

## Design, Simulation, and Analysis of a Solar Carport (Case Study: The Parking Lot of Tarbiat Modares University, Faculty of Agriculture)

Hamed Mokhtarzadeh Khaneghahi<sup>1</sup>, Shiva Gorjian<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Biosystem Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

hamed.mokhtarzadeh@modares.ac.ir

<sup>2</sup> Department of Biosystem Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

gorjian@modares.ac.ir

---

### Keywords:

solar carport  
solar electricity  
renewable energy  
photovoltaic technology

**Abstract:** Iran is one of the countries with a radiation potential that is very suitable for the construction of solar carports. Considering the high initial cost of constructing these parking lots, the importance of their feasibility and optimal design is very high. In the present study, the design and simulation of a solar carport connected to the power grid that was implemented at the Faculty of Agriculture of Tarbiat Modares University (TMU) in Tehran was carried out. For this purpose, the photovoltaic system was calculated in PVsyst software considering the geographical location and weather conditions of Tehran. In this case, the optimal side angle for installing the photovoltaic modules on the parking lot was set at 35 degrees to maximize the annual electricity production. Then, in determining the type and model of the photovoltaic modules and the solar inverter, their optimal electrical arrangement was designed. In addition, the losses of the various parts of the system were calculated, including the losses caused by shading, temperature rise, connecting wires, and so on; besides, the optimal spacing and arrangement of the modules were presented. Based on the final results of the simulation, the amount of electricity generated by the parking lot was 48.2 MWh/year; the annual power factor was 0.791; the reduction rate of CO<sub>2</sub> production was 499.89 tons in a total of 30 years, and the sensitivity analysis and lower return on investment were calculated from 5 years onwards. The results of this study showed that the implementation of the project at the investigated site was economically justified in addition to the benefit of providing renewable electricity.

---

### Original Research Article

#### Paper History:

Received: 14/06/2023

Revise: 18/12/2023

Accepted: 21/12/2023

---

**How to cite this article:** Mokhtarzadeh Khaneghahi, H., Gorjian, Sh., "Design, Simulation, and Analysis of a Solar Carport (Case Study: The Parking Lot of Tarbiat Modares University, Faculty of Agriculture)", Energy Engineering and Management, Vol. 13, No. 3, PP. 128-143, Autumn 2023. <https://doi.org/10.22052/eem.2023.253113.1020>

© 2023 University of Kashan Press.

This is an open access article under the CC BY license. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



### **Introduction**

The installation of photovoltaic systems on surface and multi-level parking lots can be a suitable option to generate renewable energy and address the upper level of a parking lot or an unusable and unusable area. Multi-use solar parking lots can enhance conventional parking lots by improving the economic and environmental performance, especially if the parking lot offers good conditions for the installation of a photovoltaic system and is not possible to install it in a building.

### **Materials and Methods**

This section includes geographical features, electrical system design, climatic conditions, weather and the amount of direct and indirect sunlight, determining the optimal tilt angle, the orientation of the solar panel, and the selection of panels and inverter.

### **Results**

This section contains a three-dimensional design, shading, simulation results, an environmental analysis, and an economic analysis.

### **Discussion and Conclusion**

Based on the design and simulation for the construction of a photovoltaic parking lot connected to the grid at the Faculty of Agriculture of TMU in Tehran, according to the geographical location and weather conditions in PVsyst software, the optimal side angle for the installation of the photovoltaic modules of the power plant was determined to be 35 degrees with the approach of maximizing annual production. The type and brand of crystal module model TBM72-320P from Taban with a rated power of 320 watts in the required number of 90 pieces in 5 fields was selected. 1 SMA solar inverter from Germany, a model of Sunny Tripower 25000TL, manufactured in 2014, with power of 25 kW was selected. Based on the location of the modules, the shading loss in the parking lot was estimated at 33.5% per year. The amount of energy fed into the grid was calculated to be 4548.192 megawatt hours per year. If this solar parking lot is built, in addition to using clean energy, it is predicted that 499.89 tons of carbon dioxide will be released into the atmosphere in 30 years. The return of investment is less than 5 years, after which it becomes profitable.

## طراحی، شبیه‌سازی و تحلیل یک پارکینگ خورشیدی مطالعه موردی: پارکینگ دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

حامد مختارزاده خانقاهی<sup>۱</sup>، شیوا گرجیان<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

hamed.mokhtarzadeh@modares.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

gorjian@modares.ac.ir

واژه‌های کلیدی:

پارکینگ خورشیدی

برق خورشیدی

انرژی تجدیدپذیر

فناوری فتوولتائیک

چکیده: ایران از جمله کشورهای با پتانسیل تابشی بسیار مناسب احداث پارکینگ خورشیدی است. با توجه به هزینه اولیه بالای احداث این پارکینگ‌ها، اهمیت امکان‌سنجی و طراحی بهینه آن‌ها بسیار بالاست. در پژوهش حاضر، طراحی و شبیه‌سازی یک پارکینگ خورشیدی متصل به شبکه، جهت احداث در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام شد. بدین منظور، سامانه فتوولتائیک با در نظر گرفتن منطقه جغرافیایی و شرایط آب‌وهوایی شهر تهران در نرم‌افزار PVsyst انجام گردید. به همین منظور، زاویه سمت بهینه نصب ماژول‌های فتوولتائیک پارکینگ با رویکرد بیشینه‌سازی تولید برق سالیانه، ۳۵ درجه تعیین شد. سپس ضمن تعیین نوع و مدل ماژول‌های فتوولتائیک و اینورتر خورشیدی، آرایش الکتریکی بهینه آن‌ها طراحی شد. همچنین تلفات بخش‌های مختلف سیستم از جمله تلفات ناشی از سایه‌اندازی، بالا رفتن دما، سیم‌های رابط و... محاسبه، و فاصله و چیدمان بهینه ماژول‌ها ارائه شدند. بر اساس نتایج نهایی شبیه‌سازی انجام‌شده، میزان برق تولیدی پارکینگ ۴۸/۲ مگاوات ساعت در سال، ضریب عملکرد سالانه ۰/۷۹۱، نرخ کاهش تولید  $CO_2$  ۴۹۹/۸۹ تن در مجموع ۳۰ سال و همچنین تحلیل حساسیت و نرخ بازگشت سرمایه کمتر از ۵ سال محاسبه شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان دادند که اجرای پروژه در محل ارزیابی شده می‌تواند علاوه بر مزیت تأمین برق تجدیدپذیر، از لحاظ اقتصادی نیز توجیه‌پذیر باشد.

مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴

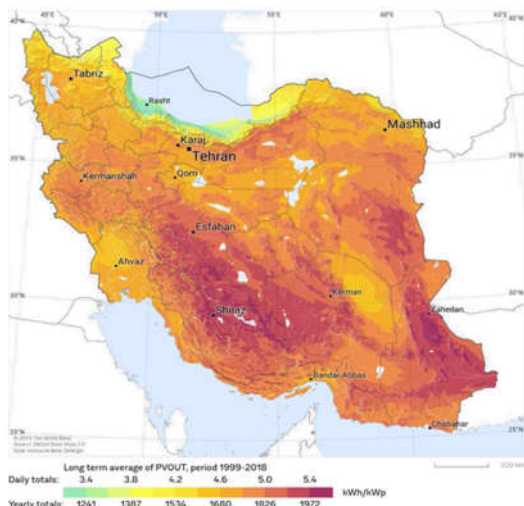
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

## ۱. مقدمه

هوا بالاست، به‌منظور افزایش تولید از روش‌های خنک‌کاری استفاده می‌کنند [۴].

ایران که در «کمر بند خورشیدی» زمین قرار دارد، پتانسیل بالایی برای دریافت انرژی خورشیدی دارد؛ زیرا تابش دریافتی تنها در دو ماه از سال، برابر با کل ذخایر سوخت فسیلی آن است. متوسط تابش جهانی خورشید در ایران حدود ۳/۱۵ کیلووات‌ساعت در متر مربع در روز است که معادل بیش از ۷/۷ ساعت در روز در مناطق مرکزی (بیش از ۲۸۰۰ ساعت در سال) است. (شکل ۱). از آنجا که مناطق جنوبی و شرقی میزان تابش خورشیدی بسیار بیشتری نسبت به مناطق شمالی دریافت می‌کنند، مناطق مرکزی بیشترین پتانسیل را برای استفاده از این منبع انرژی ارزشمند دارند. به نظر می‌رسد انرژی خورشیدی مناسب‌ترین فناوری برای هدایت بخش اقتصاد ایران به سمت پایداری باشد، زیرا کشور دارای پتانسیل تابش بالایی است. برای اجرای مقرون‌به‌صرفه‌ترین و سودمندترین پروژه‌های خورشیدی، تصمیم‌گیرندگان بخش راهبردی انرژی باید مکان‌هایی را با بیشترین تابش خورشیدی اولویت‌بندی کنند [۵].



شکل (۱): پتانسیل تولید برق فتوولتائیک در ایران (kWh/kWp)

فناوری PV نور خورشید را مستقیماً با استفاده از مواد نیمه‌هادی به الکتریسیته تبدیل می‌کند. اثر فتوولتائیک فرایندی است که در آن دو ماده غیرمشابه در تماس نزدیک، در اثر برخورد نور یا انرژی تابشی دیگر، ولتاژ الکتریکی تولید می‌کنند [۶]. این اثر اولین بار توسط هانری بکرل در سال ۱۸۳۹ مشاهده شد. زمانی که او یک ورقه پلاتین (Pt) پوشیده‌شده با یک لایه نازک از کلرید نقره را در محلول الکترولیتی غوطه‌ور کرد و سپس ورق را درحالی که به یک الکترود ضد متصل بود، روشن کرد [۷].

دلایل خوبی برای ترویج توسعه پایدار و استفاده از انرژی‌های پاک و همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق

انرژی، سرمایه و نیروی اصلی و اساسی زندگی اقتصادی است. ادوار مختلف تمدن بشری بر بنیاد کشف، ابداع و بهره‌گیری از انرژی‌های مختلف شکل گرفته و در میان عواملی که در شکل‌بندی و ساخت تمدن‌های بشری نقش داشته‌اند، انرژی را می‌توان به‌عنوان بنیاد و اساس توسعه اجتماعی مشخص کرد. تا پیش از انقلاب صنعتی، تمدن‌های مبتنی بر تولید کشاورزی غیرصنعتی، بر پایه بهره‌گیری از انرژی‌های ساده و ابتدایی بنیاد گرفته بودند و انقلاب صنعتی که ساختارهای اقتصادی و اجتماعی جوامع بشری را دگرگون کرد، بر پایه شناخت و بهره‌گیری از نیروی بخار، زغال‌سنگ و نفت تکامل یافت. پس از جنگ جهانی دوم و به‌دنبال تحولات بنیادین فناوری و دستاوردهای بزرگ علمی، نیاز روزافزون به انرژی ازسویی و محدودیت سوخت‌های فسیلی مانند نفت ازسوی دیگر، چشم‌انداز توسعه صنعتی و تکامل اجتماعی را در گرو کشف و بهره‌گیری از انرژی‌های دیگر قرار داد. همچنین افزایش بهای نفت و این واقعیت که سوخت‌های فسیلی منابعی پایان‌ناپذیرند، جست‌وجو برای یافتن انرژی‌های غیرفسیلی را تشدید کرد [۱].

برای حل مشکل محیط‌زیستی و رو به پایان بودن منابع انرژی دو راه حل وجود دارد: ۱. پایین آوردن مقدار مصرف یا بهره‌برداری بهینه از منابع؛ ۲. یافتن منابع جدید انرژی. از مزیت‌های استفاده از این منبع عظیم انرژی تجدیدپذیر می‌توان به پایداری و پایان‌ناپذیری و آلودگی بسیار کم آن اشاره کرد. در مقابل مزایای بسیار آن، باید از معایب آن نیز ازجمله بازده پایین، وابستگی شدید به تغییرات آب‌وهوایی و هزینه‌های سنگین سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از آن‌ها آگاه بود [۲]. یکی از منابع تأمین انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است که از دیرباز به روش‌های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است. سیستم فتوولتائیک با استفاده از سلول‌های خورشیدی مستقیماً انرژی خورشیدی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. ماده اساسی که در سلول‌های خورشیدی با کاربرد معمولی استفاده می‌شود سیلیکون است. اساساً سه نوع فناوری در تولید سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شوند: تک‌کریستال، چندکریستال و آمورف (بی‌شکل) [۳]. شدت تابش و دمای محیط، بازده سلول‌های خورشیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هنگامی که دمای محیط بالا می‌رود، بازده سلول‌های خورشیدی به‌ازای هر درجه سلسیوس بالاتر از ۲۵ درجه سلسیوس، تا حداکثر مقدار ۰.۲۵٪ پایین می‌آید. همچنین هرچه شدت تابش انرژی خورشیدی بیشتر باشد، میزان تولید افزایش خواهد یافت. بنابراین در منطقه‌هایی که دمای

چندطبقه برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و توجه به سطح بالای یک پارکینگ و یا یک منطقه غیرقابل استفاده و غیرقابل بهره‌برداری می‌تواند گزینه مناسبی باشد. پارکینگ‌های خورشیدی<sup>۲</sup> چندمنظوره می‌توانند با بهبود عملکرد اقتصادی و زیست‌محیطی به پارکینگ‌های مرسوم ارزش بیفزایند؛ به‌ویژه در جایی که محل پارک خودرو برای نصب سامانه فتوولتائیک از شرایط خوبی برخوردار است و امکان نصب در ساختمان فراهم نیست [۹]. چنین ارزش افزوده‌ای ناشی از موارد زیر است:

- تولید انرژی‌های تجدیدپذیر؛
- وجود پارکینگ سرپوشیده؛
- دسترسی امکانات شارژ وسایل نقلیه الکتریکی (EV)<sup>۳</sup>؛
- امکان فروش یا استفاده مستقیم از برق تولیدی؛
- ذخیره انرژی در محل.

پارکینگ‌های خورشیدی استاندارد معمولاً یک سیستم فتوولتائیک با ظرفیت ۲ کیلووات بر ثانیه به‌ازای هر جایگاه پارکینگ به مساحت ۱۲ متر مربعی ارائه می‌دهند. هزینه‌ها بسته به نوع پارکینگ بسیار متفاوتند و وابسته به مقیاس، طراحی و چیدمان هستند؛ به‌نحوی که حداکثر هزینه نصب پارکینگ‌های خورشیدی در مطلوب‌ترین مکان قابل رقابت با پروژه‌های چالش‌برانگیز سیستم‌های فتوولتائیک پشت‌بامی است. مدل اقتصادی ساده برای یک پارکینگ خورشیدی شبیه به یک سیستم فتوولتائیک است؛ به این معنی که ممکن است شامل مزایای (FIT)<sup>۴</sup> گواهی تعهدات تجدیدپذیر (ROC)<sup>۵</sup> یا قراردادهای مربوط به تفاوت‌ها (CfDs)<sup>۶</sup> باشد [۱۰].

انتخاب مکان خوب و چیدمان پارک خودرو می‌تواند به بهینه‌سازی تولید انرژی خورشیدی برای یک نیاز انرژی خاص کمک کند. اگر مالک پارکینگ تقاضای برق در محل داشته باشد، استفاده از توان برق تولیدشده در محل برای مصرف خود به‌احتمال زیاد سود بیشتری نسبت به درآمد حاصل از فروش برق به یک شرکت تأمین‌کننده برق برای تجارت به‌همراه خواهد داشت [۱۱].

اوهو و همکاران در سال ۲۰۲۲ در نیجریه، نیروگاهی با استفاده از نرم‌افزار PVSyst<sup>۷</sup> به‌منظور تأمین برق مورد نیاز دانشگاه ایالتی ریورز طراحی کردند. در این نیروگاه ۵۰۰ کیلوواتی شیب بهینه ماژول‌ها ۵۰ درجه انتخاب گردید و از ۱۹۶۲ عدد پنل خورشیدی، ۱۸ عدد به‌صورت سری و ۱۰۹ عدد به‌صورت موازی استفاده شد. توان

سوخت‌های فسیلی وجود دارند. از آنجاکه جهان با بحران آب‌وهوایی گرمایش زمین مواجه است، توسعه جایگزین سوخت‌های فسیلی به‌سرعت در سطح جهانی در حال افزایش است هر نوع تأمین انرژی، اثرات منحصربه‌فردی بر سلامت انسان و محیط‌زیست دارد. مطالعات حاکی از این است که آلودگی هوا علاوه بر عواقب زیست‌محیطی مانند گرمایش زمین، و از دست رفتن زیستگاه‌ها و گونه‌های جانوری، منجر به آسیب‌های جبران‌ناپذیر سلامت در جوامع انسانی نیز شده است [۵].

بسیاری از تحقیقات نشان داده‌اند که کیفیت هوا در بسیاری از محیط‌های شهری به‌ویژه کلان‌شهرها پایین است. مهم‌ترین منبع آلودگی هوا<sup>۱</sup> در شهرها، استفاده از خودروهای با تأمین انرژی توسط سوخت‌های فسیلی است. این امر منجر به کاهش سلامت عمومی به‌دلیل افزایش وقوع مرگ‌های زودرس و افزایش میزان افراد بستری‌شده در بیمارستان در نتیجه ابتلا به بیماری‌های مزمن مرتبط با آلاینده‌های هواست. کیفیت بهتر هوا در محیط‌های شهری، یکی از دلایل همکاری کشورها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق توافق‌نامه پاریس در خصوص تغییرات اقلیمی است. مزایای بالقوه زیادی در ارتباط با محدود کردن تغییرات آب‌وهوا وجود دارند. در گذشته نه‌چندان دور، غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو رو به افزایش بوده و آسیب‌های آب‌وهوایی، هزینه‌ای بالغ بر یک میلیارد دلار به برخی کشورها تحمیل کرده است. به‌علاوه، میانگین دمای جهانی سابقه جدیدی را در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ ثبت کرده است. چهار گاز مخرب گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن و گازهای فلوئوردار هستند. اگرچه دی‌اکسید کربن مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای نیست، بیشترین تأثیرات مخرب آب‌وهوایی را دارد. دلیل اصلی انتشار دی‌اکسید کربن در هوا در مرحله اول، خودروهای بنزینی و در مرحله دوم، استفاده از سوخت‌های فسیلی در منازل است [۸]. علاوه بر این، ذرات معلق در هوا ناشی از سوخت‌های فسیلی مانند بنزین، نفت و گاز ناشی از وسایل نقلیه بنزینی، آتش‌سوزی جنگل‌ها و فعالیت نیروگاه‌ها از جمله آلاینده‌های مهم زیست‌محیطی به‌شمار می‌روند که هر ۲۴ ساعت گزارش می‌شوند. چنانچه میزان این ذرات در هوا برابر یا کمتر از ۱۲ میکروگرم بر متر مکعب باشد، کیفیت هوا در محدوده سالم قرار دارد و چنانچه برابر یا بیشتر از ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب باشند، کیفیت هوا در محدوده ناسالم قرار دارد.

نصب سیستم‌های فتوولتائیک در پارکینگ‌های سطحی و

2. Solar Carport  
3. Electric vehicle  
4. Feed-in-Tariff  
5. Renewable Obligations Certificates  
6. Contracts for Differences

1. Air Pollution

[۱۹].

همچنین اوامر و همکاران در سال ۲۰۱۹ توانستند با استفاده از نرم‌افزار یک پارکینگ خورشیدی در پاکستان برای تأمین برق مورد نیاز آزمایشگاه طراحی کنند. در این پارکینگ زاویه پنل‌ها ۱۰ درجه در نظر گرفته شد و طبق مدل اینورتر و مازول‌های انتخابی بازگشت سرمایه در ۶ سال ممکن شد [۲۰].

یک مطالعه موردی در سال ۲۰۲۱ توسط ایرینگوا و کواچیچ در اروپا به منظور طراحی، بررسی و بهینه‌سازی پارکینگ خورشیدی در محل پارکینگ خانگی انجام شد و نشان داد با توجه به پتانسیل تابشی پایین منطقه، همچنان این کار به صرفه و قابل توجه خواهد بود [۲۱].

سینگ و همکاران در سال ۲۰۲۱ شبیه‌سازی پارکینگ خورشیدی را با استفاده از نرم‌افزار PVsyst به منظور تأمین برق مورد نیاز برای خودروهای الکتریکی در هند انجام دادند. طبق این پژوهش بازده و پتانسیل بالای تابشی این منطقه برای شارژ ۴۱۴ عدد ماشین الکتریکی و همچنین کاهش سالیانه ۷۹۵۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن گزارش شد [۲۲].

پتانسیل سنجی و بهینه‌سازی پارکینگ خورشیدی برای ماشین‌های الکتریکی توسط پژوهشگران دیگری از جمله پدرو و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۲۳] و الهناوی و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۲۴] نیز بررسی شده است.

در کشور ایران نیز شبیه‌سازی پارکینگ خورشیدی به منظور پتانسیل سنجی، بهره‌وری حداکثری از توان تولیدی، کاهش تلفات سیستم، بالا بردن راندمان تولید برق و بررسی تأثیرات زیست‌محیطی توسط پژوهشگران گوناگونی به صورت مطالعه موردی مانند مراتی در سال ۲۰۱۴ [۲۵]، حسینی‌نیا در سال ۲۰۱۹ [۲۶] و شجاعی و همکاران در سال ۲۰۲۱ [۲۷] انجام شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. مشخصات جغرافیایی

مکان مورد نظر برای احداث پارکینگ خورشیدی مورد مطالعه، استان تهران، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۹ دقیقه و ۵۹ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه و ۳۱ ثانیه شمالی است. محل پیشنهادی برای احداث پارکینگ خورشیدی در پارکینگ اصلی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس است. ابعاد زمین مورد نظر ۴۱×۱۹ متر است. شکل (۲) تصویر ماهواره‌ای از محل احداث پارکینگ خورشیدی را نشان می‌دهد. این مکان دارای بام افقی با فضای بدون سایه از اشیاء و درختان اطراف است که مازول‌های انتخاب شده به گونه‌ای چیده می‌شوند تا کمترین سایه‌اندازی وجود داشته باشد.

خروجی نیروگاه با محاسبه تمامی تلفات، ۱۱۱۴/۵ مگاوات‌ساعت در سال به دست آمد، که علاوه بر تأمین برق مورد نیاز برای مصرف دانشگاه مابقی آن قابل فروش به شبکه برق نیجریه بود [۱۲].

آکینیل و همکاران در سال ۲۰۱۷ توان فعلی کشور نیجریه را با ظرفیت تولید ۴۰۰۰ مگاوات و با ظرفیت برق‌رسانی تا ۵۵٪ توصیف کردند که عمدتاً توسط کاربران در جوامع شهری استفاده می‌شود؛ در حالی که مردم روستایی دسترسی ضعیفی به برق دارند یا اصلاً دسترسی ندارند [۱۳].

یافته‌های شعبان و پتیرین در سال ۲۰۱۴ نشان می‌دهد که نیجریه دارای پتانسیل تابشی زیادی برای استفاده از انرژی PV در تمام بخش‌های کشور است. نتایج نشان می‌دهند که منابع انرژی تجدیدپذیر هنوز مورد استفاده قرار نگرفته‌اند [۱۴].

چانگ کاکاتی و همکاران در سال ۲۰۲۰ کارایی یک ایستگاه فتوولتائیک ۱ مگاواتی متصل به شبکه را با استفاده از نرم‌افزار PVsyst بررسی کردند. این مطالعه امکان اتصال یک نیروگاه PV ۱ مگاواتی را به یک شبکه الکتریکی، با در نظر گرفتن تلفات توان و نسبت‌های بازده مختلف مورد بحث قرار داد [۱۵].

راوی و سندپ در سال ۲۰۱۶ سلول‌های فتوولتائیک را با MPPT با استفاده از Matlab/Simulink طراحی و مدل‌سازی کردند. معادلات ریاضی برای مدل‌سازی ویژگی‌های PV استفاده شد. ویژگی‌های I-V و P-V با استفاده از ابزار Matlab/Simulink تعیین شدند [۱۶].

آیکور و همکاران (۲۰۱۳) به منابع انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان یک جایگزین مقرون‌به‌صرفه برای تولید انرژی نگاه می‌کردند. نتایج نشان دادند که منابع انرژی تجدیدپذیر را می‌توان در همه‌جا یافت. آن‌ها قابل دسترس، بدون آلاینده و پایان‌ناپذیرند [۱۷].

به گفته بریمو و همکاران در سال ۲۰۱۷ خورشید، باد، جزرومد، آب در حال ریزش، زیست‌توده و منابع تجدیدپذیر زمین‌گرمایی همیشه در دسترس‌اند. در حال حاضر، افزایش عمده‌ای در جهت تولید برق با استفاده از سیستم فتوولتائیک خورشیدی صورت گرفته است. این تا حدی به دلیل بی‌ثباتی در قدرت، ماهیت مخرب سوزاندن سوخت فسیلی و تنوع منابع است [۱۸].

اودی و همکاران در سال ۲۰۱۹ یک نیروگاه فتوولتائیک ۲۵۰ کیلوواتی را با استفاده از نرم‌افزار PVsyst در بغداد طراحی کردند. بررسی‌ها و تحلیل‌های حاصل از این پژوهش نشان دادند که ۱۴۲۸ عدد مازول خورشیدی ۱۷۵ وات و ۱۰ اینورتر ۲۵ کیلووات برای مساحت ۱۸۵۸ متر مربع نیاز است تا توان نیروگاه را تأمین کردند

نرم افزار PVsyst گردیده است.

جدول (۱): اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه

ماه	میزان تابش مستقیم (کیلووات ساعت بر متر مربع در یک ماه)	میزان تابش غیرمستقیم (کیلووات ساعت بر متر مربع در یک ماه)	دمای محیط (درجه سلسیوس)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	رطوبت نسبی (درصد)
ژانویه	۸۳	۳۱/۶	۴/۶	۲/۴	۵۶/۲
فوریه	۹۹/۳	۳۵/۴	۶/۹	۳	۴۸/۸
مارس	۱۴۲/۳	۵۲/۴	۱۲/۵	۳/۶	۳۹/۲
آوریل	۱۷۴/۱	۶۵/۷	۱۷/۴	۳/۵	۳۸/۴
می	۲۰۹/۴	۷۱/۴	۲۳/۵	۳/۹	۲۷/۵
ژوئن	۲۲۴/۶	۷۱/۹	۲۸/۶	۳/۴	۲۳/۱
جولای	۲۲۲/۳	۷۶/۸	۳۱/۵	۳/۲	۲۲/۴
آگوست	۲۰۹/۸	۶۷/۱	۳۰/۵	۲/۸	۲۱/۳
سپتامبر	۱۷۴/۳	۴۷/۱	۲۶/۱	۲/۷	۲۵/۹
اکتبر	۱۳۱/۶	۳۹/۷	۱۹/۸	۲/۶	۳۳
نوامبر	۹۱/۷	۲۸/۲	۱۱	۲/۳	۴۸/۶
دسامبر	۷۶/۳	۲۷/۲	۶	۲/۱	۵۷/۷

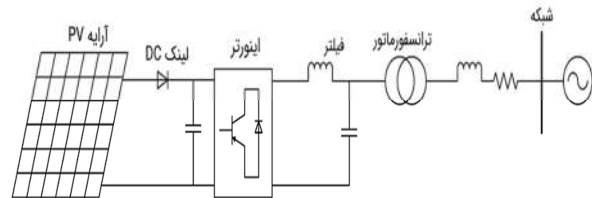


شکل (۲): تصویر ماهواره‌ای از محل احداث واحد پارکینگ

خورشیدی

## ۲.۲. طراحی سیستم الکتریکی

ماژول‌های فتوولتائیک و اینورتر مهم‌ترین اجزای یک پارکینگ خورشیدی متصل به شبکه‌اند. با توجه به بالا بودن هزینه اولیه این پارکینگ‌ها، طراحی بهینه اجزای اصلی پارکینگ‌ها با در نظر گرفتن مسائل مالی، قابلیت اطمینان و استفاده بهینه از مساحت زمین پارکینگ امری ضروری است. در این مرحله باید ماژول و اینورتر مورد نظر انتخاب شوند. شکل (۳) نمای طرح‌واره‌ای از اتصال مداری نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه را نشان می‌دهد.



شکل (۳): نمای طرح‌واره‌ای اتصال مداری نیروگاه خورشیدی متصل به

شبکه

## ۳.۲. شرایط اقلیمی، آب‌وهوایی و میزان تابش مستقیم

### و غیرمستقیم خورشید

در شبیه‌سازی و پتانسیل‌سنجی احداث یک پارکینگ خورشیدی، بررسی پارامترهای مهم هواشناسی منطقه مورد مطالعه اعم از شدت تابش مستقیم و غیرمستقیم خورشید، دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی محیط و تعداد روزهای آفتابی از اهمیت بسزایی برخوردارند. لذا جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی قابل استناد مربوط به سال‌های اخیر و تحلیل آن‌ها، در انتخاب تجهیزات اصلی و نیز برآورد میزان توان تولیدی پارکینگ بسیار مؤثر خواهد بود. به این منظور، اطلاعات هواشناسی مربوط به محل مورد نظر مطابق جدول (۱)، از پایگاه هواشناسی بین‌المللی Meteonorm استخراج شده و این اطلاعات برای استفاده در فرایند شبیه‌سازی تولید پارکینگ خورشیدی، وارد

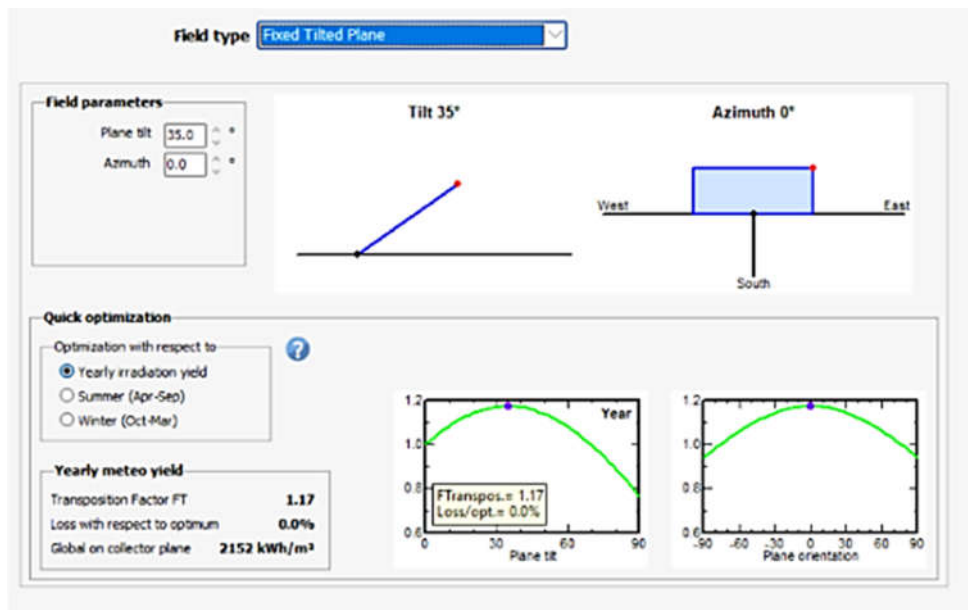
مطابق جدول (۲)، تهران دارای بیشینه تابش مستقیم خورشید در ماه ژوئن (خرداد-تیر)، به میزان ۲۲۲ کیلووات ساعت بر متر مربع و کمینه تابش مستقیم خورشید در ماه دسامبر (آذر-دی)، به میزان ۷۶ کیلووات ساعت بر متر مربع است. همچنین بیشینه میانگین دمای هوا مربوط به ماه جولای (تیر-مرداد)، به میزان نسبی ۳۱/۵ درجه سلسیوس و کمینه میانگین دمای هوا نیز مربوط به ماه ژانویه (دی-بهمن)، به میزان نسبی ۴/۶ درجه سلسیوس است. در این مطالعه از نرم‌افزار PVsyst ۷.3 استفاده شد. این نرم‌افزار یک پکیج کاربردی برای مطالعه، اندازه‌گیری، شبیه‌سازی و تحلیل داده‌های سامانه فتوولتائیک است. همچنین این نرم‌افزار به‌طور ویژه مناسب سیستم‌های متصل به شبکه و مستقل از شبکه است. نرم‌افزار PVsyst کتابخانه قدرتمند و کاملی در زمینه استفاده از داده‌های آب‌وهوایی و جغرافیایی دارد.

## ۴.۲. تعیین زاویه بهینه تمایل و سمت پنل خورشیدی

راندمان پایین در مقابل هزینه بالای خرید این ماژول‌ها سبب می‌شود تا تعیین زاویه تمایل و زاویه سمت بهینه نصب آن‌ها از اهمیت بسیار ویژه‌ای برخوردار باشد. زاویه تمایل ماژول فتوولتائیک عبارت است

پتانسیل سنجی یک پارکینگ خورشیدی استفاده می‌شود. در حالت ثابت ضروری است که زاویه مناسب نصب آرایه‌های خورشیدی در جهت شمال جنوب و شرق غرب به منظور بهره‌گیری از حداکثر انرژی در دسترس تعیین شود. زاویه مناسب پنل خورشیدی بسته به مکان نصب متفاوت است. از آنجاکه مکان مورد مطالعه در این پژوهش دارای عرض جغرافیای ۳۵ درجه شمالی است، زاویه بهینه تمایل سالیانه ماژول‌های فتولتائیک در آن برابر ۳۵ درجه نسبت به افق و زاویه سمت صفر است (شکل ۴).

از زاویه سطح بین ماژول فتولتائیک و سطح افق و زاویه سمت آن برای نیمکره شمالی زمین عبارت است از زاویه بین خط عبوری از قطب جنوب و محل نصب ماژول و تصویر خط عمود به سطح ماژول بر روی سطح افق. مطابق بسیاری از نظریه‌های رایج، برای ماژول‌های فاقد ردیاب زاویه تمایل بهینه نصب سالیانه ماژول‌های فتولتائیک در نیمکره شمالی زمین، برابر بوده با عرض جغرافیایی آن محل [۲۸] و همچنین سمت بهینه نصب آن‌ها رو به جنوب است [۲۹]. نرم‌افزار PVsyst از همین نظریه در تعیین زاویه تمایل و سمت بهینه نصب ماژول‌های فتولتائیک برای محاسبات مربوط به



شکل (۴): زاویه و شیب بهینه نصب ماژول‌های فتولتائیک

جدول (۲): مقایسه متداول‌ترین ماژول‌های فتولتائیک در بازار ایران

پارامترها	تک‌کریستالی	چندکریستالی	کادمیم تلوراید
بازده	۱۵ تا ۲۰٪	۱۳ تا ۱۶٪	۹ تا ۱۱٪
بیشترین بازده در مطالعات	۲۵٪	۲۰/۴٪	۱۸/۷٪
فضای مورد نیاز برای kWp	۶ تا ۹ متر مربع	۸ تا ۹ متر مربع	۱۱ تا ۱۳ متر مربع
قیمت پایه	۰/۷۵ دلار بر وات	۰/۶۲ دلار بر وات	۰/۵۷ دلار بر وات
تأثیر دما در عملکرد ماژول	در دماهای بالا، ۱۰ تا ۱۵٪ افت عملکرد دارد.	کاهش عملکرد در دماهای بالا کمتر از تک‌کریستالی	تأثیر نسبتاً کمی بر عملکرد دارد.
دیگر اطلاعات	قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین نوع ماژول	میزان هدر رفت کمتر سیلیکون در فرایند ساخت	تنزل کیفیت آن‌ها نسبت به ماژول‌های کریستالی بیشتر است.

## ۵.۲. انتخاب ماژول و اینورتر

مهم‌ترین بخش هر پارکینگ خورشیدی، ماژول‌های فتولتائیک آن است. از کنار هم قرار گرفتن تعدادی سلول فتولتائیک، یک ماژول فتولتائیک ساخته می‌شود و همچنین از قرار دادن چندین ماژول خورشیدی در کنار هم، یک آرایه خورشیدی ساخته می‌شود. در ساخت پارکینگ‌های بزرگ‌تر، تعداد زیادی از آرایه‌های خورشیدی به صورت سری در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و یک رشته آرایه خورشیدی را تشکیل می‌دهند. در حال حاضر، سه فناوری ساخت ماژول عبارت‌اند از: الف) ماژول‌های سیلیکونی تک‌کریستالی؛ ب) ماژول‌های سیلیکونی چندکریستالی؛ پ) ماژول‌های فیلم نازک که به صورت فراگیر در بازار موجودند. جدول (۲) به مقایسه ماژول‌های تک‌کریستالی، چندکریستالی و کادمیم تلوراید (به‌عنوان نوع غالب ماژول‌های فیلم نازک) می‌پردازد.



مهم‌ترین بخش هر سامانه فتوولتائیک بعد از ماژول‌ها، اینورتر است. وظایف اصلی اینورترها در نیروگاه فتوولتائیک عبارت‌اند از: تبدیل ولتاژ و جریان مستقیم خروجی از ماژول‌های فتوولتائیک به ولتاژ و جریان متناوب برای تزریق به شبکه برق و نیز استحصال حداکثر توان تولیدی ماژول‌های فتوولتائیک با استفاده از قابلیت ردیابی نقطه حداکثر توان که با شدت تابش نور خورشید و دمای محیط تغییر می‌کند. اینورتر خورشیدی برای داشتن عملکردی مناسب به‌عنوان بخش انتقال توان سیستم فتوولتائیک باید ویژگی‌های مطلوبی داشته باشد. به‌طور کلی اینورترهای خورشیدی به دو نوع متصل به شبکه و منفصل از شبکه تقسیم‌بندی می‌شوند. همچنین از لحاظ ظرفیت به سه نوع اینورترهای میکرو، رشته‌ای و متمرکز دسته‌بندی می‌شوند که اینورترهای رشته‌ای و متمرکز، اینورترهایی هستند که به‌صورت فراوان در واحدهای تولیدی به کار گرفته می‌شوند و در دسترس‌اند. اینورترهای رشته‌ای با قابلیت اطمینان بالاتر نسبت به اینورترهای متمرکزند؛ درحالی‌که اگر عیبی برای اینورتر متمرکز پیش آید، کل سیستم از دست می‌رود. همین‌طور مدیریت و عیب‌یابی اینورتر متمرکز نسبت به چند اینورتر رشته‌ای بهتر است. نتایج نشان می‌دهند که اگر در نیروگاه‌های با ظرفیت کمتر از ۳۵۰ کیلووات از اینورترهای رشته‌ای استفاده شود، هزینه بر وات سیستم کاهش خواهد یافت؛ ولی برای توان‌های بالای ۳۵۰ کیلووات اگر از اینورترهای متمرکز استفاده شود، هزینه بر وات سیستم کمتر می‌شود. از آنجاکه ظرفیت واحد مد نظر براساس مساحت در این پژوهش ۲۸/۸ کیلووات است، از اینورترهای رشته‌ای استفاده می‌شود. پس از بررسی‌های انجام‌شده و طبق چینش پنل‌ها در طراحی پارکینگ خورشیدی مورد مطالعه در این پژوهش، محصولات شرکت SMA آلمان، اینورتر SunnyTripower مدل 25000TL-30 محصول سال ۲۰۱۴ انتخاب شد.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۱.۳. طراحی سه‌بعدی

شکل (۷) طراحی سه‌بعدی پارکینگ مطابق اندازه دقیق زمین مورد مطالعه ۳۸×۴۱ متر، ارتفاع قسمت بالا ۵/۸ متر، ارتفاع قسمت پایین ۲/۵ متر و عرض ۶/۰۷ متر رشته ماژول‌ها در دو قسمت ۱۳/۷۹ و ۱۵/۷۳ را در محیط نرم‌افزار Sketchup نشان می‌دهد.

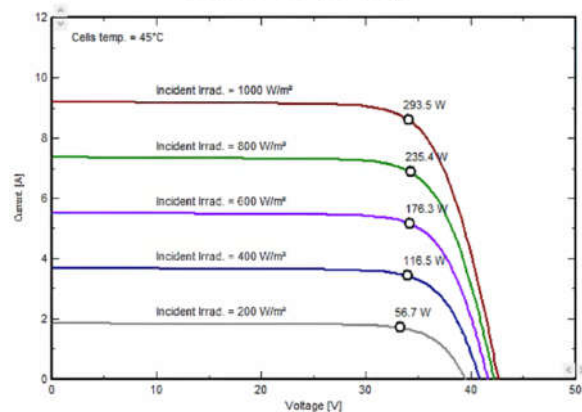
مساحت مورد نیاز برای احداث پارکینگ حدود ۱۷۰ متر مربع خواهد بود که ظرفیت پیش‌بینی‌شده برای این مساحت ۲۸/۸ کیلووات خواهد بود. این مقیاس مناسب برای ۲۰ عدد خودرو

دریاره توان انتخابی پنل‌ها باید توجه داشت که بنا به دلایلی نظیر کاهش قیمت برای هر وات ماژول، کاهش مساحت اشغال‌شده، سهولت تعمیر و نگهداری و عیب‌یابی، کاهش اتصالات ماژول‌ها، کاهش وزن ماژول‌ها و روند انتخاب پارکینگ‌های جهان، توان بالاتر انتخاب شده است. از قسمت انتخاب ماژول فتوولتائیک و از بین ماژول‌های موجود ماژول کریستال مدل TBM72-320P ساخت شرکت تابان با توان نامی ۳۲۰ وات انتخاب شد. مشخصات فنی ماژول انتخاب‌شده در جدول (۳)، وضعیت تابش نامی در شکل (۵)، و تأثیر دما بر نمودار ولتاژ-جریان ماژول فتوولتائیک در شکل (۶) نشان داده شده‌اند.

جدول (۳): مشخصات الکتریکی ماژول فتوولتائیک

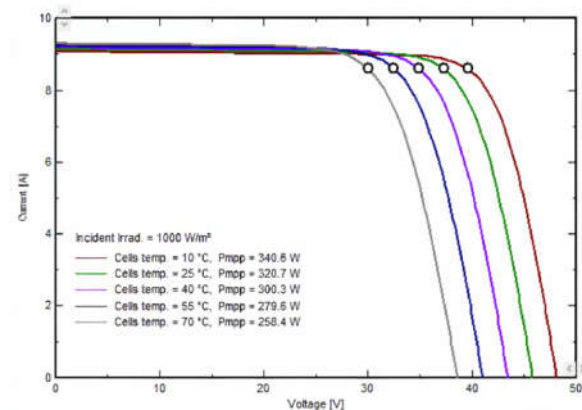
نام پارامتر	مقدار	واحد
حداکثر توان خروجی ( $P_{max}$ )	۳۲۰/۲	وات
جریان اتصال کوتاه ( $I_{sc}$ )	۹/۱۳	آمپر
ولتاژ مدار باز ( $V_{oc}$ )	۴۵/۸	ولت
جریان نقطه پیشینه توان ( $I_{mpp}$ )	۸/۶۸	آمپر
ولتاژ نقطه پیشینه توان ( $V_{mpp}$ )	۳۶/۹	ولت
تعداد سلول‌ها (Nb of Cell)	۷۲	عدد

PV module: Taban, TBM72-320p

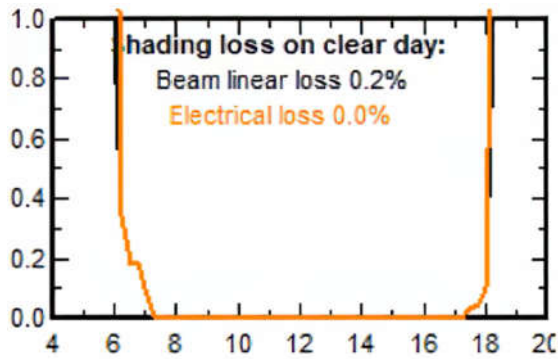


شکل (۵): وضعیت تابش نامی

PV module: Taban, TBM72-320p



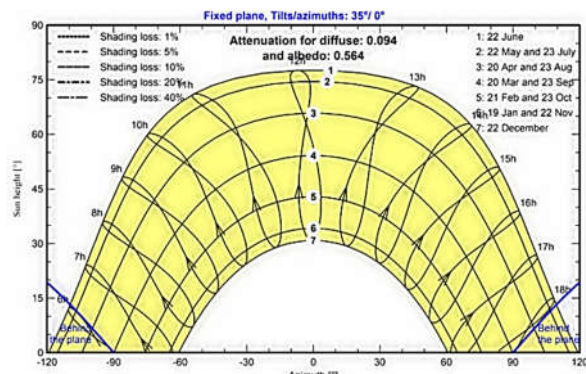
شکل (۶): نمودار تأثیر دما بر ولتاژ و جریان



شکل (۹): منحنی تلفات ایجاد شده ناشی از سایه‌های نزدیک

نتایج نشان می‌دهند که در این روز، از چهار ساعت و نیم قبل تا چهار ساعت و نیم بعد از ظهر، میزان تلفات ناشی از ایجاد سایه‌های نزدیک بر روی ماژول‌های فتوولتائیک برابر صفر است که نشان‌دهنده فقدان سایه بر روی ماژول‌های فتوولتائیک ناشی از ماژول‌های ردیف جلویی می‌باشد. همچنین تلفات خطی ناشی از بروز سایه برای کل ساعات این روز برابر ۰/۲ درصد است. همچنین درصد تلفات الکتریکی ناشی از سایه‌های نزدیک (درختان در محل) برابر با ۰ درصد گزارش شده است.

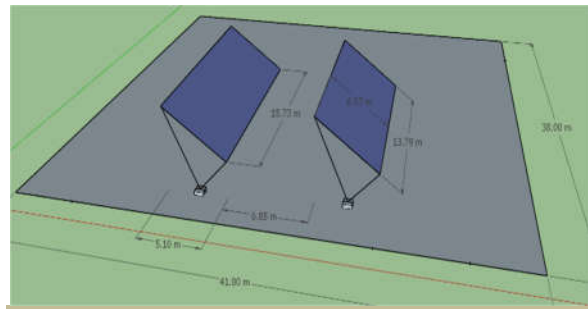
در شکل (۱۰) مدل مسیر حرکت خورشید در فصل‌های مختلف سال به همراه درصد تلفات به دلیل سایه‌اندازی را در محل نیروگاه نشان می‌دهد.



شکل (۱۰): مدل مسیر حرکت خورشید

همان‌طور که در شکل نیز قابل مشاهده است، خطوط مختلفی به صورت ممتد و نقطه‌چین تلفات را از ۱٪ تا ۴۰٪ دسته‌بندی کرده‌اند. در مکان مورد مطالعه در ماه‌هایی که با اعداد ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند، سایه در کمترین، در ماه‌هایی که با عدد ۵ نشان داده شده‌اند، کمی در هنگام طلوع و هنگام غروب آفتاب سه گروه از تلفات ظاهر می‌شوند. میزان این تلفات هرچه به سمت ماه‌های گروه ۵، ۶ و کوتاه‌ترین روز سال که با عدد ۷ مشخص شده است نزدیک‌تر می‌شود، دامنه بیشتری از روز را شامل می‌شوند.

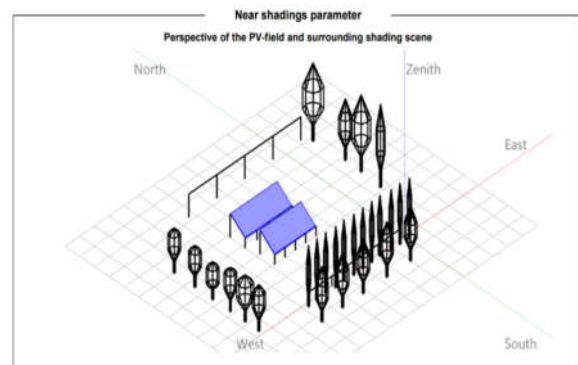
متوسط پاسخ‌گو خواهد بود. فاصله بین دو قسمت برای سهولت عبور خودروها ۶/۸۵ متر انتخاب شده است.



شکل (۷): طراحی سه‌بعدی پارکینگ

### ۲.۳. سایه‌اندازی

سایه‌های ایجاد شده بر روی ماژول‌های فتوولتائیک باعث کاهش میزان توان تولیدی می‌شود. سایه‌ها می‌توانند بسته به تعداد دیوهای بای‌پس به کاررفته در ماژول فتوولتائیک، درصدی و یا تمام توان تولیدی ماژول را متوقف کنند. در نرم‌افزار PVSyst تحلیل سایه‌های ایجاد شده بر روی ماژول‌های فتوولتائیک به دو دسته سایه‌های نزدیک و دور تقسیم می‌شوند. سایه‌های دور شامل سایه‌هایی هستند که توسط اجسام قرارگرفته در فاصله‌های بسیار دور از ماژول‌های فتوولتائیک ایجاد می‌شوند که با توجه به نبود هیچ‌گونه جسم بزرگ (مانند کوه) در اطراف مکان مورد مطالعه، هیچ‌گونه سایه دوری در مکان مورد بحث وجود ندارد. در طراحی اجزای سامانه که مطابق شکل (۸) است، تمامی درختان اطراف زمین که مهم‌ترین عامل سایه‌اندازی هستند با جزئیات در نرم‌افزار به‌گونه‌ای که کمترین تلفات سایه را در سال وجود داشته باشد، ترسیم شده‌اند.

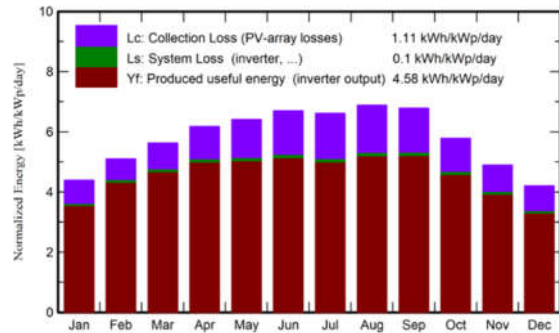


شکل (۸): طراحی محل قرارگیری اجزای سامانه به منظور محاسبه تلفات سایه‌اندازی

سایر سایه‌های ایجاد شده توسط درختان و تجهیزات نزدیک به مکان مورد مطالعه، سایه‌های نزدیک گفته می‌شود که نتایج تحلیل تلفات ناشی از ایجاد سایه‌های نزدیک بر روی ماژول‌های فتوولتائیک نیروگاه توسط نرم‌افزار PVSyst مطابق شکل (۹) است.

### ۳.۳. نتایج شبیه‌سازی

شکل (۱۱) نمودار نرمالیزه‌شده انرژی تولیدی (خروجی اینورترها)، تلفات سیستم (تلفات اینورترها و...)، و تلفات ماژول‌های فتوولتائیک به‌ازای هر کیلووات ماژول فتوولتائیک نصب‌شده را نمایش می‌دهد.



شکل (۱۱): نمودار انرژی

این نمودار میانگین تلفات و انرژی تولیدشده سامانه را نمایش می‌دهد. بنا بر شکل (۱۱)، تلفات ماژول فتوولتائیک در هر روز ۱/۱۱ کیلووات‌ساعت بر کیلووات‌پیک محاسبه شده است. همچنین، تلفات سیستم که شامل اینورتر و تلفات قسمت DC (که خود شامل تلفات تابش تا کابل DC می‌شود) در هر روز برابر با ۰/۱ کیلووات‌ساعت بر کیلووات‌پیک محاسبه شده است. علاوه بر این، انرژی مفید قابل استفاده در خروجی اینورتر (انرژی الکتریکی تزریقی به شبکه) در هر روز برابر ۴/۵۸ کیلووات‌ساعت بر کیلووات‌پیک می‌باشد. بیشینه و کمینه انرژی الکتریکی تزریقی به شبکه به ترتیب به ماه‌های آگوست و دسامبر اختصاص دارد.

در نمودار ارائه‌شده در شکل (۱۲) نسبت عملکرد کل سامانه فتوولتائیک در ماه‌های مختلف سال که از فرمول (۱) و (۲) و (۳) محاسبه شده، نشان داده شده است [۱۲].

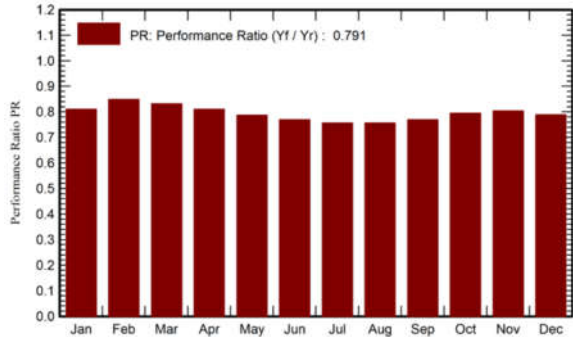
$$E_{sys} = P_{array} \times f_{man} \times f_{dirt} \times f_{temp} \times H_{tilt} \times n_{pv-inv} \times n_{inv} \times n_{sb} \quad (1)$$

$$Y_f = \frac{E_{sys}}{P_{max}} \quad (2)$$

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (3)$$

که در آن  $E_{sys}$  میانگین خروجی انرژی سالانه آرایه PV برحسب وات‌ساعت،  $P_{array}$  توان خروجی نامی آرایه در شرایط تست استاندارد،  $f_{man}$  فاکتور کاهش رتبه برای تحمل تولید (بدون بعد)،  $f_{dirt}$  ضریب درجه‌بندی کدری (بدون بعد)،  $f_{temp}$  ضریب درجه‌بندی دمای هوا (بدون بعد)،  $H_{tilt}$  مقدار تابش سالانه (کیلووات‌ساعت بر متر مربع) برای محل انتخاب‌شده (مجهز به شیب، جهت)،  $n_{pv-inv}$  راندمان زیر سامانه (سیم) بین آرایه PV و اینورتر،  $n_{inv}$  کارایی

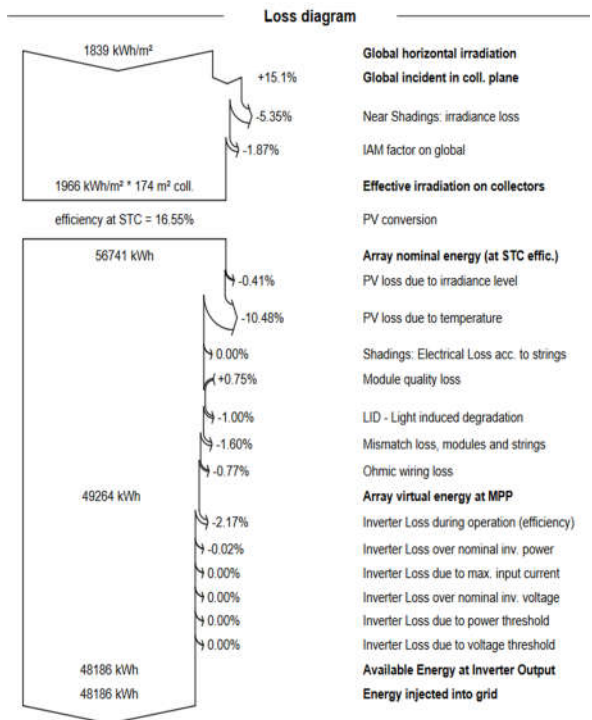
اینورتر بدون بعد،  $n_{inv\_sb}$  کارایی زیرسیستم (کابل‌ها) بین اینورتر و تابلو برق،  $Y_f$  بهینه انرژی مفید تولیدی است.  $Y_r$  از نظر عددی برابر است با میزان انرژی تاییده‌شده بر سطح ماژول فتوولتائیک و PR میانگین عملکرد سالانه است.



شکل (۱۲): نمودار نسبت عملکرد

بنا بر نتایج حاصل، میانگین عملکرد سالانه برابر ۰/۷۹۱ برآورد شده است. بیشینه و کمینه عملکرد به ترتیب مربوط به ماه‌های فوریه و آگوست است.

شکل (۱۳) که دیاگرام انرژی نام دارد، تلفات کل سامانه را از تابش تا وارد کردن انرژی الکتریکی به شبکه سیستم نمایش می‌دهد.



شکل (۱۳): دیاگرام انرژی

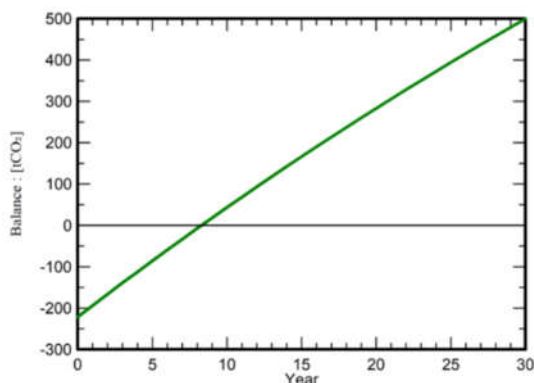
تلفات سایه در طول سال برابر با ۵/۳۳ درصد و همچنین تلفات الکتریکی ناشی از سایه‌اندازی حدوداً صفر درصد برآورد شده است. مجموع شدت تابش افقی بر روی ماژول‌های فتوولتائیک در محدوده مطالعاتی ما برابر با ۱۸۳۹ کیلووات‌ساعت بر متر مربع در سال به

#### ۴.۳. تجزیه و تحلیل محیط‌زیستی

یکی از مشکلات اساسی سوخت‌های فسیلی، تولید گازهای آلاینده به‌خصوص دی‌اکسید کربن است. با وجود اینکه گاز طبیعی در مقابل سایر سوخت‌های فسیلی آلودگی کمتری ایجاد می‌کند و سوخت پاک‌تری به شمار می‌رود. بنابراین با جایگزینی سیستم خورشیدی، علاوه بر صرفه‌جویی میزان درخور توجهی گاز طبیعی، میزان زیادی از دی‌اکسید کربن نیز کاهش می‌یابد. شکل (۴) تا (۱۰) میزان صرفه‌جویی تولید دی‌اکسید کربن در طی ۳۰ سال را نمایش می‌دهد که از رابطه (۴) به دست می‌آید [۳۰].

$$GHG_{savings} = \sum_{y=1}^n GHG_{reference,y} - GHG_{project,y} \quad (4)$$

که در آن  $GHG_{savings}$  انتشار گازهای گلخانه‌ای با واحد تن دی‌اکسید کربن است که به دلیل تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر در طول دوره  $n$  سال اجتناب می‌شود،  $GHG_{reference,y}$  انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای برای تولید انرژی با استفاده از سوخت فسیلی برحسب تن دی‌اکسید کربن در سال و  $GHG_{project,y}$  انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای برای تولید انرژی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برحسب تن دی‌اکسید کربن در سال است.



شکل (۱۵): نمودار کاهش دی‌اکسید کربن در طی ۳۰ سال

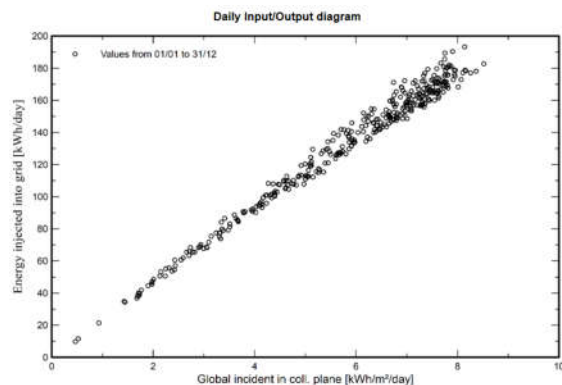
مطابق نمودار در صورت استفاده از پارکینگ خورشیدی در طول ۳۰ سال، ۴۹۹/۸۹ تن انتشار دی‌اکسید کربن کاهش یافته که باعث حفظ منابع طبیعی و بهبود کیفیت هوا، تنوع زیستی و اکوسیستم می‌شود.

#### ۵.۳. تجزیه و تحلیل اقتصادی

در جدول (۴) هزینه اولیه تجهیزات و احداث پارکینگ با مشارکت شرکت دانش‌بنیان رهیافت‌های هوشمند صدری ایرانیان (رهسان)، عضو پارک علم و فناوری خراسان و مستقر در دانشگاه فردوسی مشهد آورده شده است.

دست آمد. انرژی تابشی در سطح افقی پس از تغییر زاویه ماژول‌ها (۳۵ درجه)، ۱۵/۱ درصد بیشتر شده که با کم شدن ۱/۸۷ درصد تلفات ناشی از تعدیل زاویه وقوع، مقدار تابش مؤثر آن به ۱۹۶۶ کیلووات‌ساعت بر متر مربع در سال افزایش می‌یابد. پس از آنکه انرژی خورشیدی توسط ماژول‌های فوتولتائیک به انرژی الکتریکی تبدیل شده، انرژی اسمی با احتساب ۱۶/۵۵٪ بازده ماژول‌ها در شرایط استاندارد (STC) ۵۶/۷۵۱ مگاوات‌ساعت است. این انرژی تولیدشده در حالت اسمی است ولی در واقعیت شرایط ایدئال نبوده و باید حالت واقعی شبیه‌سازی شود. بنابراین مواردی همچون افت سالانه، تغییر بازده در اثر تغییر تلفات حرارتی، شدت توان تابشی، تلفات الکتریکی حاصل از سایه‌اندازی، کیفیت ماژول‌ها، عدم تطابق ماژول‌ها و تلفات اهمی کابل در بخش جریان مستقیم لحاظ شده و انرژی الکتریکی تولیدی سالانه نیروگاه از ۵۶/۷۵۱ مگاوات‌ساعت به ۴۹/۲۷۱ مگاوات‌ساعت کاهش یافت و در انتها، میزان انرژی واردشده به شبکه پس از کسر شدن تلفات اهمی کابل خروجی از اینورتر تا کنتور برابر با ۴۸/۱۹۲ مگاوات‌ساعت برآورد شده است.

شکل (۱۴) نمودار ورودی-خروجی سیستم است که در آن محور افقی، میزان تابش بر واحد متر مربع روی صفحه‌های خورشیدی (شیب ۳۵ درجه) و محور عمودی آن، انرژی تزریق‌شده به شبکه را نشان می‌دهد.



شکل (۱۴): نمودار ورودی-خروجی سیستم

هر نقطه در این نمودار نشانگر یک روز است. نتایج نشان می‌دهد که در سامانه‌های متصل به شبکه که مستقل از بار هستند، هرچه این نمودار نقطه‌های متمرکز باشد، طراحی ایدئال بوده است. جامعه آماری تعداد روزهایی که در آن به‌سبب افزایش میزان دریافت انرژی بر واحد متر مربع در زاویه تمایل شکل گرفته، تراکم زیادی دارد؛ به‌ویژه از هنگامی که تابش به بیش از ۲ کیلووات‌ساعت بر متر مربع می‌رسد، انرژی تزریق‌شده به شبکه به بیش از ۴۰ کیلووات‌ساعت بر روز افزایش می‌یابد.

جدول (۴): هزینه احداث و تجهیزات پارکینگ خورشیدی

ردیف	شرح کالا	قیمت واحد (تومان)	تعداد	قیمت کل (تومان)
۱	پنل خورشیدی	۴,۰۰۰,۰۰۰	۹۰	۳۶۰,۰۰۰,۰۰۰
۲	اینورتر	۱۲۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱۲۰,۰۰۰,۰۰۰
۳	تابلو برق، فیوزهای حفاظتی، و کابل کشی	۳,۰۰۰,۰۰۰	۵	۱۵,۰۰۰,۰۰۰
۴	استراکچر و فونداسیون	۲۰۸۰ تومان/وات	۲۸/۸ کیلووات	۶۰,۰۰۰,۰۰۰
۵	نصب و راه اندازی و حمل تجهیزات			۲۰,۰۰۰,۰۰۰
				مبلغ کل
				۵۷۵,۰۰۰,۰۰۰

جدول (۵) هزینه متغیر سالیانه، شامل تعمیر و نگهداری

تجهیزات را نشان می دهد.

جدول (۶): هزینه تجمعی کل در ۵ سال اول

ردیف	سال	هزینه ثابت (میلیون تومان)	هزینه متغیر (تومان)	هزینه کل (تومان)	هزینه تجمعی (تومان)
۱	۱۴۰۲	۵۷۵	۱۵,۶۰۰,۰۰۰	۱۶,۱۷۵,۰۰۰	۱۶,۱۷۵,۰۰۰
۲	۱۴۰۳	-	۲۰,۲۸۰,۰۰۰	۲۰,۲۸۰,۰۰۰	۳۶,۴۵۵,۰۰۰
۳	۱۴۰۴	-	۲۶,۳۶۴,۰۰۰	۲۶,۳۶۴,۰۰۰	۶۲,۸۱۹,۰۰۰
۴	۱۴۰۵	-	۳۴,۲۷۳,۲۰۰	۳۴,۲۷۳,۲۰۰	۹۷,۰۹۲,۲۰۰
۵	۱۴۰۶	-	۴۴,۵۵۵,۱۶۰	۴۴,۵۵۵,۱۶۰	۱۴۱,۶۴۷,۳۶۰

جدول (۵): هزینه تعمیر و نگهداری پارکینگ خورشیدی

ردیف	سرفصل هزینه	واحد	تعداد	قیمت واحد (تومان)	قیمت کل (تومان)
۱	بازرسی دوره های	دوره در ماه	۱	۵۰۰,۰۰۰	۵۰۰,۰۰۰
۲	نظافت دوره های	دوره در ماه	۲	۴۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰
					مبلغ کل
					۱,۳۰۰,۰۰۰

جدول (۶) مجموع دو هزینه ثابت و متغیر در ۵ سال اول را

نشان می دهد.

جدول (۷): درآمد سالیانه حاصل از فروش برق خورشیدی در طی ۱۵ سال

سال	انرژی تولیدی سالانه	نرخ پایه (تومان)	ضریب تعدیل	نرخ نهایی خرید برق (تومان)	درآمد سالانه (تومان)	میانگین درآمد ماهانه (تومان)	درآمد تجمعی سالانه (تومان)
۱	۴۸,۱۹۲	۱,۴۵۶	۱/۲۵	۱,۸۲۰	۸۷,۷۰۹,۴۴۰	۷,۶۴۱,۷۲۸	۸۷,۷۰۹,۴۴۰
۲	۴۸,۰۱۷	۱,۴۵۶	۱/۵۶	۲,۲۷۱	۱۰۹,۰۶۳,۸۹۳	۹,۲۹۱,۲۹۰	۱۹۶,۷۷۳,۳۳۳
۳	۴۷,۸۴۲	۱,۴۵۶	۱/۹۵	۲,۸۳۹	۱۳۵,۸۳۳,۰۰۶	۱۱,۵۶۹,۷۹۰	۳۳۲,۶۰۶,۳۴۰
۴	۴۷,۶۶۷	۱,۴۵۶	۲/۴۴	۳,۵۵۳	۱۶۹,۳۴۳,۶۹۱	۱۴,۴۱۱,۳۲۳	۵۰۱,۹۵۰,۰۳۰
۵	۴۷,۴۹۲	۱,۴۵۶	۳/۵۰	۴,۴۴۱	۲۱۰,۹۰۲,۴۷۴	۱۷,۹۴۸,۰۱۸	۷۱۲,۸۵۲,۵۰۴
۶	۴۷,۳۱۷	۱,۴۵۶	۳/۸۱	۵,۵۴۷	۲۶۲,۴۸۴,۴۳۳	۲۲,۳۵۳,۳۳۹	۹۷۵,۳۳۶,۹۳۷
۷	۴۷,۱۴۲	۱,۴۵۶	۴/۷۷	۶,۹۴۵	۳۲۷,۴۰۶,۸۴۷	۲۷,۲۸۰,۳۵۱	۱,۳۰۲,۷۴۳,۷۸۴
۸	۴۶,۹۶۷	۱,۴۵۶	۵/۹۶	۸,۶۷۸	۴۰۷,۵۶۸,۳۵۴	۳۳,۹۶۴,۳۵۴	۱,۷۱۰,۳۱۲,۱۳۸
۹	۴۶,۷۹۲	۱,۴۵۶	۷/۴۵	۱۰,۸۴۷	۵۰۷,۵۶۲,۱۸۲	۴۲,۲۹۶,۳۷۱	۲,۲۱۷,۸۱۴,۳۲۰
۱۰	۴۶,۶۱۷	۱,۴۵۶	۹/۳۱	۱۳,۵۵۵	۶۳۱,۹۱۰,۲۱۷	۵۲,۶۶۱,۹۶۴	۲,۸۴۹,۷۸۴,۵۳۸
۱۱	۴۶,۴۴۲	۱,۴۵۶	۱۱/۶۴	۱۶,۹۴۸	۷۸۷,۰۹۱,۵۸۵	۶۵,۵۸۵,۱۲۳	۳,۶۳۶,۸۷۶,۱۲۳
۱۲	۴۶,۲۶۷	۱,۴۵۶	۱۴/۵۵	۲۱,۱۸۵	۹۸۰,۱۵۷,۱۴۲	۸۱,۶۷۷,۱۴۲	۴,۶۱۷,۰۳۳,۲۶۴
۱۳	۴۶,۰۹۲	۱,۴۵۶	۱۸/۱۹	۲۶,۴۸۵	۱,۲۲۰,۷۳۰,۰۲۷	۹۷,۷۷۷,۱۴۲	۵,۸۳۷,۷۶۳,۲۹۱
۱۴	۴۵,۹۱۷	۱,۴۵۶	۲۲/۸۴	۳۳,۱۰۹	۱,۵۲۰,۲۸۶,۱۵۶	۱۲۸,۰۴۹,۵۳۲	۷,۳۵۸,۰۴۹,۴۴۸
۱۵	۴۵,۷۴۲	۱,۴۵۶	۲۸/۴۲	۴۱,۸۲۰	۱,۸۷۰,۹۴۴,۴۴۰	۱۵۵,۸۱۷,۲۲۸	۹,۲۲۸,۹۶۳,۸۸۸

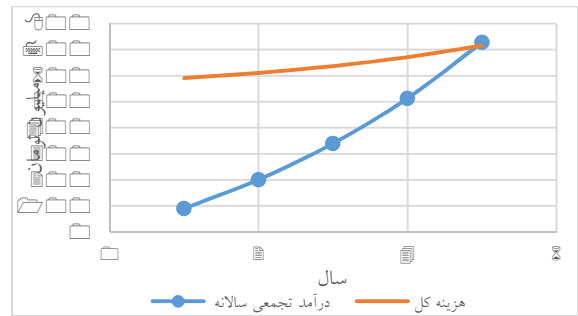
مطابق جدول (۷) افزایش هر ساله نرخ نهایی خرید برق ۲۵٪ خواهد بود که به صورت ضریب تعدیل در نرخ پایه ضرب شده و قیمت نهایی برآورد شده است. همچنین در سال پنجم، درآمد

تجمعی سالیانه حدود ۷۱۲ میلیون تومان خواهد بود که نشان دهنده بازگشت سرمایه و هزینه های کلی در این سال است. نقطه سربه سر در اقتصاد و به خصوص در محاسبه هزینه، به نقطه ای گفته می شود

طبق نمودار نقطه برخورد منحنی هزینه کل و درآمد تجمعی، بازگشت سرمایه در کمتر از ۵ سال و شروع سوددهی طرح پیشنهادی بعد از سال پنجم خواهد بود.

جدول (۸) تحلیل حساسیت دومتغیره سود و زیان را نشان می‌دهد. در این ارزیابی دو متغیر ضریب تعدیل و هزینه احداث در بازه تغییرات، به ترتیب منفی ۲۰٪ تا مثبت ۵۰٪ و منفی ۴۰٪ تا مثبت ۴۰٪ بررسی شد. با توجه به هزینه ساخت و درآمد طرح پس از سال پنجم و رسیدن به نقطه سربه‌سر و شروع سوددهی، متناسب با هر تغییر در دو متغیر ضریب تعدیل و هزینه ساخت محاسبه و در جدول (۸) ارائه شد. همچنین در شکل (۱۷) نمودار تحلیل حساسیت دومتغیره رسم شده است.

که هزینه‌های کلی و درآمد کلی برابر می‌شوند و از آن نقطه به بعد، می‌توان به سوددهی رسید. تا قبل از رسیدن به نقطه سربه‌سر، سود و زیانی حاصل نشده است و فقط هزینه‌هایی که برای تجارت مورد نظر انجام گرفته‌اند، جبران می‌شوند و سرمایه اولیه برمی‌گردد. به‌طور خلاصه، تمامی هزینه‌های انجام‌شده برگشت داده می‌شوند ولی هنوز سود برابر با صفر است. در شکل (۱۶) نقطه سربه‌سری در ۵ سال اول طرح نشان داده شده است.



شکل (۱۶): نمودار نقطه سربه‌سر ۵ ساله طرح

جدول (۸) تحلیل حساسیت سود و زیان دومتغیره

	-۴۰٪	-۳۰٪	-۲۰٪	-۱۰٪	۰٪	۱۰٪	۲۰٪	۳۰٪	۴۰٪	درصد تغییرات	درصد تغییرات
درآمد تجمعی سالانه	۳۴۵,۰۰۰,۰۰۰	۴۰۲,۵۰۰,۰۰۰	۴۶۰,۰۰۰,۰۰۰	۵۱۷,۵۰۰,۰۰۰	۵۷۵,۰۰۰,۰۰۰	۶۳۲,۵۰۰,۰۰۰	۶۹۰,۰۰۰,۰۰۰	۷۴۷,۵۰۰,۰۰۰	۸۰۵,۰۰۰,۰۰۰	صورتی	درصد تغییرات
هزینه کل	۶۲۱,۲۷۱,۷۷۲	۵۶۳,۷۷۱,۷۷۲	۵۰۶,۲۷۱,۷۷۲	۴۴۸,۷۷۱,۷۷۲	۳۹۱,۲۷۱,۷۷۲	۳۳۳,۷۷۱,۷۷۲	۲۷۶,۲۷۱,۷۷۲	۲۱۸,۷۷۱,۷۷۲	۱۶۱,۲۷۱,۷۷۲	صورتی	درصد تغییرات
سود	۵۴۴,۵۵۸,۲۳۵	۴۸۷,۰۵۸,۲۳۵	۴۲۹,۵۵۸,۲۳۵	۳۷۲,۰۵۸,۲۳۵	۳۱۴,۵۵۸,۲۳۵	۲۵۷,۰۵۸,۲۳۵	۱۹۹,۵۵۸,۲۳۵	۱۴۲,۰۵۸,۲۳۵	۸۴,۵۵۸,۲۳۵	صورتی	درصد تغییرات
سود	۴۹۶,۲۴۵,۵۶۰	۴۳۸,۷۴۵,۵۶۰	۳۸۱,۲۴۵,۵۶۰	۳۲۳,۷۴۵,۵۶۰	۲۶۶,۲۴۵,۵۶۰	۲۰۸,۷۴۵,۵۶۰	۱۵۱,۲۴۵,۵۶۰	۹۳,۷۴۵,۵۶۰	۳۶,۲۴۵,۵۶۰	صورتی	درصد تغییرات
سود	۴۲۷,۸۱۹,۰۶۲	۳۷۰,۳۱۹,۰۶۲	۳۱۲,۸۱۹,۰۶۲	۲۵۵,۳۱۹,۰۶۲	۱۹۷,۸۱۹,۰۶۲	۱۴۰,۳۱۹,۰۶۲	۸۲,۸۱۹,۰۶۲	۲۵,۳۱۹,۰۶۲	-۳۲,۱۸۰,۹۳۸	صورتی	درصد تغییرات
سود	۳۸۴,۷۸۲,۲۶۹	۳۲۷,۲۸۲,۲۶۹	۲۶۹,۷۸۲,۲۶۹	۲۱۲,۲۸۲,۲۶۹	۱۵۴,۷۸۲,۲۶۹	۹۷,۲۸۲,۲۶۹	۳۹,۷۸۲,۲۶۹	-۱۷,۷۱۷,۷۳۱	-۷۵,۲۱۷,۷۳۱	صورتی	درصد تغییرات
سود	۳۳۳,۹۰۸,۹۵۵	۲۶۶,۴۰۸,۹۵۵	۲۰۸,۹۰۸,۹۵۵	۱۵۱,۴۰۸,۹۵۵	۹۳,۹۰۸,۹۵۵	۳۶,۴۰۸,۹۵۵	-۲۱,۰۹۱,۰۴۵	-۷۸,۵۹۱,۰۴۵	-۱۳۶,۰۹۱,۰۴۵	صورتی	درصد تغییرات
سود	۲۸۵,۶۷۴,۴۰۷	۲۲۸,۱۷۴,۴۰۷	۱۷۰,۶۷۴,۴۰۷	۱۱۳,۱۷۴,۴۰۷	۵۵,۶۷۴,۴۰۷	-۱۸,۲۵۰,۵۹۳	-۵۹,۳۲۵,۵۹۳	-۱۱۶,۸۲۵,۵۹۳	-۱۷۴,۳۲۵,۵۹۳	صورتی	درصد تغییرات
سود	۲۳۱,۶۶۶,۸۱۰	۱۷۴,۱۶۶,۸۱۰	۱۱۶,۶۶۶,۸۱۰	۵۹,۱۶۶,۸۱۰	۱,۶۶۶,۸۱۰	-۵۵,۸۳۳,۱۹۰	-۱۱۳,۳۳۳,۱۹۰	-۱۷۰,۸۳۳,۱۹۰	-۲۲۸,۳۳۳,۱۹۰	صورتی	درصد تغییرات



شکل (۱۷): نمودار تحلیل حساسیت

PVsyst زاویه سمت بهینه نصب ماژول‌های فتوولتائیک نیروگاه با رویکرد بیشینه‌سازی تولید سالیانه ۳۵ درجه تعیین شد. نوع و برند ماژول کریستال مدل TBM72-320P ساخت شرکت تابان با توان نامی ۳۲۰ وات در تعداد مورد نیاز ۹۰ عدد در ۵ رشته و ظرفیت ۲۸/۸ کیلووات انتخاب شد. ۱ عدد اینورتر خورشیدی SMA ساخت کشور آلمان مدل Sunny Tripower 25000TL محصول سال ۲۰۱۴ با ظرفیت ۲۵ کیلووات انتخاب شد. براساس محل قرارگیری ماژول‌ها تلفات سایه‌اندازی در پارکینگ ۵/۳۳ درصد در سال برآورد شد. مقدار انرژی تزریقی به شبکه ۴۸/۱۹۲ مگاوات‌ساعت در سال محاسبه شد. در صورت احداث این پارکینگ خورشیدی، علاوه بر استفاده از انرژی پاک آن، پیش‌بینی شده است در مدت ۳۰ سال، ۴۹۹/۸۹ تن دی‌اکسید کربن کمتر وارد جو گردد. نرخ بازگشت سرمایه کمتر از ۵ سال و پس از آن وارد سوددهی خواهد شد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان داد به‌ازای ۱۰٪ کاهش هزینه ساخت، ۶۱٪ و ۱۰٪ افزایش ضریب تعدیل، ۶۴٪ سود افزایش می‌یابد.

نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان داد با افزایش ضریب تعدیل و همچنین کاهش هزینه ساخت، سود حاصله افزایش و با کاهش ضریب تعدیل و افزایش هزینه ساخت، به حد ضرر می‌رسد. بیشترین سود در ضریب تعدیل ۰/۳۸ یعنی افزایش ۵۰ درصدی نسبت به ضریب تعدیل استفاده‌شده در محاسبات بازگشت سرمایه و هزینه ساخت ۳۴۵ میلیون تومان به دست آمد. حد ضرر مطابق نمودار از بازه کاهش هزینه ساخت ۱۰ درصدی و ضریب تعدیل ۰/۲۰ شروع و تا مثبت ۴۰٪ هزینه ساخت اولیه و ضریب تعدیل ۰/۳۰ ادامه دارد که نشان می‌دهد کاهش هزینه ساخت ۱۰ درصدی با ضریب تعدیل ۰/۲۳ نیز سودآور نخواهد بود. جدول (۸) نقطه‌های مختلف خروج از حد ضرر را نشان می‌دهد. همچنین به‌ازای ۱۰٪ کاهش هزینه ساخت، ۶۱٪ و ۱۰٪ افزایش ضریب تعدیل، ۶۴٪ سود افزایش می‌یابد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

براساس طراحی و شبیه‌سازی برای احداث یک پارکینگ فتوولتائیک متصل به شبکه در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران با توجه به منطقه جغرافیایی و شرایط آب‌وهوایی در نرم‌افزار

#### مراجع

- [1] Gorjian, S., Singh, R., Shukla, A., Mazhar, A. R., "On-farm applications of solar PV systems", Photovoltaic Solar Energy Conversion, pp. 147–190, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819610-6.00006-5>.
- [2] Fazelpour, F., Soltani, N., Rosen, M. A., "Feasibility of satisfying electrical energy needs with hybrid systems for a medium-size hotel on Kish Island, Iran", Energy, Vol. 73, pp. 856–865, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.097>.
- [3] Moreira Soares, A. C., Vieira, E., Casaro, M. M., "Simulation of a photovoltaic model using bisection method", COBEP 2011- 11th Brazilian Power Electron. Conf., pp. 807–811, 2011, <https://doi.org/10.1109/COBEP.2011.6085239>.
- [4] Teo, H. G., Lee, P. S., Hawlader, M. N. A., "An active cooling system for photovoltaic modules", Appl. Energy, Vol. 90, No. 1, pp. 309–315, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.01.017>.
- [5] Gorjian, S., Zadeh, B. N., Eltrop, L., Shamshiri, R. R., Amanlou, Y., "Solar photovoltaic power generation in Iran: Development, policies, and barriers", Renew. Sustain. Energy Rev., Vol. 106, pp. 110–123, May 2019, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.025>.
- [6] Gray, J. L., *The Physics of the Solar Cell in Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, Chichester, UK: John Wiley, Sons, Ltd, pp. 82–129, 2011. <https://doi.org/10.1002/9780470974704.ch3>.
- [7] Gorjian, S., Ebadi, H., *Introduction*, photovoltaic solar energy conversion: technologies, applications and environmental impacts, pp. 1–26, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819610-6.00001-6>.
- [8] Gorjian, S., Sharon, H., Ebadi, H., Kant, K., Scavo, F. B., Tina, G. M., "Recent technical advancements, economics and environmental impacts of floating photovoltaic solar energy conversion systems", J. Clean. Prod., Vol. 278, p. 124285, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124285>.
- [9] Figueiredo, R., Nunes, P., Brito, M. C., "The feasibility of solar parking lots for electric vehicles", Energy, Vol. 140, pp. 1182–1197, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.024>.
- [10] Deshmukh, S. S., Pearce, J. M., "Electric vehicle charging potential from retail parking lot solar photovoltaic awnings", Renew. Energy, Vol. 169, pp. 608617, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.068>.
- [11] Müller, B., Hardt, L., Armbruster, A., Kiefer, K., Reise, C., "Yield predictions for photovoltaic power plants: empirical validation, recent advances and remaining

- uncertainties", Prog. Photovoltaics Res. Appl., Vol. 24, No. 4, pp. 570-583, 2015., <https://doi.org/10.1002/pip.2626>
- [12] Uwho, K. O., Amadi, H. N., "Design and simulation of 500kw grid connected PV system for faculty of engineering, rivers state university using pvsyst software", Iconic Research And Engineering Journals Vol. 5, No. 8, pp. 221-229, 2022.
- [13] Akinyele, D. O., Rayudu, R. K., Nair, N. K. C., "Life cycle impact assessment of photovoltaic power generation from crystalline silicon-based solar modules in Nigeria", Renew. Energy, Vol. 101, pp. 537-549, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.017>.
- [14] Shaaban, M., Petinrin, J. O., "Renewable energy potentials in Nigeria: Meeting rural energy needs", Renew. Sustain. Energy Rev., Vol. 29, pp. 72-84, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.078>.
- [15] Changkakati, S., Sahu, A. K., Syed, R., Kumar, S., Kesari, J. P., "Performance evaluation of grid-connected solar photovoltaic plant using PVSYST software", IJERT, Vol. 9, No. 10, pp. 71-97, 2020. <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS100035>
- [16] Prakash, R., Singh, S., "Designing and modelling of solar photovoltaic cell and array", IOSR J. Electr. Electron. Eng., Vol. 11, No. 2, pp. 35-40, 2016. <https://doi.org/10.9790/1676-1102033540>.
- [17] Akikur, R. K., Saidur, R., Ping, H. W., Ullah, K. R., "Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification: A review", Renew. Sustain. Energy Rev., Vol. 27, pp. 738-752, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.043>.
- [18] Brimmo, A. T., Sodiq, A., Sofela, S., Kolo, I., "Sustainable energy development in Nigeria: Wind, hydropower, geothermal and nuclear (Vol. I)", Renew. Sustain. Energy Rev., Vol. 74, pp. 474-490, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.162>.
- [19] Ahmad, O. A., Habeeb, W. H., Mahmood, D. Y., Jalal, K. A., Sayed, H., "Design and performance analysis of 250 kw grid-connected photovoltaic system in iraqi environment using pvsyst software", Indones. J. Electr. Eng. Informatics, Vol. 7, No. 3, pp. 415-421, 2019, <https://doi.org/10.11591/ijeel.v7i3.978>.
- [20] Umer, F., Aslam, M. S., Rabbani, M. S., Hanif, M. J., Naeem, N., Abbas, M. T., "Design and optimization of solar carport canopies for maximum power generation and efficiency at Bahawalpur", Int. J. Photoenergy, Vol. 2019, 2019, <https://doi.org/10.1155/2019/6372503>.
- [21] Iringová, A., Kovacic, M., "Design and optimization of photovoltaic systems in a parking garage- A case study", Transp. Res. Procedia, Vol. 55, pp. 1171-1179, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.097>.
- [22] Singh, A., Shaha, S. S., Nikhil, P. G., Sekhar, Y. R., Saboor, S., Ghosh, A., "Design and analysis of a solar-powered electric vehicle charging station for Indian cities", World Electr. Veh. J., Vol. 12, No. 3, 2021, <https://doi.org/10.3390/wevj12030132>.
- [23] Nunes, P., Figueiredo, R., & Brito, M. C., "The use of parking lots to solar-charge electric vehicles", Renew. Sustain. Energy Rev., Vol. 66, pp. 679-693, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.015>.
- [24] Elhenawy, Y., Hafez, G., Abdel-Hamid, S., Elbany, M., "Prediction and assessment of automated lifting system performance for multi-storey parking lots powered by solar energy", J. Clean. Prod., Vol. 266, p. 121859, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121859>.
- [25] Meratizaman, M., Monadzadeh, S., Amidpour, M., "Simulation, economic and environmental evaluations of green solar parking (refueling station) for fuel cell vehicle", Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 39, No. 5, pp. 2359-2373, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.11.094>.
- [26] Hosseinnia, H., Tousi, B., "Optimal operation of DG-based micro grid (MG) by considering demand response program (DRP)", Electr. Power Syst. Res., Vol. 167, pp. 252-260, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.10.026>.
- [27] Shojaei, S., Beiza, J., Abedinzadeh, T., ALipour, H., "Optimal eco-emission scheduling of a microgrid by considering uncertainties", Journal of Energy Management and Technology Vol. 6, No. 2, pp. 119-126, 2021.
- [28] Gunerhan, H., Hepbasli, A., "Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications", Build. Environ., Vol. 42, No. 2, pp. 779-783, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.09.012>.
- [29] Lewis, G., "Optimum tilt of a solar collector". Sol and Wind Technol., Vol. 4, No. 3, pp. 1-4, 1987, [https://doi.org/10.1016/0741-983X\(87\)90073-7](https://doi.org/10.1016/0741-983X(87)90073-7)
- [30] Abdalla, S. N. M., Özcan, H., "Design and simulation of a 1-GWp solar photovoltaic power station in Sudan", Clean Energy, Vol. 5, No. 1, pp. 57-78, 2021. <https://doi.org/10.1093/ce/zkaa030>.