



شبیه‌سازی نیروگاه ترکیبی خورشیدی- بادی متصل به شبکه به منظور کاهش گاز دی اکسید کربن و اثرات مخرب زیست محیطی گازهای گلخانه‌ای در مدار ۳۰ درجه شمالی

کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
استادیار، گروه مهندسی انرژی تجدیدپذیر، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

امیرعلی قهرمانی*
سامان تشکر

چکیده مبسوط

مقدمه: انرژی تجدیدپذیر یکی از مؤلفه‌های حیاتی در کاهش انتشار کربن و کاهش تغییرات آب و هوایی است. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی، آبی، زیستی و زمین‌گرایی، انرژی را بدون اثرات گرمایی فراهم می‌کند. در این پژوهش میزان بهره‌وری نیروگاه ترکیبی بر روی مدار ۳۰ درجه شمالی، با شبیه‌سازی تولید انرژی در قالب سه طرح تولید توان به میزان ۷ مگاوات ساعت نامی از نیروگاه ترکیبی خورشیدی - بادی در چهار شهر قاهره، هیوستن، چونگ کینگ، شیراز واقع بر مدار ۳۰ درجه شمالی و با کمک نرم‌افزار های پی‌وی‌سیست، سم و ترنسیس مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: با شبیه‌سازی و آنالیز سه طرح پیشنهادی ذیل در هر شهر و مقایسه آن‌ها، می‌توان به کارآمدترین محدوده نسبت توزیع توان نیروگاه ترکیبی خورشیدی-بادی رسید. طرح اول) ۲۵٪ توان کل نیروگاه از انرژی خورشیدی و ۷۵٪ توان کل نیروگاه از انرژی باد است. طرح دوم) ۵۰٪ توان کل نیروگاه از انرژی خورشیدی و ۵۰٪ توان کل نیروگاه از انرژی باد است. طرح سوم) ۷۵٪ توان کل نیروگاه از انرژی خورشیدی و ۲۵٪ توان کل نیروگاه از انرژی باد است. با بررسی میزان انرژی سالانه تزریق شده به شبکه میزان و تأثیر استفاده از منابع تجدیدپذیر در کاهش تولید گاز کربن بررسی و محاسبه می‌گردد.

نتایج و بحث: نیروگاه ترکیبی علاوه بر تأمین انرژی، منجر به افزایش ضریب اطمینان و حفظ منابع غیر تجدیدپذیر و کاهش گازهای گلخانه‌ای خواهد گردید. هر سه نرم‌افزار قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی و آنالیز نیروگاه ترکیبی داشتند و نتایج همخوانی مناسبی دارند.

نتیجه‌گیری: طرح اولیه صورت تقریبی ۳۰٪ بیشتر از طرح دوم و ۸۵٪ بیشتر از طرح سوم بازدهی تولید انرژی دارد. شیراز با تولید ۴۸۴۶۶ مگاوات در سال کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به میزان ۲۳۶۵۱/۴۰۸ تن، قاهره با تولید ۴۵۷۹۹ مگاوات در سال کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به میزان ۲۵۱۸۹/۴۵ تن، هیوستن با تولید ۴۰۹۷۹ مگاوات در سال کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به میزان ۱۵۲۰۳/۲۰۹ تن را دارا می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

واژه‌های کلیدی: پی‌وی‌سیست،

نرم‌افزار ترنسیس، سم، سیستم ترکیبی خورشیدی - بادی، کاهش ردپای کربن

نویسنده مسئول: امیرعلی قهرمانی

نشانی: شیراز- معالی آباد- بوستان- کوچه ۱- پلاک ۱۷. تلفن: ۰۹۱۷۸۰۶۷۹۶۲. پست الکترونیکی: aa.amirali.ghahramani@gmail.com

DOR:

استناد: قهرمانی امیر علی، تشکر سامان. شبیه‌سازی نیروگاه ترکیبی خورشیدی- بادی متصل به شبکه به منظور کاهش گاز دی اکسید کربن و اثرات مخرب زیست محیطی گازهای گلخانه‌ای در مدار ۳۰ درجه شمالی. پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۲؛ ۱ (۲): ۴۶-۵۹.

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



مقدمه

انرژی می‌باشد. افزایش ضریب اطمینان بدین معنی است که سیستم ترکیبی، به طور کلی قادر به تأمین انرژی مورد نیاز بار مصرفی باشد و سطح انرژی خروجی سیستم در طول ساعات مختلف شبانه روز از حد معینی بالاتر باشند. تجهیزات در طراحی بهینه سیستم‌های ترکیبی بسیار مهم هستند. جمعیت بسیاری بر روی مدار ۳۰ درجه شمالی زندگی می‌کنند (ریچی و همکاران ۲۰۲۲). از این رو نیاز به انرژی با ضریب اطمینان بالا از ملزومات مناطق واقع بر این مدار می‌باشد. بررسی شبیه‌سازی عملکرد طرح‌های مختلف نیروگاه ترکیبی خورشیدی-بادی در چهار شهر مختلف واقع بر این مدار، اطلاعات تعیین‌کننده‌ای در خصوص امکان سنجی سایت‌ها و تولید انرژی طرح‌ها در دسترس قرار می‌دهد. همچنین اطلاعات تکمیلی حاصل از مقایسه نرم‌افزارهای شبیه‌سازی نیروگاه‌ها انرژی تجدیدپذیر ضریب دقت طراحی را بالا می‌برد. میزان کل بهره‌وری بشر از انرژی خورشید، تنها ۰.۳٪ از کل انرژی مصرفی جهان می‌باشد، این در حالی است که انرژی خورشیدی در دسترس برای بهره‌برداری ۱۰۰۰۰ برابر انرژی مصرفی جهان است. سیستم‌های فتوولتائیک از سلول‌های خورشیدی به منظور تبدیل نور خورشید به الکتریسیته استفاده می‌کنند. سلول‌های خورشیدی اکثراً از سیلکون ساخته شده‌اند که خاصیت نیمه‌هادی دارد (جها ۲۰۰۹).

تشعشعات دریافتی خورشید توسط زمین، موجب گرم شدن هوای اتمسفر شده و به همین دلیل هوا به سمت بالا حرکت می‌کند. شدت این گرمایش در استوا بیشتر از هوای اطراف قطبین خواهد بود و هوای اطراف قطبین نسبت به هوای استوا کمتر گرم می‌گردد. دانسیته هوا با افزایش دما کاهش پیدا کرده و بنابراین هوای سبکتر استوا به سمت بالا حرکت کرده و در اطراف پخش می‌گردد. این عمل موجب افت فشار در این ناحیه گردیده و موجب جذب هوای سرد از قطبین به سمت استوا می‌گردد (منول و همکاران ۲۰۱۰).

سیستم‌هایی که بیش از یک منبع جهت تولید برق استفاده می‌کنند را سیستم‌های ترکیبی می‌نامند. این سیستم‌ها امکان تولید برق به صورت بهینه و به صرفه اقتصادی را از دو یا چند منبع فراهم می‌آورند. مهمترین بخش سیستم ترکیبی اجزای تشکیل دهنده این سیستم می‌باشند که شناخت مشخصات فنی، روابط ریاضی و همچنین مشخصات اقتصادی و زیست محیطی آن برای تصمیم‌گیری جهت بهره‌گیری از اهمیت بالایی برخوردار است (منول ۲۰۰۴). به طور کلی فناوری‌های تشکیل دهنده یک سیستم ترکیبی می‌تواند شامل سیستم‌های دیزل ژنراتور، سلول‌های فتوولتائیک خورشیدی، توربین بادی، نیروگاه‌آبی کوچک یا بزرگ، تولید همزمان برق و حرارت (میکروتوربین، موتور رفت و برگشتی

تقریباً همه کسانی که با اصطلاح "گازهای گلخانه‌ای" آشنا هستند، دی‌اکسید کربن را به عنوان معرف این گروه از گازها می‌شناسند. البته این دیدگاه نادرست هم نیست، اما دی‌اکسید کربن تنها یکی از گازهای گلخانه‌ای است که انسان تولید می‌کند. گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، متان، بخار آب و ازن هستند. این گازها به این دلیل گازهای گلخانه‌ای نامیده می‌شوند که فضای گلخانه‌ها را در اطراف زمین ایجاد می‌کنند. در گلخانه‌ها نور خورشید وارد محیط می‌شود اما به دلیل جداره شیشه‌ای، بخشی از آن دوباره به درون گلخانه برمی‌گردد. به این ترتیب فضای داخل گلخانه از بیرون گرمتر می‌شود. در جو زمین هم اتفاق مشابهی روی می‌دهد. وقتی اشعه‌های خورشید به سطح زمین می‌رسند، بخشی از آن‌ها جذب می‌شود و سطح زمین را گرم می‌کند، زیرا سطح زمین بسیار سردتر از خورشید است. در نتیجه امواج را با طول موج بلندتری نسبت به خورشید منتشر می‌کند. اشعه‌های خورشید هم پس از برخورد با زمین با طول موج بلندتری منتشر می‌شوند. از طرف دیگر جو زمین امواج با طول موج بلندتر را راحت‌تر جذب می‌کند. به این ترتیب این امواج بازگشتی از زمین جذب اتمسفر می‌شود. جذب این امواج سبب گرم شدن جو می‌شود. این عمل به خودی خود مضر نیست. اما زمانی که گازهای گلخانه‌ای در سر راه این امواج بازگشتی قرار می‌گیرند، مضرات بیشتر می‌شود. پیش از دخالت انسان در طبیعت، جو زمین همیشه بخشی از امواج خورشید را در خود نگه می‌داشت که سبب می‌شد هوای کره خاکی ما به اندازه مناسبی برای زیست، گرم باشد. پس از آنکه انسان‌ها وارد ماجرا شدند، با تولید گازهای گلخانه‌ای میزان جذب اشعه‌های خورشید را افزایش دادند و دمای محیط افزایش قابل ملاحظه‌ای یافت. از خواص گازهای گلخانه‌ای انعکاس امواج با طول موج بلند است. این اتفاق هم برای امواجی که از خورشید می‌آیند می‌افتد هم برای امواج بازگشتی از زمین. بخش خطرناک جریان در مورد امواج بازگشتی از زمین روی می‌دهد. گازهای گلخانه‌ای این امواج را دوباره به سطح زمین برمی‌گردانند. به این پدیده اثر گلخانه‌ای می‌گویند. خورشید به صورت مداوم در حال تولید انرژی از گداخت هسته‌ای است، و بشر تنها قادر به استفاده از بخش بسیار ناچیزی از این انرژی است. کلیه انرژی‌های مصرفی بشر به نوعی با ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم، از خورشید نشأت می‌گیرند.

سیستم‌های ترکیبی با ترکیب کردن دو یا چند منبع انرژی، قابلیت بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهند. این منابع با عملکرد در کنار یکدیگر کمبودهای یکدیگر را پوشش می‌دهند. مهم‌ترین هدف استفاده از سیستم‌های ترکیبی افزایش ضریب اطمینان تولید

خورشیدی و بادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک سیستم انرژی تجدیدپذیر ترکیبی شامل دو یا چند گزینه تولید برق براساس انرژی تجدیدپذیر یا واحد سوخت فسیلی است. شیراز و مناطق واقع بر عرض جغرافیای 29° پتانسیل بالاتری برای استفاده از پنل‌های فتوولتائیک دارند و دلیل آن شدت تابش دریافتی مناسب و میانگین دمای سالانه مناسب نسبت به شدت تابش دریافتی است (پیرسلامی و همکاران ۲۰۱۶). تقاضا برای برق روز به روز در حال افزایش است که به تنهایی نمی‌توان توسط منابع انرژی تجدید ناپذیر این تقاضا را پوشش داد (ویکاس خاره و همکاران ۲۰۱۶).

روزن و همکاران پژوهشی در راستای حل مسأله پیچیده بهینه سازی سیستم ترکیبی برای تأمین گرما و توان الکتریکی انجام دادند. که با افزودن سیستم حرارتی هزینه‌ی کلی سیستم کاهش یافته است. همچنین بهترین نسبت تولید توان با استفاده از انرژی بادی و خورشیدی به ترتیب $74/41\%$ و $25/59\%$ توان مورد نیاز کل است (روزن و همکاران ۲۰۱۷، اوپادهیای و شارما ۲۰۱۴). نیروگاه‌های ترکیبی انرژی خورشیدی - بادی به مقدار زیادی فضا برای بخش فتوولتائیک نیاز دارند. منظور کاهش فضای اشغالی به خصوص برای نیروگاه‌های سایز کوچک تکنولوژی سیستم ترکیبی واقعی پیشنهاد شده است (الاجمی و همکاران ۲۰۱۸). تقاضای برق الکتریکی در مناطق دور افتاده می‌تواند به طور مؤثر توسط منابع تجدیدپذیر تأمین شود. در این زمینه، سیستم‌های فتوولتائیک - بادی به دلیل کاهش هزینه سیستم و سطح بالاتر قابلیت اطمینان عرضه، توجه بیشتری را به خود جلب کردند. فرمولاسیون جدید برای ترکیب فن‌آوری‌های توربین بادی در طراحی سیستم انرژی تجدیدپذیر انرژی تجدید پذیر بهینه توسط مهرجردی پیشنهاد شده است (مهرجردی سال ۲۰۲۰).

استفاده ترکیبی از انرژی بادی و پنل خورشیدی که به عنوان سیستم ترکیبی شناخته می‌شود یکی از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر برای برآورده کردن قدرت مورد نیاز بار مصرفی می‌باشد. تولید انرژی مکمل نیاز به ذخیره‌سازی انرژی را کاهش می‌دهد. الگویی برای توزیع انرژی توسط روی ۲۰۲۰ ارائه شده است و استفاده از تکنیک مدیریت فرکانس منجر به افزایش طول عمر باتری‌ها استفاده شده است (روی و هی ۲۰۲۰). صنعت تولید برق بزرگترین منبع انتشار دی‌اکسید کربن است. انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش برق را از منظر اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی توسط فرقلی ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفته است. برای تصفیه آب، سیستم‌های فتوولتائیک/بادی/ذخیره‌سازی باتری که

و غیره)، هیدروژن و پیل سوختی، بویلر با سوخت دیزل، گاز طبیعی، زیست توده و زیست گاز، و باتری‌ها باشند.

به طور کلی هدف از تأسیس یک سیستم ترکیبی کاهش هزینه‌های عملیاتی، تعمیرات و نگهداری و هزینه‌های انتقال سوخت با حداقل‌سازی زمان بهره‌برداری و مصرف سوخت می‌باشد (اوپادهیای و شارما ۲۰۱۴). سیستم ترکیبی تجدیدپذیر معمول عبارتند از: سیستم ترکیبی خورشیدی - بادی، سیستم ترکیبی خورشیدی - دیزل - بادی، سیستم ترکیبی خورشیدی - دیزل - ژنراتور، سیستم ترکیبی خورشیدی - ذخیره هیدروژن - بادی، سیستم ترکیبی خورشیدی - ذخیره هیدروژن.

نیروگاه ترکیبی خورشیدی - بادی شامل دو بخش اصلی فتوولتائیک و بادی می‌باشد. نیروگاه ترکیبی شامل تمامی اجزای نیروگاه متصل به شبکه فتوولتائیک و تمامی اجزای نیروگاه بادی می‌باشد. ترکیب باد و خورشید دارای مزیت‌ها بسیاری است که مهم‌ترین آن این است که این دو منبع مکمل یکدیگر هستند، به عبارتی زمان بارگیری حداکثر برای هر سیستم در زمان‌های مختلف روز و سال رخ می‌دهد یا به عبارت دیگر، در روزهای آفتابی شدت تابش زیاد و توده‌های هوایی آرام یا ملایم بوده و در روزهای ابری و در طول شب شدت تابش ناچیز و بادها به دلیل تغییر موقعیت پارس‌های سرد و گرم، تندتر خواهد بود، از این رو تولید برق این سیستم ترکیبی ثابت‌تر است. به همین منظور در طراحی نیروگاه ترکیبی، محل سایت نیروگاه با چنین شرایطی از اهمیت فراوانی برخوردار است.

مدار 30° درجه شمالی دایره فرضی موازی با خط استوا است که به اندازه 30° درجه در شمال آن واقع شده است. تمامی مناطق بر روی این مدار دارای عرض جغرافیایی یکسان (30° درجه شمالی) می‌باشند. این مدار از آسیا، خاورمیانه، آفریقا، آمریکای مرکزی و شمالی و همچنین آب‌ها واقیانوس‌های بین آن‌ها عبور می‌کند. مدار 30° درجه شمالی از ۱۸ کشور عبور می‌کند. این مدار شامل شهرهای پرجمعیت، قدیمی و مهمی همچون هیوستن در آمریکا، قاهره در مصر، شیراز در ایران، مولتان در پاکستان، چونگ کینگ در چین، هانگ ژو در چین، نیگیو در چین، آستین در آمریکا، جکسونویل در آمریکا و نیواورلئان در آمریکا می‌باشد. این مدار دومین عرض جغرافیایی از نظر جمعیت است، از این رو تأمین انرژی در این مدار از اهمیت بالایی برخوردار است. تقریباً $3/3$ تا 7 درصد جمعیت جهان بر روی این مدار زندگی می‌کنند.

سیستم‌های انرژی ترکیبی برای تأمین انرژی الکتریکی در مناطق شهری، روستایی و دور دست برای استفاده بیشتر از منابع انرژی

دارد، از این رو آشفستگی ایجاد شده توسط محیط شهری در توده های هوایی که به سایت ترکیبی می‌رسند بی‌تأثیر یا با تأثیر بسیار کم است. سایت نیروگاه خورشیدی شهر چونگ کینگ در مختصات $29/568^{\circ}$ شمالی و $106/60^{\circ}$ شرقی در شرق شهر چونگ کینگ و شرق محل تلاقی رودخانه یانگ تسه و رودخانه جیالینگ واقع شده است. سایت نیروگاه چونگ کینگ مکانی جنگلی با پوشش گیاهی پیوسته بوده این رو آشفستگی ایجاد شده توسط محیط شهری و محیط طبیعی جنگلی تأثیر مستقیم و بسزایی بر توده‌های هوایی این سایت دارند. سایت نیروگاه ترکیبی شهر شیراز در مختصات $29/687^{\circ}$ شمالی و $52/387^{\circ}$ شرقی در غرب و شمال غربی شیراز و غرب کمربندی شیراز و کوه دراک واقع شده است. سایت فاصله مناسبی از شهر قرار دارد. از این رو آشفستگی ایجاد شده توسط محیط شهری در توده های باد که به توربین‌ها می‌رسند بی‌تأثیر هستند. در طراحی نیروگاه ترکیبی از توربین‌های بادی با ارتفاع دکل ۱۰۰ متری استفاده شده است. از این رو در شکل ۱ سرعت باد در ارتفاع ۱۰۰ متری مورد بررسی قرار گرفته است. اطلاعات هواشناسی از نرم‌افزار متونورم استخراج شده است.

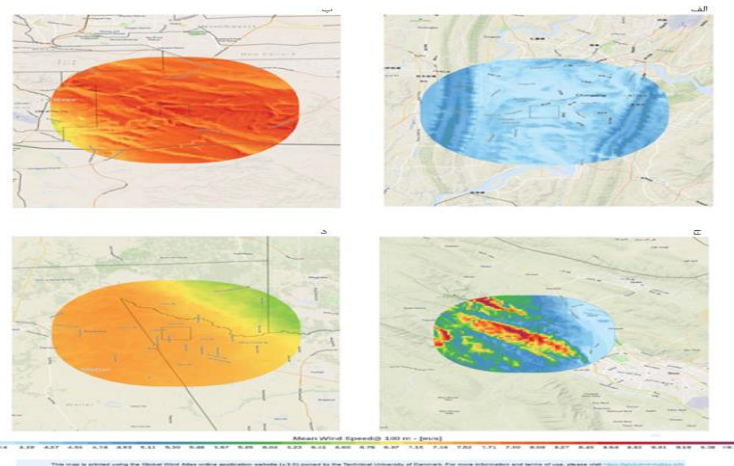
سایت نیروگاه ترکیبی شهر قاهره دارای پتانسل انرژی بادی مناسبی بوده و میانگین سرعت باد در ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین آن در بازه $7/5m/s$ تا $9m/s$ قرار دارد. سایت نیروگاه ترکیبی شهر هیوستن دارای پتانسل انرژی بادی مناسبی بوده و میانگین سرعت باد در ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین آن در بازه $6/97m/s$ تا $7/71m/s$ قرار دارد. سایت نیروگاه ترکیبی شهر چونگ کینگ پتانسل انرژی بادی مناسبی ندارد و میانگین سرعت باد در ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین آن در بازه $1m/s$ تا $4/19m/s$ قرار دارد که بیانگر ثابت بودن توده‌های هوایی در این منطقه است. توده‌های هوایی ماندگار در یک منطقه منجر به گرم شدن منطقه و کاهش بازدهی پنل‌های خورشیدی می‌گردد، همچنین دوده و آلودگی‌های ساطع شده میزان دریافتی شدت تابش خورشید به سطح زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهند. سایت نیروگاه ترکیبی شهر شیراز در تونل باد ایجاد شده بین ۲ کوه قرار دارد. این تونل باد طبیعی منجر به افزایش سرعت باد نسبت به بقیه منطقه شده است. میانگین سرعت باد در ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین آن در بازه $8/27m/s$ تا $9/19m/s$ قرار دارد. یکنواختی نسبی توده‌های هوایی به تولید مداوم و با ثبات انرژی کمک می‌کند (اطلس جهانی باد ۲۰۲۳).

توسط یک ژنراتور دیزلی پشتیبانی می‌شوند، می‌توانند هزینه تولید آب را تا ۶۹٪ کاهش و تأثیرات زیست‌محیطی مخرب را نسبت به سیستم‌های سوخت فسیلی کامل تا ۹۰٪ کاهش دهند. در مقایسه با سیستم‌های انرژی تکی، سیستم‌های انرژی ترکیبی قابل اعتمادتر و بهتر برای مقابله با تأثیرات تغییرات آب و هوا بر تأمین برق مجهز هستند (فرقلی و همکاران ۲۰۲۳، لیو و ژو ۲۰۲۲). این مقاله با کمک نرم‌افزارهای شبیه‌سازی سیستم‌های انرژی، در صدد پتانسیل سنجی نیروگاه ترکیبی خورشیدی - بادی متصل به شبکه بر روی مدار 30° درجه شمالی برآمده است تا بتوان میزان انتشار کربن و اثرات زیست محیطی مرتبط با افزایش گاز گلخانه ای کربن دی‌اکسید کربن را با بهره گرفتن از انرژی‌های پاک بر روی مدار 30° درجه شمالی به حداقل رسانید. همچنین به بررسی خروجی نرم‌افزارهای پی‌وی‌سیست^۲، سم^۴ و ترنسیس^۵ پرداخته است.

مواد و روش‌ها

با استفاده از داده‌های هواشناسی و جغرافیایی و همچنین تحقیقات مکانیابی، مناطقی که بیشترین پتانسیل تولید انرژی را دارا هستند، مشخص نموده و از نظر سرعت باد، قدرت باد، سختی زمین، آشفستگی و فاکتور تولید انرژی بادی و میزان شدت تابش و ظرفیت فتوولتائیک مورد بررسی قرار گرفتند. هر فاکتور را به صورت مجزا برای هر ۴ شهر مورد بررسی قرار گرفته است. مدار 30° درجه شمالی دارای پتانسیل بسیار مناسب جهت بهره وری از انرژی خورشیدی در قالب فتوولتائیک می‌باشد. حال آنکه شرایط جوی و آب و هوایی می‌تواند این امر را تغییر دهد که با بررسی بیشتر منطقه‌ای این امر بیشتر مشخص می‌گردد. مکان یابی سایت‌ها با بررسی داده‌های سرعت باد، چگالی انرژی، زبری و فاکتور ظرفیت صورت گرفته است.

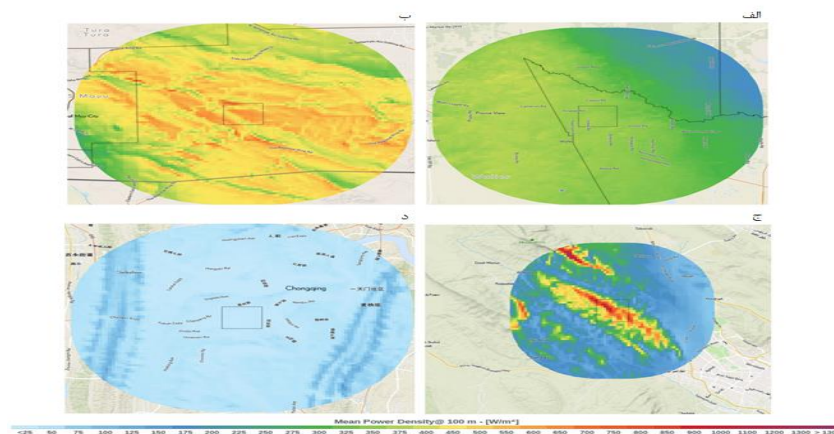
سایت نیروگاه ترکیبی شهر قاهره در مختصات $29/835^{\circ}$ شمالی و $31/496^{\circ}$ شرقی در جنوب منطقه قاهره جدید و شرق رود نیل واقع شده است. سایت با فاصله مناسبی از شهر قرار دارد از این رو آشفستگی ایجاد شده توسط محیط شهری در توده‌های هوایی که به سایت نیروگاه ترکیبی می‌رسند بی‌تأثیر یا با تأثیر بسیار کم است. سایت نیروگاه ترکیبی شهر هیوستن در مختصات $30/083^{\circ}$ شمالی و $95/912^{\circ}$ غربی در شمال غربی شهر هیوستن و شمال غربی منطقه سایپرس و در شمال منطقه والر واقع شده است. سایت نیروگاه با فاصله مناسبی از شهر قرار



شکل ۱- سرعت باد در ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین (الف) چونگ کینگ ، (ب) قاهره، (ج) شیراز، (د) هیوستن

ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین آن در بازه 25 W/m^2 تا 35 W/m^2 قرار دارد. چگالی انرژی باد سایت نیروگاه ترکیبی شهر چونگ کینگ در ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین آن در بازه 25 W/m^2 تا 75 W/m^2 قرار دارد. این مکان اصلاً مناسب نیروگاه بادی نیست. از این رو برای این سایت در این پژوهش، تنها سیستم خورشیدی شبیه سازی شده است و در نهایت چگالی انرژی باد سایت نیروگاه ترکیبی شهر شیراز در ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین آن در بازه 40 W/m^2 تا 120 W/m^2 قرار دارد (اطلس جهانی باد ۲۰۲۳).

چگالی انرژی باد ، یک اندازه گیری کمی از انرژی باد برای هر مکان است. این میانگین توان سالانه در هر متر مربع از ناحیه جاروب یک توربین (محدوده چرخش تیغه های توربین) است. چگالی انرژی باد رابطه مستقیم با سرعت باد و میزان انرژی تولیدی توربین ها در بخش بادی نیروگاه ترکیبی دارد. همچنین چگالی انرژی باد رابطه عکس با ارتفاع دارد، چگالی انرژی باد سایت های نیروگاه ترکیبی در شکل ۲ به نمایش درآمده است. چگالی انرژی باد سایت نیروگاه ترکیبی شهر قاهره در ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین آن در بازه 50 W/m^2 تا 75 W/m^2 قرار دارد. چگالی انرژی باد سایت نیروگاه ترکیبی شهر هیوستن در



شکل ۲- چگالی انرژی باد در ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین (الف) هیوستن، (ب) قاهره، (ج) شیراز، (د) چونگ کینگ

میزان حداکثری این پارامتر در مکان های شهری و جنگلی دیده می شود که سرعت باد به دلیل آشفتگی به صفر میل می کند. پارامتر زبری سطح سایت های نیروگاه ترکیبی در شکل ۳ به نمایش درآمده است. پارامتر زبری سطح سایت نیروگاه ترکیبی شهر قاهره در بازه 0 m تا 0.05 قرار دارد. پارامتر زبری سطح

پارامتر سختی (زبری) سطح، پارامتری است که به آشفتگی ناحیه مورد بررسی را براساس ارتفاع بیان می کند. سرعت باد میانگین در محور افقی در نزدیکی زمین را مدلسازی می کند. که برابر با ارتفاعی است که در آن سرعت باد از لحاظ نظری صفر می شود. به عنوان یک نمایش بزرگ از سختی سطح در نظر گرفته شود.

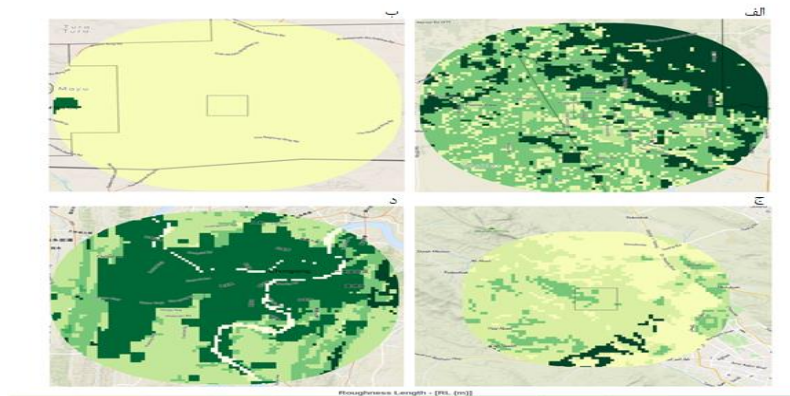
امکان‌سنجی نیروگاه ترکیبی خورشیدی-بادی آن خودداری می‌کنیم.

فاکتور ظرفیت میانگین توان تولیدی تقسیم شده بر اوج توان یک توربین بادی است. نقشه‌های فاکتور ظرفیت سایت‌های نیروگاه ترکیبی در شکل ۴ به نمایش درآمده است.

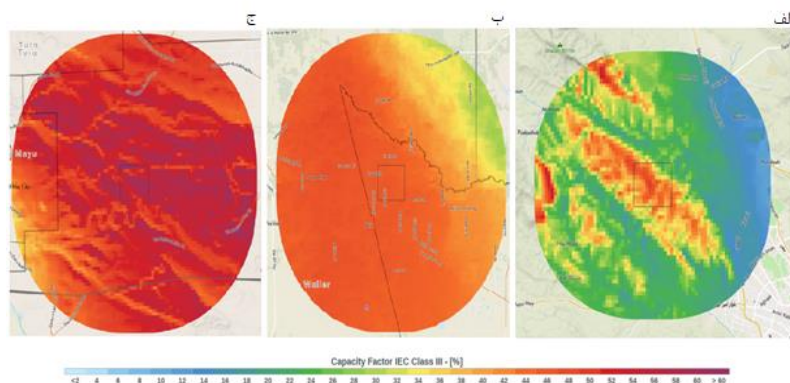
فاکتور ظرفیت سایت نیروگاه ترکیبی شهر قاهره برای کلاس سوم در بازه ۴۸٪ تا ۶۰٪ قرارداد که برای احداث نیروگاه بادی بسیار مناسب است. فاکتور ظرفیت سایت نیروگاه ترکیبی شهر هیوستن برای کلاس سوم در بازه ۳۲٪ تا ۴۴٪ قرارداد که برای احداث نیروگاه قابل قبول است. فاکتور ظرفیت سایت نیروگاه ترکیبی شهر شیراز برای کلاس سوم در بازه ۳۶٪ تا ۵۶٪ قرارداد که برای احداث نیروگاه بادی خوب است (اطلس جهانی باد ۲۰۲۳).

سایت نیروگاه ترکیبی شهر هیوستن در بازه ۰/۰۵ m تا ۰/۵ m قرار دارد. پارامتر زبری سطح سایت نیروگاه ترکیبی شهر چونگ کینگ در بازه ۰/۵m تا بیشتر از ۱/۵ m قرارداد. پارامتر زبری سطح سایت نیروگاه ترکیبی شهر شیراز در بازه ۰/۰۵m تا ۰/۲ قرارداد (اطلس جهانی باد ۲۰۲۳).

دسته‌بندی کلاس باد به جهت کمک به طراحی و انتخاب توربین بادی و منطقه مناسب نیروگاه که فاکتورهای سرعت باد، آشفستگی و بادهای سریع لحظه‌ای در خود جای داده است. این دسته‌بندی توسط کمیسیون بین‌المللی الکترونیک ارائه شده است. ۳ شهر قاهره، هیوستن و شیراز در کلاس سوم یا کلاس باد آرام قرار می‌گیرند. و از آنجایی که چونگ کینگ در هیچکدام از کلاس‌ها قرار نمی‌گیرد یعنی سرعت باد در چونگ کینگ ناچیز از ادامه بررسی



شکل ۳- پارامتر سختی در سایت نیروگاه‌ها: الف) هیوستن، ب) قاهره، ج) شیراز، د) چونگ کینگ (اطلس جهانی باد ۲۰۲۳)



شکل ۴ - فاکتور ظرفیت در سایت نیروگاه‌ها: الف) شیراز، ب) هیوستن، ج) قاهره (اطلس جهانی باد ۲۰۲۳)

ها، می‌توان به کارآمدترین محدوده نسبت توزیع توان نیروگاه ترکیبی خورشیدی-بادی رسید. طرح اول) در طرح اول نسبت تولید توان در نیروگاه ترکیبی ۷ مگاوات- ساعت خورشیدی - بادی با نسبت ۲۵٪ توان کل نیروگاه از انرژی خورشیدی و ۷۵٪ توان کل نیروگاه از انرژی باد است. طرح دوم) تولید توان در نیروگاه ترکیبی با نسبت ۵۰٪ توان کل نیروگاه از انرژی خورشیدی و ۵۰٪

روشن پژوهش

به منظور استفاده حداکثری از پتانسیل منابع تجدیدپذیر، نیروگاه ترکیبی خورشیدی-بادی علاوه بر مکان و شرایط آب و هوایی مناسب، استراتژی مناسب تولید انرژی نیز نیاز می‌باشد. تولید انرژی هرچه بیشتر و با ثبات از اهداف طرح‌های نسبت توزیع توان هر نیروگاه است. با بررسی این طرح‌ها در هر شهر و مقایسه آن

سیستم ۴۰- تا ۵۰ درجه سانتی گراد می باشد. این توربین نیاز به حداقل سرعت باد $3,5 \text{ m/s}$ بوده و تا سرعت باد 20 m/s توان اجرایی دارد. در سرعت 20 m/s به بالا توربین در مدت ۱۰ دقیقه سیستم قدرت را از مدار خارج و سیستم کنترل سرعت و قفل ها را وارد مدار می کند (شرکت جنرال الکتریک ۲۰۲۰).

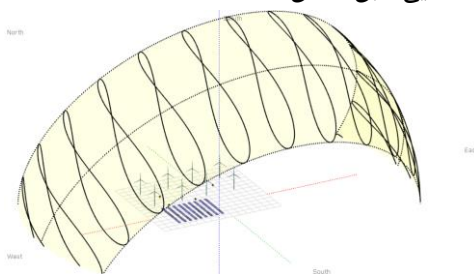
نرم افزارهای استفاده شده برای شبیه سازی سیستم های انرژی ترکیبی عبارتند از: نرم افزار سم از بخشی مجزا مربوط به شبیه سازی سیستم های ترکیبی بی بهره است. لذا بخش فتوولتائیک و بخش بادی نیروگاه ترکیبی به صورت مجزا در این نرم افزار شبیه سازی و بررسی گردید. این نرم افزار در جزئیات تلفات سیستم ها بسیار کامل است. این نرم افزار توسط آزمایشگاه انرژی تجدیدپذیر ملی و با بودجه وزارت انرژی ایالات متحده توسعه یافته است. پیش بینی های عملکرد برای سیستم خورشیدی متصل به شبکه، متمرکز ساختن انرژی خورشیدی، باد، زیست توده و سیستم های قدرت زمین گرمایی انجام می دهد. سم از یک مدل عملکرد ساعتی استفاده می کند تا خروجی سالانه کل سیستم قدرت تخمین بزند. این نرم افزار بخش مجزا برای سیستم های ترکیبی نداشته و باید بخش فتوولتائیک و بادی نیروگاه ترکیبی را مجزا طراحی و شبیه سازی نمود (ان ار ای ال ۲۰۲۳).

بخش فتوولتائیک هر طرح در هر شهر با نرم افزار پی وی سیستم طراحی و شبیه سازی شد. در شبیه سازی تلفات اثر سایه لحاظ گردیده است. این نرم افزار یک برنامه قدرتمند و جامع است. ابزار سه بعدی برای نمایش و محاسبات اثر سایه، توانایی وارد کردن داده ها برای اندازه گیری مستقیم، مقایسه مقادیر شبیه سازی شده، جعبه ابزار برای تعیین هندسه حرکت خورشیدی، داده های هواشناسی و رفتار عملیاتی سیستم های فتوولتائیک از امکانات نرم افزار می باشند. این نرم افزار با نمایش کامل جهت حرکت خورشید و اثر سایه، ذهنیت کاملی به طراح می دهد. در شکل ۵ حرکت خورشید از سمت شرق به غرب بر فراز سایت نیروگاه ترکیبی به نمایش درآمده است (پی وی سیستم ۲۰۲۳).

توان کل نیروگاه از انرژی باد است. طرح سوم) تولید توان در نیروگاه با نسبت ۷۵٪ توان کل نیروگاه از انرژی خورشیدی و ۲۵٪ توان کل نیروگاه از انرژی باد است. به این منظور در شبیه سازی تمامی سیستم ها از تجهیزات ذکر شده در ادامه استفاده گردید. سپس با بررسی میزان انرژی سالانه تزریق شده به شبکه میزان و تأثیر استفاده از منابع تجدیدپذیر در کاهش تولید گاز کربن بررسی و محاسبه می گردد. در انتها با بررسی نتایج، کارآمدترین نرم افزار از بین نرم افزارهای پی وی سیستم، سم و ترنسیس معین گردید.

پنل فتوولتائیک استفاده شده در شبیه سازی نیروگاه های ترکیبی، پنل های 320 W مدل مونو کریستال مقاوم در برابر گرما شرکت ال جی هستند. ابعاد این پنل $168,6 \text{ cm}$ در $101,6 \text{ cm}$ است. این پنل مونو کریستال نوع N می باشد. برای مناطق با شدت تابش بالا بسیار مناسب است. (شرکت ال جی ۲۰۲۱). اینورتر نیروگاه فتوولتائیک استفاده شده در شبیه سازی نیروگاه های ترکیبی، اینورتر 800 kW شرکت اس ام ای^۷ است. این اینورتر با مدل سانی سنترال توان ماکزیم نامی معادل 898 kW و بازه عملیات ولتاژ آن 530 V تا 850 V و آمپر ورودی آن 2500 amp و آمپر عملیاتی آن 1400 amp می باشد. توان خروجی با جریان متناوب آن 800 kW با ولتاژ 360 V تا 414 V و آمپر خروجی ماکزیم 1411 amp می باشد. بازدهی این اینورتر ۹۸,۶٪ است. (شرکت اس ام ای ۲۰۲۱).

شرکت جنرال الکتریک یکی از بزرگ ترین شرکت های تولیدکننده توربین های بادی است. توربین بادی $1,5 \text{ MW}$ مدل $1,5$ اکس ال ای^۸ برای کلاس باد سوم و بادهای با سرعت کم کلاس دوم طراحی شده است. این مدل بر روی دکل 80 متری و 100 متری نصب می گردد. در این پژوهش از دکل 100 متری در شبیه سازی استفاده شده است. همچنین قطر $82,5$ متری ایجاد شده توسط پره ها مساحت جاروب 5346 مترمربعی ایجاد می کنند. خروجی این توربین 690 V با جریان متناوب و فرکانس 50 تا 60 هرتز می باشد. توان این توربین 1500 kW بوده و در محدوده دمایی عملیاتی آن 30 - تا 40 درجه سانتی گراد و محدوده دمایی قابل تحمل



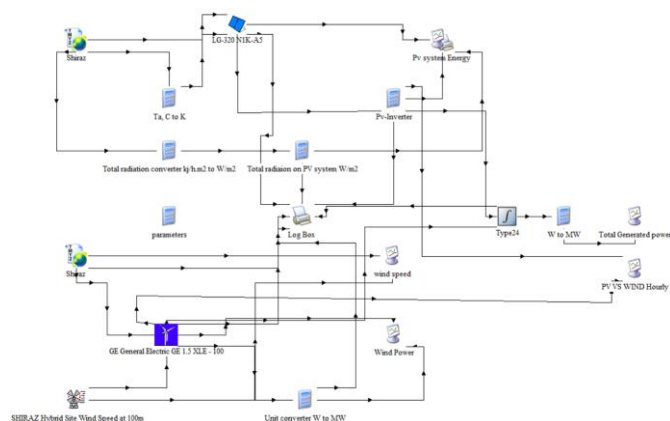
شکل ۵- حرکت خورشید در سایت نیروگاه قاهره، هیوستن و شیراز

^۸. XLE

^۷. SMA

است. واژه ترنسیس مخفف واژه شبیه‌سازی سیستم گذرا می‌باشد. (ترنسیس ۲۰۲۳). المان‌های به کاررفته در شبیه‌سازی نیروگاه ترکیبی در نرم‌افزار ترنسیس عبارتند از: المان داده‌های آب و هوایی، المان پنل فتوولتائیک، المان پلاتر، رسام به صورت گرافیکی، المان معادله، المان پرینتر، پرینت داده‌های خروجی به صورت تکست، المان جمع‌کننده، المان زمانی و المان توربین بادی محور افقی.

شبیه‌سازی سیستم‌های ترکیبی براساس سه طرح پیشنهادی در نرم‌افزار ترنسیس نیز هم انجام گرفت. در این نرم‌افزار بر خلاف بقیه نرم‌افزارهای مورد بررسی، سیستم نیروگاه به صورت مجموعه مرتبط، و با تعریف رابطه هر المان با المان دیگر تعریف می‌گردد. طرح شماتیک نیروگاه ترکیبی ترنسیس در شکل ۶ نشان داده شده است. نرم‌افزار شبیه‌سازی سیستم‌های انرژی ترنسیس، یک نرم‌افزار شبیه‌سازی برای حالت گذرا می‌باشد. این نرم‌افزار براساس زبان برنامه‌نویسی فورترن، توسعه یافته



شکل ۶- سیستم نیروگاه ترکیبی متصل به شبکه در نرم‌افزار ترنسیس

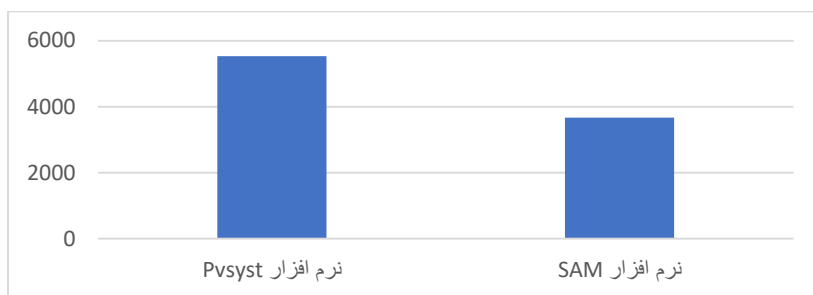
جدول ۱ - خلاصه سیستم‌های ترکیبی همراه با انرژی کل تولیدی سالانه در نرم‌افزار ترنسیس

انرژی کل بر حسب مگاوات در سال	تعداد توربین بادی	تعداد اینورتر	تعداد پنل	طرح تولید توان در قاهره
۴۵۷۹۹	۶	۲	۵۶۲۴	طرح اول
۳۵۲۱۴	۴	۴	۱۲۱۸۸	طرح دوم
۲۴۲۸۰	۲	۶	۱۸۱۲۶	طرح سوم
انرژی کل بر حسب مگاوات در سال	تعداد توربین بادی	تعداد اینورتر	تعداد پنل	طرح تولید توان در شیراز
۴۸۴۶۶	۶	۲	۵۶۲۴	طرح اول
۳۷۳۸۵	۴	۴	۱۲۱۸۸	طرح دوم
۲۵۹۲۶	۳	۶	۱۸۱۲۶	طرح سوم
انرژی کل بر حسب مگاوات در سال	تعداد توربین بادی	تعداد اینورتر	تعداد پنل	طرح تولید توان در هیوستن
۴۰۹۷۹	۹	۲	۵۶۲۴	طرح اول
۳۱۰۹۰	۶	۴	۱۲۱۸۸	طرح دوم
۲۰۹۲۰	۳	۶	۱۸۱۲۶	طرح سوم
انرژی کل بر حسب مگاوات در سال	تعداد توربین بادی	تعداد اینورتر	تعداد پنل	چونگ کینگ
۳۶۶۹٫۵	۰	۸	۲۴۳۷۶	انرژی خورشیدی

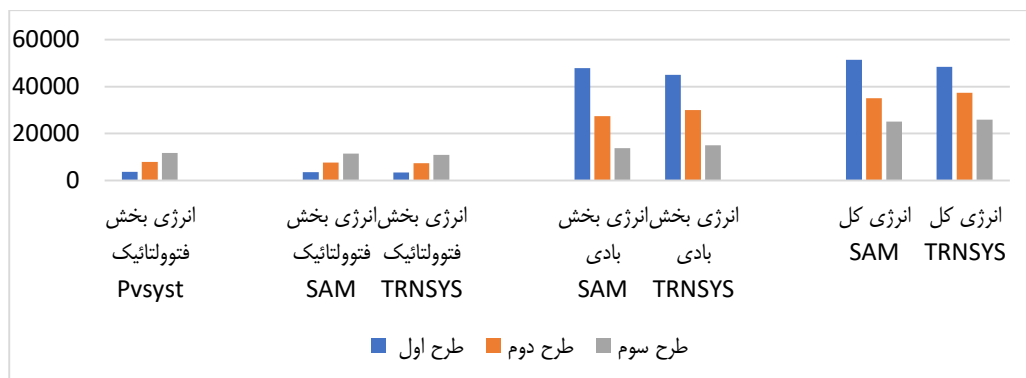
نتایج و بحث

هم مغایرت دارند. انرژی خروجی بخش بادی نرم افزار سم به صورت تقریبی نسبت به انرژی خروجی بخش بادی نرم افزار ترنسیس، ۶٪ بیشتر می باشد. انرژی تولیدی کل نیروگاه ترکیبی شیراز در شبیه سازی های انجام گرفته در نرم افزار سم و ترنسیس با یکدیگر اندکی مغایرت دارند. انرژی خروجی کل نرم افزار سم به صورت تقریبی نسبت به انرژی خروجی کل نرم افزار ترنسیس، ۶٪ بیشتر می باشد. شکل ۹ که مربوط به شهر قاهره است که در آن به بررسی و مقایسه طرح های توزیع توان و نتایج نرم افزارها پرداخته شده است. نحوه رنگ بندی و نمایش اطلاعات مانند شکل ۸ می باشد. همانطور که در شکل پیداست انرژی تولیدی در شبیه سازی های انجام گرفته در بخش فتوولتائیک نرم افزارها اندکی با هم مغایرت دارند. انرژی خروجی بخش فتوولتائیک نرم افزار سم و ترنسیس اندکی با هم مغایرت دارند. صورت تقریبی نسبت به انرژی خروجی بخش فتوولتائیک نرم افزار سم، ۲٪ نسبت به انرژی خروجی بخش فتوولتائیک نرم افزار ترنسیس، ۲٪ بیشتر می باشد. انرژی تولیدی در شبیه سازی های انجام گرفته در بخش بادی نرم افزارها سم و ترنسیس اندکی با هم مغایرت دارند. انرژی خروجی بخش بادی نرم افزار سم به صورت تقریبی نسبت به انرژی خروجی بخش بادی نرم افزار ترنسیس، ۲/۴٪ بیشتر می باشد. انرژی تولیدی کل نیروگاه ترکیبی قاهره در شبیه سازی های انجام گرفته در نرم افزار سم و ترنسیس بدین صورت است که انرژی خروجی کل نرم افزار سم به صورت تقریبی نسبت به انرژی خروجی کل نرم افزار ترنسیس، ۲/۲٪ بیشتر می باشد. شکل ۱۰ که مربوط به شهر هیوستن که در آن به بررسی و مقایسه طرح های توزیع توان و نتایج نرم افزارها پرداخته شده است. نحوه رنگ بندی و نمایش اطلاعات مانند شکل ۸ و ۹ می باشد. همانطور که در شکل پیداست انرژی تولیدی در شبیه سازی های انجام گرفته در بخش فتوولتائیک نرم افزارها اندکی با هم مغایرت دارند. انرژی خروجی بخش فتوولتائیک نرم افزار پی وی سیست به صورت تقریبی ۹٪ از انرژی خروجی بخش فتوولتائیک نرم افزار سم کمتر می باشد و نسبت به انرژی خروجی بخش فتوولتائیک نرم افزار ترنسیس، ۲٪ بیشتر می باشد. انرژی تولیدی در شبیه سازی های انجام گرفته در بخش بادی نرم افزارها سم و ترنسیس اندکی با هم مغایرت دارند. انرژی خروجی بخش بادی نرم افزار سم به صورت تقریبی نسبت به انرژی خروجی بخش بادی نرم افزار ترنسیس، ۱۵٪ بیشتر می باشد. انرژی تولیدی کل نیروگاه ترکیبی هیوستن در شبیه سازی های انجام گرفته در نرم افزار سم و ترنسیس به میزان ۱۵ در صد متفاوت است. انرژی خروجی کل نرم افزار سم به صورت تقریبی نسبت به انرژی خروجی کل نرم افزار ترنسیس، ۱۵٪ بیشتر می باشد.

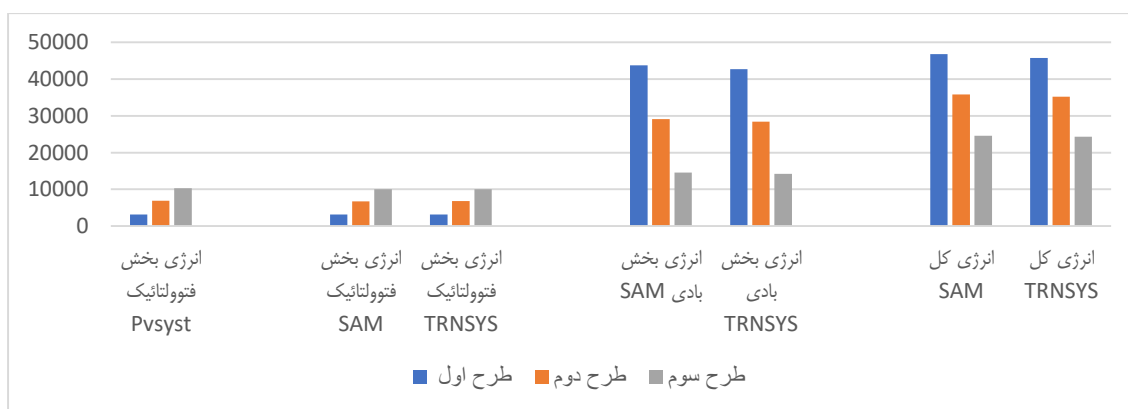
نیروگاه ترکیبی علاوه بر رفع نیاز به انرژی منجر به افزایش ضریب اطمینان و حفظ منابع غیر تجدیدپذیر خواهد گردید، از این رو فناوری طراحی و ساخت نیروگاه های ترکیبی از اهمیت بارزی برخوردار است. در این راستا استفاده از نرم افزارهای طراحی و شبیه سازی می تواند ما را در تخمین امان های نیروگاه ترکیبی یاری رساند. مجموعه نتایج بدست آمده از شبیه سازی سه طرح ذکر شده در چهار شهر قاهره، هیوستن، شیراز و چونگ کینگ با نرم افزار های پی وی سیست، سم و ترنسیس مورد بررسی قرار گرفتند. در شهر چونگ کینگ به دلیل شرایط نامساعد ساخت نیروگاه ترکیبی توجیه اقتصادی ندارد. در سایت هیوستن به دلیل کمتر بودن چگالی انرژی بادی نسبت به دو سایت قاهره و شیراز تعداد توربین بادی بیشتری برای هر طرح در نظر گرفته شد. در شکل ۷ تا ۱۰ طرح های تولید توان و انرژی خروجی از هر نرم افزار براساس هر شهر مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۷ که مربوط به شهر چونگ کینگ چین است، طراحی به صورت تأمین ۱۰۰٪ انرژی از سیستم فتوولتائیک انجام گرفته است. براساس نتایج نرم افزار پی وی سیست، میزان انرژی خروجی اینورتر ۵۵۳۲ MW_{yr} و انرژی تزریق شده به شبکه ۵۵۲۷ MW_{yr} می باشد. براساس نتایج نرم افزار سم، در نیروگاه خورشیدی چونگ کینگ میزان انرژی تولیدی، سالانه ۳۶۶۹/۵۶۳ MW_{yr} می باشد. این اختلاف به دلیل مقدار دقیق میزان تلفات لحاظ شده در نرم افزار سم می باشد این تلفات شامل آلودگی های هوایی می باشد، در حالی که در نرم افزار پی وی سیست به صورت کلی تر به تلفات پرداخته شده است. شکل ۸ مربوط به شهر شیراز است، و آن به بررسی و مقایسه طرح های توزیع توان و نتایج نرم افزارها پرداخته شده است. در این شکل انرژی تولیدی بر حسب مگاوات در سال در نیروگاه ترکیبی سایت شیراز به تفکیک بخش فتوولتائیک، سپس بخش بادی و در نهایت انرژی کل براساس نرم افزار شبیه سازی از چپ به راست آمده است. در این شکل طرح های توزیع به ترتیب از طرح اول تا طرح سوم به رنگ های آبی، نارنجی و خاکستری مشخص شده است. همانطور که در شکل ۸ پیداست انرژی تولیدی در شبیه سازی های انجام گرفته در بخش فتوولتائیک نرم افزارها اندکی با هم مغایرت دارند. انرژی خروجی بخش فتوولتائیک نرم افزار پی وی سیست نسبت به انرژی خروجی بخش فتوولتائیک نرم افزار سم، ۳٪ و نسبت به انرژی خروجی بخش فتوولتائیک نرم افزار ترنسیس، ۸٪ بیشتر می باشد. انرژی تولیدی در شبیه سازی های انجام گرفته در بخش بادی نرم افزارها سم و ترنسیس اندکی با



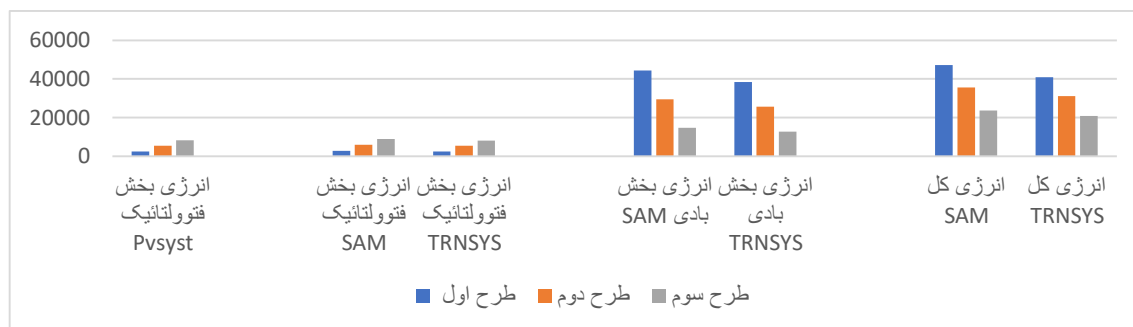
شکل ۷- انرژی تولیدی و مقایسه نرم‌افزارها در سایت شهر چونگ کینگ (مگاوات در سال)



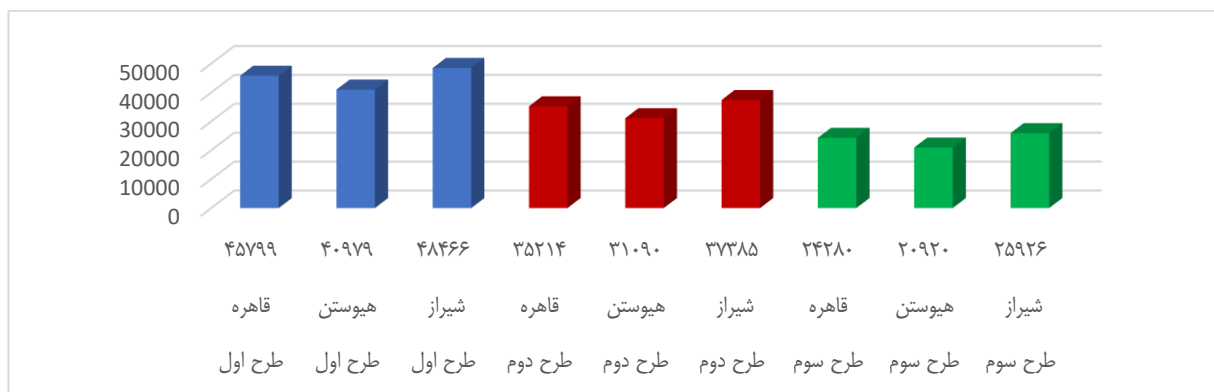
شکل ۸- انرژی تولیدی کل، فتوولتائیک، بادی و مقایسه نرم‌افزارها در سایت شهر شیراز براساس طرح‌های توزیع (مگاوات در سال)



شکل ۹- انرژی تولیدی کل، فتوولتائیک، بادی و مقایسه نرم‌افزارها در سایت شهر قاهره براساس طرح‌های توزیع (مگاوات در سال)



شکل ۱۰- انرژی تولیدی کل، فتوولتائیک، بادی و مقایسه نرم‌افزارها در سایت شهر هیوستن براساس طرح‌های توزیع (مگاوات در سال)



شکل ۱۱- مقایسه طرح‌ها و انرژی کل تولیدی برحسب مگاوات در سال در نیروگاه ترکیبی شهر شیراز، قاهره و هیوستن بر

اساس نرم‌افزار ترنسیس

استفاده بهینه از منابع موجود در نیروگاه ترکیبی طرح اول به جهت محدودیت مناطق با قابلیت احداث توربین از اهمیت بالایی برخوردار است. میزان بازدهی از انتشار دی‌اکسید کربن با استفاده از طرح اول در طول یک سال برای شهرهای مورد بررسی عبارتند از: کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به میزان $۲۳۶۵۱/۴۰۸$ تن در سال در شیراز، به میزان $۲۵۱۸۹/۴۵$ تن در سال در قاهره، به میزان $۱۵۲۰۳/۲۰۹$ تن در سال در هیوستن. با وجود اینکه شهر چونگ کینگ از شرایط مناسب برای احداث نیروگاه ترکیبی برخوردار نمی باشد، اما کماکان با بهره‌برداری از نیروگاه خورشیدی، پتانسیل کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به میزان $۱۹۴۸/۵۳$ تن در سال را دارا می‌باشد.

علاوه بر این نتایج حاصل از بررسی شبیه‌سازی نرم‌افزارها نشان داد که در بخش تعیین زاویه پنل‌ها، نرم‌افزار پی‌وی‌سیست با واقعیت در حد ۵ درجه تفاوت دارد. نرم‌افزار سم با وجود نداشتن بخش مجزا برای نیروگاه ترکیبی و محدود بودن دسترسی به داده های ورودی آب و هوایی، نتایج دقیقی ارائه داد. از نقاط قوت این نرم‌افزار توان بررسی اقتصادی طرح‌ها می‌باشد. همچنین نرم‌افزار ترنسیس، حرفه‌ترین گزینه به منظور طراحی سیستم‌های ترکیبی می باشد. کاربری نرم‌افزار به دلیل توجه بسیار به جزئیات منجر به پیچیده تر شدن استفاده از آن گردیده است. با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌گردد که طراحی و ساخت ربات داده پرداز جهت استخراج و ساخت فایل‌های آب و هوایی به همراه متغیرهای زیست محیطی انجام گیرد. علاوه بر این نیروگاه ترکیبی خورشیدی- بادی- هیدروژن به صورت انرژی مجموع خود محور و تأثیرات زیست محیطی آن بررسی گردد.

میزان تولید گاز دی‌اکسید کربن منتشر شده از تولید برق در ایران در سال، مصر، چین، آمریکا به ترتیب به صورت میانگین در سال ۲۰۲۰ حدود ۴۸۸، ۵۵۰، ۵۳۱، ۳۷۱ گرم دی‌اکسید کربن به ازای هر کیلووات‌ساعت، (gCO_2eq/kWh) می‌باشد (استاتیس‌ستا ۲۰۲۰، آی‌ای‌ای ۲۰۱۶، استاتیس‌ستا ۲۰۲۲، دانشگاه می‌شیگان ۲۰۲۲). که در صورت استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر ترکیبی این مقادیر به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پس از بررسی‌های انجام شده مطابق شکل ۱۱، بهترین طرح تولید توان نیروگاه ترکیبی خورشیدی - بادی، طرح اول می‌باشد که با نتایج مالکی و همکاران در سال ۲۰۱۷ مطابقت دارد مالکی و همکاران (۲۰۱۷). طرح اول به صورت تقریبی ۳۰٪ بیشتر از طرح دوم و ۸۵٪ بیشتر از طرح سوم بازدهی تولید انرژی دارد. طرح اول به دلیل بهره‌وری بیشتر از انرژی بادی به صورت میانگین عملکرد بهتری از خود به نمایش گذاشت. این در حالی است که مدار ۳۰ درجه شمالی از نظر تابش خورشیدی بیشترین پتانسیل تولید انرژی از پنل‌های فتوولتائیک را دارا می‌باشد. که نشان از تأثیر محدودیت زمان عملکرد سیستم فتوولتائیک در بازدهی کلی انرژی سیستم دارد. این در حالی است که با وجود بازدهی کمتر سیستم فتوولتائیک نسبت به سیستم بادی، سیستم فتوولتائیک ساعت میزان ساعت مشخص و در بازه مشخص تولید انرژی می نماید. این امر طراحان و مهندسان را ملزم می‌کند تا سیستم کنترل دقیق انرژی و توزیع زمانی برای نیروگاه‌های ترکیبی به کار گیرند.

References

- Ritchie H, Roser M, Rosado P. Renewable energy solar and wind data. Available at: <https://ourworldindata.org/renewable-energy> (2022)
- Jha AR. Solar cell technology and applications. CRC press; 2009 Oct 14. doi:10.1201/9781420081787
- Manwell JF, McGowan JG, Rogers AL. Wind energy explained: theory, design and application. John Wiley & Sons; 2010 Sep 14. doi:10.1002/9781119994367
- Manwell JF. Hybrid energy systems. Encyclopedia of energy. 2004 Jan 1;3(2004):215-229. doi:10.1016/b0-12-176480-x/00360-0
- Upadhyay S, Sharma MP. A review on configurations, control and sizing methodologies of hybrid energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014 Oct 1;38:47-63. doi:10.1016/j.rser.2014.05.057
- Mansouri E, Pirsalami M, Nasiri N, Farrizi M, Hashemizadeh M, Alihosseini H. Optimum tilt angle for fixed-array solar panels at a constant latitude of 29 to receive the maximum sunlight. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.*[Spl. Issue 1]. 2016;26:30-9. doi-ds:doilink/05.2016-13212626/
- Khare V, Nema S, Baredar P. Solar-wind hybrid renewable energy system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016 May 1;58:23-33. Doi:10.1016/j.rser.2015.12.223
- Maleki A, Rosen MA, Pourfayaz F. Optimal operation of a grid-connected hybrid renewable energy system for residential applications. *Sustainability*. 2017 Jul 27;9(8):1314. doi:10.3390/su9081314
- Al-Ajmi MS, Mustapha F, Yunus NA, Halin IA. A true hybrid solar wind turbine electric generator system for smaller hybrid renewable energy power plants. In MATEC Web of Conferences 2018 (Vol. 215, p. 01015). *EDP Sciences*. doi:10.1051/mateconf/201821501015
- Mehrjerdi H. Modeling, integration, and optimal selection of the turbine technology in the hybrid wind-photovoltaic renewable energy system design. *Energy Conversion and Management*. 2020 Feb 1;205:112350. doi:10.1016/j.enconman.2019.112350
- Roy P, He J. Grid-connected hybrid wind-solar farm hourly dispatching with battery and supercapacitor energy storage. In IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society 2020 Oct 18 (pp. 1831-1836). *IEEE*. doi:10.1109/iecon43393.2020.9255381
- Liu L, Xu J. Multi-objective generation scheduling towards grid-connected hydro-solar-wind power system based the coordination of economy, management, society, environment: A case study from China. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2022 Nov 1;142:108210. doi:10.1016/j.ijepes.2022.108210
- Farghali M, Osman AI, Chen Z, Abdelhaleem A, Ihara I, Mohamed IM, Yap PS, Rooney DW. Social, environmental, and economic consequences of integrating renewable energies in the electricity sector: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2023 Jun;21(3):1381-418. doi.org:10.1007/s10311-023-01587-1
- Badger J, Bauwens I, Casso P, Davis N, Hahmann A, Bo Krohn Hansen S, Ohrbeck Hansen B, Heathfield D, James Knight O, Lacave O, Lizcano G, Bosch i Mas A, Gylling Mortensen N, Tobias Olsen B, Onninen M, Potter Van Loon A, Volker P. Wind data, Wind speed, Wind power density, Roughness length. Available at: <https://globalwindatlas.info> (2023)
- N1 solar panel datasheet. Available at: https://www.lg.com/us/solar/solar/files/resources/LG_Solar_2021ProductCatalog_Digital_09092021.pdf(2021)
- Sunny central 800CP-JP 800KW datasheet. Available at: <https://www.sma.de/en/products/solarinverters>. (2021)
- Wind turbine 1.5 Xle dataset. Available at: https://www.ge.com/renewableenergy/sites/default/files/related_documents/wind-onshore-turbine-1.85-87-gea30627d-r1.pdf (2020)
- Sam software used in simulation. Available at: <https://sam.nrel.gov>(2023)
- PVsys software used in simulation. Available at: <https://www.pvsyst.com>(2023)
- TRNSYS software used in simulation. Available at: <http://www.trnsys.com> (2023)
- Emissions intensity from electricity generation in Iran in grams of carbon dioxide equivalent per kilowatt-hour. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1302592/iran-emissions-intensity-from-electricity-generation/> (2020)
- Emissions intensity from electricity generation in Egypt in grams of carbon dioxide equivalent per kilowatt-hour. Available at: <https://www.iea.org/reports/energy-climate-change-and-environment-2016-insights> (2016)
- Emissions intensity from electricity generation in China in grams of carbon dioxide equivalent per kilowatt-hour. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1300419/power-generation-emission-intensity-china/> (2022)

24. Carbon Footprint Factsheet. Available at:
<https://css.umich.edu/publications/factsheets/sus>

[ustainability-indicators/carbon-footprint-factsheet](https://css.umich.edu/publications/factsheets/sustainability-indicators/carbon-footprint-factsheet)
(2022)



Design and Simulation of Grid-Connected Hybrid Solar-Wind Power Plants to Reduce Carbon Gas Emissions in the 30th Parallel North

Amirali Ghahramani*
Saman Tashakor

Master of Science in Renewable Energy Engineering, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
Assistant Professor, Renewable Energy Engineering Department, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Received: 28 June 2023

Accepted: 9 Sep 2023

Keywords: Carbon footprint reduction, Hybrid solar-wind system, PVsyst, SAM, TRANSYS.

Extended Abstract

Introduction: Renewable energy is one of the vital components in reducing carbon emissions and mitigating climate change. The use of renewable energy sources such as solar, wind, hydro, biomass, and geothermal provides energy without greenhouse gas effects on the planet. This study examines the efficiency solar-wind hybrid power plant on the 30th parallel north was studied by simulating energy production in the form of three power generation designs with a nominal capacity of 7 MWh from the solar-wind hybrid power plant in four cities of Cairo, Houston, Chongqing, and Shiraz. The study was conducted using PVsyst, SAM, and Transys software.

Materials and Methods: By simulating and analyzing the following three proposed plans in each city and comparing them, it is possible to reach the most efficient range of the power distribution ratio of the combined solar-wind power plant. First plan) 25% of the total power of the power plant is from solar energy and 75% of the total power of the power plant is from wind energy. Second plan) 50% of the total power of the power plant is from solar energy and 50% of the total power of the power plant is from wind energy. Third plan) 75% of the total power of the power plant is from solar energy and 25% of the total power of the power plant is from wind energy. By examining the amount of annual energy injected into the network, the amount and effect of using renewable resources in reducing carbon gas production is analyzed and calculated.

Results and Discussion: In addition to providing energy, the combined power plant will increase the reliability factor and preserve non-renewable resources and reduce greenhouse gases. All three software can be used in power plant simulation and analysis and the results are in good agreement.

Conclusion: The first design is approximately 30% more efficient than the second design and 85% more than the third design. Shiraz with the production of 48466 megawatts per year reduced carbon dioxide emissions by 23651.408 tons, in Cairo with the production of 45799 megawatts per year the carbon dioxide emissions decreased by 25189.45 tons, Houston with the production of 40979 megawatts per year reduced the carbon dioxide emissions by 15203.209 tons.

Corresponding author: Amirali Ghahramani

Address: Shiraz, moaliabad street, bostan, alley1, #88. **Tell:** +989178067962

Email: aa.amirali.ghahramani@gmail.com

DOR:

Citation: Ghahramani A.A, Tashakor S. Design and Simulation of Grid-Connected Hybrid Solar-Wind Power Plants to Reduce Carbon Gas Emissions in the 30th Parallel North. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2023; 1(2): 46-59.



© 2023, 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.