

امکان‌سنجی استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی در ایران

(فرصت‌ها و چالش‌ها)

انیس حاج‌غنی^{۱،۲}، سعیده مرادعلی‌زاده^{۱،۲*}، مهدی رضایی^{۱،۲*}

^۱مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

^۲گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

چکیده

زمینه و هدف: در مقابل تحریم‌های بین‌المللی که در رابطه با اقتصاد نفتی برای ایران وضع شده‌است، انرژی خورشیدی در این کشور از قابلیت‌های ویژه‌ای برخوردار است؛ بطوری که کشور ایران می‌تواند در سال ۲۰۵۰ میلادی، به تأمین‌کننده اصلی زنجیره تولید برق خورشیدی مدیترانه تبدیل شود. با توجه به توانایی ایران در زمینه دستیابی به این انرژی پاک، هدف مطالعه حاضر، بررسی امکان استقرار و استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی در ایران برای تولید انرژی برق با توجه به چند پروژه انجام‌شده و نیز بررسی فرصت‌ها و چالش‌های توسعه این نیروگاه‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای انجام مطالعه مروری حاضر، کلیدواژه‌های «Solar power plants, Solar energy in Iran, Renewable energy, Solar potentials and challenges» در پایگاه‌های داده «Google Scholar, ScienceDirect, SID, Magiran, ResearchGate» از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۴ میلادی جستجو شدند. پس از عمل جستجو، جمعاً ۳۲۰ مقاله یافت شد که پس از انجام مراحل غربالگری و بررسی کامل مقالات، در نهایت تعداد ۲۳ مقاله ثبت و در مطالعه استفاده شد. معیار ورود مقالات به مطالعه، به‌روز بودن و تناسب محتوا با موضوع مورد نظر بود.

یافته‌ها: برای بررسی امکان استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی در ایران، از داده‌های کمی و کیفی مطالعات در رابطه با ظرفیت‌های جغرافیایی، توان تولیدی و چالش‌های پیش روی استقرار نیروگاه‌ها استفاده شد. تجربه ایران برای استقرار انرژی متمرکز خورشیدی، به نیروگاه‌های شیراز و یزد برمی‌گردد که با وجود موفقیت‌آمیز بودن بهره‌برداری از این نیروگاه‌ها، از آن زمان تاکنون طراحی و یا ساخت نیروگاه خورشیدی جدیدی اعلام نشده‌است. در این راستا، فقدان مطالعات امکان‌سنجی در این کشور کاملاً مشهود است.

نتیجه‌گیری: علی‌رغم توسعه‌نچندان قابل قبول نیروگاه‌های خورشیدی در ایران و نیز عدم تقاضای عمومی برای دستیابی به انرژی پاک؛ تابش خورشیدی بالا، اراضی بیابانی موجود در ایران و نیز عدم انتشار گازهای آلاینده توسط نیروگاه‌های خورشیدی؛ عوامل اصلی برای تشویق به توسعه این نیروگاه‌ها برای تولید انرژی حرارتی و الکتریکی هستند. بنابراین، استفاده از این نیروگاه‌ها می‌تواند فرصت‌های بسیاری برای کشور ایران فراهم و نیز بسیاری از موانع را برطرف سازد.

واژه‌های کلیدی: انرژی خورشیدی، مطالعات امکان‌سنجی، ایران، نیروگاه‌های خورشیدی.

مقدمه

انرژی، نقشی اساسی در زندگی اجتماعی و اقتصادی و نیز دستیابی به توسعه پایدار در عصر مدرن دارد. هر زمان که انرژی به سرعت و به اندازه کافی در دسترس باشد، در نتیجه تحولات اجتماعی و اقتصادی امکان‌پذیر است. انرژی همچنین جزء اصلی و ضروری برای کاهش فقر، بهبود آسایش انسان و بالا بردن استانداردهای زندگی است.^۱

تقاضای انرژی در قرن اخیر به دلیل رشد جمعیت، برنامه‌های توسعه و تلاش برای پیشرفت، در کشورهای درحال توسعه رشد چشمگیری داشته‌است. سوخت‌های فسیلی، نقش اصلی تأمین نیاز انرژی را در میان انواع منابع انرژی بر عهده دارند. در دسترس نبودن سوخت‌های فسیلی در همه مناطق، هزینه بالا، تخلیه منابع و آلودگی هوا از مهم‌ترین معایب مصرف سوخت‌های فسیلی است. به عنوان راه‌حلی برای این نگرانی‌ها، توسعه و اجرای منابع جدید انرژی، غیرقابل انکار است.^{۲،۳}

وضعیت موجود چالش‌های جهانی در مورد تهدید تغییرات آب‌وهوا و همچنین توسعه انرژی‌های پاک و پایدار، به وضوح نشان‌دهنده نیاز فوری به تسریع در استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر است. بهره‌برداری از انرژی خورشیدی، به عنوان گسترده‌ترین منبع تجدیدپذیر در دسترس، یکی از کاربردی‌ترین و مقرون‌به‌صرفه‌ترین راه‌حل‌ها برای کاهش سرعت تغییرات اقلیمی و اثرات اجتناب‌ناپذیر آن است. این امر همچنین باعث افزایش امنیت انرژی و پایداری در بازار جهانی می‌گردد. در دسترس بودن انرژی خورشیدی در سراسر جهان، امکان جایگزینی یا کاهش سهم نیروگاه‌های معمولی مانند گاز طبیعی و زغال‌سنگ را با نیروگاه‌های خورشیدی به ارمغان می‌آورد. نصب و راه‌اندازی نیروگاه خورشیدی می‌تواند در زمان نسبتاً سریعی، اغلب در شش ماه تا یک سال انجام شود؛ درحالی که طرح‌های سوخت آبی و فسیلی، بیش از چهار تا پنج سال برای تکمیل شدن زمان لازم دارند.^{۴،۵}

به طور کلی، استفاده فعلی از انرژی خورشیدی بسیار کم است؛ زیرا تنها ۰/۱۵ درصد از آن برای تولید برق، ۰/۳ درصد برای گرمایش و ۱۱ درصد در فتوسنتز طبیعی استفاده می‌شود. از سوی دیگر، تقریباً ۸۰ تا ۸۵ درصد انرژی مورد نیاز جهان با استفاده از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود که میزان زیادی دی‌اکسیدکربن تولید و وارد اتمسفر می‌کند. به عنوان مثال، به ازای سوختن هر تن زغال‌سنگ، یک تن دی‌اکسیدکربن در هوا آزاد می‌شود. این میزان انتشار دی‌اکسیدکربن برای محیط زیست، بسیار سمی است و دلیل اصلی گرم شدن زمین، افزایش اثر گلخانه‌ای و نیز تغییرات اقلیمی می‌باشد. اگر بتوان تنها ۰/۱ درصد از انرژی خورشیدی روی زمین را با بازده ۱۰ درصد به انرژی الکتریکی تبدیل کرد، ۳۰۰۰ گیگاوات برق تولید می‌شود که چهار برابر بیشتر از انرژی مصرف‌شده سالانه در مقیاس جهانی است. علاوه بر این، استفاده از انرژی خورشیدی با مزایای بیشتری به شرح زیر همراه می‌باشد.^۶

- (۱) احیای اراضی تخریب‌شده؛
- (۲) کاهش اتکا به شبکه ملی برق؛
- (۳) بهبود کیفیت آب در سراسر کشور؛
- (۴) تسریع در برق‌رسانی مناطق روستایی؛ و
- (۵) تنوع و امنیت تأمین انرژی.^۸

ایران، کشوری با آب‌وهوای گرم و خشک است که با فصل‌های تابستانی گرم و طولانی و زمستان‌های سرد و کوتاه مشخص می‌شود. آب‌وهوای ایران، متأثر از موقعیت آن در بین مناطق کویری عربستان و منطقه مدیترانه شرقی است. بسیاری از تغییرات اقلیمی مشاهده‌شده نشان می‌دهد که سیستم اقلیمی ایران در حال گرم شدن است. مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی، بیش از نیمی از سطح کشور را به خود اختصاص داده‌است.^{۷،۹}

بنابراین، ایران ظرفیت فوق‌العاده‌ای برای استفاده از انرژی خورشیدی در بخش‌های مختلف صنعت را داراست. به طور مثال، گرمای تولیدشده از منابع حرارتی خورشیدی، می‌تواند برای گرمایش هوا، فرآوری شیمیایی، فرآوری مواد

غذایی و صنایع نساجی استفاده شود. همچنین برق تولیدشده توسط انرژی خورشیدی می‌تواند در مخابرات، حمل‌ونقل، گرمایش آب، تصفیه آب، کشاورزی و صنعت ساخت‌وساز مورد استفاده قرار گیرد.^{۱۰}

مطالعات نشان داده‌است که استفاده از تجهیزات خورشیدی در ایران مفید واقع شده‌است و می‌تواند انرژی مورد نیاز کشور را تأمین کند. «گرجیان و قبادیان» به بررسی پتانسیل انرژی خورشیدی پرداختند و وضعیت نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی در ایران و همچنین وضعیت تولید برق از سوخت‌های فسیلی در کشور را مورد بحث قرار دادند. در مطالعه ایشان، چشم‌انداز پروژه‌های خورشیدی، قابل رقابت با استانداردهای فنی جهانی تلقی شد و نیز بیان کرده‌اند که آینده انرژی خورشیدی، به طور مستقیم به رفع موانع دولت و برنامه انرژی بستگی دارد.^{۱۱}

«وانگ و همکاران» جنبه‌های اقتصادی و فنی نیروگاه‌های انرژی خورشیدی با دمای پایین را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که هم افزایش تولید برق و هم کاهش انتشار کربن دی‌اکسید را می‌توان با نیروگاه‌های انرژی خورشیدی محقق کرد.^{۱۲}

«معینی و همکاران» با استفاده از مدل تقریبی آنگستروم، نقشه‌های سالانه تابش خورشیدی ایران را تهیه کردند. «بساتی» نقشه‌ای را ارائه کرد که انرژی خورشیدی را در حال تابش بر سطح زمین در شهرهای اصلی ایران نشان می‌دهد. در نهایت، نقشه تابش افقی برای ایران توسط «علمداری و همکاران» ارزیابی شد. آن‌ها مکان‌هایی را پیشنهاد کردند که میانگین تابش خورشیدی افقی، بالاتر از 500 wh/m است.^{۱۳}

«نجفی و همکاران» به طور مختصر به بررسی وضعیت و چشم‌انداز انرژی خورشیدی در ایران پرداختند. آن‌ها اعلام کردند که بر اساس سیاست‌های در حال اجرای انرژی در کشور، اجرای نیروگاه‌های خورشیدی، بادی و حتی زمین‌گرمایی از نظر اقتصادی امکان‌پذیر است و نیز تأکید کردند که تنها در صورتی می‌توان از ظرفیت‌های انرژی

تجدیدپذیر در کشور استفاده کرد که فناوری، سرمایه‌گذاری و نیروی متخصص در کنار سیاست‌های بلندمدت وجود داشته باشد.^۱

«ابراهیمی قوام‌آبادی و همکاران» به بررسی کاربرد انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست و نقش آن در پیشبرد اهداف توسعه پایدار پرداخته‌اند. در این پژوهش، محققان اعتقاد دارند که مصرف روزافزون منابع محدود سوخت‌های فسیلی و تأثیر مخرب آن‌ها بر محیط زیست، توجه جهانیان را به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر معطوف ساخته‌است.^{۱۴}

در زمینه امکان‌سنجی برای مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی نیز مطالعاتی انجام شده‌است؛ از قبیل: «خوش‌اخلاق و همکاران» در پژوهشی با عنوان «مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی، با پارامترهای تابش، ابرناکی و باد» در جهت امکان‌سنجی استقرار نیروگاه خورشیدی در مناطق خشک ایران اقدام کرده‌اند.^۵

«هوشنگی و همکاران» در پژوهشی با عنوان «بررسی منطقه‌ای پتانسیل تابش خورشیدی با ارزیابی و بهینه‌سازی روش‌های درون‌یابی در سطح کشور ایران» پارامترهای مدل ارتفاعی و دما را برای پهنه‌بندی ظرفیت انرژی خورشیدی در کشور ایران انتخاب کرده‌اند.^{۱۵}

بر اساس گزارش‌های آماری منتشرشده، ایران در بین ۲۰ کشور برتر در زمینه تولید گازهای گلخانه‌ای قرار دارد. در سال ۲۰۰۸، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن (به کیلوگرم) به تولید ناخالص داخلی (به دلار آمریکا) $3/15$ بود؛ در حالی که میانگین جهانی $0/73$ است. این می‌تواند یکی از دلایل عمده روی آوردن کشور به منابع جدید انرژی باشد.^۶

با توجه به ظرفیت‌های جغرافیایی مورد انتظار کشور ایران در رابطه با بکارگیری انرژی خورشیدی در مقیاس وسیع و توانایی کاهش وابستگی خود به منابع سوخت فسیلی، هدف از انجام این مطالعه، بررسی انواع نیروگاه‌های خورشیدی در کنار امکان‌سنجی استقرار و استفاده از

(۱) پایگاه داده «ScienceDirect»: ۹۸ مقاله؛

(۲) پایگاه داده «Google Scholar»: ۱۴۴ مقاله؛

(۳) پایگاه داده «ResearchGate»: ۴۵ مقاله؛

(۴) پایگاه داده «Magiran»: ۱۸ مقاله؛ و

(۵) پایگاه داده «S.I.D»: ۱۵ مقاله.

پس از عمل جستجو، جمعاً ۳۲۰ مقاله از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۴ میلادی یافت شد که پس از حذف موارد تکراری، این تعداد به ۱۵۰ مقاله رسید. سپس در مرحله غربالگری، عنوان و چکیده مقالات مورد بررسی قرار گرفت و در نتیجه آن، تعداد ۴۵ مقاله باقی ماند. سپس برای دستیابی به مقالات مرتبط، متن کامل مقالات غربال شده مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، از داده‌های کمی و کیفی ۲۳ مقاله در رابطه با ظرفیت‌های جغرافیایی، توان تولیدی و چالش‌های پیش روی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در کشور ایران، استفاده شد.

معیار ورود مقالات، به روز بودن، تناسب و مرتبط بودن محتوا با موضوع مورد نظر و معیار خروج مقالات نیز عدم ارائه اطلاعات کافی، عدم توانایی دسترسی به متن کامل مقاله و تکراری بودن مقالات بوده‌است.

نیروگاه‌های خورشیدی در ایران برای تولید انرژی برق با توجه به ظرفیت‌های جغرافیایی آن، معرفی چند پروژه اجرا شده و نیز بررسی فرصت‌ها و چالش‌های توسعه این نیروگاه‌ها در ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای انجام مطالعه مروری حاضر و دستیابی به مقالات قابل استفاده، از استراتژی جستجوی «P.R.I.S.M.A» استفاده شد؛ بدین صورت که در ابتدا، کلیدواژه‌های

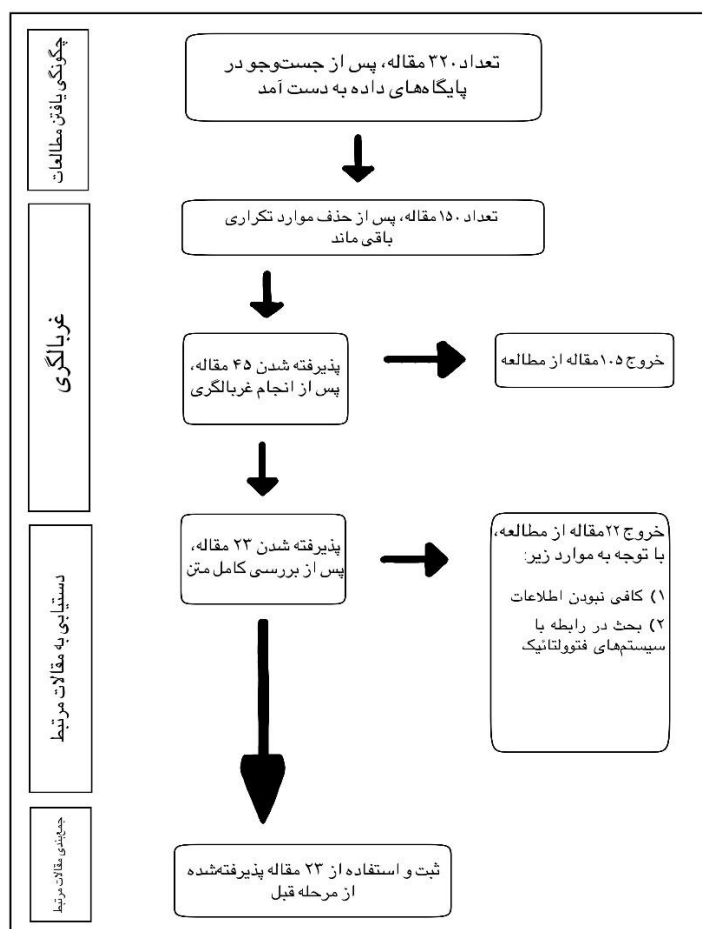
(((((solar power plants[Title]) AND (Solar Energy[Title])) AND (Iran[Title])) AND (renewable energy[Title])) AND (Feasibility[Title])) AND (challenge[Title] AND barriers[Title])) AND (Solar potential[Title]))

در قسمت عنوان مقالات به صورت فارسی و انگلیسی در

پایگاه‌های اطلاعاتی

Scholar, ScienceDirect, SID, Google)

(Magiran, ResearchGate, جستجو شدند:



شکل ۱- فلوچارت جستجوی «پریسما»

یافته‌ها

برای استفاده از انرژی خورشیدی، نور خورشید به اشکال انرژی قابل استفاده (گرما یا برق) تبدیل می‌شود. به طور کلی، دو فناوری مختلف برای استفاده از انرژی خورشیدی وجود دارد که عبارتند از: پنل فتوولتائیک (PV: Photovoltaic) و انرژی خورشیدی متمرکز (CSP: Concentrated Solar Power).

برای تولید برق در فناوری CSP از تابش خورشیدی متمرکز به عنوان منبع انرژی حرارتی با دمای بالا برای به حرکت درآوردن توربین‌های بخار و تبدیل آن به برق استفاده می‌شود. این سیستم‌ها برای مناطقی که تابش مستقیم خورشید به اندازه کافی وجود داشته باشد، مناسب می‌باشد^{۱۱}.

براساس تعریف توسعه پایدار، استفاده از منابع و جهت‌گیری توسعه فناوری باید با نیازهای فعلی و آتی کشور منطبق باشد. بنابراین در فرآیند مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی، علاوه بر مسائل فنی، مسائل اقتصادی و محیط‌زیستی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. راندمان نیروگاه‌های خورشیدی، بر خلاف نیروگاه‌های فسیلی به شدت به عوامل جغرافیایی و مکانی وابسته است. از این عوامل می‌توان به پارامترهایی مانند میزان تابش دریافتی از خورشید یا تعداد ساعات تابش آفتاب در سال، میزان گردوغبار موجود در هوا و غیره اشاره کرد. بنابراین مکان‌یابی بایستی از الگوی توسعه پایدار پیروی کند^{۱۶}.

معیارهای مکان‌یابی نیروگاه‌های

خورشیدی

یکی از مهم‌ترین مسائل در استفاده از انرژی خورشیدی، تعیین محل استفاده از آن می‌باشد که تأثیر زیادی در کارایی تجهیزات و وسایل تولید برق خورشیدی دارد؛ لذا بهره‌گیری از ظرفیت‌های آب‌وهوایی می‌تواند اثرات مثبتی در صرفه‌جویی منابع انرژی داشته باشد. در این

خصوص، شناسایی نواحی مستعد و مناسب که در آن انرژی خورشیدی در حد مناسبی بوده و بتواند جایگزین انرژی‌های فعلی شود، از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود^{۱۳}.

با بررسی تحقیقات داخلی و خارجی، مشخص شده‌است که عوامل و پارامترهای مختلفی در مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی تأثیرگذار هستند:

(۱) ساعات آفتابی: مهم‌ترین پارامتر اقلیمی بوده که نشان‌دهنده میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید است. عرض جغرافیایی در این پارامتر، تأثیرگذار و میزان ابرناکی و غبارآلودگی شدید هوا با این پارامتر، رابطه عکس دارند. از طرف دیگر، بالا بودن دمای محیط، میزان انرژی دریافتی و اتلاف انرژی را کاهش می‌دهد^{۱۵، ۱۶}.

(۲) درجه حرارت منطقه: با توجه به اینکه بازده پنل‌های خورشیدی به دمای محیط و شدت تابش خورشید بستگی دارد، این پارامتر نیز در تعیین مکان‌های مستعد مهم است^{۱۷}.

(۳) ابرناکی: ابرناکی، رابطه بسیار نزدیکی با مقدار انرژی تابشی دریافتی دارد. به طوری که هر چه سطح آسمان صاف‌تر باشد، انرژی خورشیدی دریافتی بیشتر و هر چه ابرناکی بیشتر باشد، این رابطه برعکس می‌شود^{۱۳}.

(۴) بارندگی: مناطق با بارش بالا در طول سال، از یک طرف حکایت از بالا بودن رطوبت منطقه دارد که خود مهم‌ترین عامل جذب تابش نور در طول موج‌های کوتاه است و از طرف دیگر نشان‌دهنده وجود ذرات معلق بالا در اتمسفر آن منطقه است، که هم در جذب و هم در انعکاس تابش در طول موج‌های کوتاه نقش دارد و هر دوی این عوامل، بیانگر بالا بودن شمار روزهای ابری در منطقه است^{۱۵}.

(۵) گردوغبار: از ترکیبات مهم جوّی به ویژه در حوالی سطح زمین، ترکیبات غیرگازی و جامدی هستند که «هواویز» نامیده می‌شوند. هواویزها میزان ۱۵ درصد از

- (۱) تأسیسات فتوولتائیک با قابلیت نصب بر روی سطح زمین؛ و
- (۲) با قابلیت نصب بر روی سقف ساختمان‌ها.^۸

انرژی خورشیدی متمرکز (CSP)

فناوری‌های تولید انرژی حرارتی خورشیدی، روش‌های کارآمدی هستند که برای تولید برق در مقیاس بزرگ می‌توانند بهتر باشند. گرما را می‌توان در طول روز، ذخیره و سپس در شب به برق تبدیل کرد. نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی می‌توانند اقتصاد برق خورشیدی را بهبود بخشیده و آن را قابل ارسال کنند.^{۱۰،۲}

چهار نوع فناوری انرژی خورشیدی متمرکز مورد استفاده، در حال حاضر به شرح زیر است:

- (۱) فرورفتگی‌های سهمی؛
- (۲) برج‌های برق خورشیدی؛
- (۳) سیستم‌های دیش/موتور (استرلینگ دیش)؛ و
- (۴) بازتابنده‌های فرنل خطی متمرکز.^۸

(۱) نیروگاه برج خورشیدی (STPP: Solar Tower Power Plant)؛

یک نیروگاه برج خورشیدی STPP از میدانی از بازتابنده‌های خورشیدی به نام «هلیواستات» استفاده می‌کند که اشعه‌های خورشید را بر روی یک گیرنده مرکزی در بالای یک برج ثابت، منعکس و متمرکز می‌کند تا توان مگاوات (MW) تولید کند. هلیواستات‌ها از چندین آینه مسطح یا کمی مقعر تشکیل شده‌اند که در یک سیستم ردیابی دو محوری، خورشید را دنبال می‌کنند. در یک گیرنده مرکزی، گرما توسط یک سیال انتقال حرارت جذب می‌شود که سپس به مبدل‌های حرارتی که یک مولد بخار را تغذیه می‌کنند، منتقل می‌شود. از این رو، مولد بخار برق، انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند که سپس به شبکه‌های توزیع برق انتقال داده می‌شود. یک برج

انرژی خورشید را در طول موج‌های کوتاه جذب می‌کند؛ بنابراین، مناطقی حائز اهمیت‌اند که کمترین روزهای غبارآلودگی را در سال داشته باشند.^{۱۷}

(۶) ارتفاع: هر اندازه ارتفاع مناطق از سطح دریا کمتر باشد، ضخامت جو بیشتر می‌شود. جو ضخیم، از غلظت بیشتر ترکیبات و عوامل جذبی یا انعکاسی حکایت دارد. از آنجایی که مواد درشت‌تر و غلیظ‌تر در طبقات پایین جو جمع می‌شوند، جو بالای کوه‌ها رقیق‌تر بوده و ضخامت جو نیز کمتر می‌شود. پس هر اندازه ارتفاع منطقه بیشتر باشد، ترکیبات جو رقیق‌تر و ضخامت جو کمتر است. میزان ضخامت جو، علاوه بر تأثیر در جذب انرژی خورشید در طول موج‌های کوتاه، انرژی دریافتی زمین در طول موج‌های بلند را نیز کنترل می‌کند؛ بنابراین، مناطق مرتفع به دلیل دریافت انرژی زیاد، دارای ظرفیت بالاتری نسبت به مناطق پست و کم‌ارتفاع می‌باشند.^{۱۷،۱۵،۱۳}

سیستم‌های فتوولتائیک

به پدیده‌هایی که در اثر تابش نور و بدون استفاده از مکانیزم‌های محرک الکتریسیته تولید کند، «پدیده فتوولتائیک» و به هر سیستمی که از این پدیده استفاده کند، «سیستم فتوولتائیک» می‌گویند. سیستم‌های فتوولتائیک، یکی از رایج‌ترین کاربردهای انرژی‌های نو می‌باشند و تاکنون سیستم‌های گوناگونی با ظرفیت‌های مختلف (از ۵/۱ وات تا چند مگاوات) در سراسر جهان نصب و راه‌اندازی شده‌است. با توجه به قابلیت اطمینان و عملکرد این سیستم‌ها، هر روزه بر تعداد متقاضیان آن‌ها افزوده می‌شود.^{۱۴}

سیستم‌های فتوولتائیک را می‌توان برای برآورده کردن تقریباً هر نوع نیاز برق (چه در مقیاس کوچک و چه در مقیاس بزرگ) مورد استفاده قرار داد. این سیستم‌ها به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند:

۴) نیروگاه خورشیدی بازتابنده خطی

فرنل (LFRSPP: Linear Fresnel Reflector)

؛(Solar Power Plant)

بازتابنده‌های خطی فرنل، با استفاده از ردیف‌های طولانی آئینه‌های مسطح یا کمی خمیده، برای انعکاس پرتوهای خورشید بر روی گیرنده خطی رو به پایین تشکیل می‌شوند. گیرنده، سازه‌ای ثابت است که بر روی یک برج در بالا و در امتداد بازتابنده‌های خطی که خورشید را روی یک ردیاب تک یا دو محوره دنبال می‌کنند، نصب شده است^{۱۰۹}.

مزیت اصلی این سیستم‌ها، طراحی ساده آئینه‌های منحنی انعطاف‌پذیر و نیز گیرنده‌های ثابت است که نیاز به هزینه سرمایه‌گذاری کمتری دارد. این سیستم‌ها نسبت به سایر فناوری‌ها، در تولید برق کارایی کمتری دارند. بازتابنده‌های خطی فشرده فرنل، طرح‌های جدیدی هستند که از دو گیرنده موازی برای هر ردیف آئینه استفاده می‌کنند و بنابراین، به زمین کمتری نسبت به سیستم دیش سهموی برای تولید خروجی مورد نظر، نیاز دارند^۹.

مقایسه بین این فناوری‌ها نشان داده‌است که فناوری فرورفتگی سهموی، ثابت‌شده‌ترین و اقتصادی‌ترین فناوری در میان سیستم‌های انرژی خورشیدی متمرکز است که امروزه استفاده می‌شود؛ به طور مثال، در کالیفرنیا و ایالات متحده آمریکا، نیروگاه‌های تجاری خورشیدی با این نوع فناوری فعال هستند. با این حال، به نظر می‌رسد در آینده‌ای نزدیک، سیستم برج‌های انرژی خورشیدی، فناوری امیدوارکننده‌تری باشد^{۱۰۲}.

طبق گزارشات، برق تولیدی سالانه توسط نیروگاه سهموی در ایران برای شهرهای بندرعباس، بوشهر، اصفهان، کرمان، شیراز و یزد؛ به ترتیب حدود ۲۳۴ گیگاوات ساعت، ۲۴۵ گیگاوات ساعت، ۲۸۳ گیگاوات ساعت، ۳۱۸ گیگاوات ساعت، ۳۲۱ گیگاوات ساعت و ۳۱۸ گیگاوات ساعت است. مشاهده می‌شود که شهرهای شیراز و یزد، تولید برق

برق خورشیدی معمولی، بازدهی بین ۱۵ تا ۲۵ درصد دارد^{۱۴۹}.

۲) نیروگاه سهموی خورشیدی (PTSP:)

؛(Parabolic Through Solar Power Plant)

نیروگاه خورشیدی سهموی PTSP از گروهی از بازتابنده‌ها تشکیل شده‌است که در یک بُعد به شکل سهمی منحنی هستند تا پرتوهای خورشید را بر روی یک لوله جاذب نصب‌شده در خط کانونی، متمرکز کنند. بازتابنده‌ها و لوله‌های جاذب، از طلوع تا غروب با حرکت خورشید، حرکت می‌کنند. لوله جاذب، از یک لوله فلزی و یک پوشش شیشه‌ای تشکیل شده‌است که بین این دو، هوا یا خلأ وجود دارد تا تلفات حرارتی همرفتی کاهش یابد. لوله فلزی، با یک ماده انتخابی پوشیده شده‌است که دارای جذب تابش خورشیدی بالا و انتشار حرارتی کم است^{۱۴۱۰}.

۳) نیروگاه خورشیدی دیش سهموی

؛(PDSPP: Parabolic Dish Solar Power Plant)

نیروگاه‌های دیش سهموی، برای کاربردهای تجاری ایجاد شده‌اند که توان تولیدی در حد کیلووات تولید می‌کنند و برای تأمین برق در جوامع کوچک مناسب‌تر می‌باشند. دیش سهموی، خورشید را در دو محور دنبال می‌کند؛ از این رو، پرتوهای خورشیدی فرودی، روی یک نقطه متمرکز می‌شوند. گیرنده، تابش خورشید را جذب کرده و انرژی حرارتی را به موتور استرلینگ منتقل می‌کند. جذب‌کننده‌های استرلینگ، معمولاً گیرنده‌های روشنایی مستقیم، لوله حرارتی و گیرنده‌های حجمی هستند^{۱۴۱۰۹}.

بالاتری دارند که به دلیل تابش دریافتی بیشتر خورشید و شرایط آب‌وهوایی بهتر آن‌ها نسبت به شهرهای مذکور است.^۲

وضعیت جغرافیا و آب‌وهوای ایران

ایران، کشوری پهناور است که در جنوب غربی آسیا در مساحتی به وسعت ۱,۶۴۸,۱۹۵ کیلومتر قرار دارد. این کشور توسط جمهوری آذربایجان، ارمنستان، ترکمنستان و دریای خزر در شمال؛ توسط افغانستان و پاکستان در شرق؛ توسط عراق و ترکیه در غرب؛ و توسط خلیج عمان و خلیج فارس در جنوب محدود می‌شود.^۶

آب‌وهوای ایران در بین همسایگان بی‌نظیر است. اختلاف دما بین گرم‌ترین و سردترین مناطق حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد است. در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ میلادی، کویر لوت ایران گرم‌ترین نقطه کره زمین بوده است. ایران از نظر بارندگی جزو اقلیم‌های خشک و نیمه خشک و تحت تأثیر سیستم‌های کم‌فشار سیبری، مدیترانه‌ای و جنوبی است. بارش سالانه در این کشور، متفاوت بوده و از بیش از ۲۱۱۳ میلی‌متر در شمال تا ۱۵ میلی‌متر در مناطق بیابانی متغیر است. با وجود تنوع آب‌وهوایی، اکثر مناطق کشور به جز نواحی ساحلی شمالی، سطوح بالایی از تابش خورشیدی را دریافت می‌کنند که در ایستگاه‌های آب‌وهوایی مختلف، اندازه‌گیری و ثبت شده است.^{۱۷,۶۵}

ظرفیت و فرصت‌های ایران برای تولید

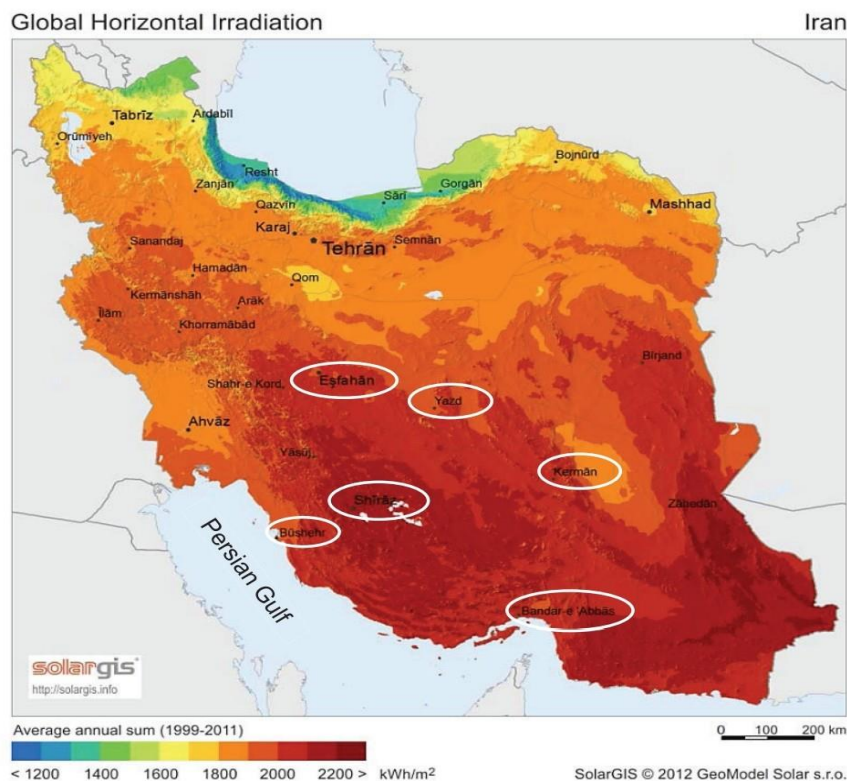
برق مبتنی بر خورشید

خوشبختانه، ایران با قرار گرفتن در موقعیت جغرافیایی عالی، دارای ظرفیت‌های بالای انرژی خورشیدی با بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در طول سال در دو-سوم مساحت خود می‌باشد.

بیشترین و کمترین ساعات آفتابی فصلی ایران، در تابستان ۱۰۵۰ ساعت و در زمستان ۵۰۰ ساعت است. این کشور با ۶۰ درصد زمین غیر سودده و حداکثر متوسط تابش خورشیدی سالانه ۴/۵ تا ۵/۵ کیلووات ساعت در متر پوشیده شده است. مناطق جنوبی دریای خزر به دلیل داشتن روزهای ابری و بارانی زیاد و همچنین رطوبت بالا، کمترین پتانسیل انرژی خورشیدی را دارند. تابش خورشیدی دریافتی برای مناطق شمالی و جنوبی کشور، به ترتیب ۲/۸ کیلووات ساعت بر متر و ۴/۵ کیلووات ساعت در متر ثبت شده است. علاوه بر این، مناطق جنوبی به دلیل ارتفاعات نسبتاً پایین، دارای مقادیر بیشتری از تابش خورشیدی نسبت به مناطق غربی و شرقی هستند.^۱

متوسط تشعشعات جهانی برای کشور ایران، حدود ۱۹/۲۳ مگاژول بر متر است که در مناطق مرکزی با بیش از ۲۸۰۰ ساعت در سال حتی به مقدار بیشتری می‌رسد. با در نظر گرفتن مساحت کشور، میزان کل تشعشعات حدود ۳/۳ میلیون تراوات ساعت در سال است که ۱۳ برابر بیشتر از کل مصرف انرژی در ایران می‌باشد. به طور کلی، مناطقی با حداقل تابش مستقیم خورشیدی سالانه ۱۸۰۰ کیلووات ساعت بر متر، به عنوان مطلوب‌ترین مکان‌ها برای نصب نیروگاه‌های خورشیدی محسوب می‌شوند.^{۹,۱}

نقشه خورشیدی ارائه‌شده توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS: Geographic Information Systems) در شکل (۲) نشان داده شده است. مقادیر تابش افقی جهانی (GHI: Global Horizontal Irradiation) به دست آمده توسط این شکل تطابق خوبی با میانگین GHI محاسبه‌شده دارد. با توجه به این مقادیر و شرایط آب‌وهوایی، شش منطقه استانی یزد، شیراز، اصفهان، بندرعباس، بوشهر و کرمان مناسب‌ترین استان‌ها برای راه‌اندازی نیروگاه‌های خورشیدی متمرکز هستند.^۱



شکل ۲- نقشه خورشیدی ایران (با کسب اجازه کتبی)^۲

نیروگاه‌های نصب‌شده در کشور ایران

۱) نیروگاه سهموی خورشیدی در شیراز؛

نیروگاه حرارتی خورشیدی شیراز، اولین نیروگاه خورشیدی متمرکز در ایران است که در سال ۱۳۸۷ به بهره‌برداری رسید. این نیروگاه، در نزدیکی شهر شیراز در جنوب مرکزی کشور واقع شده‌است و بر اساس جمع‌آورنده‌های خورشیدی سهموی (Collectors) برای تولید برق کار می‌کند. ظرفیت نیروگاه، ۲۵۰ کیلووات است که در حال حاضر به ۵۰۰ کیلووات در حال ارتقاء می‌باشد. این نیروگاه، شامل یک میدان ۸ حلقه موازی از ۶ جمع‌آورنده سهموی خورشیدی، یک چرخه بخار، یک چرخه روغن و یک سیستم ذخیره حرارتی تشکیل شده‌است. طول هر جمع‌آورنده ۲۵ متر با دهانه ۴/۳ متر است. روغن مورد استفاده به عنوان سیال انتقال حرارت، تا دمای ۲۶۵ درجه سانتی‌گراد گرم شده و سپس برای تولید بخار فوق‌گرم، وارد مبدل‌های حرارتی می‌شود. سپس بخار

به ماشین بخار هدایت می‌شود و برق توسط یک ژنراتور تولید می‌شود^{۲۰،۱۹،۹،۴}.

۲) نیروگاه یکپارچه سیکل ترکیبی خورشیدی یزد (ISCC: Integrated Solar Combined Cycle):

در این نوع نیروگاه، توربین گازی همان سیکل ترکیبی معمولی است و انرژی مورد نیاز برای تولید بخار می‌تواند هم از دودکش توربین گاز و هم از میدان خورشیدی تأمین شود (پیش‌گرمایش آب تغذیه و فوق گرم کردن بخار، توسط دودکش توربین گاز انجام می‌شود). در این نیروگاه، به دلیل انرژی اضافی خورشیدی در مقایسه با سیکل ترکیبی، می‌توان بخار بیشتر و دمای بالاتری تولید کرد^{۲۱}.

استان یزد که در بخش مرکزی ایران قرار دارد، خشک‌ترین شهر بزرگ ایران با آفتاب سوزان و بدون رطوبت است. یزد، مکانی ایده‌آل برای استفاده از انرژی خورشیدی است؛ زیرا میانگین روزانه تابش خورشیدی، بین ۴/۵ تا ۵/۵

انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی را انجام می‌دهد. این تبدیل خورشیدی-الکتریکی، شامل دو مرحله میانی است: در مرحله اول، تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی حرارتی در جمع‌آورنده با استفاده از اثر گلخانه‌ای انجام می‌شود (به همین دلیل است که در این سیستم، به قسمت جمع‌آورنده، «گلخانه» نیز گفته می‌شود). در مرحله دوم، دودکش با استفاده از ترکیب توربین بادی و ژنراتور، انرژی حرارتی تولیدشده را به انرژی جنبشی و در نهایت به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند^{۲۳،۱۴}.

استان کرمان در جنوب شرقی ایران قرار دارد. متوسط شدت تابش خورشیدی در کرمان، حدود ۲۰۰۰ کیلووات ساعت بر متر است و حدوداً دارای ۲۸۰۰ ساعت آفتابی در سال می‌باشد. به منظور امکان‌سنجی احداث یک نیروگاه دودکش خورشیدی در کرمان، یک نیروگاه آزمایشی بر اساس ارزیابی‌های اولیه در این منطقه ساخته شد. نیروگاه آزمایشی دارای دودکش به ارتفاع ۶۰ متر و قطر ۳ متر و شعاع جمع‌آورنده خورشیدی آن ۲۰ متر است. مجموع تولید برق نیروگاه پیشنهادی دودکش خورشیدی در کرمان، ۴۱۰ مگاوات ساعت می‌باشد^{۲۲،۶}.

کیلووات ساعت بر متر و با ۳۲۰۰ ساعت آفتابی در سال است. بنابراین بزرگترین پروژه انرژی خورشیدی در ایران و حتی خاورمیانه توسط وزارت نیرو به یزد اختصاص دارد (این نیروگاه، یک نیروگاه ترکیبی است که در نزدیکی شهر یزد واقع شده و در سال ۱۳۸۸ به بهره‌برداری رسیده است. این نیروگاه، از سال ۱۳۹۰ به بعد به عنوان یک نیروگاه یکپارچه خورشیدی عمل می‌کند). این پروژه نیروگاه ترکیبی خورشیدی یکپارچه، دارای توان ۴۶۷ مگاواتی است و شامل دو توربین گازی ۱۵۹ مگاواتی، یک نیروگاه بخار ۱۳۲ مگاواتی و یک واحد تولید بخار خورشیدی ۱۷ مگاواتی می‌باشد^{۲۲،۹،۴}.

۳) نیروگاه دودکش خورشیدی کرمان (SCPP: Solar Chimney Power Plant):

دودکش خورشیدی، ترکیبی از سه فناوری؛ یعنی جمع‌آورنده، دودکش و توربین بادی است. دودکش که یک ساختار لوله‌ای بلند است، در مرکز جمع‌آورنده دایره‌ای قرار می‌گیرد در حالی که توربین بادی در داخل دودکش نصب شده است. این ترکیب منحصر به فرد، وظیفه تبدیل

بحث

۲) در دسترس بودن آب؛

نیروگاه‌های خورشیدی، عمدتاً به مقادیر قابل توجهی از آب برای خنک کردن نیاز دارند تا بخار را ممتراکم ساخته و گرمای اتلاف را از چرخه خارج کنند. این نیاز آبی، بیشتر به نوع فناوری نیروگاه، ظرفیت آن و همچنین شرایط محیطی و آب‌وهوایی بستگی دارد. نیروگاه‌های خورشیدی همچنین به مقداری آب برای شستشو و تمیز کردن آینه‌ها نیاز دارند. با این حال، سهم آن‌ها برای اهداف تمیز کردن در مقایسه با مقدار آب مورد نیاز برای اهداف خنک‌سازی، بسیار کم است^{۱۸۴}.

در حال حاضر، با توجه به در دسترس بودن تجاری فن آوری های خنک کننده خشک، کمبود آب نمی تواند مانعی غیرقابل حل برای توسعه نیروگاه های CSP در مکان هایی باشد که با کمبود آب مواجه هستند. بنابراین، فناوری های خنک کننده خشک را می توان جایگزین مناسبی برای توسعه کارخانه های CSP در بخش های مرکزی و جنوبی ایران دانست. آب محدود موجود در این مناطق برای شستن و نظافت آینه ها و سایر موارد مورد نیاز که عمدتاً در شب قابل انجام است، کافی خواهد بود^{۱۸۵}.

۳) دسترسی به خطوط انتقال؛

زیرساخت‌های مناسب انتقال نیرو برای انتقال برق تولیدی توسط نیروگاه‌های خورشیدی به شبکه مورد نیاز است. محل انتخاب‌شده برای ساخت نیروگاه خورشیدی باید نزدیک به خطوط انتقال موجود باشد تا هزینه اتصال خروجی نیروگاه با شبکه برق به حداقل برسد. تا سال ۲۰۱۴ میلادی، شبکه انتقال ایران شامل ۷۳,۲۷۹ کیلومتر خطوط برق بود که اکثر نقاط کشور را پوشش می‌داد^{۱۸۴}.

۴) دسترسی به جاده‌های مناسب؛

برای انتقال تأسیسات سنگین ساختمانی به محل‌های مورد نظر، دسترسی به جاده‌های اصلی ضروری است. در این راستا، برخی از مکان‌های دور ممکن است برای توسعه نیروگاه‌ها، زیاد مناسب در نظر گرفته نشوند. در ایران، ۸۳,۴۸۵ کیلومتر بزرگراه، آزادراه، راه اصلی و فرعی وجود

چشم‌انداز آینده ایران

اقتصاد ایران، به شدت به بخش نفت و گاز وابسته است. کاهش قیمت نفت به دلیل تحریم‌های بین‌المللی، توانایی دولت ایران برای تقویت اقتصاد و کاهش سرمایه‌گذاری در نفت و گاز را در این چند سال تضعیف کرده‌است. برای غلبه بر تحریم‌های فلج‌کننده غرب، اقتصاد ایران باید کمتر به صادرات نفت خام متکی باشد. برتری کشور از نظر ظرفیت‌های خورشیدی، توسعه کامل نیروگاه‌های خورشیدی را برای تولید انرژی حرارتی و الکتریکی تشویق می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ایران می‌تواند در سال ۲۰۵۰ میلادی، به تأمین‌کننده اصلی زنجیره تولید برق خورشیدی مدیترانه تبدیل شود تا تقاضای برق اروپا را تأمین کند. آینده انرژی خورشیدی، به امکان‌سنجی اقتصادی، بررسی اثرات محیط‌زیستی و پیشرفت در فناوری بستگی دارد. برای اینکه انرژی خورشیدی یک منبع انرژی قابل اعتماد در آینده باشد، فناوری‌های انرژی خورشیدی باید بر چالش‌های پیش رو غلبه کنند^{۱۸۹}.

چالش های استفاده از نیروگاه های

خورشیدی

از جمله محدودیت‌های امکان‌سنجی استفاده از مناطق مناسب برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی، عبارتند از:

۱) در دسترس بودن زمین‌های مناسب؛

یکی از چالش‌های توسعه نیروگاه‌های خورشیدی، وجود مساحت وسیعی از زمین با شرایط مناسب است. برای احداث یک نیروگاه خورشیدی، مساحت وسیعی از زمین مسطح یا با شیب بسیار کم مورد نیاز است. زمین‌هایی با شیب متوسط ۱ درصد یا کمتر، بهترین هستند. با این حال، شیب تا ۳ درصد نیز مناسب است؛ اما هزینه پروژه را افزایش می‌دهد^{۵۴}.

دارد. در سال ۲۰۱۴ میلادی، ۹۴ درصد از حمل‌ونقل کالا از طریق شبکه جاده‌ای، ۵/۸ درصد از طریق شبکه ریل و ۰/۲ درصد از طریق شبکه راه‌های هوایی صورت می‌پذیرفت. طول کل شبکه راه‌آهن ایران، ۱۱،۱۰۶ کیلومتر است. ایران دارای بیش از ۳۰۰۰ کیلومتر خط ساحلی در دو بخش شمالی و جنوبی است که خود را به مکانی متمایز در جهان تبدیل کرده‌است. ۱۱ بندر اصلی در سراسر کشور وجود دارد که ۴ بندر اصلی بندرعباس، امام خمینی (ره)، بوشهر و چابهار در شبکه بزرگراهی آسیا قرار دارند. طول کل بزرگراه آسیایی که از ایران می‌گذرد، ۱۱،۱۳۴ کیلومتر است. در شبکه بزرگراهی آسیا، ۲۴ پایانه مرزی جاده‌ای با ۷ کشور همسایه؛ شامل افغانستان، ترکیه، پاکستان، عراق، آذربایجان، ترکمنستان و ارمنستان وجود دارد. ایران ظرفیت دستیابی به سهم قابل توجهی از ترانزیت بین‌المللی را دارد. بیش از ۵۰ فرودگاه بزرگ در ایران وجود دارد که از این تعداد، ۱۳ فرودگاه دارای ترمینال بین‌المللی هستند و به خوبی در سراسر کشور توزیع شده‌اند. بنابراین، شبکه‌های حمل‌ونقل موجود، اکثریت کشور را برای انتقال تأسیسات ساختمانی و نگهداری به مکان‌های مورد نظر به طور مناسب پوشش می‌دهد.^{۱۰۴}

۵) شرایط آب‌وهوایی؛

مناطق با تعداد روزهای ابرناکی و یا روزهای با گردوغبار بالا، به عنوان مناطق دارای محدودیت شناخته شده‌اند.^۵ تعداد روزهای ابری در سال، مهم‌ترین عامل از نظر کنترل انرژی تابشی خورشیدی است. ابرها به طور متوسط ۲۱ درصد انرژی در طول موج‌های کوتاه خورشید را بر می‌گردانند. در مواقعی که هوا آفتابی بوده و هیچ ابری در آسمان وجود ندارد، قسمت اعظم انرژی خورشید به زمین می‌رسد. همچنین مناطقی دارای اهمیت هستند که کمترین روزهای گردوغباری را در طول سال داشته باشند.^{۱۳۵}

در شرایط ایران که کشوری درحال توسعه است، موانع در نظر گرفته‌شده، علاوه بر این عبارتند از: فناوری ضعیف، کمبود تولیدکنندگان، ناتوانی در برآورده کردن اوج تقاضای انرژی، فرآیند سخت و پرهزینه قانون‌گذاری، موانع بوروکراتیک، هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا، قیمت پایین سوخت‌های فسیلی، کمبود بودجه برای سرمایه‌گذاری، اولویت کم بهره‌وری در خرید انرژی، ریسک‌پذیری کم و روابط بین‌المللی و ملی.^۳

به دلیل تحریم‌های طولانی‌مدت علیه ایران، تکنولوژی و تجهیزات به طور معمول توسط مهندسان کشور فرموله می‌شود که با محدودیت‌های زیادی روبرو هستند. بنابراین، تجهیزات و فناوری توسعه‌یافته در ایران در مقایسه با همان فناوری ایجادشده با استفاده از کارخانه‌های با تکنولوژی بالا در کشورهای پیشرفته از قابلیت و کیفیت کمتری برخوردار است. از این رو، «فناوری ضعیف» مانع مهمی در برابر توسعه انرژی خورشیدی در ایران است.

علاوه بر این، تحریم‌ها علیه ایران بر روابط ملی و بین‌المللی تأثیر منفی می‌گذارد. همچنین با توجه به نرخ بالای تورم در ایران، سرمایه‌گذاران و تولیدکنندگان تمایلی به سرمایه‌گذاری در صنعت و تولید ندارند؛ بلکه در عوض، ترجیح می‌دهند در بازار سهام و مشاغل واسطه‌ای سرمایه‌گذاری کنند که در این کشور سودآورتر است. علاوه بر این، فرآیند قانون‌گذاری در ایران پرهزینه و زمان‌بر است؛ زیرا مجوزهای لازم برای شروع فعالیت انرژی‌های تجدیدپذیر، چندین مرحله دارد و این مجوزها باید از چندین وزارتخانه و سازمان اخذ شود. از این رو، «فرآیند قانون‌گذاری سخت و پرهزینه» یکی دیگر از موانع مهم پیش‌روی اجرای پروژه خورشیدی است. سازمان‌های خاورمیانه، عمدتاً بوروکراتیک و سلسله‌مراتبی هستند و اخذ جواز تأسیس و فرآیندهای تصمیم‌گیری در آن‌ها بسیار سخت و زمان‌بر است.^{۸۳}

جدول ۱. معیارها و دلایل اهمیت آن‌ها در مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در ایران^{۱۴}

کلاس	زیرکلاس	معیار	متغیر در لایه	دلیل اهمیت
عوامل فیزیکی	شکل زمین	ارتفاع	ارتفاع از سطح دریا	کاهش هزینه‌ها و امکان احداث
		شیب	درصد شیب زمین	
	زمین‌شناسی و خاک‌شناسی	پایداری زمین	تیپ سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی	تأمین امنیت و کاهش هزینه‌های بازسازی و تعمیر و کاهش گردوغبار
		گسل و معدن	محل گسل‌ها و معادن منطقه	
		شن‌زار	مناطق و تپه‌های شنی	
	پوشش گیاهی و کاربری زمین	جنگل	محل و اطلاعات توصیفی مناطق جنگلی، باغات و زمین‌های زراعی	افزایش میزان دریافت انرژی
		باغ		
		زمین زراعی		
عوامل بیولوژیکی	محدوده‌های آبی	دریا، دریاچه و تالاب	اطلاعات توصیفی منابع آبی و شناسایی نقاط سیل‌خیز، رودخانه‌های اصلی و دائمی، محل باتلاق‌ها و مرداب‌ها	تأمین امنیت سازه‌های نیروگاهی
		مسیل		
		رودخانه		
		باتلاق و مرداب		
	محدوده محیط‌زیستی	مناطق حفاظت‌شده	اطلاعات توصیفی مناطق چهارگانه	حفاظت از محیط زیست طبیعی
عوامل اقتصادی و اجتماعی	راه‌های ارتباطی	آزادراه و بزرگراه	اطلاعات توصیفی جاده‌های اصلی، فرعی و خطوط راه‌آهن	سهولت در دسترسی به محل و کاهش
		راه‌های محلی		
	محدوده‌های جمعیتی	مراکز پرجمعیت	محل و اطلاعات توصیفی شهرها و روستاها و مناطق مسکونی	افزایش امنیت و جلوگیری از مشکلات زیباشناختی
		مراکز کم‌جمعیت		

هزینه‌های حمل تجهیزات		راه‌آهن		
کاهش هزینه‌های انتقال نیرو	اطلاعات توصیفی محل خطوط انتقال نیرو	خطوط انتقال نیرو	انتقال نیرو	عوامل فنی
		پست برق		
افزایش راندمان دریافت انرژی	میزان انرژی دریافتی از خورشید	میزان تابش دریافتی	دریافت انرژی	
تأمین امنیت سازه و افزایش راندمان دریافت انرژی	محل و اطلاعات توصیفی آب‌بند، سد، پالایشگاه شهرک‌های صنعتی و کارخانجات منطقه مورد مطالعه	فرودگاه‌ها	تأسیسات خاص	زیرساخت‌ها
		آب‌بندها و سدّها		
		پالایشگاه‌ها و خطوط انتقال نفت و گاز		
		نیروگاه‌ها		

جدول ۲. موانع رشد بخش انرژی خورشیدی در ایران^۳

شاخص	تعریف	معیارها
عوامل فنی	موانع فیزیکی و فنی؛ از جمله تجهیزات مورد نیاز، دانش نصب پنل‌های خورشیدی و غیره	(۱) تکنولوژی ضعیف (۲) کمبود تولیدکنندگان (۳) کیفیت پایین تجهیزات سیستم خورشیدی
عوامل حقوقی	فرآیندها، قوانین و رویه‌های ضروری دولتی برای اجرای پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر	(۱) ناتوانی در برآورده ساختن اوج تقاضای انرژی (۲) فرآیند قانون‌گذاری سخت و پرهزینه (۳) موانع بوروکراتیک
عوامل اقتصادی	قیمت، سرمایه‌گذاری و تمام هزینه‌های مربوط به پروژه‌های انرژی خورشیدی	(۱) فقدان استانداردها و چارچوب‌های سازمانی (۲) محدودیت‌های ذخیره‌سازی نیرو (۳) ریسک سرمایه‌گذاری بالا (۴) قیمت پایین سوخت فسیلی (۵) کمبود بودجه برای سرمایه‌گذاری (۶) هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری و عملیات
عوامل اجتماعی و فرهنگی	همه عوامل مربوط به مشخصات رفتاری یا آگاهی در مورد توسعه فناوری‌های خورشیدی	(۱) اولویت پایین بهره‌وری در خرید انرژی (۲) ریسک‌پذیری کم (۳) مقاومت در برابر تغییر یا پارادایم‌های جدید (۴) آگاهی عمومی پایین (۵) انگیزه سرمایه‌گذاری پایین
عوامل حمایتی	حمایت دولتی یا جوامع انرژی‌های تجدیدپذیر از طرح‌های توسعه انرژی خورشیدی	(۱) معافیت مالیاتی (۲) روابط بین‌المللی و ملی (۳) یارانه سوخت‌های فسیلی

نتیجه‌گیری

متأسفانه هنوز تفکر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به طور کامل و جامع در میان مسئولان و مردم نهادینه نشده‌است. از طرف دیگر، منابع نفتی نیز با سرعت هرچه تمام‌تر مصرف و هدر داده می‌شوند که علاوه بر آثار نامناسب در اقتصاد و توسعه کشور، محیط زیست را نیز با استخراج، اکتشاف و همچنین با مصرف نامناسب از سوخت، تخریب نموده‌است که مقابله با این امر، توجه ویژه‌ای به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به خصوص انرژی خورشیدی را در کشور می‌طلبد.

انرژی خورشیدی از جمله انرژی‌های پاک، قابل دسترس و ارزان به شمار می‌آید که استفاده از آن نه تنها

آثار سوء محیط‌زیستی ندارد؛ بلکه حامی آن بوده و از جمله اقدامات در جهت رسیدن به اهداف توسعه پایدار به شمار می‌آید. بنابر مطالب ذکرشده در این مطالعه، یکی از اقدامات اولیه در زمینه بهره‌برداری از این انرژی، شناسایی مناطق مستعد و دارای ظرفیت بالا به لحاظ اقلیمی است. ایران نیز از جمله کشورهایی است که منابع انرژی تجدیدپذیر در آن به وفور یافت می‌شود.

در نتیجه وجود شرایط مناسب آب‌وهوایی در اکثر نقاط ایران، فرصتی ارزشمند مهیا شده‌است تا به کمک یک برنامه‌ریزی دقیق بتوان سهم تولید برق از منابع انرژی خورشیدی را در کشور به مرور زمان افزایش داد.

References

- Gorjian S, Zadeh BN, Eltrop L, Shamshiri RR, Amanlou Y. Solar photovoltaic power generation in Iran: Development, policies, and barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019;106:110-23.
- Enjavi-Arsanjani M, Hirbodi K, Yaghoubi M. Solar energy potential and performance assessment of CSP plants in different areas of Iran. *Energy Procedia*. 2015;69:2039-48.
- Mostafaeipour A, Alvandimanesh M, Najafi F, Issakhov A. Identifying challenges and barriers for development of solar energy by using fuzzy best-worst method: A case study. *Energy*. 2021;226:120355.
- Mohammadi K, Khorasanizadeh H. The potential and deployment viability of concentrated solar power (CSP) in Iran. *Energy Strategy Reviews*. 2019;24:358-69.
- Tazanji MF. Site-selecting of the Photovoltaic Solar Power Plants Using Climatic Elements in Yazd Province *Jornal of a Arid Biome Scientific*. 2020;9(2):103-10.[In Persian]
- Alamdari P, Nematollahi O, Alemrajabi AA. Solar energy potentials in Iran: A review. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 2013;21:778-88.
- Pahlavan S, Jahangiri M, Shamsabadi AA, Baharizadeh A. Assessing the Current Status of Renewable Energies and Their Limitations in Iran. *International Journal of Renewable Energy Development*. 2020;1.(^۹)
- Shahsavari A, Yazdi F, Yazdi H. Potential of solar energy in Iran for carbon dioxide mitigation. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2019;16:507-24.
- Gorjian S, Ghobadian B. Solar thermal power plants: progress and prospects in Iran. *Energy Procedia*. 2015;75:533-9
- Hayat MB, Ali D, Monyake KC, Alagha L, Ahmed N. Solar energy—A look into power generation, challenges, and a solar-powered future. *International Journal of Energy Research*. 2019;43(3):1049-67.
- Ghasemi G, Noorollahi Y, Alavi H, Marzband M, Shahbazi M. Theoretical and technical potential evaluation of solar power generation in Iran. *Renewable Energy*. 2019;138:1250-61.
- Makkiabadi M, Hoseinzadeh S, Taghavirashidizadeh A, Soleimaninezhad M, Kamyabi M, Hajabdollahi H, et al. Performance evaluation of solar power plants: a review and a case study. *Processes*. 2021;9(12):2253.
- Abdullahi AA. Climatic assessment for the purpose of building solar power plants in Fars province using fuzzy overlay and AHP methods using GIS. *Quarterly scientific-research journal of geographic information*. 2018;27(105):73-64.[In Persian]
- Yousefi H, Kasaeian A, Ranjbaran P, Katooli M. A review of the criteria for locating of solar power plants in Iran. *Geospatial Engineering Journal*. 2017;8(2):25-38.[In Persian]
- Zandi DR, Safai DMJ, Khosrovian M. Potential measurement of solar energy use in rural areas, case study: Sabzevar city. *Geography and Development Quarterly*. 2020;17(57):94-69.[In Persian]
- Zahedi R, Sadeghitabar E, Ahmadi A. Solar energy potential assessment for electricity generation in the southeastern coast of Iran. *Future Energy*. 2023;2(1):15-22.
- Rahimi DM, Pazband F, Abdullahi DAA. Potential assessment of the establishment of solar power plants in Sistan and Baluchistan province using AHP model and fuzzy logic. *Geography and Development Quarterly*. 2018;15(49):36-23.[In Persian]
- Kabir E, Kumar P, Kumar S, Adelodun AA, Kim K-H. Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;82:894-900.
- Dehghani MA, Feylizadeh mR. An Overview Of Solar Energy Potential in IRAN. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CURRENT LIFE SCIENCES*. 2014;4(9):7173-80.
- Yaghoubi M, Zarrini S, editors. *Potential of Solar Energy for Power Generation, Heating and Other Applications in Iran. Energy Sustainability*; 2012: American Society of Mechanical Engineers.
- Hosseini R, Soltani M, Valizadeh G. Technical and economic assessment of the integrated solar combined cycle power plants in Iran. *Renewable energy*. 2005;30(10):1541-55.
- S Mohsen P, Pourfayaz F, Shirmohamadi R, Moosavi S, Khalilpoor N. Potential, current status, and applications of renewable energy in energy sector of Iran: A review. *Renewable Energy Research and Applications*. 2021;2(1):25-49.
- Sangi R. Performance evaluation of solar chimney power plants in Iran. *Renewable and Sustainable energy reviews*. 2012;16(1):704-10.

Feasibility of Using Solar Power Plants in Iran (Opportunities and Challenges)

Anis Haaj-Ghani^{1,2}, Saeideh Morad-Alizadeh^{1,2*}, Mahdi Rezaei^{1,2*}

1. Environmental Health Engineering Research Center, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.

2. Environmental Health Engineering Department, Faculty of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.

Email: saeideh.moradalizadeh71@gmail.com
mahdirezaei1274@gmail.com

Received: 22 April 2024, Accepted: 15 June 2024

ABSTRACT

Background: In the face of international sanctions imposed on Iran's oil economy, solar energy in this country has special capabilities; so that Iran can become the main supplier of the Mediterranean solar power production chain by 2050. Considering Iran's ability to access this clean energy, the aim of the present study is to investigate the possibility of establishing and using solar power plants in Iran for electricity production, considering some completed projects, as well as examining the opportunities and challenges of developing these power plants.

Methods: For the current study, the keywords "Solar power plants, Solar energy in Iran, Renewable energy, Solar potentials and challenges" were searched in the databases "Google Scholar, ScienceDirect, SID, Magiran, ResearchGate" from 2005 to 2024. After that, a total of 320 articles were found, which after screening and full review of the articles, finally 23 articles were registered and used in the study. The criterion for the entry of articles was their relevance of the content to the subject matter.

Results: To investigate the possibility of using solar power plants in Iran, quantitative and qualitative data from studies related to geographical capacities, production capacity, and challenges facing the establishment of power plants were used. Iran's experience in establishing concentrated solar energy dates back to the power plants in Shiraz and Yazd city, which, despite the successful operation of these power plants, no new solar power plant has been announced since then. In this regard, the lack of feasibility studies in this country is quite evident.

Conclusion: Despite the not-significant development of solar power plants in Iran and the lack of public demand for clean energy; high solar radiation, existing desert lands in Iran, and the prevention of pollutant gas emissions by solar power plants are the main factors encouraging the development of these power plants for the production of thermal and electrical energy. Therefore, the use of these power plants can provide many opportunities for Iran.

Keywords: Solar energy, Feasibility Studies, Iran, Solar power plants.