شکل ۱. منحنی رفتار پنل خورشیدی بر حسب تغییرات شدت تابش خورشید در دما ۲۵ درجه سلسیوس[۱۴]

1. Maximum Power Point Tracker(MMPT)

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

برای نیروگاه ۰/۵ مگاواتی می‌توان از اینورترهایی با توان‌های متفاوت بهره برد. یکی از شرکت‌های معتبر در این زمینه، شرکت SMA آمریکا است که محصولات متنوعی در محدوده‌های توانی مختلف با قیمت متفاوت عرضه می‌کند. لذا در نرم‌افزار HelioScope جهت شبیه‌سازی از اینورترهای شرکت SMA استفاده شد و مسیرهای بهینه‌ی سیم‌کشی و تعداد کیوسک‌های مبدل AC/DC با توجه به تفکیک بام ساختمان‌ها به ۱۳ بخش تعیین شد. این نرم افزار با توجه به حالات مختلف توان و بهترین حالت چیدمان ماژول‌ها به این که از سطح بهینه استفاده شود، اینورتر و مسیرهای سیم کشی را معرفی می‌کند (شکل ۲). نتایج حاصل از نرم‌افزار بهترین گزینه از دیدگاه کمینه‌ی تلفات در تولید انرژی، بیشترین کارایی جهت تطبیق اینورتر با پنل و شرایط اقلیمی نیروگاه و هندسه‌ی خاص ساختمان‌ها را بهره‌گیری از ۹ اینورتر به ظرفیت ۵۴۰KW را نشان می‌دهد.

اینورتر برگزیده‌شده در این طرح در ولتاژ ۷۵۰ ولت و توان ۶۰۰۰ وات دارای عملکرد ۹۸/۵ ٪ بوده و مشخصات کاتالوگی این اینورتر در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. مشخصات اینورتر STP-60-US-10(480V) در شرایط استاندارد[۱۵].

کشور سازنده	بیشینه‌ی توان	بیشینه‌ی ولتاژ (**V**)	کمینه‌ی ولتاژ (**V**)	بیشینه‌ی ولتاژ در نقطه توان بیشینه(**V**)	کمینه‌ی ولتاژ در نقطه‌توان بیشینه(**V**)
آمریکا	۶۰ کیلووات	۱۰۰۰	۶۸۰	۸۰۰	۶۸۵

ـ از مشخصات قابل توجّه این اینورتر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد[۱۵]:

ـ کارکرد مداوم با بیشینه‌ی توان در دمای محیط ۵۰ درجه سلسیوس.

ـ بهینه‌سازی جهت کار در بازه دمایی ۴۰- تا ۶۰+ درجه سلسیوس.

ـ بازه کارکرد DC وسیع جهت استفاده از پنل‌های مختلف با ولتاژهای متفاوت

ـ تنظیم دقیق در مواجهه با نوسانات دمایی از سوی پنل‌ها

در این طراحی با توجّه به هندسه‌ی تفکیک شده ساختمان‌ها به ۱۳ محدوده‌ی سیم کشی (شکل۲)، از ۹ اینورتر استفاده‌شده است که هرکدام در شرایط مختلفی از توان در حالت کار هستند (شکل۳). تعداد پنل‌های ۲۳۰ واتی برای رسیدن به حداقل توان ۰/۵ مگاوات از مجموع پنل‌های قسمت‌های تفکیک شده به دست می‌آید، به طور مثال برای رشته‌ی ساختمان A با مساحت بام ۹۳۲ مترمربع (شکل ۲) با ۴۸۵ ماژول خواهیم داشت:

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

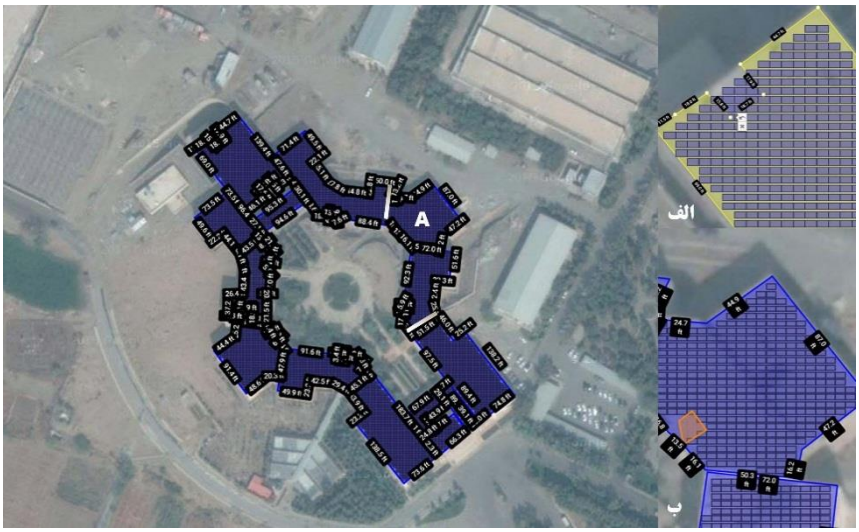
$$\text{تعدا ماژول‌های سری در رشته} = \frac{\text{ولتاژ ورودی نامی اینورتر}}{\text{ولتاژ نامی ماژول}} = \frac{480}{28.75} \approx 17$$

$$\text{تعداد رشته‌ها} = \frac{\text{تعداد ماژول‌ها}}{\text{تعداد ماژول در هر رشته}} = \frac{485}{17} \approx 29$$

البته مشابه محاسبات فوق برای قسمت‌های دیگر نیز به دست خواهد آمد. اما بهترین مسیر سیم کشی توسط نرم افزار HelioScope برای تمام بخش‌های ساختمان به صورت خودکار تعیین می‌گردد و به این ترتیب مجموع پنل‌ها به منظور تامین توان بیش از ۰/۵مگاوات برابر است با:

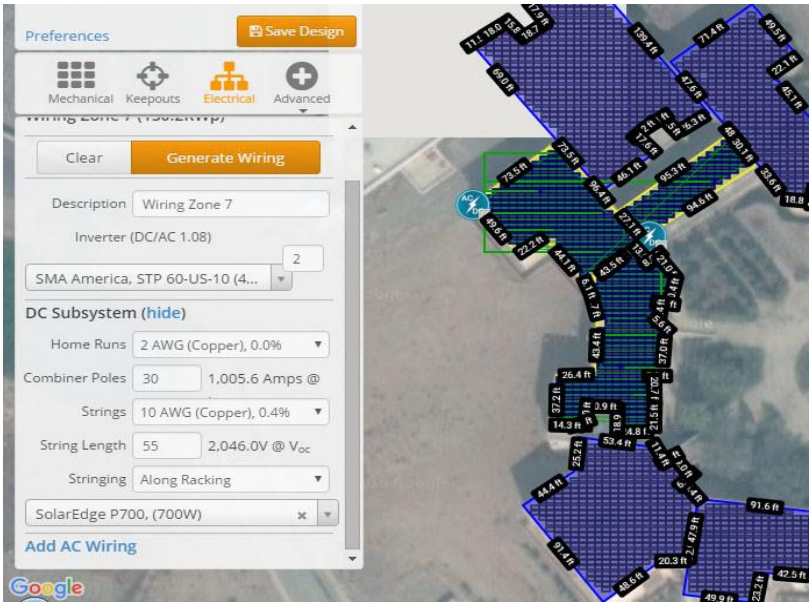
$$0.5\ MW \div 230W \approx 2174$$

تعداد پنل‌های جاسازی شده در فضای بام ساختمان‌ها با توجه به حذف مکان‌های غیرقابل استفاده (مسیرهای رفت و آمد و مساحت‌های اشغال شده با تجهیزات دیگر) و بهترین حالت چیدمان ماژول‌ها توسط نرم افزار ۲۰۳۵ بدست آمده است (شکل۳).



شکل ۲. تقسیم بندی ساختمان‌ها به ۱۳بخش، الف: حذف مساحت‌های غیر قابل استفاده، ب: حذف مساحت-هایی که توسط دیگر بناها تحت سایه نیم‌روزی قرار خواهند گرفت.(محیط نرم‌افزار HelioScope)

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

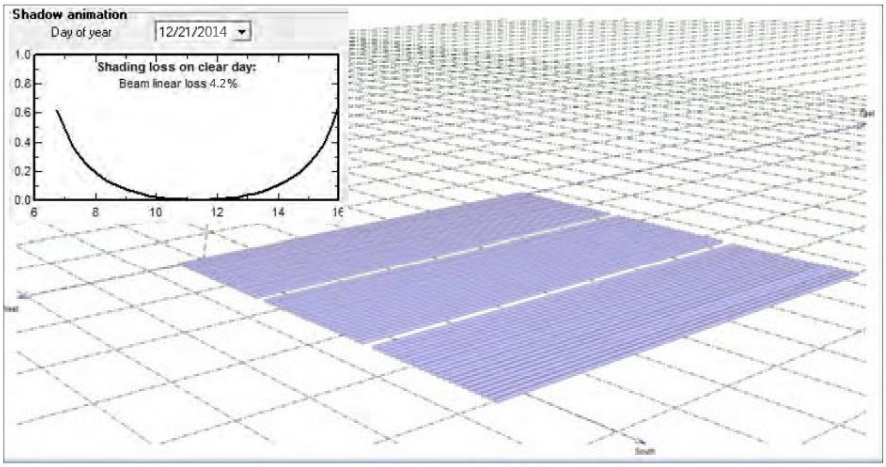


شکل ۳. شبیه‌سازی سیم‌کشی‌ها،تعیین اینورتر و مسیرهای بهینه‌ی سیم‌کشی در محیط نرم‌افزار HelioScope

فاصله بهینه پنل‌ها

فاصله بهینه پنل‌ها با توجه به سطح در دسترس در بام سایت اداری دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به میزان حدوداً ۱ هکتار ($۱۰۱۴۶ m^۲$) و زاویه شیب ۱۵ درجه کاملاً به سمت جنوب انتخاب شد. ابعاد پنل (mm ۴۵×۹۹۲×۱۶۵۰) انتخاب شده، بهترین برازش در حالت استقرار افقی تک ردیفه (شکل ۴) به منظور رسیدن به کمینه‌ی سایه و بیشینه عملکرد سطح دارد محاسبه می‌گردد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]



شکل ۴. شبیه‌سازی حالت استقرار افقی تک ردیفه و ارزیابی سایه پنل‌ها

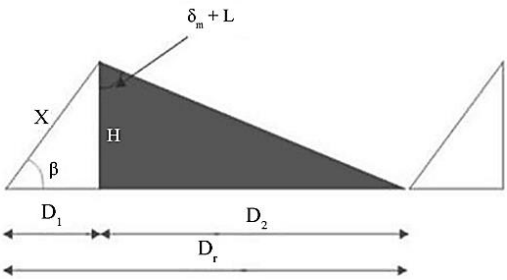
همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، میزان سایه مشاهده‌شده در کوتاه‌ترین روز سال که مایل‌ترین وضعیت تابش خورشید پدید می‌آید و در روزهای دیگر سال طول سایه‌ها کوتاه‌تر خواهد شد. نمودار شکل۴ نشان می‌دهد در محلی با موقعیت جغرافیایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در روز ۲۱ دسامبر (کوتاه‌ترین روز سال) سایه از ساعت ۷ صبح تا کمی پس از ۹ صبح به شکل کاهشی بر روی مجموعه پنل‌ها پدیدار می‌شود و از حدود ساعت ۹:۳۰ تا کمی پیش از ۲ بعدازظهر هیچ سایه‌ای وجود نخواهد داشت. از حدود ۲ بعدازظهر به بعد تا ۴ بعدازظهر که آفتاب در حال غروب است، مجدداً طول سایه رو به افزایش می‌رود.

با توجه به سطح در دسترس در بام ساختمان‌های دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس معادل ۱۰۱۴۶ مترمربع، ضمن حذف فضای غیر قابل استفاده و در نظر گرفتن مسیرهایی برای رفت و آمد (شکل۲)، ابعاد پنل و همچنین انتخاب زاویه‌ی شیب (tilt) معادل ۱۵درجه، فاصله‌ی بین ردیف‌ها از رابطه (۱) به دست خواهد آمد.

ماه آذر (دسامبر) خورشید در بحرانی ترین زمان، درکمینه‌ی ارتفاع و زاویه‌ی ۴۷ درجه قرار دارد، بنابر- این با فرض بیشترین طول سایه و عرض جغرافیای نیروگاه (L) که معادل عرض شمالی ۳۵/۴۴ می‌باشد، فاصله ایده‌ال بین پنل‌ها با توجه به شکل (۵) محاسبه می‌گردد:

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

$$D_1 = X \times \cos(\beta) = 1650 \times \cos(15) = 1593{,}77mm$$
$$H = X \times \sin(\beta) = 1650 \times \sin(15) = 427{,}05mm$$
$$D_2 = H \times \tan(\delta_m + L) = 992 \times \tan(47 + 35.44) = 3217{,}72mm$$
$$D_1 + D_2 = 4811{,}5mm$$



شکل۵. طول سایه در بحرانی ترین زمان و فاصله‌ی بین پنل‌ها

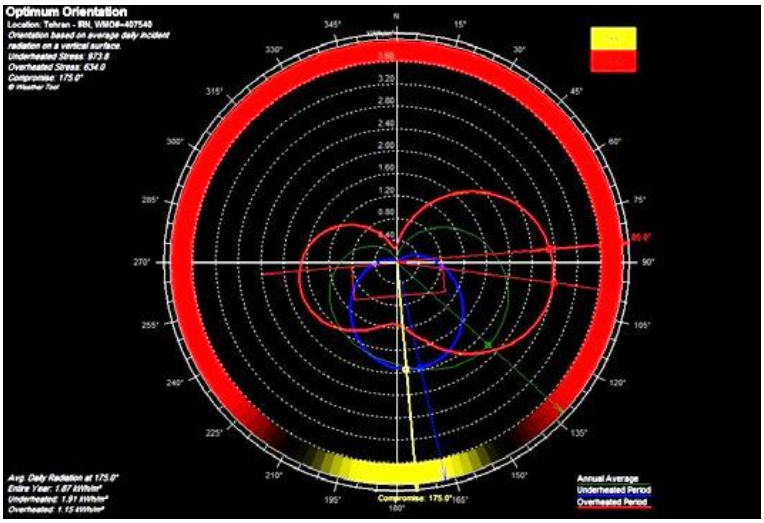
اگر فاصله‌ی بهینه‌ی بین ردیف‌ها (D_2) معادل ۳ متر در نظر گرفته شود، آن گاه تلفات حاصل از سایه‌اندازی در نیروگاه معادل ۴/۲ درصد و از تعداد پنل‌های مورد نیاز (با مشخصات جدول۱) جهت تامین توان ۰/۵ مگاوات (۲۱۷۴عدد) تعداد ۲۰۳۵ عدد آن در موقعیت بهینه قرار خواهند گرفت.

هندسه ساختمان

شهر تهران از نظر اقلیمی در منطقه نیمه خشک قرار داشته و از تابش سالانه‌ی مناسبی برخوردار است. بر اساس اطلاعات سازمان هواشناسی استان تهران، میانگین ساعات آفتابی سالانه در ایستگاه مهرآباد تهران (فاصله‌ی ۱۶ کیلومتر از دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس) طی دوره‌ی آماری، برابر ۳۰۲۵ ساعت به ثبت رسیده است[۱۶].

طراحی ساختمان اداری پردیس دانشگاهی سعی در ایجاد ساختمانی با معماری پایدار، ضمن حفظ نشان‌واره‌ی اصلی دانشگاه داشته است. تحلیل پلان ساختمان با توجه به انرژی حرارتی خورشید در عرض ۳۵/۴۴ و طول جغرافیایی ۵۱/۱۰ همانند نتایج منبع[۱۷]. بوده و با توجه به تشابه طول و عرض جغرافیایی قابل تعمیم می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]



شکل ۶. جهت‌گیری بهینه حاصل از تحلیل نرم‌افزار اکونکت[۱۶].

با توجه به شکل ۶ و تعمیم تحلیل نرم‌افزار اکونکت بر ساختمان اداری منبع [۱۶] در همان طـول و عرض جغرافیایی می‌توان نکات مهم زیر در مورد ساختمان اداری پـردیس دانشـگاهی بـا هندسـه‌ی خاص را استنتاج کرد:

دیوارهای جنوبی بیش‌ترین تابش آفتاب را در مهرماه (اکتبر) بـه میـزان ۹۰ کیلـووات سـاعت بـر مترمربع و کمترین مقدار آن در خردادماه (ژوئن) به میزان حدود ۲۱ کیلووات ساعت بر مترمربع دریافت می‌کند. این دیوارها از شهریور تا اسفند، تابش آفتاب را از طلوع تا غروب دریافت مـی‌کننـد و نیـاز بـه مصرف انرژی بیشتر به جهت تهویه مطبوع را افزایش می‌دهد.

- دیوارهای غربی بیشترین مقدار تابش آفتاب را در خردادماه (ژوئن) به میزان ۵۲ کیلووات سـاعت بـر مترمربع و کمترین مقدار آن در آذرماه (دسامبر) به میـزان حـدود ۸ کیلـووات سـاعت بـر مترمربـع دریافت می‌کنند.
- دیوارهای شمالی فقط بین فروردین تا شهریورماه صبح زود و آخرین ساعت‌های بعدازظهر در معرض تابش آفتاب قرار می‌گیرند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

- دیوارهای شرقی بیش‌ترین مقدار تابش آفتاب را در مردادماه (اوت) به میزان حدود ۸۰ کیلووات ساعت بر مترمربع و کمترین مقدار آن را در آذرماه (دسامبر) به میزان حدود ۱۳ کیلووات ساعت بر مترمربع دریافت می‌کنند، این دیوارها از طلوع آفتاب تا ساعت ۱۲:۳۰ پرتو آفتاب را دریافت می‌کنند.
- دیوارهای جنوب شرقی و جنوب غربی در فصل زمستان بیش‌تر از تابستان در معرض تابش آفتاب قرار می‌گیرند. در تابستان بیشینه‌ی تابش آفتاب به دیوارهای جنوب شرقی بین ۸ تا ۹ صبح و به دیوارهای جنوب غربی بین ساعت ۳ تا ۴ بعدازظهر می‌تابد. در فصل زمستان این ساعت‌ها به ترتیب ۹ تا ۱۰ صبح و ۲ تا ۳ بعدازظهر است.
- سطح بام و دیگر سطوح مسطح ساختمان‌ها، در تابستان بیش‌ترین و در زمستان کمترین مقدار تابش مستقیم آفتاب را دریافت می‌کنند، این مقدار در زمستان حتی کمتر از مقدار تابشی است که دیوارهای جنوب شرقی و جنوب غربی در این فصل دریافت می‌کنند.

۳. نتایج و بحث

با کمک هندسه‌ی ساختمان‌ها دریافت شده از بخش Geo-Location نرم‌افزار SketchUp و تحلیل آن توان کل قابل استحصال از بام ساختمان‌های اداری در حالت DC را معادل ۴۶۸/۱ kW توان AC با نسبت بار ۸۷٪ میزان ۵۴۰ kW نشان می‌دهد. همچنین قابلیت تولید توان سالانه این مجموعه ۷۳۵/۵ MWh و عملکرد آن ۷۹/۸٪ برای داده‌های هواشناسی ایستگاه ناسا با فاصله‌ی ۱۰ کیلومتر از موقعیت نیروگاه (دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس) و قابلیت استحصال توان از بام در حالت DC معادل ۴۶۸/۱kW و توان AC معادل ۵۴۰ kW با عملکرد نهایی ۷۸/۷٪ برای داده‌های ایستگاه هواشناسی مهرآباد با فاصله‌ی ۱۶ کیلومتر از دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به دست آمد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

جدول ۳. نتایج مطالعات طراحی نیروگاه متصل به شبکه با توجه به داده‌های هواشناسی دو ایستگاه

مقادیر	ایستگاه هواشناسی مهرآباد	ایستگاه هواشناسی مجازی ناسا
قابلیت تولید توان (kW)DC	۴۶۸/۱	۴۶۸/۱
قابلیت تولید توان AC اینورتر با نسبت بار ۸۷ ٪(kW)	۵۴۰/۰	۵۴۰/۰
تولید سالانه‌ی توان(MW)	۷۳۵/۳	۷۲۴/۷
عملکرد(٪)	۷۹/۸	۷۸/۷

نتایج حاصل از شبیه‌سازی بسیار مشابه و در مواردی کاملاً یکسان در متغیرهای کلیدی هستند که دقت در داده‌های هواشناسی در دو ایستگاه و همچنین قابلیت اطمینان داده‌های ایستگاه هواشناسی مجازی ناسا را نشان می‌دهد. درصد عملکرد مربوط به شبیه‌سازی با داده‌های هواشناسی ایستگاه مهرآباد به میزان ۱/۱٪ بیش‌تر از شبیه‌سازی با داده‌های هواشناسی ناسا را نشان می‌دهد و این اختلاف ناچیز ممکن است به دلیل داده‌های محدودتر ایستگاه مهرآباد (تا سال ۱۳۷۴) باشد.

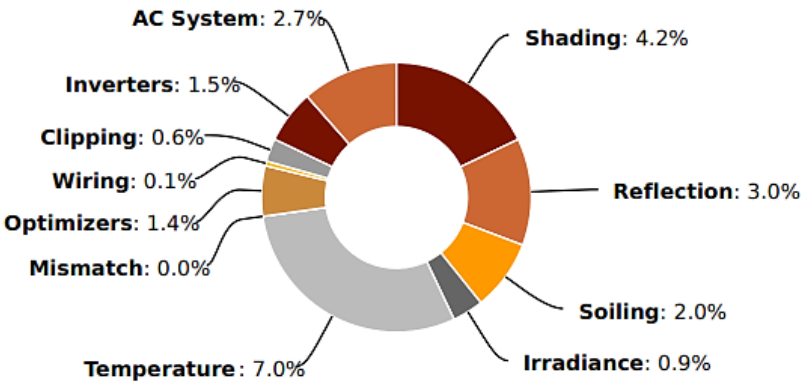
قابلیت تولید توان اینورتر با نسبت بار ۸۷ ٪ نشان می‌دهد نیروگاه قابلیت تولید ۰/۵ مگاوات و حتی بیشتر از آن را نیز دارد.

به‌منظور رسیدن به داده‌هایی با قابلیت اطمینان بیشتر در قسمت سایه‌اندازی و استقرار پنل‌ها، زاویه شیب ۱۵ درجه و کاملاً به سمت جنوب انتخاب گردید. با حذف تعدادی از پنل‌ها به منظور ایجاد مسیرهایی برای رفت آمد تعمیرکاران و مهندسان، نهایتا تعداد پنل‌های قابل استفاده به ۲۰۷۴ عدد پنل رسید.

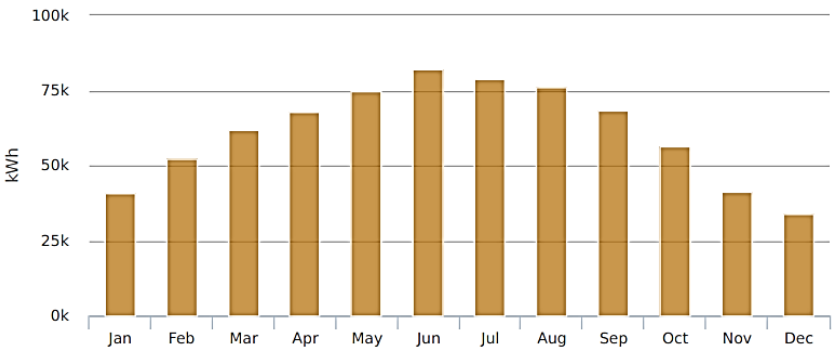
با توجّه به اشاره مفصل قابلیت تولید توان از دیوارها در جهت‌های مختلف، اما محاسباتی به‌منظور نصب پنل روی دیوارها صورت نگرفته است، چرا که بام حتی با حذف تعدادی از پنل‌ها قابلیت تولید توان بیش از ۰/۵ مگاوات را دارد. درصورتی‌که به دلیل افزایش مصرف قصد افزایش توان نیروگاه وجود داشته باشد، آن گاه می‌توان از دیوارهای ضلع جنوبی و دیوارهای جنوب شرقی و جنوب غربی برای نصب پنل‌های بیشتر استفاده گردد، چراکه با توجه به توضیحات بند ۲,۲. ۲ بیش‌ترین تابش در سطح آن‌ها در فصل تحصیل (تراکم جمعیتی دانشجویان، کارکنان و اساتید) و ساعات اداری (توضیحات

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

نمودار شکل۴) می‌باشد. شکل ۷ و شکل ۸ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی اتلاف بخش‌های مختلف در نیروگاه و قابلیت تولید توان به تفکیک ماهانه می‌باشد.



شکل ۷. اتلاف توان بخش‌های مختلف نیروگاه



شکل ۸. نمودارهای عملکرد تولید توان در ماه‌های مختلف سال

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

نمودارهای شکل ۶ به‌خوبی نشان می‌دهد بیشترین اتلاف توان در بخش دما بوده و این بخش متأثر از داده‌های هواشناسی می‌باشد ضمن این که به جهت رسیدن به بیشینه‌ی عملکرد نیروگاهی در بام سایت اداری دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس نیاز به تعیین فاصله محدود ردیف‌های پنل-ها (۳۰۰ سانتی‌متر) و همپوشانی قاب آن‌ها (با رعایت فاصله‌ی ۰/۸ سانتی‌متر) بوده است، این امر موجب کم شدن جریانات همرفتی و نهایتاً اتلاف دمایی بیشتر گردیده است.

کمترین میزان اتلاف در قسمت سیم‌کشی‌ها و عدم تطابق است، این موضوع نشان می‌دهد انتخاب اینورترها، مسیرهای سیم کشی و حذف مساحت‌های غیرقابل درسترس به درست بوده و هر بخش ساختمان‌ها می‌تواند از ترانسفورماتور نزدیک به بام خود، لود الکتریکی AC مورد نیاز خود را دریافت کند.

۵. تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله نویسندگان این تحقیق از همه‌ی اساتید گروه معماری و برق دانشگاه تربیت مدرس که در پیشبرد اهداف پژوهشی این تحقیق کمک و یاری داشتند، همچنین از دانشگاه تربیت مدرس به جهت در اختیار قرار دادن داده‌های مربوط به هندسه‌ی ساختمان کمال تشکر را دارند.

منابع

[۱] اکبری، ح "طراحی ساختمان اداری با صرفه جویی انرژی با استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی," دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر تهران, تهران, ۱۳۹۰.

[۲] کاظمی کارگر، حسین و مهدی نوروزی، پنل‌های فتوولتاییک، آشنایی، اصول و طراحی, تهران: آراد کتاب, ۱۳۸۹.

[۳] صالحی قلعه سفید س. س.، م. دهقانی, ع. ر. توکلی و م. ارفاق، "مطالعه تاثیر شرایط محیطی بر روی بازده سلول‌های خورشیدی در استان خوزستان و ارائه راهکارهایی برای بهبود عملکرد آن ها" پروژه تحقیقاتی شرکت برق منطقه ای خوزستان, خوزستان, ۱۳۹۰-۱۳۹۱.

[۴] اکرامی ع. و م. صادقی، "ارزیابی اقتصادی توسعه نیروگاه‌های خورشیدی با توجه به ملاحظات زیست محیطی," *فصل نامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*, 10 ,44-51 .pp تابستان ۱۳۸۷.

[۵] عتابی ف.، ا. موسی زاده نمینی و آ. رسولی، "کاهش انتشار گازهای گلخانه ای با استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک در ساختمان‌های مسکونی," در *نخستین همایش ملی انرژی باد و خورشید*, تهران, ۱۳۹۰.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

[۶] بهادری نژاد م. و ح. ا. صفرزاده، "طراحی یک ساختمان بی نیاز از انرژی فسیلی در تهران(ساختمان سبز)," در *دومین همایش بین المللی بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان*, تهران, ۱۳۸۱.

[۷] جوادی م.، ا. جلیل وند، ر. نوروزیان و م. ولی زاده، "طراحی بهینه و مدیریت هوشمند انرژی سیستم هیبرید مستقل از شبکه برای مناطق روستایی" *نشریه انرژی ایران*, جلد ۱۳, شماره ۴, ۱۳۸۹

[۸] شمس م. ح.، م. کیا و ب. مهدوی، "مطالعات طراحی بهینه یک نیروگاه فتوولتائیک ۱۰۰ کیلوواتی متصل به شبکه در تهران با استفاده از نرم افزار PVsyst" *نشریه انرژی ایران*, شماره ۲, pp. 15-30, 1392.

[۹] ربیعی م.، "تامین سه درصد از کل انرژی کشور با منابع تجدید پذیر," *ماهنامه بین المللی آموزشی، پژوهشی تحلیل و اطلاع رسانی پیام سبز*, شماره ۱۰۶, ۱ آبان ۱۳۹۱.

[۱۰] شفیعی م.، ر. فیاض و ش. حیدری، "فرم مناسب ساختمان بلند برای دریافت انرژی تابشی در تهران," *نشریه انرژی ایران*, جلد ۱۶, شماره ۴, pp. 47-60, 1392.

[۱۱] محمودی م.، صادقی م. ت. و ف. فرهادپور، "شناسایی رژیم‌های جریان دو فازی و محاسبه افت فشار در چاه‌های تحت فرازآوری با گاز," *نشریه پژوهش نفت*, شماره ۶۸, صفحه ۷۰–۵۷ ، ۱۳۹۰.

[۱۲] هوشنگی ن.، ع. ا. آل شیخ و ح. هلالی، "بررسی منطقه ای پتانسیل تابش خورشیدی با ارزیابی و بهینه سازی روش‌های درون یابی در سطح کشور," جلد سال چهارم, pp. 1-16, زمستان ۱۳۹۳.

[13] IEA, "weo2010," 2010. [Online]. Available: http://www.iea.org/weo2010.

[14] http://www.epia.org.

[15] IEA, "weo2014," 2014. [Online]. Available: http://www.worldenergyoutlook.org.

[16] Eric M., "Renewable Energy Markets In Developing Countries" Renewable Energy World, vol. 6, pp. 309-348, 2002.

[17] Mirzahosseini S. A. and T. Taheri, "Environmental, Technical and Financial feasibility study of Solar Power Plant by RET Screen,According to the Targeting of Energy Subsidies in Iran" Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, no. 5, pp. 2806-2811, 21 march 2012.

[18] http://www.yinglisolar.com/.

[19] http://www.files.sma.de/dl/25977/STP60-US_EXP_DUS151619W.pdf.

[20] http://www.RETScreen.net.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]

[21] Burger B. and R. Ruter, "Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature" vol. 80, pp. 32-45, 2006.

[22] Pavan A. M., A. Mellit and D. De Pieri, "The effect of soiling on energy production for large-scale photovoltaic plants" vol. 85, pp. 1128-1136, May 2011.

[23] Hussam S. M., "Design and Implementation of a Solar Power System in Rural Haiti" MMIV, 2004.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-25]