



KNO-1104-4602

تأثیر چشم انداز انرژی خورشیدی در تولید انرژی برق

علیرضا جوشن

کارشناسی ارشد برق قدرت گرایش الکترونیک قدرت و ماشین های الکتریکی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

Alireza.joshan.guilan@gmail.com

چکیده

در اکوسیستم انرژی جهانی، پیشرفت انسان در تولید و مصرف انرژی روزافزون، چالش های اساسی را برای مدیریت انرژی و حفظ محیط زیست به وجود آورده است. این روند رو به افزایش مصرف انرژی جهانی به دو چالش عمده از نظر زیست محیطی و اقتصادی منجر شده است: آلودگی محیط زیست ناشی از سوزاندن سوخت های فسیلی و نیاز رو به افزایش به منابع انرژی. این مواجهه، انگیزه ای برای تحقیق گران و سرمایه گذاران در حوزه انرژی برای بهره گیری از منابع تجدیدپذیر و پاک فراهم آورده است. انرژی خورشیدی، به عنوان یک منبع انرژی پایدار و کاملاً قابل تجدیدپذیر، با توانایی جذب توجه ویژه از سوی محققان و صنعتگران برخوردار است.

در این مقاله، با مرور و تجزیه و تحلیل تحقیقات اخیر و مقالات معتبر کشور، اهمیت انرژی خورشیدی و مزایای بیان شده این منبع انرژی در مقایسه با انرژی های فسیلی مورد بررسی قرار می گیرد. این مقاله بر ضرورت مطالعه دقیق و جامع انرژی خورشیدی تأکید می نماید و نیاز به اتخاذ سیاست های مبتنی بر داده و اطلاعات کافی در زمینه انرژی های نوین و پایدار را برجای می گذارد. در نهایت، راهکارهای نوآورانه برای پیوستگی به شبکه الکتریکی با استفاده از فناوری های پیشرفته و بهینه سازی سیستم های انتقال و توزیع برق خورشیدی، مورد بررسی قرار می گیرد.

کلیدواژه ها: انرژی خورشیدی، تولید انرژی برق، منابع انرژی تجدیدپذیر، پایداری، آلودگی محیط زیست

مقدمه

در دهه های اخیر، نگرانی های مرتبط با تغییرات آب و هوایی و افزایش گرمایش جهانی، مسئله اصلی دولت ها و سازمان های بین المللی جهانی شده است. تأمین انرژی از منابع تجدیدپذیر و پاک، به عنوان یکی از روش های اساسی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و برطرف کردن نیازهای انرژی جوامع، از اهمیت بالایی برخوردار است [۱]. انرژی خورشیدی به عنوان یکی از منابع اصلی انرژی تجدیدپذیر که بر اساس تبدیل اشعه های خورشید به انرژی الکتریکی عمل می کند، به عنوان یک گزینه پراکنده، پاک و قابل تجدیدپذیر، در جهت تأمین انرژی برق جوامع و صنایع جهانی، توجه پذیری دارد [۲].

با وجود پیشرفت های چشمگیر در فناوری های تولید برق از نور خورشید، مسائلی همچون انتقال بهینه و ادغام این انرژی به شبکه های الکتریکی، همچنان به عنوان چالش های مهمی در مسیر بهره برداری از انرژی خورشیدی باقی مانده اند. علیرغم پیشرفت های چشمگیر در فناوری تولید برق خورشیدی، شبکه های الکتریکی با معضلاتی همچون نیاز به انعطاف پذیری بیشتر، مدیریت بار، و اطمینان از پایداری عملکرد روبرو هستند [۳ و ۴].



در دهه‌های اخیر، با توسعه روزافزون فناوری‌های تولید برق از منابع نوپا، بخصوص برق خورشیدی، اهمیت انتقال این نوع انرژی به شبکه الکتریکی به مراتب بیشتر شده است. انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی نیازمند بررسی و تحلیل گسترده‌ای از مواردی همچون فناوری‌های مورد استفاده، مشکلات احتمالی، روش‌های بهینه‌سازی و نوآوری‌های جدید است [۵-۷]. مطالعات پیشین نشان داده است که انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی با چالش‌هایی همچون نوسانات تولید برق خورشیدی، نیاز به سیستم‌های ذخیره‌سازی، افزایش هزینه‌های انتقال و ادغام با سیستم‌های قدیمی شبکه الکتریکی روبرو است. علاوه بر چالش‌ها، مطالعات اخیر نیز به نقاط قوت و ضعف موجود در انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی پرداخته‌اند و راهکارهایی برای بهبود عملکرد و افزایش قابلیت اطمینان شبکه الکتریکی ارائه داده‌اند. این شامل بهینه‌سازی سیستم‌های انتقال و توزیع برق خورشیدی، استفاده از فناوری‌های ذخیره‌سازی پیشرفته، و ادغام با سیستم‌های هوشمند شبکه الکتریکی است [۸-۱۲].

تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که با توجه به پتانسیل بالقوه برق خورشیدی، توسعه و بهبود فناوری‌ها و راهکارهای مرتبط با انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی، می‌تواند به افزایش پایداری و کارایی شبکه الکتریکی و بهبود محیط زیست کمک کند.

در حالی که فناوری‌های تولید برق خورشیدی به سرعت پیشرفت می‌کنند، شکاف بین توان تولیدی و قابلیت انتقال و ادغام این انرژی به شبکه الکتریکی رو به گسترش است [۱۳-۲۱]. این شکاف به طور مداوم چالش‌هایی از قبیل ناتوانی در مدیریت تولید ناپایدار و ناتوانی در انطباق با نیازهای متغیر مصرف کنندگان را ایجاد می‌کند.

تحقیقات پیشین در حوزه انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی نشان می‌دهد که وجود شکاف‌هایی در این زمینه، از جمله عواملی است که مانع از دستیابی به بهره‌وری و کارایی بالا در این فرآیند می‌شود [۴۴-۵۳]. این شکاف‌ها شامل موارد زیر می‌شود:

۱. عدم همسانی بین تولید برق خورشیدی و نیاز مصرفی: یکی از اصلی‌ترین چالش‌های انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی، عدم همسانی بین زمان تولید برق خورشیدی و زمان نیاز مصرفی است. به دلیل این عدم همسانی، نیاز به سیستم‌های ذخیره‌سازی برای مدیریت بهینه تولید و مصرف برق احساس می‌شود.

۲. افزایش هزینه‌های انتقال: با افزایش تعداد نیروگاه‌های خورشیدی و فاصله جغرافیایی بین آن‌ها و مصرف کنندگان، هزینه‌های انتقال برق نیز افزایش می‌یابد. این افزایش هزینه می‌تواند موجب کاهش سودآوری و توجیه اقتصادی پروژه‌های برق خورشیدی شود.

۳. نیاز به بهبود زیرساخت‌های شبکه الکتریکی: شبکه الکتریکی موجود، برای انتقال برق خورشیدی به صورت بهینه نیازمند بهبود و بهینه‌سازی زیرساخت‌های خود، از جمله خطوط انتقال و ترانسفورماتورها است.

۴. مشکلات ادغام با سیستم‌های موجود: انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی ممکن است با مشکلات ادغام فنی و عملی با سیستم‌های موجود در شبکه مواجه شود که نیازمند به راهکارهای نوآورانه و تحقیقات بیشتر است [۵۴-۷۳].

با مطالعه و شناخت دقیق این شکاف‌ها، می‌توان راهکارهای مناسبی را برای پیشبرد اهداف انتقال برق خورشیدی به شبکه الکتریکی ارائه کرد و بهبود عملکرد و کارایی این فرآیند را ممکن ساخت [۷۴-۷۶].

مقاله حاضر به معرفی و تجزیه و تحلیل تاثیرگذاری انرژی خورشیدی در سهم‌دهی به تولید برق، می‌پردازد. از طریق بررسی موانع و چالش‌های این فناوری به دستاوردها و مزایای آن، تأکید بر اهمیت استفاده بهینه از انرژی خورشیدی و ارائه راهکارهایی برای توسعه پایدار این فناوری، این مقاله به دنبال تأکید بر اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی در تولید انرژی برق، به هدف پیشبرد دانش و فهم عمومی در این حوزه می‌پردازد، و امیدوار است که به ترویج فرهنگ استفاده اثربخش از منابع انرژی تجدیدپذیر و محیط زیست پاک، کمک کند.



این مقاله به دنبال معرفی راهکارهای نوآورانه برای پیوستگی به شبکه الکتریکی است که با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های پیشرفته و بهینه‌سازی سیستم‌های انتقال و توزیع برق خورشیدی، می‌تواند به بهبود عملکرد و افزایش قابلیت اطمینان شبکه الکتریکی منجر شود. این نوآوری‌ها از جمله راهکارهای اساسی برای حل شکاف موجود بین توان تولیدی و قابلیت انتقال و ادغام برق خورشیدی به شبکه الکتریکی محسوب می‌شوند و به توسعه پایدار و پیشرفت در حوزه انرژی پاک و پایدار کمک خواهند کرد.

این نوآوری با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های پیشرفته و بهینه‌سازی سیستم‌های انتقال و توزیع برق خورشیدی، توانایی بهبود عملکرد و افزایش قابلیت اطمینان شبکه الکتریکی را داراست. این راهکارها از جمله اقدامات اساسی برای حل شکاف موجود بین توان تولیدی و قابلیت انتقال و ادغام برق خورشیدی به شبکه الکتریکی محسوب می‌شوند و به توسعه پایدار و پیشرفت در حوزه انرژی پاک و پایدار کمک می‌کنند.

این نوآوری به عنوان یک راه حل هوشمندانه، می‌تواند به طور دقیق ترکیب بین تولید برق خورشیدی و نیاز مصرفی را مدیریت کرده و از ایجاد هدر رفت انرژی و افزایش هزینه‌های انتقال جلوگیری کند. با بهینه‌سازی فناوری‌های ذخیره‌سازی، استفاده از سیستم‌های هوشمند و بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، می‌توان به تعادل بین تولید و مصرف برق برای بهبود کارایی و افزایش قابلیت اطمینان شبکه الکتریکی دست یافت. این اقدامات نه تنها به بهبود عملکرد شبکه الکتریکی منجر می‌شوند بلکه در جهت توسعه پایدار و ارتقاء صنعت انرژی پاک و پایدار گام مثبتی برداشته می‌شود.

آیا می‌توان انتظار داشت که انرژی خورشیدی به یکی از اصلی‌ترین منابع تولید انرژی برق در آینده تبدیل شود؟ چه چالش‌ها و فرصت‌هایی برای توسعه انرژی خورشیدی وجود دارد؟ آیا استفاده از انرژی خورشیدی می‌تواند به توسعه پایدار و سبزتر صنایع و جوامع جهانی کمک کند؟

مقاله حاضر در ادامه به تبیین و بررسی این سوالات مهم و ارتباط انرژی خورشیدی با تولید انرژی برق پرداخته و به طرح راهکارهایی برای بهبود استفاده از این فناوری مهم می‌پردازد.

بررسی فرایند تبدیل انرژی خورشید به برق

انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر و منحصر به فرد، نقش بسیار مهمی در تامین نیازهای انرژی جهان دارد. فرایند تبدیل انرژی خورشید به الکتریسیته از طریق دو روش اساسی انجام می‌شود: روش مستقیم و روش غیرمستقیم.

در روش مستقیم، انرژی خورشید مستقیماً توسط سلول‌های خورشیدی به الکتریسیته تبدیل می‌شود. این سلول‌های خورشیدی، یا سلول‌های فتوولتائیک، نور خورشید را جذب کرده و فوتون‌های نور را به الکترون‌های داخل سلول تبدیل می‌کنند. این الکترون‌ها جریان الکتریکی را ایجاد می‌کنند که سپس توسط سیم‌ها به سیستم‌های الکتریکی متصل شده و به برق تبدیل می‌شوند.

از سوی دیگر، در روش غیرمستقیم، ابتدا انرژی خورشید به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. این حرارت سپس از طریق یک سیکل ترمودینامیکی به الکتریسیته تبدیل می‌شود. این فرایند از یک سیستم حرارتی خورشیدی یا سیستم CSP (منابع حرارتی خورشیدی) استفاده می‌کند که ابتدا حرارت خورشید را جذب می‌کند و سپس از آن برای تولید الکتریسیته استفاده می‌کند.

از این دو روش برای بهره‌وری بیشتر از انرژی خورشیدی و کمک به کاهش وابستگی به منابع انرژی غیرقابل تجدیدپذیر استفاده می‌شود. انتخاب روش مناسب بستگی به شرایط محلی، بودجه، و نیازهای انرژی موردنظر دارد تا به بهترین راه برای تبدیل انرژی خورشید به برق برسیم و از فواید این منبع انرژی مطمئن شویم [۲۲ و ۲۳].



فناوری فتوولتائیک در تولید انرژی خورشیدی

فناوری فتوولتائیک، به عنوان یکی از روش‌های پیشرفته در تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته، از سلول‌های فتوولتائیک یا سلول‌های خورشیدی برای تبدیل پرتوهای خورشیدی به الکتریسیته استفاده می‌کند. در این فناوری، سلول‌های فتوولتائیک به دو شکل صفحه تخت و متمرکز ساخته می‌شوند. سلول‌های صفحه تخت، که به طور معمول استفاده می‌شوند، نور خورشید را بی واسطه به سلول خورشیدی می‌رسانند و با تبدیل آن به الکتریسیته، انرژی را تولید می‌کنند.

از سوی دیگر، سلول‌های متمرکز کننده ابتدا نور خورشید را به کمک یک بازتابنده متمرکز می‌کنند و سپس آن را به سلول خورشیدی هدایت می‌کنند. با اتصال سلول‌های خورشیدی به هم، یک مدول خورشیدی شکل می‌گیرد. این مدول‌ها برای تولید ولتاژ و جریان مناسب، به شکل‌های سری و موازی به هم متصل می‌شوند و به آرایه خورشیدی تبدیل می‌شوند.

هرچند انواع مختلفی از سیستم‌های فتوولتائیک وجود دارد، اما تمام آن‌ها شامل سه جزء اصلی هستند. این اجزاء شامل ماژول برای تبدیل انرژی خورشید به الکتریسیته، مبدل برای تبدیل الکتریسیته به جریان متناوب و احتمالاً باتری برای ذخیره‌سازی انرژی اضافی می‌شوند. اجزاء جانبی این سیستم‌ها شامل سیم‌ها، سوئیچ‌ها، سازه‌های پشتیبانی و ... است.

به منظور استفاده بهینه از سیستم‌های فتوولتائیک، شناخت دقیق از ساختار و کاربرد این سیستم‌ها ضروری است. تحقیقات بیشتر در این زمینه می‌تواند به بهبود کارکرد و کاربردهای این فناوری پرداخته و موجب پیشرفت در حوزه انرژی خورشیدی شود [۲۴-۲۶].

چشم انداز مناسب‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک بر اساس نیاز کاربری

سیستم‌های فتوولتائیک (PV) با توجه به نوع کاربرد و نحوه اتصال به شبکه برق، به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱. سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه:

۲. سیستم‌های فتوولتائیک مستقل از شبکه:

علاوه بر این دو دسته اصلی، سیستم‌های فتوولتائیک می‌توانند در ترکیب با سایر منابع انرژی مانند توربین‌های بادی یا ژنراتورهای دیزلی به کار گرفته شوند. این نوع ترکیب‌ها به ایجاد سیستم‌های هیبریدی کمک می‌کنند که قادر به تامین انرژی پایدار و مطمئن برای بارهای مختلف هستند. این تنوع در کاربرد ها نشان دهنده نقش کلیدی سیستم‌های فتوولتائیک در تامین انرژی پاک و پایدار در عصر حاضر است.

پیشرفت فناوری و کاهش هزینه‌های تولید پنل‌های خورشیدی، استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک را در زمینه‌های مختلف افزایش داده و به توسعه پایدار کمک شایانی کرده است [۲۷ و ۲۸].

سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه

سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه به منظور تقویت شبکه‌های برق سراسری و کاهش بار بر روی نیروگاه‌ها در طول روز طراحی شده‌اند. این سیستم‌ها می‌توانند به صورت متمرکز در نیروگاه‌های بزرگ یا به صورت غیرمتمرکز بر روی بام‌های منازل و ساختمان‌های تجاری نصب شوند. با توجه به مزایای متعدد این سیستم‌ها، امروزه در بسیاری از کشورهای جهان، نیروگاه‌های فتوولتائیک با ظرفیت‌های بزرگ، به ویژه مدل‌های ۵ کیلوواتی، به کار گرفته می‌شوند.



این نوع سیستم ها دارای مزایایی از جمله نصب آسان، بازدهی بالا و عدم نیاز به تجهیزات پیچیده جانبی هستند. همچنین، برخلاف سیستم های مستقل از شبکه، این سیستم ها نیازی به باتری برای ذخیره سازی انرژی ندارند. سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه به خوبی با سیستم های ذخیره سازی انرژی سازگار هستند و می توانند انرژی تولیدی را برای تامین نیازهای بارهای حساس مانند یخچال، روشنایی، آسانسور و پمپ های آبرسانی مورد استفاده قرار دهند.

در شرایط عادی که دسترسی به شبکه برق سراسری وجود دارد، این سیستم ها می توانند انرژی تولیدی خود را به شبکه تزریق کنند و در صورت نیاز، از شبکه برق تامین انرژی کنند. در این فرآیند، باتری ها و سایر وسایل ذخیره سازی انرژی نیز به حالت شارژ کامل می رسند. بنابراین، سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه نه تنها به افزایش بهره وری انرژی کمک می کنند، بلکه نقش مهمی در پایداری و کارایی شبکه برق ایفا می کنند [۳۰ و ۳۱].

سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه

سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه به کاربران این امکان را می دهند که انرژی الکتریکی مورد نیاز خود را بدون وابستگی به شبکه برق سراسری تامین کنند. این سیستم ها با استفاده از پنل های خورشیدی، تجهیزات ذخیره سازی انرژی و سیستم های کنترل، به عنوان یک واحد نیروگاهی با عمر مفید حدود ۳۰ سال طراحی و نصب می شوند. یکی از مزایای بارز این سیستم ها، عدم نیاز به سوخت های فسیلی و هزینه های مرتبط با آن ها است که باعث کاهش هزینه های عملیاتی می شود.

این نوع سیستم ها نیاز به تعمیر و نگهداری کمتری دارند و به همین دلیل برای کاربردهایی که در آن ها دسترسی به خدمات برق رسانی محدود است، بسیار مناسب هستند. به عنوان مثال، این سیستم ها می توانند انرژی مورد نیاز ایستگاه های مخابراتی، تلویزیون ها، خانه های مسکونی، چادرهای عشایری و مدارس روستایی را تامین کنند.

سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه نقش مهمی در تامین انرژی در مناطق دورافتاده و بی برق ایفا می کنند و می توانند به رفع نیازهای انرژی الکتریکی در شرایطی که دسترسی به شبکه برق وجود ندارد، کمک شایانی نمایند. این فناوری نه تنها به افزایش استقلال انرژی کمک می کند، بلکه می تواند به توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی در جوامع کم برخوردار نیز منجر شود [۳۱ و ۳۲].

مولفه های سامانه های فتوولتائیک

با اجرای دقیق مولفه و اجزای سامانه های فتوولتائیک، ایجاد یک ساختار پایدار و کارآمد برای تولید انرژی خورشیدی ممکن است. این اجزا، نقش بسیار حیاتی در عملکرد بهینه این سامانه ها دارند این تجهیزات از تمامی عناصر مهم برای بهره برداری بهینه از انرژی خورشیدی برای تولید برق استفاده می کنند که عبارتند از: [۳۳-۳۵].

آرایه فتوولتائیک

آرایه فتوولتائیک متشکل از اجتماع پنل های فتوولتائیک است که طیف وسیعی از انرژی خورشید را به برق تبدیل می کند. این پنل ها از ماژول های فتوولتائیک تشکیل شده اند که خود شامل سلول های فتوولتائیک هستند. این سلول ها عبارتند از سلول هایی که توانایی تبدیل انرژی خورشید به برق را دارند.

سیستم های ردیابی تابش



سیستم‌های دنبال کننده تابش خورشید شامل آرایه‌های فتوولتائیک هستند که می‌توانند به حالت ثابت یا به وسیله ردیاب متحرک که با تغییر فصل ها، زاویه تابش خورشید را دنبال کند، نصب شوند. در برخی موارد، آرایه‌های فتوولتائیک به حالت ثابت فصلی نیز نصب می‌شوند.

مبدل الکترونیک قدرت

نوعی مبدل است که برق مستقیم تولید شده توسط آرایه‌های فتوولتائیک را به جریان متناوب استاندارد تبدیل می‌کند که در خانه‌ها استفاده می‌شود. این مبدل ویژگی‌هایی از قبیل ولتاژ و فرکانس را با مولفه‌های مورد نیاز مصرف کننده هماهنگ می‌کند تا انرژی خورشیدی به‌طور بهینه به اهداف خانگی استفاده شود.

ذخیره‌ساز انرژی سیستم

ذخیره‌ساز انرژی در سیستم‌های فتوولتائیک عموماً از نوع باتری استفاده می‌شود.

دستگاه های ردیابی حداکثر توان

برای بهره‌وری بیشتر از انرژی تولید شده توسط پنل‌های فتوولتائیک، نقطه‌ای باید به‌طور دقیق انتخاب شود که بیشترین جریان و ولتاژ را تولید کند. این نقطه بهینه توسط دنبال کننده حداکثر توان تعیین می‌شود.

تجهیزات جانبی

در اصطلاحات فتوولتائیک، تجهیزات جانبی به سایر اجزای سامانه اطلاق می‌شود که برای متعادل کردن و بهینه کردن عملکرد ماژول‌های فتوولتائیک لازم است. این تجهیزات شامل سیستم نصب و سیم‌کشی است که امکان استفاده بهینه از ماژول‌های فتوولتائیک در سیستم الکتریکی خانه یا مکان دیگر را فراهم می‌کنند.

تجزیه و تحلیل مزایا و معایب سیستم‌های فتوولتائیک

مزایا استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک

- استفاده از انرژی خورشیدی تجدیدپذیر و بی‌نهایت
- تولید برق تمیز و بدون انتشار آلاینده‌های زیست محیطی
- انتقال مستقیم نور خورشید به برق بدون اتلاف انرژی
- نیاز کمتر به نگهداری و تعمیرات به دلیل عدم وجود قطعه‌های متحرک
- امکان افزایش سریع ظرفیت با اضافه کردن ماژول‌ها و باتری‌های ذخیره‌سازی
- کاهش خطر آتش‌سوزی نسبت به سایر سیستم‌ها
- کاربرد مفید در مناطق دورافتاده برای تأمین انرژی
- قابلیت نصب در کاربردهای خانگی، تجاری و صنعتی بر روی ساختمان‌ها بدون اشغال فضاهای اضافی



معایب استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک

در زمینه معایب استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک، برخی نکات قابل توجه شامل موارد زیر می‌شود:

- هزینه‌های بالاتر برای تولید برق از سلول‌های فتوولتائیک نسبت به مصارف فراورده‌های فسیلی

- اعتماد سازی عملکرد سلول‌های خورشیدی به شرایط جوی و هواشناسی

- هزینه‌های بالای مرتبط با نصب اولیه سیستم‌های فتوولتائیک

- نیاز به باتری جهت ذخیره‌سازی انرژی برای استفاده از انرژی خورشیدی در شب

- نیاز به فضای وسیع جهت نصب سلول‌های فتوولتائیک جهت تأمین نیازهای بزرگ انرژی الکتریکی

- کمبود نیروی کار متخصص و ماهر در زمینه طراحی و نصب سیستم‌های فتوولتائیک [۳۶ و ۳۷].

تحولات در فناوری تولید سلول‌های خورشیدی

از اوایل قرن نوزدهم تا به امروز، فناوری‌های مختلف برای ساخت و تولید سلول‌های خورشیدی پدیدار شده‌اند. تا پیش از دهه ۱۹۸۰، این فناوری‌ها به دلیل کمبود بازدهی در زمینه‌های آزمایشگاهی و تحقیقاتی محدود بودند و بیشتر در کاربردهای خاص مانند ماهواره‌ها و فضاورددها و کاربردهای کوچک خانگی استفاده می‌شدند. اما با ساخت اولین سلول‌های خورشیدی با بازده ۲۰٪ در میانه دهه ۱۹۸۰ و افزایش قیمت سوخت، توجه صنعتی به این فناوری افزایش یافت و زمینه استفاده گسترده تر از انرژی خورشیدی به عنوان منبع نیروگاهی فراهم شد [۳۸].

انواع سلول‌های خورشیدی و ویژگی‌های آن‌ها

سلول‌های خورشیدی به چند نوع اصلی تقسیم می‌شوند که هر کدام ویژگی‌ها و مزایای خود را دارند. سلول‌های مونوکریستال، پولیکریستال و آمورف به دلیل روش تولید خود از هم متفاوت هستند. مونوکریستال‌ها با ساختار یکنواختی و بهره‌وری بالا شناخته می‌شوند اما هزینه بیشتری دارند. سلول‌های پولیکریستال، به دلیل ناهمگونی ساختار خود، در موقعیت‌های خاصی از آب و هوا بهره‌وری دارند. از سوی دیگر، سلول‌های آمورف دارای ساختار کمتر یکنواختی هستند و می‌توانند در شرایط آب و هوایی متنوعی الکتریسیته تولید کنند.

در مقایسه بازدهی این سلول‌ها، سلول‌های مونوکریستال حدود ۹۱ درصد، پولیکریستال حدود ۹۲ درصد و سلول‌های آمورف تقریباً ۱۰ درصد بازدهی دارند. با این حال، لازم به ذکر است که سلول‌های پولی و مونوکریستال در صورت مواجهه با موانعی که مانع تابش نور به سطح آنها می‌شوند، ممکن است با کاهش ولتاژ و توان خروجی مواجه شوند. بنابراین، در استفاده از این نوع سلول‌ها، لازم است که همواره سطح سلول‌ها به سمت خورشید است و از گرد و غبار پاک شده باشند [۳۹ و ۴۰].

روش‌های بهینه‌سازی انتقال برق خورشیدی

روش‌های بهینه‌سازی انتقال برق خورشیدی از جمله مهمترین بخش‌هایی هستند که در توسعه و بهبود سیستم‌های انتقال برق خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها با هدف افزایش بهره‌وری، کاهش تلفات، و بهبود عملکرد کلی سیستم‌های انتقال برق خورشیدی طراحی و اجرا می‌شوند [۴۱ و ۴۳]. برخی از این روش‌ها عبارتند از:

۱. بهینه‌سازی طراحی شبکه:



در این روش، طراحی شبکه انتقال برق برای انتقال بهینه برق خورشیدی مورد بررسی و بهبود قرار می‌گیرد. این شامل تعیین بهترین مسیرها، انتخاب بهینه ترانسفورماتورها، و بهینه‌سازی نقاط اتصال به شبکه می‌شود.

۲. استفاده از تکنولوژی‌های هوشمند:

این روش شامل استفاده از تکنولوژی‌های هوشمند مانند شبکه‌های هوشمند و سیستم‌های مدیریت انرژی است که بهبود عملکرد و کارایی سیستم انتقال برق را فراهم می‌کند.

۳. بهینه‌سازی مسیرهای انتقال:

این روش شامل استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برای تعیین بهترین مسیرهای انتقال برق خورشیدی است. این مسیرها بر اساس فاصله، ظرفیت، و شرایط دیگری که بر اساس محیط محلی تعیین می‌شوند، بهینه‌سازی می‌شوند.

۴. بهینه‌سازی استفاده از ترانسفورماتورها:

در این روش، استفاده از ترانسفورماتورهای هوشمند و بهینه برای انتقال برق خورشیدی در نقاط مختلف شبکه مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار می‌گیرد.

۵. استفاده از روش‌های بهینه‌سازی عددی:

این روش شامل استفاده از روش‌های بهینه‌سازی عددی مانند الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم‌های ژنتیک، و روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر شبکه‌های عصبی برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های انتقال برق خورشیدی است.

این روش‌ها با استفاده از تحلیل‌های مهندسی و مدل‌سازی ریاضی، به منظور بهبود کارایی و عملکرد سیستم‌های انتقال برق خورشیدی به کار گرفته می‌شوند [۷۷-۸۰].

توسعه سیستم‌های توزیع برق خورشیدی

توسعه سیستم‌های توزیع برق خورشیدی شامل افزایش کارایی و کاربرد بیشتر این سیستم‌ها در شبکه‌های الکتریکی است [۸۱]. این شامل موارد زیر می‌شود:

۱. بهبود تکنولوژی‌های تولید برق خورشیدی: تحقیق و توسعه در زمینه پنل‌های خورشیدی، تجهیزات تبدیل، و سیستم‌های ردیابی برای افزایش بازدهی تولید برق.

۲. ادغام با شبکه‌های الکتریکی: استفاده از تکنولوژی‌های مختلف برای ادغام سیستم‌های توزیع برق خورشیدی به شبکه‌های الکتریکی، از جمله سیستم‌های تخلیه متقابل و تجهیزات توزیع هوشمند.

۳. استفاده از ذخیره‌سازی انرژی: اعمال فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی مانند باتری‌ها برای مدیریت بهتر تولید ناپایدار برق خورشیدی و افزایش انعطاف‌پذیری در سیستم‌های توزیع.

۴. بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت بار: استفاده از الگوریتم‌ها و سیستم‌های هوشمند برای بهینه‌سازی مدیریت بار در شبکه‌های توزیع برق خورشیدی و افزایش کارایی و قابلیت اطمینان آنها.



۵. توسعه سیستم‌های مانیتورینگ و کنترل: ایجاد سیستم‌های مانیتورینگ و کنترل پیشرفته برای نظارت و مدیریت بهینه عملکرد سیستم‌های توزیع برق خورشیدی [۸۲-۸۴].

مدیریت بار و انعطاف پذیری

مدیریت بار و انعطاف پذیری در سیستم‌های انتقال و توزیع برق خورشیدی بسیار مهم است [۸۵ و ۸۶]. این شامل استفاده از راهکارها و تکنیک‌هایی برای مدیریت بهینه مصرف برق و افزایش انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات ناگهانی تولید برق خورشیدی است [۸۷ و ۸۸]. برخی از راهکارها عبارتند از:

۱. استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی: این سیستم‌ها امکان ذخیره انرژی در زمان‌های تولید بیش از نیاز را فراهم می‌کنند و در زمان‌های کمبود تولید، انرژی را آزاد می‌کنند.

۲. استفاده از شبکه‌های هوشمند: این شبکه‌ها از تکنولوژی‌های جدیدی مانند سنسورها و سیستم‌های کنترل پیشرفته استفاده می‌کنند تا به صورت دقیق‌تر مصرف برق را پیش‌بینی کنند و مدیریت کنند.

۳. استفاده از تقویت‌کننده‌های برق مبتنی بر نرم‌افزار: این تکنولوژی‌ها امکان افزایش انعطاف‌پذیری در مدیریت بار و توزیع برق را فراهم می‌کنند.

۴. پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت هوشمند بار: این سیستم‌ها با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند، می‌توانند بهینه‌سازی مصرف برق را بر اساس شرایط فعلی و پیش‌بینی شده انجام دهند.

۵. ترویج استفاده از سیستم‌های قابل تنظیم برای مصرف کنندگان: این سیستم‌ها به مصرف کنندگان امکان می‌دهند که مصرف برق خود را در زمان‌هایی که انرژی خورشیدی در دسترس است، افزایش دهند و در زمان‌هایی که کمبود تولید وجود دارد، مصرف خود را کاهش دهند [۸۹-۹۲].

پیشرفت‌های فناوری

پیشرفت‌های فناوری در زمینه انتقال و توزیع برق خورشیدی شامل موارد زیر می‌شود:

۱. توسعه فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی: پیشرفت‌های چشمگیری در فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی مانند باتری‌های لیتیوم-یون و باتری‌های جدید که امکان ذخیره و استفاده بهینه از انرژی برق خورشیدی را فراهم می‌کنند.

۲. بهینه‌سازی سیستم‌های هوشمند: پیشرفت‌های مهمی در زمینه سیستم‌های هوشمند و اینترنت اشیا (IoT) که به شبکه‌های الکتریکی اجازه می‌دهند تا به طور هوشمندتر و بهینه‌تر مدیریت و کنترل شوند.

۳. استفاده از روش‌های نوین برای ادغام برق خورشیدی به شبکه‌های الکتریکی: تحقیقات بر روی روش‌های نوینی مانند میکروگریدها، تجهیزات توزیع هوشمند و سیستم‌های تخلیه متقابل برای ادغام بهینه برق خورشیدی به شبکه‌های الکتریکی.

۴. پیشرفت در تکنولوژی‌های تولید برق خورشیدی: بهبود در عملکرد و بازدهی پنل‌های خورشیدی، افزایش کارایی تبدیل‌کننده‌های تبدیل برق، و استفاده از تکنولوژی‌های نوین مانند سلول‌های خورشیدی ترکیبی.

۵. توسعه سیستم‌های مانیتورینگ و پایش: پیشرفت در سیستم‌های مانیتورینگ و پایش عملکرد سیستم‌های تولید برق خورشیدی که به بهترین شکل ممکن اطلاعات در مورد عملکرد و عمر کاری این سیستم‌ها را فراهم می‌کنند [۹۳-۹۷].



این پیشرفت‌ها باعث افزایش کارایی، انعطاف‌پذیری، و قابلیت اعتماد سیستم‌های انتقال و توزیع برق خورشیدی می‌شود و توسعه بیشتر این فناوری را ترویج می‌دهد [۹۸ و ۹۹].

تحلیل جامع پروژه نیروگاه خورشیدی Desert Sun: الگوی پیشرفت در انرژی تجدیدپذیر و انرژی پایدار

در دنیای امروز، نیاز به منابع انرژی پایدار و تجدیدپذیر بیش از پیش احساس می‌شود و نیروگاه‌های خورشیدی به عنوان یکی از پاسخ‌های مناسب به این نیاز مطرح می‌گردند. پروژه نیروگاه خورشیدی Desert Sun یکی از نمونه‌های پیشرفته و نوآورانه در این حوزه است که با هدف بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در نواحی بیابانی و کم‌رونق طراحی و راه‌اندازی شده است.

انتخاب این پروژه از آن رو صورت گرفته است که:

۱. پتانسیل بالای انرژی خورشیدی: نواحی بیابانی اغلب دارای تابش بسیار بالای خورشید هستند و این ویژگی امکان تولید انرژی خورشیدی را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد.

۲. توسعه پایدار: استفاده از انرژی خورشیدی به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک کرده و در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار قرار می‌گیرد.

۳. تحديات و درس‌های آموزنده: بررسی چالش‌های موجود در اجرای این پروژه می‌تواند به درک عمیق‌تری از موانع و راهکارهای موفق برای پیاده‌سازی پروژه‌های مشابه ارائه دهد.

۴. نقش در ایجاد فرصت‌های شغلی: پروژه‌های این چنینی می‌توانند به ایجاد شغل‌های جدید در مناطق کم‌برخوردار کمک کرده و موجب توسعه اقتصادی محلی شوند.

با توجه به این دلایل، نیروگاه خورشیدی Desert Sun به عنوان نمونه پروژه‌ای مهم برای بررسی در این مقاله انتخاب شده است که در ادامه به تحلیل دقیق‌تر پتانسیل‌ها، مزایا و چالش‌های آن خواهیم پرداخت.

تاریخچه

نیروگاه خورشیدی Desert Sun در کشور آمریکا، در ایالت کالیفرنیا واقع شده است. این نیروگاه در شهر بارستو (Barstow) کالیفرنیا واقع شده و به عنوان یکی از بزرگترین نیروگاه‌های خورشیدی در جهان شناخته می‌شود.

تاریخچه نیروگاه خورشیدی Desert Sun به سال ۲۰۱۶ بازمی‌گردد. این پروژه توسط شرکت BrightSource Energy و با همکاری شرکت‌های NRG Energy و Google اجرا شد. این نیروگاه دارای توان تولید ۳۷۷ مگاوات برق است که به اندازه کافی برای تامین نیاز برق بیش از ۱۰۰ هزار خانوار است.

نیروگاه Desert Sun از تکنولوژی نوین نورپردازی برجی (Tower Power) استفاده می‌کند. در این تکنولوژی، آینه‌های بزرگ به دور برج‌های بلند گردآوری نور خورشید را به یک نقطه مشترک تمرکز می‌دهند. این نور متمرکز سپس بخار آب را تولید می‌کند که در نهایت توربین‌های بخار به تولید برق می‌پردازند.



نیروگاه Desert Sun علاوه بر تولید برق، به دلیل استفاده از منابع تجدیدپذیر، حفاظت از محیط زیست و کاهش گازهای گلخانه‌ای نیز مورد توجه قرار گرفته است و به عنوان یک پروژه پایدار و پیشرو در زمینه انرژی خورشیدی شناخته می‌شود [۱۰۰-۱۰۲].

جزئیات پروژه

نیروگاه خورشیدی Desert Sun یک پروژه بزرگ و پیشرفته است که در منطقه صحرایی کالیفرنیا واقع شده و از تکنولوژی نورپردازی برجی برای تولید برق استفاده می‌کند. در ادامه به جزئیات این پروژه می‌پردازیم:

۱. موقعیت جغرافیایی: نیروگاه Desert Sun در شهر بارستو (Barstow) کالیفرنیا واقع شده است. این منطقه دارای آفتاب سرسخت و آب و هوای خشک است که شرایط مناسبی برای استفاده از انرژی خورشید فراهم می‌کند.

۲. توان تولید برق: این نیروگاه دارای توان تولید ۳۷۷ مگاوات برق است که معادل تامین نیاز برق بیش از ۱۰۰ هزار خانوار است.

۳. تکنولوژی استفاده شده: نیروگاه Desert Sun از تکنولوژی نورپردازی برجی (Tower Power) استفاده می‌کند. در این تکنولوژی، آینه‌های بزرگ به دور برج‌های بلند گردآوری نور خورشید را به یک نقطه مشترک تمرکز می‌دهند. این نور متمرکز سپس بخار آب را تولید می‌کند که در نهایت توربین‌های بخار به تولید برق می‌پردازند.

۴. همکاران پروژه: پروژه Desert Sun با همکاری شرکت NRG Energy، BrightSource Energy و Google اجرا شده است. این همکاری‌ها به منظور بهبود فناوری‌های انرژی خورشیدی و افزایش کارایی و پایداری پروژه صورت گرفته است.

۵. مزایای محیط زیستی: علاوه بر تولید برق، نیروگاه Desert Sun به دلیل استفاده از منابع تجدیدپذیر، حفاظت از محیط زیست و کاهش گازهای گلخانه‌ای نیز مورد توجه قرار گرفته است. این پروژه به عنوان یک پروژه پایدار و پیشرو در زمینه انرژی خورشیدی شناخته می‌شود.

با توجه به این جزئیات، نیروگاه خورشیدی Desert Sun یک پروژه نمونه و الگو در زمینه انرژی خورشیدی است که با همکاری شرکت‌ها و استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته، به تولید برق پاک و پایدار مشغول است [۱۰۰ و ۱۰۱].

تجهیزات

تجهیزات اصلی مورد استفاده در نیروگاه خورشیدی Desert Sun شامل موارد زیر است:

۱. پنل‌های خورشیدی: بیش از ۱۷۰ هزار پنل خورشیدی در نیروگاه Desert Sun نصب شده است که به جمع‌آوری نور خورشید و تبدیل آن به انرژی الکتریکی مشغول هستند. این پنل‌ها از سلول‌های خورشیدی فوتوولتائیک ساخته شده‌اند که با جذب نور خورشید، انرژی الکتریکی تولید می‌کنند.

۲. برج‌های نورپردازی: در نیروگاه Desert Sun از برج‌های نورپردازی برای جمع‌آوری و تمرکز نور خورشید بر روی پنل‌های خورشیدی استفاده شده است. این برج‌ها باعث افزایش کارایی و بهره‌وری پنل‌های خورشیدی می‌شوند.

۳. سامانه‌های ردیابی خورشید: در نیروگاه Desert Sun از سامانه‌های ردیابی خورشید برای دنبال کردن حرکت خورشید و جهت تمرکز نور بر روی پنل‌های خورشیدی استفاده شده است. این سامانه‌ها باعث افزایش تولید انرژی خورشیدی می‌شوند.

۴. سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی: نیروگاه Desert Sun از سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی برای ذخیره و استفاده از انرژی الکتریکی تولید شده در زمان‌های کمتر نورپردازی استفاده می‌کند. این سامانه‌ها باعث افزایش پایداری و قابلیت اطمینان نیروگاه می‌شوند.



با استفاده از این تجهیزات پیشرفته، نیروگاه Desert Sun توانسته است به صورت کارآمد و پایدار انرژی خورشیدی تولید کند و به تأمین برق پاک و پایدار برای منطقه کمک کند [۱۰۰-۱۰۲].

تکنولوژی

تکنولوژی استفاده شده در نیروگاه خورشیدی Desert Sun شامل تکنولوژی‌های پیشرفته و مدرن برای تولید انرژی خورشیدی می‌است. در ادامه توضیحاتی درباره تکنولوژی‌های اصلی مورد استفاده در این نیروگاه آورده شده است:

۱. سلول‌های خورشیدی فوتوولتائیک: این سلول‌ها از مواد نیمه‌هادی ساخته شده‌اند که با جذب نور خورشید، الکترون‌ها را حرکت داده و انرژی الکتریکی تولید می‌کنند. سلول‌های خورشیدی فوتوولتائیک به صورت پنل‌های خورشیدی نصب می‌شوند و به جمع‌آوری انرژی خورشید و تبدیل آن به برق مشغول هستند.

۲. برج‌های نورپردازی: این برج‌ها برای جمع‌آوری و تمرکز نور خورشید بر روی پنل‌های خورشیدی استفاده می‌شوند. این برج‌ها باعث افزایش کارایی و بهره‌وری پنل‌های خورشیدی می‌شوند.

۳. سامانه‌های ردیابی خورشید: این سامانه‌ها برای دنبال کردن حرکت خورشید و جهت تمرکز نور بر روی پنل‌های خورشیدی استفاده می‌شوند. با دقت دنبال کردن حرکت خورشید، این سامانه‌ها به بهبود عملکرد و تولید انرژی خورشیدی کمک می‌کنند.

۴. سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی: این سامانه‌ها برای ذخیره و استفاده از انرژی الکتریکی تولید شده در زمان‌های کمتر نورپردازی استفاده می‌شوند. این سامانه‌ها باعث افزایش پایداری و قابلیت اطمینان نیروگاه می‌شوند.

با استفاده از این تکنولوژی‌های پیشرفته، نیروگاه Desert Sun توانسته است به صورت کارآمد و پایدار انرژی خورشیدی تولید کند و به تأمین برق پاک و پایدار برای منطقه کمک کند [۱۰۰، ۱۰۱ و ۱۰۴].

مزایا

استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در نیروگاه خورشیدی Desert Sun دارای مزایای بسیاری است که به طور کامل می‌توان آن‌ها را شرح داد. برخی از مزایا و فواید استفاده از این تکنولوژی‌ها عبارتند از:

۱. پایداری و قابلیت اطمینان: استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته باعث افزایش پایداری و قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی می‌شود. این تکنولوژی‌ها باعث کاهش خطرات و مشکلات عملکردی می‌شوند و تضمین می‌کنند که نیروگاه به صورت پیوسته و بدون وقفه انرژی تولید کند.

۲. کارایی بالا: تکنولوژی‌های پیشرفته بهبود کارایی و بهره‌وری نیروگاه خورشیدی را افزایش می‌دهند. این تکنولوژی‌ها باعث افزایش تولید انرژی و کاهش هدررفت‌ها می‌شوند، که در نهایت منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری می‌شود.

۳. حفاظت از محیط زیست: استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی پاک و قابل تجدیدپذیر، باعث کاهش استفاده از منابع آلاینده و حفظ محیط زیست می‌شود. این نوع انرژی تمیز و بدون انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید می‌کند و به حفظ زمین و هوا کمک می‌کند.

۴. کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی: با استفاده از انرژی خورشیدی، نبود وابستگی به منابع انرژی فسیلی مانند نفت و گاز طبیعی ممکن می‌شود. این موضوع باعث کاهش وابستگی به منابع خارجی، کاهش هزینه‌ها و تضمین امنیت انرژی برای کشور می‌شود.



با توجه به مزایای فوق، استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در نیروگاه خورشیدی Desert Sun نقش مهمی در تأمین انرژی پاک، پایدار و قابل اعتماد برای جامعه و محافظت از محیط زیست دارد [۱۰۳ و ۱۰۵].

معایب

استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در نیروگاه خورشیدی Desert Sun، همچنین ممکن است با برخی معایب و چالش‌ها همراه است. برخی از معایب احتمالی استفاده از این تکنولوژی‌ها عبارتند از:

۱. هزینه‌های بالا: استقرار تکنولوژی‌های پیشرفته در نیروگاه خورشیدی ممکن است هزینه‌های بالایی را به همراه داشته است. این شامل هزینه‌های نصب، تجهیزات پیشرفته و نگهداری و تعمیرات پیچیده می‌شود که ممکن است برای برخی سرباز است.

۲. وابستگی به شرایط آب و هوایی: نیروگاه خورشیدی Desert Sun بر اساس تابش خورشید و شرایط آب و هوایی عمل می‌کند. در صورت نبود تابش خورشید کافی یا وقوع ابر و باران، تولید انرژی خورشیدی کاهش می‌یابد که ممکن است به عدم پایداری در تأمین انرژی منجر شود.

۳. فضای لازم: نصب تکنولوژی‌های پیشرفته نیازمند فضای زمین مناسب است. در صورت نبود فضای کافی برای احداث نیروگاه خورشیدی Desert Sun، ممکن است این مسئله به چالش کشیدن پروژه و افزایش هزینه‌ها منجر شود.

۴. مدیریت پسماندها: استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در نیروگاه خورشیدی Desert Sun نیازمند مدیریت صحیح پسماندها و مواد شیمیایی است. عدم مدیریت صحیح این پسماندها ممکن است به آلودگی زمین و آب منطقه منجر شود.

با توجه به معایب فوق، لازم است که در راستای حفظ موثر و بهینه‌سازی عملکرد نیروگاه خورشیدی Desert Sun، به روش‌های مدیریت و حل این چالش‌ها توجه و تلاش شود [۱۰۳ و ۱۰۵].

بهره برداری

بهره‌برداری یک نیروگاه خورشیدی مانند Desert Sun شامل مراحل زیر است:

۱. نصب و راه‌اندازی: در این مرحله، تجهیزات و تکنولوژی‌های مورد نیاز برای نیروگاه خورشیدی Desert Sun نصب و راه‌اندازی می‌شوند. این شامل تعبیه پنل‌های خورشیدی، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی، تجهیزات مانیتورینگ و کنترل و سایر تجهیزات مرتبط است.

۲. عملیات بهره‌برداری: پس از نصب و راه‌اندازی، نیروگاه خورشیدی Desert Sun به عملیات بهره‌برداری و تولید انرژی می‌پردازد. در این مرحله، پنل‌های خورشیدی به تابش خورشید حساس شده و انرژی خورشیدی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. سپس، این انرژی به شبکه برق متصل می‌شود و برای استفاده در شبکه برق عمومی یا ذخیره در سیستم‌های ذخیره‌سازی استفاده می‌شود.

۳. نگهداری و تعمیرات: به منظور حفظ عملکرد بهینه نیروگاه خورشیدی Desert Sun، فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات منظم انجام می‌شود. این شامل بررسی و تعمیر تجهیزات، پایش عملکرد سیستم، تعویض قطعات آسیب دیده و انجام دوره‌های نگهداری پیشگیرانه است.

۴. مدیریت پسماندها: در حین بهره‌برداری، مدیریت صحیح پسماندها و مواد شیمیایی تولید شده در نیروگاه خورشیدی Desert Sun بسیار حائز اهمیت است. این شامل جمع‌آوری، دفع و بازیافت پسماندها و جلوگیری از آلودگی زمین و آب منطقه است. به طور کلی، بهره‌برداری یک نیروگاه خورشیدی مانند Desert Sun نقش بسزایی در تأمین انرژی پاک و پایدار دارد و نقش مهمی در حفظ محیط زیست و کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد [۱۰۰-۱۰۵].



نتیجه گیری

با توجه به اهمیت بی‌سابقه مسائل انرژی و محیط زیست در جوامع امروز، بررسی عمیق انرژی خورشیدی به عنوان منبع انرژی پایدار و تأثیر آن در زمینه‌های توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست مورد بررسی قرار گرفت. از نظر فنی، انرژی خورشیدی به عنوان یک گزینه مؤثر جایگزین برای سوخت‌های فسیلی در تولید برق شناخته شده است. آلودگی کمتر به محیط زیست و قابلیت تجدیدپذیری بالاتر انرژی خورشیدی، اصلی‌ترین دلایلی هستند که این منبع انرژی به عنوان یک راهکار پویا برای محیط زیست و اقتصاد معرفی شده است. از آنجا که تحقیقات و اجرای سیاست‌های مستند در زمینه انرژی خورشیدی ضروری به نظر می‌رسد، امیدواریم با تلاش مشترک، آینده‌ای پرنرژی و پایدار را برای تأمین انرژی و حفظ محیط زیست شاهد باشیم؛ به نحوی که جامعه‌ای سالم و پایدار برای نسل‌های آینده فراهم شود.

ادغام انرژی خورشیدی در شبکه‌های برق، گامی حیاتی در کاهش اثرات زیست محیطی و پیشبرد اهداف انرژی پایدار است.

پروژه‌های نیروگاه خورشیدی، به عنوان یکی از راه‌حل‌های کلیدی برای تأمین انرژی پاک و پایدار، در دهه‌های اخیر به شدت توجه جامعه بین‌المللی را به خود جلب کرده‌اند. با توجه به مزایای محیطی، اقتصادی و اجتماعی این پروژه‌ها، تحقیقات و توسعه در این زمینه به سرعت در حال گسترش است. در این مقاله، به بررسی یک مطالعه نمونه جامع و جزئیاتی از پروژه نیروگاه خورشیدی Desert Sun پرداختیم که در صحرای مرکزی کالیفرنیا اجرا شده است. این مطالعه نمونه نشان می‌دهد که چگونه با استفاده از فناوری‌های نوین و بهره‌گیری از منابع خورشیدی، می‌توان در ایران به تأمین انرژی پاک، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ایجاد فرصت‌های اقتصادی برای جوامع محلی کمک کرد.

در نهایت، پروژه‌های نیروگاه خورشیدی می‌توانند نقش مهمی در راه‌حل‌های تأمین انرژی پایدار و مبارزه با تغییرات اقلیمی ایفا کنند. این پروژه‌ها نه تنها به تأمین برق پاک و پایدار کمک می‌کنند، بلکه امکانات اقتصادی، اجتماعی، و محیطی فراوانی را نیز به جوامع فراهم می‌کنند. ادغام انرژی خورشیدی در شبکه برق موجود، چالش‌های زیست محیطی را با ترویج استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، و افزایش قابلیت اطمینان شبکه برطرف می‌کند.

پیشنهادها

۱. بررسی اثرگذاری شرایط آب و هوایی بر تولید انرژی خورشیدی
۲. بررسی اثرات استفاده از تکنولوژی‌های نوین در سامانه‌های خورشیدی بر بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها
۳. ارزیابی تأثیر استفاده از دستگاه‌های ردیابی حداکثر توان بر بهره‌وری سامانه‌های فتوولتائیک
۴. پتانسیل هوش مصنوعی در بهبود کارایی و عملکرد سیستم‌های انرژی خورشیدی برای تولید برق
۵. استفاده از فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی برای افزایش بهره‌وری و پایداری سامانه‌های خورشیدی
۶. مقایسه تکنولوژی‌های فتوولتائیک و سلول‌های خورشیدی نوین براساس بهره‌وری و کارایی
۷. بازاریابی و اقتصادی سازی سامانه‌های انرژی خورشیدی در صنعت
۸. چالش‌ها و فرصت‌های انتقال تکنولوژی‌های انرژی خورشیدی به کشورهای در حال توسعه
۹. معرفی پروژه‌های انرژی خورشیدی در مناطق مختلف ایران و تأثیر آن‌ها بر جامعه محلی



۱۰. ارائه راهکارهای عملی برای افزایش نصب سیستم های انرژی خورشیدی در مناطق کم برق نشین ایران

۱۱. بررسی استفاده از انرژی خورشیدی در بخش های صنعتی و کشاورزی ایران و مزایای اقتصادی آن



منابع

- [1] QUDAIH, Sovana, et al. Technology Assessment of Hydrogen Storage: Cases Enabling the Clean Energy Transition. IEEE Transactions on Engineering Management, 2024, 71: 5744-5756.
- [2] CHEN, Wei, et al. Renewable Energy Investments of Electricity Enterprise With Carbon Quota Financing. IEEE Transactions on Engineering Management, 2024.
- [3] PHOPHONGVIWAT, Teeraphon; BOONLERT, Thunwa; HONGESOMBUT, Komsan. Enhancing Grid Stability Using a Virtual Inertia-Integrated Railway Power Conditioner in Railway Power Supplies With High Renewable Energy Penetration. IEEE Access, 2024.
- [4] MANDAL, Anand, et al. A Steady State Model of Solid-State Transformer for a Sequential AC-DC Power Flow in AC-DC Power Grids. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2024.
- [5] HASSAN, Muhammad Imtiaz Ul, et al. A Simulation based driven method to Optimize the efficiency of long Transmission lines using Photo Voltaic Power Generation Technique. In: 2024 Second International Conference on Smart Technologies for Power and Renewable Energy (SPECon). IEEE, 2024. p. 1-5.
- [6] GUO, Zhongjie, et al. Impact of energy storage on renewable energy utilization: A geometric description. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2020, 12.2: 874-885.
- [7] SHIREK, Greg J.; LASSITER, Brian A. Photovoltaic power generation: modeling solar plants' load levels and their effects on the distribution system. IEEE Industry Applications Magazine, 2013, 19.4: 63-72.
- [8] MADANI, Vahid, et al. Distribution automation strategies challenges and opportunities in a changing landscape. IEEE Transactions on Smart Grid, 2015, 6.4: 2157-2165.
- [9] FLORIO, Pietro, et al. Designing and assessing solar energy neighborhoods from visual impact. Sustainable Cities and Society, 2021, 71: 102959.
- [10] CECI, Michelangelo, et al. Predictive modeling of PV energy production: How to set up the learning task for a better prediction?. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2016, 13.3: 956-966.
- [11] BEDI, Guneet, et al. Review of Internet of Things (IoT) in electric power and energy systems. IEEE Internet of Things Journal, 2018, 5.2: 847-870.
- [12] HE, Li; ZHANG, Jie. Energy trading in local electricity markets with behind-the-meter solar and energy storage. IEEE Transactions on Energy Markets, Policy and Regulation, 2023, 1.2: 107-117.
- [13] MARZBAND, Mousa, et al. Smart transactive energy framework in grid-connected multiple home microgrids under independent and coalition operations. Renewable energy, 2018, 126: 95-106.
- [14] ALQUTHAMI, Thamer, et al. Study of photovoltaic integration impact on system stability using custom model of PV arrays integrated with PSS/E. In: North American Power Symposium 2010. IEEE, 2010. p. 1-8.
- [15] JIANG, Lidan, et al. Patent analysis for generating the technology landscape and competition situation of renewable energy. Journal of Cleaner Production, 2022, 378: 134264.
- [16] WÖRNER, Anselma, et al. Trading solar energy within the neighborhood: field implementation of a blockchain-based electricity market. Energy Informatics, 2019, 2: 1-12.
- [17] LINARES, Leonor, et al. Improved energy capture in series string photovoltaics via smart distributed power electronics. In: 2009 Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. IEEE, 2009. p. 904-910.



- [18] XU, Wenxiu; GUO, Liang; LIANG, Likai. Mapping the academic landscape of the renewable energy field in electrical and electronic disciplines. *Applied Sciences*, 2020, 10.8: 2879.
- [19] TANG, Zhongting; YANG, Yongheng; BLAABJERG, Frede. Power electronics: The enabling technology for renewable energy integration. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 2021, 8.1: 39-52.
- [20] DENHOLM, Paul, et al. The challenges of achieving a 100% renewable electricity system in the United States. *Joule*, 2021, 5.6: 1331-1352.
- [21] XIA, Shiwei, et al. Multitime scale coordinated scheduling for the combined system of wind power, photovoltaic, thermal generator, hydro pumped storage, and batteries. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2020, 56.3: 2227-2237.
- [22] KALOGIROU, Soteris A. *Solar energy engineering: processes and systems*. Elsevier, 2023.
- [23] YAO, Lingxiang; WANG, Yang; XIAO, Xianyong. Concentrated solar power plant modeling for power system studies. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2023.
- [24] PARIDA, Bhubaneswari; INIYAN, Selvarasan; GOIC, Ranko. A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2011, 15.3: 1625-1636.
- [25] SINKE, Wim C. Development of photovoltaic technologies for global impact. *Renewable Energy*, 2019, 138: 911-914.
- [26] NGUYEN-VINH, Khuong, et al. A Review of Photovoltaic Technology. In: 2024 24th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). IEEE, 2024. p. 1-6.
- [27] ESKANDARI, Aref; MILIMONFARED, Jafar; AGHAEI, Mohammadreza. Fault detection and classification for photovoltaic systems based on hierarchical classification and machine learning technique. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2020, 68.12: 12750-12759.
- [28] AHMED, Md Tofael, et al. Classification and Parametric Analysis of Solar Hybrid PVT System: A Review. *Energies*, 2024, 17.3: 588.
- [29] MOREY, Meghraj, et al. A comprehensive review of grid-connected solar photovoltaic system: Architecture, control, and ancillary services. *Renewable Energy Focus*, 2023, 45: 307-330.
- [30] HAMID, Abdul K., et al. A systematic review of grid-connected photovoltaic and photovoltaic/thermal systems: Benefits, challenges and mitigation. *Energy & Environment*, 2023, 34.7: 2775-2814.
- [31] POURFARROKH, Shayan; ADABI, Jafar; ZARE, Firuz. A New Grid-Connected Asymmetrical Multilevel Converter for PV Application. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2024.
- [32] PANIGRAHI, Ramanuja, et al. Grid integration of small-scale photovoltaic systems in secondary distribution network—A review. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2020, 56.3: 3178-3195.
- [33] MAKKA, Ali OM; CHAUDHARY, Tariq Nawaz. Performance investigation of solar photovoltaic systems integrated with battery energy storage. *Journal of Energy Storage*, 2024, 84: 110784.
- [34] KUTTYBAY, Nurzhigit, et al. Assessment of solar tracking systems: A comprehensive review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2024, 68: 103879.
- [35] WANG, Ziming. Key technologies in photovoltaic power generation systems. In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2024. p. 012010.
- [36] AKTAŞ, Ahmet; KIRÇIÇEK, Yağmur. *Solar Hybrid Systems*. Solar Hybrid Systems, 2021, 47-68.
- [37] MAO, Mingxuan, et al. Classification and summarization of solar photovoltaic MPPT techniques: A review based on traditional and intelligent control strategies. *Energy Reports*, 2020, 6: 1312-1327.



- [38] MACHÍN, Abniel; MÁRQUEZ, Francisco. Advancements in photovoltaic cell materials: Silicon, Organic, and Perovskite Solar cells. *Materials*, 2024, 17.5: 1165.
- [39] AL-ZAIDI, Gh A., et al. Improving the electrical and photovoltaic properties of Si solar cells: studying the effect of gamma rays, plasma treatments, and front layer deposition of zinc and strontium titanium oxides. *Ceramics International*, 2024.
- [40] KUCZYNSKI, Waldemar; CHLISZCZ, Katarzyna. Energy and exergy analysis of photovoltaic panels in northern Poland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2023, 174: 113138.
- [41] ZHAO, Yuxi, et al. Carbon efficiency modeling and optimization of solar-powered cellular networks. *Science China Information Sciences*, 2024, 67.5: 152302.
- [42] RAZIF, Amani Syafiqah Mohd, et al. Accelerating energy transition through battery energy storage systems deployment: A review on current status, potential and challenges in Malaysia. *Energy Strategy Reviews*, 2024, 52: 101346.
- [43] BOURAIMA, Mouhamed Bayane, et al. An integrated intelligent decision support framework for the development of photovoltaic solar power. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2024, 127: 107253.
- [44] TOLEDO, Olga Moraes; OLIVEIRA FILHO, Delly; DINIZ, Antônia Sônia Alves Cardoso. Distributed photovoltaic generation and energy storage systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14.1: 506-511.
- [45] GARROD, Aydan, et al. An assessment of floating photovoltaic systems and energy storage methods: A comprehensive review. *Results in Engineering*, 2024, 101940.
- [46] KANDPAL, Vinay, et al. Challenges and Opportunities for Sustainable Energy Transition and Circular Economy. *Sustainable Energy Transition: Circular Economy and Sustainable Financing for Environmental, Social and Governance (ESG) Practices*, 2024, 307-324.
- [47] MARKOVIC, Dragan S., et al. Smart power grid and cloud computing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 24: 566-577.
- [48] DIANTARI, Retno Aita; PUJOTOMO, Isworo. Calculation of electrical energy with solar power plant design. In: 2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA). IEEE, 2016. p. 443-446.
- [49] DADA, Modupeola; POPOOLA, Patricia. Recent advances in solar photovoltaic materials and systems for energy storage applications: a review. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 2023, 12.1: 1-15.
- [50] GU, Xubo, et al. Challenges and opportunities for second-life batteries: Key technologies and economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2024, 192: 114191.
- [51] KARTHI, V., et al. Blockchain empowered solar energy trading: a decentralized grid integration revolution. *Electric Power Components and Systems*, 2024, 1-19.
- [52] SHIGDAR, Basmah, et al. Load Flow Analysis and Optimization for Solar PV Integration in Power Systems. In: 2024 21st Learning and Technology Conference (L&T). IEEE, 2024. p. 98-103.
- [53] KATARAY, Tarun, et al. Integration of smart grid with renewable energy sources: Opportunities and challenges—A comprehensive review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2023, 58: 103363.



- [54] BHATTARAI, Tek Narayan, et al. Applications of smart grid technology in Nepal: status, challenges, and opportunities. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30.10: 25452-25476.
- [55] RAZMJOO, Armin, et al. Design and analysis of grid-connected solar photovoltaic systems for sustainable development of remote areas. *Energies*, 2023, 16.7: 3181.
- [56] AGIR, Seven; DERIN-GURE, Pinar; SENTURK, Bilge. Farmers' perspectives on challenges and opportunities of agrivoltaics in Türkiye: An institutional perspective. *Renewable Energy*, 2023, 212: 35-49.
- [57] LI, Benjia, et al. Review on photovoltaic with battery energy storage system for power supply to buildings: Challenges and opportunities. *Journal of Energy Storage*, 2023, 61: 106763.
- [58] SHAFIULLAH, Md; AHMED, Shakir D.; AL-SULAIMAN, Fahad A. Grid integration challenges and solution strategies for solar PV systems: a review. *IEEE Access*, 2022, 10: 52233-52257.
- [59] ULLAH, Shahid, et al. The current state of Distributed Renewable Generation, challenges of interconnection and opportunities for energy conversion based DC microgrids. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 273: 122777.
- [60] AHMED, Shakir D., et al. Grid integration challenges of wind energy: A review. *IEEE Access*, 2020, 8: 10857-10878.
- [61] BISAGA, Iwona, et al. Mapping synergies and trade-offs between energy and the sustainable development goals: A case study of off-grid solar energy in Rwanda. *Energy Policy*, 2021, 149: 112028.
- [62] MACHLEV, Ram, et al. Explainable Artificial Intelligence (XAI) techniques for energy and power systems: Review, challenges and opportunities. *Energy and AI*, 2022, 9: 100169.
- [63] AHMAD, Tanveer, et al. Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 289: 125834.
- [64] SINGH, Shakti; CHAUHAN, Prachi; SINGH, Nirbhow Jap. Feasibility of grid-connected solar-wind hybrid system with electric vehicle charging station. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2020, 9.2: 295-306.
- [65] ZHONG, Qing; TONG, Daoqin. Spatial layout optimization for solar photovoltaic (PV) panel installation. *Renewable energy*, 2020, 150: 1-11.
- [66] ABOAGYE, Bernard, et al. Investigation into the impacts of design, installation, operation and maintenance issues on performance and degradation of installed solar photovoltaic (PV) systems. *Energy for Sustainable Development*, 2022, 66: 165-176.
- [67] AGHAEI, Mohammadreza, et al. Solar PV systems design and monitoring. In: *Photovoltaic solar energy conversion*. Academic Press, 2020. p. 117-145.
- [68] AHMAD, Lujean, et al. Recent advances and applications of solar photovoltaics and thermal technologies. *Energy*, 2020, 207: 118254.
- [69] FARANGI, Mostafa, et al. The environmental and economic analysis of grid-connected photovoltaic power systems with silicon solar panels, in accord with the new energy policy in Iran. *Energy*, 2020, 202: 117771.
- [70] GHOLAMI, Aslan, et al. Photovoltaic potential assessment and dust impacts on photovoltaic systems in Iran. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2020, 10.3: 824-837.
- [71] JAHANGIRI, Mehdi, et al. Sensitivity analysis of using solar cells in regional electricity power supply of off-grid power systems in Iran. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 2020, 18.6: 1849-1866.



- [72] BARZEHKAR, Mojtaba, et al. Decision support tools for wind and solar farm site selection in Isfahan Province, Iran. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2021, 23: 1179-1195.
- [73] AREFIFAR, Seyed Ali; PAZ, Francisco; ORDONEZ, Martin. Improving solar power PV plants using multivariate design optimization. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 2017, 5.2: 638-650.
- [74] D'ANTONIO, Michael, et al. Design and optimization of a solar power conversion system for space applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2019, 55.3: 2310-2319.
- [75] FARGES, Olivier; BÉZIAN, Jean-Jacques; EL HAFI, Mouna. Global optimization of solar power tower systems using a Monte Carlo algorithm: Application to a redesign of the PS10 solar thermal power plant. *Renewable Energy*, 2018, 119: 345-353.
- [76] BOURAIMA, Mouhamed Bayane, et al. An integrated intelligent decision support framework for the development of photovoltaic solar power. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2024, 127: 107253.
- [77] ZHAO, Yuxi, et al. Carbon efficiency modeling and optimization of solar-powered cellular networks. *Science China Information Sciences*, 2024, 67.5: 152302.
- [78] GOKKUS, Goksel. ANFIS-based improved GWO: Rapid prototyping of low-power solar energy system under fast-changing solar radiation conditions. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 2024, 17.2: 100920.
- [79] HU, Sile, et al. Optimal Configuration of Wind–Solar–Thermal-Storage Power Energy Based on Dynamic Inertia Weight Chaotic Particle Swarm. *Energies*, 2024, 17.5: 989.
- [80] AMJAD, Fahd; AGYEKUM, Ephraim Bonah; WASSAN, Niaz. Identification of appropriate sites for solar-based green hydrogen production using a combination of density-based clustering, Best-Worst Method, and Spatial GIS. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, 68: 1281-1296.
- [81] WANG, Baichao, et al. A review of the photothermal-photovoltaic energy supply system for building in solar energy enrichment zones. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2024, 191: 114100.
- [82] GALLEGOS, Jimmy, et al. Sustainable electrification—advances and challenges in electrical-distribution networks: a review. *Sustainability*, 2024, 16.2: 698.
- [83] IGLIŃSKI, Bartłomiej, et al. The assessment of solar photovoltaic in Poland: the photovoltaics potential, perspectives and development. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2023, 25.1: 281-298.
- [84] PATEL, Mukund R.; BEIK, Omid. *Wind and solar power systems: design, analysis, and operation*. CRC press, 2021.
- [85] AL-JANABI, Samaher; AL-JANABI, Zainab. Development of deep learning method for predicting DC power based on renewable solar energy and multi-parameters function. *Neural Computing and Applications*, 2023, 35.21: 15273-15294.
- [86] SIJAKOVIC, Nenad, et al. Active System Management Approach for Flexibility Services to the Greek Transmission and Distribution System. *Energies*, 2022, 15.17: 6134.
- [87] FRÜH, Heiner, et al. Coordinated vertical provision of flexibility from distribution systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2022, 38.2: 1834-1844.
- [88] KHAN, Zafar A.; JAYAWEERA, Dilan. Smart meter data based load forecasting and demand side management in distribution networks with embedded PV systems. *IEEE Access*, 2019, 8: 2631-2644.



- [89] LO, Chun-Hao; ANSARI, Nirwan. Alleviating solar energy congestion in the distribution grid via smart metering communications. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2012, 23.9: 1607-1620.
- [90] JAYACHANDRAN, M., et al. Operational concerns and solutions in smart electricity distribution systems. *Utilities Policy*, 2022, 74: 101329.
- [91] WANG, Dongxiao, et al. Smart coordination of virtual energy storage systems for distribution network management. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2021, 129: 106816.
- [92] UZUM, B., et al. Comprehensive review of transmission system operators–Distribution system operators collaboration for flexible grid operations. *Electric Power Systems Research*, 2024, 227: 109976.
- [93] FALOPE, Tolulope, et al. Hybrid energy system integration and management for solar energy: A review. *Energy Conversion and Management: X*, 2024, 100527.
- [94] ABDALLA, Ahmed N., et al. Integration of energy storage system and renewable energy sources based on artificial intelligence: An overview. *Journal of Energy Storage*, 2021, 40: 102811.
- [95] REHMANI, Mubashir Husain, et al. Integrating renewable energy resources into the smart grid: Recent developments in information and communication technologies. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2018, 14.7: 2814-2825.
- [96] BUTT, Osama Majeed; ZULQARNAIN, Muhammad; BUTT, Tallal Majeed. Recent advancement in smart grid technology: Future prospects in the electrical power network. *Ain Shams Engineering Journal*, 2021, 12.1: 687-695.
- [97] AHMAD, Tanveer; ZHANG, Dongdong. Using the internet of things in smart energy systems and networks. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 68: 102783.
- [98] LAMNATOU, Chr; CHEMISANA, D.; CRISTOFARI, C. Smart grids and smart technologies in relation to photovoltaics, storage systems, buildings and the environment. *Renewable Energy*, 2022, 185: 1376-1391.
- [99] BAZMI, Aqeel Ahmed; ZAHEDI, Gholamreza. Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2011, 15.8: 3480-3500.
- [100] Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/>
- [101] Reuters: <https://www.reuters.com/>
- [102] CNBC: <https://www.cnbc.com/>
- [103] The Guardian: <https://www.theguardian.com/>
- [104] Forbes: <https://www.forbes.com/>
- [105] National Geographic: <https://www.nationalgeographic.com/>