



مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW بهادران یزد

Doc. No: ۲۰۲۰۱.B.EL.REP.۰۱۰

Page: ۱ of ۴۵

Document Title:

مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

Rev. ۰۰

نام پروژه :

احداث نیروگاه خورشیدی به ظرفیت ۱۰۰MW در منطقه بهادران استان یزد

مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

۰۰	۱۴۰۴/۰۵/۱۰	Issued For Review	K.KHAZAEI	H.ZARGHAM	A.DADVAR
Rev.	Issue Date	Status	Prepared	Checked	Approved



پروژه احداث نیروگاه خورشیدی
شماره سند: ۲۲۷-۴۵



مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW بهادران یزد

Doc. No: ۲۰۲۰۱.B.EL.REP.۰۱۰

Page: ۲ of ۴۰

Document Title:

مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

Rev. ۰۰

Revision Index

Page	Revision				
	۰۰	۰۱	۰۲	۰۳	۰۴
۱	X				
۲	X				
۳	X				
۴	X				
۵	X				
۶	X				
۷	X				
۸	X				
۹	X				
۱۰	X				
۱۱	X				
۱۲	X				
۱۳	X				
۱۴	X				
۱۵	X				
۱۶	X				
۱۷	X				
۱۸	X				
۱۹	X				
۲۰	X				
۲۱	X				
۲۲	X				
۲۳	X				
۲۴	X				
۲۵	X				

Page	Revision				
	۰۰	۰۱	۰۲	۰۳	۰۴
۲۶	X				
۲۷	X				
۲۸	X				
۲۹	X				
۳۰	X				
۳۱	X				
۳۲	X				
۳۳	X				
۳۴	X				
۳۵	X				
۳۶	X				
۳۷	X				
۳۸	X				
۳۹	X				
۴۰	X				
۴۱	X				
۴۲	X				
۴۳	X				
۴۴	X				
۴۵					
۴۶					
۴۷					
۴۸					
۴۹					
۵۰					

Page	Revision				
	۰۰	۰۱	۰۲	۰۳	۰۴
۵۱					
۵۲					
۵۳					
۵۴					
۵۵					
۵۶					
۵۷					
۵۸					
۵۹					
۶۰					
۶۱					
۶۲					
۶۳					
۶۴					
۶۵					
۶۶					
۶۷					
۶۸					
۶۹					
۷۰					
۷۱					
۷۲					
۷۳					
۷۴					
۷۵					

Page	Revision				
	۰۰	۰۱	۰۲	۰۳	۰۴
۷۶					
۷۷					
۷۸					
۷۹					
۸۰					
۸۱					
۸۲					
۸۳					
۸۴					
۸۵					
۸۶					
۸۷					
۸۸					
۸۹					
۹۰					
۹۱					
۹۲					
۹۳					
۹۴					
۹۵					
۹۶					
۹۷					
۹۸					
۹۹					
۱۰۰					





فهرست مطالب

۵	مقدمه
۶	۱- بررسی وضعیت شبکه برق ایران و جهان و ضروریات احداث نیروگاه
۶	۱-۱- جهان در حال گذار به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر
۹	۲-۱- ضرورت حرکت به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران
۱۱	۳-۱- مدل‌های نهایی قراردادی جهت خرید و فروش انرژی نیروگاه خورشیدی
۱۳	۲- بررسی موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های محل احداث
۱۳	۱-۲- ویژگی‌های زمین مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی
۱۶	۲-۲- موقعیت جغرافیایی و الکتریکی زمین احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی بهادران یزد (شهرستان مهریز)
۱۹	۳-۲- تحلیل شرایط اقلیمی شهرستان مهریز (بهادران)
۱۹	۳- شبیه‌سازی نیروگاه خورشیدی با استفاده از نرم افزار PVSYS
۱۹	۱-۳- رتبه‌بندی پنل‌ها و اینورترهای خورشیدی
۲۰	۲-۳- پنل و اینورتر نیروگاه خورشیدی بهادران
۲۰	۳-۳- پنل خورشیدی
۲۰	۴-۳- اینورتر خورشیدی
۲۱	۵-۳- مطالعات نرم‌افزار PVSYS
۲۲	۴- اتصال به شبکه نیروگاه بهادران
۲۳	۵- ارزیابی جامع اثرات زیست محیطی نیروگاه خورشیدی
۲۴	۱-۵- اثرات مثبت زیست محیطی نیروگاه‌های فوتوولتاییک
۲۴	۱-۱-۵- کاهش گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با نیروگاه‌های حرارتی
۲۷	۲-۱-۵- بهبود کیفیت هوا و سطح سلامتی انسان‌ها
۲۸	۳-۱-۵- کاهش تغییرات اقلیمی و کمک به حفظ اکوسیستم
۲۹	۴-۱-۵- صرفه‌جویی در منابع آبی
۲۹	۲-۵- اثرات منفی زیست محیطی نیروگاه‌های فوتوولتاییک و مدیریت آن
۲۹	۱-۲-۵- تغییر کاربری اراضی
۳۰	۲-۲-۵- تأثیر بر تنوع زیستی
۳۱	۳-۲-۵- پسماندهای نیروگاه خورشیدی
۳۲	۴-۲-۵- آلودگی آب و خاک ناشی از شست و شوی پنل‌ها
۳۳	۳-۵- جمع‌بندی
۳۴	۶- تحول اشتغال جهانی با گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر
۳۷	۷- تحلیل اقتصادی نیروگاه خورشیدی پتروکاوایان





مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW بهادران یزد

Doc. No: ۲۰۲۵۱.B.EL.REP.۰۱۰

Page: ۴ of ۴۵

Document Title:

مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

Rev. ۰۰

۳۸	۱-۷- هزینه‌های سرمایه‌گذاری
۳۸	۱-۱-۷- هزینه احداث نیروگاه.....
۳۸	۲-۱-۷- هزینه اتصال به شبکه نیروگاه
۳۹	۲-۷- هزینه‌های عملیاتی و نگهداری
۳۹	۱-۲-۷- هزینه‌های تعمیر و نگهداری دوره‌ای
۳۹	۲-۲-۷- هزینه‌های نیروی انسانی
۳۹	۳-۷- درآمد نیروگاه خورشیدی.....
۴۲	۴-۷- محاسبه شاخص‌های مالی و اقتصادی
۴۵	۸- جمع‌بندی



مقدمه

انرژی‌های تجدیدپذیر در دهه‌های اخیر به عنوان یکی از محوری‌ترین راهبردهای جهانی جهت مقابله با چالش‌های زیست محیطی و بحران انرژی مطرح شده‌اند. در این میان، انرژی خورشیدی به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی همچون فراوانی، دسترسی گسترده، کاهش روزافزون هزینه‌های تولید و پیشرفت مداوم فناوری‌های مرتبط، به یکی از مؤثرترین گزینه‌ها برای تأمین برق تبدیل شده است. ایران به عنوان کشوری با موقعیت جغرافیایی ممتاز در کمربند تابشی خورشید، پتانسیل قابل توجهی برای بهره‌گیری از این منبع پاک و تجدیدپذیر دارد. از این رو، توسعه نیروگاه‌های خورشیدی در مناطق مستعد کشور می‌تواند به عنوان راه‌کاری اثر بخش در راستای کاهش وابستگی به منابع فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

در این گزارش، امکان‌سنجی احداث نیروگاه خورشید بظرفیت ۱۰۰MW در شهرستان مهریز (بهادران) استان یزد از جنبه‌های فنی، اقتصادی و زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش‌های مختلف این مطالعه، پارامترهایی نظیر طراحی فنی سیستم، برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی، تحلیل تأثیرات زیست محیطی و ارزیابی دقیق شاخص‌های اقتصادی از جمله دوره بازگشت سرمایه و نرخ بازده داخلی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. بنابراین، هدف از این مطالعه ارائه ارزیابی جامع و مستند به منظور بهینه‌سازی تصمیمات و تبیین توجیه‌پذیری احداث این پروژه در منطقه مذکور است.



۱- بررسی وضعیت شبکه برق ایران و جهان و ضروریات احداث نیروگاه

جهان امروز در حالی به سمت تحولی اساسی در صنعت انرژی حرکت می کند که تغییرات اقلیمی و بحران های زیست محیطی ناشی از استفاده بی رویه از سوخت های فسیلی، انگیزه های قوی برای گذار به انرژی های تجدیدپذیر بوجود آورده است. در این مسیر، اغلب کشورها بطور فزاینده ای در حال سرمایه گذاری بر منابعی همچون انرژی خورشیدی، بادی و آبی هستند که نه تنها از لحاظ زیست محیطی پایدارتر هستند، بلکه از نظر اقتصادی نیز به عنوان گزینه ای قابل اعتماد و بلندمدت در تأمین نیازهای انرژی مطرح می شوند. این تحولات در سطح جهانی باعث شده است که سیاست گذاران و مدیران صنایع انرژی در پی یافتن راه کارهایی برای سازگاری با این روند و کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی باشند.

در این میان، برخی کشورها توانسته اند با بهره برداری از منابع تجدیدپذیر به میزان چشمگیری از مشکلات زیست محیطی کاسته و زیرساخت های انرژی خود را به سمت آینده ای پایدار سوق دهند. در عین حال، ساختار شبکه های برق در بسیاری از کشورها در حال تحول است و به سمت انعطاف پذیری، هوشمندسازی و بهره برداری بهینه از منابع بادی و خورشیدی پیش می رود.

در چنین شرایطی، کشورهایی که به منابع غنی انرژی دسترسی دارند، به ویژه در مناطقی با شرایط مناسب برای تولید انرژی های تجدیدپذیر، نیازمند توجه ویژه به این تحولات جهانی و استفاده از پتانسیل های بومی خود برای توسعه شبکه های انرژی هستند. این تحولات نه تنها به تأمین برق پایدار کمک می کند، بلکه در فرآیند تبدیل شدن به یکی از بازیگران کلیدی در بازار جهانی انرژی تأثیرگذار خواهد بود.

۱-۱- جهان در حال گذار به سمت انرژی های تجدیدپذیر

مطابق با آنچه که در شکل ۱ نشان داده شده است، ظرفیت جهانی انرژی های تجدیدپذیر از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ به شکل پیوسته رشد کرده و از حدود ۱۲۰۰ گیگاوات در سال ۲۰۱۰ به بیش از ۳۸۰۰ گیگاوات در سال ۲۰۲۳ رسیده است. این رشد تقریباً سه برابری، نشان دهنده تلاش جهانی برای گذار به انرژی های پایدار و کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی و سیاست های جهانی برای مقابله با تغییرات اقلیمی و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای می باشد.

با در نظر گرفتن توضیحات ارائه شده، انرژی خورشیدی سریع ترین رشد را در میان تمام فناوری های تجدیدپذیر داشته و از سال ۲۰۱۵ به بعد جهش چشمگیری داشته است. این روند ناشی از کاهش هزینه تولید پنل های خورشیدی و ورود فناوری های بهتر با کارایی بیشتر بوده است. **انرژی بادی** نیز در جایگاه دوم رشد ظرفیت قرار دارد و سهم قابل توجهی از رشد جهانی را به خود اختصاص داده است. انرژی برق آبی همچنان بزرگ ترین سهم را در ظرفیت انرژی های تجدیدپذیر دارد اما رشد آن



مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW بهادران یزد

Doc. No: ۲۰۲۰۱.B.EL.REP.۰۱۰

Page: ۷ of ۴۵

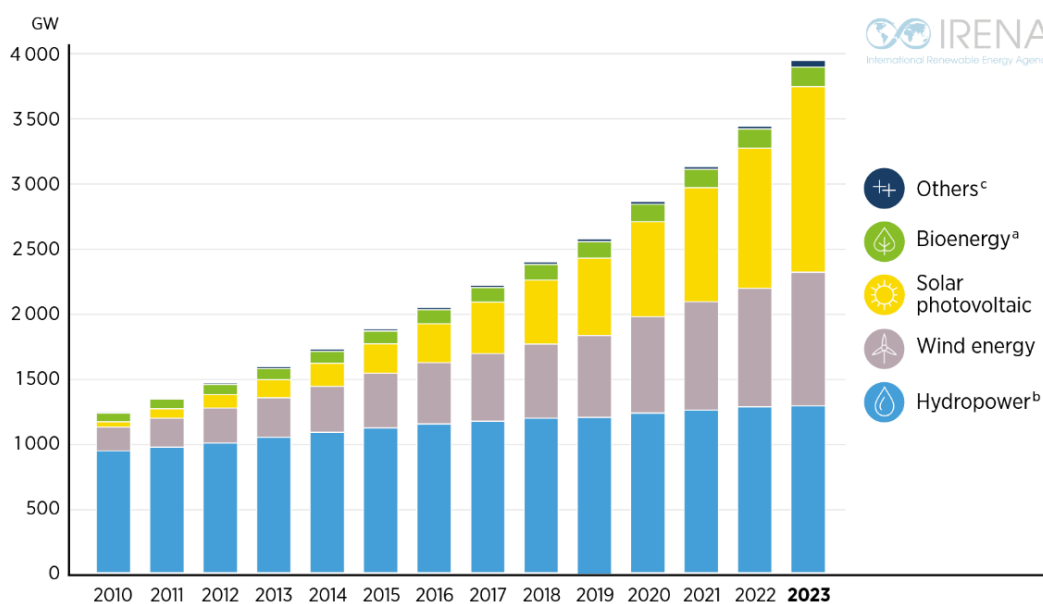
Document Title:

مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

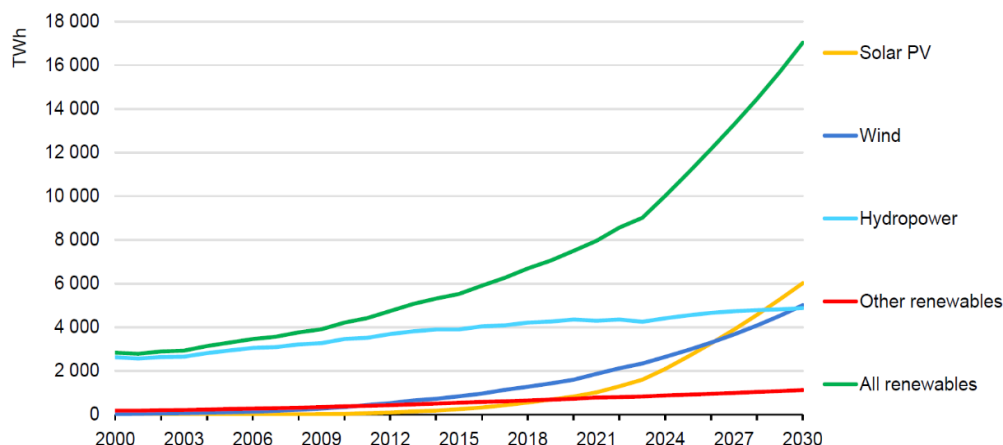
Rev. ۰۰

نسبت به فناوری‌های دیگر مانند فوتوولتائیک و بادی کندتر بوده است. این مسئله به دلیل چالش‌های مربوط به محدودیت منابع آب و عدم وجود زیرساخت‌های مربوط به حوزه سدسازی است.

از سویی دیگر، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق جهانی در حال رشد بوده و مطابق با آنچه در شکل ۲ نشان داده شده است، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰، بیش از ۱۶۰۰۰ تراوات ساعت برق تجدیدپذیر تولید شود. این میزان به این معناست که نزدیک به ۶۶ درصد برق مصرفی در جهان قرار است توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین شود. این تغییرات به دلیل چند عامل مهم روی می‌دهد. اولین عامل، کاهش هزینه‌های تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر است که باعث می‌شود این منابع نسبت به سوخت‌های فسیلی یک مزیت رقابتی داشته باشند. همچنین، سیاست‌های حمایتی و قوانین زیست محیطی در بسیاری از کشورها نقش مهمی در تسریع این روند دارند. برای مثال، در بسیاری از کشورهای اروپایی، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از مجموع انرژی تولیدی در حال افزایش است و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰، انرژی خورشیدی بزرگ‌ترین منبع تولید انرژی تجدیدپذیر در جهان باشد.

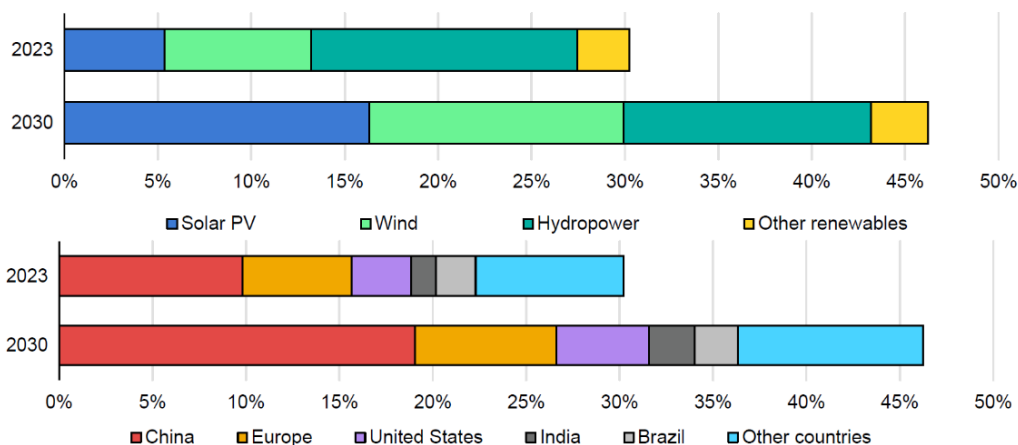


شکل ۱: روند تحول ظرفیت برق تجدیدپذیر در سطح جهان از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳



شکل ۲: چشم انداز تولید برق جهانی تا سال ۲۰۳۰

در تکمیل توضیحات ارائه شده، تحلیلی از تولید برق از طریق منابع تجدیدپذیر در سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۳۰ از حیث نوع تکنولوژی و از حیث کشورهای با بیشترین ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر در شکل ۳، ارائه شده است. بر اساس این نمودارها، انرژی خورشیدی و بادی شاهد رشد قابل توجهی خواهند بود و تا سال ۲۰۳۰ به یکی از مهم‌ترین منابع تولید برق تجدیدپذیر تبدیل خواهند شد. در مقابل، سهم انرژی برق‌آبی در طول سال‌های بررسی شده در این شکل، تقریباً ثابت می‌باشد. در سطح جهانی، چین پیش‌تاز تولید برق تجدیدپذیر باقی خواهد ماند و پیش‌بینی می‌شود که سهم این کشور از تولید برق تجدیدپذیر در سال ۲۰۳۰ حتی بیشتر از مجموع سایر کشورها باشد. اروپا و ایالات متحده نیز به عنوان تولیدکنندگان اصلی برق تجدیدپذیر همچنان نقش مهمی ایفا می‌کنند، اگرچه رشد آن‌ها نسبت به چین محدودتر است. کشورهای دیگری مانند هند و برزیل نیز بطور تدریجی در حال افزایش سهم خود در این زمینه هستند.



شکل ۳: تحلیل تولید برق جهانی از منابع تجدیدپذیر سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۳۰



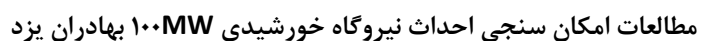
۱-۲- ضرورت حرکت به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران

ایران با وجود منابع غنی گاز طبیعی و پتانسیل بالای انرژی‌های تجدیدپذیر، با مشکلات ساختاری قابل توجهی در حوزه انرژی روبه‌رو است. یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها، ناترازی برق است که به دلیل عدم تطابق تولید و مصرف و فرسودگی زیرساخت‌های شبکه برق ایجاد شده است. در تابستان، نیاز به برق به اوج می‌رسد اما نیروگاه‌ها به دلیل کمبود گاز یا محدودیت‌های دیگر قادر به پاسخگویی نیستند و این مسئله منجر به خاموشی‌های گسترده در شهرها و آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی می‌شود.

از سوی دیگر، در زمستان، افزایش مصرف گاز در بخش گرمایش خانگی باعث کاهش شدید سوخت نیروگاه‌ها می‌شود. در این شرایط، استفاده از سوخت‌های آلاینده مانند مازوت برای جبران کمبود سوخت، علاوه بر افزایش آلودگی هوا، مشکلات جدی زیست محیطی و سلامتی ایجاد کرده است. این آلودگی در شهرهایی مانند تهران و اصفهان به یکی از عوامل اصلی مشکلات تنفسی و مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا تبدیل شده است.

در شرایط فعلی، حرکت به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر برای ایران نه تنها راهکاری برای رفع بحران‌های کنونی انرژی است، بلکه فرصتی استراتژیک برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، مقابله با تغییرات اقلیمی و افزایش امنیت انرژی به شمار می‌رود.

در خاورمیانه، کشورهای همسایه ایران مانند عربستان سعودی و ترکیه در حال گسترش قابل توجه نیروگاه‌های تجدیدپذیر خود هستند. با اینحال و علیرغم اینکه ایران با توجه به منابع فراوان انرژی خورشیدی و بادی و بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در سال، پتانسیل بالایی برای توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر تولید ۹۰,۰۰۰ مگاوات برق از منابع تجدیدپذیر دارد، سهم انرژی خورشیدی و بادی در تولید برق کشور کمتر از ۲ درصد است. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و پراکندگی شهرها و روستاها در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد چرا که یکی از بهترین راه‌های برق‌رسانی و تولید انرژی در مقایسه با دیگر مدل‌های انتقال انرژی به شهرها، روستاها و نقاط دورافتاده از نظر هزینه، حمل و نقل، نگهداری و عوامل مشابه است. در شکل ۴، میزان ظرفیت نصب شده انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران بر اساس اعلام رسمی ساتبا، نشان داده شده است. مطابق با این شکل، استان‌های پیشرو از منظر ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر نصب شده به ترتیب کرمان، قزوین، یزد، فارس و خراسان رضوی هستند. در شکل ۵ نیز مقایسه‌ای میان انواع نیروگاه‌های تجدیدپذیر در ایران صورت گرفته است. در این شکل، رنگ زرد در شکل ۵ ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی در ایران را نشان می‌دهد که مطابق نمودار، روند رو به رشد چشمگیری در زمینه افزایش سهم تولید این نیروگاه‌ها از سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۳ در کشورمان رخ داده است.



Doc. No:	٢٠٢٥١.B.EL.REP.٠١٠
----------	--------------------

Page: 11 of 40

Document Title:

مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ MW شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

Rev. ..

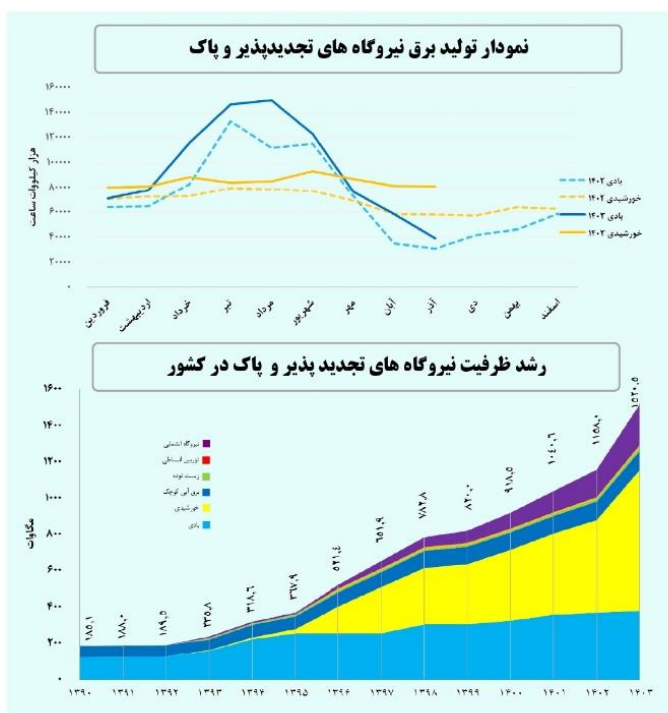
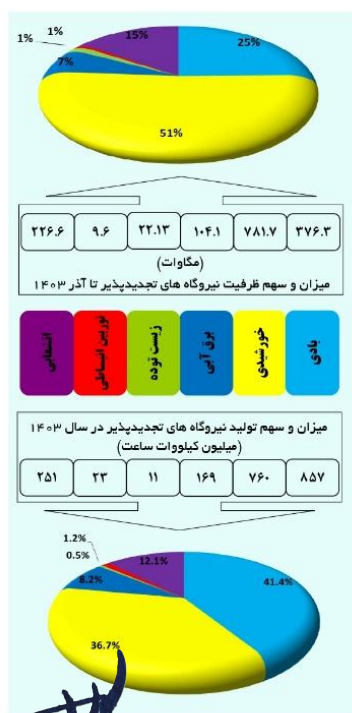
ظرفیت نصب شده نیروگاه های تجدیدپذیر و پاک به تفکیک استان (مگاوات)



استان های پیشرو از منظر ظرفیت نیروگاه های تجدیدپذیر و پاک نصب شده (مگاوات)



شکل ۴: ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های تجدیدپذیر به تفکیک استان



شکل ۵: میزان و سهم تولید نیروگاه‌های تجدیدپذیر در سال ۱۴۰۳



۳-۱- مدل های نهایی قراردادی جهت خرید و فروش انرژی نیروگاه خورشیدی

بازار برق ایران به منظور افزایش بهره‌وری، گسترش ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی از مدل‌های نوین قراردادی بهره می‌برد. این مدل‌ها با در نظر گرفتن الزامات قانونی و اقتصادی، به‌طور مشخص برای تأمین انرژی پایدار در صنایع، نهادهای دولتی و بخش خصوصی طراحی شده‌اند. از جمله مهم‌ترین این مدل‌ها می‌توان به تابلو سبز بورس انرژی، الزامات ماده ۱۶ قانون جهش تولید دانش‌بنیان و سازوکار تهاتر انرژی اشاره کرد که در ادامه به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

ماده ۱۶ قانون جهش تولید دانش‌بنیان یک الزام قانونی برای واحدهای صنعتی بزرگ به شمار می‌رود. این قانون بیان می‌کند صنایعی که دیمانده آن‌ها بیشتر از ۱ مگاوات است، موظف هستند که در سال اول معادل ۱٪ و تا سال پنجم معادل ۵٪ از مصرف برق خود را از طریق احداث نیروگاه تجدیدپذیر تأمین کنند، در غیر اینصورت ۱ الی ۵٪ از برق مصرفی این صنایع با نرخ تجدیدپذیر محاسبه و در قبوض آن‌ها اعمال می‌شود. اجرای این ماده در قالب قراردادهای خرید برق تجدیدپذیر، نقش مهمی در کاهش فشار بر شبکه سراسری و توسعه زیرساخت‌های تجدیدپذیر دارد.

تابلو سبز بورس انرژی به عنوان یک پلتفرم شفاف و رقابتی، بستر اصلی برای عرضه برق تولید شده از نیروگاه‌های تجدیدپذیر در ایران محسوب می‌شود. در این مدل، نیروگاه‌های خورشیدی، بادی و سایر منابع تجدیدپذیر می‌توانند برق تولیدی خود را به مشترکان بزرگ مانند صنایع و مصرف‌کنندگان با قدرت قراردادی بالا بفروشند و یا متقابلاً مطابق ماده ۱۶ قانون جهش تولید دانش‌بنیان، اقدام به خرید ۱ الی ۵٪ از دیمانده مصرفی خود از تابلو سبز بورس انرژی کنند. نرخ معاملاتی این بازار بطور دوره‌ای توسط وزارت نیرو و توانیر اعلام می‌شود. این مدل علاوه بر تشویق سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی‌های پاک، به مدیریت تقاضای بار شبکه و کاهش هزینه‌های تولید برق حرارتی کمک شایانی می‌کند.

ناترازی برق و گاز ایجاد شده طی سال‌های اخیر صنعتگران را در فصول گرم و سرد سال با چالش جدی مواجه نموده است. از این رو وزارت نیرو جهت رفع این چالش از طریق مشارکت صنایع پر مصرف در احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر اقدام به تهاتر برق تولیدی از این قبیل نیروگاه‌ها نموده است. مطابق این مصوبه، صنایعی که اقدام به احداث نیروگاه تجدیدپذیر در هر نقطه از کشور نمایند، به میزان برق تولیدی نیروگاه، بنا به درخواست صنعت، برق هموار در نقطه مصرف دریافت خواهند کرد که این برق مشمول قطع و محدودیت شبکه نخواهد شد.

برای تعیین میزان عدم خاموشی دریافتی نیروگاه‌های خورشیدی از فرمول زیر استفاده می‌شود که در آن:



$$P = \frac{E \times 1/3}{d \times \alpha}$$

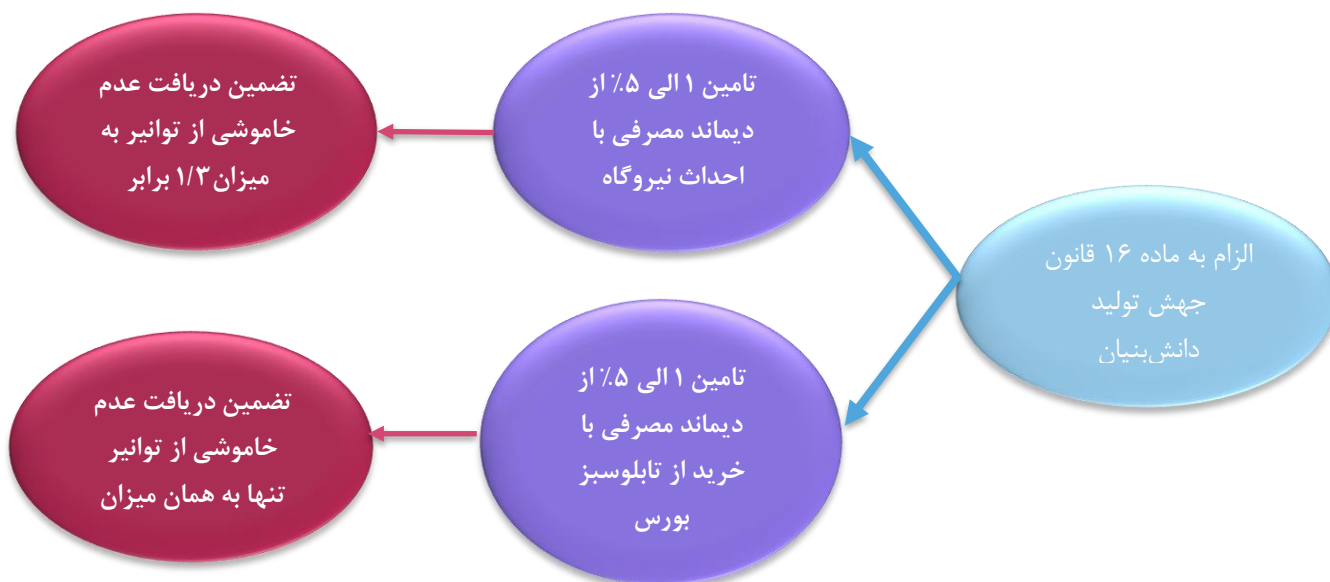
P : توان ثابت معاف از خاموشی

E: برآورد تولید انرژی ماهانه نیروگاه خورشیدی برحسب مگاوات ساعت

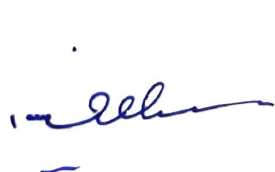
d: تعداد روزهای کاری صنعت در هر ماه

α : بازه زمانی درخواستی صنعت برای دریافت برق هموار در هر روز

شکل ۶ خلاصه‌ای از روش‌های مختلف تحقق الزامات ماده ۱۶ قانون جهش تولید دانش بنیان را نشان می‌دهد.



شکل ۶: نمودار روش‌های تحقق الزامات ماده ۱۶ قانون جهش تولید دانش بنیان





۲- بررسی موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های محل احداث

۲-۱- ویژگی‌های زمین مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی

یکی از مهمترین عوامل در احداث نیروگاه‌های خورشیدی که در برگیرنده مجموعه‌ای از عوامل کیفی و کمی می‌باشد، انتخاب محل احداث نیروگاه‌های خورشیدی است. بطور مرسوم، نیروگاه‌های خورشیدی عمدتاً در مناطق دور از مناطق شهری که تابش خورشید زیاد است، نصب می‌شوند. در نقطه مقابل، این موضوع سبب می‌گردد که انتقال و توزیع انرژی تولیدی نیروگاه با مشکل مواجه گردد. بنابراین، معیارها و عوامل مختلفی باید در انتخاب محل احداث نیروگاه‌های خورشیدی در نظر گرفته شوند.

در انتخاب بهینه زمین یک نیروگاه خورشیدی بطور کلی، عواملی مانند تابش خورشیدی و به حداکثر رساندن بازده انرژی، آب و هوا، آلاینده‌های پیرامونی، محیط زیست، مسائل مربوط به مجوز باید در نظر گرفته شوند. علیرغم این، مهمترین عوامل برای انتخاب بهترین مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی عبارتند از:

- میزان تابش خورشید؛
- فاصله محل انتخابی تا شبکه برق؛
- شیب زمین انتخاب شده؛
- پوشش زمین؛
- متوسط دمای محیط؛
- فاصله جاده‌ها تا محل نیروگاه خورشیدی؛
- فاصله از مناطق شهری؛
- نوع کاربری زمین؛
- در دسترس بودن برخی از زیرساخت‌ها مانند آب؛

در جدول ۱، معیارها، حداقل نیازمندی‌ها و محدودیت‌ها برای عوامل فوق بیان شده است.

جدول ۱: معیارهای در نظر گرفته شده جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی

ردیف	معیارهای ارزیابی	محدودیت‌ها
۱	حداقل شدت انرژی تابشی سالیانه	$1800 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$
۲	شیب زمین	$< 3-5^\circ$
۳	شبکه برق پیرامونی	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
۴	نزدیکی به مناطق پرجمعیت	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
۵	نزدیکی به مجتمع‌های صنعتی	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
۶	نزدیکی به جاده‌ها	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
۷	متوسط دمای محیط	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
۸	نزدیکی به مناطق مسکونی بویژه ساختمان‌های بلندمرتبه	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
۹	نزدیکی به سکونتگاه‌ها	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
۱۰	پوشش زمین	عاری از کوه، جنگل، آب، ساختمان، تالاب، دشت سیلابی ترجیحاً پوشش گیاهی کم و متوسط، بوته‌زارها، زمین‌های بایر، محل‌های دفن زباله بسته، زمین‌های معدنی متروکه.
۱۱	مناطق حفاظت شده	پارک‌های ملی و منطقه‌ای، مناطق میراث فرهنگی، سایت‌های دیرینه شناسی و باستان شناسی
۱۲	قنات‌های قدیمی	عدم وجود قنات
۱۳	مناطق مرتفع و خطوط ساحلی	مطابق با توضیحات ادامه گزارش

بر اساس آنچه که در جدول ۱ ارائه شده است:

- بدیهی است هر چه میزان تابش خورشیدی بیشتر باشد، الکتریسیته بیشتری توسط یک پنل خورشیدی تولید می‌شود. بر این اساس و بر اساس برآوردهای صورت گرفته، برای اینکه سیستم‌های فتوولتائیک از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند، معمولاً به شدت انرژی تابشی به میزان حداقل ۱۸۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع در سال نیاز می‌باشد.
- دمای هوا بطور مستقیم بر عملکرد نیروگاه خورشیدی و دوره بهره‌برداری آن تأثیر می‌گذارد. پارامترهای الکتریکی هر سلول خورشیدی بطور مرسوم در شرایط آزمایش استاندارد (STC) تعیین می‌شود (شدت توان تابشی 1000 W/m^2 و دمای کار سلول خورشیدی 25°C درجه سانتیگراد است). بنابراین، بدیهی است که کار در شرایط STC منجر به راندمان بیشتر نیروگاه‌های خورشیدی می‌شود. شایان ذکر است که علاوه بر دمای هوا، عوامل دیگر اقلیمی مانند میزان رطوبت و نیز شرایط بهره‌برداری از پنل‌های خورشیدی (مانند نظافت سطح پنل‌ها)، تأثیری مستقیم در میزان راندمان یک نیروگاه خورشیدی دارند.



- یکی از مهمترین مسائل که هزینه قابل توجهی در احداث نیروگاه‌های خورشیدی را ایجاد می‌کند، نزدیکی محل احداث نیروگاه به شبکه برق می‌باشد. در واقع، هرچه یک پروژه به خطوط یا پست‌های برق موجود نزدیکتر باشد، اتصال آن به شبکه ارزان‌تر خواهد بود و تلفات خط و هزینه‌های انتقال کمتر خواهد بود. با اینحال، مطالعات نشان می‌دهد که سایت‌های نیروگاه‌های خورشیدی نزدیک‌تر به مناطق با تقاضای برق بالا مطلوب‌تر هستند، زیرا مسافت انتقال انرژی به حداقل رسیده و هزینه‌های مربوط به تلفات خط و انتقال توان را کاهش می‌دهد.
- از آنجاییکه ساخت جاده گران است، انتخاب مکان‌های نزدیک‌تر به جاده‌های موجود هزینه پروژه را به میزان قابل توجهی کاهش داده و از سویی دیگر می‌تواند اثرات زیست محیطی مرتبط با ساخت جاده‌های جدید را به حداقل برساند. لازم به ذکر است که زمین‌های بالقوه مناسب باید دارای جاده‌هایی به عرض حدود ۳ متر برای نگهداری مناسب از مزرعه خورشیدی باشند.
- خانه‌های چند طبقه یا هرگونه اجسام بلند مانند درختان یا کوه‌ها ممکن است مانع از رسیدن نور خورشید به مزرعه خورشیدی در ساعات خاصی از روز شوند. این عامل بطور مستقیم بر عملکرد نیروگاه‌های خورشیدی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، مناسب است که مزارع خورشیدی دور از این نوع عوارض، قرار گیرند.
- برخی مطالعات نزدیک بودن پروژه‌ها به مناطق شهری با تقاضای بالای برق را مطلوب می‌دانند، در حالیکه برخی دیگر، نزدیک بودن بیش از حد به مناطق مسکونی را نامطلوب می‌دانند. در واقع دلایل اصلی این نگرانی، افزایش پتانسیل مخالفت عمومی و احتمال ممانعت از رشد شهری است. علاوه بر این، فاصله مناسب از سایت‌های صنعتی نیز بسیار مهم است. زیرا بسیاری از سایت‌ها دارای آلودگی هستند که باعث کاهش راندمان نیروگاه‌های خورشیدی می‌شود.
- با توجه به پوشش زمین، منطقه مناسب بالقوه جهت احداث نیروگاه خورشیدی باید عاری از کوه، جنگل، آب، ساختمان، تالاب، دشت سیلابی و ترجیحاً دارای پوشش گیاهی کم یا متوسط باشد.
- در مناطق ساحلی، فاصله حداقل ۱۰۰۰ متری از خط ساحلی می‌تواند مزرعه خورشیدی را از پیامدهای بلایای طبیعی ناشی از دریا محافظت کند. یکی دیگر از دلایل اجتناب از مناطق ساحلی هنگام نصب یک مزرعه خورشیدی، قیمت بالاتر آن‌ها است که باعث می‌شود چنین تأسیساتی مقرون به صرفه نباشد. علاوه بر این، احداث نیروگاه خورشیدی در مناطق مرتفع نیز هزینه حمل و نقل بالایی دارند و لذا بطور مرسوم جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی، پیشنهاد نمی‌گردند.



مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW بهادران یزد

Doc. No: ۲۰۲۰۱.B.EL.REP.۰۱۰

Page: ۱۷ of ۴۵

Document Title:

مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

Rev. ۰۰



شکل ۷: نمای نزدیک از محل احداث نیروگاه



شکل ۸: نمایی از زمین محل احداث نیروگاه در نرم افزار google earth

با توجه به این شکل ها و موقعیت ارائه شده، ویژگی های زمین در نظر گرفته شده به شرح ذیل است:

- زمین در نظر گرفته شده در حدود ۱۵۰ هکتار می باشد که با توجه به استاندارد ۱/۲ هکتار زمین برای هر مگاوات نیروگاه خورشیدی (با استراکچر ثابت - Fix Tilt) برای احداث حدود ۱۰۰ مگاوات نیروگاه خورشیدی، مناسب می باشد؛
- همچنین در بخش شمالی و جنوب شرقی زمین، جاده خاکی واقع شده است که رفت و آمد را به محل احداث نیروگاه ممکن می سازد.

۲-۳- تحلیل شرایط اقلیمی شهرستان مهریز (بهادران)

جزئیات مربوط به میانگین حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی، میزان بارش سالیانه، سرعت و جهت وزش باد و میزان گرد و غبار در محل احداث نیروگاه خورشیدی واقع در شهرستان مهریز (بهادران)، بصورت جامع و با جزئیات کامل در مدرک مطالعات هواشناسی با شماره سند -----۲۰۲۵۱ گردآوری خواهد شد. لذا، به منظور جلوگیری از تکرار مکررات، از ذکر مجدد این اطلاعات در این بخش صرف نظر شده است.

۳- شبیه سازی نیروگاه خورشیدی با استفاده از نرم افزار PVSyst

در استفاده از نرم افزار PVSyst برای طراحی نیروگاه خورشیدی، اولین گام انتخاب دقیق نوع و برند پنل های خورشیدی و اینورترها و تعیین مشخصات فنی آنها است. در این مرحله، باید اطلاعات کاملی از توان نامی پنل ها، نوع فناوری، برند سازنده و ویژگی های فنی اینورترها مانند ظرفیت و راندمان، جمع آوری و به نرم افزار وارد شود. این اطلاعات به عنوان ورودی های اصلی برای شبیه سازی ها و طراحی نیروگاه استفاده می شوند و تأثیر قابل توجهی بر دقت نتایج و طراحی های بعدی مانند تحلیل عملکرد و بهینه سازی سیستم خواهند داشت.

۳-۱- رتبه بندی پنل ها و اینورترهای خورشیدی

نوع، کیفیت، کارایی، طول عمر و سازگاری با شرایط محیطی تجهیزات اصلی یک نیروگاه خورشیدی از جمله پنل و اینورتر، نقشی اساسی در راندمان اینگونه نیروگاه ها دارد. در انتخاب و مقایسه برندهای مختلف پنل های خورشیدی، توجه به عوامل کلیدی مانند کارایی، قابلیت اطمینان، هزینه، تست های آزمایشگاهی (از جمله مقاومت در برابر دما، تابش، تنش های مکانیکی و) مهم است. از سویی دیگر، برندهای مختلفی برای اینورتر نیروگاه خورشیدی در دنیا وجود دارند که هر یک مشخصات و کاربردهای مربوط به خود را دارند. بر اساس منابع معتبری که برندهای مختلف پنل و اینورتر خورشیدی در سال های اخیر را رتبه بندی کرده اند، در جداول ۳ و ۴ نتایج حاصل از این بررسی ها، بیان شده است.

• مقایسه برندهای مختلف پنل خورشیدی بر اساس Tier ۱، PVEL، RETC؛

• مقایسه برندهای مختلف اینورتر بر اساس PVTIME، Wood Mackenzie، Elum-energy.com؛

جدول ۳: جمع بندی برندهای برتر پنل خورشیدی

بر اساس Tier ۱	بر اساس PVEL	بر اساس RETC
Jinko Trina Solar JA Solar Tongwei Canadian solar	Jinko Trina Solar JA Solar Qcells Astronergy	Trina Solar Qcells Jinko Longi solar JA solar



جدول ۴: جمع بندی برندهای برتر اینورتر

بر اساس PVTIME	بر اساس Elum-energy	بر اساس Wood Mackenzie
Huawei / Sungrow SMA Goodwe Solis Growatt	Huawei Sungrow SMA Fronius Solis	Huawei Sungrow Solis Growatt GoodWe

۳-۲- پنل و اینورتر نیروگاه خورشیدی بهادران

با توجه به توضیحات ارائه شده در جداول ۳ و ۴ و با در نظر گرفتن جلسات فنی برگزار شده، در حال حاضر پنل TrinaSolar و اینورتر Sungrow به عنوان تجهیزات اصلی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی شهرستان مهریز (بهادران) انتخاب شده است که جزئیات آن‌ها در ادامه بیان شده است.

۳-۳- پنل خورشیدی

در این نیروگاه از پنل خورشیدی ۷۲۰ وات N-type/ Bifacial/ Monocrystalline/ Topcon ساخت شرکت Trina Solar کشور چین استفاده شده است. این شرکت یکی از پنج تأمین کننده برتر پنل خورشیدی در جهان است. کاتالوگ این پنل در پیوست شماره ۱، ارائه شده است.

۳-۴- اینورتر خورشیدی

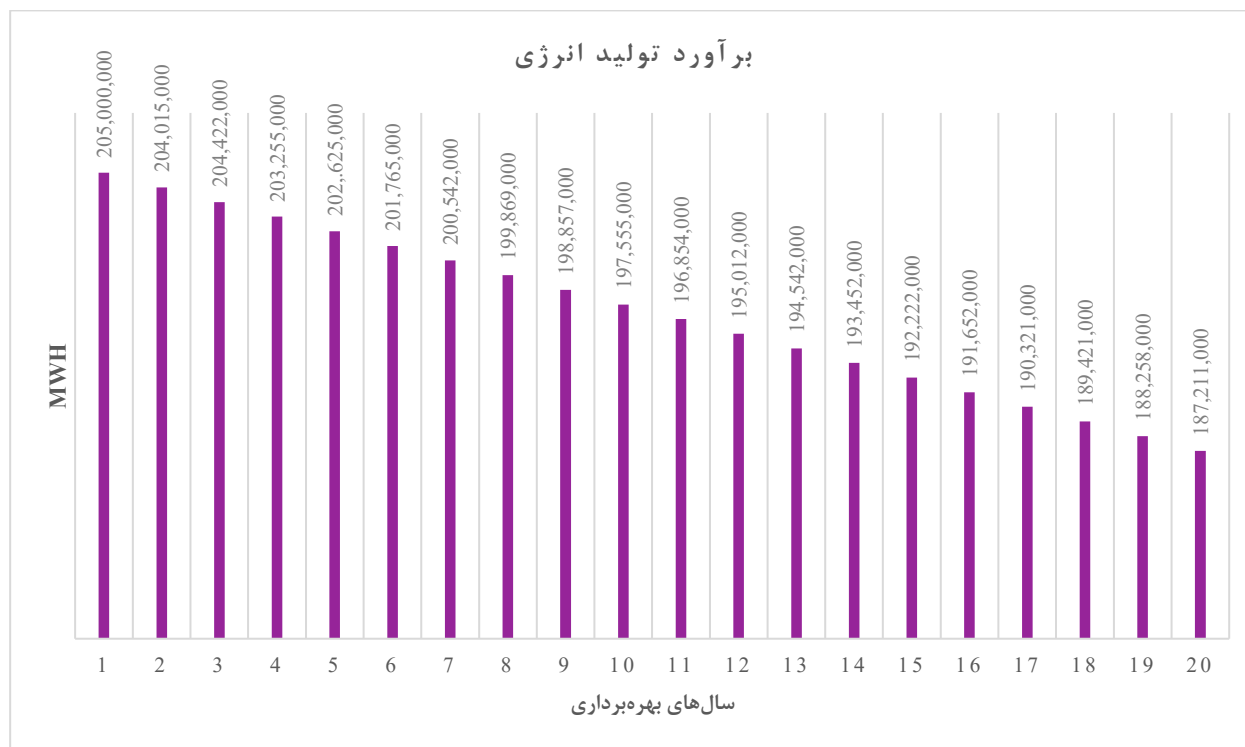
در این نیروگاه ما میتوانم از دو نوع اینورتر استفاده نمایم، که بستگی به نوع طراحی و پیکربندی دارد، گزینه اول از اینورتری سنترال با ظرفیت ۱۱۰۰KW در TRUNKEY STATION، که برحسب ظرفیت TRUNKEY STATION تعداد و ظرفیت اینورترها تعیین خواهد شد. گزینه دوم از اینورتر خورشیدی ۳۵۰KW با پیکربندی و طراحی STRING، بطور نمونه میتوان اینورترها را از سازندگان چینی همانند شرکت Sungrow تأمین کرد. این شرکت یکی از پنج تأمین کننده برتر اینورتر خورشیدی در جهان است. مطابق با آخرین گزارش نشریه معتبر Wood Mackenzie، محصولات اینورتر خورشیدی شرکت Sungrow برای پنجمین سال متوالی در زمره ۳ تولیدکننده برتر جهان قرار گرفت. این شرکت به لحاظ حجم فروش و کیفیت بالا (متناسب با قیمت مقرون به صرفه این محصولات) در سال ۲۰۲۱ مقام اول جهانی را کسب نموده است. کاتالوگ اینورتر به کار رفته در این طراحی در پیوست شماره ۲، ارائه خواهد شد.

۳-۵- مطالعات نرم افزار PVsyst

در این بخش از گزارش و مطابق با مدل های در نظر گرفته شده برای پنل و اینورتر و نیز موقعیت جغرافیایی محل احداث طرح، نتایج مطالعات بدست آمده از نرم افزار PVsyst ارائه شده است. نتایج کامل شبیه سازی نیروگاه در نرم افزار PVsyst در پیوست شماره ۳ ارائه شده است. مطابق با نتایج بدست آمده از این نرم افزار میزان انرژی تولیدی نیروگاه در سال اول بهره برداری مطابق با ذیل است:

۲۰۵,۰۰۰,۰۰۰kWh = انرژی تولیدی نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی در سال اول

همچنین، با در نظر گرفتن خروجی نرم افزار PVsyst و توان تولیدی نیروگاه در سال اول بهره برداری و نیز با توجه به راندمان پنل های خورشیدی در نظر گرفته شده در پروژه، نمودار تولید سالیانه انرژی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW بهادران در طول مدت زمان ۲۰ سال بهره برداری، مطابق با شکل ، خواهد بود. در این شکل، محور عمودی بیانگر میزان انرژی تولیدی نیروگاه بر حسب مگاوات ساعت بوده و محور افقی نیز بیانگر سال های بهره برداری از نیروگاه می باشد.

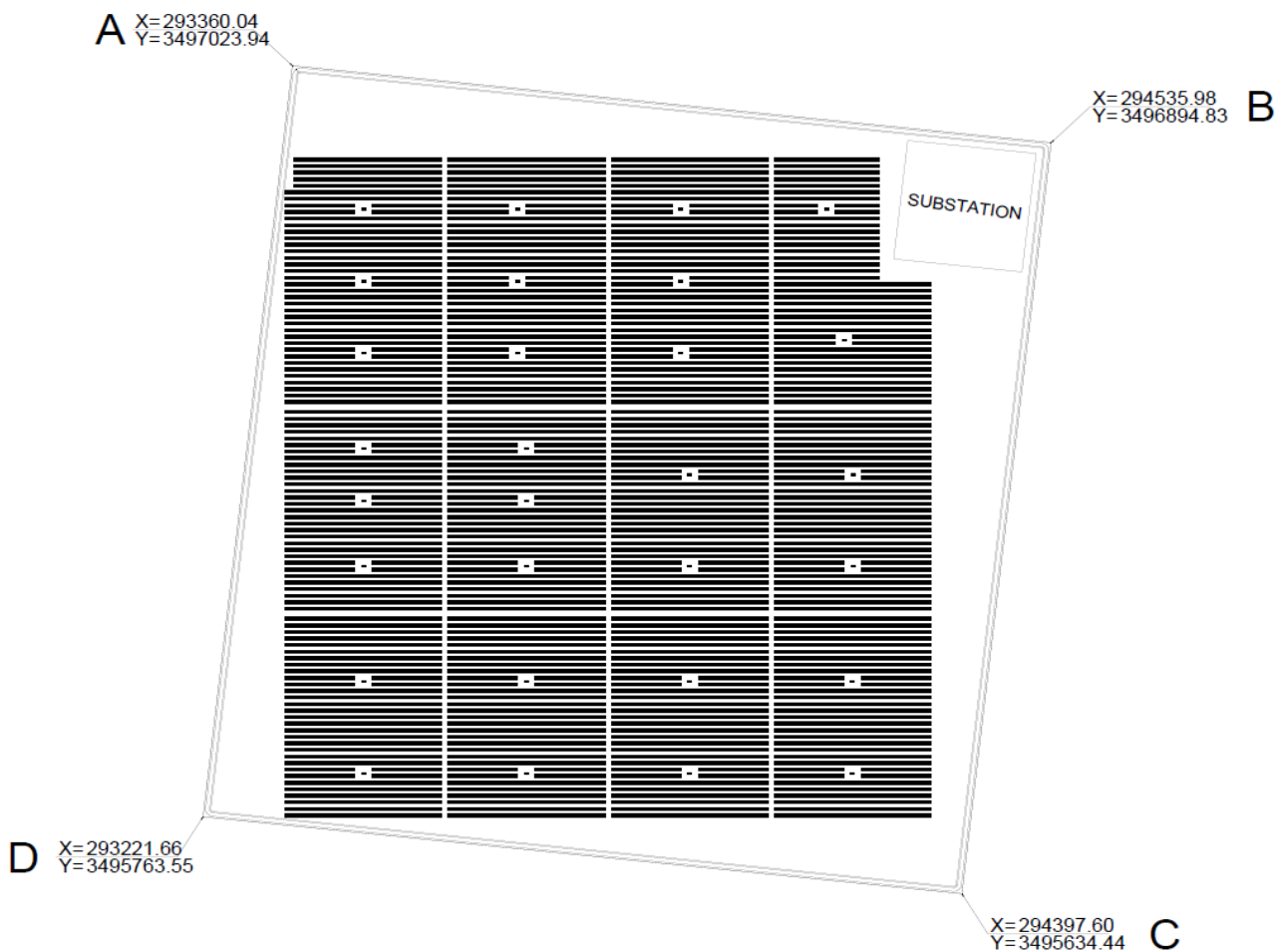


شکل ۹: نمودار تولید سالیانه نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی شهرستان مهریز (بهادران) در طول ۲۰ سال مدت بهره برداری

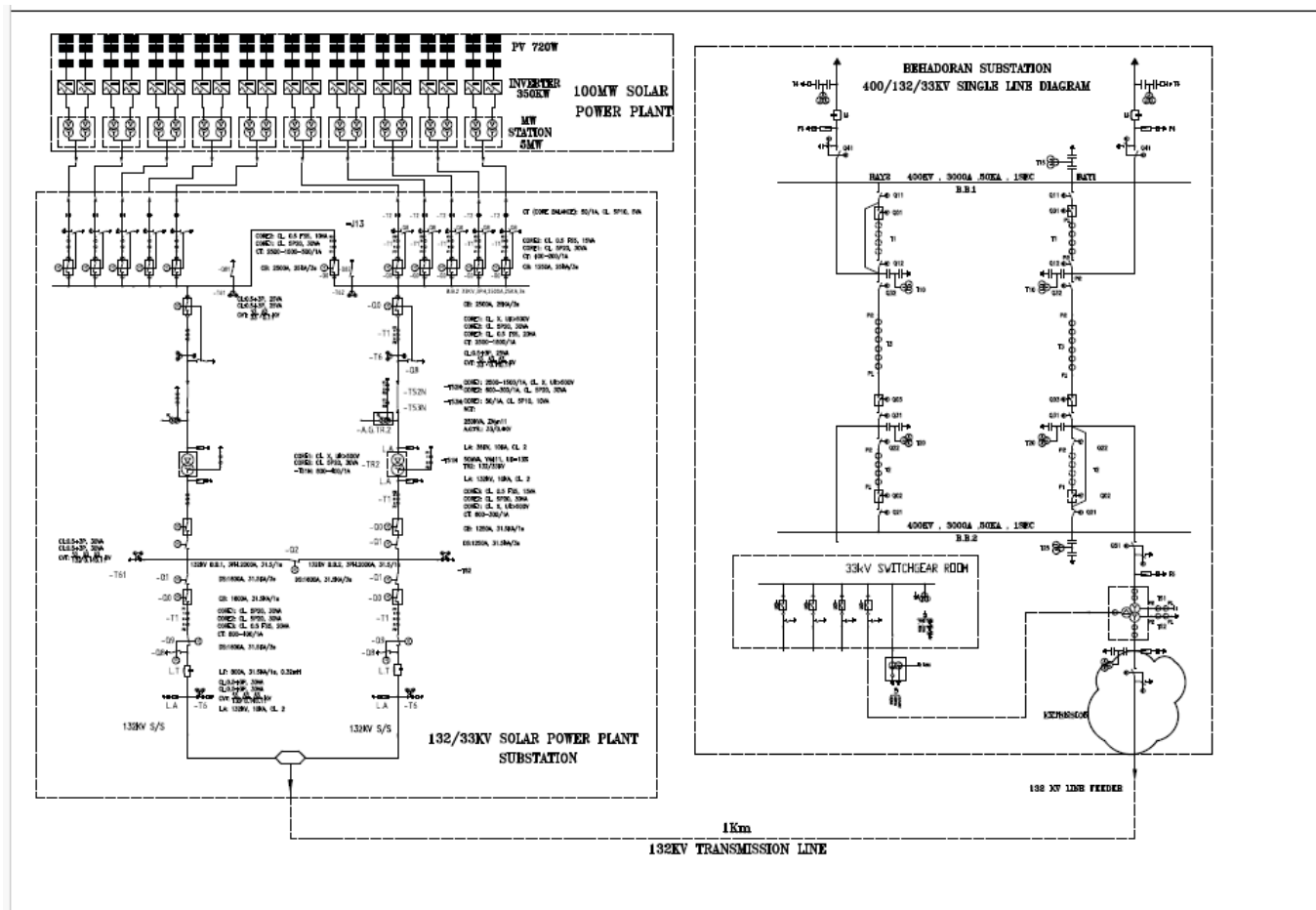


۴- اتصال به شبکه نیروگاه خورشیدی بهادران

عطف به جلسه مورخ ۱۴۰۴/۰۷/۰۱ با معاونت برنامه ریزی و تحقیقات برق منطقه‌ای یزد، با توجه به مختصات اعلام شده و با شرط احداث پست ۱۳۲KV در محل نیروگاه و توسعه فیدر ۱۳۲KV در پست ۴۰۰/۱۳۲/۳۳KV بهادران موافقت اولیه با احداث نیروگاه خورشیدی بظرفیت ۱۰۰ مگاوات در منطقه بهادران صورت گرفته است که مفاد مذاکرات و موافقت شرکت برق منطقه‌ای یزد طی یک گزارش اعلام گردید.



نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی



شکل ۱۰: چگونگی اتصال به شبکه نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی خورشیدی به شبکه بالادست

۵- ارزیابی جامع اثرات زیست محیطی نیروگاه خورشیدی

ارزیابی جامع اثرات زیست محیطی نیروگاه خورشیدی، مستلزم تحلیل دقیق پیامدهای اکولوژیکی ساخت و بهره‌برداری از نیروگاه‌های خورشیدی بر محیط‌زیست است. این فرآیند شامل بررسی تغییرات در پوشش زمین، تاثیر بر اکوسیستم‌های محلی و زیستگاه‌های طبیعی، مصرف منابع آب و تاثیر بر تنوع زیستی منطقه می‌شود. علاوه بر این، میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و نقش نیروگاه در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۵-۱- اثرات مثبت زیست محیطی نیروگاه‌های فوتوولتاییک

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های احداث نیروگاه‌های خورشیدی فوتوولتاییک، اثرات مثبتی است که این نیروگاه می‌تواند بر روی محیط زیست بگذارد. این نیروگاه‌ها با استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشید، نقش مؤثری در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و حفاظت از منابع طبیعی ایفا می‌کنند. در ادامه به بررسی دقیق‌تر هر یک از اثرات پرداخته شده است.

۵-۱-۱- کاهش گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با نیروگاه‌های حرارتی

نیروگاه‌های حرارتی، بعنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تولید برق در جهان، سهمی در حدود ۸۵ درصد از ظرفیت اسمی تولید برق در ایران را به خود اختصاص می‌دهند. این نیروگاه‌ها مجموعه‌ای از آلاینده‌های زیست‌محیطی را در فرآیند احتراق سوخت‌های فسیلی نظیر زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی آزاد می‌کنند. مهم‌ترین گاز منتشر شده از این نیروگاه‌ها، دی‌اکسید کربن (CO_2) است که سهم عمده‌ای در گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی دارد. طبق گزارش‌های سازمان بین‌المللی انرژی (IEA)، نیروگاه‌های حرارتی بیش از ۴۰ درصد از انتشار جهانی دی‌اکسید کربن (CO_2) را به خود اختصاص می‌دهند. در مقابل، نیروگاه‌های خورشیدی بدلیل حذف فرآیندهای احتراقی، یکی از مؤثرترین راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش تولید برق به‌شمار می‌روند.

در ایران و بر اساس داده‌های موجود در آخرین ترازنامه انرژی منتشر شده که مربوط به سال ۱۴۰۱ است، میزان تولید انواع آلاینده‌ها در بخش نیروگاه‌های حرارتی و صنایع به شرح جدول ۳ می‌باشد. مطابق با این جدول، نیروگاه‌های حرارتی شامل نیروگاه گازی، بخار، سیکل ترکیبی و دیزلی به ازای هر مگاوات ساعت تولید برق، حدود ۷۲۳ کیلوگرم CO_2 منتشر می‌کنند که جایگزینی این منابع با انرژی خورشیدی می‌تواند بطور مستقیم از انتشار این حجم از آلاینده جلوگیری کند. بر اساس مدلسازی صورت گرفته در محیط نرم‌افزار PVsyst، میزان انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی بهادران در سال اول بهره‌برداری از آن در حدود ۲۰۵,۰۰۰ MWh می‌باشد. بنابراین، نسبت به یک نیروگاه حرارتی که همین میزان انرژی را تولید می‌کند؛

- در صورت احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی بهادران، ۱۷۴,۳۴۵ تن دی‌اکسید کربن کمتری در سال وارد جو می‌شود که این میزان بر اساس رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\text{میزان عدم تولید } CO_2 \text{ (kg)} = \text{ضریب } CO_2 \times \text{میزان انرژی سالانه تولیدی نیروگاه (kWh)}$$

- یک درخت بالغ حدود ۲۲ کیلوگرم دی‌اکسید کربن را در سال جذب می‌کند، بنابراین این میزان عدم تولید دی‌اکسید کربن معادل جذب میزان دی‌اکسید کربنی است که توسط بیش از یک و نیم میلیون درخت می‌تواند صورت بگیرد؛



مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW بهادران یزد

Doc. No: ۲۰۲۰۱.B.EL.REP.۰۱۰

Page: ۲۰ of ۴۰

Document Title:

مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

Rev. ۰۰

- همچنین با فرض آنکه یک خودرو به طور متوسط در طول سال ۱۵۰۰۰ کیلومتر حرکت کند و مصرف بنزین آن به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر ۸ لیتر باشد، حدود ۳ تن دی اکسید کربن در سال تولید می کند؛ بنابراین این میزان عدم انتشار دی اکسید کربن معادل حدود ۵۸,۱۱۵ خودرویی است که در طول سال در حرکت هستند. مطابق با توضیحات ارائه شده و با توجه به ضرایب بیان شده در جدول ۵، جزئیات میزان عدم تولید انواع آلاینده ها در نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی بهادران در سال اول بهره برداری، در شکل ۱۱ نشان داده شده است.





مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW بهادران یزد

Doc. No: ۲۰۲۰۱.B.EL.REP.۰۱۰

Page: ۲۶ of ۴۵

Document Title:

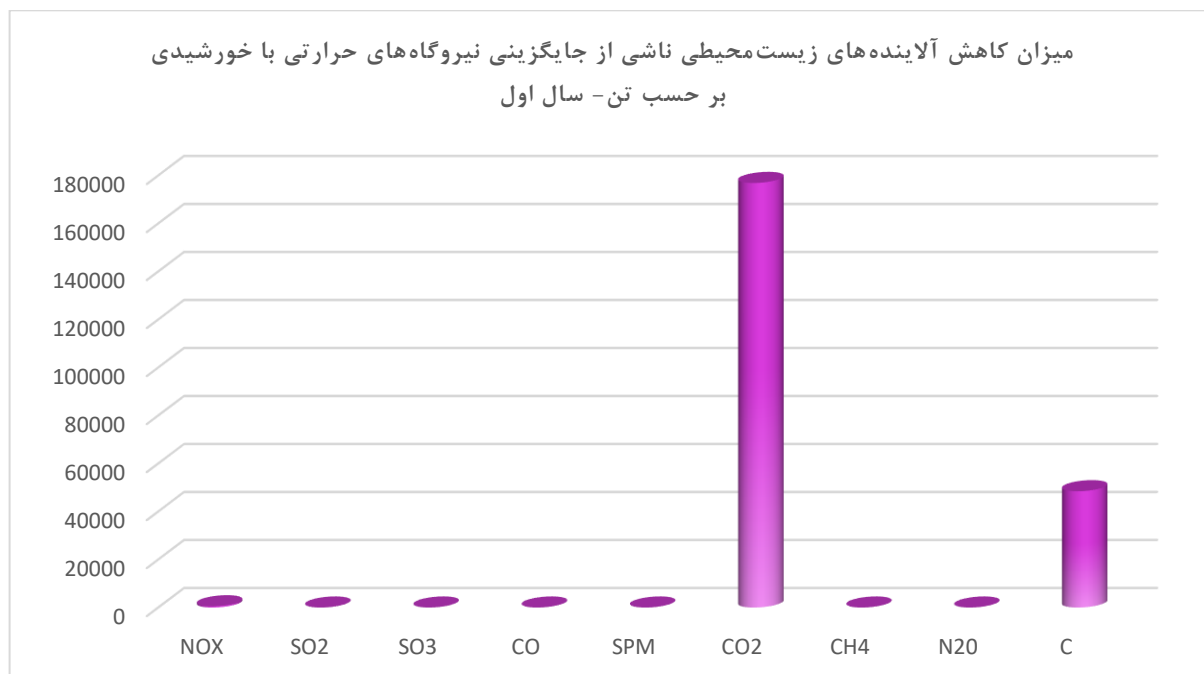
مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

Rev. ۰۰

جدول ۵: شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در بخش نیروگاهی کشور

شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش نیروگاهی کشور در سال ۱۴۰۱ (Kg/MWh)									
C	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	SPM	CO	SO ₃	SO ₂	NO _x	گازهای آلاینده
۲۰۶,۱۹	۰,۰۰۳	۰,۰۲	۷۵۶,۰۲۹	۰,۱۴۶	۲,۰۱۱	۰,۰۲۵	۵,۷۳۱	۲,۱۵۹	بخاری
۲۳۰,۷۰۸	۰,۰۰۲	۰,۰۱۷	۸۴۵,۹۳۱	۰,۱۱۴	۰,۱۱۹	۰,۰۰۹	۰,۳۱۹	۲,۳۹۶	گازی
۱۵۰,۴۰۹	۰,۰۰۲	۰,۰۱۲	۵۵۱,۵	۰,۰۸۷	۰,۰۹۱	۰,۰۱	۰,۴۶۱	۲,۶۵۴	سیکل ترکیبی
۲۲۴,۱۶۵	۰,۰۰۷	۰,۰۳۴	۸۲۱,۹۴	۰,۲۹۴	۰,۰۰۱	۰,۰۷۱	۴,۵۸	۱,۵۱۷	دیزلی
۱۹۷,۱۱۵	۰,۰۰۳	۰,۰۱۷	۷۲۲,۷۵۵	۰,۱۲۳	۱,۰۸۷	۰,۰۱۸	۳,۱۴۷	۲,۳۴۱	میانگین وزارت نیرو
۲۰۱,۴۶۹	۰,۰۰۲	۰,۰۱۶	۷۳۸,۷۱۹	۰,۱۱۶	۰,۴۳۵	۰,۰۱۶	۳,۶۱	۲,۲۶۵	بخاری
۱۹۸,۸۶۳	۰,۰۰۲	۰,۰۱۵	۷۲۹,۱۶۵	۰,۱	۰,۰۶۶	۰,۰۰۸	۰,۳۸	۱,۴۱۷	گازی
۱۶۹,۰۲	۰,۰۰۲	۰,۰۱۲	۶۱۹,۷۴۱	۰,۰۸۷	۰,۰۵۸	۰,۰۱	۰,۴۵۵	۲,۷۰۸	سیکل ترکیبی
۱۷۹,۰۷۱	۰,۰۰۲	۰,۰۱۳	۶۵۶,۵۹۳	۰,۰۹۳	۰,۱۰۱	۰,۰۱	۰,۷۸۹	۲,۳۸	میانگین بخش خصوصی
۳۱۰,۶۲۱	۰,۰۰۱	۰,۰۱۳	۱۱۳۸,۹۴۵	۰,۰۷۲	۰,۳۷۹	۰,۰۰۱	۰,۰۹۹	۲,۸۷۷	صنایع بزرگ
۱۹۷,۲۶۰۵۷	۰,۰۰۲۸۶	۰,۰۱۸۰۰	۷۲۳,۲۸۹۲۹	۰,۱۳۴۸۶	۰,۳۹۷۲۹	۰,۰۲۱۲۹	۲,۲۱۹۴۳	۲,۱۵۹۴۳	میانگین نیروگاه‌ها


پروژه احداث نیروگاه خورشیدی
شماره پروانه: ۳۳۹-۴۵



شکل ۱۱: میزان کاهش آلاینده های زیست محیطی در سال اول بهره برداری نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی بهادران

۵-۱-۲- بهبود کیفیت هوا و سطح سلامتی انسان ها

همانطور که پیش تر نیز اشاره شد، اصلی ترین محصول نیروگاه های حرارتی، دی اکسید کربن (CO_2) و پس از آن کربن خالص (دوده) است. کربن خالص (دوده) معمولاً در شرایطی تولید می شود که احتراق سوخت های فسیلی بطور کامل انجام نمی گیرد. این اتفاق، بویژه در نیروگاه هایی که از سوخت زغال سنگ یا نفت با کیفیت پایین استفاده می کنند، رایج تر است. علاوه بر CO_2 ، این نیروگاه ها دی اکسید گوگرد (SO_2) و اکسیدهای نیتروژن (NOx) تولید می کنند که تأثیرات مخربی بر کیفیت هوا و اکوسیستم ها دارند. SO_2 عامل اصلی باران اسیدی است که با کاهش pH آب های سطحی و خاک، زیستگاه های طبیعی و پوشش های گیاهی را به مرور نابود می کند. از سوی دیگر، NOx علاوه بر نقش در تشکیل باران اسیدی، در حضور نور خورشید با ترکیبات آلی فرار (VOCs) واکنش داده و به تشکیل آزن سطحی و مه دود فتوشیمیایی منجر می شود. این مه دود، کیفیت هوا را کاهش داده و منجر به مشکلات جدی سلامت عمومی از جمله بیماری های ریوی و قلبی-عروقی می شود.

نیروگاه های حرارتی همچنین منبع انتشار ذرات معلق^۱ به ویژه PM_{10} و $PM_{2.5}$ هستند که بدلیل اندازه کوچک، قابلیت نفوذ به سیستم تنفسی انسان را دارند و در درازمدت منجر به بیماری هایی نظیر سرطان ریه و بیماری های قلبی می شوند.

^۱ Particulate Matter



علاوه بر این، فلزات سنگین نظیر جیوه (Hg)، کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) که عمدتاً از احتراق زغال سنگ حاصل می‌شوند، تهدیدی جدی برای سلامت انسان و حیات آبیان محسوب می‌شوند. جیوه، بخصوص، در زنجیره غذایی متمرکز شده و اثرات نورو تاکسیک شدیدی بر موجودات زنده دارد. آمارهای رسمی در ایران نشان می‌دهد سالیانه پنجاه هزار نفر در اثر آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند.

در مقابل، استفاده از انرژی خورشیدی بویژه در مناطق شهری، می‌تواند تأثیرات مثبتی بر کیفیت هوا داشته باشد چرا که نیروگاه‌های خورشیدی در دوران بهره‌برداری خود هیچ یک از گازهای آلاینده نظیر دی‌اکسید کربن (CO_2)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، دی‌اکسید گوگرد (SO_x) و ذرات معلق ($\text{PM}_{2.5}$) را منتشر نمی‌کنند؛ بنابراین استقرار این نیروگاه خورشیدی در یک منطقه، می‌تواند بهبود چشمگیری در شاخص کیفیت هوا (AQI) ایجاد کند. در عین حال، کاهش آلاینده‌ها بطور مستقیم منجر به کاهش هزینه‌های بهداشتی و درمانی مرتبط با بیماری‌های تنفسی می‌شود. این موضوع بطور مستقیم می‌تواند منجر به بهبود کیفیت هوا و کاهش بیماری‌های ریوی، قلبی و سرطان‌های ناشی از آلودگی هوا شود.

۵-۱-۳- کاهش تغییرات اقلیمی و کمک به حفظ اکوسیستم

نیروگاه‌های خورشیدی نقش کلیدی در کاهش تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند، زیرا از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی جلوگیری می‌کنند. دی‌اکسید کربن (CO_2)، به عنوان یکی از گازهای گلخانه‌ای اصلی، عامل عمده گرمایش جهانی است و جایگزینی انرژی فسیلی با انرژی خورشیدی، انتشار این گاز را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد. برای مثال، همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره کردیم یک نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی می‌تواند از انتشار ده‌ها هزار تن CO_2 در سال جلوگیری کند. این کاهش، علاوه بر کمک به کاهش دمای جهانی، اثرات مخرب تغییرات اقلیمی نظیر طوفان‌های شدید، ذوب یخ‌های قطبی، و بالا آمدن سطح دریاها را نیز محدود می‌کند.

این آلاینده‌ها، در کنار اثرات فوری بر کیفیت هوا و سلامت انسان، پیامدهای بلند مدتی نیز برای اکوسیستم‌های طبیعی دارند که بازسازی آن‌ها به دلیل تخریب گسترده و تجمع آلاینده‌ها در محیط، مستلزم دهه‌ها تلاش و صرف منابع اقتصادی کلان است. در مقایسه با سایر پروژه‌های صنعتی، نیروگاه‌های خورشیدی بویژه در مناطق وسیع، نیاز به تغییرات محدودی در کاربری زمین دارند. در واقع، پنل‌های خورشیدی معمولاً بر روی زمین‌های کشاورزی غیرمفید یا مناطق بایر نصب می‌شوند که فشار زیادی بر اکوسیستم‌های بومی وارد نمی‌کنند. تمامی این تحلیل‌ها، اهمیت جایگزینی نیروگاه‌های حرارتی با منابع تجدیدپذیر را دو چندان می‌کند.

شماره ۱۰۰، انجمن جابریتی نیرو

 نیروی جوان سلامت بخیر
 ۱۳۹۵



۵-۱-۴- صرفه جویی در منابع آبی

جایگزینی یک نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی به جای یک نیروگاه حرارتی می تواند تأثیرات چشمگیری بر صرفه جویی در مصرف آب داشته باشد. نیروگاه های حرارتی معمولاً به آب زیادی برای فرآیندهای خنک سازی و تولید بخار نیاز دارند. این آب ها، که از منابع سطحی یا زیرزمینی تأمین می شوند، به دلیل تبخیر، اتلاف گرما، و تخلیه پساب گرم به محیط زیست، مصرف می شوند و در عین حال فشار زیادی بر منابع آبی به ویژه در مناطق کم آب ایجاد می کنند.

بطور متوسط، یک نیروگاه حرارتی برای تولید یک مگاوات ساعت برق حدود ۲/۵ مترمکعب آب مصرف می کند. در این صورت با فرض اینکه انرژی تولیدی اینگونه نیروگاه ها به اندازه انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی بهادران (۱۸۰,۰۰۰ مگاوات ساعت) باشد، حدود ۶۰۲,۵۲۷ مترمکعب آب نیاز است که این حجم آب معادل نیاز سالانه بیش از ده ها هزار نفر به آب آشامیدنی است. در مقابل، نیروگاه های خورشیدی برای تولید برق نیازی به مصرف آب در فرآیند تولید ندارند و تنها میزان محدودی آب برای شست و شوی پنل ها استفاده می شود. این مصرف آب معمولاً در محدوده ۲۰ تا ۵۰ مترمکعب در سال به ازای هر مگاوات ظرفیت است که برای یک نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی، حداکثر به ۵۰۰۰ مترمکعب در سال می رسد.

این صرفه جویی قابل توجه در مصرف آب می تواند در مناطقی با تنش آبی بالا، نقشی حیاتی ایفا کند. علاوه بر این، کاهش استفاده از منابع آبی باعث جلوگیری از تخلیه حرارتی به رودخانه ها و دریاچه ها شده و از آسیب به اکوسیستم های آبی و موجودات زنده در این زیستگاه ها جلوگیری می کند. این ویژگی نیروگاه های خورشیدی، آن ها را به گزینه ای ایده آل برای تأمین انرژی پایدار در مناطقی که با بحران های آبی مواجه هستند تبدیل می کند.

۵-۲- اثرات منفی زیست محیطی نیروگاه های فوتوولتائیک و مدیریت آن

نیروگاه های خورشیدی، علیرغم مزایای زیست محیطی قابل توجه، می توانند اثرات منفی بر تنوع زیستی داشته باشند، به ویژه زمانی که بدون در نظر گرفتن حساسیت های زیست محیطی طراحی و اجرا شوند. تغییر کاربری اراضی، تأثیر بر تنوع زیستی و اکوسیستم منطقه و دفع ضایعات ناشی از احداث نیروگاه از جمله ای این موارد محسوب می شوند.

۵-۲-۱- تغییر کاربری اراضی

تأسیس نیروگاه های خورشیدی در مقیاس بزرگ، نیازمند مساحت های وسیعی است که می تواند تعادل اکولوژیکی مناطق را مختل کند. تغییر کاربری اراضی برای نصب پنل های خورشیدی در مناطقی مانند مراتع، جنگل ها، یا اراضی کشاورزی ممکن است زیستگاه گونه های گیاهی و جانوری را از بین ببرد و باعث تخریب خاک، کاهش تنوع زیستی، و تغییر در چرخه های طبیعی شود. یکی از معیارهای کلیدی در طراحی نیروگاه های خورشیدی، بکارگیری پنل های خورشیدی با بازده و توان تولیدی بالا می تواند تا حدی نیاز به استفاده از مساحت گسترده را کاهش دهد. انتخاب زمین های غیرقابل استفاده یا کم ارزش نظیر بیابان ها، زمین های شور، و اراضی صنعتی متروک می تواند از هدر رفتن زمین های حاصلخیز جلوگیری کند.

از طرفی نواحی حفاظت شده شامل پارک‌های ملی، آثار طبیعی ملی، زیستگاه‌های حیات وحش و تالاب‌ها به عنوان مناطقی که دارای ارزش‌های زیست محیطی منحصر به فردی هستند، باید از هرگونه دخل و تصرف و تغییر کاربری محافظت شوند؛ بنابراین می‌بایست در فرآیند مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی، رعایت حریم این نواحی حفاظتی و حفظ فاصله مناسب از آنها، در نظر گرفته شود.

در شکل ۱۲ نقشه نواحی حفاظتی در نزدیکی شهرستان مهریز محدوده بهادران با رنگ سبز که با استفاده از نرم افزار Arc Gis Pro استخراج شده، نشان داده شده است. مطابق با این شکل، در شهرستان مهریز ناحیه حفاظتی وجود ندارد.



شکل ۱۲: نقشه اراضی قابل استفاده در شهرستان مهریز منطقه بهادران



۵-۲-۲- تأثیر بر تنوع زیستی

یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها در احداث نیروگاه‌های خورشیدی، تغییر زیستگاه‌های گونه‌های گیاهی و جانوری است که می‌تواند به تخریب زیستگاه‌های طبیعی و جابه‌جایی یا انقراض گونه‌های جانوری و گیاهی منجر شود. احداث این نیروگاه‌ها



ممکن است باعث از بین رفتن زیستگاه‌های حیوانات، تغییر الگوهای مهاجرت پرندگان و کاهش تنوع گونه‌های گیاهی منتج شود. همچنین، انعکاس نور پنل‌ها و گرمای تولیدشده می‌تواند رفتار حیوانات را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات نشان می‌دهند که ممکن است زنجیره‌های غذایی و روابط اکولوژیکی جانوران در این مناطق مختل شود، به خصوص اگر در زیستگاه‌های اولیه پرندگان، خزندگان یا گونه‌های گیاهی بومی احداث شوند. به منظور مدیریت این امر می‌بایست پیش از احداث نیروگاه، ارزیابی‌های زیست محیطی دقیق برای شناسایی زیستگاه‌های حساس و گونه‌های در معرض خطر صورت بگیرد. همچنین برای نیروگاه‌هایی که در نزدیکی زیستگاه‌های طبیعی قرار دارند، ایجاد مناطق حائل با پوشش گیاهی بومی می‌تواند این گونه‌ها را از اثرات مستقیم نیروگاه‌ها محافظت کند.

۵-۲-۳- پسماندهای نیروگاه خورشیدی

احداث نیروگاه‌های خورشیدی در کنار مزایای زیست محیطی، می‌تواند منجر به تولید ضایعات مختلفی در مراحل طراحی، ساخت و نصب شود. این ضایعات عمدتاً به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

- ضایعات عمرانی و ساختمانی

این نوع ضایعات شامل خاک‌های حاصل از گودبرداری، نخاله‌های ساختمانی، بسته‌بندی تجهیزات و سازه‌های فلزی است. انباشت نخاله‌ها می‌تواند باعث تخریب زیستگاه‌های طبیعی و تغییر توپوگرافی منطقه شود. همچنین، دفن نامناسب ضایعات عمرانی آلودگی خاک و در نهایت کاهش کیفیت زمین را به همراه می‌آورد.

- ضایعات تجهیزات الکترونیکی و صنعتی

شامل پنل‌های خورشیدی معیوب، تجهیزات معیوب اینورترها، و باتری‌ها است. این ضایعات، به‌ویژه پنل‌های خورشیدی، حاوی فلزات سنگین نظیر کادمیم و سرب هستند که در صورت عدم مدیریت مناسب، آلودگی‌های شیمیایی قابل توجهی ایجاد می‌کنند.

برای مدیریت ضایعات ناشی از ساخت نیروگاه‌های خورشیدی، یک استراتژی چند لایه و تخصصی ضروری است تا اثرات منفی زیست محیطی به حداقل برسد. در ابتدا، ارزیابی دقیق در مورد نوع و مقدار ضایعاتی که ممکن است تولید شود، اهمیت دارد. این ارزیابی شامل شناسایی مواد حاصل از تخریب زمین، ضایعات فلزی، پلاستیکی و شیمیایی مرتبط با تجهیزات و فرآیندهای ساخت است. سپس، می‌توان یک سیستم مدیریت پسماند طراحی کرد که در آن تفکیک و پردازش مواد در اولویت باشد. به عنوان مثال، فلزات و شیشه‌های دورریز می‌توانند به مراکز بازیافت ارسال شوند، در حالیکه ضایعات خطرناک مانند مواد شیمیایی باید تحت نظارت‌های خاص دفع شوند.



یکی دیگر از اقدامات اساسی برای کاهش اثرات پسماند ناشی از احداث نیروگاه خورشیدی، همکاری با شرکت‌های بازیافت متخصص در مواد صنعتی و ساخت و ساز است. این شرکت‌ها می‌توانند ضایعاتی مانند قاب‌های آلومینیومی و مواد پلاستیکی را بازسازی کنند یا به چرخه تولید بازگردانند.

۵-۲-۴- آلودگی آب و خاک ناشی از شست و شوی پنل‌ها

شست و شوی پنل‌های خورشیدی یکی از عملیات ضروری برای حفظ بازدهی و بهره‌وری این تجهیزات است، اما اگر بدرستی مدیریت نشود، می‌تواند اثرات منفی بر منابع آب و خاک داشته باشد. این فرآیند معمولاً شامل مصرف آب برای پاکسازی گرد و غبار، فضولات پرندگان و آلودگی‌های دیگر از سطح پنل‌ها است. استفاده نادرست از آب می‌تواند به هدر رفت منابع آبی منجر شود، بویژه در مناطق خشک که نیروگاه‌های خورشیدی اغلب در آنجا مستقر می‌شوند.

یکی از مشکلات شست‌وشوی پنل‌ها، تخلیه آب آلوده به خاک اطراف نیروگاه است. این آب ممکن است حاوی مواد شیمیایی یا شوینده‌های متعددی باشد که در صورت نفوذ به خاک، کیفیت آن را کاهش می‌دهد و حتی می‌تواند به فرسایش خاک یا تغییر ترکیب شیمیایی آن منجر می‌شود. همچنین، در صورتیکه این آب وارد منابع آبی زیرزمینی یا سطحی شود، می‌تواند کیفیت آب را تحت تأثیر قرار دهد و آسیب‌هایی به اکوسیستم‌های آبی وارد کند.

برای کاهش این اثرات، از آب، می‌توان از آب‌های بازیافتی یا جمع‌آوری شده از محل بارندگی استفاده کرد و از مواد شیمیایی غیر ضروری در فرآیند شست و شو پرهیز نمود. علاوه، طراحی سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه آب در نزدیکی نیروگاه می‌تواند از نفوذ آلاینده‌ها به محیط‌زیست جلوگیری کند.



۵-۳- جمع بندی

بررسی های انجام شده در این گزارش نشان می دهد که احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی بهادران، اثرات زیست محیطی مثبت متعددی در مقایسه با نیروگاه های حرارتی خواهد داشت. از مهم ترین مزایای احداث این نیروگاه، می توان به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای اشاره کرد که نقش بسزایی در کنترل تغییرات اقلیمی و کاهش اثرات ناشی از گرمایش جهانی ایفا می کند. با جایگزینی انرژی خورشیدی بجای سوخت های فسیلی، انتشار آلاینده هایی نظیر دی اکسید کربن (CO_2)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و اکسیدهای گوگرد (SO_x) کاهش یافته و در نتیجه، کیفیت هوا بهبود می یابد. این امر می تواند تأثیر مستقیمی بر سلامت عمومی و کاهش شیوع بیماری های تنفسی و قلبی-عروقی داشته باشد.

علاوه بر این، نیروگاه های خورشیدی در مقایسه با نیروگاه های حرارتی مصرف آب بسیار ناچیزی دارند که این موضوع از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با کاهش وابستگی به منابع آب برای خنک سازی تجهیزات و فرآیندهای احتراقی، نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی بهادران به مدیریت بهینه منابع آبی منطقه کمک خواهد کرد. همچنین، کاهش آلاینده های زیست محیطی و عدم انتشار آلاینده های زیان آور به آب و خاک، به حفظ اکوسیستم های طبیعی و کاهش آسیب به تنوع زیستی منجر می شود.

تمامی این مزایا سبب می شود که اجرای پروژه ۱۰۰ مگاواتی بهادران از منظر زیست محیطی ارزش افزوده چشمگیری به همراه داشته باشد. جدول ۶، مقایسه ای از اثرات زیست محیطی نیروگاه های خورشیدی را با نیروگاه های حرارتی نشان می دهد.

جدول ۶: مقایسه اثرات زیست محیطی نیروگاه های خورشیدی و حرارتی

نیروگاه حرارتی	نیروگاه خورشیدی	
انتشار بالا و مستمر دی اکسید کربن و دیگر آلاینده ها	کاهش چشمگیر دی اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه ای	انتشار گازهای گلخانه ای
آلودگی شدید هوا، افزایش بیماری های تنفسی و قلبی	بهبود کیفیت هوا و کاهش بیماری های تنفسی و قلبی ناشی از آلودگی	کیفیت هوا و سلامت عمومی
مصرف بالای آب برای خنک سازی تجهیزات و فرآیندهای تولید انرژی	مصرف ناچیز آب، بدون نیاز به فرآیندهای خنک سازی پرهزینه	صرفه جویی در منابع آبی
تشدید تغییرات اقلیمی و افزایش اثرات منفی ناشی از گرمایش جهانی	کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و کمک به مقابله با گرمایش جهانی	تغییرات اقلیمی



۶- تحول اشتغال جهانی با گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر

بر طبق آمار آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدید پذیر (IRENA)^۱ میزان اشتغال مستقیم و غیرمستقیم ایجاد شده در مجموعه سیستم‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۲۳ در حدود ۱۶/۲ میلیون نفر بوده که نسبت به سال ۲۰۲۲ در حدود ۱۸ درصد رشد داشته است. در شکل، مقایسه‌ای میان اشتغال ایجاد شده برای هر یک از بخش‌های نیروگاه‌های تجدیدپذیر در بازه سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۳ نشان داده شده است. در سال ۲۰۲۲، نیروگاه‌های خورشیدی توانستند برای ۴.۹ میلیون نفر در سراسر جهان شغل ایجاد کنند. این رقم در سال ۲۰۲۳ به ۷.۱۱ میلیون نفر رسید، که نشان‌دهنده رشد چشمگیر اشتغال در این بخش است. این افزایش قابل توجه، به وضوح نشان‌دهنده رشد روزافزون صنعت فوتوولتاییک است و تاییدی بر اهمیت روزافزون آن در تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهانی است. این روند نشان می‌دهد که صنعت انرژی خورشیدی در حال تبدیل شدن به یکی از ارکان اصلی برای اشتغال‌زایی و توسعه اقتصادی در سراسر جهان است.

بر اساس داده‌های موجود در سال ۲۰۲۳، حوزه فوتوولتاییک تقریباً پنج برابر بخش بادی شغل ایجاد کرده است و حتی فاصله معناداری میان این حوزه و سایر حوزه‌های تجدیدپذیر وجود دارد که نشان می‌دهد فوتوولتاییک به عنوان یکی از نیروهای محرکه اصلی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، توانسته است سهم بزرگی در ایجاد فرصت‌های شغلی ایفا کند.

شکل میزان اشتغال ایجاد شده در حوزه انرژی خورشیدی در سال ۲۰۲۳ را در ده کشور برتر از نظر سهم ایجاد اشتغال به تصویر می‌کشد. چین با اختصاص ۶۵ درصد از کل اشتغال ایجاد شده در صنعت فوتوولتاییک، معادل حدود ۴.۶ میلیون شغل، به‌عنوان رهبر جهانی در این حوزه شناخته می‌شود. در مجموع، ده کشور برتر در این حوزه ۸۶ درصد از کل اشتغال فوتوولتاییک جهان را به خود اختصاص داده‌اند. هند و ایالات متحده به‌عنوان رتبه‌های دوم و سوم، هر کدام نزدیک به ۰.۳ میلیون شغل در این حوزه ایجاد کرده‌اند. این کشورها به دلیل گسترش پروژه‌های بزرگ مقیاس خورشیدی و سیاست‌های حمایتی دولت‌ها در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، سهم بالایی در اشتغال جهانی دارند. برزیل نیز با تکیه بر توسعه نیروگاه‌های خورشیدی و ارتقای زیرساخت‌های مرتبط، سهمی مشابه با ایالات متحده دارد.

همچنین مطابق شکل، هزینه‌های مربوط به تولید انرژی برای انواع منابع تجدید پذیر خورشیدی (فوتوولتاییک^۲ و متمرکز^۳) و بادی (فرا ساحلی^۴ و دریایی^۵) برحسب دلار / کیلووات ساعت نیز از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ مطابق شکل ۶ می‌باشد. بر اساس این شکل هزینه مربوط به تولید انرژی خورشیدی طی سال‌های اخیر با شیب تندی، کاهش یافته است.

^۱ International Renewable Energy Agency (IRENA)

^۲ Photovoltaic

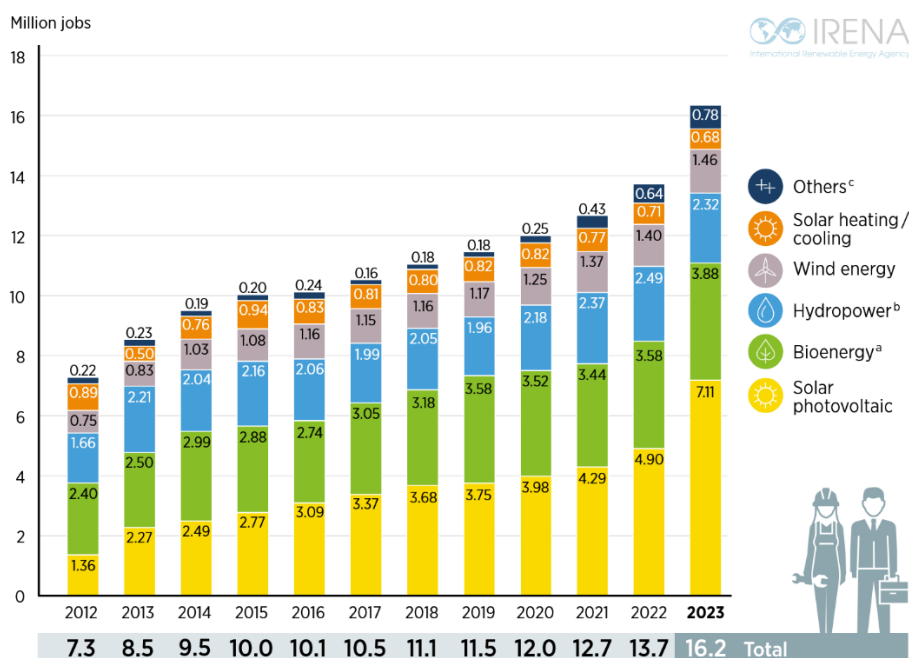
^۳ Concentrating

^۴ Onshore wind

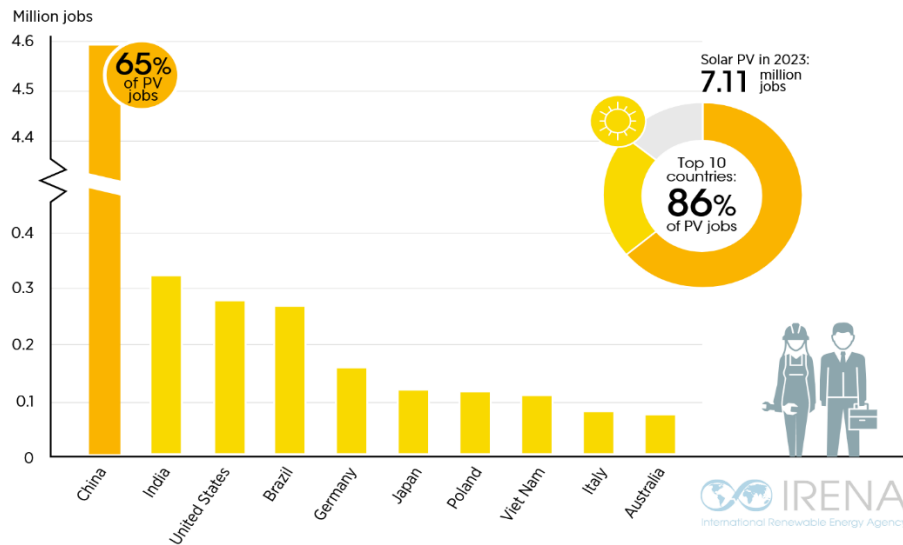
^۵ Offshore wind



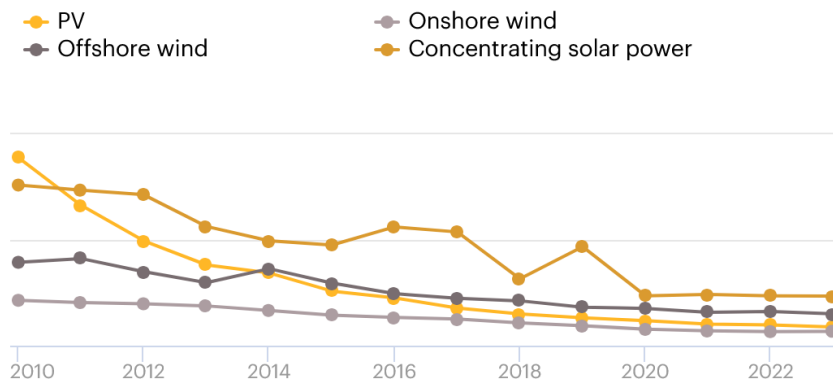
بر اساس مطالعات انجام شده برای نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی شهرستان بهادران نیز ۲۲ نفر به صورت تمام وقت در طول ۲۰ سال بهره‌برداری از نیروگاه، مشغول به فعالیت خواهند بود.



شکل ۱۳: مقایسه‌ای میان اشتغال ایجاد شده برای هر یک از بخش‌های نیروگاه‌های تجدیدپذیر در بازه سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۳



شکل ۱۴: میزان اشتغال ایجاد شده در ۱۰ کشور برتر دنیا در حوزه خورشیدی در سال ۲۰۲۳

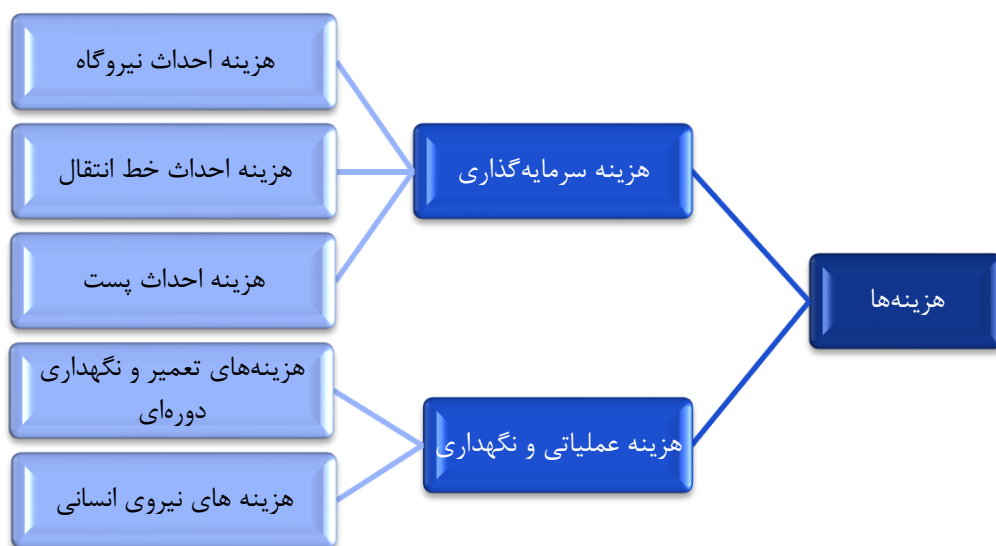


شکل ۱۵: هزینه‌های مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۳

۷- تحلیل اقتصادی نیروگاه خورشیدی پتروکاوایان

تحلیل مالی با هدف ارزیابی سودآوری، پایداری اقتصادی و مدیریت ریسک‌های مالی پروژه طراحی شده و نقش کلیدی در جلب نظر سرمایه‌گذاران و تصمیم‌گیران ایفا می‌کند. در پروژه‌های نیروگاه خورشیدی، تحلیل مالی نه تنها برای بررسی بازگشت سرمایه و نرخ سود مورد انتظار اهمیت دارد، بلکه به تصمیم‌گیری در زمینه ساختار تأمین مالی، شناسایی هزینه‌های سرمایه‌گذاری^۱ (CAPEX) و عملیاتی^۲ (OPEX) و پیش‌بینی درآمدهای آتی کمک می‌کند.

در این فصل تمام مفروضات مالی و اقتصادی و شاخص‌های کلیدی مانند نرخ بازگشت سرمایه (IRR)، ارزش خالص فعلی (NPV) و دوره بازگشت سرمایه (Payback Period) به صورت شفاف مورد بررسی قرار می‌گیرد. این رویکرد جامع، دیدگاهی روشن و عملیاتی را برای اطمینان از سودآوری و پایداری پروژه در بلندمدت فراهم می‌کند. شکل نمایی کلی از تحلیل اقتصادی پروژه را ارائه می‌دهد و اجزای اصلی آن را به صورت خلاصه و ساختار یافته نمایش می‌دهد.



شکل ۱۶: نمای کلی تحلیل اقتصادی پروژه

**۷-۱- هزینه‌های سرمایه‌گذاری**

هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل تمامی هزینه‌های مربوط به طراحی، احداث و راه‌اندازی پروژه نیروگاه خورشیدی است. این هزینه‌ها معمولاً به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند که هر یک به تفصیل در ادامه شرح داده می‌شوند:

۷-۱-۱- هزینه احداث نیروگاه

این بخش شامل هزینه‌های خرید و نصب تجهیزات نیروگاه از قبیل پنل‌های خورشیدی، اینورترها، سازه‌های نگهدارنده، کابل و تجهیزات جانبی است. هزینه‌های مطالعات اولیه، طراحی، مهندسی، نصب و اجرا نیز در این دسته قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که در این مطالعات، هزینه احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی، حدود ۴۰۰,۰۰۰ دلار برای هر مگاوات برآورد شده است.

۷-۱-۲- هزینه اتصال به شبکه نیروگاه

با توجه به موقعیت نیروگاه نسبت به شبکه برق پیرامونی و پست ۴۰۰/۱۳۲ کیلوولت بهادران، اتصال نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی مورد مطالعه در این پروژه از طریق احداث خط دومداره ۱۳۲ کیلوولت و اتصال این خط به پست ۴۰۰/۱۳۲ کیلوولت پست بهادران، صورت خواهد گرفت. بنابراین، هزینه اتصال به شبکه نیروگاه شامل مواردی از قبیل احداث خطی به طول تقریبی ۱.۵ کیلومتر و توسعه پست بالادست می‌باشد.

بنابراین، با توجه به توضیحات ارائه شده، هزینه‌های ثابت (CAPEX) احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی شهرستان بهادران و توسعه شبکه بالادست، به شرح جدول ۷، می‌باشد. همچنین، شایان ذکر است که در این مطالعات نرخ تبدیل دلار به ریال، ۷۰ هزار تومان معادل نرخ دلار نیمایی لحاظ شده است.

جدول ۷: هزینه‌های ثابت نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی (بر حسب دلار)

شرح حالت اتصال به شبکه	احداث نیروگاه (دلار)	احداث خط (دلار)	احداث پست (دلار)	توسعه شبکه بالادست (دلار)	مجموع (دلار)
احداث نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی و اتصال به شبکه سراسری	۳۹,۰۰۰,۰۰۰	۴۰۰,۷۱۴	۲۰۰,۰۰۰	۱۰۰,۰۰۰	۴۲۴,۰۰۰



مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW بهادران یزد

Doc. No: ۲۰۲۰۱.B.EL.REP.۰۱۰

Page: ۴۰ of ۴۵

Document Title:

مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

Rev. ۰۰

مالی در بخش انرژی باشد. لازم به ذکر است نرخ خرید انرژی تولیدی نیروگاه‌ها در این بازار بر اساس شرایط فصلی تغییر می‌کند؛ این تغییر به نحوی است که در ماه‌های گرم سال (ماه‌های پیک بار شبکه برق) افزایش قابل توجهی نسبت به ماه‌های دیگر سال دارد به نحوی که این مبلغ در تاریخ ۱۴۰۳/۴/۳ در حدود ۷۵۰۰۰ ریال بوده است. با این حال، با توجه به شرایط عرضه و تقاضا در این بازار، امکان عدم وجود مشتری برای خرید انرژی تولیدی نیروگاه نیز وجود دارد که در این حالت، سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر(ساتبا) اقدام به خرید تضمینی برق تولیدی نیروگاه‌های تجدیدپذیر با نرخ ۷۰ درصد مبلغ معامله انرژی سبز در بورس سبز انرژی می‌نماید. با توجه به اینکه قیمت برق در تابلوی سبز بورس انرژی برای نخستین‌بار در تیرماه ۱۴۰۲ ارائه شده است، این بازار همچنان در مراحل ابتدایی خود قرار دارد و الگوی قیمتی مشخص و پایداری در آن مشاهده نمی‌شود. علاوه بر این، با توجه به شرایط اقتصادی کشور و تورم مستمر، پیش‌بینی قیمت برق بر حسب ریال با عدم قطعیت قابل توجهی همراه است و نوسانات قابل ملاحظه‌ای را تجربه می‌کند. از اینرو، به منظور ایجاد مبنایی پایدارتر برای تحلیل‌های اقتصادی و مقایسه‌پذیری بهتر در این گزارش، قیمت برق در تابلوی سبز بورس انرژی بر حسب دلار ارائه شده و مبنای محاسبات قرار گرفته است.

با توجه به توضیحات ارائه شده و از آنجاکه بر اساس خروجی نرم‌افزار PVSyst، میزان انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی شهرستان بهادران در سال اول بهره‌برداری از آن در حدود ۲۰۵,۰۰۰ MWh می‌باشد، در جدول ۹، میزان درآمد نیروگاه ارائه شده است. در این جدول، میزان انرژی تولیدی نیروگاه در طول ۲۰ سال بهره‌برداری از آن (با در نظر گرفتن تلفات سالیانه پنل‌های خورشیدی مورد استفاده در پروژه)، مبلغ متوسط خرید انرژی تولیدی نیروگاه‌های خورشیدی بر اساس تابلو سبز و میزان درآمد سالیانه نیروگاه، بیان شده است. شایان ذکر است که قیمت خرید انرژی براساس قیمت‌های موجود در تابلو سبز بورس ۰/۰۶ دلار و با قیمت دلار نیمایی ۷۰۰ هزار ریال در نظر گرفته شده است. همچنین، متناظر با جدول ۶، نمودار ستونی درآمد سالیانه نیروگاه در شکل ۱۷ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، درآمد سالیانه نیروگاه به صورت نزولی بوده که این امر بدلیل محاسبه درآمد نیروگاه بصورت دلاری می‌باشد.

پروژه احداث نیروگاه خورشیدی
شماره: ۳۳۹-۵۵۱



مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW بهادران یزد

Doc. No: ۲۰۲۰۱.B.EL.REP.۰۱۰

Page: ۴۱ of ۴۵

Document Title:

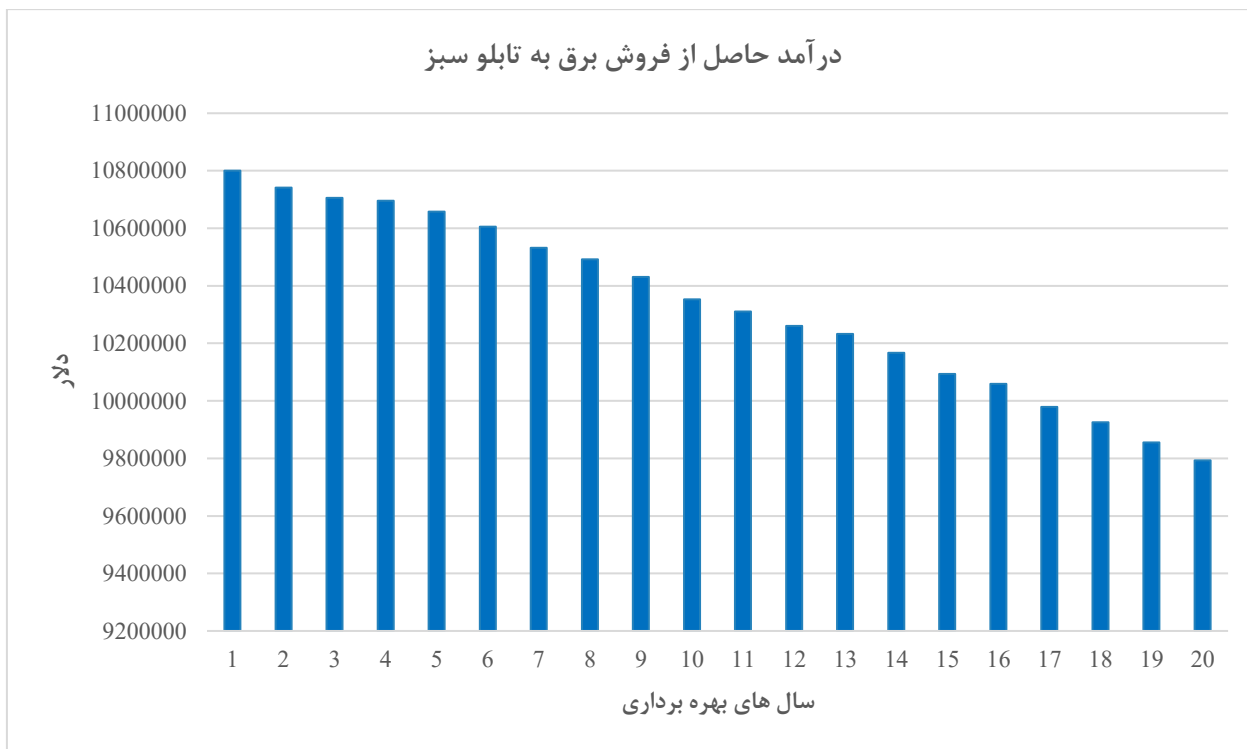
مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

Rev. ۰۰



جدول ۹: درآمد سالیانه نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی (بر حسب دلار)

سال	میزان انرژی تولیدی منطقه در سال (MWH)	متوسط قیمت هر KWH انرژی در تابلو سبز (دلار)	درآمد حاصل از فروش برق به تابلو سبز (دلار)
۱۴۰۴	.	.	.
۱۴۰۵	۲۰۵,۰۰۰	۰,۰۶	۱۲,۳۰۰,۰۰۰
۱۴۰۶	۲۰۵,۰۱۵	۰,۰۶	۱۲,۳۰۰,۹۰۰
۱۴۰۷	۲۰۴,۴۲۲	۰,۰۶	۱۲,۲۶۵,۳۲۰
۱۴۰۸	۲۰۳,۲۵۵	۰,۰۶	۱۲,۱۹۵,۳۰۰
۱۴۰۹	۲۰۲,۶۲۵	۰,۰۶	۱۲,۱۵۷,۵۰۰
۱۴۱۰	۲۰۱,۷۶۵	۰,۰۶	۱۲,۱۰۵,۹۰۰
۱۴۱۱	۲۰۰,۵۴۲	۰,۰۶	۱۲,۰۳۲,۵۲۰
۱۴۱۲	۱۹۹,۸۶۹	۰,۰۶	۱۱,۹۹۲,۱۴۰
۱۴۱۳	۱۹۸,۸۵۷	۰,۰۶	۱۱,۹۳۱,۴۲۰
۱۴۱۴	۱۹۷,۵۵۵	۰,۰۶	۱۱,۸۵۳,۳۰۰
۱۴۱۵	۱۹۶,۸۵۴	۰,۰۶	۱۱,۸۱۱,۲۴۰
۱۴۱۶	۱۹۵,۰۱۲	۰,۰۶	۱۱,۷۰۰,۷۲۰
۱۴۱۷	۱۹۴,۵۴۲	۰,۰۶	۱۱,۶۷۲,۵۲۰
۱۴۱۸	۱۹۳,۴۵۲	۰,۰۶	۱۱,۶۰۷,۱۲۰
۱۴۱۹	۱۹۲,۲۲۲	۰,۰۶	۱۱,۵۳۳,۳۲۰
۱۴۲۰	۱۹۱,۶۵۲	۰,۰۶	۱۱,۴۹۹,۱۲۰
۱۴۲۱	۱۹۰,۳۲۱	۰,۰۶	۱۱,۴۱۹,۲۶۰
۱۴۲۲	۱۸۹,۴۲۱	۰,۰۶	۱۱,۳۶۵,۲۶۰
۱۴۲۳	۱۸۸,۲۵۸	۰,۰۶	۱۱,۲۹۵,۴۸۰
۱۴۲۴	۱۸۷,۲۱۱	۰,۰۶	۱۱,۲۳۲,۶۶۰



شکل ۱۷: نمودار درآمد حاصل از فروش برق به تابلو سبز در طول ۲۰ سال مدت بهره برداری

۷-۴- محاسبه شاخص های مالی و اقتصادی

در جدول ۱۰، برخی از مهم ترین شاخص های اقتصادی برای نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی شهرستان بهادران محاسبه و تحلیل شده است.

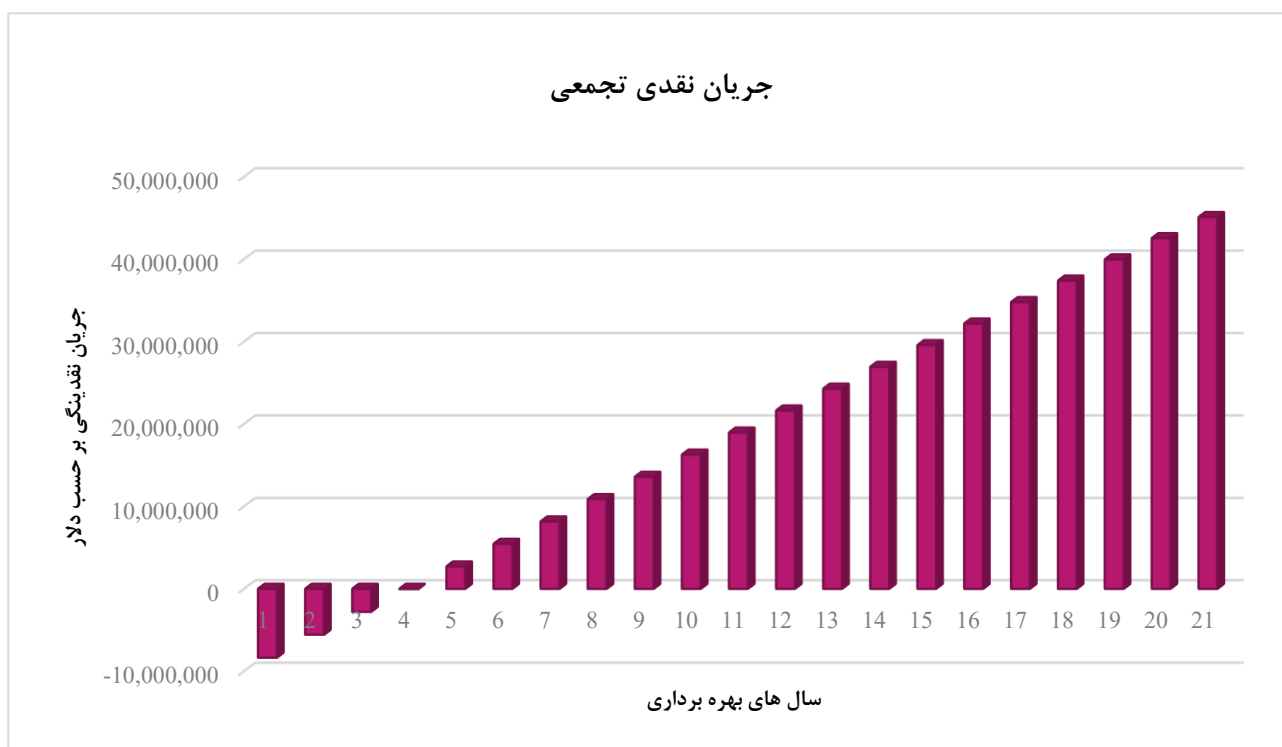


جدول ۱۰: شاخص های اقتصادی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی شهرستان بهادران

IRR-%	(kWh/\$) LCOE	دوره بازگشت سرمایه (سال)
۳۲/۸	۰/۰۱۱	۴

در جدول ۷، دوره بازگشت سرمایه، مدت زمانی است که طول می کشد تا درآمدها و صرفه جویی های ناشی از پروژه، هزینه های سرمایه گذاری اولیه را جبران کند. این شاخص بعنوان یک معیار ساده برای ارزیابی ریسک و سرعت بازگشت سرمایه به کار می رود و هرچه کوتاه تر باشد نشان دهنده ریسک کمتر است. در این پروژه، این دوره، در حدود ۴ سال به

دست آمده است که عددی معقول و منطقی است. همچنین، شکل، جریان نقدی تجمعی پروژه را نشان می‌دهد. محور عمودی بیانگر جریان نقدینگی بر حسب دلار بوده و محور افقی نیز بیانگر سال‌های بهره‌برداری از نیروگاه می‌باشد. لازم به ذکر است سال نخست، سال سرمایه‌گذاری بوده و بهره‌برداری از سال دوم آغاز می‌شود. بنابراین مدت زمان بهره‌برداری ۲۱ سال برآورد شده است.



شکل ۱۸: نمودار جریان نقدی تجمعی بر حسب دلار

شاخص دیگری که در این جدول ذکر شده و در زمینه مباحث هزینه‌ای و سرمایه‌گذاری پروژه‌های خورشیدی به آن توجه می‌شود، استفاده از شاخص $LCOE^1$ یا هزینه تراز شده انرژی می‌باشد. هزینه تراز شده انرژی، معیار متوسط هزینه خالص فعلی تولید برق برای یک نیروگاه در طول عمر آن است. شاخص $LCOE$ به عنوان یک معیار کلیدی در تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی استفاده می‌شود. این معیار به سرمایه‌گذاران و تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا هزینه‌های نسبی تولید برق از منابع مختلف (مانند باد، خورشید، زغال سنگ، گاز طبیعی، هسته‌ای) را مقایسه کنند و پروژه‌هایی را انتخاب کنند که بیشترین بازده اقتصادی را در طول عمر خود دارند. به بیان ساده، این معیار هزینه کل تولید برق را در طول عمر یک پروژه انرژی (مانند نیروگاه) در نظر می‌گیرد و آن را به صورت یک مقدار واحد بر مبنای هر کیلووات ساعت انرژی تولیدی ارائه می‌دهد. برای این شاخص می‌توان رابطه زیر را تعریف نمود:

¹ Levelized Cost of Electricity



مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW بهادران یزد

Doc. No: ۲۰۲۰۱.B.EL.REP.۰۱۰

Page: ۴۴ of ۴۵

Document Title:

مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰MW شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

Rev. ۰۰

مجموع هزینه‌ها در طول عمر نیروگاه

$$LCOE = \frac{\text{مجموع هزینه‌ها در طول عمر نیروگاه}}{\text{مجموع انرژی تولیدی در طول عمر نیروگاه}}$$

مجموع انرژی تولیدی در طول عمر نیروگاه

در همین راستا و بر اساس محاسبات اولیه صورت گرفته، میزان انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی شهرستان بهادران در طول بهره‌برداری از آن و با لحاظ نمودن افت راندمان نیروگاه در حدود ۳,۴۷۱,۸۵۰ MWh می‌باشد که در نهایت سبب تعیین مقدار شاخص LCOE خواهد شد.



۸- جمع بندی

در این گزارش، جزئیات مختلفی از طرح احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی شهرستان بهادران ارائه گردید که خلاصه این موارد در جدول ۱۱ بیان شده است.

جدول ۱۱: مشخصات کلی طرح نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی شهرستان بهادران

۱۰۰	توان نیروگاه / مگاوات
شهرستان بهادران واقع در استان یزد	محل احداث
۳,۴۷۱,۸۵۰	انرژی تولیدی نیروگاه در طول ۲۰ سال بهره‌برداری (مگاوات ساعت)
تابلو بورس سبز	مدل قراردادی پیشنهادی جهت خرید و فروش انرژی نیروگاه
۱۸۰,۰۰۰ تن	حداقل میزان صرفه‌جویی در انتشار کربن دی اکسید در سال اول بهره‌برداری
۴۰,۰۰۰,۰۰۰	هزینه تقریبی احداث نیروگاه (دلار)
۵۰۰.۱۴۲	مجموع هزینه‌های سالیانه (دلار)
از طریق خط ۱۳۲ kV به پست ۴۰۰/۱۳۲	نحوه اتصال به شبکه
۲,۰۰۰,۰۰۰	هزینه اتصال به شبکه (دلار)
Trina Solar - ۷۲۰ W	پنل خورشیدی انتخابی
Sungrow - ۳۵۰ kW	اینورتر خورشیدی انتخابی
۱۳۸,۸۸۸	تعداد پنل‌ها
۲۹۰	تعداد اینورترها
۰/۰۱۱	مقدار LCOE (\$/kwh)
۳۲.۸٪	مقدار IRR
حدود ۴ سال	مقدار دوره بازگشت سرمایه