

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 1 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی

بشرویه

شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

01	25-Jan-2026	Issued For Approval	A. Havaeji	K.Khazaei	A.Savehei
00	31-Dec-2025	Issued For Information	A. Havaeji	K.Khazaei	A.Savehei
Rev.	Issue Date	Status	Prepared	Checked	Approved

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 2 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

Revision Index

Page	Revision				
	00	01	02	03	04
1	X				
2	X				
3	X				
4	X				
5	X				
6	X				
7	X				
8	X				
9	X				
10	X				
11	X				
12	X				
13	X				
14	X				
15	X				
16	X				
17	X				
18	X				
19	X				
20	X				
21	X				
22	X				
23	X				
24	X				
25	X				

Page	Revision				
	00	01	02	03	04
26	X				
27	X				
28	X				
29	X				
30	X				
31	X				
32	X				
33	X				
34	X	X			
35	X	X			
36	X	X			
37	X	X			
38	X	X			
39	X	X			
40	X	X			
41	X	X			
42	X	X			
43	X	X			
44	X	X			
45	X				
46	X				
47	X				
48	X				
49	X				
50	X				

Page	Revision				
	00	01	02	03	04
51	X				
52	X				
53	X				
54	X				
55	X				
56	X				
57	X				
58	X				
59	X				
60	X				
61	X				
62	X				
63	X				
64	X				
65	X				
66	X				
67	X				
68	X				
69	X				
70	X				
71	X				
72	X				
73	X				
74	X				
75	X				

Page	Revision				
	00	01	02	03	04
76	X				
77	X				
78	X				
79	X				
80	X				
81	X				
82	X				
83	X				
84	X				
85	X				
86	X				
87	X				
88	X	X			
89	X				
90	X				
91	X				
92					
93					
94					
95					
96					
97					
98					
99					
100					

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 3 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

فهرست مطالب

5	مقدمه
7	1- ضرورت های جهانی و مبانی احداث نیروگاه خورشیدی
7	1-1- جهان در حال گذار به سمت انرژی های تجدید پذیر
10	1-2- ضرورت حرکت به سمت انرژی های تجدید پذیر در ایران
13	1-3- ویژگی های زمین مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی
16	1-4- دسترسی به زمین
19	1-5- شیب و جهت بهینه پنل ها
20	1-6- بررسی پتانسیل تابشی در شهرستان بشرویه
24	1-7- بررسی میانگین حداقل و حداکثر دما
25	1-8- بررسی بارش های سالانه شهرستان بشرویه
26	1-9- بررسی سرعت و جهت وزش باد در شهرستان بشرویه
27	1-10- بررسی فناوری تجهیزات اصلی مورد استفاده در پروژه
28	1-10-1- پنل و اینورتر نیروگاه خورشیدی پروژه بشرویه
28	1-10-2- پنل خورشیدی
30	1-10-3- اینورتر خورشیدی
30	1-10-4- استراکچر
32	1-11- نحوه اتصال به شبکه
33	1-12- برآورد انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی با استفاده از شبیه سازی در نرم افزار PVSYST
36	2- تحلیل اقتصادی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه
36	2-1- مفروضات اقتصادی
38	2-2- هزینه های سرمایه گذاری
38	2-2-1- هزینه احداث نیروگاه
38	2-2-2- هزینه اتصال به شبکه نیروگاه
39	2-3- هزینه های عملیاتی و نگهداری
39	2-3-1- هزینه های تعمیر و نگهداری دوره ای
39	2-3-2- هزینه های نیروی انسانی
39	2-4- درآمد نیروگاه خورشیدی
43	2-5- محاسبه شاخص های مالی و اقتصادی
48	3- ارزیابی جامع اثرات زیست محیطی نیروگاه خورشیدی بشرویه
48	3-1- قوانین زیست محیطی مرتبط با طرح
49	3-2- موقعیت جغرافیایی محدوده ای اجرای طرح بر روی نقشه قابلیت اراضی
50	3-3- محدوده اجرای طرح نسبت به منابع آبی

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 4 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

- 3-4- محدوده اجرای طرح نسبت به مناطق حفاظت شده 51
- 3-5- پیش بینی حجم پساب انسانی و روغن های مستعمل در دوران بهره برداری 52
- 3-5-1- برآورد فاضلاب انسانی طرح 52
- 3-5-2- برآورد حجم روغن های مستعمل تولیدی 53
- 3-6- پیش بینی مجموعه آثار و پیامدهای زیست محیطی طرح 53
- 3-6-1- اثرات مثبت زیست محیطی نیروگاه های فوتوولتائیک 54
- 3-6-2- اثرات منفی زیست محیطی نیروگاه های فوتوولتائیک و مدیریت آن 61
- 3-7- برنامه تمهیدات و پایش زیست محیطی 68
- 3-7-1- برنامه جامع مدیریت پسماند نیروگاه 69
- 3-7-2- جدول پایش زیست محیطی طرح 72
- 3-8- جمع بندی 77
- 4- برنامه اجرا و مدیریت نیروگاه پس از راه اندازی 79
- 4-1- برآورد نیروی انسانی مورد نیاز نیروگاه خورشیدی 79
- 4-2- برنامه نظافت و نگهداری پنل ها 81
- 4-3- سیستم مانیتورینگ و کنترل عملکرد 82
- 5- ریسک های احتمالی نیروگاه خورشیدی 85
- 5-1- ریسک های فنی 85
- 5-2- ریسک های مالی 85
- 5-3- ریسک های محیطی 86
- 6- جمع بندی 89
- 7- لیست پیوست ها 92

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 5 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

مقدمه

چالش‌های زیست محیطی و بحران انرژی در سال‌های اخیر، نگاه جهانی را به سمت منابع تجدیدپذیر معطوف کرده است. در میان این منابع، انرژی خورشیدی به سبب گستردگی، فراوانی، کاهش پیوسته هزینه‌ها و توسعه فناوری‌های نوین، جایگاه ویژه‌ای در تأمین پایدار برق یافته است. ایران نیز به دلیل قرارگیری در کمربند خورشیدی، ظرفیت چشمگیری برای بهره‌برداری از این منبع در اختیار دارد و همین امر، توسعه نیروگاه‌های خورشیدی را به راهکاری مؤثر برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و مهار انتشار گازهای گلخانه‌ای بدل ساخته است.

بر پایه این ضرورت، مطالعه حاضر به ارزیابی امکان احداث نیروگاه خورشیدی با ظرفیت 15 مگاوات در شهرستان بشرویه واقع در استان خراسان جنوبی اختصاص یافته است. این ارزیابی ابعاد گوناگون پروژه نظیر طراحی فنی و برآورد هزینه‌های ثابت و عملیاتی گرفته، تحلیل آثار زیست محیطی و بررسی شاخص‌های اقتصادی نظیر نرخ بازده داخلی و دوره بازگشت سرمایه را در بر می‌گیرد. هدف اصلی از این مطالعه، ارائه تحلیلی جامع و مستند برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های بهینه و بررسی میزان توجیه‌پذیری اجرای پروژه نیروگاه خورشیدی بشرویه است.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 6 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

فصل اول:

بخش فنی – محل احداث و آنالیز سایت

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 7 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

1- ضرورت های جهانی و مبانی احداث نیروگاه خورشیدی

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 ای 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.

1-1- جهان در حال گذار به سمت انرژی های تجدیدپذیر

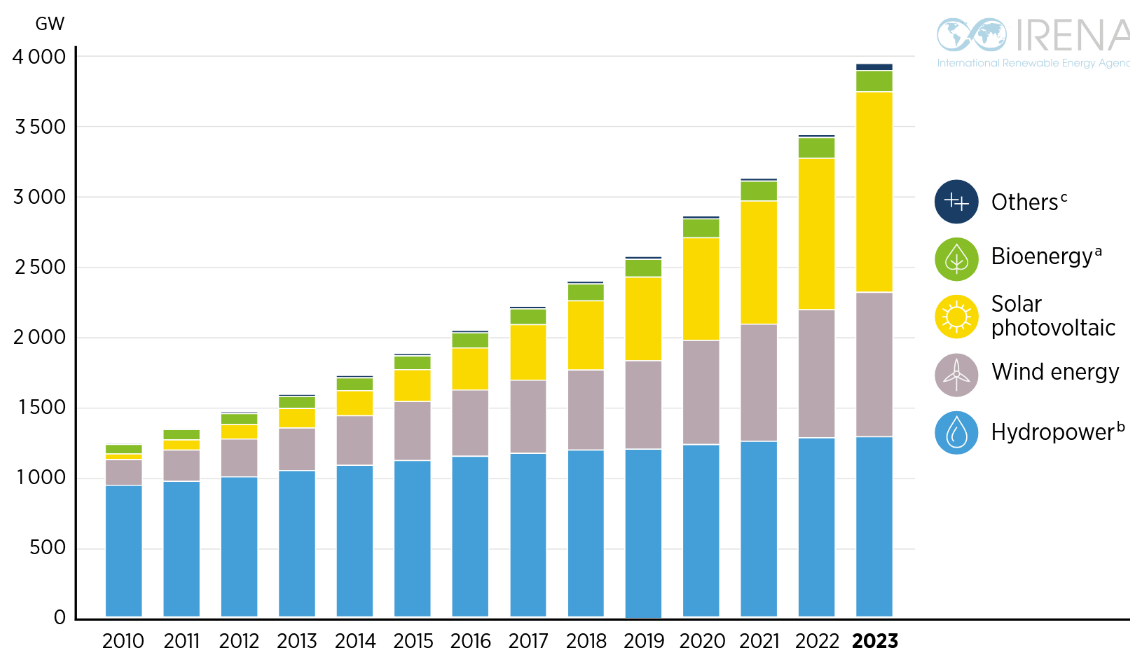
مطابق با آنچه که در شکل 1-1 نشان داده شده است، ظرفیت جهانی انرژی های تجدیدپذیر از سال 2010 تا 2023 به شکل پیوسته رشد کرده و از حدود 1200 گیگاوات در سال 2010 به بیش از 3800 گیگاوات در سال 2023 رسیده است. این رشد تقریباً سه برابری، نشان دهنده تلاش جهانی برای گذار به انرژی های پایدار و کاهش وابستگی به سوخت 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 ها تجربه کرده و از سال 2015 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

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 8 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

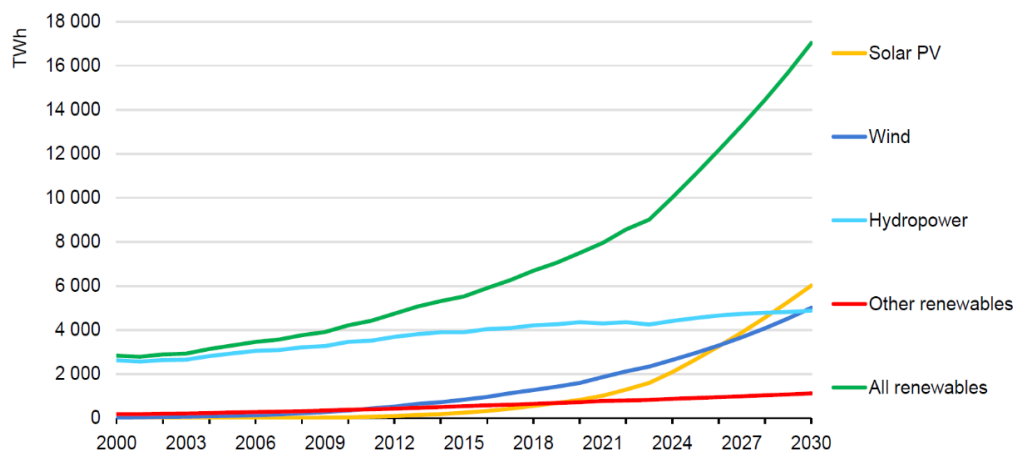
نسبت به فناوری‌های دیگر مانند فوتوولتائیک و بادی کندتر بوده است. این مسئله به دلیل چالش‌های مربوط به محدودیت منابع آب و عدم وجود زیرساخت‌های مربوط به حوزه سدسازی است.

از سوی دیگر، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق جهانی در حال رشد بوده و مطابق با آنچه در شکل 1-2 نشان داده شده است، پیش‌بینی می‌شود تا سال 2030، بیش از 16000 تراوات ساعت برق تجدیدپذیر تولید شود. این میزان به این معناست که نزدیک به 66 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 2030، انرژی خورشیدی بزرگ‌ترین منبع تولید انرژی تجدیدپذیر در جهان باشد.



شکل 1-1: روند تحول ظرفیت برق تجدیدپذیر در سطح جهان از سال 2010 تا 2023

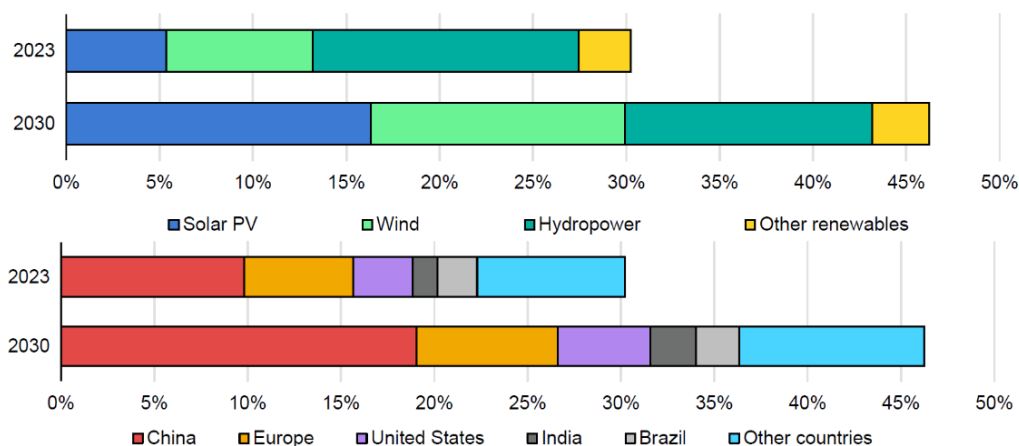
	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 9 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02



شکل 1-2: چشم انداز تولید برق جهانی تا سال 2030

در تکمیل توضیحات ارائه شده، تحلیلی از تولید برق از طریق منابع تجدیدپذیر در سال‌های 2023 و 2030 از حیث نوع تکنولوژی و از حیث کشورهای با بیشترین ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر در شکل 1-3، ارائه شده است. بر اساس این نمودارها، انرژی خورشیدی و بادی شاهد رشد قابل توجهی خواهند بود و تا سال 2030 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 2030 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.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 10 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02



شکل 1-3: تحلیل تولید برق جهانی از منابع تجدیدپذیر در سال‌های 2023 و 2030

1-2- 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 300

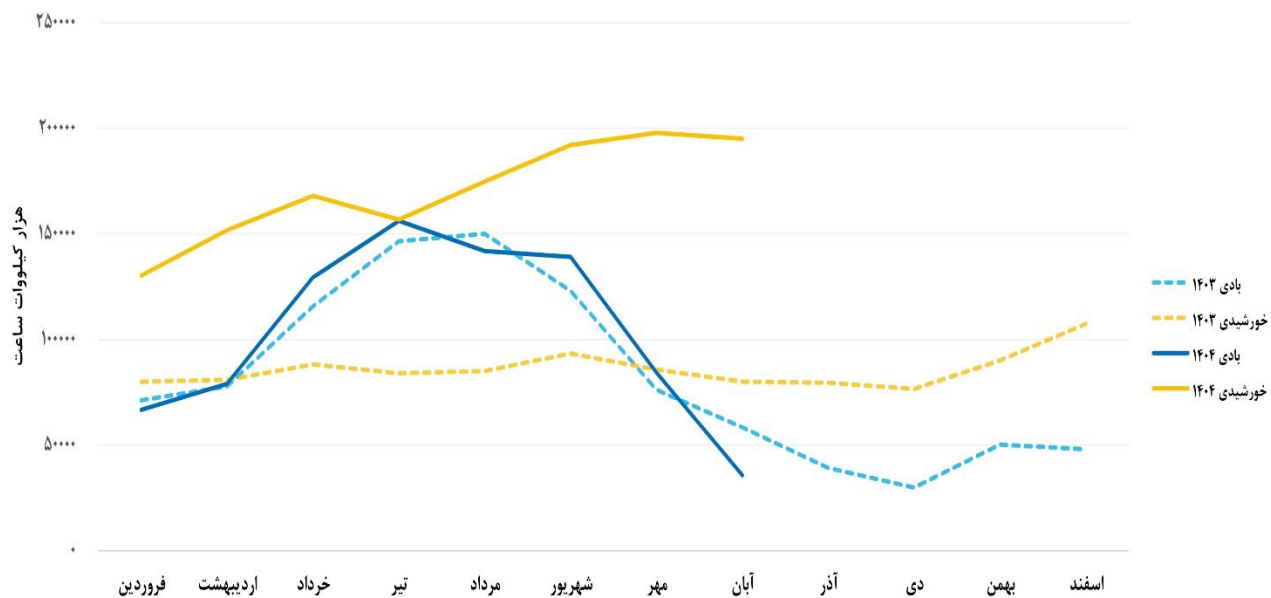
	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 11 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

روز آفتابی در سال، پتانسیل بالایی برای توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر و تولید 90,000 مگاوات برق از منابع تجدیدپذیر دارد، سهم انرژی خورشیدی و بادی در تولید برق کشور در حدود 3 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 1-4، میزان ظرفیت نصب شده انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران بر اساس اعلام رسمی سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری برق ایران، نشان داده شده است. مطابق با این شکل، استان‌های پیشرو از منظر ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر نصب شده به ترتیب مرکزی، اصفهان، یزد و کرمان هستند. شکل 1-5 روند تولید نیروگاه‌های خورشیدی و بادی در سال‌های 1403 و 1404 را نشان می‌دهد. در این شکل، منحنی زرد رنگ بیانگر ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی در کشور است. براساس این نمودار، از سال 1403 تا 1404 روندی رو به رشد و قابل توجه در افزایش سهم تولید نیروگاه‌های خورشیدی در سبد تولید برق کشور مشاهده می‌شود.



شکل 1-4: ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های تجدیدپذیر به تفکیک استان

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 12 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02



شکل 1-5: روند تولید نیروگاه های بادی و خورشیدی در سال 1403-1404

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 13 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	

1-3- 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. 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 1-1، معیارها، حداقل نیازمندی‌ها و محدودیت‌ها برای عوامل فوق بیان شده است.

جدول 1-1: معیارهای در نظر گرفته شده جهت مکان یابی نیروگاه خورشیدی

ردیف	معیارهای ارزیابی	محدودیت ها
1	حداقل شدت انرژی تابشی سالیانه	1700 kWh/m ² /year
2	شیب زمین	3-5° <
3	شبکه برق پیرامونی	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
4	نزدیکی به مناطق پرجمعیت	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
5	نزدیکی به مجتمع های صنعتی	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
6	نزدیکی به جاده ها	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
7	متوسط دمای محیط	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
8	نزدیکی به مناطق مسکونی بویژه ساختمان های بلندمرتبه	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
9	نزدیکی به سکونتگاه ها	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
10	پوشش زمین	عاری از کوه، جنگل، آب، ساختمان، تالاب، دشت سیلابی ترجیحاً پوشش گیاهی کم و متوسط، بوته زارها، زمین های بایر، محل های دفن زباله بسته، زمین های معدنی متروکه.
11	مناطق حفاظت شده	پارک های ملی و منطقه ای، مناطق میراث فرهنگی، سایت های دیرینه شناسی و باستان شناسی
12	قنات های قدیمی	عدم وجود قنات
13	مناطق مرتفع و خطوط ساحلی	مطابق با توضیحات ادامه گزارش

بر اساس آنچه که در جدول 1-1 ارائه شده است:

- بدیهی است هر چه میزان تابش خورشیدی بیشتر باشد، الکتریسیته بیشتری توسط یک پنل خورشیدی تولید می شود. بر این اساس و بر اساس برآوردهای صورت گرفته، برای اینکه سیستم های فتوولتائیک از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند، معمولاً به شدت انرژی تابشی به میزان حداقل 1700 کیلووات ساعت بر متر مربع در سال نیاز می باشد.
- دمای هوا بطور مستقیم بر عملکرد نیروگاه خورشیدی و دوره بهره برداری آن تأثیر می گذارد. پارامترهای الکتریکی هر سلول خورشیدی بطور مرسوم در شرایط آزمایش استاندارد (STC) تعیین می شود (شدت توان تابشی 1000 W/m² و دمای کار سلول خورشیدی 25 درجه سانتیگراد است) بنابراین، بدیهی است که کار در شرایط STC منجر به راندمان بیشتر نیروگاه های خورشیدی می شود. شایان ذکر است که علاوه بر دمای هوا، عوامل دیگر اقلیمی مانند میزان رطوبت و نیز شرایط بهره برداری از پنل های خورشیدی (مانند نظافت سطح پنل ها)، تأثیری مستقیم در میزان راندمان یک نیروگاه خورشیدی دارند.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 15 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

- 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 حدودی بیش از 4 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 1000 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 بالاتری دارند و لذا بطور مرسوم جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی، پیشنهاد نمی‌گردند.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 16 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

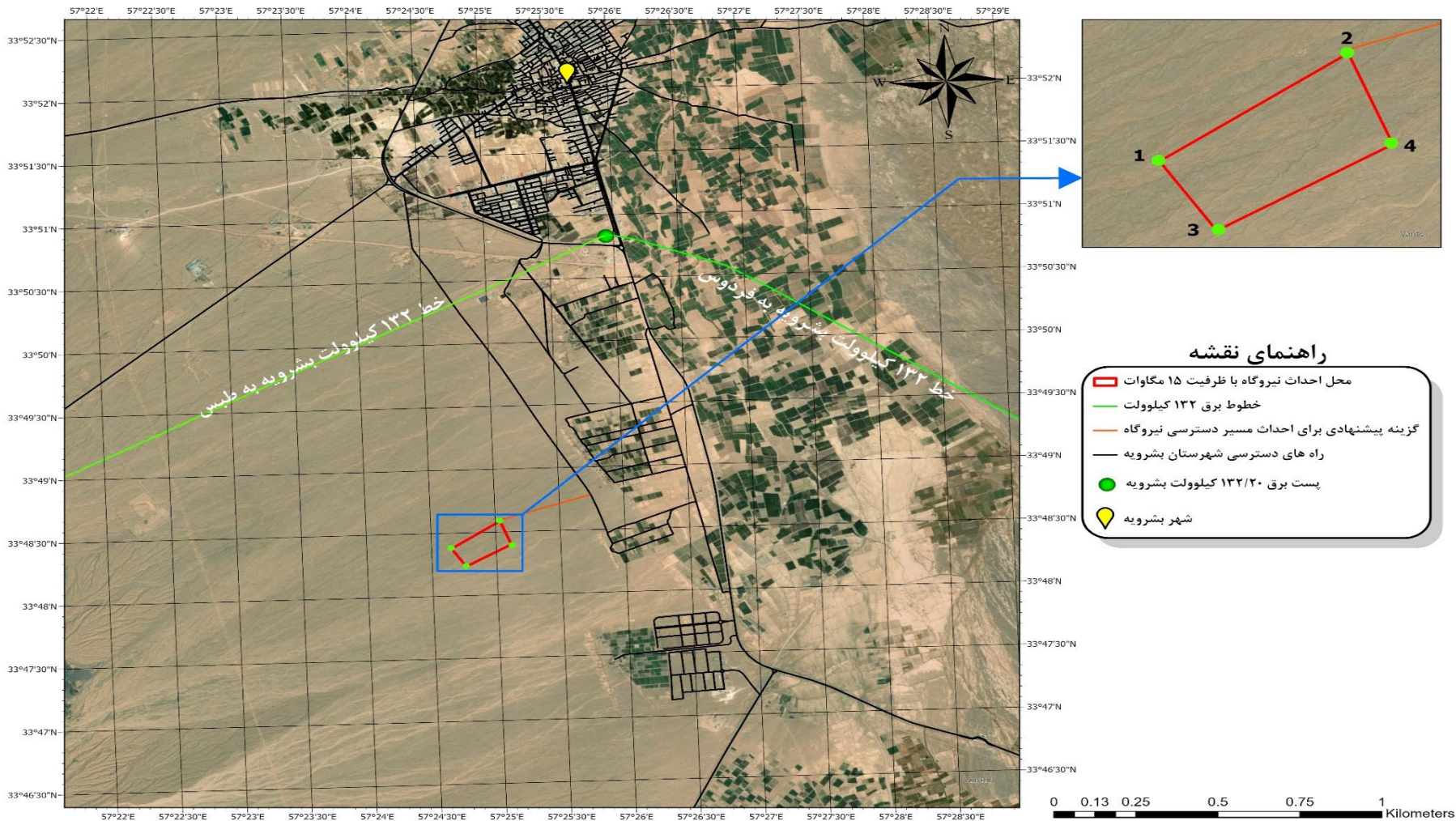
1-4- دسترسی به زمین

در انتخاب محل احداث نیروگاه خورشیدی، دسترسی مناسب به شبکه یکی از عوامل کلیدی محسوب می شود که تأثیر بسزایی در ارزیابی فنی و اقتصادی پروژه دارد. با توجه به معیارهای ذکر شده در بخش قبل، زمین در نظر گرفته شده به منظور احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه که در شهرستان بشرویه و در استان خراسان جنوبی واقع شده است، دارای مختصاتی به شرح ذیل می باشد. متناظر با این مقادیر، موقعیت این زمین نسبت به عوارض پیرامونی آن بر روی نقشه Google Earth نیز در شکل 1-6 نشان داده شده است:

جدول 1-2: مختصات ساختگاه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه

1: 538033.56 m E, 3740754.50 m N	2: 538620.49 m E, 3741144.95 m N
3: 538200.47 m E, 3740488.45 m N	4: 538746.86 m E, 3740798.03 m N
ZONE 40S	

		قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
		Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
	Page: 17 of 92	Document Title:		گزارش مطالعات امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی



شکل 1-6: موقعیت زمین محل احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه نسبت به عوارض پیرامونی آن

با توجه به این شکل‌ها و موقعیت ارائه شده، ویژگی‌های زمین در نظر گرفته شده به شرح ذیل است:

- زمین در نظر گرفته شده در شهرستان بشرویه و در استان خراسان جنوبی واقع شده است.
- این زمین در حدود 22/5 هکتار است که با توجه به استاندارد 1/2 تا 1/5 هکتار زمین برای هر مگاوات نیروگاه خورشیدی (با استراکچر ثابت - Fix Tilt) برای احداث حدود 15 مگاوات نیروگاه خورشیدی، مناسب می‌باشد؛
- روستاهای موردستان و زیرک در جهت شمال غربی و در فاصله حدود 9/5 کیلومتری از محل احداث نیروگاه، و همچنین روستای حجت‌آباد ارسک در جهت جنوب غربی و در فاصله حدود 10/5 کیلومتری از محل احداث نیروگاه خورشیدی بشرویه قرار دارند و به‌عنوان نزدیک‌ترین روستاها نسبت به محل اجرای این پروژه شناخته می‌شوند.
- نزدیک‌ترین شهرستان به محل احداث نیروگاه خورشیدی، بشرویه می‌باشد که در فاصله مستقیم 5/5 کیلومتری از آن قرار دارد.
- فاصله مستقیم محل احداث نیروگاه تا شهرستان بیرجند بعنوان مرکز استان خراسان جنوبی در حدود 197 کیلومتر می‌باشد.
- در ضلع شرقی زمین و در فاصله 1/2 کیلومتری از آن، جاده‌ای خاکی قرار دارد که می‌تواند یکی از گزینه‌های پیشنهادی برای احداث مسیر دسترسی نیروگاه باشد.
- در ضلع شرقی زمین و در فاصله 2/5 کیلومتری از آن جاده اصلی بشرویه - فردوس قرار دارد.
- فرودگاه طبس واقع در شهرستان طبس بعنوان نزدیک‌ترین فرودگاه نسبت به محل احداث نیروگاه خورشیدی بشرویه، در ضلع جنوب غربی زمین و در فاصله مستقیم 50 کیلومتری از آن قرار دارد.
- در ضلع شمالی زمین و در فاصله 3/2 کیلومتری از آن خط 132 کیلوولت قرار دارد.
- با توجه به موقعیت نیروگاه بشرویه و وضعیت شبکه سراسری اطراف طرح، تنها پست 132/20 کیلوولت بشرویه در اطراف آن قرار دارد. مختصات جغرافیایی پست مذکور در جدول 1-3، ارائه شده است.

جدول 1-3: مختصات جغرافیایی نزدیک‌ترین پست برق در محدوده محل احداث نیروگاه بشرویه

نام پست	Long	Lat
پست 132/20 کیلوولت بشرویه	57.432436°	33.847217°

به منظور جمع بندی مباحث مطرح شده و سهولت درک موقعیت مکانی نیروگاه، اطلاعات مربوط به فاصله و جهت عوارض پیرامونی زمین نسبت به آن نیز در قالب جدول 1-4 خلاصه شده است.

جدول 1-4: فاصله مراکز پیرامونی نسبت به محل احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه

ردیف	مراکز پیرامونی	فاصله تقریبی (km)	موقعیت جغرافیایی نسبت به زمین
1	روستاهای موردستان و زیرک	9/5	غرب
2	شهرستان بشرویه	5/1	شمال
3	شهرستان بیرجند	197	جنوب شرقی
4	فرودگاه طبس	62	شمال غربی
5	پست 132 کیلوولت بشرویه	4/5	شمال شرق
6	نزدیک ترین جاده خاکی موجود	1/2	شرق
7	نزدیک ترین جاده آسفالت (بشرویه- فردوس)	2/5	شرق

1-5- شیب و جهت بهینه پنل ها

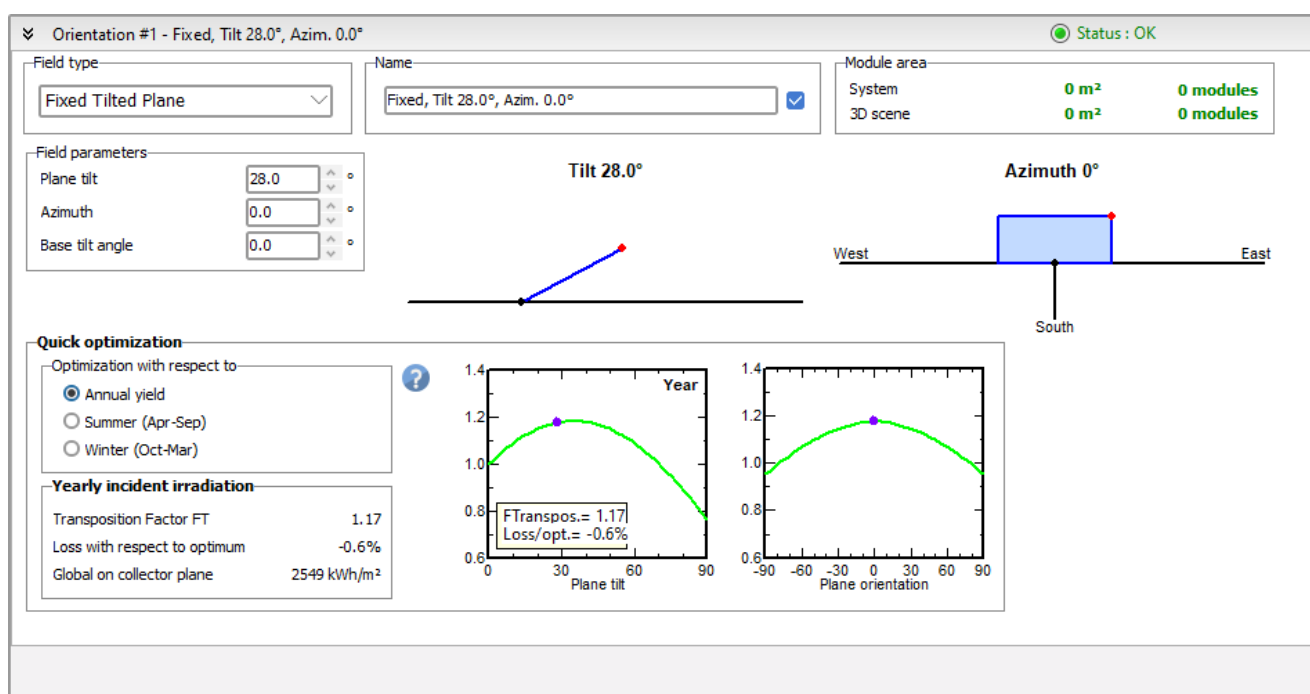
با توجه به اینکه ایران در نیمکره شمالی کره زمین واقع شده است، جهت گیری بهینه پنل های خورشیدی برای بیشینه سازی دریافت تابش خورشیدی در راستای جنوب جغرافیایی قرار دارد؛ بنابراین در طراحی نیروگاه های خورشیدی، پنل ها به گونه ای نصب می شوند که زاویه آزیموث آن ها رو به جنوب باشد. این انتخاب سبب می شود پنل ها در طول سال بیشترین میزان تابش خورشیدی مستقیم را دریافت کرده و در نتیجه بازده انرژی تولیدی نیروگاه در شرایط واقعی بهره برداری به حداکثر برسد.

زاویه بهینه نصب پنل های خورشیدی معمولاً برابر با عرض جغرافیایی یا کمی کمتر از آن در نظر گرفته می شود. در زمین پیشنهادی احداث نیروگاه، عرض جغرافیایی حدود 33/8 درجه است، بنابراین زاویه بهینه نصب پنل ها برای این منطقه نباید از حدود 33 درجه فراتر رود. از سوی دیگر، با توجه به محدودیت مساحت زمین در محل پروژه، یکی از پارامترهای مهم در طراحی مزارع خورشیدی، تعیین فاصله بین ردیف پنل ها می باشد. با توجه به شرایط زمین پروژه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه، فاصله بین ردیف ها پس از طراحی و انجام محاسبات، معادل 11/5 متر تعیین شده است تا ضمن استفاده بهینه از زمین، از سایه افکنی بین ردیف ها جلوگیری گردد.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 20 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

برای تعیین زاویه نصب مناسب تر، شبیه سازی هایی با نرم افزار PVsyst برای این نیروگاه انجام شد؛ در این شبیه سازی ها زاویه نصب پنل ها در بازه ۲۷ تا ۳۳ درجه مقایسه شد. نتایج نشان داد که وقتی زاویه نصب به مقادیر کمتر از این بازه کاهش پیدا کند، کاهش در تولید انرژی سالانه بسیار ناچیز است، اما به موازات آن، سایه افکنی بین ردیف ها به شکل قابل توجهی کاهش می یابد؛ بنابراین زاویه ۲۸ درجه بعنوان زاویه مطلوب نصب پنل ها انتخاب شد. همچنین، زاویه نصب پایین تر پنل ها از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه تر است.

شکل ۱-۷، تلفات سالیانه نیروگاه در زاویه ۲۸ درجه را نشان می دهد که مقدار ناچیزی می باشد.



شکل ۱-۷: تلفات سالیانه نیروگاه در زاویه ۲۸ درجه در نرم افزار PVsyst

۱-۶- بررسی پتانسیل تابشی در شهرستان بشرویه

تابش خورشیدی یکی از مهم ترین عوامل مؤثر در تولید انرژی در نیروگاه های خورشیدی است. این تابش به عنوان منبع اصلی انرژی، نقش بسیار مهمی در عملکرد و بهره وری این نیروگاه ها ایفا می کند. میزان تابش خورشیدی به طور مستقیم بر ظرفیت تولید انرژی یک سیستم فتوولتائیک تأثیر می گذارد و از این رو، بررسی دقیق میزان تابش در مناطق مختلف برای طراحی و راه اندازی نیروگاه های خورشیدی ضروری است. میزان تابش در یک منطقه در فصول مختلف سال تغییر می کند؛ به طوری که تابش در فصول بهار و تابستان به اوج خود می رسد و در پاییز و زمستان کاهش می یابد. این تغییرات فصلی تأثیر زیادی بر عملکرد نیروگاه ها دارند. بنابراین، برای طراحی سیستم های خورشیدی باید این نوسانات تابش در نظر گرفته

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 21 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

شوند تا بهره‌وری نیروگاه در تمام فصول سال حفظ شود. در جدول 1-5 اطلاعات تابشی شهرستان بشرویه و محل احداث نیروگاه که از وبسایت Global Solar Atlas استخراج شده نشان داده شده است.

جدول 1-5: اطلاعات تابشی سالانه شهرستان بشرویه

Map Data		
Specific Photovoltaic Power Output	PVOUT	1746.2 kWh/kWp
Direct Normal Irradiation	DNI	1791.9 kWh/m ²
Global Horizontal Irradiation	GHI	1965.4 kWh/m ²
Diffuse Horizontal Irradiation	DIF	830.1 kWh/m ²
Air Temperature	TEMP	20.3 °C
Terrain Elevation	ELE	814 m

- **PVOUT:** نشان دهنده این است که یک سیستم خورشیدی به ازای هر کیلووات ظرفیت نصب شده (kWp)، چقدر انرژی تولید می‌کند.
- **DNI:** این شاخص، میزان تابشی را نشان می‌دهد که مستقیم از خورشید می‌آید (تابش مستقیم خورشید روی سطح عمود بر آن). همچنین، مناسب برای سیستم‌های خورشیدی متمرکز (CSP) و پنل‌های تک یا دو محوره می‌باشد.
- **GHI:** مجموع تابش مستقیم و پراکنده‌ای است که به یک سطح افقی می‌رسد (تابش پراکنده از آسمان و اطراف).
- **DIF:** بخشی از GHI است که بصورت پراکنده از آسمان (نه مستقیم از خورشید) به سطح افقی می‌رسد. یعنی در روزهای ابری بیشتر تابش از نوع DIF است.
- **TEMP:** میانگین دمای سالانه در محل پروژه را نشان می‌دهد.
- **ELE:** بیانگر ارتفاع از سطح دریا در محل احداث نیروگاه است.

شهرستان بشرویه با میانگین بیش از 3000 روز آفتابی در سال (مطابق با نرمال اقلیمی کل کشور) و میزان تابش سالانه با شدت حدود 1800 kWh/m² تا 2000 (GHI) و DNI حدود 1791 kWh/m²، یکی از نقاط مستعد برای توسعه نیروگاه

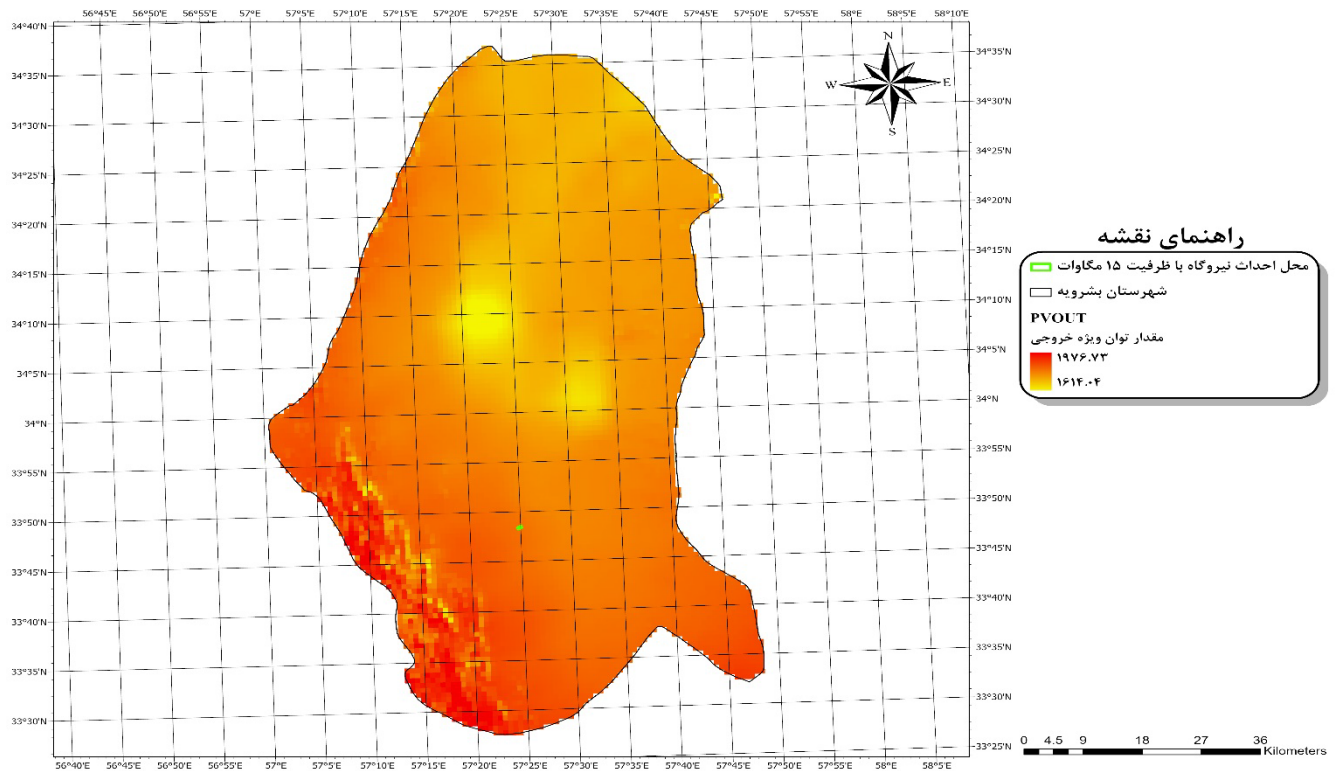
	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 22 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

خورشیدی در استان محسوب می شود. مطابق شکل 1-8، نقشه توان ویژه خروجی (PVOUT) در این منطقه، عددی در حدود $1746/2 \text{ kWh/kWp}$ را نشان می دهد که برای ارتفاع 814 متری بسیار مناسب است.

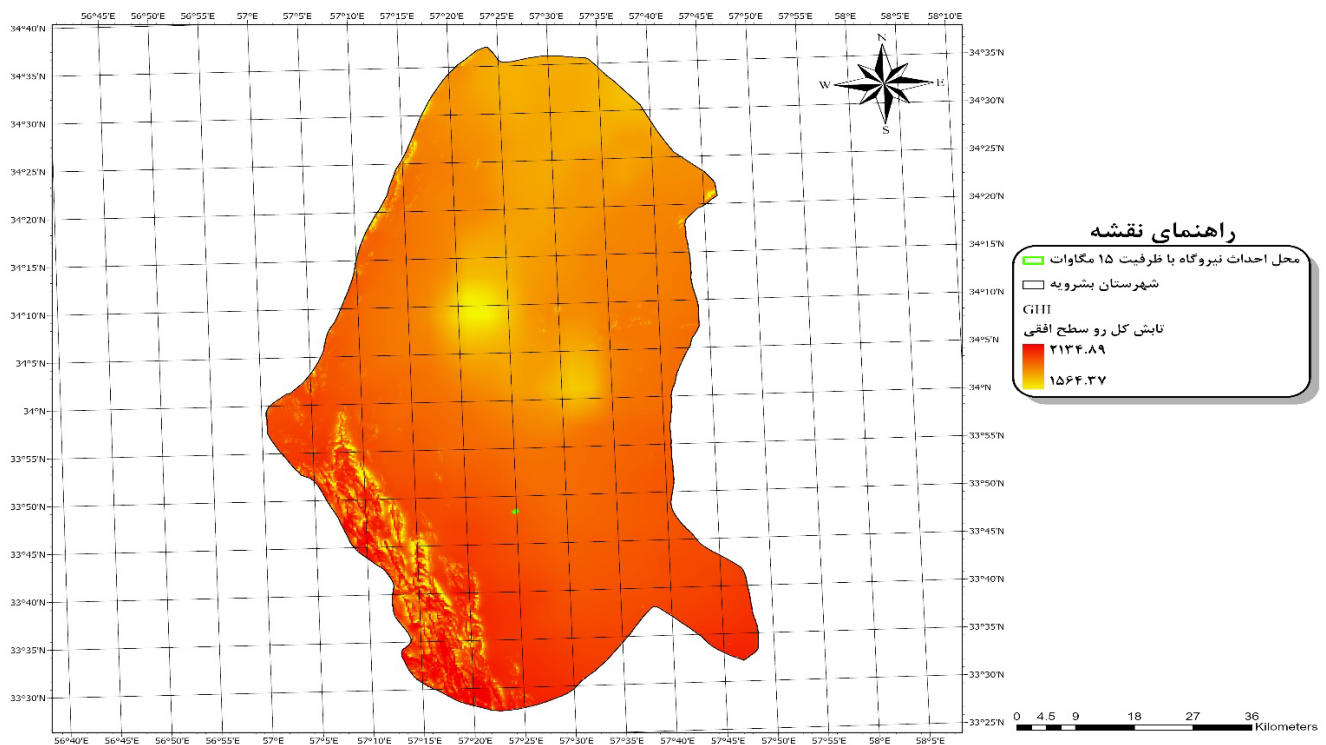
با توجه به بررسی های اقلیمی و داده های شکل 1-8، فصول بهار و تابستان (میانه اردیبهشت تا پایان شهریور)، شدت تابش خورشیدی به اوج خود می رسد و تولید انرژی در اوج قرار دارد. در مقابل، در فصول پاییز و زمستان هرچند تابش کاهش می یابد، اما PVOUT همچنان در حدی باقی می ماند که بهره وری اقتصادی نیروگاه را تأمین می کند، به ویژه با توجه به کاهش مصرف زمستانه و افزایش ضریب صرفه جویی انرژی.

با در نظر گرفتن جدول 1-5 و شکل 1-8 مقدار PVOUT در شهرستان بشرویه در حدود 1614 kWh/kWp تا 1976 در سال به ازای هر کیلووات پنل خورشیدی نصب شده است که بازدهی مطلوبی به شمار می رود. در مقایسه، در مناطق نیمه خشک، PVOUT معمولاً بین $1400 \text{ kWh/kWp/year}$ تا 1700 است. در مناطق بسیار آفتابی مانند یزد، کرمان یا فارس، اگر PVOUT در حدود $1800 \text{ kWh/kWp/year}$ تا 2000 باشد، نشانگر تابش بالا و عملکرد پتانسیل قوی است. در این راستا، عدد $1746/2 \text{ kWh/kWp}$ برای ناحیه ای در ارتفاع 814 متری، یک بازده مناسب و قابل قبول برای احداث نیروگاه خورشیدی به شمار می رود. همچنین، این بازده نشان دهنده عملکرد اقتصادی قابل قبولی در همه فصول سال، به ویژه بهار و تابستان است.

در ادامه و در شکل 1-9 نقشه تابش کل روی سطح افقی زمین (GHI) شهرستان بشرویه بر حسب کیلووات ساعت بر متر مربع را نشان می دهد.



شکل ۸-۱: نقشه توان ویژه خروجی سیستم خورشیدی در شهرستان بشرویه



شکل ۹-۱: میزان تابش کل روی سطح افقی زمین در شهرستان بشرویه

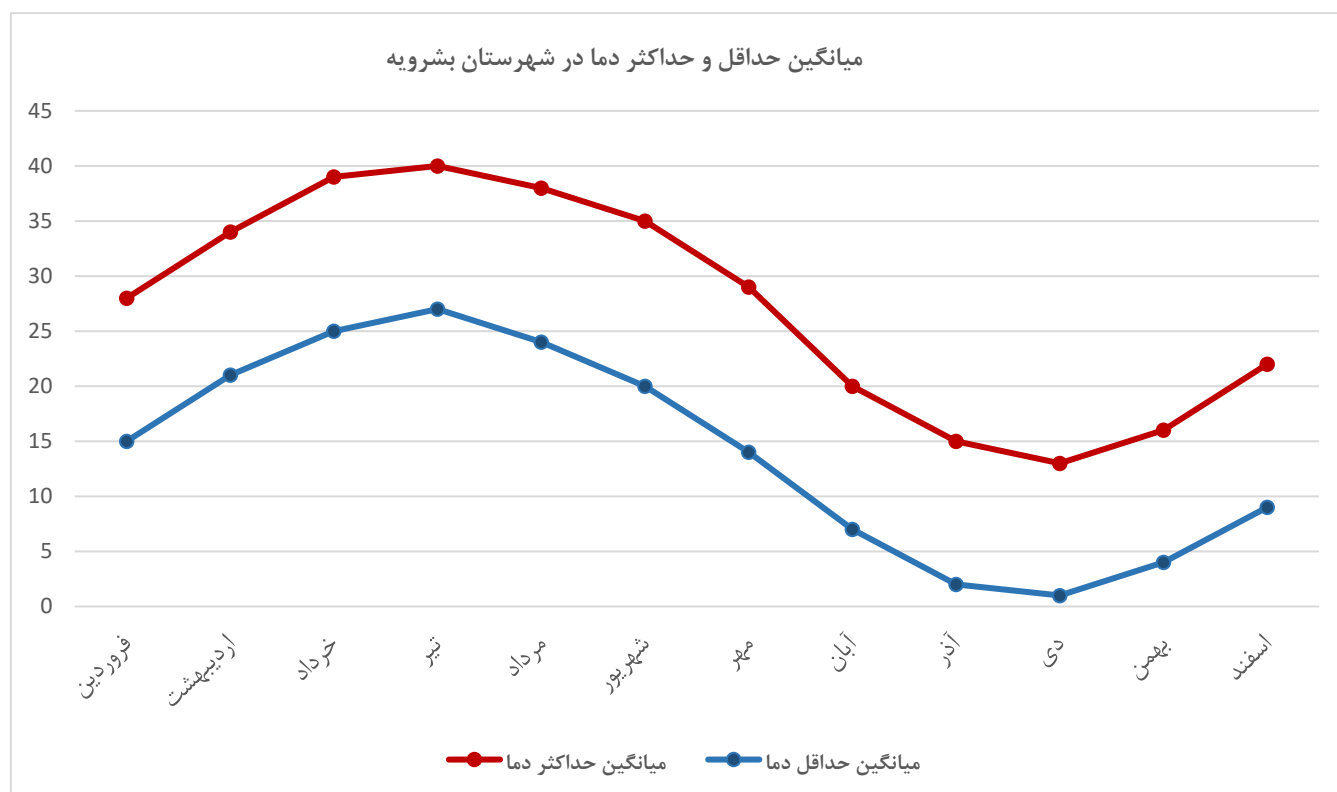
	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 24 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

با توجه به داده‌های تابشی منطقه، مقدار تابش خورشیدی کل روی سطح GHI در بازه‌ای بین 1564 تا 2134 کیلووات ساعت بر مترمربع در سال برآورد شده است. این مقدار نشان دهنده پتانسیل مناسب خورشیدی در منطقه بوده و آن را در رده مناطق با تابش بسیار مناسب در سطح کشور و حتی در مقیاس بین‌المللی قرار می‌دهد. این شاخص‌ها بیانگر آن است که منطقه مورد نظر از منظر تابشی، شرایط بسیار مطلوبی برای احداث نیروگاه خورشیدی داراست و بهره‌وری اقتصادی طرح را تضمین می‌نماید. چنین سطحی از تابش می‌تواند بازگشت سرمایه را سریع‌تر و نیروگاه را در برابر نوسانات جوی مقاوم‌تر کند.

1-7- بررسی میانگین حداقل و حداکثر دما

براساس داده‌های آب و هوایی ایستگاه بشرویه، دمای منطقه دارای نوسانات فصلی قابل توجه است. بیشینه دما در ماه تیر با میانگین 40 درجه سانتی‌گراد و میانگین کمینه دما در ماه دی با 1 درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. مطابق نمودار، دما از ماه‌های زمستانی روندی افزایشی به خود می‌گیرد و در فصل بهار به تدریج افزایش می‌یابد؛ بطوریکه میانگین حداکثر دما در خرداد و تیر به بیشترین مقدار خود می‌رسد. همزمان، میانگین حداقل دما نیز در همین بازه به حدود 25 تا 27 درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد که نشان دهنده شب‌های نسبتاً گرم تابستانی است. پس از اوج تابستان، از مرداد ماه به بعد کاهش محسوس دما آغاز شده و در فصل پاییز و زمستان به کمترین میزان سالانه می‌رسد؛ به نحویکه در دی ماه میانگین حداقل دما در حدود ۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر دما در حدود ۱۳ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. در شکل 1-10، نمودار میانگین حداقل و حداکثر دما در شهرستان بشرویه نشان داده شده است.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 25 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

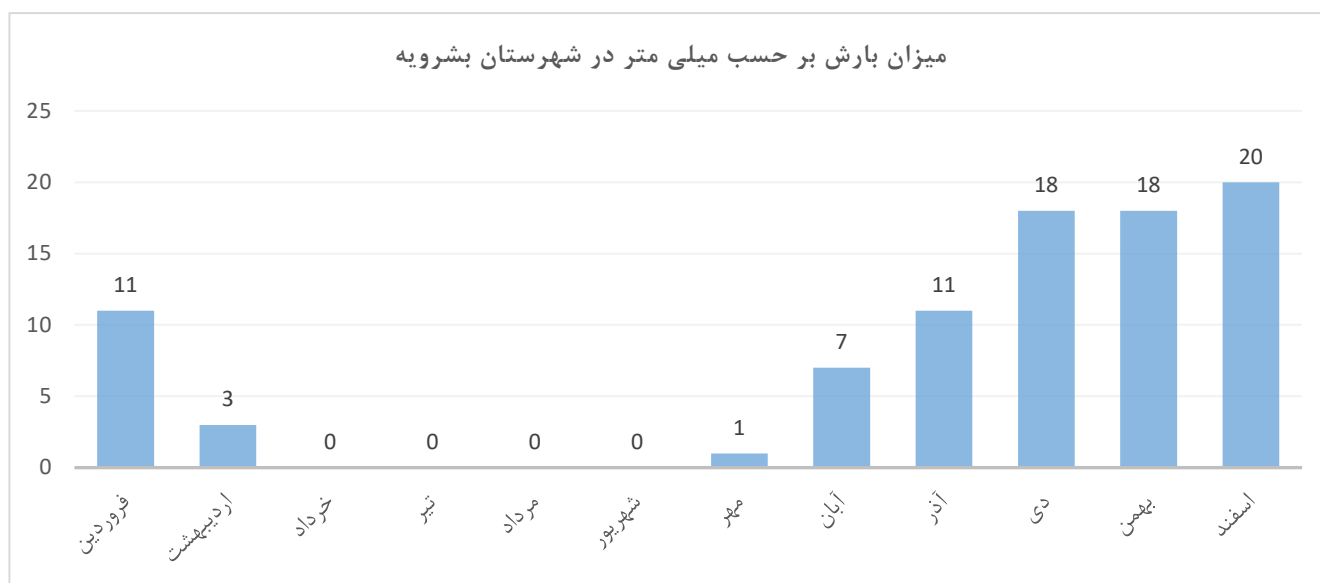


شکل 1-10: نمودار میانگین حداقل و حداکثر دما در شهرستان بشرویه

8-1- بررسی بارش‌های سالیانه شهرستان بشرویه

مطابق با آمار مربوط به بارندگی شهرستان بشرویه، میزان بارندگی در محدوده طرح نیروگاه خورشیدی بسیار کم و پراکنده است. بیشترین بارندگی ماهانه در اسفند با 20 میلی‌متر و کمترین بارندگی در ماه‌های خرداد تا شهریور با صفر میلی‌متر ثبت شده است. به طور میانگین، شهرستان بشرویه دارای اقلیم خشک تا فراخشک با بارش سالانه بسیار کم و پراکنده است. شکل 1-11، نمودار تغییرات بارندگی در ماه‌های مختلف شهرستان بشرویه را نشان می‌دهد.

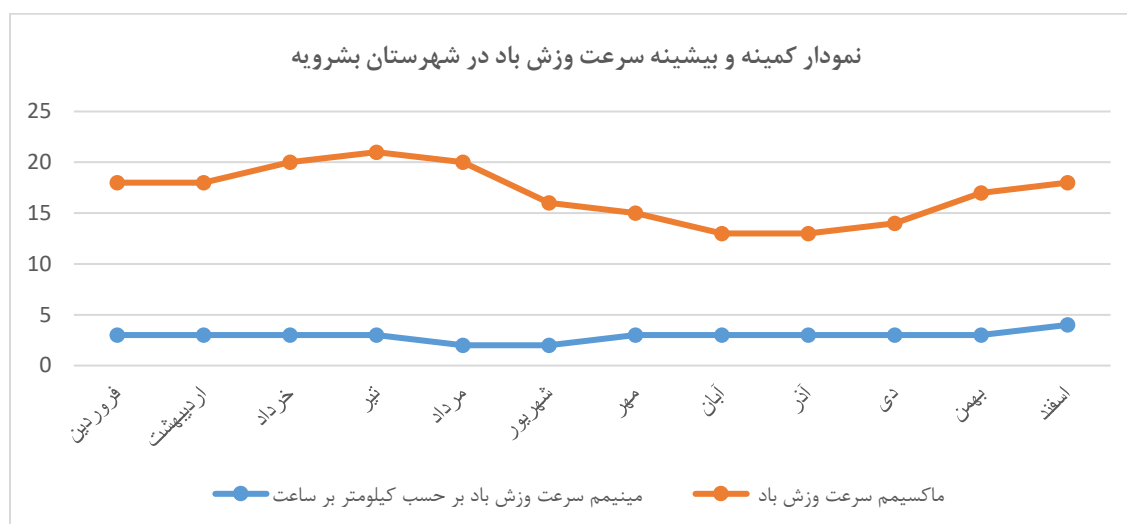
	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 26 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02



شکل 1-1: میزان بارش در شهرستان بشرویه

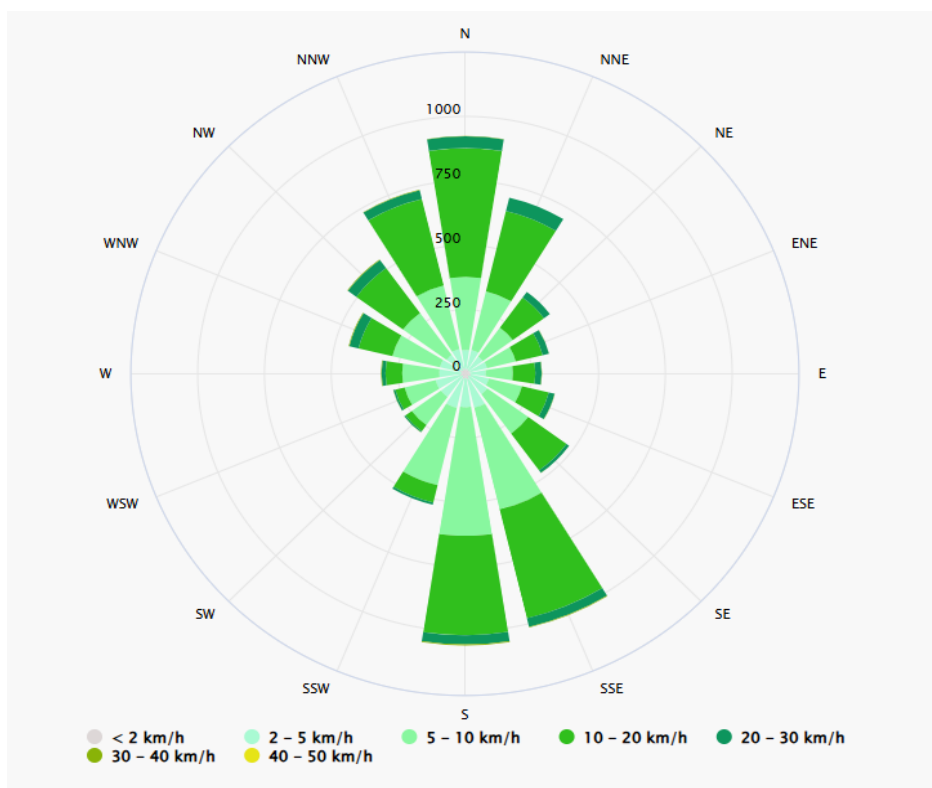
9-1- بررسی سرعت و جهت وزش باد در شهرستان بشرویه

باد از آثار عمده و مهم فشار هوا است که همواره در هواشناسی سمت و سرعت وزش آن تا ارتفاع 10 متری از سطح زمین اندازه گیری، ثبت و گزارش می گردد. شکل 1-12 نمودار کمینه و بیشینه سرعت وزش باد در شهرستان بشرویه و شکل 1-13 نمودار گلباد (Wind Rose) در این شهرستان را نشان می دهد. بر همین اساس، منطقه عمدتاً تحت تأثیر بادهایی با شدت کم تا متوسط قرار دارد و سهم بادهای با سرعت های بالاتر از ۲۰ کیلومتر بر ساعت محدود است. گلباد نیز این نتیجه را تأیید کرده و نشان می دهد که باد غالب منطقه عمدتاً از جهات شمالی، جنوبی و جنوب شرقی می وزد، بطوریکه بیشترین فراوانی باد در بازه سرعتی ۵ تا ۲۰ کیلومتر بر ساعت متمرکز است.



شکل 1-12: نمودار کمینه و بیشینه سرعت باد در شهرستان بشرویه

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 27 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02



شکل 1-13: نمودار گلباد در شهرستان بشرویه

10-1- بررسی فناوری تجهیزات اصلی مورد استفاده در پروژه

نوع، کیفیت، کارایی، طول عمر و سازگاری با شرایط محیطی تجهیزات اصلی یک نیروگاه خورشیدی از جمله پنل و اینورتر، نقشی اساسی در رانندگی اینگونه نیروگاهها دارد. در انتخاب و مقایسه برندهای مختلف پنل‌های خورشیدی، توجه به عوامل کلیدی مانند کارایی، قابلیت اطمینان، هزینه، تست‌های آزمایشگاهی (از جمله مقاومت در برابر دما، تابش، تنش‌های 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 سال‌های اخیر را رتبه‌بندی کرده‌اند، در جداول 1-6 و 1-7 نتایج حاصل از این بررسی‌ها، بیان شده است.

- مقایسه برندهای مختلف پنل خورشیدی بر اساس Tier 1، PVEL، RETC؛
- مقایسه برندهای مختلف اینورتر بر اساس PVTIME، Wood Mackenzie و Elum-energy.com؛



جدول 1-6: جمع بندی برندهای برتر پنل خورشیدی

بر اساس RETC	بر اساس PVEL	بر اساس Tier 1
Trina Solar Qcells Jinko Longi solar JA solar	Jinko Trina Solar JA Solar Qcells Astronergy	Jinko Trina Solar JA Solar Tongwei Canadian solar

جدول 1-7: 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

1-10-1- پنل و اینورتر نیروگاه خورشیدی پروژه بشرویه

با توجه به درخواست کارفرما مبنی بر استفاده از پنل های خورشیدی مبتنی بر فناوری HJT، از آن جایی که این فناوری علیرغم برخورداری از مزایای فنی، در حال حاضر به صورت گسترده تجاری سازی نشده و دامنه تولیدکنندگان آن محدود است، امکان انتخاب از میان برندهای متداول بازار با محدودیت همراه می باشد. در این شرایط، انتخاب تأمین کننده ای دارای اعتبار بین المللی و توان تولید صنعتی پنل های HJT حائز اهمیت است. بر این اساس، شرکت RISEN Solar به عنوان یکی از برندهای شناخته شده و معتبر جهانی که پنل های خورشیدی مبتنی بر فناوری HJT را به صورت تجاری در سبد محصولات خود ارائه می دهد، به عنوان گزینه منتخب برای پروژه حاضر در نظر گرفته شده است. همچنین اینورترهای شرکت Huawei به عنوان یکی از برندهای پیشرو و معتبر در صنعت فتوولتایک، برای نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه انتخاب شده اند که جزئیات آن در ادامه گزارش ارائه شده است.

1-10-2- پنل خورشیدی

در این نیروگاه از پنل خورشیدی 720 وات N-type/ Bifacial/ Monocrystalline/ HJT ساخت شرکت Risen Solar کشور استرالیا استفاده شده است که بازدهی در حدود 23/2٪ درصد دارد. در حال حاضر، این شرکت از جمله معدود تولیدکنندگانی است که پنل های خورشیدی مبتنی بر فناوری HJT را به صورت گسترده به بازار عرضه کرده است. کاتالوگ این پنل در پیوست شماره 1، ارائه شده است.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 29 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	

1-2-10-1- تأثیر سطح پشتی^۱ در پنل های بایفیشیال

پنل های بایفیشیال علاوه بر سطح جلویی^۲ که به طور مستقیم تابش خورشید را دریافت می کنند، قادرند بخشی از انرژی تابشی بازتاب شده از سطح زمین و محیط اطراف را از طریق سطح پشتی جذب نمایند. این ویژگی موجب افزایش راندمان و توان خروجی پنل در مقایسه با پنل های بایفیشیال می شود.

راندمان سطح پشتی پنل های بایفیشیال را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$Bifacial\ Gain = Bifacial\ factor \times Albedo \times \frac{I_{rear}}{I_{front}}$$

در رابطه فوق؛

- **Albedo** : نشان دهنده ضریب بازتاب سطح زمین است یعنی چه نسبتی از تابش خورشید پس از برخورد با سطح زمین بازتاب می شود. هرچه سطح زمین به رنگ سفید نزدیک تر باشد میزان بازتاب بیشتر خواهد بود.
- **Bifacial Factor** : این ضریب مشخصه ذاتی ماژول است و نشان می دهد که سلول های خورشیدی در سطح پشتی چه نسبتی از توان تولیدی سطح جلویی را می توانند بازتولید کنند. این عدد برای پنل های HJT در حدود 80 تا 90 درصد است.
- $\frac{I_{rear}}{I_{front}}$: که بیانگر نسبت تابش پشت پنل به روی آن است و عواملی نظیر:

✓ ارتفاع پنل از سطح زمین (هرچه بیشتر باشد، میزان تابش بیشتری به پشت پنل می رسد)

✓ فاصله بین ردیف ها (کاهش سایه اندازی باعث افزایش تابش به سطح پشتی می شود)

✓ زاویه نصب و اجتناب از انسداد پشت پنل

داده های تجربی نشان می دهند در شرایط بهینه شامل تابش مناسب، آلودگی بالا، ارتفاع مناسب سازه، فاصله مناسب بین ردیف ها و تأثیر Bifacial Gain بر بازده کلی پنل معمولاً از 5٪ فراتر نمی رود و معمولاً در اکثر ایام سال در بازه 2-5٪ قرار دارد.

¹ Rear Side

² Front Side

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 30 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

1-10-3- اینورتر خورشیدی

در این نیروگاه از اینورتر خورشیدی 330 کیلووات ساخت شرکت Huawei کشور چین استفاده شده است. این شرکت یکی از پنج تأمین کننده برتر اینورتر خورشیدی در جهان است. بر اساس گزارش های منتشر شده توسط مؤسسه معتبر Wood Mackenzie، این شرکت طی سال های اخیر همواره در میان برترین تولیدکنندگان اینورتر خورشیدی جهان قرار داشته و در برخی سال ها، به ویژه در بازار اینورترهای مقیاس نیروگاهی، رتبه نخست جهانی را از نظر حجم فروش به خود اختصاص داده است. کاتالوگ اینورتر به کار رفته در این طراحی در پیوست شماره 2، ارائه خواهد شد.

1-10-4- استراکچر

با توجه به هزینه های بالای سیستم های ردیاب خورشیدی و پیچیدگی های ناشی از بهره برداری و نگهداری آن ها، در اغلب پروژه های نیروگاه خورشیدی در ایران، استفاده از استراکچرهای ثابت به عنوان گزینه اصلی مد نظر قرار می گیرد. این نوع استراکچر ضمن کاهش هزینه های سرمایه گذاری اولیه و هزینه های عملیاتی و نگهداری، از نظر پایداری مکانیکی و طول عمر نیز عملکرد مطمئن تری دارد. هرچند سیستم های ردیاب می توانند افزایش محدودی در انرژی تولیدی ایجاد کنند، اما تحلیل های اقتصادی نشان می دهد که استفاده از استراکچرهای ثابت در شرایط اقتصادی و اقلیمی ایران گزینه ای به صرفه تر و عملی تر است. در واقع، بدیهی است در مقایسه با استفاده از سیستم های خورشیدی بدون ردیاب، هزینه احداث سیستم های مبتنی بر ردیاب خورشیدی افزایش خواهد یافت که در این زمینه دو عامل تأثیرگذار می باشند:

✓ هزینه تجهیز سیستم خورشیدی به ردیاب؛

- تأثیر هزینه ردیاب های تک محوره؛ ردیاب های تک محوره اغلب دارای محور شمالی-جنوبی بوده و حرکت خورشید را از طلوع تا غروب خورشید به صورت روزانه دنبال می کنند. بر اساس آمار، استفاده از این نوع از ردیاب ها، توان تولیدی سیستم خورشیدی را در حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد و هزینه یک سیستم خورشیدی را در حدود ۵ تا ۱۰ درصد نسبت به سیستم های خورشیدی فاقد ردیاب (سازه های ثابت) افزایش می دهند.

- تأثیر هزینه ردیاب های دو محوره؛ ردیاب های خورشیدی دو محوره علاوه بر تعقیب روزانه خورشیدی از شرق به غرب، دارای سیستمی برای تنظیم زاویه شیب نیز بوده و تغییر زاویه ارتفاع خورشید را در طی سال نیز دنبال می کنند. با دنبال کردن این تغییر زاویه فصلی خورشید به همراه تغییر روزانه حرکت خورشید از شرق به غرب، ردیاب های خورشیدی دو محوره در حدود 30 تا 40 درصد انرژی تولیدی

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 31 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

سیستم خورشیدی را افزایش داده از سویی دیگر باعث افزایش ۱۰ تا ۱۵ درصدی هزینه اینگونه سیستمها می گردند.

✓ هزینه ناشی از افزایش مساحت زمین مورد نیاز جهت احداث سیستم خورشیدی؛

- استفاده ترکر به منظور افزایش راندمان نیروگاههای خورشیدی به عنوان یکی از راهکارهای مرسوم همواره مورد توجه بوده که این موضوع سبب افزایش مساحت زمین مورد نیاز برای احداث یک نیروگاه خورشیدی با ظرفیت مشابه با یک نیروگاهی بدون ردیاب می باشد. بنابراین، از مهمترین نکات قابل توجه درباره سیستمهای ردیاب خورشیدی، نسبت پوشش زمین (GCR یا LCR) یا همان نسبت مساحت ماژول به مساحت زمین است. بطور متوسط؛

- GCR در یک سیستم خورشیدی ثابت حدوداً 50 درصد است؛
- GCR در یک سیستم خورشیدی تک محوره حدوداً 33 درصد است؛
- GCR در یک سیستم خورشیدی دو محوره حدوداً 25 درصد است؛

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 32 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

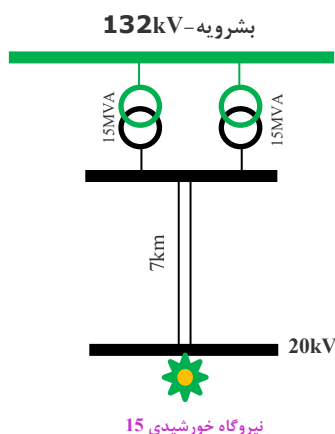
11-1- نحوه اتصال به شبکه

با توجه به اطلاعات و مشخصات شبکه محدوده اطراف محل احداث نیروگاه، پست برق 132/20 کیلوولت بشرویه در شمال شرقی زمین محل احداث نیروگاه واقع شده است. بر این اساس و با توجه به مطالعات اتصال به شبکه صورت گرفته توسط شرکت خدمات مهندسی مشاور پایا نیرو پاژ، نیروگاه مذکور باید از طریق احداث خط 20 کیلوولت به شینه 20 کیلوولت پست 132/20 کیلوولت بشرویه اتصال یابد که مطابق با این آلترناتیو که طرح کلی آن در شکل 1-14 نشان داده شده است. همچنین، شرایط اولیه اتصال به شبکه به شرح ذیل می باشد:

✓ نیروگاه از طریق احداث یک خط هوایی 20 کیلوولت دومداره بطول تقریبی 7 کیلومتر به شینه 132 کیلوولت پست 132/20 کیلوولت بشرویه اتصال پیدا خواهد کرد؛

✓ نوع هادی پیشنهادی به منظور اتصال به شبکه نیروگاه مطابق با بند قبل، باید با توجه به ظرفیت حرارتی هادی، طول مسیر، میزان بارگذاری هادی ها در شرایط بهره برداری نرمال و تک اضطراری تعیین گردد که در این مطالعات هادی HYENA پیشنهاد می شود؛

✓ بدیهی است به منظور اتصال نیروگاه به پست مذکور، توسعه دو فیدر خط 132 کیلوولت در پست بشرویه ضروری می باشد که با توجه به بازدید میدانی صورت گرفته، امکان انجام این طرح وجود دارد؛



شکل 1-14: دیاگرام تک خطی آلترناتیو پیشنهادی به منظور اتصال به شبکه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه

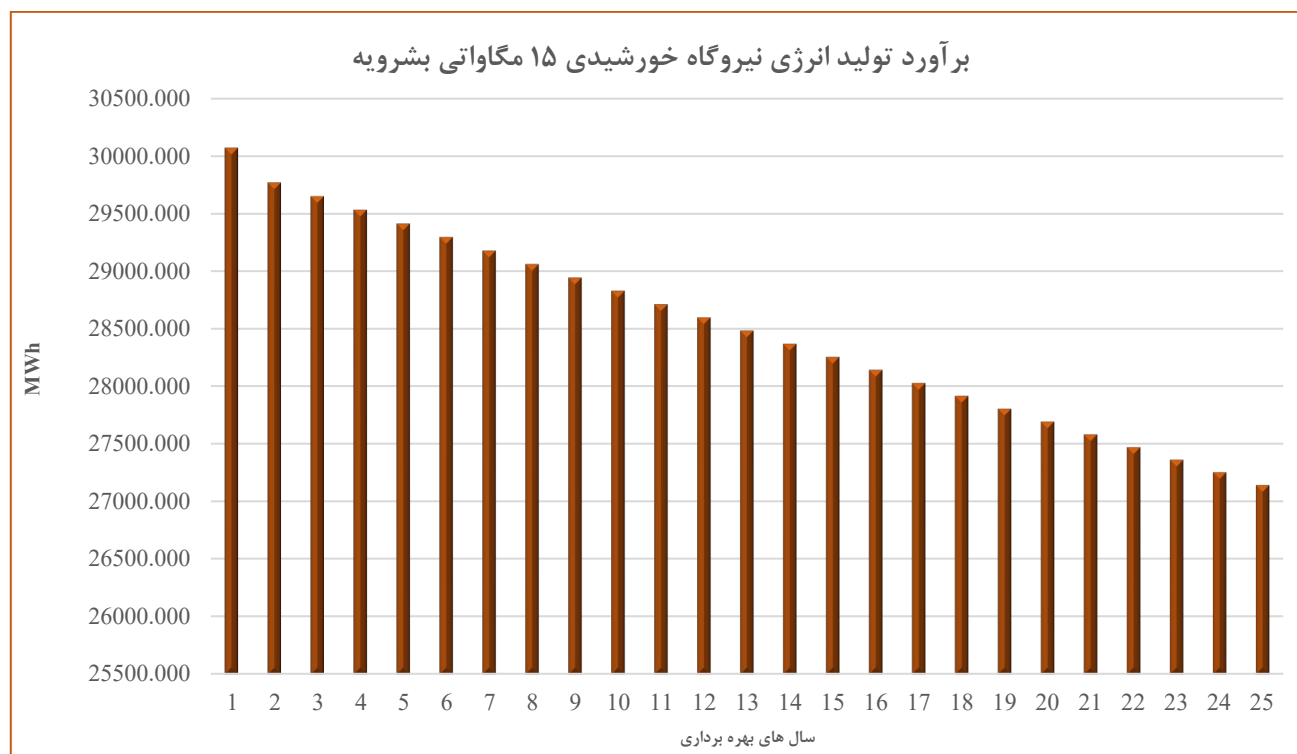
	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 33 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

1-12- برآورد انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی با استفاده از شبیه سازی در 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 3 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:

30,064MWh = انرژی تولیدی نیروگاه 15 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 15 مگاواتی بشرویه در طول مدت زمان 25 سال بهره برداری بهره برداری، مطابق با شکل 1-15، 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 1-15: نمودار تولید سالیانه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه در طول 25 سال مدت بهره برداری

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 34 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	

لازم به ذکر است انرژی تولیدی نیروگاه در نرم افزار PVsyst بر اساس داده های اقلیمی دریافتی از پایگاه داده جهانی اقلیمی Meteonorm محاسبه می شود. این پایگاه داده، شرایط آب و هوایی میانگین چند سال اخیر منطقه را در نظر گرفته و شامل اطلاعات تابش خورشیدی، دمای محیط، سرعت باد و سایر پارامترهای اقلیمی است. نرم افزار با استفاده از این داده ها و همچنین با لحاظ کردن شرایط محیطی طراحی شده، از جمله ضریب آلودگی برابر با 0/2، میزان تولید سالانه نیروگاه را برآورد می کند. با این حال، بدیهی است که انرژی خروجی نیروگاه وابسته به شرایط واقعی اقلیمی و محیطی در دوره بهره برداری از نیروگاه، کیفیت تجهیزات استفاده شده، طراحی بهینه نیروگاه، نحوه و میزان شستشوی پنل ها در جهت افزایش راندمان آن ها، خواهد بود. از این رو در صورتیکه شرایط جوی و محیطی مانند میزان تابش، دما یا آلودگی با مقادیر مبنای شبیه سازی متفاوت باشد، میزان انرژی تولیدی نیروگاه می تواند افزایش یا کاهش یابد.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 35 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

فصل دوم:

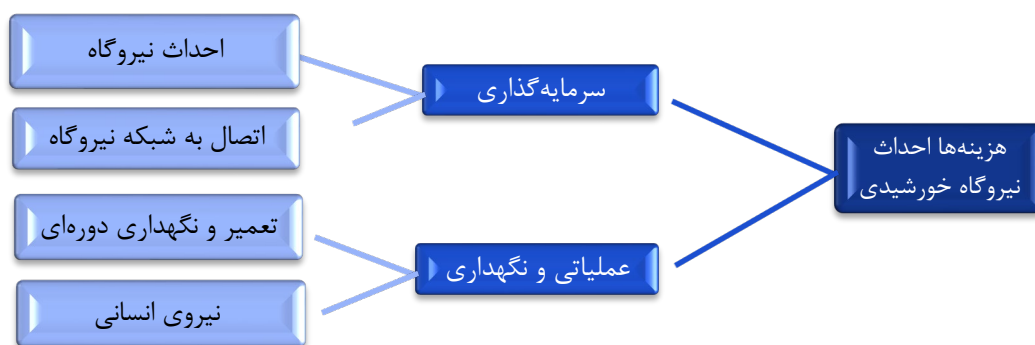
بخش مالی و اقتصادی – تحلیل هزینه ها و درآمدهای پروژه

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 36 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

2- تحلیل اقتصادی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه

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 سرمایه‌گذاری¹ (CAPEX) و عملیاتی² (OPEX) و پیش‌بینی درآمدهای آتی کمک می‌کند.

در این فصل تمام مفروضات مالی و اقتصادی و شاخص‌های کلیدی مانند نرخ بازگشت سرمایه³ (IRR)، ارزش خالص فعلی⁴ (NPV) و دوره بازگشت سرمایه⁵ (Payback Period) بصورت شفاف مورد بررسی قرار می‌گیرد. این رویکرد جامع، دیدگاهی روشن و عملیاتی برای اطمینان از سودآوری و پایداری پروژه را در بلندمدت فراهم می‌کند. شکل 1-2 نمایی کلی از تحلیل اقتصادی پروژه را ارائه می‌دهد و اجزای اصلی آن را به صورت خلاصه و ساختار یافته نمایش می‌دهد.



شکل 1-2: نمای کلی تحلیل اقتصادی پروژه

1-2- مفروضات اقتصادی

در تحلیل‌های مالی و اقتصادی، تعریف و تدوین مجموعه‌ای از مفروضات اولیه امری ضروری است. این مفروضات، شامل پارامترهایی نظیر هزینه‌های سرمایه‌گذاری (CAPEX) شامل احداث نیروگاه و خط اختصاصی و توسعه شبکه بالادست،

¹ Capital Expenditure

² Operation Expenditure

³ Internal Rate of Return

⁴ Net Present Value

⁵ Payback Period

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 37 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

هزینه‌های عملیاتی و نگهداری (OPEX)، نرخ تنزیل، نرخ تبدیل ارز آزاد و نیمایی، قیمت برق سبز و سایر عوامل مؤثر بر ارزیابی اقتصادی پروژه می‌باشند. هدف از ارائه این بخش، ایجاد چارچوبی شفاف برای محاسبات اقتصادی و امکان مقایسه‌پذیری نتایج در سناریوهای مختلف است. جدول 1-2، مهم‌ترین مفروضات اقتصادی مورد استفاده در تحلیل‌های این گزارش را به‌صورت خلاصه ارائه می‌نماید.

جدول 1-2: مفروضات اقتصادی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه

ردیف	پارامتر اقتصادی	واحد	مقدار عددی
1	هزینه سرمایه‌گذاری (CAPEX)	دلار	6,604,375
2	هزینه عملیاتی و نگهداری سالیانه (OPEX)	دلار	99,066
3	مدت زمان بهره‌برداری	سال	25
4	انرژی تولیدی نیروگاه در سال اول	مگاوات ساعت	30,064
5	قیمت فروش برق سبز	کیلووات ساعت/ دلار	0.05
6	دلار آزاد	ریال	1,700,000
7	نرخ مالیات بر درآمد (از سال 11)	درصد	25
8	نرخ تنزیل	درصد	12

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 38 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

2-2- هزینه های سرمایه گذاری

هزینه های سرمایه گذاری شامل تمامی هزینه های مربوط به طراحی، احداث و راه اندازی پروژه نیروگاه خورشیدی است. این هزینه ها معمولاً به دو دسته اصلی تقسیم می شوند که هر یک به تفصیل در ادامه شرح داده می شوند:

2-2-1- هزینه احداث نیروگاه

این بخش شامل هزینه های خرید و نصب تجهیزات نیروگاه از قبیل پنل های خورشیدی، اینورترها، سازه های نگهدارنده، کابل و تجهیزات جانبی است. هزینه های مطالعات اولیه، طراحی، مهندسی، نصب و اجرا نیز در این دسته قرار می گیرد. لازم به ذکر است که در این مطالعات، هزینه احداث هر مگاوات نیروگاه خورشیدی در حدود 330,000 دلار (بدون احتساب هزینه های خط انتقال و مدیریتی و بالاسری) برآورد شده است. همچنین، هزینه بخش ارزی نیروگاه شامل خرید تجهیزاتی از قبیل پنل، اینورتر، سیستم مخابراتی و MV Station بصورت دلاری محاسبه شده درحالیکه هزینه بخش های دیگر که شامل مواردی از قبیل فعالیت های ساختمانی، تأمین کابل و تجهیزات جانبی نیروگاه و مهندسی می باشد، بصورت ریالی محاسبه شده است.

همچنین، شایان ذکر است که در این مطالعات نرخ تبدیل هزینه های ریالی به دلاری، 1,700,000 ریال معادل نرخ دلار آزاد لحاظ شده است.

2-2-2- هزینه اتصال به شبکه نیروگاه

با توجه به مطالعات اتصال به شبکه صورت گرفته توسط شرکت مهندسین مشاور پایا نیرو پاژ، اتصال نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی مورد مطالعه در این پروژه از طریق اتصال به شینه 20 کیلوولت پست 132/20 کیلوولت بشرویه از طریق خط هوایی دو مداره با هادی HYENA به طول تقریبی 7 کیلومتر می باشد. بنابراین، هزینه اتصال به شبکه نیروگاه شامل مواردی از قبیل احداث خط انتقال به طول تقریبی 6.5 کیلومتر و توسعه پست بالادست (2 فیدر 20 کیلوولت در محل پست بشرویه) می باشد. بنابراین، با توجه به توضیحات ارائه شده، هزینه های ثابت (CAPEX) احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه و توسعه شبکه بالادست، به شرح جدول 2-2، می باشد.

جدول 2-2: هزینه های ثابت نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه (بر حسب دلار)

شرح حالت اتصال به شبکه	احداث نیروگاه (دلار)	احداث پست (دلار)	توسعه پست بالادست (دلار)	مجموع (دلار)
احداث نیروگاه 15 مگاواتی و اتصال به شبکه سراسری	5,457,300	-	1,147,059	6,604,359

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 39 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

2-3- هزینه‌های عملیاتی و نگهداری

هزینه‌های عملیاتی و نگهداری (OPEX) شامل تمامی هزینه‌هایی است که برای حفظ عملکرد بهینه نیروگاه خورشیدی در طول دوره بهره‌برداری لازم است. این هزینه‌ها شامل مجموعه‌ای از هزینه‌های جاری شامل هزینه تعمیر و نگهداری نیروگاه، هزینه سالیانه نیروی کار انسانی و مجموعه‌ای از هزینه‌های پیش‌بینی نشده در زمینه‌های مختلف هستند که در ادامه به تفصیل توضیح داده خواهند شد.

2-3-1- هزینه‌های تعمیر و نگهداری دوره‌ای

نیروگاه‌های خورشیدی به منظور عملکرد بهینه نیاز به تعمیر و نگهداری منظم دارند. این هزینه‌ها شامل سرویس‌های دوره‌ای مانند بررسی وضعیت پنل‌های خورشیدی، بررسی عملکرد اینورترها، هزینه‌های مربوط به قطعات یدکی و جایگزینی تجهیزات معیوب می‌شود. در برآورد هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری نیروگاه خورشیدی، فرض شده است که هزینه‌های تعمیر و نگهداری سالیانه نیروگاه معادل حدود ۱ درصد از هزینه احداث نیروگاه و پست در نظر گرفته شود. همچنین، هزینه‌های مربوط به بازدید، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری خط انتقال نیز معادل حدود ۱ درصد از هزینه احداث خط لحاظ شده است.

2-3-2- هزینه‌های نیروی انسانی

برای عملیات روزانه، نظارت، تعمیرات و دیگر وظایف مدیریتی، نیروگاه‌های خورشیدی به نیروی انسانی ماهر نیاز دارند. این هزینه‌ها شامل حقوق و دستمزد پرسنل، هزینه‌های آموزش کارکنان و هزینه‌های مدیریتی می‌شود. در جدول 2-3، شرح هزینه‌های جاری نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه به تفکیک هر بخش آمده است. در این بخش فرض بر این است که نیروگاه دارای 3 شیفت کاری بوده که در هر شیفت 3 نفر در حال فعالیت می‌باشند. بنابراین، در مجموع 9 نفر به عنوان نیروی انسانی فعال در دوره بهره‌برداری نیروگاه منظور شده‌اند.

جدول 2-3: هزینه‌های سالیانه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی (بر حسب دلار)

هزینه تعمیر و نگهداری نیروگاه (دلار)	هزینه سالیانه نیروی کار انسانی نیروگاه (دلار)	هزینه سالیانه تعمیر و نگهداری خط انتقال (دلار)	مجموع (دلار)
63.694/47	32.813/45	2.552/08	99.060

2-4- درآمد نیروگاه خورشیدی



منابع درآمدی نیروگاه خورشیدی را می توان در دو چارچوب اصلی طبقه بندی کرد؛ نخست، قرارداد خرید تضمینی برق است که در آن وزارت نیرو برق تولیدی را با نرخ ثابت و از پیش تعیین شده برای یک دوره مشخص خریداری می کند. این ساز و کار اگرچه از نظر سرمایه گذار، پایداری جریان نقدی را تضمین می نماید اما نرخ فروش برق در این روش بطور معمول کمتر از قیمت های معاملاتی در بازار بورس انرژی است. جدول 2-4، نرخ های جدید خرید برق تضمینی از نیروگاه های خورشیدی را نشان می دهد.

جدول 2-4: نرخ پایه خرید برق تضمینی از نیروگاه های خورشیدی

ردیف	ظرفیت نیروگاه	نرخ پایه خرید تضمینی (ریال بر کیلووات ساعت)
1	200 کیلووات و کمتر	58.540
2	بین 200 کیلووات و کمتر ، همراه با ذخیره ساز	91.169
3	بین 200 کیلووات تا 1 مگاوات	46.386

دومین مسیر، فروش برق در تابلوی سبز بورس انرژی است که طی آن تولیدکننده می تواند برق تولیدی خود را مستقیماً به مصرف کنندگان عمده یا شرکت های متقاضی برق سبز عرضه نماید. در ایران، مفهوم برق سبز که به برق تولید شده توسط منابع تجدیدپذیر گفته می شود، با راه اندازی تابلو برق سبز در بورس انرژی به منظور اجرای اهداف ماده ۱۶ قانون جهش تولید دانش بنیان، از ابتدای سال ۱۴۰۲ مطرح شد. روش فروش برق سبز در بورس انرژی، علیرغم نوسانات قیمتی، به طور بالقوه امکان دستیابی به بازگشت سرمایه در مدت زمان کمتر را فراهم می سازد چرا که قیمت برق در بازار رقابتی بورس انرژی غالباً بیش از نرخ خرید تضمینی تعیین می شود.

از آنجا که انتخاب روش فروش برق، می بایست در زمان درخواست اخذ مجوز احداث نیروگاه خورشیدی تعیین شود و برای نیروگاه 15 مگاواتی بشرویه، روش فروش برق به تابلو سبز بورس انرژی از پیش تعیین شده است، مبنای محاسبات درآمد نیروگاه بر اساس روش فروش برق سبز در بورس انرژی در نظر گرفته شده است.

لازم به ذکر است نرخ خرید انرژی تولیدی نیروگاه ها در این بازار بر اساس شرایط فصلی تغییر می کند؛ این تغییر به نحوی است که در ماه های گرم سال (ماه های پیک بار شبکه برق) افزایش قابل توجهی نسبت به ماه های دیگر سال دارد به نحوی که در تیر ماه 1404، متوسط قیمت معاملات 71,684 ریال بر کیلووات ساعت 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 انرژی های تجدیدپذیر (ساتبا) اقدام به خرید تضمینی برق تولیدی نیروگاه های تجدیدپذیر با نرخ 70 درصد مبلغ معامله انرژی سبز در بورس سبز انرژی می نماید.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 41 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

با توجه به اینکه قیمت برق در تابلوی سبز بورس انرژی برای نخستین بار در تیرماه 1402 ارائه شده است، این بازار همچنان در مراحل ابتدایی خود قرار دارد و الگوی قیمتی مشخص و پایداری در آن مشاهده نمی شود. از طرفی دیگر، با توجه به شرایط اقتصادی کشور و تورم مستمر، پیش بینی قیمت برق بر حسب ریال با عدم قطعیت قابل توجهی همراه است و نوسانات قابل ملاحظه ای را تجربه می کند. از اینرو، به منظور ایجاد مبنایی پایداری برای تحلیل های اقتصادی و مقایسه پذیری بهتر در این گزارش، قیمت برق در تابلوی سبز بورس انرژی بر حسب دلار ارائه شده و مبنای محاسبات قرار گرفته است. بر همین اساس، نرخ فروش برق، بر اساس میانگین قیمت برق سبز تا پایان آبان ماه سال 1404 تعیین گردیده و معادل 61,816 ریال به ازای هر کیلووات ساعت در نظر گرفته شده است. این میزان با احتساب متوسط قیمت نرخ ارز آزاد در سال 1405 معادل 1,700,000 ریال، به دلار تبدیل شده است.

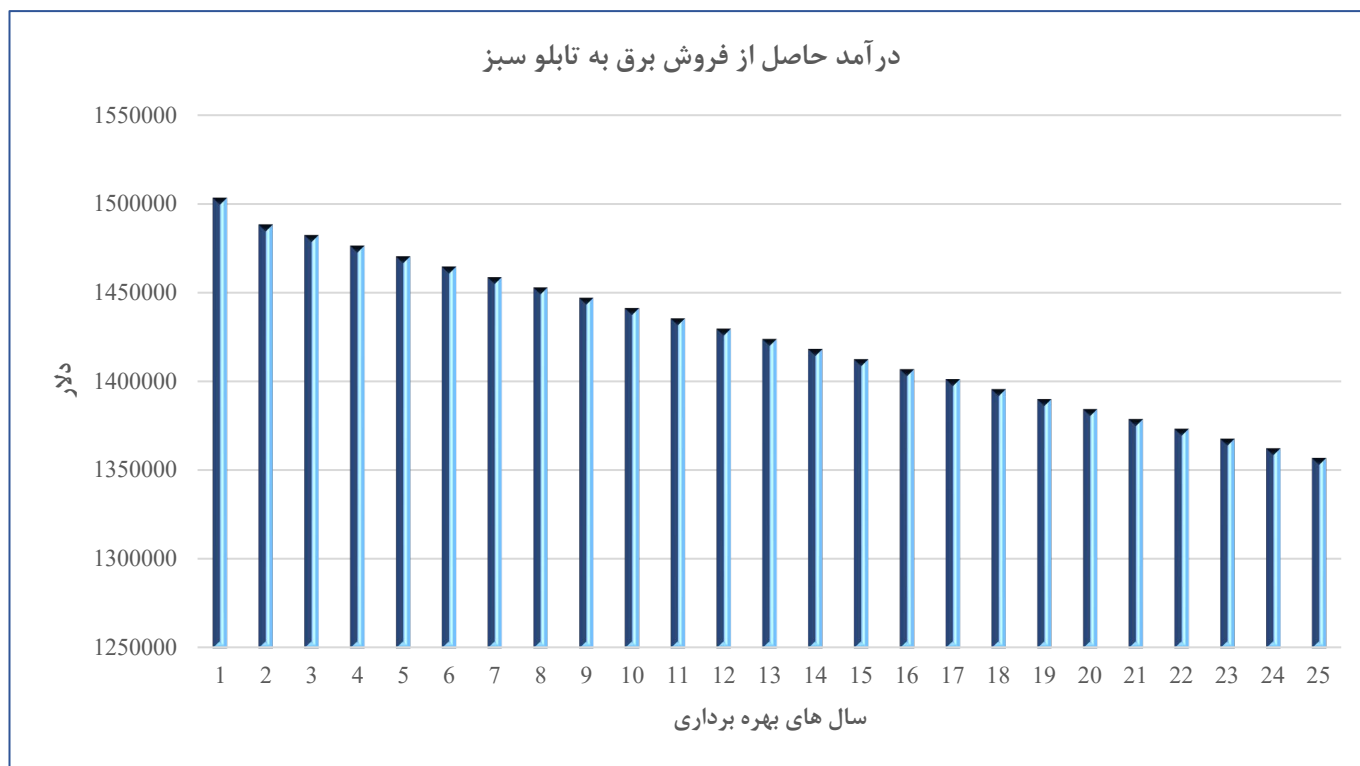
با توجه به توضیحات ارائه شده و از آنجاکه بر اساس خروجی نرم افزار PV Syst، میزان انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه در سال اول بهره برداری از آن در حدود 30,064 MWh می باشد، میزان انرژی تولیدی نیروگاه در طول 25 سال بهره برداری از آن (با در نظر گرفتن تلفات سالیانه پنل های خورشیدی مورد استفاده در پروژه)، مبلغ متوسط فروش انرژی تولیدی نیروگاه های خورشیدی بر اساس تابلو سبز، میزان درآمد سالیانه نیروگاه، جریان نقدینگی و همچنین جریان نقدینگی تجمعی سالیانه نیروگاه بیان شده است. همچنین، متناظر با جدول 2-5، نمودار ستونی درآمد سالیانه نیروگاه در شکل 2-2 نشان داده شده است. از آنجا که درآمد سالیانه نیروگاه از حاصل ضرب انرژی تولیدی سالیانه نیروگاه در قیمت فروش برق سبز بدست می آید و میزان انرژی تولیدی نیروگاه به دلیل افت راندمان پنل خورشیدی سالیانه حدود 0/3٪ کاهش می یابد و نرخ فروش برق سبز بر حسب دلار تقریباً ثابت در نظر گرفته شده است، درآمد سالیانه نیروگاه به صورت نزولی خواهد بود که این کاهش ناشی از محاسبه درآمد نیروگاه بر مبنای دلار است.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 42 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

جدول 2-5: درآمد سالیانه نیروگاه خورشیدی 15 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)	جریان نقدینگی (دلار)	جریان نقدی تجمعی (دلار)
1404	0	0	0	-6,604,375	-6,604,375
1405	30,064	0.05	1,503,216	1,404,150	-5,200,225
1406	29,764	0.05	1,488,184	1,389,118	-3,811,106
1407	29,645	0.05	1,482,231	1,383,165	-2,427,941
1408	29,526	0.05	1,476,302	1,377,237	-1,050,704
1409	29,408	0.05	1,470,397	1,371,331	320,627
1410	29,290	0.05	1,464,515	1,365,450	1,686,077
1411	29,173	0.05	1,458,657	1,359,592	3,045,668
1412	29,056	0.05	1,452,823	1,353,757	4,399,425
1413	28,940	0.05	1,447,011	1,347,946	5,747,371
1414	28,824	0.05	1,441,223	1,342,158	7,089,529
1415	28,709	0.05	1,435,458	1,002,295	8,091,824
1416	28,594	0.05	1,429,717	997,988	9,089,812
1417	28,480	0.05	1,423,998	993,699	10,083,511
1418	28,366	0.05	1,418,302	989,427	11,072,938
1419	28,253	0.05	1,412,629	985,172	12,058,110
1420	28,140	0.05	1,406,978	980,934	13,039,045
1421	28,027	0.05	1,401,350	976,713	14,015,758
1422	27,915	0.05	1,395,745	972,509	14,988,267
1423	27,803	0.05	1,390,162	968,322	15,956,589
1424	27,692	0.05	1,384,601	964,152	16,920,741
1425	27,581	0.05	1,379,063	959,998	17,880,739
1426	27,471	0.05	1,373,546	955,861	18,836,599
1427	27,361	0.05	1,368,052	951,740	19,788,339
1428	27,252	0.05	1,362,580	947,636	20,735,975
1429	27,143	0.05	1,357,130	943,548	21,679,523

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 43 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

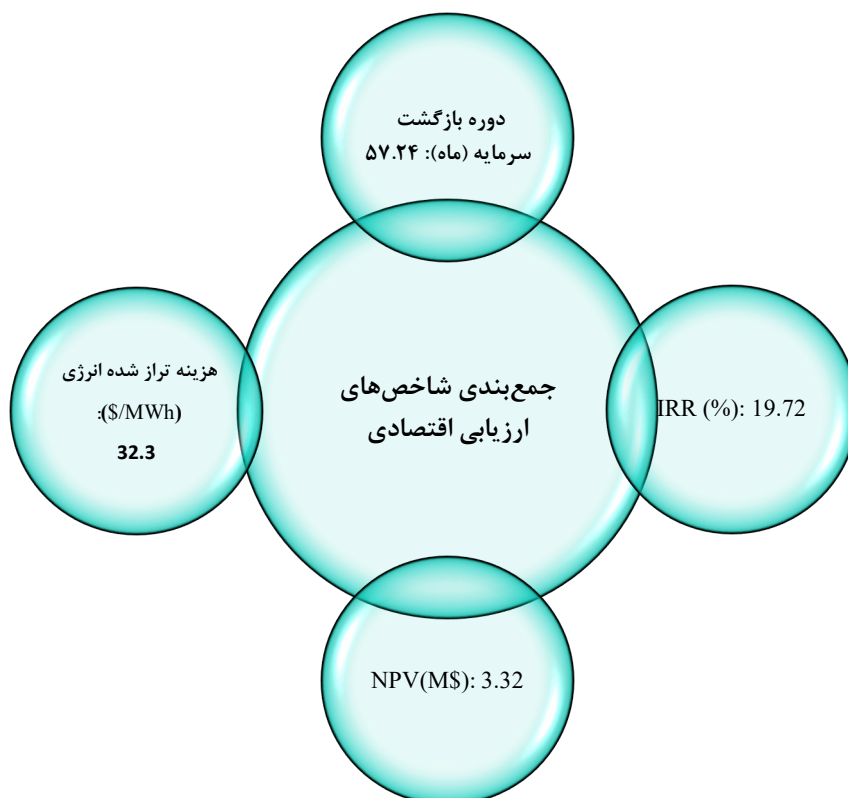


شکل 2-2: نمودار درآمد حاصل از فروش برق به تابلو سبز در طول 25 سال مدت بهره برداری

2-5- محاسبه شاخص های مالی و اقتصادی

در شکل 2-3، برخی از مهم ترین شاخص های اقتصادی برای نیروگاه 15 مگاواتی بشرویه محاسبه و تحلیل شده است. در این شکل، 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 57.24 ماه از زمان احداث به دست آمده است که عددی معقول و منطقی است.

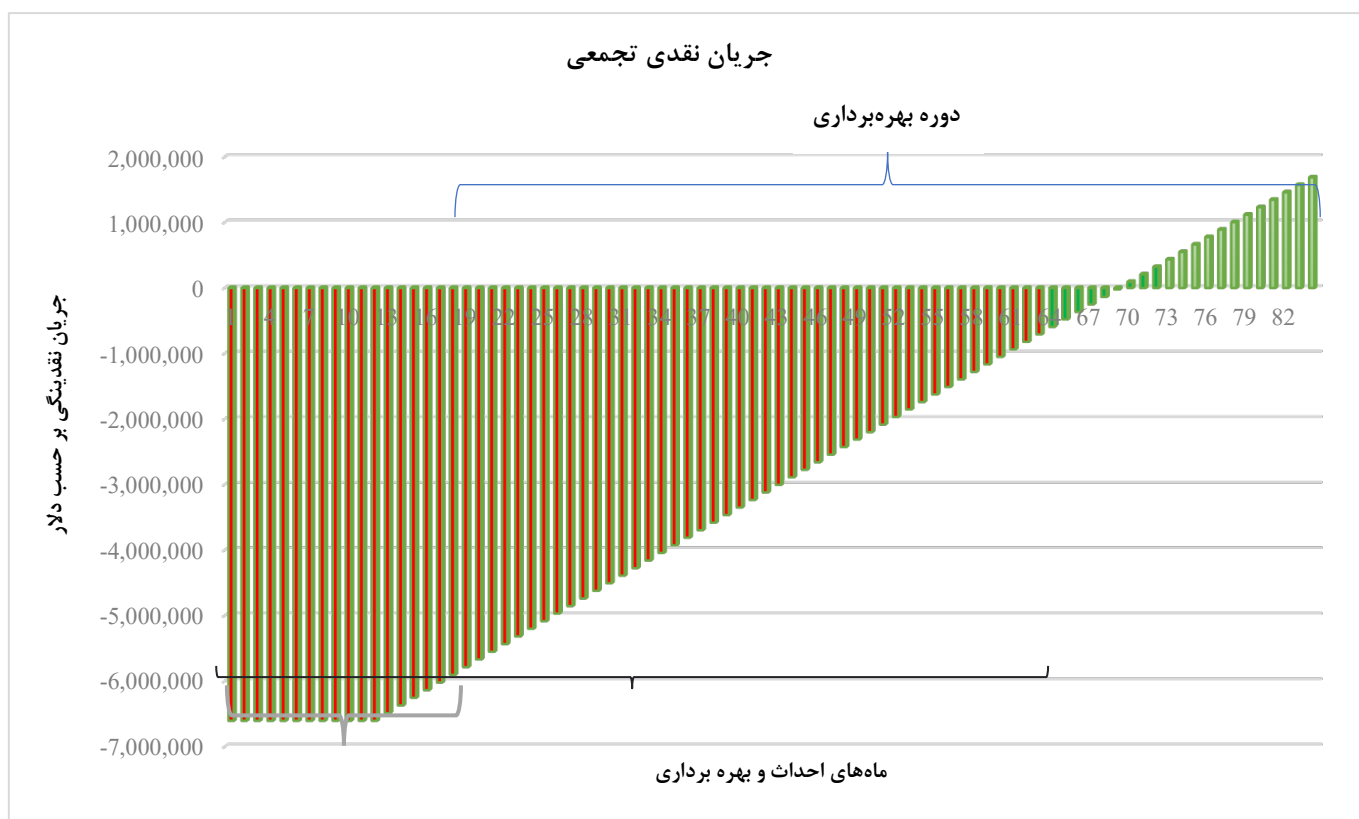
	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 44 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02



شکل 2-3: شاخص های مهم مالی و اقتصادی نیروگاه 15 مگاواتی بشرویه

همچنین شکل 2-4 جریان نقدی تجمعی پروژه را نشان می دهد. محور عمودی بیانگر جریان نقدینگی بر حسب دلار بوده و محور افقی نیز بیانگر ماههای احداث و بهره برداری از نیروگاه می باشد. در این پروژه، جریان نقدی تجمعی در دوازده ماه اول به دلیل صرف هزینه های سنگین سرمایه گذاری (CAPEX) به طور طبیعی منفی است و از ماه سیزدهم با آغاز بهره برداری، ورود جریانهای نقدی مثبت شروع میشود. با این وجود، بر اساس مقدار دوره بازگشت سرمایه در جدول، جریان نقدی تجمعی تا حدود ماه پنجاه و هفتم همچنان در محدوده منفی باقی می ماند و نقطه سر به سر پروژه در حدود ماه 57.24، یعنی عملاً طی ماه پنجاه و هشتم، محقق میشود. از آن زمان به بعد، جریان نقدی تجمعی وارد محدوده مثبت میشود. این الگو نشان می دهد که دوره بازگشت سرمایه در این پروژه 57.24 ماه از زمان آغاز سرمایه گذاری است. همچنین بر اساس شاخصهای جدول، IRR برابر 19.72 درصد، NPV برابر 3.32 میلیون دلار و هزینه تراز شده انرژی برابر 32.3 دلار بر مگاوات ساعت است؛ بنابراین نتایج اقتصادی پروژه مثبت و از نظر مالی قابل قبول ارزیابی میشود.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 45 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02



شکل 2-4: 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:

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

¹ Levelized Cost of Electricity

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 46 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

در همین راستا و بر اساس محاسبات اولیه صورت گرفته، میزان انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه در طول بهره‌برداری از آن و با لحاظ نمودن افت راندمان نیروگاه در حدود 712,477 MWh می‌باشد که در نهایت سبب تعیین مقدار شاخص LCOE خواهد شد.

ارزش فعلی خالص¹ شاخصی مالی است که بیان می‌کند جریان‌های نقدی ورودی یک پروژه، پس از تنزیل به زمان حال با استفاده از نرخ تنزیل مشخص، تا چه میزان از سرمایه‌گذاری اولیه فراتر می‌رود. به عبارت دیگر، NPV نشان می‌دهد آیا ارزش فعلی عایدات پروژه بیش از مخارج اولیه آن است یا خیر. در صورتیکه NPV مثبت باشد، پروژه از منظر اقتصادی سودآور تلقی می‌شود و پروژه توجیه مالی دارد. بر اساس محاسبات صورت گرفته با فرض نرخ تنزیل 12٪، ارزش فعلی خالص پروژه احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه در طول 25 سال دوره بهره‌برداری خود معادل 3,317,987 دلار برآورد می‌شود.

¹ Net Present Value (NPV)

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 47 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

فصل سوم:

بخش محیط زیستی – بررسی تاثیرات زیست محیطی

پروژه

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 48 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

3- ارزیابی جامع اثرات زیست محیطی نیروگاه خورشیدی بشرویه

3-1- قوانین زیست محیطی مرتبط با طرح

شناسایی قوانین، مقررات و استانداردهای زیست محیطی مرتبط، نقش مهمی در تبیین چارچوبهای نظارتی و الزامات کلان حاکم بر طرحهای توسعهای دارد. این مقررات چارچوب قانونی و اجرایی لازم برای پیشگیری از اثرات منفی احتمالی و ارتقای پایداری طرح را فراهم می کنند و مبنای ارزیابی عملکرد زیست محیطی نیروگاه در مراحل احداث و بهره برداری قرار می گیرند. جدول 3-1، مهم ترین الزامات قانونی و استانداردهای زیست محیطی مرتبط با پروژه احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه را معرفی می کند.

جدول 3-1: قوانین، مقررات و استانداردهای زیست محیطی مرتبط با طرح

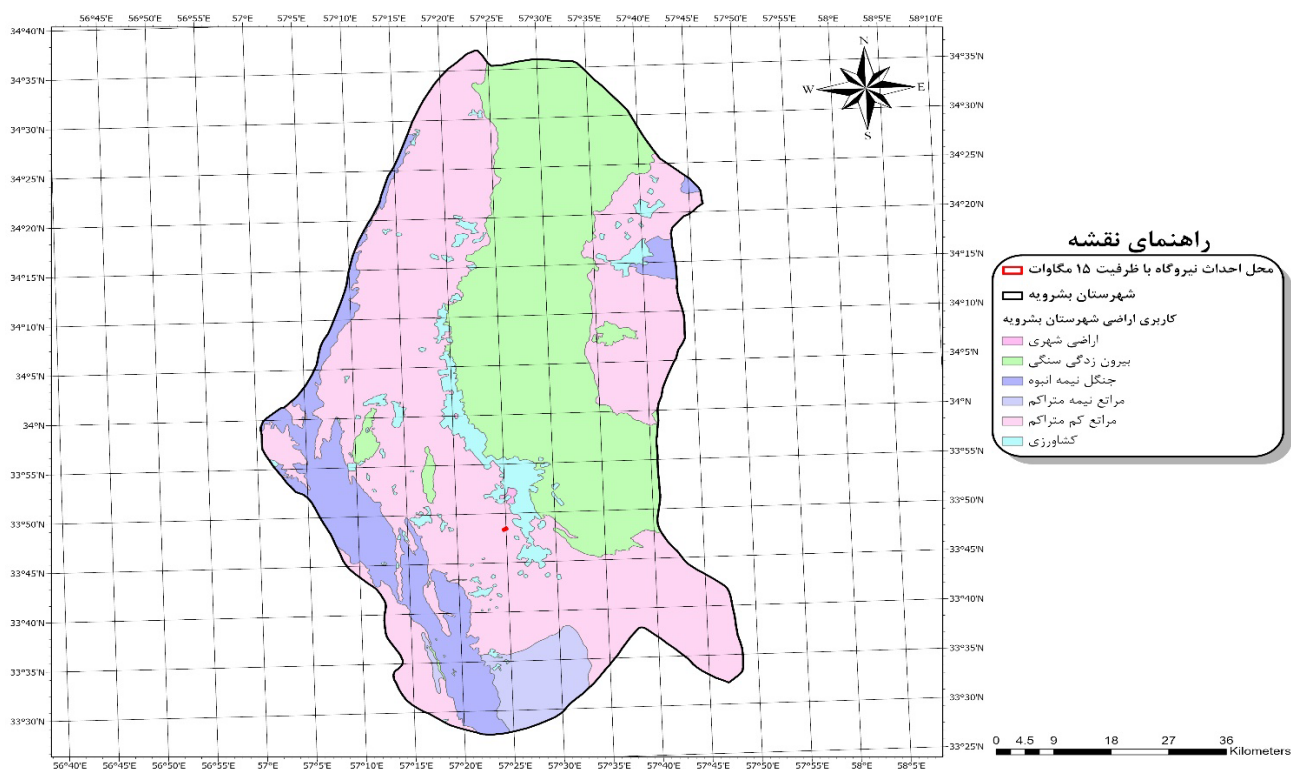
ردیف	عنوان قانون / استاندارد / آئین نامه / دستورالعمل	سال تصویب
1	اصل پنجاهم قانون اساسی	1358
2	سند ملی محیط زیست	1394/08/26
3	قانون مجازات اسلامی	-
4	قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست	1353 - اصلاحیه 1371
5	قانون مدیریت پسماند	1383
6	قانون نحوه جلوگیری از آلودگی آب	1373
7	قانون توزیع عادلانه آب	1361/12/16
8	قانون هوای پاک	1396
9	قانون حفاظت از خاک	1398
10	آئین نامه اجرایی قانون هوای پاک	1395
11	آئین نامه اجرایی قانون جلوگیری از آلودگی صوتی	1373/03/13
12	آئین نامه اجرایی نحوه جلوگیری از آلودگی صوتی - موضوع تصویب نامه 38921/270584	1389/11/26
13	آئین نامه ارزیابی اثرات زیست محیطی طرح های بزرگ تولیدی و خدماتی و زیربنایی	1397
14	آیین نامه رفع موانع احداث نیروگاه های تجدید پذیر	1402
15	آیین نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه ها، انهار، مسیل ها، مرداب، برکه های طبیعی و شبکه های آبرسانی، آبیاری و زهکشی	1382
16	ضوابط و معیارهای استقرار واحدهای خدماتی	1402
17	دستورالعمل تخصصی مطالعات ارزیابی آثار و پیامدهای زیست محیطی نیروگاه های انرژی نو (زمین گرمایی، بادی، خورشیدی)	1402

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 49 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

3-2- موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی اجرای طرح بر روی نقشه قابلیت اراضی

یکی از چالش‌های اساسی در انتخاب ساختگاه برای احداث نیروگاه خورشیدی، حفظ تعادل میان توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست است. در این مسیر، اجتناب از اراضی کشاورزی حاصلخیز، مناطق دارای پوشش جنگلی، زیستگاه‌های حساس، و مناطق مسکونی ضروری است زیرا بهره‌برداری نادرست از این مناطق می‌تواند به تخریب منابع طبیعی، کاهش تنوع زیستی و ایجاد تعارضات اجتماعی منجر شود.

به جای این اراضی، بهترین گزینه‌ها شامل مراتع کم متراکم، دشت‌های باز و مناطق بیابانی است که از نظر زیست محیطی آسیب کمتری دیده‌اند و همچنین دسترسی و اجرای پروژه در آن‌ها آسان‌تر است. این دسته از اراضی علاوه بر کاهش اثرات منفی بر محیط زیست، امکان نصب بهینه پنل‌ها و توسعه زیرساخت‌های مورد نیاز نیروگاه را فراهم می‌کنند و هزینه‌های اجرایی و نگهداری پروژه را نیز کاهش می‌دهند. بنابراین، انتخاب چنین مناطق کم چالش و کم تراکم از نظر پوشش گیاهی، یک راهکار کلیدی برای توسعه پایدار نیروگاه‌های خورشیدی به شمار می‌رود. در شکل 3-1 نقشه اراضی قابل استفاده در شهرستان بشرویه از منظر کاربری اراضی در قالب سه دسته مراتع کم متراکم، نیمه متراکم و نواحی بیرون زدگی سنگی که با استفاده از نرم افزار Arc Gis Pro استخراج شده، نشان داده شده است. طبق شکل 3-1 محل احداث نیروگاه در ناحیه مراتع کم متراکم قرار گرفته است.



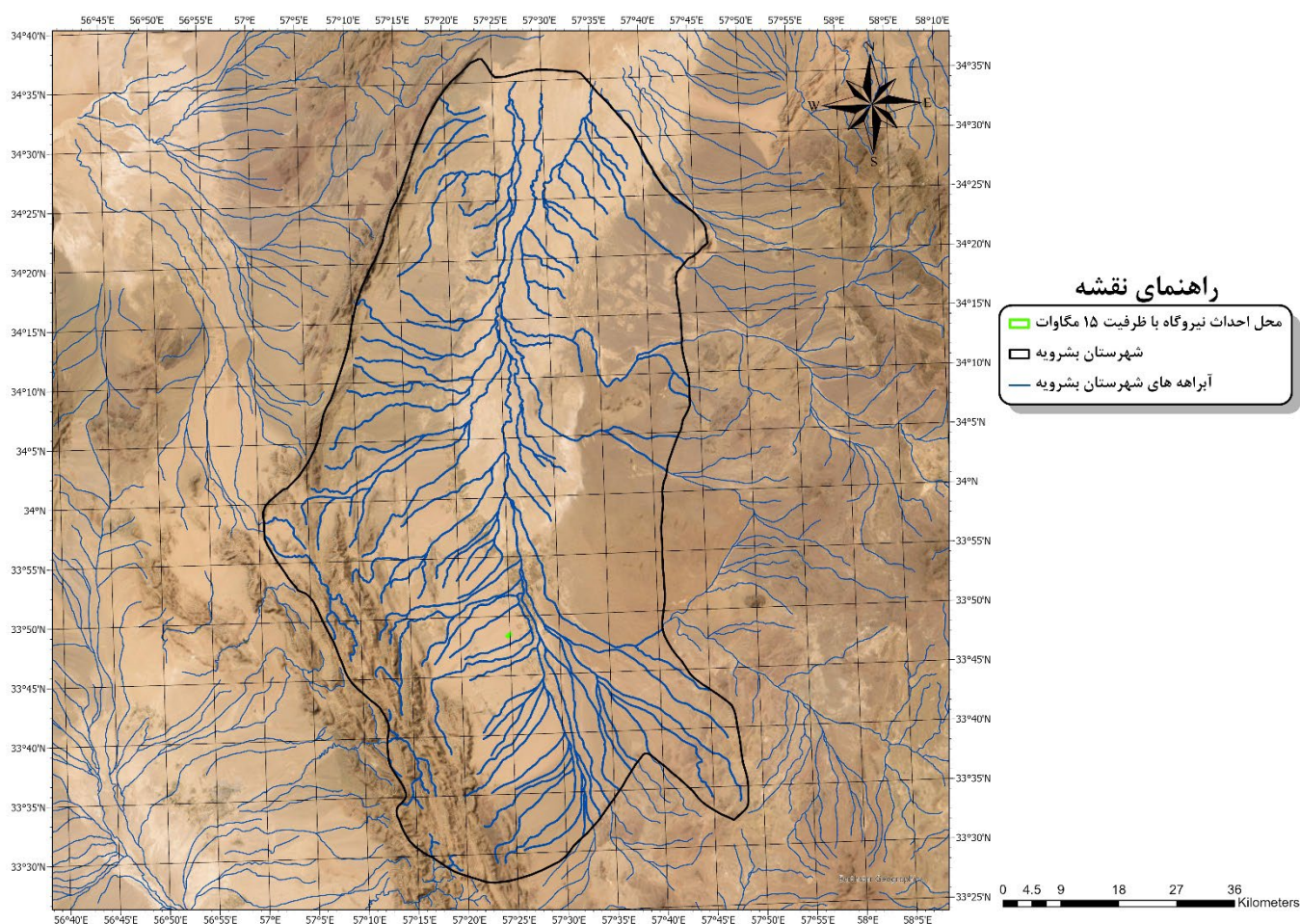
شکل 3-1: نقشه کاربری اراضی شهرستان بشرویه

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 50 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

3-3- محدوده اجرای طرح نسبت به منابع آبی

آبراهه‌ها و مسیرهای جریان آب، از جمله رودخانه‌ها، نهرها و مسیل‌ها، عناصر حیاتی در اکوسیستم منطقه محسوب می‌شوند و باید در فرآیند انتخاب ساختگاه نیروگاه‌های خورشیدی مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرند. رعایت حریم این آبراهه‌ها نه تنها از منظر زیست محیطی اهمیت دارد، بلکه از جهت ایمنی و پایداری خود نیروگاه نیز حائز اهمیت است زیرا احداث تأسیسات در حریم آبراهه‌ها می‌تواند خطر سیل‌گرفتگی را افزایش دهد. همچنین، این حریم‌ها معمولاً دارای پوشش گیاهی منحصر به فردی هستند که در چرخه حیات جانوران و گیاهان منطقه نقش مهمی ایفا می‌کنند و تخریب آن‌ها می‌تواند اثرات نامطلوبی بر اکوسیستم منطقه داشته باشد.

در شکل 3-2 نقشه آبراهه‌های پیرامون محل احداث نیروگاه که با خطوط آبی رنگ و با استفاده از نرم‌افزار تخصصی Pro Arc Gis استخراج شده، نشان داده شده است. مطابق نقشه، از محدوده طرح آبراهه‌ای عبور نکرده است.



شکل 3-2: نقشه آبراهه‌های پیرامون محل احداث نیروگاه

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 51 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

3-4- محدوده اجرای طرح نسبت به مناطق حفاظت شده

نواحی حفاظت شده به عنوان یکی از معیارهای کلیدی در انتخاب ساختگاه نیروگاه‌های خورشیدی، نقش بسیار مهمی در حفظ تعادل اکولوژیکی و تنوع زیستی منطقه ایفا می‌کنند. این مناطق که شامل پارک‌های ملی، مناطق حفاظت شده، آثار طبیعی ملی، زیستگاه‌های حیات وحش و تالاب‌ها می‌شوند، دارای ارزش‌های زیست محیطی منحصر به فردی هستند که باید از هرگونه دخل و تصرف و تغییر کاربری محافظت شوند. در فرآیند مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی، رعایت حریم این نواحی حفاظتی و حفظ فاصله مناسب از آن‌ها، نه تنها به حفظ اکوسیستم‌های طبیعی کمک می‌کند، بلکه از بروز تعارضات قانونی و اجتماعی نیز جلوگیری می‌نماید.

در شکل 3-3، نقشه نواحی حفاظتی در نزدیکی شهرستان بشرویه با رنگ بنفش که با استفاده از نرم افزار Arc Gis Pro استخراج شده، نشان داده شده است. همانگونه که در شکل نشان داده شده است، محدوده احداث طرح نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه داخل و یا حتی در نزدیکی مناطق حفاظت شده شهرستان قرار نگرفته است.



شکل 3-3: نقشه نواحی حفاظتی در نزدیکی شهرستان بشرویه

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 52 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

3-5- پیش بینی حجم پساب انسانی و روغن های مستعمل در دوران بهره برداری

در مرحله بهره برداری از نیروگاه خورشیدی، هر چند ماهیت فعالیت آن آلاینده گی مستقیم و قابل توجهی در مقایسه با نیروگاه های حرارتی ندارد اما برخی جریان های جانبی مانند تولید پساب انسانی ناشی از حضور کارکنان در محل و همچنین روغن های مستعمل ناشی از تعمیر و نگهداری تجهیزات اجتناب ناپذیر است. برآورد حجم و کیفیت این جریان ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است چرا که مدیریت صحیح آن ها نقش مهمی در کاهش آثار زیست محیطی، رعایت الزامات قانونی و حفظ پایداری محیط پیرامونی دارد. در این بخش، میزان تولید پساب انسانی و حجم تقریبی روغن های مستعمل در طول دوره بهره برداری نیروگاه پیش بینی شده است.

3-5-1- برآورد فاضلاب انسانی طرح

در فاز بهره برداری نیروگاه نیازمند تیم فنی برای نگهداری و مدیریت عملکرد سیستم خواهد بود. در فرایند بهره برداری از نیروگاه 15 مگاواتی بشرویه، برآورد می شود:

- با استقرار یک کانکس نگهبانی و با لحاظ حضور 1 نفر نگهبان و در نظر گرفتن سه شیفت کاری در شبانه روز برای پوشش کامل نوبت های کاری، 3 نیروی حفاظت فیزیکی مورد نیاز خواهند بود.
- به منظور پایش مستمر عملکرد تجهیزات و سامانه های کنترلی و همچنین انجام امور تعمیر و نگهداری نیروگاه و با در نظر گرفتن سه شیفت کاری، 3 اپراتور جهت حضور در اتاق مانیتورینگ مورد نیاز خواهد بود.
- برای مدیریت موجودی قطعات یدکی و تجهیزات مصرفی نیروگاه 1 نفر و همچنین برای بررسی ملاحظات ایمنی و زیست محیطی نیروگاه 1 کارشناس ایمنی و محیط زیست پیش بینی شده است.
- در نهایت به منظور مدیریت و نظارت کلی بر عملکرد نیروگاه، 1 نفر مدیر بهره برداری نیز مورد نیاز خواهد بود.
- به طور کلی دست کم 9 نیروی انسانی به طور دائمی در محل پروژه می توانند مشغول به کار شوند.

لازم به ذکر است که در این محاسبات، عملیات شست و شوی پنل های خورشیدی به عنوان فعالیتی پیمانکاری در نظر گرفته شده که به صورت جداگانه توسط یک تیم تخصصی انجام خواهد شد؛ این بخش نیز ظرفیت قابل توجهی برای ایجاد اشتغال در منطقه فراهم می آورد. با توجه به تعداد پرسنل شاغل طی فاز بهره برداری پروژه حاضر و با در نظر گیری استاندارد



سرانه آب مصرفی (حدود 120 تا 150 لیتر به ازای هر نفر در روز) و ضریب تبدیل آب به فاضلاب (حدود 80 درصد)، میزان فاضلاب بهداشتی تولیدی به همراه عمده مشخصه کیفی و نحوه دفع در جدول 3 برآورد و ارائه گردیده است.

جدول 3: برآورد کمی و کیفی فاضلاب تولیدی طی فاز بهره برداری پروژه

فاز	میزان تولید فاضلاب (مترمکعب در روز)	عمده مشخصه کیفی فاضلاب	نحوه دفع
بهره برداری	0/864	مواد آلی	سپتیک تانک

3-5-2- برآورد حجم روغن های مستعمل تولیدی

در نیروگاه های خورشیدی، عمده ترین نوع روغن مصرفی در تجهیزات الکتریکی، روغن ترانسفورماتورها می باشد که وظیفه عایق سازی الکتریکی و خنک کنندگی داخل ترانس ها را برعهده دارد.

طی فاز احداث، نصب تعداد قابل توجهی ترانسفورماتور با ظرفیت های متنوع انجام می شود که هر ترانسفورماتور حاوی حجم مشخصی روغن عایقی است که بسته به طراحی و توان آن، متغیر است. همچنین در فرآیند نصب و راه اندازی ترانسفورماتورها، روغن عایقی تحت تست های دقیق و کنترل کیفیت قرار می گیرد. به دلیل دقت بالای فرایند نصب و وجود پروتکل های استاندارد، میزان روغن مستعمل ناشی از نشتی، تخلیه روغن های اولیه یا آزمون های عملکردی بسیار محدود است. اغلب این روغن ها پس از ارزیابی مجدد، بازیافت شده و به چرخه مصرف باز می گردند.

طی فاز بهره برداری، فعالیت های نگهداری پیشگیرانه و اصلاحی، از جمله پایش کیفیت روغن ترانسفورماتورها، تصفیه و تعویض جزئی یا کلی روغن انجام می شود. به دلیل طول عمر بالای روغن های عایقی و طراحی پایدار ترانسفورماتورها، تعویض کامل روغن تنها در فواصل زمانی طولانی صورت می پذیرد. علاوه بر این، برخلاف نیروگاه های حرارتی یا صنعتی که تجهیزات مکانیکی گسترده و روانکارهای متعددی دارند، نیروگاه خورشیدی به دلیل ساختار ثابت و فاقد بخش های مکانیکی پیچیده، نیاز به مصرف و تعویض روغن در سطوح پایین تری دارد.

حجم روغن مستعمل تولید شده در دوره نگهداری بسیار ناچیز است. علاوه بر این، مقررات زیست محیطی و استانداردهای فنی در پروژه های نیروگاهی، الزاماتی برای جمع آوری، ذخیره سازی و بازیافت روغن های مستعمل تدوین کرده اند تا از آلودگی محیط زیست جلوگیری شود. این رویه ها تضمین می کنند که روغن مستعمل به شکل ایمن مدیریت گردیده و ریسک نشت یا تخلیه غیرمجاز به حداقل برسد.

3-6- پیش بینی مجموعه آثار و پیامدهای زیست محیطی طرح

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 54 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

ارزیابی جامع اثرات زیست محیطی نیروگاه خورشیدی، مستلزم تحلیل دقیق پیامدهای اکولوژیکی ساخت و بهره‌برداری از نیروگاه‌های خورشیدی بر محیط زیست است. این فرآیند شامل بررسی تغییرات در پوشش زمین، تأثیر بر اکوسیستم‌های محلی و زیستگاه‌های طبیعی، مصرف منابع آب و تأثیر 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.

3-6-1- 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 زیست محیطی و حفاظت از منابع طبیعی ایفا می‌کنند. در ادامه به بررسی دقیق‌تر هر یک از اثرات پرداخته شده است.

3-6-1-1- کاهش گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با نیروگاه‌های حرارتی

نیروگاه‌های حرارتی، بعنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تولید برق در جهان، سهمی در حدود 85 درصد از ظرفیت اسمی تولید برق در ایران را به خود اختصاص می‌دهند. این نیروگاه‌ها مجموعه‌ای از آلاینده‌های زیست محیطی را در فرآیند احتراق سوخت‌های فسیلی نظیر زغال سنگ، 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 40 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 1401 است، میزان تولید انواع آلاینده‌ها در بخش نیروگاه‌های حرارتی و صنایع به شرح جدول 4 می‌باشد. مطابق با این جدول، نیروگاه‌های حرارتی شامل نیروگاه گازی، بخار، سیکل ترکیبی و دیزلی به ازای هر مگاوات ساعت تولید برق، حدود 723 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 15 مگاواتی بشرویه در سال اول بهره‌برداری از آن در حدود 33,721 MWh می‌باشد. بنابراین، نسبت به یک نیروگاه حرارتی که همین میزان انرژی را تولید می‌کند؛

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 55 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	

- در صورت احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه، 24,390 تن دی اکسید کربن کمتری در سال وارد جو می شود که این میزان بر اساس رابطه زیر تعیین می شود:

$$\text{میزان عدم تولید CO}_2 \text{ (kg)} = \text{ضریب CO}_2 \times \text{میزان انرژی سالانه تولیدی نیروگاه (kWh)}$$

- یک درخت بالغ حدود 22 کیلوگرم دی اکسید کربن را در سال جذب می کند، بنابراین این میزان عدم تولید دی اکسید کربن معادل جذب میزان دی اکسید کربنی است که توسط بیش از 1/1 میلیون درخت می تواند صورت بگیرد؛

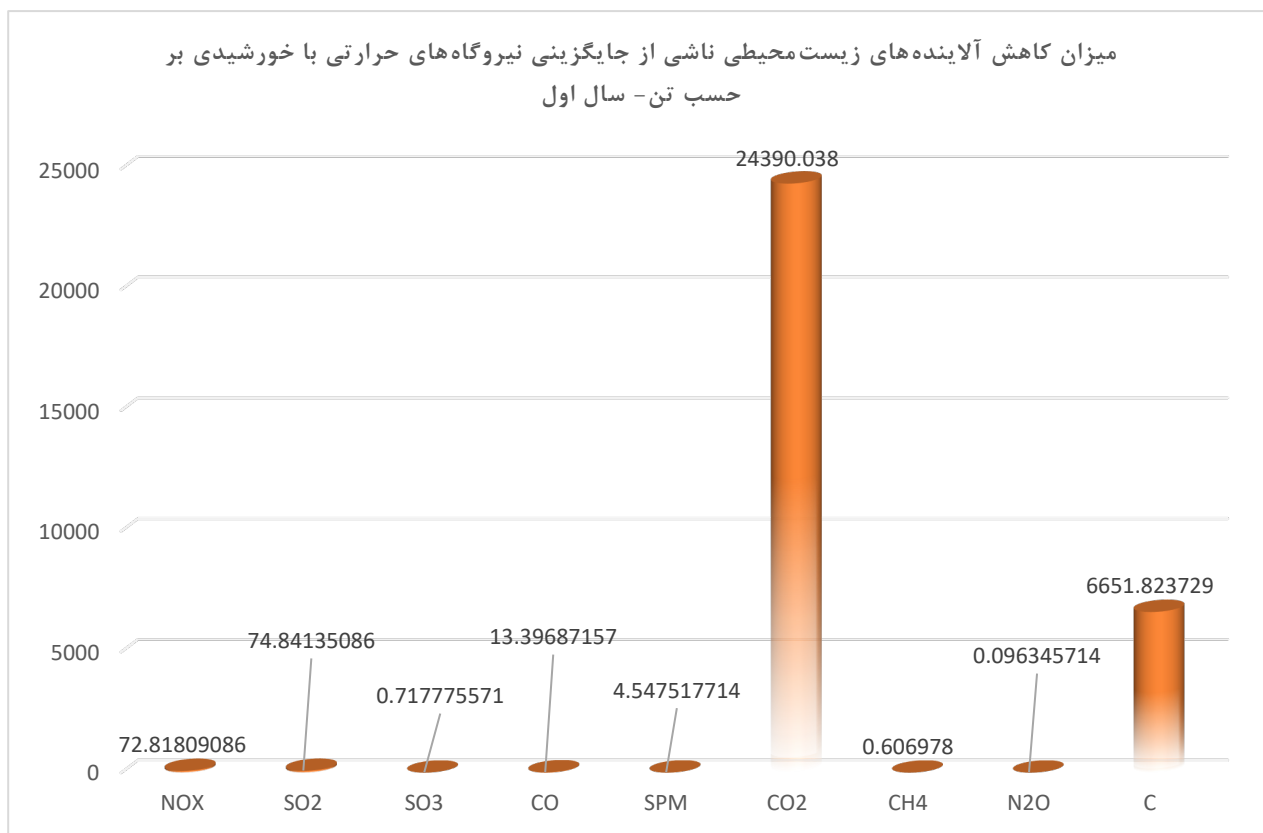
همچنین با فرض آنکه یک خودرو به طور متوسط در طول سال 15000 کیلومتر حرکت کند و مصرف بنزین آن به ازای هر 100 کیلومتر 8 لیتر باشد، حدود 3 تن دی اکسید کربن در سال تولید می کند؛ بنابراین این میزان عدم انتشار دی اکسید کربن معادل حدود 8,130 خودرویی است که در طول سال در حرکت هستند. مطابق با توضیحات ارائه شده و با توجه به ضرایب بیان شده در جدول 3-3، جزئیات میزان عدم تولید انواع آلاینده ها در نیروگاه 15 مگاواتی بشرویه در سال اول بهره برداری، در شکل 3-4 نشان داده شده است.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه			
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001		
Page: 56 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02	

جدول 3-3: شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در بخش نیروگاهی کشور

شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش نیروگاهی کشور در سال 1401 (Kg/MWh)										
C	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	SPM	CO	SO ₃	SO ₂	NO _x	گازهای الاینده	
206.19	0.003	0.02	756.029	0.146	2.011	0.025	5.731	2.159	بخاری	وزارت نیرو
230.708	0.002	0.017	845.931	0.114	0.119	0.009	0.319	2.396	گازی	
150.409	0.002	0.012	551.5	0.087	0.091	0.01	0.461	2.654	سیکل ترکیبی	
224.165	0.007	0.034	821.94	0.294	0.001	0.071	4.58	1.517	دیزلی	
197.115	0.003	0.017	722.755	0.123	1.087	0.018	3.147	2.341	میانگین وزارت نیرو	
201.469	0.002	0.016	738.719	0.116	0.435	0.016	3.61	2.265	بخاری	بخش خصوصی
198.863	0.002	0.015	729.165	0.1	0.066	0.008	0.38	1.417	گازی	
169.02	0.002	0.012	619.741	0.087	0.058	0.01	0.455	2.708	سیکل ترکیبی	
179.071	0.002	0.013	656.593	0.093	0.101	0.01	0.789	2.38	میانگین بخش خصوصی	
310.621	0.001	0.013	1138.945	0.072	0.379	0.001	0.099	2.877	صنایع بزرگ	
197.26057	0.00286	0.01800	723.28929	0.13486	0.39729	0.02129	2.21943	2.15943	میانگین نیروگاه‌ها	

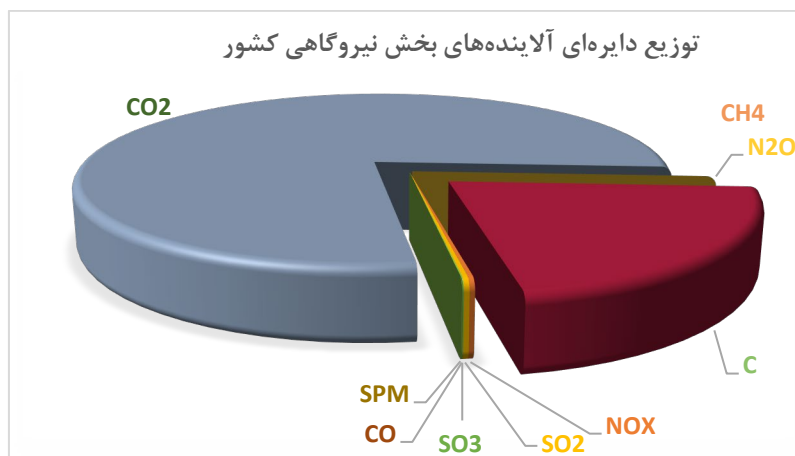
	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 57 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02



شکل 3-4: میزان کاهش آلاینده های زیست محیطی در سال اول بهره برداری نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه

3-6-1-2- بهبود کیفیت هوا و سطح سلامتی انسان ها

شکل 3-5 که توزیع دایره ای آلاینده های زیست محیطی تولید شده در نیروگاه های حرارتی کشور را نشان می دهد، مطابق با داده های آخرین ترازنامه انرژی منتشر شده در ایران که مربوط به سال 1401 است، ترسیم شده است.



شکل 3-5: توزیع دایره ای آلاینده های بخش نیروگاهی کشور

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 58 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

مطابق با این شکل، اصلی‌ترین محصول نیروگاه‌های حرارتی، دی اکسید کربن (CO_2) و پس از آن کربن خالص (دوده) است. کربن خالص (دوده) معمولاً در شرایطی تولید می‌شود که احتراق سوخت‌های فسیلی بطور کامل انجام نمی‌گیرد. این اتفاق، بویژه در نیروگاه‌هایی که از سوخت زغال‌سنگ یا نفت با کیفیت پایین استفاده می‌کنند، رایج‌تر است. علاوه بر CO_2 ، این نیروگاه‌ها دی‌اکسید گوگرد (SO_2) و اکسیدهای نیتروژن (NOx) تولید می‌کنند که تأثیرات مخربی بر کیفیت هوا و اکوسیستم‌ها دارند. SO_2 عامل اصلی باران اسیدی است که با کاهش PH آب‌های سطحی و خاک، زیستگاه‌های طبیعی و پوشش‌های گیاهی را به مرور نابود می‌کند. 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 مه‌دود فتوشیمیایی منجر می‌شود. این مه‌دود، کیفیت هوا را کاهش داده و منجر به مشکلات جدی سلامت عمومی از جمله بیماری‌های ریوی و قلبی-عروقی می‌شود.

نیروگاه‌های حرارتی همچنین منبع انتشار ذرات معلق¹ بویژه PM_{10} و $PM_{2.5}$ هستند که بدلیل اندازه کوچک، قابلیت نفوذ به سیستم تنفسی انسان را دارند و در درازمدت منجر به بیماری‌هایی نظیر سرطان ریه و بیماری‌های قلبی می‌شوند. علاوه بر این، فلزات سنگین نظیر جیوه (Hg)، کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) که عمدتاً از احتراق زغال‌سنگ حاصل می‌شوند، تهدیدی جدی برای سلامت انسان و حیات آبریان محسوب می‌شوند. جیوه، بخصوص، در زنجیره غذایی متمرکز شده و اثرات نورو تاکسیک شدیدی بر موجودات زنده دارد.

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 دی اکسید کربن (CO_2)، اکسیدهای نیتروژن (NOx)، دی‌اکسید گوگرد (SOx) و ذرات معلق ($PM_{2.5}$) را منتشر نمی‌کنند؛ بنابراین استقرار نیروگاه خورشیدی در یک منطقه، می‌تواند بهبود چشمگیری در شاخص کیفیت هوا² ایجاد کند. این کاهش آلاینده‌ها بطور مستقیم می‌تواند منجر به بهبود کیفیت هوا و کاهش بیماری‌های ریوی، قلبی و سرطان‌های ناشی از آلودگی هوا شود. بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت³، آلودگی هوا سالانه عامل مرگ زودرس نزدیک به 6/7 میلیون نفر در سراسر جهان می‌شود؛ همچنین آمارهای رسمی در ایران نشان می‌دهد سالیانه پنجاه هزار نفر در اثر آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند؛ مرگ و میرهایی که بخش عمده‌ای از آن‌ها به ذرات $PM_{2.5}$ مرتبط هستند.

¹ Particulate Matter (PM)

² Air Quality Index (AQI)

³ World Health Organization (WHO)

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 59 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

3-1-6-3- کاهش تغییرات اقلیمی و کمک به حفظ اکوسیستم

بر اساس گزارش رسمی هیئت ارزیابی تغییرات اقلیمی^۱، رابطه‌ای تقریباً خطی و مستقیم میان انتشار دی اکسید کربن و افزایش میانگین دمای سطح کره زمین وجود دارد. این گزارش که یکی از جامع‌ترین و معتبرترین منابع علمی در حوزه تغییرات اقلیمی به شمار می‌رود، نشان می‌دهد که به ازای هر هزار گیگاتن کربن دی اکسید منتشر شده، دمای جهانی به طور متوسط بین ۱.۴ تا ۲.۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد که از این مفهوم با عنوان پاسخ اقلیمی موقت به انتشار تجمعی دی اکسید کربن^۲ یاد می‌شود. بر همین اساس، نیروگاه‌های خورشیدی نقشی کلیدی در کاهش اثرات زیانبار تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند چرا که با جایگزینی انرژی خورشید به جای سوخت‌های فسیلی، از انتشار گازهای گلخانه‌ای جلوگیری می‌کنند. دی‌اکسید کربن، به عنوان اصلی‌ترین گاز گلخانه‌ای، عامل مهم گرمایش جهانی است و کاهش انتشار آن نقش موثری در محدودسازی روند افزایش دما دارد.

3-1-6-4- صرفه‌جویی در منابع آبی

جایگزینی یک نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی به جای یک نیروگاه حرارتی می‌تواند تأثیرات چشمگیری بر صرفه‌جویی در مصرف آب داشته باشد. نیروگاه‌های حرارتی معمولاً به آب زیادی برای فرآیندهای خنک‌سازی و تولید بخار نیاز دارند. این آب‌ها، که از منابع سطحی یا زیرزمینی تأمین می‌شوند، به دلیل تبخیر، اتلاف گرما و تخلیه پساب گرم به محیط زیست، مصرف می‌شوند و در عین حال فشار زیادی بر منابع آبی به‌ویژه در مناطق کم‌آب ایجاد می‌کنند. بطور متوسط، یک نیروگاه حرارتی برای تولید یک مگاوات ساعت برق حدود 2/5 مترمکعب آب مصرف می‌کند. در این صورت با فرض اینکه انرژی تولیدی اینگونه نیروگاه‌ها به اندازه انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه (33,721 مگاوات ساعت) باشد، حدود 84,302 مترمکعب آب نیاز است که این حجم آب معادل نیاز سالانه بیش از ده‌ها هزار نفر به آب آشامیدنی است. در مقابل، نیروگاه‌های خورشیدی برای تولید برق نیازی به مصرف آب در فرآیند تولید ندارند و تنها میزان محدودی آب برای شست‌وشوی پنل‌ها استفاده می‌شود. در حال حاضر، سه روش اصلی برای شست‌وشوی پنل‌های خورشیدی در مقیاس نیروگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد: شست‌وشوی دستی، رباتیک و نیمه‌اتوماتیک با هدایت انسانی.

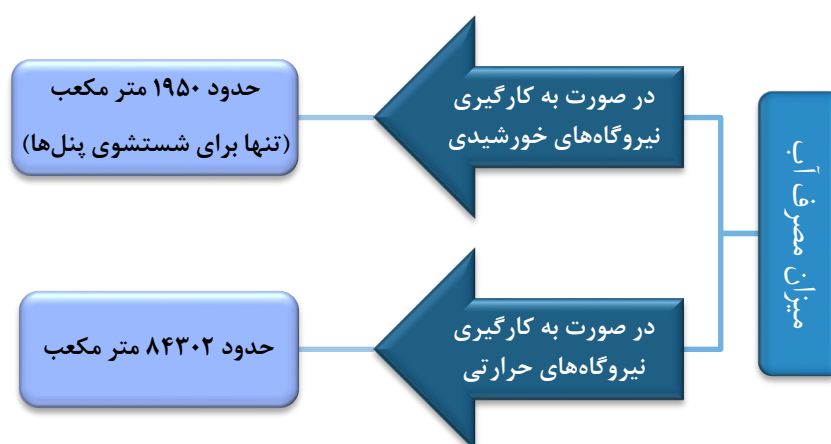
- در سیستم‌های رباتیک، دستگاه‌های هوشمند بصورت خودکار در مسیرهای برنامه‌ریزی شده حرکت کرده و بدون نیاز به مداخله انسانی، عملیات شست و شو را با مصرف حداقلی آب یا در مواردی بصورت خشک انجام می‌دهند. این روش برای پروژه‌های بزرگ و محیط‌های خشک و پرتکرار بسیار کارآمد است.

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

² Transient Climate Response to Cumulative Emissions of Carbon Dioxide (TCRE)

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 60 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

- در روش نیمه اتوماتیک، اپراتور در کابین یک دستگاه متحرک مانند یک خودرو کوچک برقی یا ریلی می نشیند و با هدایت آن در امتداد ردیف های پنل، برس های مکانیزه متصل به دستگاه، سطوح پنل ها را تمیز می کنند. این سیستم تلفیقی از دقت انسانی و مکانیزم مکانیکی است که با کاهش مصرف آب، افزایش سرعت عملیات و کاهش فشار کاری بر نیروها همراه است.
 - در روش دستی، اپراتورها با تجهیزات ساده مانند تی، برس، و مخازن آب عملیات شست و شو را به صورت کاملاً سنتی انجام می دهند. این روش ضمن درگیر کردن نیروی انسانی قابل توجه، با بالاترین میزان مصرف آب همراه است و در پروژه های بزرگ از نظر زمان و هزینه بهره برداری، توجیه پذیر نیست.
- چنانچه فرض شود برای شست و شوی هر پنل در هر نوبت با روش دستی که بیشترین میزان مصرف آب را دارد، به حدود 3 تا 4 لیتر آب نیاز باشد و پنل ها در هر ماه 2 نوبت شسته شوند، مصرف آب سالیانه جهت شست و شوی پنل ها در محدوده 100 تا 130 مترمکعب در سال به ازای هر مگاوات ظرفیت است که برای یک نیروگاه 15 مگاواتی، حداکثر به 1950 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.



شکل 3-6: مقایسه ای شماتیک از میزان مصرف آب در دو سناریوی تولید برق توسط نیروگاه های حرارتی و نیروگاه های خورشیدی

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 61 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

3-6-2- اثرات منفی زیست محیطی نیروگاه‌های فوتوولتاییک و مدیریت آن

نیروگاه‌های خورشیدی، علیرغم مزایای زیست محیطی قابل توجه، می‌توانند اثرات منفی بر تنوع زیستی داشته باشند، به‌ویژه زمانی که بدون در نظر گرفتن حساسیت‌های زیست محیطی طراحی و اجرا شوند. تغییر کاربری اراضی، تأثیر بر تنوع زیستی و اکوسیستم منطقه و دفع ضایعات ناشی از احداث نیروگاه از جمله‌ی این موارد محسوب می‌شوند.

3-6-2-1- تغییر کاربری اراضی

تأسیس نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ، نیازمند مساحت‌های وسیعی است که می‌تواند تعادل اکولوژیکی مناطق را مختل کند. تغییر کاربری اراضی برای نصب پنل‌های خورشیدی در مناطقی مانند مراتع، جنگل‌ها، یا اراضی کشاورزی ممکن است زیستگاه گونه‌های گیاهی و جانوری را از بین ببرد و باعث تخریب خاک، کاهش تنوع زیستی، و تغییر در چرخه‌های طبیعی شود. یکی از معیارهای کلیدی در طراحی نیروگاه‌های خورشیدی، بکارگیری پنل‌های خورشیدی با بازده و توان تولیدی بالا می‌تواند تا حدی نیاز به استفاده از مساحت گسترده را کاهش دهد. انتخاب زمین‌های غیرقابل استفاده یا کم‌ارزش نظیر بیابان‌ها، زمین‌های شور، و اراضی صنعتی متروک می‌تواند از هدررفت زمین‌های 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.

3-6-2-2- 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 جابجایی 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.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 62 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	

3-2-6-3- پسماندهای نیروگاه خورشیدی

با رشد فزاینده نیروگاه‌های خورشیدی در جهان و پیش‌بینی نصب ظرفیت‌های عظیم تا سال‌های آتی، مدیریت پسماند این نیروگاه‌ها به یک چالش مهم و اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است. عمر متوسط پنل‌های خورشیدی حدود 30 سال است و با شروع بازنشستگی نسل‌های اولیه پنل‌ها، حجم قابل توجهی از پسماندهای الکترونیکی-صنعتی شامل پنل‌ها، اینورترها، سازه‌ها و سایر تجهیزات جانبی، پیش‌روی صنعت قرار دارد. بر اساس پیش‌بینی‌های آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر¹، تا سال 2050، میزان تجمعی پسماند پنل‌های خورشیدی در جهان می‌تواند به رقمی بالغ بر 78 میلیون تن برسد. از این رو، طراحی راهبردهای مؤثر برای جمع‌آوری، جداسازی، بازیافت و یا استفاده مجدد از اجزای پنل‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

• ترکیب ساختاری پنل‌های خورشیدی

از آنجا که بخش عمده پسماندهای یک نیروگاه خورشیدی مربوط به پنل‌هاست، آگاهی دقیق از ترکیب ساختاری و مشخصات فنی آن‌ها نقش کلیدی در طراحی راهکارهای مناسب مدیریت پسماند ایفا می‌کند چرا که فناوری‌های مختلف تولید پنل‌ها از نظر نوع مواد و میزان مواد خطرناک، تفاوت‌های قابل توجهی دارند. این تفاوت‌ها در مراحل جمع‌آوری، جداسازی و بازیافت پنل‌ها باید به‌طور دقیق مورد توجه قرار گیرد.

در حال حاضر، فناوری سیلیکون کریستالی² حدود ۹۵٪ بازار جهانی پنل‌های خورشیدی را تشکیل می‌دهند. در میان انواع مختلف آن، پنل‌های مونوکریستال³ به‌دلیل بازدهی بالاتر، دوام بیشتر و عملکرد بهتر در شرایط محیطی مختلف، کاربرد گسترده‌تری نسبت به نوع پلی کریستال⁴ دارند. این ویژگی‌ها موجب شده‌اند که پنل‌های مونوکریستال در بسیاری از پروژه‌های تجاری و نیروگاه‌های بزرگ خورشیدی مورد استفاده قرار گیرند.

شکل 3-7، ترکیب موارد به کار رفته در پنل‌های خورشیدی سیلیکون کریستالی را به تفکیک درصد مواد موجود نشان می‌دهد. در این ترکیب، شیشه با اختلاف قابل توجهی بیشترین سهم را به خود اختصاص می‌دهد و بخش عمده‌ای از وزن پنل را تشکیل می‌دهد. پس از آن، پلیمرها، آلومینیوم، سیلیکون، مس و مقادیر بسیار اندکی از فلزاتی چون نقره، قلع و سرب در ساختار این پنل‌ها به کار می‌روند. این ترکیب مواد نه تنها بر عملکرد و طول عمر پنل تأثیرگذار است، بلکه در فرآیند بازیافت و مدیریت زیست‌محیطی پنل‌های مستعمل نیز اهمیت زیادی دارد.

¹ International Renewable Energy Agency (IRENA)

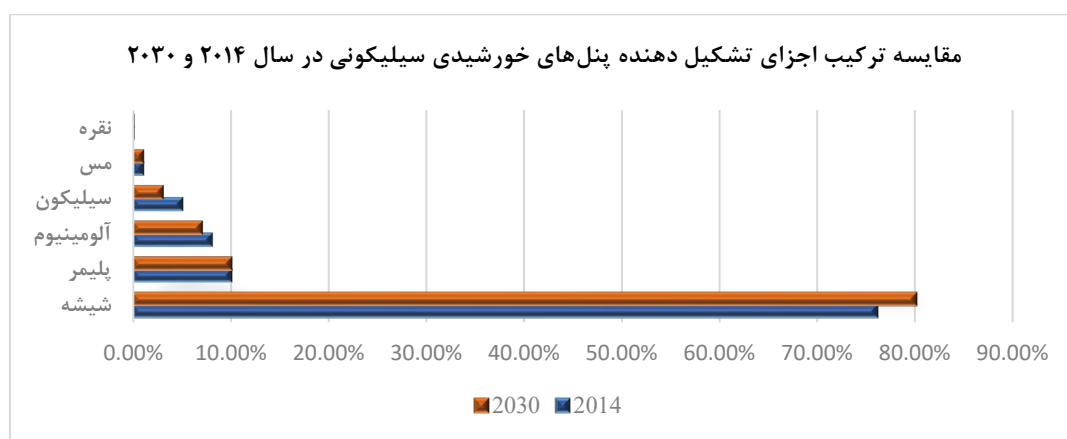
² c-Si

³ Monocrystalline Solar Panel

⁴ Polycrystalline Solar Panel

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 63 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

بر اساس پیش‌بینی‌ها، تا سال ۲۰۳۰ سهم شیشه در ساختار پنل‌های سیلیکون کریستالی تا حدود ۸۰ درصد وزن پنل افزایش خواهد یافت. در مقابل، مصرف سیلیکون و آلومینیوم کاهش خواهد یافت و همچنین روند جایگزینی نقره با فلزاتی چون مس یا نیکل ادامه خواهد داشت؛ این تغییرات عمدتاً در راستای کاهش هزینه، افزایش بهره‌وری، و سازگاری بیشتر با اهداف زیست محیطی صنعت انجام می‌شود.



شکل 3-7: مقایسه ترکیب اجزای تشکیل دهنده پنل‌های خورشیدی سیلیکونی در سال ۲۰۳۰ و ۲۰۱۴

• مراحل ایجاد پسماند در چرخه عمر پنل‌های خورشیدی

در ارزیابی پسماندهای ناشی از نیروگاه‌های خورشیدی، دو سناریوی اصلی در نظر گرفته می‌شود:

- سناریوی معمول^۱
- سناریوی زودهنگام^۲

در سناریوی معمول، فرض بر این است که پنل‌ها مطابق با عمر طراحی شده خود که معمولاً بین ۲۵ تا ۳۰ سال است، عمل کرده و پس از طی این دوره به پایان عمر مفید خود می‌رسند. در این سناریو، پسماندها عمدتاً در چهار مرحله از چرخه عمر پنل ایجاد می‌شوند:

- مرحله تولید:

در مرحله تولید، عمده پسماندها مربوط به ساخت پنل‌های فتوولتائیک است که بیشترین حجم تجهیزات نیروگاه را تشکیل می‌دهند. این پنل‌ها عمدتاً از موادی مانند شیشه، آلومینیوم، سیلیکون کریستالی و پلیمر

^۱ Regular Loss

^۲ Early Loss

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 64 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	

ساخته می‌شوند که بسیاری از آن‌ها قابلیت بازیافت دارند. در این مرحله، اگرچه ممکن است ضایعاتی نظیر سلول‌های سیلیکونی شکسته، شیشه‌های ترک‌خورده یا قاب‌های معیوب به وجود بیایند، اما این ضایعات عمدتاً در محل کارخانه تولیدکننده یا توسط پیمانکاران صنعتی مدیریت و بازیافت می‌شوند و در دسته پسماندهای نیروگاه در محل سایت قرار نمی‌گیرند.

- مرحله حمل و نقل:

طی جابجایی پنل‌ها از کارخانه تا محل نصب، به ویژه در پروژه‌های بزرگ‌مقیاس، احتمال شکستگی و آسیب‌های فیزیکی وجود دارد که منجر به تولید پسماند می‌شود؛ همچنین بخشی از پسماندهای این مرحله شامل ضایعات ناشی از بسته‌بندی مانند نایلون‌های صنعتی، پالت‌های چوبی، کارتن و فوم‌های محافظ است که برای جلوگیری از آسیب به پنل‌ها، اینورترها و سایر تجهیزات در زمان جابجایی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- مرحله نصب:

در مرحله نصب، برخی از پنل‌ها ممکن است به دلیل خطاهای نصب، ایرادات فنی اولیه یا شرایط محیطی نامساعد دچار آسیب شده و پیش از بهره‌برداری از چرخه خارج شوند.

- مرحله پایان دوره بهره‌برداری:

بیشترین حجم پسماند در این مرحله تولید می‌شود؛ زمانی که پنل‌ها به انتهای چرخه عمر خود رسیده‌اند و نیاز به جداسازی و بازیافت یا دفع دارند. این مرحله، اصلی‌ترین بخش در برنامه‌ریزی مدیریت پسماند پنل‌های خورشیدی به‌شمار می‌رود.

از سوی دیگر، سناریوی زود هنگام به بررسی خرابی‌های غیرمنتظره و زودتر از موعد پنل‌ها می‌پردازد. بر اساس دسته‌بندی ارائه‌شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی، این نوع خرابی‌ها در سه بازه زمانی مشخص تعریف می‌شوند:

- خرابی و نقص در سال‌های اولیه نیروگاه¹:

این نوع خرابی‌ها معمولاً در چهار سال ابتدایی پس از نصب، رخ می‌دهند و شامل ایراداتی نظیر نقص در جعبه‌های اتصال، کیفیت پایین قاب‌ها، یا نصب ناصحیح می‌باشند. میزان بروز آن بین 0/5٪ تا 5٪ گزارش شده است و اغلب تحت تأثیر پدیده LID² هستند.

- خرابی و نقص در میان دوره³:

¹ Infant Failure

² Light Induced Degradation

³ Midlife Failure

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 65 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

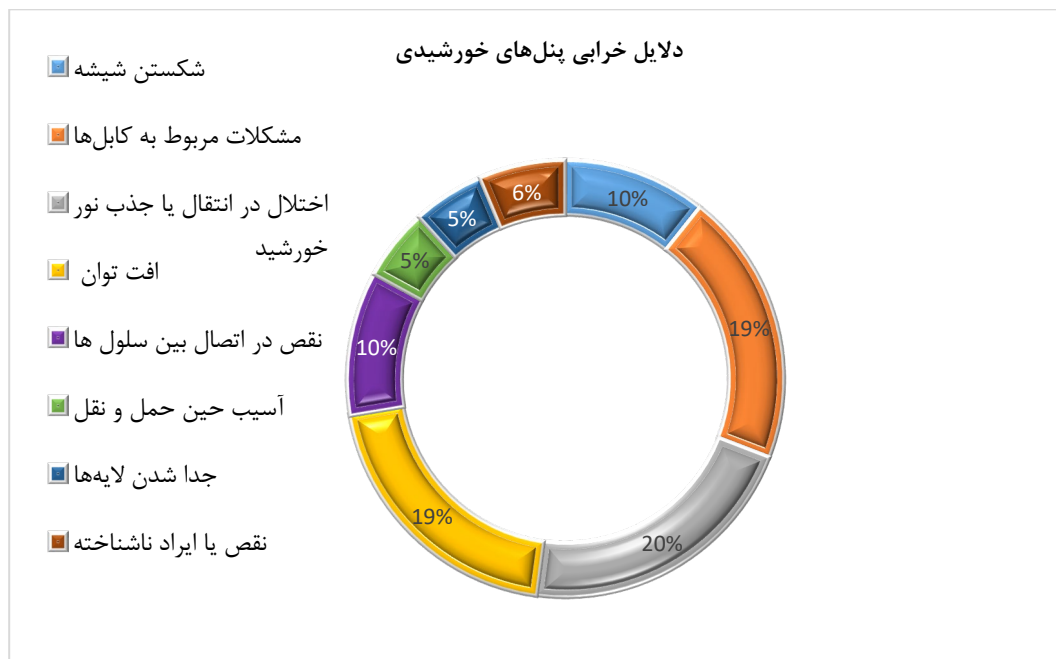
این خرابی‌ها در فاصله ۵ تا ۱۱ سال پس از نصب رخ می‌دهند و ناشی از مشکلاتی نظیر تخریب پوشش‌های ضدانعکاس^۱، تغییر رنگ لایه EVA، جدا شدن لایه‌ها یا شکست سلول‌ها هستند.

- خرابی و نقص ناشی از فرسودگی^۲:

این دسته از خرابی‌ها معمولاً از سال دوازدهم به بعد و تا پایان عمر طراحی شده پنل‌ها، ظاهر می‌شوند. علت آن‌ها تخریب ساختاری، خوردگی، شکستن اتصالات یا ترک خوردگی سلول‌هاست. بر اساس برخی مطالعات آماری، حدود ۴۰٪ از پنل‌های بررسی شده حداقل یک سلول با ترک ریز داشته‌اند. این مسأله خصوصاً در پنل‌های تولیدشده پس از سال ۲۰۰۸ که سلول‌ها نازک‌تر شده‌اند، شایع‌تر است.

در شکل 3-8، اصلی‌ترین دلایل خرابی پنل‌ها به همراه درصد وقوع آن‌ها، نشان داده شده است. مطابق با این شکل که بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی است:

- مهم‌ترین دلیل خرابی پنل‌ها، اختلال در جذب و انتقال نور خورشید توسط سلول‌ها است.
- در وهله بعدی، مشکلات مربوط به کابل‌ها و افت توان دارند.
- خرابی‌های مکانیکی نظیر ترک خوردگی شیشه یا فریم پنل نیز از دیگر عوامل موثر در کاهش عملکرد و عمر پنل‌ها محسوب می‌شوند.



شکل 3-8: درصد وقوع عوامل خرابی پنل‌های خورشیدی

¹ Anti-Reflective Coatings

² Wear-out Failure

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 66 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

• استراتژی‌های مدیریت پسماند

کشورهای پیشرفته و سازمان‌های بین‌المللی، با هدف کاهش اثرات زیست‌محیطی و حفظ منابع، سه رویکرد اصلی را به عنوان راهکارهای کلیدی در مدیریت پسماند پنل‌های خورشیدی در نظر گرفته‌اند:

- کاهش مصرف مواد اولیه^۱
- استفاده مجدد^۲
- بازیافت^۳
- دفع نهایی^۴

استراتژی‌های مورد اشاره، مکمل یکدیگر بوده و در کنار سیاست‌گذاری‌های هوشمندانه، می‌توانند تاثیرات منفی پسماندهای خورشیدی را به حداقل برسانند.

✓ کاهش مصرف مواد اولیه:

کاهش تولید پسماند در مرحله اول زنجیره مدیریت پسماند قرار دارد. از آنجا که حجم عمده پسماندها مربوط به پنل‌های خورشیدی است، اولویت اقدامات باید بر مدیریت و کاهش ضایعات مرتبط با این تجهیزات باشد. در راستای کاهش پسماند پنل‌های خورشیدی، یکی از راهکارهای مؤثر، بهینه‌سازی مصرف مواد اولیه در فرآیند تولید است. بر اساس گزارش سازمان بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، تحقیق و توسعه در زمینه کاهش ضخامت و وزن مواد به کار رفته در پنل‌ها باعث صرفه‌جویی چشمگیر در منابع طبیعی می‌شود. همچنین، جایگزینی مواد خطرناک مانند سرب، کادمیم و سلیوم با مواد کم خطرتر یا کاهش میزان آن‌ها از دیگر محورهای مهم تحقیقاتی است. این اقدامات علاوه بر کاهش هزینه‌ها، طول عمر پنل‌ها را افزایش داده و در نهایت موجب کاهش حجم پسماند در پایان عمر مفید پنل‌ها خواهد شد.

✓ استفاده مجدد:

این اصل به استفاده مجدد از اقلام و مواد بدون اعمال تغییر اساسی در ماهیت آن‌ها اشاره دارد. در نیروگاه خورشیدی، برخی تجهیزات از جمله کابل‌ها، پالت‌های چوبی و ... قابلیت استفاده مجدد در همان پروژه و یا پروژه‌های مشابه را خواهند داشت. همچنین از طرفی دیگر، بخش قابل توجهی از پنل‌ها همچنان در ابتدای دوره عمر خود به سر می‌برند اما ممکن است به دلایل کیفیت نصب یا نقص‌های تولید، نیاز به تعمیر یا تعویض زود هنگام پیدا کنند. تعمیر پنل‌ها شامل تعویض

¹ Reduce

² Reuse

³ Recycle

⁴ Dispose

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 67 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

قاب، جعبه اتصال، دیودها و حتی سلول‌های خورشیدی می‌تواند ارزش اقتصادی قابل توجهی ایجاد کند و بازار قابل توجهی برای پنل‌های تعمیر و بازسازی شده شکل دهد. این پنل‌ها معمولاً با قیمتی حدود 70 درصد قیمت پنل نو در بازار دست دوم عرضه می‌شوند و بدین ترتیب از تولید زباله جلوگیری می‌شود.

✓ باز یافت پنل‌ها:

باز یافت پنل‌های خورشیدی یکی از مهم‌ترین بخش‌های مدیریت پسماند است که نقش حیاتی در حفظ محیط زیست و بازیابی مواد با ارزش ایفا می‌کند. در این مرحله، مواد پسماند به چرخه تولید بازمی‌گردند تا مجدداً به محصولات قابل استفاده تبدیل شوند. طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، پنل‌ها در ابتدا باید به صورت اصولی، باز و لایه‌ها از هم جدا شوند تا فلزات گرانبها نظیر نقره، آلومینیوم، مس و قلع از مواد دیگر جدا شده و بازیافت شوند. این فرآیند بویژه در نیروگاه‌های مقیاس بزرگ به صرفه‌تر و کارآمدتر است. همچنین، توسعه فناوری‌های نوین بازیافت، افزایش قیمت مواد اولیه تولید پنل و سیاست‌های تشویقی در بسیاری از کشورها موجب شده است که بازیافت پنل‌های فتوولتاییک به یک صنعت رو به رشد و کارآفرین تبدیل شود.

پیش‌بینی سازمان بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر نشان می‌دهد که بازیافت پنل‌های خورشیدی در پایان عمرشان، می‌تواند با بازیابی حجم قابل توجهی از مواد خام ارزشمند مانند آلومینیوم، نقره، مس، شیشه و سیلیکون، تا سال 2050، در حدود 15 میلیارد دلار، ارزش اقتصادی ایجاد کند؛ شکل 3-9، به صورت شماتیک این مسئله را نشان می‌دهد.



شکل 3-9: پیش‌بینی پتانسیل خلق ارزش مالی از طریق بازیافت پنل‌ها تا سال 2050

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 68 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	

✓ دفع نهایی:

دفع نهایی، به عنوان آخرین حلقه در چرخه مدیریت پسماند، زمانی مطرح می شود که امکان بکارگیری سایر گزینه های مدیریتی مانند استفاده مجدد و بازیافت وجود نداشته باشد. در نیروگاه های خورشیدی، بخشی از پسماندها از قابلیت بازیافت مؤثر یا استفاده مجدد برخوردار نیستند و ناگزیر باید طبق دستورالعمل سازمان حفاظت محیط زیست، به شرکت های دارای مجوز حمل و دفع پسماندهای ویژه، تحویل داده شوند. در این مرحله، انتخاب محل مناسب جهت دفن یا سوزاندن پسماندها تحت شرایط کنترل شده، متناسب با نوع ماده، از اهمیت بالایی برخوردار است به گونه ای که از بروز هرگونه آلودگی در منابع خاک و آب های زیرزمینی به طور مؤثر جلوگیری شود.

3-6-2-4- آلودگی آب و خاک ناشی از شست و شوی پنل ها

شست و شوی پنل های خورشیدی یکی از عملیات ضروری برای حفظ بازدهی و بهره وری این تجهیزات است اما اگر به درستی مدیریت نشود، می تواند اثرات منفی بر منابع آب و خاک داشته باشد. این فرآیند معمولاً شامل مصرف آب برای پاکسازی گرد و غبار، فضولات پرندگان و آلودگی های دیگر از سطح پنل ها است. استفاده نادرست از آب می تواند به هدر رفت منابع آبی منجر شود، بویژه در مناطق خشک که نیروگاه های خورشیدی اغلب در آنجا مستقر می شوند.

یکی از مشکلات شست و شوی پنل ها، تخلیه آب آلوده به خاک اطراف نیروگاه است. این آب ممکن است حاوی مواد شیمیایی یا شوینده های متعددی باشد که در صورت نفوذ به خاک، کیفیت آن را کاهش می دهد و حتی می تواند به فرسایش خاک یا تغییر ترکیب شیمیایی آن منجر می شود. همچنین، در صورتیکه این آب وارد منابع آبی زیرزمینی یا سطحی شود، می تواند کیفیت آب را تحت تأثیر قرار دهد و آسیب هایی به اکوسیستم های آبی وارد کند.

برای کاهش این اثرات، می توان از آب های بازیافتی یا جمع آوری شده از محل بارندگی استفاده کرد و از مواد شیمیایی غیر ضروری در فرآیند شست و شو پرهیز نمود. علاوه، طراحی سیستم های جمع آوری و تصفیه آب در نزدیکی نیروگاه می تواند از نفوذ آلاینده ها به محیط زیست جلوگیری کند.

3-7- برنامه تمهیدات و پایش زیست محیطی

برنامه پایش زیست محیطی بخشی کلیدی از فرآیند ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه های عمرانی و زیرساختی به شمار می رود که با هدف ارزیابی مداوم پیامدهای واقعی پروژه بر مؤلفه های محیط زیست طراحی می شود. این برنامه به منظور

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 69 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	

سنجش اثربخشی اقدامات پیشنهادی جهت کاهش اثرات منفی زیست محیطی و نیز اطمینان از پایبندی پروژه به الزامات قانونی و استانداردهای زیست محیطی تدوین می شود. از این طریق، امکان شناسایی و مدیریت انحرافات احتمالی از پیش بینی های مطالعات ارزیابی اثرات زیست محیطی فراهم شده و زمینه برای مداخله سریع و اصلاح فرایندها مهیا می گردد.

در چارچوب احداث و بهره برداری از نیروگاه های فتوولتائیک، اجرای برنامه پایش زیست محیطی از اهمیت ویژه ای برخوردار است چراکه این پروژه ها اگرچه در مقایسه با نیروگاه های حرارتی آلودگی کمتری ایجاد می کنند، اما ممکن است در مراحل ساخت، بهره برداری و برچیدن، اثراتی بر کیفیت خاک، منابع آب، زیستگاه های طبیعی، مناظر و پسماندهای صنعتی بر جای بگذارند. به همین منظور، پایش مستمر و نظام مند شاخص های زیست محیطی از جمله کیفیت هوا، وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی، تنوع زیستی و مدیریت پسماند بخشی ضروری از رویکرد مدیریت پایدار پروژه محسوب می شود.

3-7-1- برنامه جامع مدیریت پسماند نیروگاه

فرآیند مدیریت مواد زائد جامد، شامل مراحل نگهداری موقت پسماند، جمع آوری، حمل و نقل، بازیافت و دفع است. در تمامی این مراحل نیاز به مدیریت صحیح و ارائه راهکارهای مهندسی می باشد زیرا نگهداری مناسب پسماند و طراحی مناسب مخازن و محل قرارگیری آنها، روند انجام خدمات جمع آوری و حمل و نقل پسماند را بهبود می بخشد و این امر پردازش پسماند را با راندمان بالاتری امکان پذیر خواهد کرد. مهم ترین محصول این پروسه کاهش هزینه های بخش مدیریت مواد زائد جامد و جلوگیری از تخریب محیط زیست می باشد. در همین راستا، برنامه جامع مدیریت پسماند واحد در جدول 3-4 ارائه گردیده است.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه			
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001		
	Page: 70 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02	

جدول 3-4: برنامه جامع مدیریت پسماند

فاز	پسماند	منبع تولید	تمهیدات
احداث	پسماندهای گیاهی	پاک‌تراشی و بوته کنی	این ضایعات جمع‌آوری شده و در بخش خاکی فضای سبز دفن خواهد شد تا تجزیه شده و به عنوان کود موجب حاصلخیزی خاک و تقویت فضای سبز گردد.
	نخاله‌های ساختمانی	عملیات احداث و فعالیت‌های ساختمانی	به حداقل رساندن نخاله‌های ساختمانی استفاده مجدد از نخاله‌های ساختمانی جهت بسترسازی کف مازاد نخاله‌های ساختمانی در مکانی در سایت دپو گردد و در نهایت توسط شهرداری شهرستان حمل گردد
	پسماندهای صنعتی (گریس، روغن مستعمل، باتری فرسوده، فیلترهای مستعمل هوا، سیم و کابل، پالت‌های چوبی، لاستیک فرسوده، قطعات فلزی و پلاستیکی)	واحد سرویس ماشین آلات و انبار موقت	جمع‌آوری در بشکه‌های مخصوص سپس انبارش (فضایی سرپوشیده و با سطح عایق (سیمانکاری شده) و غیرقابل نفوذ) بصورت موقت و فروش در دوره‌های زمانی مشخص جمع‌آوری روغن‌ها و سوخت‌های نشت یافته، در مخازن مخصوص به‌منظور بازیافت یا استفاده مجدد.
	پسماندهای عادی یا خانگی (غذایی، پسماندهای اداری، ظروف پلاستیکی و یکبار مصرف و غیره)	فعالیت پرسنل طی فاز احداث و بهره‌برداری	تفکیک در مبدا پسماندهای خشک و تر انتقال روزانه یا هر دو روز یکبار پسماندهای فسادپذیر توسط شهرداری به حداقل رساندن استفاده از ظروف یکبار مصرف استفاده مجدد از کاغذهای باطله به‌عنوان چک پرینت فروش پسماندهای خشک به واحدهای بازیافت سطح استان
بهره‌برداری	لجن فاضلاب بهداشتی	فعالیت پرسنل طی فازهای احداث و بهره‌برداری	با توجه به بی‌هوازی بودن سپتیک، لجن تولیدی خیلی کم خواهد بود. لذا هر 3 الی 5 سال باید تخلیه شده و از طریق ثبت در سامانه جامع محیط زیست به پیمانکار ذیصلاح تحویل گردد.
	روغن‌های خازن و ترانس‌های پست برق	فعالیت‌های فاز بهره‌برداری	جمع‌آوری کلیه روغن‌های مستعمل ترانس و غیره در بشکه‌های مخصوص سپس انبارش (فضایی سرپوشیده و با سطح عایق (سیمانکاری شده) و غیرقابل نفوذ) بصورت موقت و فروش در دوره‌های زمانی مشخص
	پنل‌ها و تجهیزات معیوب	پنل‌ها و تجهیزات	استفاده از مواد و تجهیزات با طول عمر بیشتر نظارت بر برنامه‌های تعمیر و نگهداری به منظور افزایش طول عمر وسایل و تجهیزات نظارت بر روش‌های انبار مواد اولیه و محصول به منظور جلوگیری از تخریب تجهیزات

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه			
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001		
	Page: 71 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02	

فاز	پسماند	منبع تولید	تمهیدات
در نظر گرفتن انبار موقت مطابق با سایت پلان با بستر نفوذناپذیر و سیمان کاری شده به منظور دپوی موقت پنل های آسیب دیده (تعداد پنل های معیوب حدود 0/1٪ برآورد می گردد که با نمونه جدید تعویض خواهد شد) تحويل پنل های آسیب دیده به شرکت های ذیصلاح جهت بازیافت (به نحوی که قاب های آلومینیومی و سیم های مسی پشت پنل به منظور استفاده مجدد جدا گردد و باقی اجزای پنل در خردکن صنعتی خرد شوند و به عنوان شیشه خرد شده به فروش رسند یا به محل دفن زباله مورد تایید سازمان حفاظت محیط زیست تحويل گردد)			

		قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه			
		Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001		
	Page: 72 of 92	Document Title:		گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

3-7-2- جدول پایش زیست محیطی طرح

به منظور کنترل و کاهش آثار پروژه طی فازهای احداث و بهره‌برداری برنامه پایش زیست محیطی تهیه و در جدول 3-5 ارائه گردیده است.

جدول 3-5: پایش زیست محیطی طرح نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه به تفکیک فازهای احداث و بهره‌برداری

فاز	محیط اثرگذار	نوع آلاینده	فاکتور/نحوه پایش	منبع انتشار آلاینده‌ها	فعالیت‌های کنترلی	نقاط/محل پایش	مسئول پایش	تواتر پایش دوره‌ای	زمان پایش در هر سال			
									3 ماهه اول	3 ماهه دوم	3 ماهه سوم	3 ماهه چهارم
احداث	تأثیرات زیست‌محیطی	ذرات معلق و گردوغبار	کنترل حمل‌ونقل و نظارت مستمر بر آن بازدید چشمی	حمل‌ونقل و دپوی مصالح ساختمانی	استفاده از پوشش مناسب بر روی مصالح در زمان حمل و دپو و عدم تخلیه بار در نزدیکی روستاها ممانعت از دپوکردن منابع قرضه	محدوده کارگاهی و تردد ماشین‌آلات	تیم HSE پیمانکار	روزانه				
		گازهای آلاینده خروجی (ذرات معلق، HC و غیره) و سروصدای ماشین‌آلات	کنترل معاینه فنی ماشین‌آلات	ماشین‌آلات ساختمانی	بازبینی و تعمیر موتور ماشین‌آلات جهت بررسی راندمان سوخت و استانداردهای مربوطه و به حداقل رساندن صداهای غیر ضروری ممنوعیت استفاده از ماشین‌آلات بالای 20 سال	ماشین‌آلات در کارگاه		ماهانه				
		آلودگی صوتی (سروصدا)	اندازه‌گیری و پایش شدت تراز صوتی/فرکانس و میزان جابجایی ارتعاشات در سطح کارگاهی و منطقه	فعالیت‌های فاز ساختمانی	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی حین کار مانند گوشی‌های محافظ و ماسک و البسه مناسب	محدوده بلافاصله نیروگاه	تیم HSE پیمانکار	سه ماه یکبار				

		قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه			
		Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001		
	Page: 74 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02	

فاز	محیط اثرگذار	نوع آلاینده	فاکتور/ نحوه پایش	منبع انتشار آلاینده ها	فعالیت های کنترلی	نقاط / محل پایش	مسئول پایش	تواتر پایش دوره ای	زمان پایش در هر سال			
									3 ماهه اول	3 ماهه دوم	3 ماهه سوم	3 ماهه چهارم
		نخاله های ساختمانی		فعالیت های فاز ساختمانی	نظارت بر نحوه دفع مناسب نخاله های ساختمانی و انتقال به محل مناسب	محدوده بلافضل نیروگاه	تیم HSE پیمانکار	ماهانه				
		پسماندهای عادی		ناشی از فعالیت پرسنل	تعبیه محل مناسب برای جمع آوری پسماندهای جامد با در نظر گرفتن ضوابط مربوطه و انتقال به محل مورد تأیید محیط زیست استان	محدوده بلافضل نیروگاه	تیم HSE پیمانکار	هفتگی				
	کیفیت منابع آب و خاک	فاضلاب بهداشتی	BOD,COD,pH,TSS,PO ₄ , NO ₂ ,NH ₄ , Cl, DO, Temp کلیفرم ها	ناشی از فعالیت پرسنل	تعبیه سپتیک تانک و پایش فاضلاب بهداشتی کارکنان در جهت مدیریت فاضلاب بهداشتی	محل تخلیه سپتیک تانک	تیم HSE مجری و آزمایشگاه معتمد محیط زیست	سه ماه یکبار				
	محیط اجتماعی	سوانح و خطرات	بازدیدهای دوره ای واحد HSE	فعالیت های فاز ساختمانی	مراقبت های بهداشتی و اقدامات پیشگیرانه استفاده از تجهیزات حفاظت فردی مانند پوشش مناسب (کفش، لباس کار، ماسک، عینک و غیره) معاینات و واکسیناسیون دوره ای	محل کمپ کارگران و پرسنل	تیم HSE پیمانکار و تیم HSE مجری	سالانه				

		قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه			
		Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001		
	Page: 75 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02	

فاز	محیط اثرگذار	نوع آلاینده	فاکتور/ نحوه پایش	منبع انتشار آلاینده ها	فعالیت های کنترلی	نقاط / محل پایش	مسئول پایش	تواتر پایش دوره ای	زمان پایش در هر سال			
									3 ماهه اول	3 ماهه دوم	3 ماهه سوم	3 ماهه چهارم
بهره داری	کیفیت منابع خاک	افت کیفیت خاک	1 نمونه در جهت وزش باد در خارج از سایت 1 نمونه از محل نگهداری موقت پسماندهای صنعتی 2 الی 8 نمونه از نقاط مختلف داخل سایت شامل پارامترهای: pH, EC, PCBs, فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب، جیوه، مولیبدن، نیکل، سلنیوم و روی) و کل نیتروژن	پسماندهای ناشی از فعالیت پرسنل انبارش موقت پسماندهای صنعتی	تعبیه سطل های زباله در محوطه سایت نیروگاه و انعقاد قرارداد با شهرداری جهت انتقال پسماندها به مرکز دفن پسماند و لحاظ برنامه مدیریت پسماند تدوین گردیده (جدول 3-6)	محوطه سایت نیروگاه	مسئول HSE کافرما	سالانه				
	کیفیت منابع آب و خاک	فاضلاب بهداشتی	BOD, COD, pH, TSS, PO4, NO2, NH4, Cl, DO, Temp چربی و روغن، کلیفرم گوارشی، کل کلیفرم ها، تخم انگل.	ناشی از فعالیت پرسنل	پایش فاضلاب بهداشتی کارکنان جهت مدیریت فاضلاب بهداشتی	محل های تخلیه سپتیک تانک	مسئول HSE کافرما و آزمایشگاه معتمد محیط زیست	سه ماه یکبار				

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه			
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001		
	Page: 76 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02	

زمان پایش در هر سال				تواتر پایش دوره‌ای	مسئول پایش	نقاط / محل پایش	فعالیت‌های کنترلی	منبع انتشار آلاینده‌ها	فاکتور / نحوه پایش	نوع آلاینده	محیط اثرگذار	فاز
3 ماهه چهارم	3 ماهه سوم	3 ماهه دوم	3 ماهه اول									
				6 ماهه	مسئول HSE کافرما و آزمایشگاه معتمد محیط زیست	نزدیکترین آبراهه اصلی به نیروگاه	پایش منابع آبی	فعالیت‌های فاز بهره‌برداری	PH, TDS, COD, BOD, EC, DO TSS محلول، نیتروژن، فسفر کل، دبی، دما، فسفات، نیتрат، آمونیاک، فلزات سنگین، آنیون‌ها و کاتیون‌ها، کلیفرم‌های مدفوعی، چربی و روغن، سولفات، کروم، فنل	تغییر در کیفیت آب	کیفیت منابع آب	

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 77 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

3-8- جمع بندی

بررسی های انجام شده در این گزارش نشان می دهد که احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه، 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 15 مگاواتی بشرویه 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 15 مگاواتی بشرویه از منظر زیست محیطی ارزش افزوده چشمگیری به همراه داشته باشد. جدول 3-6، مقایسه ای از اثرات زیست محیطی نیروگاه های خورشیدی را با نیروگاه های حرارتی نشان می دهد.

جدول 3-6: مقایسه اثرات زیست محیطی نیروگاه های خورشیدی و حرارتی

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

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 78 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

فصل چهارم:

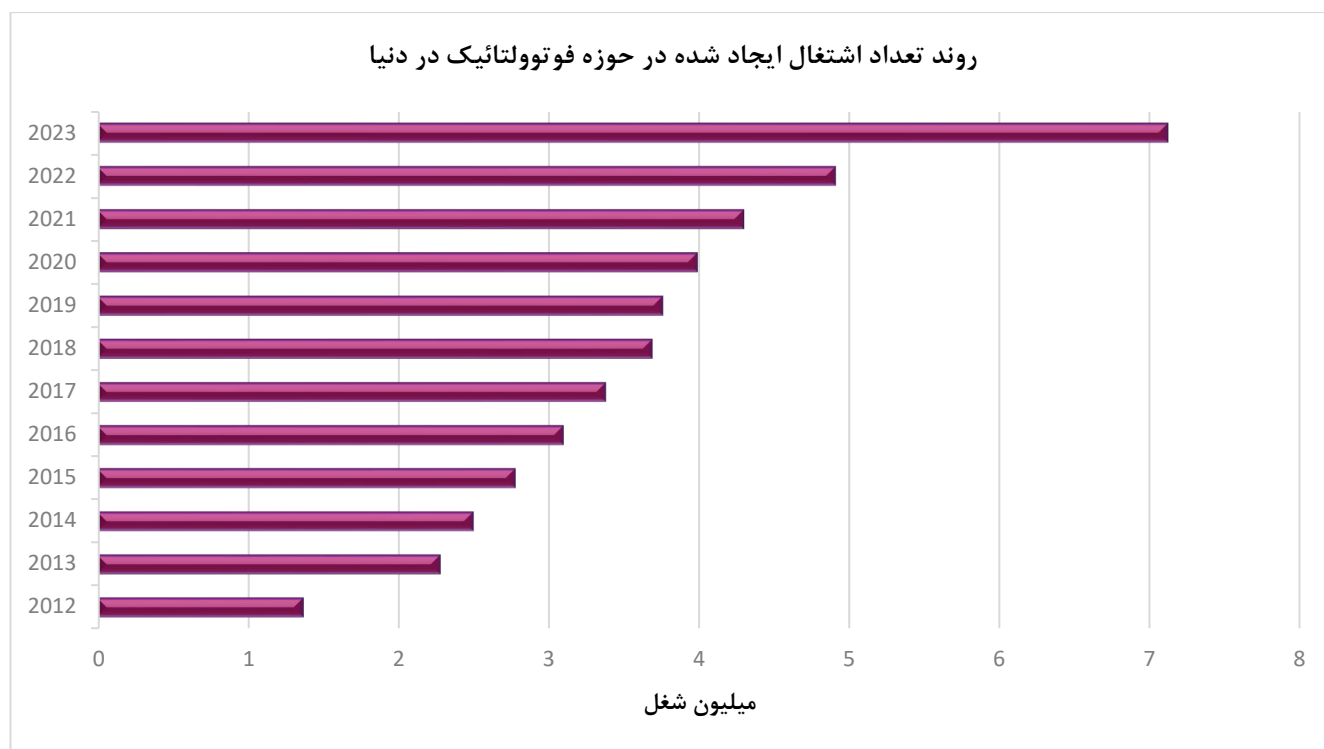
بخش عملیاتی و نگهداری – برنامه اجرا و مدیریت نیروگاه پس از راه اندازی

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 79 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

4- برنامه اجرا و مدیریت نیروگاه پس از راه اندازی

4-1- برآورد نیروی انسانی مورد نیاز نیروگاه خورشیدی

بر اساس گزارش آژانس بین المللی انرژی های تجدیدپذیر¹، تعداد مشاغل مستقیم و غیرمستقیم ایجاد شده در بخش انرژی های تجدیدپذیر در جهان در سال 2023 در حدود 16/2 میلیون نفر بوده که نسبت به سال 2022 رشد 18 درصدی را نشان می دهد. در میان منابع مختلف تجدیدپذیر، نیروگاه های خورشیدی فتوولتائیک بیشترین سهم را در ایجاد اشتغال داشته اند. این بخش در سال 2022، حدود 4/9 میلیون شغل در جهان ایجاد کرده بود که این رقم در سال 2023 به 7/11 میلیون شغل افزایش یافت. این رشد قابل توجه، بیانگر روند رو به رشد صنعت فتوولتائیک در سطح جهانی و نقش روزافزون آن در گذار به انرژی های پاک است. رشد اشتغال در این بخش، نه تنها بر اهمیت صنعت خورشیدی در تأمین انرژی پایدار دلالت دارد بلکه آن را به یکی از ارکان اصلی در ایجاد فرصت های شغلی و توسعه اقتصادی در جهان تبدیل کرده است. شکل 4-1، روند رشد اشتغال در بخش انرژی خورشیدی طی بازه زمانی سال های 2012 تا 2023 نمایش داده شده است.



شکل 4-1: روند تعداد اشتغال ایجاد شده در حوزه فتوولتائیک در دنیا بر حسب میلیون شغل

¹ International Renewable Energy Agency (IRENA)

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 80 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

به همین ترتیب و با استناد به داده‌های جهانی می‌توان نتیجه گرفت که نخستین و ملموس‌ترین اثر مثبت پروژه، ایجاد فرصت‌های شغلی مستقیم و غیرمستقیم برای ساکنان محلی در مرحله ساخت و نصب تجهیزات نیروگاه است. با توجه به حجم عملیات اجرایی، نیاز به نیروی انسانی در حوزه‌های عمرانی، الکتریکال، لجستیک و پشتیبانی وجود خواهد داشت که می‌تواند موجب جذب جوانان جویای کار منطقه و کاهش نرخ بیکاری گردد. افزون بر آن، در فاز بهره‌برداری نیز نیروگاه نیازمند تیم فنی برای نگهداری و مدیریت عملکرد سیستم خواهد بود که این موضوع به ایجاد اشتغال پایدار کمک می‌کند، گرچه به تعداد محدودتر. همانطور که پیشتر نیز در بخش 3-5-1 اشاره شد، در فرایند بهره‌برداری از نیروگاه 15 مگاواتی بشرویه، برآورد می‌شود:

- با استقرار یک کانکس نگهبانی و با لحاظ حضور 1 نفر نگهبان و در نظر گرفتن سه شیفت کاری در شبانه‌روز برای پوشش کامل نوبت‌های کاری، 3 نیروی حفاظت فیزیکی مورد نیاز خواهند بود.
- به منظور پایش مستمر عملکرد تجهیزات و سامانه‌های کنترلی و همچنین انجام امور تعمیر و نگهداری نیروگاه و با در نظر گرفتن سه شیفت کاری، 3 اپراتور جهت حضور در اتاق مانیتورینگ مورد نیاز خواهد بود.
- برای مدیریت موجودی قطعات یدکی و تجهیزات مصرفی نیروگاه 1 نفر و همچنین برای بررسی ملاحظات ایمنی و زیست محیطی نیروگاه 1 کارشناس ایمنی و محیط زیست پیش‌بینی شده است.
- در نهایت به منظور مدیریت و نظارت کلی بر عملکرد نیروگاه، 1 نفر مدیر بهره‌برداری نیز مورد نیاز خواهد بود.
- به طور کلی دست کم 9 نیروی انسانی بطور دائمی در محل پروژه می‌توانند مشغول به کار شوند.
- لازم به ذکر است که در این محاسبات، عملیات شست و شوی پنل‌های خورشیدی به‌عنوان فعالیتی پیمانکاری در نظر گرفته شده که به‌صورت جداگانه توسط یک تیم تخصصی انجام خواهد شد؛ این بخش نیز ظرفیت قابل توجهی برای ایجاد اشتغال در منطقه فراهم می‌آورد.

در کنار اشتغال‌زایی، پروژه می‌تواند به عنوان محرکی برای تقویت زنجیره‌های خدماتی و تأمین‌کننده‌های محلی عمل کند. حضور پیمانکاران، مهندسین و متخصصین در محل پروژه، باعث افزایش تقاضا برای کالاها و خدماتی نظیر اقامت، تغذیه، حمل‌ونقل، خرده‌فروشی و سایر خدمات پشتیبان خواهد شد. این موضوع منجر به رونق مشاغل خرد، افزایش گردش مالی و بهبود وضعیت اقتصادی در روستاهای پیرامونی و مرکز شهرستان خواهد گردید.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 81 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

از منظر کلان، توسعه چنین پروژه‌هایی در سطح منطقه، پیام مهمی برای سیاست‌گذاران و سرمایه‌گذاران در بردارد و جایگاه منطقه در نقشه توسعه انرژی کشور را ارتقاء می‌دهد. این امر می‌تواند زمینه‌ساز جذب پروژه‌های مشابه در آینده، توسعه زیرساخت‌ها و گسترش شبکه‌های حمل‌ونقل و برق‌رسانی گردد.

همچنین از منظر اجتماعی، اجرای پروژه در صورت رعایت ملاحظات فرهنگی و تعامل فعال با جامعه محلی، می‌تواند احساس تعلق، افتخار و مشارکت اجتماعی را در میان ساکنان تقویت کند. انتقال فناوری‌های نوین انرژی، آموزش‌های تخصصی کوتاه‌مدت و فرصت‌های یادگیری می‌تواند آگاهی زیست‌محیطی و فنی جامعه محلی را ارتقاء داده و آن‌ها را در مسیر توسعه پایدار منطقه مشارکت دهد.

4-2- برنامه نظافت و نگهداری پنل‌ها

پدیده تجمع گرد و غبار¹ یکی از چالش‌های اصلی در بهره‌برداری از نیروگاه‌های خورشیدی در اقلیم ایران محسوب می‌شود. ذرات معلق، گرد و خاک و آلاینده‌های صنعتی می‌توانند با ایجاد لایه‌ای کدر بر سطح پنل‌ها، منجر به کاهش میزان انتقال نور و در نتیجه افت راندمان پنل‌ها شوند. علاوه بر این، آلودگی‌های موضعی نظیر فضله پرندگان یا لکه‌های روغنی، به دلیل پوشاندن بخشی از سطح سلول‌ها می‌توانند شرایط ناهمگونی در جذب تابش ایجاد کرده و موجب شکل‌گیری پدیده هات اسپات گردند. استمرار این وضعیت نه تنها بازدهی نیروگاه را کاهش می‌دهد، بلکه در بلند مدت موجب استهلاک زودرس ماژول‌ها و افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری خواهد شد. به همین منظور، عملکرد نیروگاه باید به صورت مداوم از طریق سامانه‌های مانیتورینگ مورد ارزیابی قرار گیرد. در صورتی که نتایج پایش نشان‌دهنده افت راندمان بیش از ۳ درصد در مقایسه با شرایط مرجع باشد، شست‌وشوی پنل‌ها الزامی خواهد بود. این رویکرد، امکان بهینه‌سازی مصرف آب و منابع انسانی را فراهم ساخته و از انجام شست‌وشوهای غیرضروری جلوگیری می‌نماید. فرآیند شست‌شو باید با استفاده از تجهیزات و روش‌های استاندارد صورت گیرد تا از بروز آسیب‌های مکانیکی یا الکتریکی به ماژول‌ها جلوگیری شود. همچنین، انتخاب زمان مناسب (مانند ساعات اولیه صبح یا غروب) به منظور کاهش شوک حرارتی ناشی از اختلاف دمای آب و سطح پنل‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. در حال حاضر، سه روش اصلی برای شست‌وشوی پنل‌های خورشیدی در مقیاس نیروگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد: شست‌وشوی دستی، رباتیک و نیمه‌اتوماتیک با هدایت انسانی.

¹ Soiling Effect

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 82 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

- در سیستم‌های رباتیک، دستگاه‌های هوشمند به صورت خودکار در مسیرهای برنامه‌ریزی شده حرکت کرده و بدون نیاز به مداخله انسانی، عملیات شست‌وشو را با مصرف حداقلی آب یا در مواردی به صورت خشک انجام می‌دهند. این روش برای پروژه‌های بزرگ و محیط‌های خشک و پرتکرار بسیار کارآمد است.
- در روش نیمه اتوماتیک، اپراتور در کابین یک دستگاه متحرک مانند یک خودرو کوچک برقی یا ریلی می‌نشیند و با هدایت آن در امتداد ردیف‌های پنل، برس‌های مکانیزه متصل به دستگاه، سطوح پنل‌ها را تمیز می‌کنند. این سیستم تلفیقی از دقت انسانی و مکانیزم مکانیکی است که با کاهش مصرف آب، افزایش سرعت عملیات و کاهش فشار کاری بر نیروها همراه است.
- در روش دستی، اپراتورها با تجهیزات ساده مانند تی، برس، و مخازن آب عملیات شست‌وشو را به صورت کاملاً سنتی انجام می‌دهند. این روش ضمن درگیر کردن نیروی انسانی قابل توجه، با بالاترین میزان مصرف آب همراه است و در پروژه‌های بزرگ از نظر زمان و هزینه بهره‌برداری، توجیه‌پذیر نیست.

3-4- سیستم مانیتورینگ و کنترل عملکرد

مطابق با اعلام برق منطقه‌ای استان خراسان جنوبی، نیازمندی‌های دیسپاچینگ و مخابرات در نیروگاه‌های کوچک مقیاس خورشیدی به شرح زیر می‌باشد:

1- نصب و تست و راه‌اندازی یک عدد پایانه راه دور در نیروگاه جهت ارسال سیگنال‌های مورد نیاز زیر در نیروگاه

- توان اکتیو خروجی هر اینورتر
- توان راکتیو خروجی هر اینورتر
- ولتاژ هر اینورتر
- ولتاژ باس
- فرکانس باس
- توان اکتیو نیروگاه
- توان راکتیو نیروگاه
- وضعیت سکسیونر و بریکرهای اینورتر

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 83 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

- وضعیت RUN/STOP اینورتر

- وضعیت بریکر Incoming

- آلامر Minor نیروگاه

- آلامر Major نیروگاه

- مقادیر توان اکتیو و راکتیو 3 فاز ورودی به شبکه در پست فوق توزیع بالادست

2- بستر مخابراتی انتقال اطلاعات از DG تا اولین ایستگاه متصل به مرکز کنترل برق منطقه‌ای خراسان جنوبی (فیبر

نوری)

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه	
Page: 84 of 92	Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001 Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	

Rev. 02

فصل پنجم:

بخش ریسک‌ها – شناسایی ریسک‌های احتمالی و راهکارهای کاهش آن

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 85 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

5- ریسک‌های احتمالی نیروگاه خورشیدی

اجرای پروژه‌های نیروگاه خورشیدی، علاوه بر مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی، با مجموعه‌ای از ریسک‌ها و عدم قطعیت‌ها همراه است که می‌تواند بر عملکرد فنی، پایداری مالی و استمرار تولید برق اثرگذار باشد. شناسایی و تحلیل این ریسک‌ها بخش جدایی‌ناپذیر فرآیند برنامه‌ریزی و بهره‌برداری محسوب می‌شود چرا که می‌توانند بر عملکرد فنی، بازده اقتصادی و پایداری محیطی پروژه تاثیرگذار باشند. در این مطالعه، ریسک‌ها در سه دسته اصلی فنی، مالی و محیطی بررسی شده‌اند.

5-1- ریسک‌های فنی

ریسک‌های فنی مرتبط با طراحی، نصب، بهره‌برداری و نگهداری تجهیزات شامل موارد زیر هستند:

- **خرابی تجهیزات کلیدی:** شامل پنل‌های خورشیدی، اینورترها، ترانسفورماتور، کابل‌ها، تابلوهای برق و تجهیزات حفاظتی. خرابی یا نقص هر یک از این اجزا می‌تواند منجر به توقف تولید یا کاهش بازدهی طولانی‌مدت شود.
- **کاهش بازدهی پنل‌ها:** به دلیل افزایش دما، گرد و غبار، آلودگی سطحی، سایه‌اندازی، رسوب روی پنل‌ها، و یا سایر تغییرات اقلیمی.
- **خطاهای طراحی و نصب:** شامل زاویه نصب نامناسب، سیم‌کشی غیراستاندارد، اشتباه در سیستم زمین و حفاظتی که می‌تواند ایمنی و طول عمر تجهیزات را کاهش دهد.
- **عدم دقت در تعمیر و نگهداری تجهیزات:** می‌تواند باعث افزایش استهلاک و کاهش عمر مفید تجهیزات شود.

5-2- ریسک‌های مالی

ریسک‌های مالی نیروگاه شامل عوامل اقتصادی و بازار انرژی هستند که بر سرمایه‌گذاری و بازدهی پروژه اثرگذارند:

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه Doc. No: PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 86 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی	Rev. 02

- **نوسانات قیمت تجهیزات و ارز:** تغییرات مداوم نرخ ارز و تغییر قیمت جهانی پنل‌ها، اینورترها و سایر تجهیزات و همچنین محدودیت‌های تامین و یا واردات برندهای مختلف می‌تواند هزینه‌های اولیه¹ را افزایش دهد.
- **تغییرات قیمت فروش برق و عرضه/تقاضا:** افزایش عرضه برق در تابلو سبز و کاهش تقاضا می‌تواند منجر به کاهش درآمد پروژه شود.
- **ریسک‌های قراردادی:** شامل تاخیر در پرداخت‌ها، تغییر شرایط قرارداد فروش برق، فسخ یا محدودیت‌های قانونی که بر بازده مالی اثر می‌گذارد.

5-3- ریسک‌های محیطی

ریسک‌های محیطی مرتبط با شرایط طبیعی، اقلیمی و اجتماعی-محیطی هستند از جمله:

- **شرایط جوی نامساعد:** طوفان، گرد و غبار، بارش شدید، ابری شدن طولانی و تابش غیرمستقیم خورشید که می‌تواند تولید انرژی را کاهش دهد.
- **اثرات زیست محیطی:** تجمع گرد و غبار، رسوبات و افزایش دما در اطراف پنل‌ها که می‌تواند بازده را تحت تأثیر قرار دهد.
- **شرایط اقلیمی غیرمنتظره:** وقوع پدیده‌هایی همچون طوفان شن، بارش‌های غیرعادی یا افزایش دمای بیش از حد.
- **پذیرش اجتماعی:** مخالفت احتمالی جوامع محلی یا بروز نارضایتی به دلیل تصرف یا تغییر کاربری آن.
- **ریسک‌های سیاسی:** احتمال بروز تنش‌های نظامی یا جنگ در منطقه که می‌تواند امنیت سرمایه‌گذاری و اجرای پروژه را تحت تأثیر قرار دهد و یا در صورت گسترش درگیری به صورت مستقیم به تجهیزات نیروگاه آسیب وارد کند.

شکل 5-1، خلاصه از ریسک‌های مرتبط با پروژه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه را نشان می‌دهد.

¹ CAPEX

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 87 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02



شکل 5-1: جمع‌بندی ریسک‌های موجود در احداث نیروگاه خورشیدی

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 88 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

فصل ششم:

جمع بندی

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 89 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

6- جمع بندی

در این گزارش، جزئیات مختلفی از طرح احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه ارائه گردید که خلاصه این موارد در جدول 1-6 بیان شده است.

جدول 1-6: مشخصات کلی طرح نیروگاه 15 مگاواتی بشرویه

15 مگاوات	توان نیروگاه
شهرستان بشرویه/ استان خراسان جنوبی	محل احداث
1405/08/29 (پیوست شماره 4)	اعتبار پروانه احداث
اخذ شده (پیوست شماره 5)	وضعیت مجوز زیست محیطی
اخذ شده (پیوست شماره 6)	وضعیت مجوز امور اراضی
اخذ شده (پیوست شماره 7)	وضعیت مجوز اتصال به شبکه
712,477	انرژی تولیدی نیروگاه در طول 25 سال بهره برداری (مگاوات ساعت)
30,640	میزان انرژی تولید سالیانه (سال اول)(مگاوات ساعت)
تابلو بورس سبز	مدل قراردادی پیشنهادی جهت خرید و فروش انرژی نیروگاه
24,390 تن	حداقل میزان صرفه جویی در انتشار کربن دی اکسید در سال اول بهره برداری
5.457	هزینه تقریبی احداث نیروگاه (میلیون دلار)
1.147	هزینه احداث خط، پست و توسعه شبکه بالادست (میلیون دلار)
6.604	مجموع هزینه های سرمایه گذاری (میلیون دلار)
99.060	مجموع هزینه های سالیانه (میلیون دلار)
از طریق اتصال به شینه 20 kV پست 132/20kV بشرویه	نحوه اتصال به شبکه
Risen Solar - 720 W	پنل خورشیدی انتخابی
Huawei - 330 kW	اینورتر خورشیدی انتخابی
20,852	تعداد پنل ها
51	تعداد اینورترها
3	تعداد MV Station
پلات پلن نیروگاه (پیوست شماره 8)	سایت پلن
ثابت با تیلت 28 درجه	سازه
عمودی	نوع چیدمان
32.33	مقدار LCOE (\$/Mwh)
19.72%	مقدار IRR
حدود 57.24 ماه	مقدار دوره بازگشت سرمایه
3.32	مقدار NPV در طول 25 سال (میلیون دلار)

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 90 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

نکته: شایان ذکر است مقادیر انرژی برآوردی در نرم افزار PVsyst-8 مبتنی بر داده های اقلیمی پایگاه جهانی Meteonorm و مفروضات طراحی است؛ بنابراین تولید واقعی نیروگاه ممکن است تحت تأثیر شرایط اقلیمی واقعی، کیفیت تجهیزات و نحوه بهره برداری با مقادیر شبیه سازی شده تفاوت داشته باشد.

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 91 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

پیوست‌ها

	قرارداد خدمات مهندسی مطالعات و طراحی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی بشرویه		
	Doc. No:	PNP-PKSP-ENPM-REP-001	
Page: 92 of 92	Document Title: گزارش مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی		Rev. 02

7- لیست پیوست‌ها

جدول 7-1: لیست پیوست‌ها

پیوست شماره 1	کاتالوگ پنل
پیوست شماره 2	کاتالوگ اینورتر
پیوست شماره 3	گزارش PVSyst
پیوست شماره 4	پروانه احداث
پیوست شماره 5	مجوز زیست محیطی
پیوست شماره 6	مجوز امور اراضی
پیوست شماره 7	مجوز اتصال به شبکه
پیوست شماره 8	پلات پلن نیروگاه