

تحلیل فنی و اقتصادی روشنایی فتوولتائیک سطح معابر (مطالعه موردی دانشگاه بزرگمهر قائنات)

محمد حسن مظلوم^{۱*}، حمید مرتضی پور^۲، سید احسان شکیب^۳.

- ۱- گروه مهندسی مکانیک- دانشکده مهندسی- دانشگاه بزرگمهر قائنات- قائن- ایران.
- ۲- گروه مهندسی مکانیک- دانشکده مهندسی- دانشگاه بزرگمهر قائنات- قائن- ایران.
- ۳- گروه مهندسی مکانیک- دانشکده مهندسی- دانشگاه بزرگمهر قائنات- قائن- ایران.

فتوولتائیک مستقل و منفصل از شبکه (به صورت سامانه پراکنده) تأمین شد، نتایج نشان داد که استفاده از هر دو سامانه، توجه اقتصادی ندارد و دلیل آن ارزان بودن انرژی در کشور است. در صورتی که دولت دو بخشنامه خود مبنی بر اجبار ادارات و نهادها در تأمین ۲۰ درصد انرژی مصرفی شان با سامانه های فتوولتائیک و تجهیز ادارات به دیزل ژنراتور برای تأمین انرژی برق در راستای پدافند غیرعامل را اعمال کند، این حالت ها توجه اقتصادی خواهند داشت. پس از محاسبات فنی و تحلیل اقتصادی بر حسب قیمت های روز بازار، سامانه فتوولتائیک متمرکز به منابع مالی کمتری هم در بخش روشنایی و هم در بخش انرژی به نسبت سامانه فتوولتائیک پراکنده، احتیاج داشت.

چکیده

در عصر حاضر، بحث انرژی فسیلی برای سیاستمداران کشورهای نفت خیز به عنوان یک اهرم فشار بر سایر جوامع برای تحقق اهداف راهبردی مورد استفاده قرار می گیرد و اگر بحث اقتصاد به آن اضافه شود، این اهرم فشار، قدرت بسیار بالاتری خواهد داشت. مصرف سوخت های فسیلی با آلوده کردن محیط زیست و پدیده گرمایش جهانی، وضعیت ناپایداری را برای کره زمین ایجاد کرده است و زندگی تمام انسانها تحت تاثیر آن قرار گرفته است، لذا باید ملّتها با استفاده از انرژی های در دسترس و رایگان، نیاز خود را به انرژی فسیلی کمتر کنند. شهر قاین با شدت تابش ۶ کیلووات ساعت در روز از شرایط خوبی برای استفاده از این انرژی رایگان و همیشه در دسترس برخوردار می باشد. هدف از تهیه این مقاله، تحلیل فنی و اقتصادی و زیست محیطی استفاده از روشنایی فتوولتائیک در معابر دانشگاه بزرگمهر قائنات با متوسط مصرف ۲۶۴۰ وات ساعت در شبانه روز برای ۴۴ عدد لامپ با انرژی مورد نیاز هر کدام ۶۰ وات- ساعت می باشد، که با استفاده از دو روش انجام شد. این روش ها با نرم افزار PVsyst اجرا و تحلیل شدند. در روش اول، یک سامانه فتوولتائیک متمرکز منفصل از شبکه به صورت یک نیروگاه کوچک وظیفه تأمین انرژی مورد نیاز را به عهده داشت و در روش دوم، وظیفه تأمین انرژی هر تیر چراغ، توسط یک سامانه منفصل از شبکه

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۲

واژه های کلیدی:

صفحه فتوولتائیک، متمرکز، پراکنده.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: mh_mazloom@buqaen.ac.ir

۱. مقدمه

کاهش سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های زیست‌محیطی حاصل از استفاده از این نوع سوخت‌ها باعث توجه زیاد به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان جایگزین یا مکمل این سوخت‌ها شده است. استفاده مفید از انرژی برق و بهینه‌کردن مصرف آن، هم به دلیل بالا بودن هزینه و هم به دلیل محدودیت منابع و امکانات تولید از مسائل مهم انرژی در دنیا است [۱]. می‌توان نقاط ضعف سامانه‌های روشنایی در نقاط مختلف کشور را رعایت نکردن استاندارد روشنایی، مصرف انرژی بالا و کیفیت تجهیزات روشنایی پایین دانست، از این رو، ارائه روش‌های علمی و عملی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه‌های سیستم‌های روشنایی، امری الزامی است. یکی از بخش‌های قابل توجه تقاضای برق از نظر بزرگی توان دریافتی و مصرف انرژی، به خصوص، در ساعت‌های بیشینه‌بار، روشنایی و از جمله روشنایی معابر است.

یک چالش در بخش روشنایی و در بخشی که تغییرات سریع فناوری را تجربه می‌کند، تصمیم‌گیری در مورد زمان جایگزینی تجهیزات موجود با فناوری‌های جدید است. تکامل سریع فناوری روشنایی همراه با اهمیت روزافزون بهره‌وری انرژی، مسئولین را بر آن داشته است که تصمیم‌گیری سریع در تغییر به سمت روشنایی با راندمان بالاتر را اتخاذ کنند [۲].

طبق آمار تفصیلی صنعت برق ایران در سال ۱۴۰۰، حدود ۱/۶ درصد از برق مصرفی کشور مربوط به روشنایی معابر بوده است و همچنین طبق آمار ماهانه صنعت آب و برق کشور در اسفند سال ۱۴۰۱ ظرفیت کل نیروگاه‌های تجدیدپذیر نسبت به سال قبل ۲/۴ درصد افزایش داشته است و به ۱۰۲۸ مگاوات رسیده است [۱]. از این مقدار، ۴۳۹ مگاوات مربوط به سامانه‌های فتوولتائیک می‌باشد. افزایش بی‌رویه و نامتنا سب مصرف انرژی برای روشنایی معابر، به همراه سایر بارهای شبکه، با توجه به مسئله کمبود ظرفیت‌های تولید و نبود توانایی لازم در تأمین کامل و پیوسته تقاضای انرژی الکتریکی به‌خصوص، در ساعت‌های بیشینه‌بار، مشکلات صنعت برق را تشدید می‌کند. با توجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف آنها، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و به خصوص انرژی فتوولتائیک امری ضروری شده است. امروزه انرژی خورشید، یکی از پاک‌ترین منابع انرژی موجود در زمین به‌شمار می‌آید [۱].

سامانه‌های فتوولتائیک یک فناوری هوشمندانه و سازگار با محیط زیست هستند که با هدف راحت‌تر نمودن زندگی انسانی و رها شدن از شبکه فناوری‌هایی که انسان در آنها محصور شده، ایجاد شده‌اند.

یکی از مزایای سامانه فتوولتائیک، کارکردن آنها در هر نوع آب و هوایی است. در واقع صفحات فتوولتائیک قادر هستند در تمام

شرایط آب‌وهوایی، حتی برفی، بارانی، بارش تگرگ و یا طوفانی برق تولید کنند. چون کافی است تنها مقداری از نور خورشید را دریافت کنند [۷].

در تحقیقی، تحلیل اقتصادی استفاده از سامانه روشنایی فتوولتائیک برای پارک‌ها در ایران انجام شد. در نهایت، دوره بازگشت سرمایه برای جایگزین کردن سامانه روشنایی موجود با فتوولتائیک در ایران حدود ۶ سال برآورد گردید و بیان شد که چنانچه پارانه‌های بالای انرژی کم شود، توجیه اقتصادی سامانه‌های فتوولتائیک بیشتر خواهد شد [۲].

در تحقیقی دیگر، در دانشگاه سلطان قابوس عمان، ثابت شد که جایگزین کردن سامانه روشنایی خیابانی متصل به شبکه برق شهری، به طول ۸/۶ کیلومتر با ۲۸۵ لامپ ۴۰۰ وات، با سامانه فتوولتائیک با لامپ ۸۰ وات (led)، انتشار دی‌اکسید کربن را سالانه ۱۳۳/۵۹۵ تن کاهش می‌دهد. همچنین، تجزیه و تحلیل هزینه چرخه عمر و هزینه تولید هر کیلووات‌ساعت برای دو پیکربندی مختلف صفحه و باتری، اولی با صفحه و باتری با اندازه بزرگتر و دومی، صفحه خورشیدی و باتری با اندازه کوچکتر انجام گردید و مشخص شد، هزینه هر کیلووات ساعت انرژی تولید شده با سامانه صفحه خورشیدی و باتری بزرگ، ۰/۰۸ دلار است. در حالی که برای سامانه‌های خورشیدی کوچک، ۱۹/۹ دلار می‌باشد [۳].

در تحقیق دیگر در دانشگاه کوپانگ^۱ اندونزی، در خصوص امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و اجتماعی، استفاده از سامانه فتوولتائیک در محوطه دانشگاه مشخص شد علاوه بر صرفه‌جویی ۸۵ درصدی در مصرف انرژی، می‌توان از محل این صرفه‌جویی، نورپردازی بیشتر و زیباتر دانشگاه و تأثیر آن در دسترسی راحت‌تر به حمل و نقل، نظم در محوطه دانشگاه، جلوگیری از ایجاد خراب‌کاری، حمایت از مناسک مذهبی، حمایت از فعالیت‌های دانشجویان در اطراف محوطه دانشگاه را انجام داد [۴].

مطالعه دیگری در کشور لیبی، در خصوص توجیه استفاده از انرژی خورشیدی، با توجه به دریافت بالای تابش خورشید و هزینه مناسب نصب، تعمیر و نگهداری سامانه‌های فتوولتائیک و انتشار کربن کمتر، انرژی خورشیدی را در منطقه دریای مدیترانه، بهترین گزینه برای نسل آینده برق معرفی کرد و پیشنهاد شد یک نیروگاه بزرگ در این کشور احداث گردد [۵].

در تحقیقی دیگر در شهری تاریخی بنام کونکا آدرکشور اکوادور نشان داده شد که با تغییر سامانه روشنایی معابر به فتوولتائیک و

همچنین تغییر در نوع لامپ‌های مورد استفاده، کاهش انتشار زیادی از آلاینده‌های مضر برای آثار تاریخی حاصل می‌شود [۶].

به طور کلی، سامانه‌های فتوولتائیک در هر جایی که رو شنایی روز وجود دارد کار می‌کنند. سامانه‌های روشنایی فتوولتائیک به دلیل نداشتن قطعات متحرک و عدم نیاز به کابل کشی طولانی در دسترسی به منبع تأمین‌کننده انرژی الکتریسیته، محدودیت نصب نداشته و از آنها در مکان‌های مختلف جغرافیایی مانند کوه، دریا، جنگل، حاشیه جاده‌ها و غیره می‌توان استفاده نمود [۷]. با استفاده از این سامانه‌ها در رو شنایی معابر، می‌توان گامی بلند در راستای اصلاح الگوی مصرف برداشت [۲]. به طور کلی، صفحات فتوولتائیک عمر طولانی، بین ۲۰ تا ۳۰ سال دارند. البته کیفیت ساخت در طول عمر آنها مؤثر است [۷].

از آنجاکه سامانه‌های فتوولتائیک، قطعات متحرکی ندارد و تنها نیاز نگهداری آنها تمیز کردن است؛ بنابراین نگهداری از آنها بسیار آسان و کم هزینه می‌باشد، به طوری که هزینه آن حدود صفر در نظر گرفته می‌شود. با توجه ضرورت استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک به عنوان راه حل مشکلات انرژی دنیا در آینده و روند کاهشی هزینه‌های احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک، در تحقیق حاضر، امکان سنجی استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک برای روشنایی معابر دانشگاه بزرگمهر قائنات به روش‌های مختلف مورد نظر قرار گرفت. اگر چه، تاکنون تحلیل روشنائی فتوولتائیک معابر، در تحقیقات مختلف بررسی شده است، مطالعه منابع پیشین، حاکی از آن است که گزارشی در خصوص مقایسه فنی و اقتصادی روش‌های مختلف روشنائی فتوولتائیک معابر شامل متمرکز و پراکنده در ادبیات پیشین وجود ندارد. بر این اساس، هدف اصلی تحقیق حاضر، مقایسه فنی و اقتصادی حالت‌های متمرکز و پراکنده روشنائی فتوولتائیک برای معابر (به صورت موردی معابر دانشگاه بزرگمهر قائنات) می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

هر سامانه روشنایی خورشیدی شامل دو بخش، روشنایی و بخش انرژی است که انجام هر کدام نیاز به اطلاعات اولیه متفاوتی دارد. در این مطالعه، برای بخش روشنایی اطلاعات اولیه و ضروری با استفاده از استاندارد ۶۱۴ نظام مهندسی و محاسبات میدانی تهیه شد جدول (۱) و برای بخش انرژی نیز با استفاده از سایت‌های هواشناسی معتبر بین المللی و بازدید میدانی، اطلاعات مورد نیاز اولیه آماده شد. جدول (۲).

جدول ۱: اطلاعات اولیه مورد نیاز طراحی یک سامانه روشنائی فتوولتائیک (بخش روشنایی).

ردیف	نوع اطلاعات
۱	تعیین سطح و طبقه روشنایی مورد نیاز معابر
۲	انتخاب چراغ با شار، لوکس، منحنی و ایمنی مناسب
۳	تعیین تعداد، مشخصات فنی و نوع چیدمان پایه چراغ‌ها

جدول ۲: اطلاعات اولیه مورد نیاز طراحی یک سامانه روشنائی فتوولتائیک (بخش انرژی خورشیدی).

ردیف	نوع اطلاعات
۱	فایل کامل هواشناسی منطقه جهت تحلیل در نرم افزار
۲	شدت تابش روی سطح افق و شیب‌دار (زاویه فرضی)
۳	بررسی سایه‌های دور و نزدیک منطقه
۴	محاسبه کمینه و بیشینه دمای صفحات فتوولتائیک
۵	تعیین نوع پوشش معابر و ضریب انعکاس آن
۶	محاسبه اطلاعات زمانی طلوع و غروب خورشید

در این مطالعه، از سایت‌های هواشناسی معتبر جهانی شامل: گلوبال سولار اطلس^۱ و متئونرم^۲ استفاده و متوسط شدت تابش خورشید در محل مورد نظر محاسبه شد. این محاسبات، برای هر دو حالت متمرکز و پراکنده انجام شد. با استفاده از سایت هواشناسی گلوبال سولار اطلس، شدت تابش مستقیم، شدت تابش کل روی سطح افق، شدت تابش پراکنده و در نهایت شدت تابش کل بر روی سطح شیب‌دار با زاویه فرضی ۳۳ درجه محاسبه گردید. جدول (۳). جهت اطمینان از اطلاعات ذکر شده با استفاده از سایت هواشناسی متئونرم، بیشینه شدت تابش در منطقه ۲۴۶۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در سال محاسبه شد.

جدول ۳: گزارش سایت گلوبال اطلس از شرایط تابش.

ردیف	مقدار سالیانه	نوع گزارش
۱	۱۸۵۶/۴ (Kwh/kwp)	توان خروجی
۲	۲۱۳۵/۹ (Kwh/m2)	تابش مستقیم
۳	۲۰۶۶/۴ (Kwh/m2)	تابش روی سطح افق
۴	۷۲۸/۹ (Kwh/m2)	تابش پراکنده
۵	۲۳۵۲/۶ (Kwh/m2)	تابش روی سطح شیب

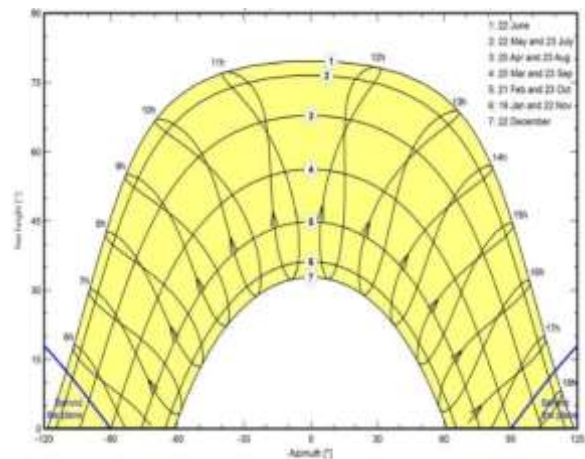
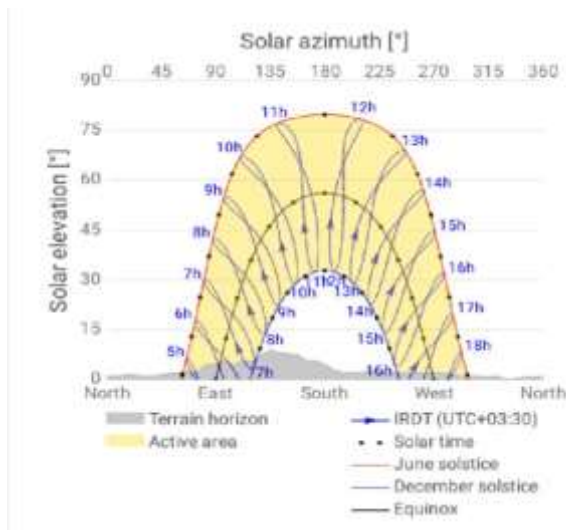
^۱ Global solar atlas.

^۲ Meteonorm (meteo).

۲۲/۵۴	۲۳۱/۴	شهریور	زوایای شیب و سمت	شیب ۳۳ و سمت ۱۸۰ درجه	۶
۱۷/۳۲	۲۱۸/۱	مهر	دمای هوا	۱۵/۹ درجه سلسیوس	۷
۹/۹۶	۱۸۹/۵	آبان	ارتفاع از سطح دریا	۱۴۶۳ متر	۸
۵/۴۷	۱۷۵/۵	آذر			
۱۶/۸۸	۲۴۳۶/۳	کل سال			

منحنی تابش خورشید، جهت تحلیل حرکت خورشید در تمام طول سال از سایت هواشناسی متئونرم دریافت شد. شکل (۱). این منحنی، اطلاعاتی کاربردی از نحوه حرکت خورشید و مقدار زاویه نور خورشید نسبت به زمین در ساعات مختلف روز و در تمام طول سال ارائه کرد.

وضعیت کوه‌های منطقه برای تعیین مقدار سایه در ساعات‌های مختلف روز، مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت. این کار به صورت میدانی و بازدید از محل و همچنین استفاده از نرم افزار گلوبال سولار اطلس انجام شد. شکل (۲).



شکل ۱: منحنی حرکت خورشید در طول سال قائنات.

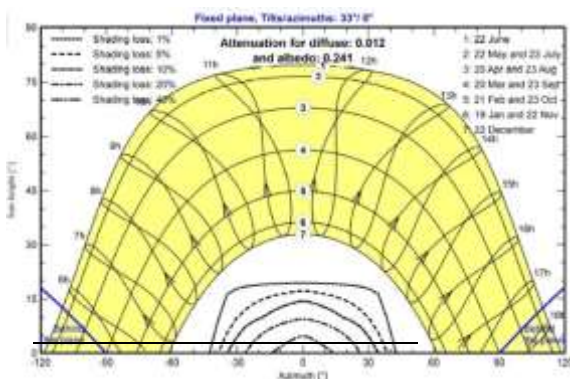
گزارش متوسط دماهای مختلف در طول سال به همراه مقدار شدت تابش متوسط بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع از سایت هواشناسی متئونرم دریافت شد. جدول (۴).

شکل ۲: نمودار تأثیر سایه‌های دور بر عملکرد

برای تحلیل سایه‌های نزدیک، به طور مثال، ساختمان‌ها و درخت‌ها، در قسمت سایه‌های نزدیک^۱ از نرم افزار هواشناسی متئونرم، استفاده شد. تحلیل سایه‌های نزدیک بر روی سامانه خورشیدی با اندازه‌های واقعی ساختمان‌ها و موانع موجود در دانشگاه انجام شد، تا قبل از نصب سیستم مشخص شود که این موانع مختلف چقدر سایه و در چه زمان‌هایی روی صفحات خورشیدی ایجاد خواهند کرد. شکل (۳) و شکل (۴).

جدول ۴: متوسط دما و شدت تابش خورشید در منطقه

ماه	شدت تابش	دما
(کیلووات ساعت بر متر مربع) (سلسیوس)		
دی	۱۷۵/۵	۴/۱۷
بهمن	۱۷۱/۵	۶/۵۰
اسفند	۱۸۸/۵	۱۲/۳۱
فروردین	۱۹۹/۱	۱۷/۷۳
اردیبهشت	۲۰۸/۳	۲۳/۵۳
خرداد	۲۱۷/۳	۲۷/۰۶
تیر	۲۲۸/۰	۲۸/۷۰
مرداد	۲۳۳/۲	۲۶/۴۴



1. Near shadings.

خورشیدی، مناسبات آب و هوای منطقه و همچنین در مقدار تلفات بخش‌های مختلف سامانه و سعی در کاهش هرکدام از آنها تأثیر بسزایی در افزایش تولید انرژی داشت. وضعیت دمای پنل‌ها در

تمام طول سال با شدت تابش‌های مختلف محاسبه شد و با شرایط استاندارد^۵ مقایسه شد.

جهت محاسبه دقیق‌تر تجهیزات مورد نیاز در یک سامانه خورشیدی متمرکز یا پراکنده، دو احتمال در نظر گرفته شد: اول، وجود تعداد روزهای ابری پیاپی در منطقه و دوم، درصد مجازی که سامانه اجازه دارد خاموش شود^۶ و مشکلی ایجاد نگردد.

در این مطالعه، تعداد روزهای ابری پیاپی ۱/۵ روز و احتمال کم آوردن سامانه (lol)، ۴٪ برای هر دو حالت سامانه متمرکز و پراکنده به صورت یکسان در نظر گرفته شد. این اعداد با بررسی آب و هوای منطقه و همچنین بررسی شرایط امنیتی، اقتصادی و نوع رفت و آمد و دریافت مجوز خاموشی سیستم با احتمال ۴ درصد در سال، از دفتر طرح و برنامه دانشگاه، به دست آمد.

با استفاده از فرمول‌های مختلف محاسبات سیستم‌های خورشیدی، به‌طور مثال مشخصاتی مثل توان صفحات خورشیدی (P) و ظرفیت باتری‌های خورشیدی (C) نوع شارژ کنترل، نوع اینورتر و نوع کابل سامانه محاسبه شد. فرمول:

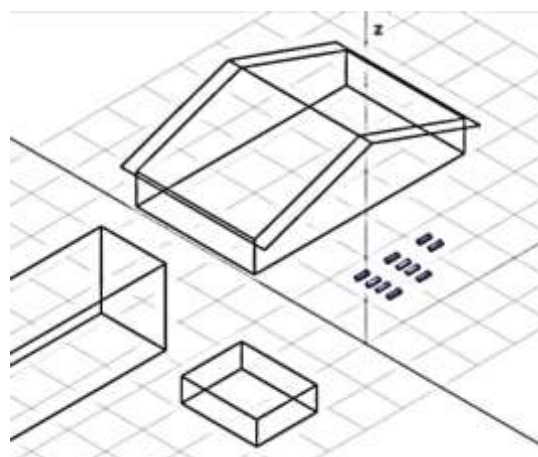
$$P = \frac{E_{cons}}{0.76 * psh} C = b * \frac{E_{cons} * f}{V_{sys}} \quad (2)$$

مقدار توان و تعداد چراغ روشنایی به‌عنوان ورودی‌های اصلی در بخش انرژی نیاز بود که برای این کار، نقشه و پلان معابر اصلی تهیه شد و طول و عرض آنها محاسبه شد. این اعداد برای تعیین مقدار روشنایی در نرم‌افزار دایالوکس بسیار مهم بود، ولی برای کامل شدن اطلاعات مورد نیاز این نرم‌افزار سطح و طبقه روشنایی مورد نیاز معابر نیز با کمک استاندارد ۶۱۴ نظام مهندسی کشور در حوزه روشنایی معابر و همچنین تحلیل فنی آن با نرم‌افزار (Pvsyst) انجام گردید. برای تعیین سطح روشنایی به چند سؤال نرم‌افزار، به‌طور دقیق پاسخ داده شد: ۱- سرعت متداول کاربر اصلی چقدر است؟ ۲- چه نوع کاربری در این معابر حرکت می‌کند (موتوری، دوچرخه، عابر پیاده)؟ ۳- مشخصات کاربر فرعی که در این معابر حرکت می‌کند چیست؟ ۴- آیا کاربرهای غیر مجازی هم وجود خواهند داشت یا خیر؟

در ادامه برای تعیین طبقه روشنایی به ۱۰ سؤال مختلف از جمله: ۱- نوع آب و هوای غالب در این منطقه چگونه است؟ ۲- آیا معابر دارای عوارض هستند؟ ۳- درخشندگی محیط پیرامون چگونه است؟

شکل ۳: منحنی تأثیر سایه‌های نزدیک بر عملکرد

در این منطقه، بهترین زاویه شیب^۱ صفحات خورشیدی، عدد ۳۳ و بهترین زاویه سمت^۲، عدد صفر یا ۱۸۰ درجه (به‌طور کامل به سمت جنوب) تعیین شد [۷]. وجود این زوایا در صفحات خورشیدی، تولید حدود ۲۴۳۶ کیلووات بر مترمربع را به همراه داشت. در همین مرحله با توجه به اطلاعات موجود، متوسط تابش روزانه منطقه نیز، عدد ۶ محاسبه و به عنوان عدد (psh)^۳ محاسبه شد.



شکل ۴: محل نصب سامانه خورشیدی متمرکز

برای اینکه مشخص شود صفحات خورشیدی خریداری شده توانایی کار در شرایط محیطی دانشگاه را دارند، بیشینه و کمینه دمای سلول‌های صفحات خورشیدی با در نظر گرفتن دمای محیطی دانشگاه محاسبه شد. با استفاده از اطلاعات هواشناسی منطقه در بخش دیتابیس نرم‌افزار (Pvsyst) و دمای سلول‌های خورشیدی اعلام شده توسط کارخانه تولیدی در شرایط (NOTC)^۴، دمای واقعی سلول‌های خورشیدی در بیشینه و کمینه دمای محیط محاسبه شد. رابطه:

$$T_c = T_{amp} + (T_{noct} - 20) * G / 800 \quad (1)$$

کمینه دمایی که در این منطقه ثبت شده و همراه تابش نیز بود، منفی ۸ درجه با تابش ۳۰۹ وات بر مترمربع و بیشینه دمای ثبت شده منطقه، مثبت ۳۹ درجه سلسیوس که تابش همزمان ۱۰۰۰ وات بر متر مربع داشت.

بیشینه و کمینه دمای سلول خورشیدی در انتخاب نوع صفحات خورشیدی بسیار حائز اهمیت بود. دقت در انتخاب صفحات

۴. شدت تابش ۸۰۰ وات بر مترمربع و دمای محیط ۲۰ درجه سلسیوس و سرعت باد یک متر بر ثانیه و جرم هوا ۱/۵.

۵. (stc) standard test condition.

۶. Loss of lead (احتمال کم آوردن سامانه).

۱. Tilt.

۲. Azimuth.

۳. (psh) peak sun hours

و... پاسخ داده شد. پس از طی این مراحل، نرم افزار محاسبه سطح و طبقه روشنایی را انجام داد.

برای تعیین نوع چراغ مورد نیاز این پروژه به مشخصات لامپ های مختلف از شرکت های مختلف تولیدکننده مراجعه و با توجه به مقدار شار لامپ، عمر لامپ، بازده، مقدار لوکس، منحنی نور و همچنین سطح ایمنی بهترین چراغ انتخاب شد.

با مراجعه به استاندارد ۶۱۴ نظام مهندسی، برای تعیین دسته استاندارد آسفالت معبر و همچنین ضریب درخشندگی سطح معبر (Qo)، انتخاب گردید.

برای تعیین تعداد ساعت مورد نیاز برای روشنایی معابر بر اساس فصول مختلف سال، با استفاده از اطلاعات هواشناسی، ساعات دقیق طلوع و غروب خورشید مشخص شد. در فصل تابستان، ۱۰ ساعت، پاییز ۱۱ ساعت، زمستان ۱۳ ساعت و بهار ۱۰ ساعت محاسبه گردید.

این اعداد به بخش سیستم نرم افزار وارد شد و تجهیزات متناسب با آنها انتخاب و در نهایت، تحلیل شد. در این مطالعه، تجهیزات خورشیدی با شرایط فنی مناسب (توان، آمپر، ولتاژ) که بالاترین انرژی را با کمترین تلفات به مصرف کننده ها منتقل کند، بررسی و انتخاب شد.

نرم افزار (pvsyst)، برای تحلیل محاسبات انجام شده، با استفاده از اطلاعات اولیه موجود، نوع تجهیزاتی، مثل صفحات خورشیدی، شارژ کنترلر، اینورتر و باتری ها انجام شد تا با کمترین هزینه و شرایط فنی مناسب (توان، آمپر، ولتاژ) بالاترین انرژی را با کمترین تلفات به مصرف کننده ها منتقل کند.

در واقع، بین چند اولویت مهم سامانه، تعادلی برقرار شد، شامل: تأمین نیاز مصرف کننده، کمترین زمان خاموشی، کمترین تلفات در سامانه، کمترین هزینه و بیشترین انرژی به دست آمده از سامانه و اینکه انجام هیچ کدام از اولویت های ذکر شده سامانه با مشکل مواجه نگردد.

در مرحله انتخاب باتری های هردو سامانه فتوولتائیک، تعداد روز های پی در پی ابری یا (Autonomy) تأثیر مستقیم بر تعداد باتری ها داشت؛ پس دقت بالایی در اطلاعات هواشناسی منطقه برای تعیین این احتمال صورت گرفت تا در صورت بروز این اتفاق، سامانه، توانایی روشن نگه داشتن لامپ ها در دو شب متمادی را داشته باشد و از طرف دیگر، قیمت بالای باتری ها و عمر محدود آنها نیز باعث شد تا تعداد باتری ها به نحوی انتخاب گردد که بالاترین عملکرد و کمترین تلفات را داشته باشد.

در طراحی سامانه پراکنده نیز از نرم افزار (pvsyst) استفاده شد و به طور مشابه با سامانه متمرکز، تعداد روز های ابری، ۱/۵ روز و عدد (lol)، ۴ درصد در نظر گرفته شد.

بعد از تعیین دقیق نوع تجهیزات دو سیستم در شرایط یکسان، با فرض وجود زیرساخت روشنایی مناسب، قیمت این تجهیزات از منابع معتبر طبق قیمت های روز بازار تهیه شد. درآمدهای طرح شامل صرفه جویی در مصرف برق به صورت سالانه و هزینه های اجتماعی محاسبه شد. هزینه های اجتماعی این طرح شامل، عدم نشر گازهای آلاینده مختلف، طبق تعرفه های ۱۴۰۲ و همچنین

درآمدهای حاصل از صرفه جویی در هزینه های برق عادی معابر، حدود ۱۱۵۰ میلیون ریال برای هر دو سامانه به صورت مشابه محاسبه شد. هزینه های تجهیزاتی سامانه متمرکز ۵۱۶۰ میلیون ریال و هزینه های تجهیزاتی سامانه پراکنده ۸۱۴۰ میلیون ریال محاسبه شد.

برای ارزیابی اقتصادی این مطالعه، دوره بازگشت سرمایه برای دو حالت سامانه متمرکز و سامانه پراکنده بدون هزینه نگهداری، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

محاسبه دوره بازگشت سرمایه سامانه متمرکز:

$$\text{جمع درآمد} = \frac{\text{درآمد سالانه}}{20}$$

$$\text{درآمد سالانه} = ۱۱۴۷۰۰۰۰۰۰ \text{ ریال}$$

$$\text{ریال} = ۵۱۶۰۰۰۰۰۰ = \text{سرمایه گذاری اولیه}$$

$$\text{جمع درآمدها} = ۲۱۷۲۳۰۰۰۳۹ + ۱۲۱۹۰۸۹۶۷ = ۲۲۹۴۲۰۹۰۰۶$$

$$۴,۵ \text{ سال} = \text{دوره بازگشت سرمایه سامانه متمرکز}$$

محاسبه دوره بازگشت سرمایه سامانه پراکنده:

$$\text{درآمد سالانه} = ۱۱۴۷۰۰۰۰۰۰ \text{ ریال}$$

$$\text{ریال} = ۸۱۴۰۰۰۰۰۰ = \text{سرمایه گذاری اولیه}$$

$$\text{جمع درآمدها} = ۲۱۷۲۳۰۰۰۳۹ + ۱۲۱۹۰۸۹۶۷ = ۲۲۹۴۲۰۹۰۰۶$$

$$۷ \text{ سال} = \text{دوره بازگشت سرمایه سامانه پراکنده}$$

$$\text{سرمایه گذاری اولیه} = \frac{\text{درآمد سالانه}}{\text{دوره بازگشت سرمایه}}$$

۳. نتیجه گیری

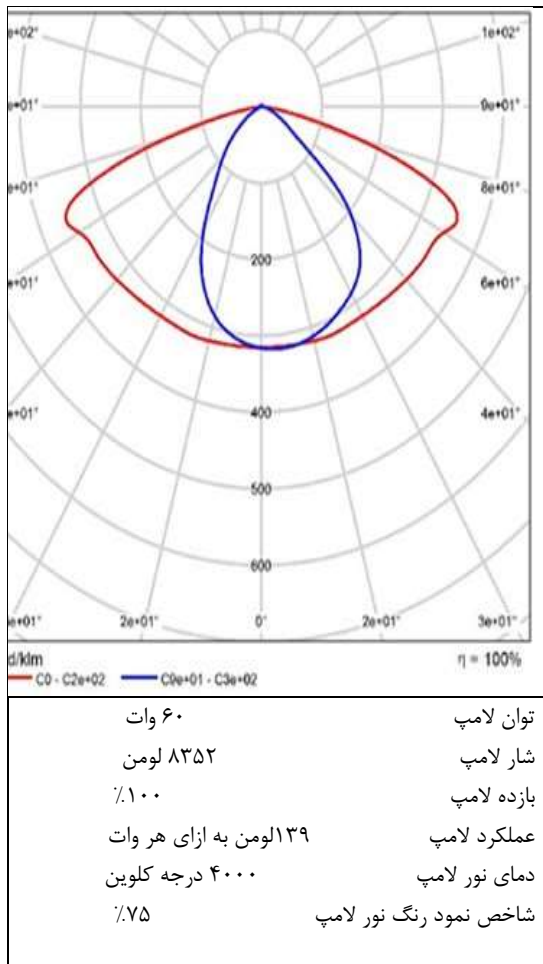
با تحلیل اطلاعات هواشناسی منطقه، حداکثر تابش ۲۴۶۵ کیلووات ساعت در سال با متوسط شدت تابش روزانه، ۶/۷۵ کیلووات ساعت در روز حاصل شد که عدد قابل قبولی برای احداث سامانه فتوولتائیک در این نقطه جغرافیایی بود.

با توجه به این که کشور ایران در نیم کره شمالی قرار دارد، تیرماه، بیشترین تابش و دی ماه، کمترین تابش و در دو ماه مهر و فروردین (زاویه صفر انحراف زمین)، شدت تابش متوسطی در منطقه وجود داشت. متوسط دمای محیط در منطقه در طول سال، زیر ۳۰ درجه بود و شرایط را برای بازده خوب صفحات خورشیدی ایجاد می کرد.

با استفاده از سایت گلوبال اطلس، برای تحلیل تأثیر سایه های دور (کوه ها) مشخص شد که منطقه، قابلیت نصب صفحات خورشیدی را دارد و تأثیر سایه های دور بر روی هر نوع سیستم خورشیدی، چندان قابل ملاحظه نیست.

جهت تحلیل زاویه ۳۳ درجه از نرم افزار (pvsyst) استفاده شد. این نرم افزار، بهترین زاویه شیب^۱ صفحات خورشیدی را همان عدد ۳۳ و بهترین زاویه سمت^۲ را عدد صفر یا ۱۸۰ درجه تعیین کرد. وجود این زاویه ها در صفحات خورشیدی، تولید حدود ۲۴۳۶ کیلووات بر مترمربع را به همراه داشت. در همین مرحله با توجه به اطلاعات موجود، متوسط تابش روزانه^۳ (psh) منطقه نیز، عدد ۶ در نظر گرفته شد.

طبق محاسبات دمایی سلول های خورشیدی در بعضی از روزهای سال که شدت تابش بالای ۱۰۰۰ وات بر مترمربع وجود دارد، دمای پنل ها به ۷۳ درجه سلسیوس می رسد و باعث کاهش بازده صفحات خورشیدی می شد. در این شرایط، صفحات خورشیدی متناسب با این آب و هوا انتخاب شد. چراغ متناسب با معابر با لامپ ۶۰ وات مدل ستاره (S60HE) که دارای بازده بالا و منحنی نور مناسب مطابق با منحنی شکل (۵) و همچنین دو سطح ایمنی (IP66) و (IK07) بود، انتخاب شد. شدت روشنایی این لامپ بالای ۸۳۵۲ لومن بود که از مابقی لامپ های هم ردیف خود، شرایط بهتری داشت. همچنین، بازده این لامپ ۱۰۰ درصد بوده و تمامی توان خود را به لومن تبدیل می کرد. در معابر این دانشگاه طبق محاسبات صورت گرفته، دسته روشنایی (D4) و طبقه روشنایی (S3) تعیین گردید.



شکل ۵: منحنی نور به همراه مشخصات لامپ ۶۰ وات.

طبق بررسی های میدانی به عمل آمده، شکل دانه بندی و مدل سطح معابر، دارای آسفالت از نوع R3 و ضریب درخشندگی عدد 0/07 تعیین شد. پس از اعمال اعداد ذکر شده در نرم افزار دایالوکس، نتایج به دست آمده به شرح جدول (۵) حاصل شد.

جدول ۵: نتایج مشخصات تیر چراغ نرم افزار دایالوکس.

ردیف	نام متغیر	مقدار
۰	فاصله بین تیر چراغ ها (زیگزاگ)	۴۵ متر
۱	فاصله کف تا چراغ	۹ متر
۲	فاصله افقی چراغ تا حاشیه	۲ متر
۳	زاویه بازو یا دستک	۲۰ درجه
۴	طول بازو	۲٫۵۶ متر
۵	انرژی مورد نیاز	۲۶۴۰ وات بر کیلومتر

1. Tilt.
2. Azimuth.

در دمای بالا، انعکاس نور از سطح صفحه‌ها (IAM) و تلفات شارژ و تخلیهٔ باتری‌ها بود.

در سامانه متمرکز عملکرد صفحات خورشیدی، ۹۹ درصد و عملکرد کل سامانه، ۶۵ درصد محاسبه شد. شکل (۷). در این نمودار، وجود تلفات بالا در فصل گرم سال و وجود انرژی تولیدی مازاد، به دلیل شب‌های کوتاه تابستان، قابل مشاهده بود. با توجه به جدول (۷)، انرژی مورد نیاز سامانه متمرکز ۱۰۵۹۹ کیلووات ساعت و انرژی داده شده به سامانه، عدد ۱۰۵۹۹ کیلووات ساعت بود که در نهایت، انرژی مورد نیاز برای جبران وضعیت موجود (مکمل)، ۶۴ کیلووات در سال حاصل شد.

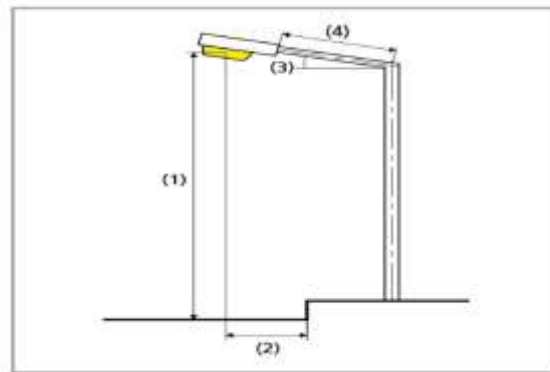
جدول ۷: انرژی تولیدی و مورد نیاز سامانه متمرکز.

نام ماه	انرژی تولید شده (kwh)	انرژی مورد نیاز (kwh)	انرژی مکمل (kwh)
دی	۸۹۲/۰	۹۰۰/۲	۸
بهمن	۸۰۹/۳	۸۱۳/۱	۵
اسفند	۸۹۹/۵	۹۰۰/۲	۱
فروردین	۸۷۱/۲	۸۷۱/۲	۰
اردیبهشت	۹۰۰/۲	۹۰۰/۲	۰
خرداد	۸۷۱/۲	۸۷۱/۲	۰
تیر	۹۰۰/۲	۹۰۰/۲	۰
مرداد	۹۰۰/۲	۹۰۰/۲	۰
شهریور	۸۷۱/۲	۸۷۱/۲	۰
مهر	۹۰۰/۲	۹۰۰/۲	۰
آبان	۸۷۱/۲	۸۷۱/۲	۰
آذر	۸۴۸/۵	۹۰۰/۲	۵۲
کل سال	۱۰۵۳۵	۱۰۵۹۹	۶۴

سامانهٔ پراکندهٔ خورشیدی، از ۴۴ سامانه مستقل تشکیل شده و نوع تجهیزات آن با سامانه متمرکز متفاوت بود. طبق تحلیل نرم‌افزار (PVsyst)، عملکرد صفحات خورشیدی انتخابی، ۱۰۰٪ و عملکرد کلی هر سامانه ۶۸٪ برآورد شد. در نمودار عملکردی، تأثیر تلفات هوای گرم و شب‌های کوتاه مشهود بود شکل (۸). طبق تحلیل نرم‌افزار، انرژی تولیدی و مصرفی کل سال برابر و ۲۴۰ کیلووات ساعت بود. جدول (۸).

جدول ۸: انرژی تولید شده و مورد نیاز سامانه پراکنده.

طبق اطلاعات این جداول، ارتفاع تیرهای چراغ معابر ۹ متر و طول بازو ۲/۵ متر و همچنین فاصله بین تیرها ۴۵ متر (زیگزاگی) و زاویه بازوی چراغ ۲۰ درجه تعیین شد. شکل (۶). این اعداد در بهترین شرایط فنی روشنایی معابر محاسبه شد.



شکل ۶: مشخصات تیر چراغ.

زاویه صفحات خورشیدی و همچنین فاصله بین آنها توسط بخش (Orientation) در نرم‌افزار (pvsyst)، عدد ۳۳ درجه همراه با زاویه سمت صفر درجه طبق شکل (۹) تعیین شد.

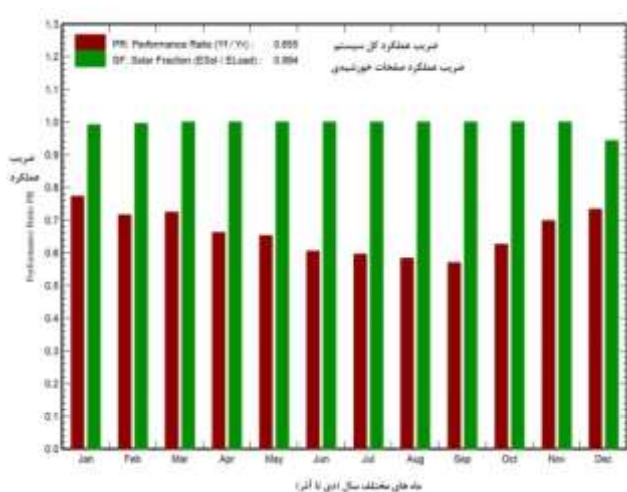
در این مطالعه، زاویهٔ شیب صفحات به صورت میانگین سالانه ۳۳ درجه در نظر گرفته شد. ولی با بررسی زوایای مختلف، به طور مثال در حالت‌های تابستانه عدد زاویه مناسب بدون تلفات، ۱۶ و در حالت زمستانه عدد ۵۴ درجه حاصل شد. مشخص شد، در صورت استفاده از سازه‌های متغیر که دوبار در سال تغییر کند و زوایای ۱۶ و ۵۴ را برای صفحات ایجاد کند، بازده سامانه‌های خورشیدی تا ۴ درصد افزایش پیدا خواهد کرد، البته این طرح با افزایش هزینه‌های تجهیزات و نگهداری سالیانه، همراه بود. تجهیزات لازم برای یک سامانه خورشیدی مستقل از شبکه متمرکز و پراکنده به طور جداگانه طبق جدول (۶) مشخص شد.

جدول ۶: تجهیزات سامانه روشنایی پراکنده و متمرکز

سامانه	صفحه	باتری	شارژ کنترل	اینورتر
متمرکز	۲۰ عدد (۲۳۰ وات)	۴۰ عدد (۱۰۰ آمپر ساعت)	۵ عدد ۲۴ آمپر	۵ عدد ۱۵۰۰ وات
پراکنده	۴۴ عدد (۱۴۵ وات)	۴۴ عدد (۱۰۰ آمپر ساعت)	۴۴ عدد ۵ آمپر	۴۴ عدد ۸۰ وات

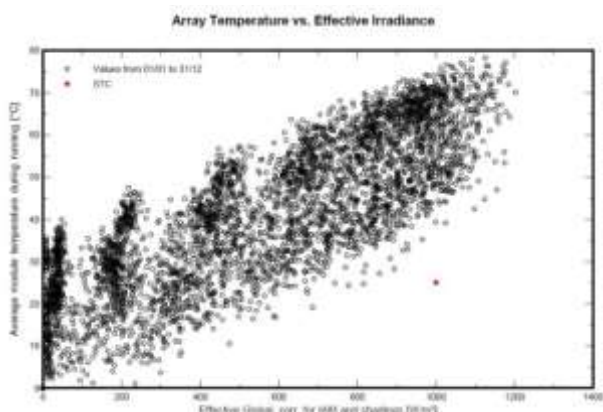
پس از تعیین تجهیزات هر سامانه، تحلیل اقتصادی و فنی هر کدام از آنها به طور جداگانه صورت گرفت. به طور معمول، ۲۵ تا ۳۰ درصد تلفات در سامانه‌های فتوولتائیک وجود دارد که مهمترین آنها، انرژی تولیدی مازاد (تابستان)، انرژی مورد نیاز (زمستان)، تلفات صفحه‌ها

نتایج حاصل از بررسی مصرف انرژی در معابر دانشگاه در حالت استفاده از انرژی سوخت فسیلی نشان داد که می‌توان با یک سامانه خورشیدی متمرکز یا پراکنده با ظرفیت حدود ۶ کیلو وات (در هر دو حالت) انرژی مورد نیاز روشنایی معابر را تأمین کرد.



شکل ۸: نمودار ضریب عملکرد کل سامانه به همراه ضریب عملکرد صفحات خورشیدی در سامانه پراکنده.

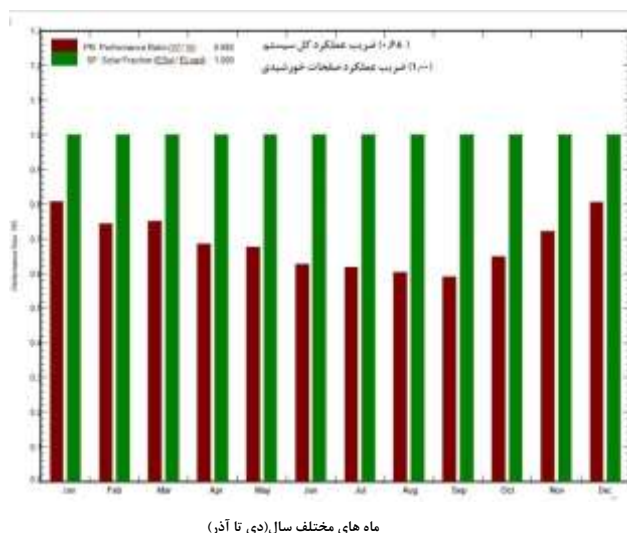
طبق گزارش تحلیلی نرم‌افزار مشخص شد در شدت تابش بالای ۸۰۰ وات بر مترمربع، دمای سلول‌های خورشیدی در بعضی از روزهای سال به بیش از ۷۰ درجه سلسیوس می‌رسد (شکل ۹).



شکل ۹: شدت تابش و دمای صفحه‌ها در طول سال.

وضعیت شارژ باطری‌ها در تمامی روزهای سال پیش‌بینی شد و مشخص شد سامانه از انتهای اردیبهشت تا انتهای شهریور می‌تواند باطری‌ها را تا ۸۰ درصد شارژ کند. (شکل ۱۰). لازم به ذکر است، عمق تخلیه باطری‌ها (DOD) ۸۰ درصد انتخاب شد.

نام ماه	انرژی مورد نیاز (kwh)	انرژی تولیدی (kwh)	انرژی مکمل (kwh)
دی	۲۰/۴۶	۲۰/۴۶	۰
بهمن	۱۸/۴۸	۱۸/۴۸	۰
اسفند	۲۰/۴۶	۲۰/۴۶	۰
فروردین	۱۹/۸۰	۱۹/۸۰	۰
اردیبهشت	۲۰/۴۶	۲۰/۴۶	۰
ت			
خرداد	۱۹/۸۰	۱۹/۸۰	۰
تیر	۲۰/۴۶	۲۰/۴۶	۰
مرداد	۲۰/۴۶	۲۰/۴۶	۰
شهریور	۱۹/۸۰	۱۹/۸۰	۰
مهر	۲۰/۴۶	۲۰/۴۶	۰
آبان	۱۹/۸۰	۱۹/۸۰	۰
آذر	۲۰/۴۶	۲۰/۴۶	۰
جمع سال	۲۴۰	۲۴۰	۰



شکل ۷: نمودار ضریب عملکرد کل سامانه به همراه ضریب عملکرد صفحات خورشیدی در سامانه متمرکز.

نتایج حاصل از محاسبات روشنایی مورد نیاز و استاندارد معابر با توجه به نوع درخواست‌های دفتر فنی دانشگاه و شرایط فیزیکی معابر، نشان داد که تعداد ۴۴ چراغ ۶۰ وات با مقدار شدت روشنایی ۳۶۷۴۸۸ (لومن)، در معابر اصلی دانشگاه نیاز است.

مصرف انرژی و محاسبه هزینه‌های اجتماعی آلاینده‌های مختلف، در صورت وجود تعرفه‌های ارزان برق در کشور، هر دو حالت توجیه اقتصادی ندارد.

منابع

[۱]. م. ح. عباسی، و. ح. محمدفرید، "روش‌هایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش بازده در روشنایی معابر"، نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۸۳.

[2]. Morteza pour, H., B. Ghobadian, and A. Abbaspour. *Financial investigation of using solar-powered led for park lighting in iran*. in *EWRES & ECRES The European Workshop & Conference on Renewable Energy Systems*. Antalya, TURKEY. 2012.

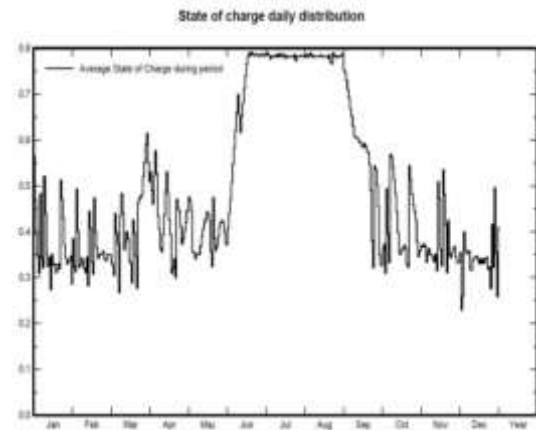
[3]. Allwyn, R.G., et al., *Optimization and techno-economic analysis of PV/Battery system for street lighting using genetic algorithm – A case study in Oman*. *Cleaner Engineering and Technology*, 2022. 8: p. 100475.

[4]. Nugraha, I.M.A., I.G.M.N.J.I.J.o.P.E. Desnanjaya, and D. Systems, Technical, economic and social feasibility of using solar street lighting on campus. 2023. 14(3): p. 1731-1738.

[5]. Maka, A.O.M., S. Salem, and M. Mehmood, Solar photovoltaic (PV) applications in Libya: Challenges, potential, opportunities and future perspectives. *Cleaner Engineering and Technology*, 2021. 5: p. 100267.

[6]. Galindo, S.P., D. Borge-Diez, and D. Icaza, Novel control system applied in the modernization of public lighting systems in heritage cities: Case study of the City of Cuenca. *Energy Reports*, 2022. 8: p. 10478-10491.

[7]. Duffie, J.A. and W.A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*. 2013: Wiley.



شکل ۱۰: وضعیت شارژ باتری‌ها در روزهای مختلف سال.

در تحلیل نرم‌افزار (pvsyst) عدد انتخابی (Iol) تأثیر مستقیم بر تعداد صفحات خورشیدی داشت. به‌طور مثال، با کاهش عدد (Iol)، (احتمال خاموش شدن لامپ‌ها) نرم‌افزار تعداد صفحه‌های پیشنهادی را افزایش داد. همچنین عدد انتخابی در متغیر عمق تخلیه باتری (DOD) تأثیر مخربی بر عمر باتری (تعداد سیکل) دارد و تلاش شد در انتخاب نوع باتری تعداد سیکل و همچنین عمق تخلیه بررسی و مناسب‌ترین مدل انتخاب شود.

نتایج حاصل از بررسی فنی هر کدام از دو حالتی متمرکز و پراکنده نشان داد که مقدار صفحه خورشیدی مورد نیاز سامانه متمرکز فقط ۰/۰۴ درصد از سامانه پراکنده بالاتر است و مقدار باتری مورد نیاز سامانه پراکنده ۱۰ درصد از سامانه متمرکز بالاتر است.

هزینه سامانه خورشیدی متمرکز طبق نرخ تجهیزات سال ۱۴۰۲ مبلغ ۵۱۶۰ میلیون ریال و هزینه سامانه خورشیدی پراکنده مبلغ ۸۱۴ میلیون تومان برآورد گردید.

درآمدهای هر دو سامانه به‌صورت مشابه، شامل صرفه‌جویی در مصرف برق و همچنین هزینه‌های اجتماعی (عدم نشر گازهای آلاینده) به مبلغ ۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰ میلیون تومان در مدت بیست سال عمر سامانه، و در نظر گرفتن ۲۰ درصد تورم، برآورد گردید.

نتایج حاصل از بررسی هزینه هر کدام از دو حالت متمرکز و پراکنده نشان داد که در بخش هزینه‌های سامانه خورشیدی، سامانه پراکنده ۲۷ درصد از سامانه متمرکز هزینه بیشتری دارد.

به دلیل نصب سامانه‌های پراکنده در ارتفاع ۹ متر در هر تیر چراغ برق، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات سامانه پراکنده به دلیل عدم دسترسی آسان به تجهیزات، بیشتر از سامانه متمرکز بود. نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی در بخش بازگشت سرمایه برای هر دو سامانه نشان داد که دوره بازگشت سرمایه سامانه متمرکز ۴/۵ سال و سامانه پراکنده ۷ سال است.

نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی در محاسبه ارزش فعلی سرمایه نشان داد که حتی با در نظر گرفتن صرفه‌جویی در هزینه‌های

techno-economic analysis of Photovoltaic Street Lighting systems (Case Study : Bozorgmehr University of Qaenat)

Mohammad Hassan Mazloom^{1*}, Hamid Mortezapour², Seyyed Ehsan Shakib³.

1- Department of Biosystems Engineering - Faculty of Engineering - Bozorgmehr University of Qaenat - Qaen- Iran.

2- Department of Biosystems Engineering - Faculty of Engineering - Bozorgmehr University of Qaenat - Qaen- Iran.

3- Department of Biosystems Engineering - Faculty of Engineering - Bozorgmehr University of Qaenat - Qaen- Iran.

Abstract

In today's era, the discussion of fossil energy is used by politicians of oil-rich countries as a pressure lever on other societies to achieve strategic goals, and if the discussion of economy is added to it, this pressure lever will have a much higher power, fuel consumption. By polluting the environment and the phenomenon of global warming, fossil fuels have created an unstable situation for the planet and the lives of all of them will be affected by it, so nations should use available and free energies. Reduce yourself to fossil energy. With the radiation intensity of 6 kilowatt hours per day, the city of Qaen has good conditions for using this free and always available energy. The purpose of preparing this article is the technical, economic and environmental analysis of the use of photovoltaic lighting in the streets of Bozorgmehr University of Qaenat with an average consumption of 2640 watt-hours per day for 44 lamps with the required energy of 60 watt-hours, which is used in two modes. These modes were implemented and analyzed with PVsyst software. In the first case, a centralized photovoltaic system separated from the grid as a small power plant was responsible for supplying the required energy, and in the second case, the task of supplying energy to each lamppost was provided by a system separated from the single-base photovoltaic network (in the form of a distributed system). The results show that the use of both systems has no economic justification and the reason is the cheapness of energy in the country. If the government implements its two directives on forcing departments and institutions to provide 20% of their energy consumption with photovoltaic systems and equipping departments with diesel generators to provide electricity in line with passive defense, these situations are justified. They will have an economy. After technical calculations and economic analysis in terms of daily market prices, the concentrated photovoltaic system needed less financial resources in both the lighting and energy sectors compared to the distributed photovoltaic system.

Keywords: Photovoltaic panel, concentrated, scattered.