



طراحی و شبیه سازی نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه مجموعه آموزشی دانشگاه آزاد فسا به

منظور کاهش کربن تولیدی

استادیار، گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
 دانشیار، گروه مهندسی انرژی تجدیدپذیر، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
 کارشناسی ارشد مهندسی انرژی های تجدیدپذیر، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

مهدی متوسل*

سامان تشکر

آرمان خوشنواز

چکیده مبسوط

مقدمه: در سال های اخیر، مصرف انرژی در بسیاری از کشورها به دلایل گوناگون افزایش یافته است. امروزه، تأمین بخشی از نیاز انرژی برای رشد و توسعه پایدار جوامع بشری از طریق منابع انرژی نو و تجدیدپذیر به عنوان راه حل مطمئن و سازگار با ملاحظات زیست محیطی مدنظر بسیاری از دولت ها، کارشناسان و دانشمندان در سراسر جهان مطرح شده است. نیروگاه های خورشیدی سازگاری بیشتری با محیط زیست دارند. تأسیس و بهره برداری از نیروگاه های خورشیدی در آینده، زمینه های گسترده ای را برای کمک به خودکفایی و کاهش وابستگی کشور به صادرات نفت فراهم خواهد کرد. در این پژوهش، به بررسی و ارزیابی نوع طراحی نیروگاه خورشیدی برای مجموعه آموزشی دانشگاه آزاد فسا پرداخته شده است.

مواد و روش ها: در این پژوهش میزان بهره وری نیروگاه خورشیدی در منطقه فارس، شهرستان فسا، مورد بررسی قرار گرفته است. شبیه سازی تولید انرژی در نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه به میزان ۲/۲۵۵۴ مگاوات ساعت نامی با کمک نرم افزارهای پی وی سیست و رت اسکرین مورد بررسی قرار گرفت. میزان کاهش انتشار دی اکسید کربن و اثر زیست محیطی آن مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث: در نرم افزار شبیه سازی پی وی سیست انرژی خروجی نیروگاه، انرژی تزریقی به شبکه ۳۸۴۶۹۱۴ کیلووات ساعت در سال خواهد بود. در نرم افزار شبیه سازی رت اسکرین انرژی خروجی نیروگاه، انرژی تزریقی به شبکه ۳۸۴۶۴۲۹ کیلووات ساعت در سال خواهد بود. در بخش زیست محیطی شبیه سازی نیروگاه فتوولتائیک دانشگاه آزاد فسا در نرم افزار رت اسکرین، قابل مشاهده است که با استفاده از سیستم پیشنهادی از انتشار ۹/۲۲۲۱ تن دی اکسید کربن در جو جلوگیری خواهد شد، که این کاهش ۹۳ درصدی تاثیر بسزایی در عدم آلودگی هوا خواهد داشت.

نتیجه گیری: هدف اصلی تحقیق طراحی نیروگاه خورشیدی برای مجموعه آموزشی دانشگاه آزاد فسا برای کاهش اثر گاز دی اکسید کربن در منطقه بوده که در این راستا نیروگاه خورشیدی با توان نامی ۲۲۵۵ کیلووات برای یک هکتار زمین طراحی شده که نشان دهنده عملی بودن طرح است که امکان بسط دادن طرح با مساحت بیشتر نیز با توجه به شرایط طراحی وجود دارد. هدف فرعی این تحقیق بررسی ضریب عملکرد، راندمان مفید، بازده آرایه ها، چیدمان بهینه و زاویه مناسب پنل ها در شبیه سازی بوده است. در طراحی ما به ضریب نسبت عملکرد ۶۸ درصد برای کل نیروگاه دست پیدا کردیم که ضریب خوب و قابل قبولی است، با بهینه بودن زوایای پنل، چیدمان پنل ها و بازده خوب هر آرایه امکان پذیر شده است. در راستای ارتقای دقت در انتخاب محل مناسب برای احداث نیروگاه های خورشیدی فتوولتائیک، استفاده از متدهای بهینه سازی و تحلیل سیستماتیک مورد نیاز است. توجه به چندجانبگی معیارهای انتخابی و تأثیرات آن ها بر گزینه های پیشرو می تواند به افزایش کارایی نیروگاه ها در مقیاس های گوناگون کمک نماید. همچنین، اجرای مدل های پیش بینی پیچیده ای که بتواند متغیرهای بیشتری از جمله تغییرات اقلیمی، توسعه شهری و روندهای اقتصادی را در بر بگیرد، می تواند در شناسایی صحیح ترین مکان برای سرمایه گذاری های آینده مؤثر واقع شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

واژه های کلیدی:

شهرستان فسا، نیروگاه

فتوولتائیک، پی وی سیست،

رت اسکرین

نویسنده مسئول: مهدی متوسل

نشانی: استادیار، گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. تلفن: ۰۹۱۷۳۰۹۹۵۶۳. پست الکترونیکی: mehdi_motevasel@yahoo.com

استاد: متوسل مهدی، تشکر سامان، خوشنواز آرمان. طراحی و شبیه سازی نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه مجموعه آموزشی دانشگاه آزاد فسا به منظور کاهش کربن تولیدی. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ (۷)۲: ۷۷-۶۲

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه http://creativecommons.org/licenses/by/4.0 در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

• متصل به شبکه: این نوع نیروگاه به مزایایی از قبیل نیاز نداشتن به باتری، افزایش ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، همچنین تقویت شبکه برق سراسری برخوردار است (کونگان و همکاران ۲۰۲۱).

• منفصل از شبکه: نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک به این شکل، طول عمر مناسبی دارند و برای نقاط دور دست نیز مناسب هستند، اما نیاز به سیستمی برای ذخیره‌سازی انرژی دارند (ناوینکومار ۲۰۲۲).

نوع اول با واسطه اینورتر، شبکه برق را تغذیه می‌کند و نوع دوم برای مصارف داخلی (مثل خانه‌ها، شرکت‌ها و سازمان‌ها) به کار برده می‌شود. در نوع دوم نیروگاه، از باتری برای ذخیره‌سازی انرژی استفاده می‌شود (حاسان و همکاران ۲۰۲۳).

نیروگاه‌های فتوولتائیک کار خود را بر پایه تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی برقی انجام می‌دهند. در این نیروگاه‌ها، جریان برق مستقیم تولید شده در سلول‌های فتوولتائیک توسط دستگاهی به نام اینورتر (مبدل) به جریان متناوب تبدیل می‌شود. اکثریت این سلول‌ها از ماده‌ای به نام سیلیسیم ساخته شده‌اند که از شن و ماسه در مناطق کویری استخراج می‌شود. از این‌رو، کمبود ماده اولیه برای ساخت این سلول‌ها وجود ندارد. با این حال، مواد متفاوتی نیز در ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده شده‌اند که بازده و هزینه‌های ساختشان متفاوت است. به‌خاطر این موضوع، این سلول‌ها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که بتوانند طول‌موج‌های نور خورشید را که به سطح زمین می‌رسد، با بازده بالا به انرژی مفید تبدیل کنند (میتراسینوویک و همکاران ۲۰۲۳).

نرم‌افزار RetScreen ساخت دولت کانادا کمک می‌کند تا تحلیل‌های پیشرفته اقتصادی، برنامه‌ریزی، ارزیابی و اجرای پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر و پاک را ارائه دهد. نرم‌افزار PVSyst یکی از محصولات شبیه‌سازی پیشرفته برای نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک است. این نرم‌افزار بازایی داده‌ها، تحلیل‌های مکانی، شبیه‌سازی سیستم‌های زمینی و تولید گزارش‌هایی مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه می‌دهد. متئونورم یک ابزار مرجع جامع هواشناسی است، که دسترسی به طیف گسترده‌ای از داده‌های هواشناسی را برای کاربردهای خورشیدی و طراحی سیستم در سطح جهانی فراهم می‌کند. در آخرین نسخه، سری‌های زمانی تاریخی تابش، دما، رطوبت، بارندگی و باد را با داده‌های ساعتی در دسترس از سال ۲۰۱۰ و به‌روزرسانی دائمی ارائه می‌دهد. این نرم‌افزار به کاربران اجازه می‌دهد تا داده‌های هوایی دقیق را برای هر مکان روی زمین، با

در سال‌های اخیر، مصرف انرژی در بسیاری از کشورها به دلایل گوناگون افزایش یافته است. عواملی همچون صنعتی شدن، افزایش نرخ شهرنشینی و افزایش سریع جمعیت به این افزایش موجب شده‌اند (پاتا ۲۰۲۱). امروزه، تأمین بخشی از نیاز انرژی برای رشد و توسعه پایدار جوامع بشری از طریق منابع انرژی نو و تجدیدپذیر به‌عنوان راه‌حلی مطمئن و سازگار با ملاحظات زیست‌محیطی مدنظر بسیاری از دولت‌ها، کارشناسان و دانشمندان در سراسر جهان مطرح شده است. اما برای رسیدن به یک توسعه پایدار واقعی، لازم است تا در همان زمان به جنبه‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی توجه کرده و تعادلی پویا و پایا بین این عوامل برقرار شود (هیچل ۲۰۱۹). همچنین، در نظر گرفتن شرایطی که ممکن است منجر به مخاطره یا کاهش فرصت‌های آینده برای پیشرفت شود، بسیار حائز اهمیت است. به عبارت دیگر، برای برنامه‌ریزی در خصوص آینده پایدار جوامع انسانی، ارزیابی و بررسی عملکرد سیستم‌های مختلف نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین، به دلیل تغییرات سریع در جوامع جهانی، فناوری‌ها، نگرش ما نسبت به محیط‌زیست و تأثیر ما بر آن نیز در حال تغییر است (بلاتی ۲۰۱۹). از این‌رو، انجام تحقیقات جامع و گسترده برای افزایش و ترویج توسعه پایدار و شناسایی راه‌حل‌های پایدار و قابل انعطاف برای توسعه هر کشوری امری ضروری و حیاتی است (چانکسلایانی و همکاران ۲۰۲۱).

خورشید به‌تنهایی یک منبع عظیم انرژی است، بلکه سرآغاز حیات و منشأ تمام انرژی‌های طبیعی موجود دیگر است. برآوردهای علمی نشان می‌دهد که خورشید حدود ۴/۲ میلیون تن از جرم خود را در هر ثانیه به انرژی تبدیل می‌کند و تقریباً ۶/۶ میلیارد سال از تولد خورشید می‌گذرد. با توجه به وزن خورشید که تقریباً ۳۳۳ هزار برابر وزن زمین است، می‌توان آن را به‌عنوان یک منبع عظیم انرژی تا ۵ میلیارد سال آینده در نظر گرفت. قطر خورشید حدود ۱/۳۹ میلیون کیلومتر است و از گازهایی نظیر هیدروژن (۸۰/۸٪)، هلیوم (۲/۱۸٪) و اسیدهای دیگر که مهم‌ترین آن‌ها اکسیژن، کربن، نئون و نیتروژن است، تشکیل شده است. دمای مرکزی خورشید حدود ۱۶-۱۴ میلیون درجه سانتی‌گراد است، درحالی که دمای سطح آن نزدیک به ۵۵۰۶ درجه سانتی‌گراد است. خورشید امواج الکترومغناطیسی را در فضا منتشر می‌کند (کانان و همکاران ۲۰۱۶).

نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک به‌طور مستقیم انرژی خورشیدی دریافتی را به برق تبدیل می‌کنند. این نوع نیروگاه خورشیدی با دو شکل وجود دارد:

این گونه تحلیل‌ها کمک می‌کنند تا با در نظر گرفتن همه جوانب، مکان‌هایی که بیشترین پتانسیل را برای استفاده بهینه و مؤثر از منابع انرژی تجدیدپذیر دارند، برگزیده شوند.

چارابی و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی و شناسایی مکان‌های مناسب برای ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی پرداختند و در این راستا، معیارهایی نظیر تابش خورشید، فاصله از جاده‌های اصلی و توپوگرافی را در انتخاب مکان احداث نیروگاه‌ها در نظر گرفته‌اند. این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شده است. با تجزیه و تحلیل نقشه‌های به‌دست‌آمده از GIS، نتایج نشان داده‌اند که تنها نیم درصد از کل سطح زمین دارای شرایط مناسب برای احداث یک نیروگاه خورشیدی بوده است. این یافته‌ها می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با توسعه پتانسیل‌های انرژی تجدیدپذیر مفید باشند، چرا که تعیین مکان‌های دارای بیشترین تابش خورشید و دسترسی مناسب به زیرساخت‌های حمل‌ونقل و با توجه به توپوگرافی، می‌تواند به حداکثر رساندن بازدهی و کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری کمک کند. آیدین و همکاران (۲۰۱۳) تحقیقی را انجام دادند که در آن ابتدا معیارهای مانند فاصله از خطوط برق، فاصله از شهر، شیب زمین و جهت شیب را به‌عنوان عوامل مهم و استراتژیک برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی انتخاب کردند. این عوامل می‌توانند تأثیر قابل‌توجهی بر هزینه‌های احداث و بهره‌برداری از نیروگاه، به‌ویژه در زمینه‌های مربوط به ساخت‌وساز و اتصال به شبکه برق داشته باشند. آن‌ها در ادامه با استفاده از نرم‌افزار سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) که ابزاری قدرتمند برای تحلیل مکانی و گردآوری اطلاعات جغرافیایی محسوب می‌شود، و همچنین تصمیم‌گیری فازی که به تحلیل داده‌های پیچیده با عدم قطعیت کمک می‌کند، به عملیات مکان‌یابی پرداختند. در این زمینه، تصمیم‌گیری فازی اجازه می‌دهد که داده‌های مبهم یا غیرقطعی در فرآیند مکان‌یابی در نظر گرفته شود که این امر به بررسی دقیق‌تر و جامع‌تر مناطق مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی کمک می‌کند و به پروژه‌های توسعه انرژی خورشیدی منجر می‌شود که نه تنها از نظر اقتصادی بلکه در زمینه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی نیز بهینه‌سازی شده‌اند.

در تحقیقی که توسط رن و همکاران (۲۰۱۳) انجام شده و با عنوان نیروگاه خورشیدی منتشر شده است، روی نقش کلیدی انرژی در جوامع بشری و تأثیر آن بر تکامل و پیشرفت آن‌ها تمرکز شده است. این پژوهش به چالش‌های استفاده از سوخت‌های فسیلی که به حداکثر خود رسیده‌اند و پیامدهای آن بر محیط‌زیست، از جمله آلودگی هوا، گرمایش جهانی و تخریب لایه اوزون اشاره دارد. تحقیق توجه ویژه‌ای به ضرورت روی آوردن به منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک به‌عنوان جایگزین‌های

دسترس‌ی به بیش از ۳۰ پارامتر مختلف آب‌وهوا از بیش از ۸۰۰۰ ایستگاه هواشناسی و پنج ماهواره تولید کنند.

مکان‌یابی به معنی انتخاب بهینه مکان‌ها برای هدف خاصی بر اساس معیارهای مشخص است. این مفهوم یکی از پرکاربردترین عناصر کلیدی را در موفقیت و بقای مراکز صنعتی تشکیل می‌دهد که تحت تأثیر بسیاری از عوامل قرار می‌گیرد. هدف از مکان‌یابی، یافتن مکان‌های بهینه است برای کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، بهبود و بهینه‌سازی گردش مواد و خدمات (یو و همکاران ۲۰۲۱). انتخاب مکان مناسب نیازمند به مطالعات منطقه‌ای و استفاده از روش‌های ریاضی، جغرافیایی، اقتصادی، مهندسی و تصمیم‌گیری است. استفاده صحیح از این روش‌ها منجر به دستیابی به مکان بهینه خواهد شد که اثرات مثبت اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فرهنگی در آینده دارد (جینگ و همکاران ۲۰۲۱، هویو و همکاران ۲۰۲۰). کاریون و همکاران (۲۰۰۸) تحقیقی را انجام دادند که در آن محیط‌زیست، هواشناسی، جغرافیا و شرایط قانونی را به‌عنوان عوامل کلیدی برای تعیین مکان احداث نیروگاه خورشیدی مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌های انجام شده توسط آن‌ها نشان داد که مناطق مختلف در نیجریه دلیل که دارای میزان بالایی از تابش خورشید و دمای متوسط هستند، پتانسیل مناسبی برای ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک دارند. این نوع بررسی‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا انتخاب مکان مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی می‌تواند تأثیر بسزایی در کارایی و موفقیت اقتصادی پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر داشته باشد. شناسایی و انتخاب منطقه‌ای که دارای شرایط ایده‌آل هواشناسی و جغرافیایی است و همچنین مطابق با مقررات و قوانین محلی باشد، می‌تواند به کاهش هزینه‌ها، افزایش بازدهی، و پایداری سیستم‌های فتوولتائیک کمک نماید (کاریون و همکاران ۲۰۰۷).

جانکه (۲۰۱۰) تحقیقی را انجام داد که در آن عوامل مختلفی مانند پتانسیل باد، پتانسیل خورشیدی، کاربری اراضی، تراکم جمعیت، موقعیت نسبت به زمین‌های فدرال، فاصله تا جاده‌ها، فاصله تا خطوط انتقال نیرو و فاصله از شهرها را به‌عنوان معیارهای مهم برای احداث نیروگاه برگزیدند. ایشان از روش چندضلعی در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS استفاده کرده‌اند تا مناطق مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی را شناسایی کنند. در مطالعه مذکور، شمال غرب کلرادو و شرق دنور به دلیل داشتن میزان مناسبی از تابش خورشیدی، به‌عنوان مناطق مستعد برای ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی شناخته شده‌اند. انتخاب این مناطق بر اساس ارزیابی و تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از GIS و بررسی چگونگی تأثیر این فاکتورها بر کارایی و موفقیت نهایی پروژه‌های نیروگاهی انتخاب شده است.

مختلف مانند شکل زمین، شرایط طبیعی و اقلیمی، دسترسی به تابش خورشیدی، دما، و شیب زمین، از GIS برای شناسایی مناطق با پتانسیل بالا استفاده شد. از آنجایی که هر یک از این معیارها اهمیت متفاوتی داشت، نظر خبرگان به کمک AHP در تعیین وزن هر معیار به کار رفت. سپس، با استفاده از روش TOPSIS و وزن‌دهی به این معیارها در GIS، مناطق مختلف از لحاظ پتانسیل ساخت نیروگاه‌های خورشیدی رتبه‌بندی شدند. استان کرمان در کشور عراق به عنوان مورد مطالعه عملی انتخاب شد تا این روش‌های نوین در یک محیط واقعی بررسی گردند. این مطالعه از آن جهت اهمیت دارد که با وجود پتانسیل بالای عراق برای استفاده از انرژی خورشیدی، تاکنون مطالعات کافی صورت نگرفته بوده و این تحقیق می‌تواند رهنمودهایی برای تصمیم‌گیری‌های آتی در این بخش فراهم آورد.

فچریزال و همکاران (۲۰۲۲) تحقیقی را با عنوان "تعیین اندازه بهینه PV-EV در ایستگاه‌های شارژ محل کار با انرژی خورشیدی با طرح‌های شارژ هوشمند با در نظر گرفتن تعادل خودمصرفی و خودکفایی" ارائه دادند. تحقیق روی یکپارچه‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک (PV) و وسایل نقلیه الکتریکی (EVs) در محیط‌های کاری تمرکز داشته و به دنبال کاهش چالش‌های فنی ناشی از بارهای اوج و افزایش بار بیش از حد در سیستم‌های قدرت بوده است. تأکید این مطالعه بر تطبیق بهینه بین تولید انرژی خورشیدی و نیاز به شارژ EV ها بوده است. در این تحقیق یک چارچوب برای تعیین اندازه بهینه PV-EV ارائه شده که در آن از متریک جدیدی به نام تعادل خودکفایی مصرف (SCSB) استفاده می‌شود. این شاخص بر خودکفایی سیستم بدون نیاز به صادرات انرژی یا محدود کردن مصرف تولید خود هم اشاره دارد. نتایج نشان داده‌اند که با افزایش اندازه سیستم ترکیبی PV-EV، عملکرد SCSB بهبود یافته و همچنین نشان داده شده است که طرح‌های شارژ هوشمند می‌توانند عملکرد تطبیق بار و خودکفایی سیستم را به طور قابل توجهی بهبود بخشند. این یافته‌ها می‌توانند مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های آتی در ایستگاه‌های شارژ و همچنین در سایر زمینه‌های مرتبط با تولید پراکنده انرژی و بارهای الکتریکی و EV ها باشند. معیار ارائه شده برای تعیین اندازه بهینه PV-EV می‌تواند در مطالعات آینده مورد استفاده قرار گیرد و به عنوان یک الگو در پروژه‌های مشابه به کار گرفته شود. با توجه به مطالب ارایه شده، هدف این مقاله طراحی یک نیروگاه خورشیدی در منطقه جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا جهت تولید ماکزیمم توان الکتریکی و با در نظر گرفتن مینیمم کردن آلودگی زیست‌محیطی می‌باشد.

مؤثر برای مقابله با این چالش‌ها مبذول داشته است. رن و ساتانو تأکید می‌کنند که انرژی‌های تجدیدپذیر همچون انرژی خورشیدی دارای مزایای بارزی هستند که شامل عدم آلوده‌سازی محیط‌زیست، تجدیدپذیر و بی‌پایان بودن منابع، رایگان بودن و غیرخطرناک بودن این گونه انرژی‌ها می‌شود. کاربرد انرژی خورشیدی، به عنوان یک منبع انرژی پاک و دسترس‌پذیر، می‌تواند نقش مهمی در تأمین انرژی پایدار جامعه داشته باشد و هم‌زمان به کاهش اثرات منفی محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی کمک کند. در تحقیق انجام شده توسط قربان نژاد و همکاران (۱۳۹۷)، موضوع "بررسی نیروگاه هیبریدی بادی-خورشیدی و موردکاوی هیبریدیزاسیون نیروگاه بادی ۱۶۸ مگاواتی منجیل" مورد بررسی قرار گرفته است. تغییرات آب‌وهوایی و افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای، بحران‌های اصلی که بشر با آن روبرو است را شامل شده و نقش جایگزین‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی‌های بادی و خورشیدی به عنوان یک طرح مطرح می‌شود. این پژوهش تمرکز خود را بر امکان‌سنجی و ارزیابی تبدیل نیروگاه ۱۶۸ مگاواتی بادی منجیل به یک نیروگاه هیبریدی با ظرفیت ۲۶۶ مگاوات که ترکیبی از انرژی‌های هیبریدی باد و خورشید است، قرار داده است و به بررسی توجیه اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی طرح پرداخته است. علاوه بر این، این تحقیق آثار زیست‌محیطی ناشی از اضافه کردن ۱۶۸ مگاوات انرژی فتوولتائیک به سایت بادی منجیل را مدنظر قرار داده است که شامل مصرف سوخت، مصرف آب و میزان آلاینده‌ها است. نتایج به دست آمده در این مطالعه که در اسفندماه سال ۱۳۶۰ به پایان رسید، نشان می‌دهد که طرح نیروگاه هیبریدی با هزینه کمتری امکان‌پذیر بوده، بازده مطمئن و مؤثرتری داشته و زمان بازگشت سرمایه ۵ ماه کوتاه‌تر نسبت به یک نیروگاه فتوولتائیک با مقدار تولید برابر دارد. همچنین، محاسبات نشان داده است که هزینه‌های پروژه احداث نیروگاه فتوولتائیک به طور میانگین ۵/۸٪ بیشتر از ساخت نیروگاه هیبریدی بادی-خورشیدی بر اساس استانداردهای فعلی ایران است.

طیار و همکاران (۱۳۹۸) تحقیق خود با عنوان "ارزیابی مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ با بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی (GIS)، روش‌های فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و TOPSIS، مطالعه موردی: استان کرمان، کشور عراق"، به این موضوع پرداخته‌اند که چگونه می‌توان با استفاده از ابزارهای پیشرفته GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، بهترین مکان‌ها برای ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ را شناسایی کرد. در این تحقیق، با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از محدودیت‌ها و معیارهای

مواد و روش‌ها

روش انجام پژوهش:

دیدگاه کاربردی به نحوه تحلیل و بررسی انرژی خورشیدی و نقش آن در تولید پایدار انرژی می‌پردازد. در این راستا، از نرم‌افزارهای RetScreen و PVSyst به عنوان ابزارهایی برای شبیه‌سازی عملکرد و تحلیل‌های مالی به کار گرفته شده و به ارزیابی پتانسیل منطقه فسا به عنوان نمونه موردی از نقاط دارای ظرفیت بالا برای استفاده از این انرژی پرداخته شده است.

این پژوهش با یک هدف کاربردی طراحی شده است و در طبقه‌بندی، به صورت توصیفی و تحلیلی است. جمع‌آوری داده‌های لازم و نیاز پژوهش، یکی از مراحل بنیادین در این فرآیند است و با توجه به اهمیت این مرحله، باید به صورت دقیق تعریف و مشخص شود. مرحله جمع‌آوری داده‌ها با فرآیندی که در آن پژوهش‌گر یافته‌های میدانی و کتابخانه‌ای را جمع‌آوری می‌کند، آغاز می‌گردد. در ادامه، یافته‌ها را به وسیله طبقه‌بندی خلاصه می‌کند و به تحلیل آنها می‌پردازد. همچنین فرضیه‌های تدوین شده توسط پژوهشگر، بازنگری می‌شوند. در نهایت، با استناد به این یافته‌ها، پژوهش‌گر به نتایج نهایی می‌رسد و جواب سؤال اصلی پژوهش را می‌یابد.

این پژوهش با بهره‌گیری از رویکردها و ابزارهای نوین در تحلیل و برنامه‌ریزی، می‌تواند دیدگاه‌های ارزشمندی را در زمینه توسعه پایدار نیروگاه‌های فتوولتائیک ارائه دهد و پایه‌گذار معیارهایی برای تحقیقات آتی در این حوزه باشد.

برای تحقق این پژوهش، داده‌های هواشناسی مورد نیاز مکان انتخابی، برگرفته از پایگاه داده هواشناسی Meteonorm، برای استفاده در روند شبیه‌سازی احداث نیروگاه، در نرم‌افزار PVSyst وارد شده‌اند.

پژوهش مورد نظر ابتکار و نوآوری‌های خاصی را به کار گرفته است که در چند بخش قابل توضیح است:

- استفاده از تحقیقات پیشین: این روش شامل جمع‌آوری نظرات متخصصان مختلف از طریق تحقیق میدانی برای پیش‌بینی و آینده‌نگری است. استفاده تحلیل تحقیقات پیشین به شناسایی و احراز معیارهای مؤثر، دقیق و بروز برای احداث نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک کمک کرده است.

- بررسی میزان کارایی مکان‌های انتخاب شده: استفاده از روش‌ها و ابزارهای تحلیلی معتبر برای ارزیابی کارایی مکان‌های انتخاب شده برای نیروگاه خورشیدی، از جمله تابش خورشیدی دریافتی، اتصال به شبکه و منابع مورد نیاز.

- استفاده از نرم‌افزار PVSyst: این نرم‌افزار راه‌کاری قدرتمند برای تجزیه و تحلیل سخت‌افزاری و موقعیت مکانی نیروگاه‌های خورشیدی است که امکان شبیه‌سازی دقیق خروجی انرژی و بهینه‌سازی طراحی را فراهم می‌آورد.

- استفاده از روش RetScreen: این ابزار به انجام آنالیزهای اقتصادی و زیست‌محیطی مربوط به پروژه‌های انرژی پاک می‌پردازد. با استفاده از RetScreen می‌توان هزینه‌ها، درآمدها، کاهش انتشار کربن و سایر مزایای محیطی را تخمین زد که به ارزیابی موفقیت‌آمیز و توجیه‌پذیری بلندمدت پروژه‌های نیروگاه خورشیدی کمک خواهد کرد.

منطقه مورد مطالعه:

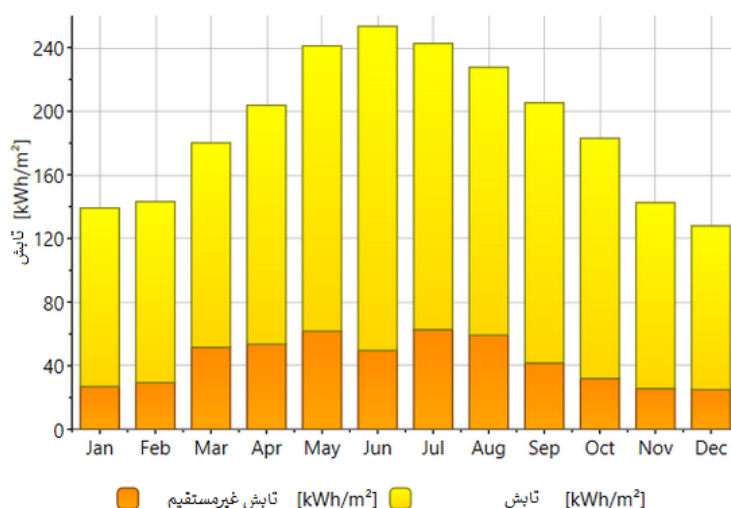
مکان مورد نظر برای احداث نیروگاه فتوولتائیک در موقعیت جغرافیایی (۲۹,۰۷۴۴۹۹۳ درجه و ۵۳,۶۲۴۴۴۴۴ درجه) و با ارتفاع ۱۹۸۰ متر از سطح دریا است، و در فاصله ۱۸ کیلومتری شهرستان فسا نزدیکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا قرار دارد. فاصله این نقطه با مرکز استان برابر ۱۳۶ کیلومتر است. بر اساس داده‌های ذکر شده در جدول مربوطه، بیان می‌شود که شهرستان فسا در طی ماه‌های گرم سال، یعنی خرداد و تیر، حداکثر میزان تابش خورشیدی مستقیم را تجربه می‌کند که این مقدار تابش به طور تقریبی ۲۵۳ کیلووات ساعت به ازای هر متر مربع است. در مقابل، حداقل میزان تابش مستقیم خورشیدی در طول ماه‌های زمستانی، آذر و دی، به ثبت رسیده که معادل ۱۲۸ کیلووات ساعت بر متر مربع برآورد می‌شود. از سوی دیگر، حداکثر میانگین دمای هوای گزارش شده در ماه‌های تیر و مرداد، معادل ۲۸/۹ درجه سانتی‌گراد است، در حالی که حداقل میانگین دمای ثبت شده در ماه‌های دی و بهمن، ۴/۴ درجه سانتی‌گراد گزارش گردیده است.

جدول ۱- اطلاعات خروجی Meteororm

ماه	میزان تابش مستقیم (Wh/m ²)	میزان تابش غیرمستقیم (Wh/m ²)	درجه حرارت (°C)	سرعت باد (m/s)
ژانویه	۱۳۹	۲۷	۴/۴	۱/۳
فوریه	۱۴۳	۲۹	۶/۹	۱/۷
مارس	۱۸۰	۵۲	۱۱	۲/۱
آوریل	۲۰۴	۵۴	۱۵/۸	۲/۲
می	۲۴۱	۶۲	۲۲/۳	۲/۶
جون	۲۵۳	۵۰	۲۷	۲/۲
جولای	۲۴۳	۶۳	۲۸/۹	۲/۲
آگوست	۲۲۸	۵۹	۲۷/۴	۲
سپتامبر	۲۰۵	۴۲	۲۳/۵	۱/۸
اکتبر	۱۸۳	۳۲	۱۷/۸	۱/۵
نوامبر	۱۴۳	۲۶	۱۰/۱	۱/۳
دسامبر	۱۲۸	۲۵	۵/۹	۱/۲
سالانه	۲۲۸۸	۵۱۹	۱۶/۸	۱/۸

در شکل ۱ مجموع تابش ماهانه بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع شهر فسا استان فارس قابل مشاهده است. رنگ زرد در شکل جمع تابش ماهانه، و بیانگر جمع انرژی روزانه در طی ماه‌های متفاوت سال بر حسب کیلووات ساعت بر متر مربع است.

حال آن که قسمتی از این انرژی به صورت تابش غیرمستقیم است. رنگ نارنجی انرژی تابشی غیرمستقیم را نشان می‌دهد. همانطور که قابل مشاهده است، در ماه جون تابش به بیش‌ترین حد خود با میزان تقریبی ۲۵۰ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌رسد.



شکل ۱- مجموع تابش و تابش غیرمستقیم بر حسب کیلووات ساعت بر متر مربع در ماه شهر فسا

مترمربع شهر فسا قابل مشاهده است. این نمودار یک نمودار خطی است، این خط را تابش روزانه شهر فسا تشکیل داده است.

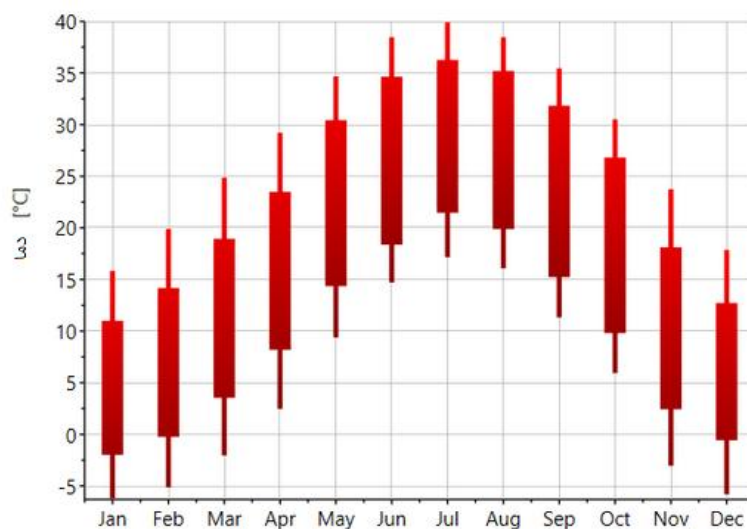
به صورت کلی ماکزیمم تابش تقریباً ۹/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع و مینیمم آن تقریباً ۲ کیلووات ساعت بر مترمربع است. در شکل ۲ نمودار تابش کلی روزانه بر حسب کیلووات ساعت بر



شکل ۲- نمودار تابش کلی بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع، روزانه شهر فسا

سال ۲۹ درجه سانتی گراد است. مرداد با مینیمم ۱۵ و ماکزیمم ۴۰ درجه سانتی گراد دما به عنوان گرم‌ترین ماه سال در فسا شناخته می‌شود.

بازه دما بر حسب سانتی گراد در شهر فسا در شکل ۳ قابل رویت است. میانگین دما در سردترین ماه ۴/۴ سانتی گراد است. میانگین روزهای سرد ماه دی ۴/۵- درجه سانتی گراد و ماکزیمم دما در این ماه ۱۵ درجه سانتی گراد است. میانگین دما در گرم‌ترین ماه



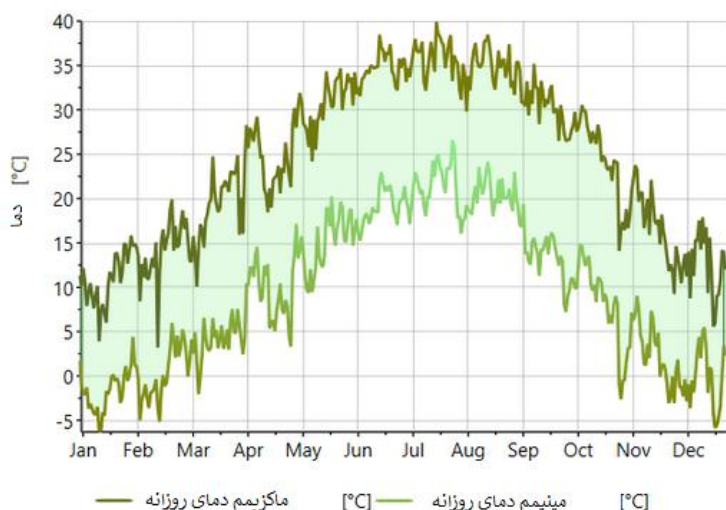
شکل ۳- نمودار دما بر حسب درجه سانتی گراد شهر فسا

هوا در این فصل‌ها بالاتر است. حال آن‌که در بهره‌برداری از توان سیستم فتوولتائیک هرچه تابش بیش‌تر باشد تولید انرژی بیش‌تر

همانطور که در اشکال ۱ تا ۳ مشاهده شد، در فصل‌های بهار و تابستان سطح تابش از فصل پاییز و زمستان بیشتر است اما دمای

یک خط سبز پررنگ و دماهای مینی‌م با یکدیگر به صورت یک خط سبز کم‌رنگ بر حسب روز به نمایش در آمده است. کم‌ترین دما روزانه در سال در ماه دی با $-5/5$ درجه و بیش‌ترین دما در سال در ماه مرداد 40 درجه سانتی‌گراد است.

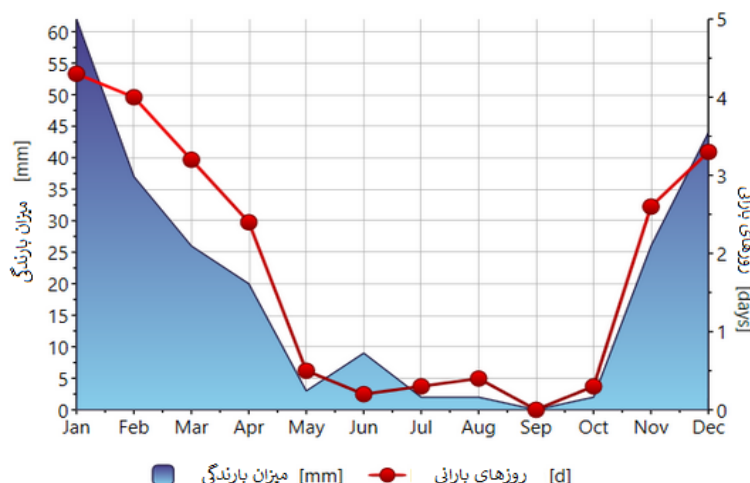
است، مادامی که ضریب حرارتی ناشی از دمای محیطی پنل‌ها به کاهش بازدهی ختم نشود. نمودار مینی‌م و ماکزیم دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد شهر فسا در شکل ۴ قابل مشاهده است. در این شکل مجموعه دماهای ماکزیم با یکدیگر به صورت



شکل ۴- مینی‌م و ماکزیم دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد شهر فسا

بارش‌های این ماه 60 میلی‌متر است. بیش‌ترین تعداد روز متوالی دارای بارندگی در ماه دی و برابر 3 روز است. حجم بارش‌ها با نمودار حجمی آبی رنگ و تعداد روز بارانی با میانگین متحرک ماهانه با خط قرمز رنگ نشان داده شده است.

نمودار میزان بارش ماهیانه بر حسب میلی‌متر شهر فسا در شکل ۵ قابل مشاهده است. محور عمودی چپ میزان بارش بر حسب میلی‌متر را نشان می‌دهد. محور عمودی سمت راست تعداد روزهای بارانی را نشان می‌دهد. محور افقی ماه‌های سال را نشان می‌دهد. ماکزیم بارش باران در ماه دی و میزان تقریبی



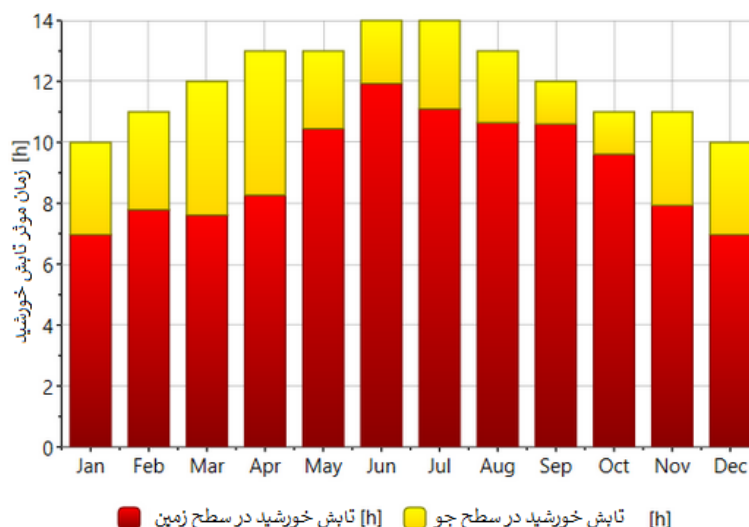
شکل ۵- نمودار میزان بارش بر حسب میلی‌متر شهر فسا

محاسبه انرژی تولیدی نیروگاه فتوولتائیک بازی می‌کند. هرچه ساعت تابش نور خورشید بیشتر باشد میزان تولید انرژی نیز بیشتر خواهد بود. حجم زرد رنگ میانگین ساعات تابش خورشید بر سطح

ساعت تابش خورشیدی شهر فسا در شکل ۶ قابل مشاهده است. حجم قرمز رنگ میانگین ساعات تابش خورشید بر سطح زمین به صورت ماهیانه است. این مؤلفه بسیار مهم، نقش کلیدی در

جو به صورت ماهیانه است. همان طور که قابل رویت است در شهرستان فسا میانگین ساعت تابش خورشیدی تقریباً ۹ ساعت در طول سال است، این بدان معنی است که اگر سیستم

فتوولتائیک با توان نامی ۱۰ کیلووات داشته باشیم، این سیستم به صورت میانگین در تمامی روزهای سال ۹۰ کیلووات ساعت انرژی تولید می‌نماید.



شکل ۶- نمودار ساعت تابش خورشیدی بر حسب ساعت شهر فسا

شهرستان فسا با توجه به شدت تابش خوبی که دارد و دما کم هوا نسبت به مناطقی با همین شدت تابش مکان بسیار مناسبی برای احداث نیروگاه خورشیدی است به دلیل این که دمای پنل‌ها

به خوبی قابل کنترل بوده و به دلیل وزش باد منطقه به خوبی به صورت طبیعی خنک می‌شوند که باعث افزایش راندمان نیروگاه شده و هزینه‌ها کاهش خواهد یافت.

نتایج و بحث

پیش‌بینی توان خروجی را برای مساحت یک هکتاری در نظر می‌گیرند که یک مقیاس کلی بوده و برای ساخت نیروگاه با مساحت بیش‌تر می‌توان از این مقیاس استفاده کرد. ابتدا به صورت خلاصه ترتیب عملیاتی طراحی سیستم را مرور و سپس به نتایج حاصله پرداخته می‌شود.

تعداد پنل‌های استفاده شده در یک هکتار برابر ۳۲۲۲ عدد پنل ۷۰۰ وات می‌باشد. بر این اساس توان نامی نیروگاه ما ۲۲۵۵ کیلووات پیک، حداکثر توان در ۵۰ درجه سانتی‌گراد ۲۱۰۹ کیلووات پیک، حداکثر ولتاژ ۷۰۹ ولت و حداکثر آمپر خروجی از پنل‌ها ۲۹۷۹

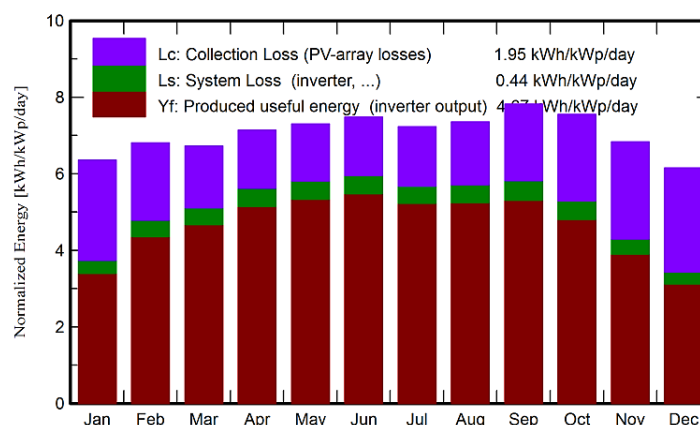
آمپر می‌باشد. سطح مورد اشغال نیروگاه ۹۹۹۷ مترمربع است و در ۱۷۹ ردیف که در هر ردیف ۱۸ پنل جانمایی شده است. تعداد اینورترها برابر با یک عدد اینورتر ۲۲۰۰ کیلوواتی با محدوده ولتاژ ۵۷۰ تا ۹۵۰ ولت تعیین می‌گردد. در نتیجه توان اینورتر ۲۲۰۰ کیلووات است که این اینورترها براساس این اصل که اینورتر تا ۱۱۰ درصد توان را به خوبی پاسخ‌گو است در نتیجه ۲۲۰ کیلووات توان بیشتر این‌جا مشکلی به وجود نخواهد آورد. جدول ۲، نتایج خروجی نرم‌افزار شبیه‌سازی PVsyst را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج خروجی نرم‌افزار شبیه‌سازی PVsyst

ماه	GlobHor (kWh/m ²)	DiffHor (kWh/m ²)	T_Amb (°C)	GlobInc (kWh/m ²)	GlobEff (kWh/m ²)	EArray (kWh)	E_Grid (kWh)	PR ratio
January	۱۲۹/۵	۳۰/۸۰	۴/۷۴	۱۹۷/۰	۱۲۱/۶	۲۶۱۶۳۲	۲۳۷۹۶۶	۰/۵۳۶
February	۱۴۱/۱	۳۱/۷۰	۷/۲۶	۱۹۰/۶	۱۴۲/۱	۳۰۲۸۸۷	۲۷۵۷۱۳	۰/۶۴۱
March	۱۷۹/۰	۵۳/۸۰	۱۱/۶۰	۲۰۸/۵	۱۶۹/۰	۳۵۷۶۵۲	۳۲۶۹۷۶	۰/۶۹۵
April	۲۰۹/۵	۶۰/۵۰	۱۶/۳۵	۲۱۴/۲	۱۸۲/۱	۳۸۰۷۱۹	۳۴۸۹۲۳	۰/۷۲۲
May	۲۴۴/۵	۵۹/۱۰	۲۳/۱۶	۲۲۶/۲	۱۹۷/۶	۴۰۶۶۳۲	۳۷۳۷۹۱	۰/۷۳۳
June	۲۵۵/۰	۵۰/۵۰	۲۷/۴۴	۲۲۴/۵	۱۹۸/۷	۴۰۳۱۸۷	۳۷۰۹۴۴	۰/۷۳۳
July	۲۴۷/۱	۶۵/۲۰	۲۹/۸۲	۲۲۴/۰	۱۹۶/۷	۳۹۷۴۳۴	۳۶۶۱۳۰	۰/۷۲۵
August	۲۳۱/۴	۵۵/۳۰	۲۸/۳۶	۲۲۷/۹	۱۹۷/۷	۳۹۹۶۱۴	۳۶۷۲۳۰	۰/۷۱۵
September	۲۱۰/۲	۳۳/۶۰	۲۴/۰۷	۲۳۴/۴	۱۹۵/۳	۳۹۴۰۹۷	۳۵۹۵۱۰	۰/۶۸۰
October	۱۸۰/۸	۳۰/۸۰	۱۸/۵۷	۲۳۴/۰	۱۸۱/۰	۳۷۰۱۸۴	۳۳۶۷۵۱	۰/۶۳۸
November	۱۳۹/۰	۲۵/۲۰	۱۰/۵۲	۲۰۵/۰	۱۳۸/۵	۲۹۰۹۳۶	۲۶۴۳۸۱	۰/۵۷۲
December	۱۲۲/۰	۲۸/۴۰	۶/۳۱	۱۹۰/۷	۱۱۲/۷	۲۴۰۶۱۴	۲۱۸۵۹۹۳۸	۰/۵۰۸
Year	۲۲۸۹/۱	۵۲۴/۹۰	۱۷/۴۱	۲۵۷۶/۹	۲۰۳۳/۱	۴۲۰۵۶۸۷	۳۸۴۶۹۱۴	۰/۶۶۲

با توجه به نتایج به‌دست آمده، میزان تابش و انرژی تزریقی به شبکه به‌صورت ماهیانه درج شده که بیش‌ترین انرژی تابشی عمودی خورشید در واحد سطح در ماه خرداد و بیش‌ترین میزان انرژی تزریقی به شبکه در ماه اردیبهشت به‌دست آمده است. میزان تابش غیرمستقیم سالیانه ۵۲۴ کیلووات ساعت بر مترمربع، میانگین دمای سالیانه ۱۷/۴۱ درجه سانتی‌گراد، میزان تابش بر سطح شیب‌دار سالیانه ۲۵۷۶ کیلووات ساعت بر مترمربع، تابش خورشیدی موثر سالیانه ۲۰۳۳ کیلووات ساعت بر مترمربع و انرژی خروجی موثر سالیانه ۴۲۰۵۶۸۷ کیلووات ساعت در سال به‌دست آمده است. نسبت عملکرد سالیانه برابر با ۰/۶۶۲ است. ضریب نسبت عملکرد، نسبت انرژی واقعی تولید شده یا تزریق شده به شبکه به انرژی که اگر سیستم به‌طور مداوم در توان نامی STC

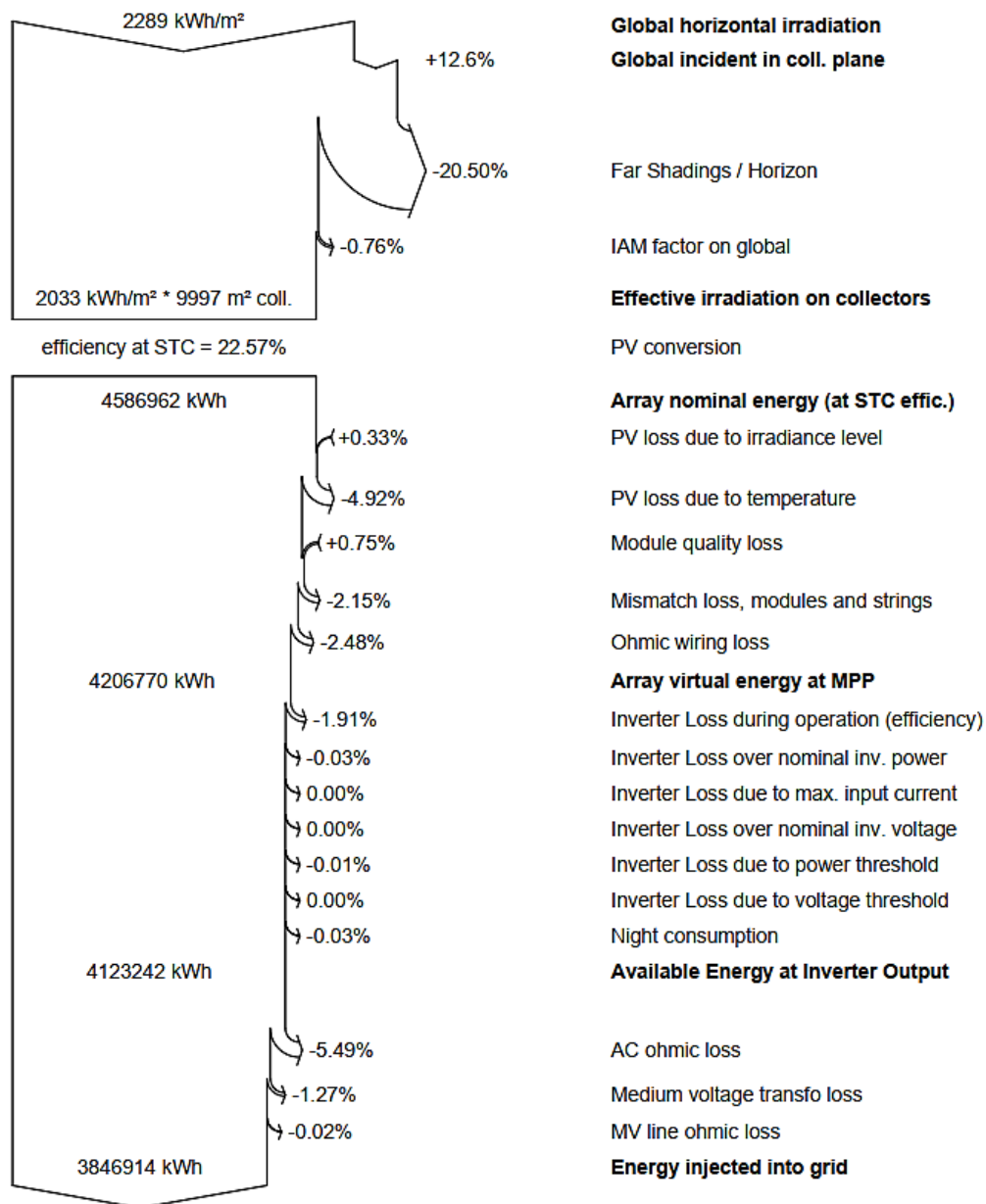
تولید می‌نمود، است. نسبت عملکرد مستقل از تابش می‌باشد و وابسته به تلفات ایجاد شده در اثر گرمای هوا و تلفات اهمی ایجاد شده می‌باشد. تولید سالانه ما برای منطقه مورد مطالعه برابر با ۳۸۴۶۹۱۴ کیلووات ساعت است. تولید انرژی در ماه‌های مختلف در محدوده ۶ تا ۸ کیلووات ساعت در روز است. با کم کردن تلفات اینورتر و پنل، میزان انرژی تحویل داده شده به شبکه در ماه‌های مختلف در محدوده ۳ تا ۶ کیلووات ساعت در روز است که بیش‌ترین تلفات مربوط به آرایه‌های پنل است که کم‌ترین تولید مربوط به ماه آذر و بیش‌ترین تولید مربوط به ماه خرداد است (شکل ۷). بخش زرشکی رنگ مربوط به مقدار انرژی الکتریکی تزریقی به شبکه است و بخش سبز رنگ مربوط به تلفات AC و بخش یاسی رنگ مربوط به تلفات DC می‌باشد.



شکل ۷- نمودار تولید به تفکیک ماهانه (خروجی شبیه‌سازی) PVsyst

می‌شود و با افزایش عمر پنل افزایش می‌یابد. تلفات اهمی بخش DC، $2/48\%$ - درصد، تلفات بر اثر مقاومت و تبدیل شدن انرژی به حرارت در بخش جریان مستقیم سیستم. اتلاف در اینورتر $1/91\%$ - درصد، تلفات اینورتر به صورت مستقیم به بازدهی اینورتر در ارتباط است که نشأت گرفته از پارامترهای مختلفی همچون تکنولوژی ساخت، کیفیت قطعات، دما، شرایط نگهداری، کیفیت شبکه برق، سیستم سنکرون با شبکه می‌باشد. اتلاف اینورتر در اثر قرار گرفتن بالای توان نامی $= 0/03\%$ - درصد، زمانی که توان خروجی پنل و به صورت مشخص با افزایش ولتاژ، توان DC تولیدی پنل‌ها بالاتر از خط نمودار جریان-ولتاژ ورودی اینورتر باشد اما از محدوده نهایی آن عبور نکند. اتلاف اینورتر در اثر قرارگیری در آستانه توان $0/01\%$ - درصد، اتلاف انرژی زمانی که آرایه‌ها توانی کمتر از آستانه توان کار اینورتر را تولید نمایند. اتلاف مصارف شبانه اینورتر $0/03\%$ - درصد، این تلفات که با نام آگزتری شناخته می‌شوند به میزان مصرف انرژی توسط اینورتر در زمان عدم تابش خورشید است که صرف روشن نگه داشتن فن‌ها و سیستم‌های کنترلی می‌گردد. تلفات اهمی بخش AC، $5/49\%$ - درصد، تلفات بر اثر مقاومت و تبدیل شدن انرژی به حرارت در بخش جریان متناوب سیستم. اثر تبدیل به ولتاژ متوسط $1/27\%$ - درصد، ولتاژ خروجی اینورتر باید با ولتاژ ورودی شبکه به صورت مداوم هماهنگ باشد، میزان اتلاف در اثر هماهنگ‌سازی و هم‌سطح‌سازی ولتاژها عامل این تلفات است. اتلاف اهمی در لاین $0/02\%$ - درصد، این تلفات اهمی در اثر اتصال به خط با ولتاژ متوسط برای انتقال به شبکه قدرت است. در نهایت با در نظر گرفتن تمامی عوامل تاثیرگذار در انرژی خروجی نیروگاه، انرژی تزریقی به شبکه 3846914 کیلووات ساعت در سال خواهد بود. شکل ۸ دیاگرام خروجی از اتلافات سیستم در PVsyst را نشان می‌دهد.

انرژی اولیه همان تابش عمودی سالیانه که برابر با 2289 کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد. قابل مشاهده است که $12/6\%$ درصد به علت انتخاب زاویه مناسب برای پنل‌ها به انرژی ورودی ما افزوده شده است. بیش‌ترین میزان اتلاف در سیستم به علت اثرات سایه‌اندازی به میزان $20/5\%$ - درصد می‌باشد. فاکتور آی.ام.ای اثر انعکاس نور از سطح پنل‌ها است که به دلیل انعکاس روی پوشش شیشه‌ای است که با زاویه تابش افزایش می‌یابد و معادل $0/76\%$ - درصد بدست آمده است. با در نظر گرفتن این اثرات انرژی ورودی به پنل‌ها 2033 کیلووات ساعت بر مترمربع خواهد بود. از حاصل ضرب این انرژی ورودی و مترآژ کل پنل‌ها و در نظر گرفتن راندمان $22/57\%$ درصدی پنل‌ها در شرایط استاندارد، کل انرژی خروجی نامی پنل‌ها بدون در نظر گرفتن اتلافات بخش‌های AC و DC برابر با 4586962 کیلووات ساعت به دست آمده است. قابل مشاهده است که تلفات دیگری در بخش‌های DC و AC تاثیرگذار است. این اثرات عبارتند از: اثر کم بودن سطح تابش $= 0/33\%$ درصد، در صورتی که در منطقه مورد نظر شدت تابش از مناسب برخوردار نباشد این تلفات اضافه می‌گردد. اثر گرما بر روی پنل‌ها $4/92\%$ - درصد، هرچه دمای محیط بیش‌تر باشد بازدهی پنل‌ها کاهش می‌یابد. از این رو تلفات بر اثر دما برای سیستم تلفات مهم و تاثیرگذاری محسوب می‌شود. اثر کیفیت ساخت پنل‌ها $0/75\%$ درصد، تکنولوژی ساخت و کیفیت مواد اولیه و اتصالات پنل همگی کیفیت ساخت پنل محسوب می‌شوند. اثر ناهماهنگی بین پنل‌ها $2/15\%$ - درصد، اثر ناهماهنگی یا از دست دادن عدم تطابق پنل عمدتاً به این دلیل است که در اتصال سری یا موازی ماژول‌ها (یا سلول‌ها)، کم‌ترین جریان جریان کل رشته را هدایت می‌کند. اکنون هنگام نصب ماژول‌های واقعی در این زمینه، ویژگی‌های هر ماژول هرگز به طور دقیق یکسان نیست. این تلفات از عدم تطبیق کامل پارامترهای (I_{sc} ، V_{co} ، P_{mpp}) حاصل



شکل ۸- دیاگرام خروجی از اتلافات سیستم در PVsyst

همان‌طور که قابل مشاهده است انرژی تولید شده معادل ۳۸۴۶۴۲۹ کیلووات ساعت در سال خواهد بود.

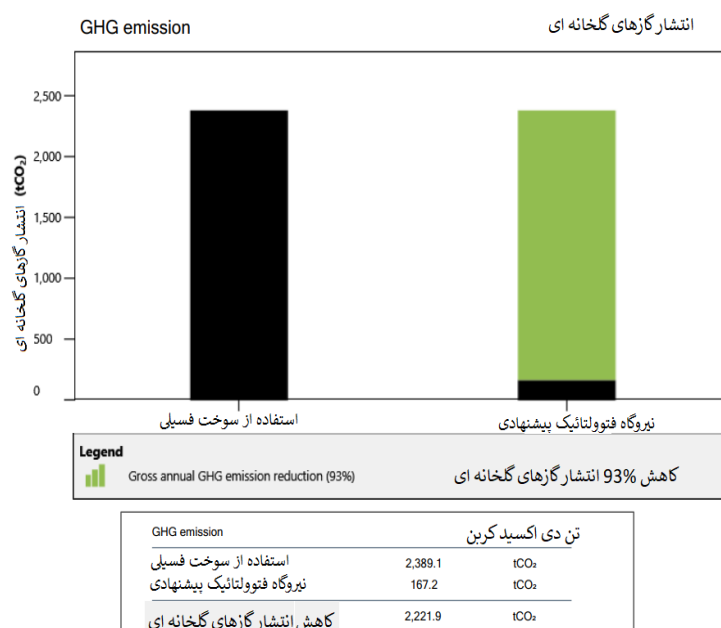
سیستم فتوولتائیک در نرم‌افزار RetScreen به صورت شکل ۹ طراحی شده است و دقیقاً مانند PVsyst سیستم طراحی می‌شود.

Photovoltaic فتوولتائیک		Type نوع سلول خورشیدی	
Power capacity ظرفیت سیستم خورشیدی سازنده	kW	2,255	Other
Manufacturer		AE Solar	
Model		AE700TME	
Number of units تعداد پنل		3,222	
Efficiency بازدهی	%	22.56%	
Nominal operating cell temperature دمای نامی عملیاتی	°C	44	
Temperature coefficient ضریب دمایی	% / °C	0.26%	
Solar collector area مساحت پنل ها	m²	9,996	
Bifacial cell adjustment factor فاکتور سلول های دو طرفه	%	75%	
Miscellaneous losses میزان تلفات کلی	%	51.74%	
Inverter اینورتر		Efficiency بازدهی اینورتر	
Capacity توان نامی اینورتر	kW	2,200	
Miscellaneous losses میزان تلفات کلی	%	1.5%	
Summary خلاصه		Capacity factor فاکتور ظرفیت	
Electricity exported to grid میزان تولید انرژی سالانه برحسب کیلووات ساعت	kWh	3,846,429	19.5%

شکل ۹- طراحی و نتایج سیستم فتوولتائیک در نرم افزار RetScreen

می‌شود. حال، آن در حالی است که با استفاده از نیروگاه فتوولتائیک پیشنهادی این میزان به ۱۶۲/۷ تن دی‌اکسیدکربن تقلیل خواهد یافت. یعنی با استفاده از سیستم پیشنهادی از انتشار ۲۲۲۱/۹ تن دی‌اکسیدکربن در جو جلوگیری خواهد شد، که این کاهش ۹۳ درصدی تاثیر بسزایی در عدم آلودگی هوا خواهد داشت.

در بخش زیست‌محیطی شبیه‌سازی نیروگاه فتوولتائیک دانشگاه آزاد فسا در نرم‌افزار RetScreen، نمودار گزارش به ۲ بخش استفاده از سوخت فسیلی و استفاده از نیروگاه پیشنهادی تقسیم شده است. همان‌طور که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است اگر بخواهیم از سوخت فسیلی برای تولید ۳۸۴۶۴۲۹ کیلووات ساعت در سال استفاده کرد، ۲۳۹۸/۱ تن دی‌اکسیدکربن در جو آزاد



شکل ۱۰- محاسبه میزان کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در نرم‌افزار RetScreen

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تقلیل خواهد یافت. یعنی با استفاده از سیستم پیشنهادی از انتشار ۲۲۲۱/۹ تن دی‌اکسیدکربن در جو جلوگیری خواهد شد، که این کاهش ۹۳ درصدی تأثیر به‌سزایی در عدم آلاینش هوا خواهد داشت. به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری متفاوت و نوین می‌تواند به تعیین بهترین گزینه مکانی برای برپاکردن این نوع نیروگاه‌ها کمک شایانی نماید. در راستای ارتقای دقت در انتخاب محل مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک، استفاده از متدهای بهینه‌سازی و تحلیل سیستماتیک موردنیاز است. توجه به چندجانبگی معیارهای انتخابی و تأثیرات آن‌ها بر گزینه‌های پیشرو می‌تواند به افزایش کارایی نیروگاه‌ها در مقیاس‌های گوناگون کمک نماید. همچنین، اجرای مدل‌های پیش‌بینی پیچیده‌ای که بتواند متغیرهای بیشتری از جمله تغییرات اقلیمی، توسعه شهری و روندهای اقتصادی را شامل شود، می‌تواند در شناسایی صحیح‌ترین مکان برای سرمایه‌گذاری‌های آینده مؤثر واقع شود.

هدف اصلی تحقیق طراحی نیروگاه خورشیدی برای مجموعه آموزشی دانشگاه آزاد فسا بوده که در این راستا نیروگاه خورشیدی با توان نامی ۲۲۵۵ کیلووات برای یک هکتار زمین طراحی شده که نشان‌دهنده عملی‌بودن طرح است که امکان بسط دادن طرح با مساحت بیشتر نیز با توجه به شرایط طراحی وجود دارد. هدف فرعی این تحقیق بررسی ضریب عملکرد، راندمان مفید، بازده آرایه‌ها، چیدمان بهینه و زاویه مناسب پنل‌ها در شبیه‌سازی بوده است. در طراحی ما به ضریب نسبت عملکرد ۶۸ درصد برای کل نیروگاه دست پیدا کردیم که ضریب خوب و قابل‌قبولی است، با بهینه‌بودن زوایای پنل، چیدمان پنل‌ها و بازده خوب هر آرایه امکان‌پذیر شده است، تا بهینه‌ترین نقطه برای طراحی و همچنین نقطه بهینه مالی دست‌یافتنی باشد. همچنین با توجه به نتایج اگر بخواهیم از سوخت فسیلی برای تولید ۳۸۴۶۴۲۹ کیلووات ساعت در سال استفاده کنیم، ۲۳۹۸/۱ تن دی‌اکسیدکربن در جو آزاد می‌شود. حال، آن در حالی است که با استفاده از نیروگاه فتوولتائیک پیشنهادی این میزان به ۱۶۲/۷ تن دی‌اکسیدکربن

References

1. A. M. Mitrašinović and M. Radosavljević, "Photovoltaic Materials and Their Path toward Cleaner Energy," *Global Challenges*, vol. 7, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.1002/gch2.202200146.
2. F. Ren, M. Zhang, and D. Sutanto, "A Multi-Agent Solution to Distribution System Management by Considering Distributed Generators," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 2, pp. 1442–1451, May 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2223490.
3. J. A. Carrión, A. Espín Estrella, F. Aznar Dols, and A. R. Ridao, "The electricity production capacity of photovoltaic power plants and the selection of solar energy sites in Andalusia (Spain)," *Renew Energy*, vol. 33, no. 4, pp. 545–552, Apr. 2008, doi: 10.1016/j.renene.2007.05.041.
4. J. L. Blatti et al., "Systems Thinking in Science Education and Outreach toward a Sustainable Future," *J Chem Educ*, vol. 96, no. 12, pp. 2852–2862, Dec. 2019, doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00318.
5. J. R. Janke, "Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado," *Renew Energy*, vol. 35, no. 10, pp. 2228–2234, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.renene.2010.03.014.
6. M. Chankseliani and T. McCowan, "Higher education and the Sustainable Development Goals," *High Educ (Dordr)*, vol. 81, no. 1, pp. 1–8, Jan. 2021, doi: 10.1007/s10734-020-00652-w.
7. M. Koengkan, J. A. Fuinhas, and N. Silva, "Exploring the capacity of renewable energy consumption to reduce outdoor air pollution death rate in Latin America and the Caribbean region," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 2, pp. 1656–1674, Jan. 2021, doi: 10.1007/s11356-020-10503-x.
8. N. Kannan and D. Vakeesan, "Solar energy for future world: - A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 62, pp. 1092–1105, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.05.022.
9. N. Y. Aydin, E. Kentel, and H. Sebnem Duzgun, "GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey," *Energy Convers Manag*, vol. 70, pp. 90–106, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.02.004.
10. R. Fachrizal, M. Shepero, M. Åberg, and J. Munkhammar, "Optimal PV-EV sizing at solar powered workplace charging stations with smart charging schemes considering self-consumption and self-sufficiency balance," *Appl Energy*, vol. 307, p. 118139, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.118139.
11. R. Jing, Y. He, J. He, Y. Liu, and S. Yang, "Global sensitivity based prioritizing the parametric

- uncertainties in economic analysis when co-locating photovoltaic with agriculture and aquaculture in China,” *Renew Energy*, vol. 194, pp. 1048–1059, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.renene.2022.05.163.
12. R. Naveenkumar et al., “Review on phase change materials for solar energy storage applications,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 7, pp. 9491–9532, Feb. 2022, doi: 10.1007/s11356-021-17152-8.
 13. S. Haviv et al., “Luminescent Solar Power—PV/Thermal Hybrid Electricity Generation for Cost-Effective Dispatchable Solar Energy,” *ACS Appl Mater Interfaces*, vol. 12, no. 32, pp. 36040–36045, Aug. 2020, doi: 10.1021/acsami.0c08185.
 14. X. Yu, W. Li, A. Maleki, M. A. Rosen, A. Komeili Birjandi, and L. Tang, “Selection of optimal location and design of a stand-alone photovoltaic scheme using a modified hybrid methodology,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 45, p. 101071, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101071.
 15. Y. B. Hassan, M. Orabi, and M. A. Gaafar, “Real-time mode of operation data analysis to catch the thread-tip denotes the failure cause of the grid-tie PV central inverter,” *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, p. 14821, Sep. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-41520-8.
 16. Y. Charabi and A. Gastli, “PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation,” *Renew Energy*, vol. 36, no. 9, pp. 2554–2561, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.renene.2010.10.037.
 17. A. Tayar, M. Rizvan, H. Hashemi Dezaki, “Evaluation of suitable locations for the construction of large-scale solar power plants using geographic information systems (GIS), analysis hierarchy process (AHP) and TOPSIS (case study: Karbala Province, Iraq)” *Energy Engineering and Management Quarterly*, vol. undefined, no. undefined, 2018, [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/1556134> [In Persian].
 18. M. Ghorban Nejad and A. Fallah Murad, “Investigation of wind-solar hybrid power plant and case study of hybridization of 100 MW Manjil wind power plant,” *Future Research and Policy Studies Quarterly*, vol. undefined, no. undefined, 2017, [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/1502542> [In Persian].
 19. J. Hickel, “The contradiction of the sustainable development goals: Growth versus ecology on a finite planet,” *Sustainable Development*, vol. 27, no. 5, pp. 873–884, Sep. 2019, doi: 10.1002 / sd. 2019.
 20. U. K. Pata, “Renewable and non-renewable energy consumption, economic complexity, CO2 emissions, and ecological footprint in the USA: testing the EKC hypothesis with a structural break,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 1, pp. 846–861, Jan. 2021, doi: 10.1007/s11356-020-10446-3.



Design and simulation of grid-connected solar power plants in educational complex of Fasa Azad University to reduce carbon emissions

Mehdi Motevasel * Assistant Professor, Department of electrical engineering, Shiraz branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
Saman Tashakor Associate Professor, Renewable Energy Engineering Department, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
Arman Khoshnavaz Master of Science in Renewable Energy Engineering, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Received: 15 Sep 2024

Accepted: 10 Dec 2024

Keywords: Fasa, photovoltaic power plant, Pvsyst, Retscreen

Extended Abstract

Introduction: In recent years, energy consumption has increased in many countries due to various reasons. Today, providing part of the energy needs for sustainable growth and human development through new and renewable energy sources is proposed as a reliable and environmentally compatible solution, which is considered by many governments, experts, and scientists worldwide. Solar power plants are particularly environmentally compatible. The establishment and operation of solar power plants in the future will provide wide fields for self-sufficiency and reduce the country's dependence on oil exports. This research investigates and evaluates the design type of solar power plant for the educational complex of Fasa Azad University.

Materials and Methods: In this research, the efficiency of solar power plant in Fars region, Fasa city has been investigated. The simulation of energy production in the photovoltaic power plant connected to the grid at the rate of 2.2554 nominal megawatt hours was investigated with the help of PVsyst and RetScreen software. The reduction of carbon dioxide emissions and its environmental effect were investigated.

Results and Discussion: In PVsyst simulation software, the energy output of the power plant, the energy injected into the grid will be 3846914 kilowatt hours per year. In the RetScreen simulation software, the output energy of the power plant, the energy injected into the grid will be 3846429 kilowatt hours per year. In the environmental part of the simulation of the Photovoltaic Power Plant of Fasa Azad University in the RetScreen software, it can be seen that by using the proposed system, the emission of 2221.9 tons of carbon dioxide in the atmosphere will be prevented, which is a reduction 93% will have a significant impact on air pollution.

Conclusion: The main goal of the research is to design a solar power plant for the educational complex of Fasa Azad University to reduce the effect of carbon dioxide gas in the region, and in this regard, a solar power plant with a nominal power of 2255 kW has been designed for one hectare of land, which shows the practicality of the plan and the possibility of expanding the plan. It is also available with a larger area according to the design conditions. The sub-goal of this research was to investigate the performance factor, useful efficiency, efficiency of arrays, optimal layout and appropriate angle of panels in simulation. In our design, we achieved an efficiency ratio of 68% for the entire power plant, which is a good and acceptable coefficient, made possible by the optimal panel angles, the arrangement of the panels, and the good efficiency of each array. In order to improve the accuracy in choosing the right place for the construction of photovoltaic solar power plants, it is necessary to use optimization methods and systematic analysis. Paying attention to the multifaceted selection criteria and their effects on leading options can help to increase the efficiency of power plants in various scales. Also, the implementation of complex forecasting models that can include more variables such as climate change, urban development and economic trends can be effective in identifying the most correct place for future investments.

Corresponding author: Mehdi Motevasel

Address: Assistant Professor, Department of electrical engineering, Shiraz branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Tel: +989173099563 **Email:** mehdi_motevasel@yahoo.com

Citation: Motevasel M, Tashakor S, Khoshnavaz A. Design and simulation of grid-connected solar power plants in educational complex of Fasa Azad University to reduce carbon emissions. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(7): 62-77



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.