



اسناد خدمات مهندسی طراحی پایه و تفضیلی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس

Doc. No:

2026.FER.EL.REP.010

Page: 1 of 91

Document Title:

گزارش مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی

Rev. 00

مطالعات امکان سنجی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس

شامل مطالعات اقتصادی و توجیه پذیری پروژه

00	17-05-2026	Issued For Information	S.EBRAHIMI	K.KHAZAEI	A.SAVEHEI
Rev.	Issue Date	Status	Prepared	Checked	Approved



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				
35	X				
36	X				
37	X				
38	X				
39	X				
40	X				
41	X				
42	X				
43	X				
44	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				
89	X				
90	X				
91	X				
92	X				
93	X				
94	X				
95					
96					
97					
98					
99					
100					



فهرست مطالب

5	مقدمه
7	1- ضرورت‌های جهانی و مبانی احداث نیروگاه خورشیدی
7	1-1- جهان در حال گذار به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر
10	1-2- ضرورت حرکت به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران
14	1-3- ویژگی‌های زمین مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی
17	1-4- دسترسی به زمین
19	1-5- شیب و جهت بهینه پنل‌ها
20	1-6- بررسی پتانسیل تابشی در شهرستان فردوس
22	1-7- بررسی میانگین حداقل و حداکثر دما
23	1-8- بررسی رطوبت نسبی در منطقه
23	1-8-1- تعریف رطوبت نسبی
24	1-8-2- میانگین رطوبت نسبی در شهرستان فردوس
24	1-9- بررسی بارش‌های سالیانه شهرستان فردوس
26	1-10- بررسی سرعت و جهت وزش باد در شهرستان فردوس
26	1-10-1- ویژگی و میانگین سرعت باد در فردوس
27	1-10-2- جهت وزش باد در شهرستان فردوس
29	1-11- فناوری مورد استفاده
29	1-11-1- پنل و اینورتر نیروگاه خورشیدی فردوس
30	1-11-2- پنل خورشیدی
31	1-11-3- اینورتر خورشیدی
31	1-11-4- استراکچر
32	1-12- نحوه اتصال به شبکه
33	1-13- برآورد انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی با استفاده از شبیه‌سازی در نرم افزار PVSYS
36	2- تحلیل اقتصادی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس
37	2-1- مفروضات اقتصادی
38	2-2- هزینه‌های سرمایه‌گذاری
38	2-2-1- هزینه احداث نیروگاه
38	2-2-1-2- هزینه اتصال به شبکه نیروگاه
39	2-3- هزینه‌های عملیاتی و نگهداری
39	2-3-1- هزینه‌های تعمیر و نگهداری دوره‌ای
39	2-3-2- هزینه‌های نیروی انسانی
39	2-4- درآمد نیروگاه خورشیدی
43	2-5- محاسبه شاخص‌های مالی و اقتصادی
48	3- ارزیابی جامع اثرات زیست محیطی نیروگاه خورشیدی فردوس



- 48 1-3- قوانین زیست محیطی مرتبط با طرح
- 48 2-3- موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی اجرای طرح بر روی نقشه قابلیت اراضی
- 49 3-3- محدوده اجرای طرح نسبت به منابع آبی
- 51 4-3- محدوده اجرای طرح نسبت به مناطق حفاظت شده
- 52 5-3- پیش‌بینی حجم پساب انسانی و روغن‌های مستعمل در دوران بهره‌برداری
- 52 1-5-3- برآورد فاضلاب انسانی طرح
- 53 2-5-3- برآورد حجم روغن‌های مستعمل تولیدی
- 54 6-3- پیش‌بینی مجموعه آثار و پیامدهای زیست محیطی طرح
- 54 1-6-3- اثرات مثبت زیست محیطی نیروگاه‌های فوتوولتائیک
- 61 2-6-3- اثرات منفی زیست محیطی نیروگاه‌های فوتوولتائیک و مدیریت آن
- 69 7-3- برنامه تمهیدات و پایش زیست محیطی
- 70 1-7-3- برنامه جامع مدیریت پسماند نیروگاه
- 73 2-7-3- جدول پایش زیست محیطی طرح
- 78 8-3- جمع‌بندی
- 80 4- برنامه اجرا و مدیریت نیروگاه پس از راه‌اندازی
- 80 1-4- برآورد نیروی انسانی مورد نیاز نیروگاه خورشیدی
- 82 2-4- برنامه نظافت و نگهداری پنل‌ها
- 83 3-4- سیستم مانیتورینگ و کنترل عملکرد
- 86 5- ریسک‌های احتمالی نیروگاه خورشیدی
- 86 1-5- ریسک‌های فنی
- 86 2-5- ریسک‌های مالی
- 87 3-5- ریسک‌های محیطی
- 88 4-5- چالش‌ها و موانع در پروژه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس
- 88 1-4-5- شرایط خاک و پایداری زمین
- 89 2-4-5- محدودیت‌های دسترسی به سایت
- 89 3-4-5- شرایط آب و هوایی منطقه
- 91 6- جمع‌بندی



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 فردوس 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 فردوس است.



اسناد خدمات مهندسی طراحی پایه و تفضیلی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس

Doc. No:

2026.FER.EL.REP.010

Page: 6 of 91

Document Title:

گزارش مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی

Rev. 00

فصل اول:

بخش فنی – محل احداث و آنالیز سایت



1- ضرورت‌های جهانی و مبانی احداث نیروگاه خورشیدی

جهان امروز در حالی به سمت تحولی اساسی در صنعت انرژی حرکت می‌کند که تغییرات اقلیمی و بحران‌های زیست محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، انگیزه‌ای قوی برای گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر بوجود آورده است. در این مسیر، اغلب کشورها بطور فزاینده‌ای در حال سرمایه‌گذاری 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 گزینه‌ای قابل اعتماد و بلندمدت در تأمین نیازهای انرژی مطرح می‌شوند. این تحولات در سطح جهانی باعث شده است که سیاست‌گذاران و مدیران صنایع انرژی در پی یافتن راه‌کارهایی برای سازگاری با این روند و کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی باشند.

در این میان، برخی کشورها توانسته‌اند با بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر به میزان چشمگیری از مشکلات زیست‌محیطی کاسته و زیرساخت‌های انرژی خود را به سمت آینده‌ای پایدار سوق دهند. در عین حال، ساختار شبکه‌های برق در بسیاری از کشورها در حال تحول است و به سمت انعطاف‌پذیری، هوشمندسازی و بهره‌برداری بهینه از منابع بادی و خورشیدی پیش می‌رود.

در چنین شرایطی، کشورهایی که به منابع غنی انرژی دسترسی دارند، به ویژه در مناطقی با شرایط مناسب برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، نیازمند توجه ویژه به این تحولات جهانی و استفاده از پتانسیل‌های بومی خود برای توسعه شبکه‌های انرژی هستند. این تحولات نه تنها به تأمین برق پایدار کمک می‌کند 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 انرژی‌های تجدیدپذیر

مطابق با آنچه که در شکل 1-1 نشان داده شده است، ظرفیت جهانی انرژی‌های 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 انرژی‌های پایدار و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و سیاست‌های جهانی برای مقابله با تغییرات اقلیمی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد.

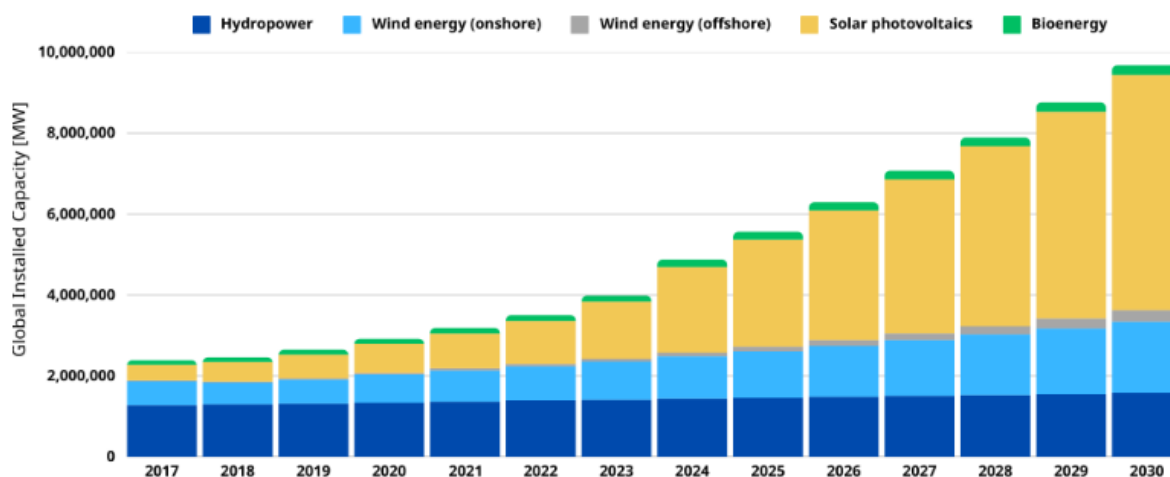
با در نظر گرفتن توضیحات ارائه شده، انرژی خورشیدی سریع‌ترین رشد را در میان تمام فناوری‌ها تجربه کرده و از سال 2015 به بعد جهش چشمگیری داشته است. این روند ناشی از کاهش هزینه تولید پنل‌های خورشیدی و ورود فناوری‌های بهتر با کارایی بیشتر بوده است. انرژی بادی نیز در جایگاه دوم رشد ظرفیت قرار دارد و سهم قابل توجهی از رشد جهانی را به خود اختصاص داده است. انرژی برق‌آبی همچنان بزرگ‌ترین سهم را در ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر دارد اما رشد آن

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.

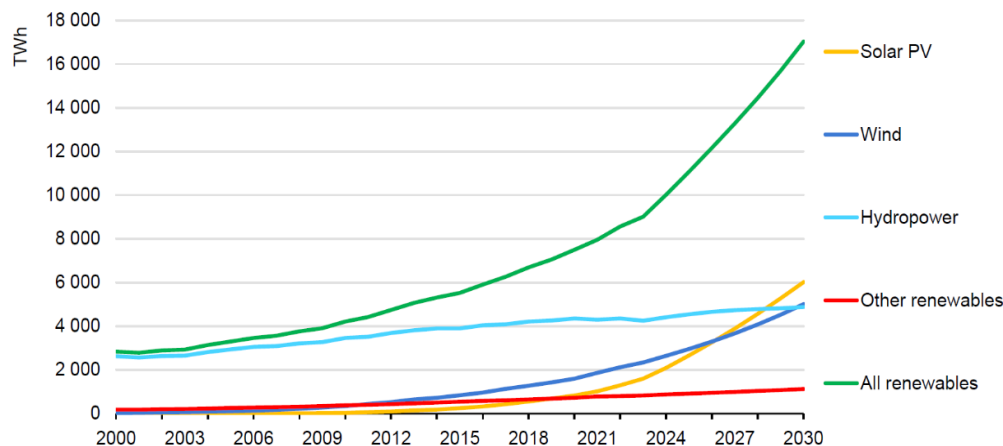
از سوی دیگر، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق جهانی در حال رشد بوده و مطابق با آنچه در شکل 1-2 نشان داده شده است، پیش‌بینی می‌شود تا سال 2030، بیش از 16000 تراوات ساعت برق تجدیدپذیر تولید شود. این میزان به این معناست که نزدیک به 66 درصد برق مصرفی در جهان قرار است توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین شود.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

Renewable Energy Capacity Growth

2017-2025 Installed Capacity and 2026-2030 IEA Forecast

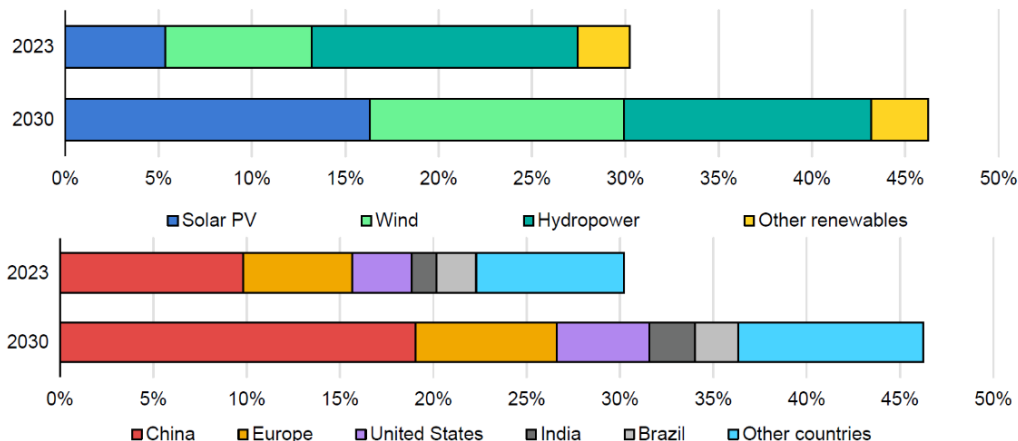


شکل 1-1: روند تحول ظرفیت برق تجدیدپذیر در سطح جهان از سال 2017 تا 2030



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.



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 روز آفتابی در سال، پتانسیل بالایی برای توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر و تولید 90,000 مگاوات برق از منابع تجدیدپذیر

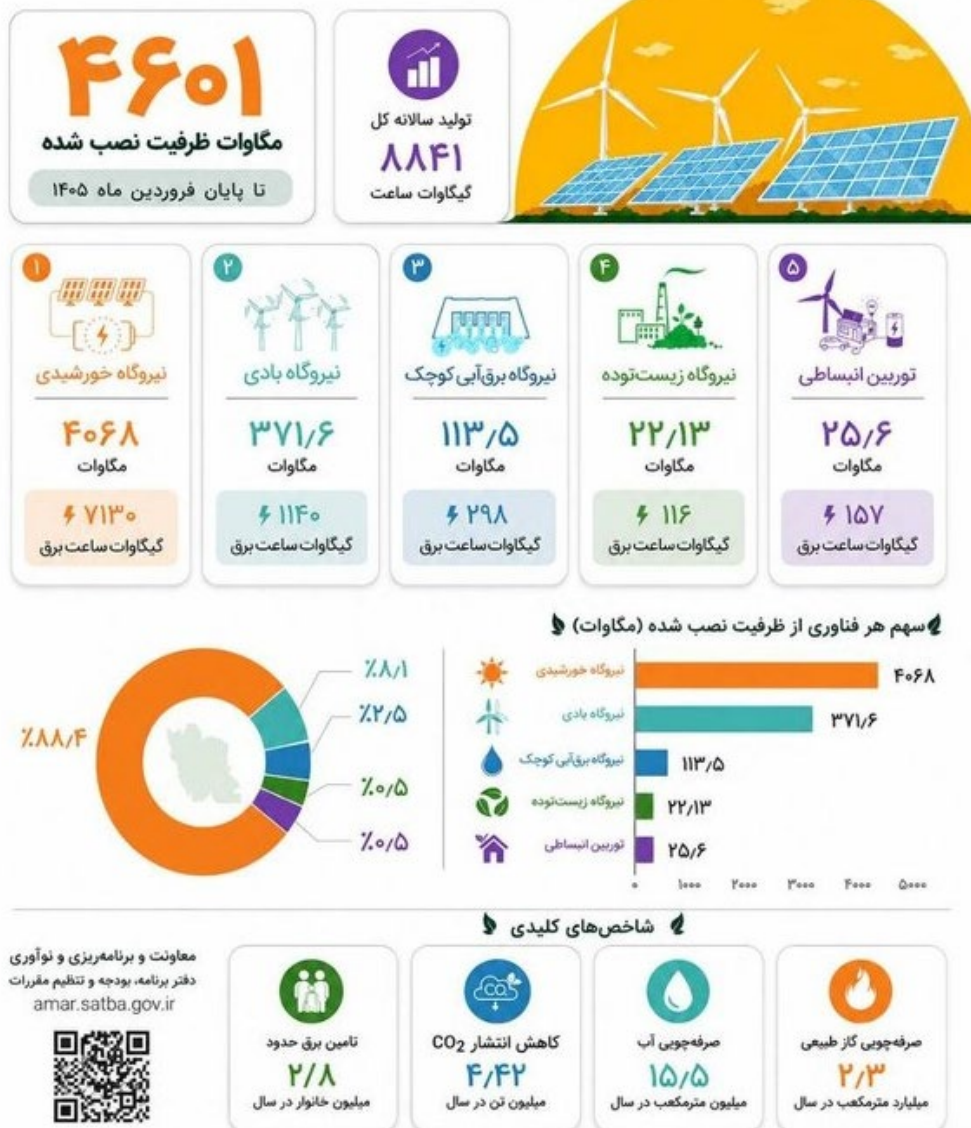


دارد، سهم انرژی خورشیدی و بادی در تولید برق کشور کمتر از 2 درصد است. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و پراکندگی شهرها و روستاها در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد چرا که یکی از بهترین راه‌های برق‌رسانی و تولید انرژی در مقایسه با دیگر مدل‌های انتقال 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 کرمان، قزوین، خراسان جنوبی، اصفهان و خراسان رضوی هستند. در شکل 1-5 نیز مقایسه‌ای میان انواع نیروگاه‌های تجدیدپذیر در ایران صورت گرفته است. در این شکل، رنگ زرد ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی در ایران را نشان می‌دهد که مطابق نمودار، روند رو به رشد چشمگیری در زمینه افزایش سهم تولید این نیروگاه‌ها از سال 1394 تا 1403 در کشورمان رخ داده است.



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

ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر



شکل 1-5: میزان و سهم تولید نیروگاه‌های تجدیدپذیر در سال 1403



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 مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی

ردیف	معیارهای ارزیابی	محدودیت‌ها
1	حداقل شدت انرژی تابشی سالیانه	1800 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 مجتمع‌های صنعتی	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
6	نزدیکی به جاده‌ها	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
7	متوسط دمای محیط	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
8	نزدیکی به مناطق مسکونی بویژه ساختمان‌های بلندمرتبه	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
9	نزدیکی به سکونتگاه‌ها	مطابق با توضیحات ادامه گزارش
10	پوشش زمین	عاری از کوه، جنگل، آب، ساختمان، تالاب، دشت سیلابی ترجیحاً پوشش گیاهی کم و متوسط، بوته‌زارها، زمین‌های بایر، محل‌های دفن زباله بسته، زمین‌های معدنی متروکه.
11	مناطق حفاظت شده	پارک‌های ملی و منطقه‌ای، مناطق میراث فرهنگی، سایت‌های دیرینه شناسی و باستان شناسی
12	قنات‌های 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 می‌شود. بر این اساس و بر اساس برآوردهای صورت گرفته، برای اینکه سیستم‌های فتوولتائیک از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند، معمولاً به شدت انرژی تابشی به میزان حداقل 1800 کیلووات ساعت بر متر مربع در سال نیاز می‌باشد.
- دمای هوا بطور مستقیم بر عملکرد نیروگاه خورشیدی و دوره بهره‌برداری آن تأثیر می‌گذارد. پارامترهای الکتریکی هر سلول خورشیدی بطور مرسوم در شرایط آزمایش استاندارد (STC) تعیین می‌شود (شدت توان تابشی 1000 W/m² و دمای کار سلول خورشیدی 25 درجه سانتیگراد است) بنابراین، بدیهی است که کار در شرایط STC منجر به راندمان بیشتر نیروگاه‌های خورشیدی می‌شود. شایان ذکر است که علاوه بر دمای هوا، عوامل دیگر اقلیمی مانند میزان رطوبت و نیز شرایط بهره‌برداری از پنل‌های خورشیدی (مانند نظافت سطح پنل‌ها)، تأثیری مستقیم در میزان راندمان یک نیروگاه خورشیدی دارند.



- یکی از مهمترین مسائل که هزینه قابل توجهی در احداث نیروگاههای خورشیدی را ایجاد می کند، نزدیکی محل احداث نیروگاه به شبکه برق می باشد. 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 می دهد که سایت های نیروگاه های خورشیدی نزدیک تر به مناطق با تقاضای برق بالا مطلوب تر هستند زیرا مسافت انتقال انرژی به حداقل رسیده و هزینه های مربوط به تلفات خط و انتقال توان را کاهش می دهد.
- از آنجاییکه ساخت جاده گران است، انتخاب مکان های نزدیکتر به جاده های موجود هزینه پروژه را به میزان قابل توجهی کاهش داده و از سویی دیگر می تواند اثرات زیست محیطی مرتبط با ساخت جاده های جدید را به حداقل برساند. لازم به ذکر است که زمین های بالقوه مناسب باید دارای جاده هایی به عرض حدودی بیش از 4 متر برای نگهداری مناسب از مزرعه خورشیدی باشند.
- خانه های چند طبقه یا هرگونه اجسام بلند مانند درختان یا کوه ها ممکن است مانع از رسیدن نور خورشید به مزرعه خورشیدی در ساعات خاصی از روز شوند. این عامل بطور مستقیم بر عملکرد نیروگاه های خورشیدی تأثیر می گذارد. بنابراین، مناسب است که مزارع خورشیدی دور از این نوع عوارض، قرار گیرند.
- برخی مطالعات نزدیک بودن پروژه ها به مناطق شهری با تقاضای بالای برق را مطلوب می دانند، در حالیکه برخی دیگر، نزدیک بودن بیش از حد به مناطق مسکونی را نامطلوب می دانند. در واقع دلایل اصلی این نگرانی، افزایش پتانسیل مخالفت عمومی و احتمال ممانعت از رشد شهری است. علاوه بر این، فاصله مناسب از سایت های صنعتی نیز بسیار مهم است. زیرا بسیاری از سایت ها دارای آلودگی هستند که باعث کاهش راندمان نیروگاه های خورشیدی می شود.
- 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 می تواند 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 می شود 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 نیروگاه های خورشیدی، پیشنهاد نمی گردند.



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. به منظور ارائه نمایی دقیق و مستند از محل مورد نظر، شکل 1-6 تصویر زمین محل احداث نیروگاه خورشیدی را نمایش می دهد. این تصاویر به درک بهتر شرایط محیطی و موقعیت مکانی سایت کمک می کنند. با توجه به معیارهای ذکر شده در بخش قبل، زمین در نظر گرفته شده به منظور احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس که 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 1-7 نشان داده شده است:

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

A: 581253.79E , 335632.31N	B: 581241.69E , 335632.31N
B: 58136.15E , 335621.50N	A: 581254.48E , 33569.00N



شکل 1-6: نمای نزدیک از محل احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس



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

- زمین در نظر گرفته شده واقع در حومه از توابع شهرستان فردوس و در استان خراسان جنوبی واقع شده است.
- این زمین در حدود 21 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؛
- نزدیک‌ترین شهرستان به محل احداث نیروگاه خورشیدی، فردوس می‌باشد که در فاصله 5 کیلومتری از آن قرار دارد.
- فاصله محل احداث نیروگاه تا شهرستان خراسان جنوبی بعنوان مرکز استان خراسان جنوبی در حدود 195 کیلومتر می‌باشد.
- بررسی نقشه‌های شبکه انتقال و فوق توزیع نشان می‌دهد که چندین پست فشار قوی و فوق توزیع در اطراف محدوده نیروگاه خورشیدی فردوس قرار دارند. از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به پست 400 کیلوولت فردوس و همچنین پست‌های 132/20 کیلوولت اشاره نمود. مختصات جغرافیایی پست‌های مذکور در جدول 1-3، ارائه شده است.

جدول 1-3: پست‌های برق در محدوده محل احداث نیروگاه فردوس

نام پست	سطح ولتاژ (kV)	ZONE
پست 400/132/20 کیلوولت فردوس	400	40 S
پست 132/20 کیلوولت فردوس	132	

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

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

ردیف	مراکز پیرامونی	فاصله حدودی (km)	جهت
1	شهرستان فردوس	5.5	جنوب



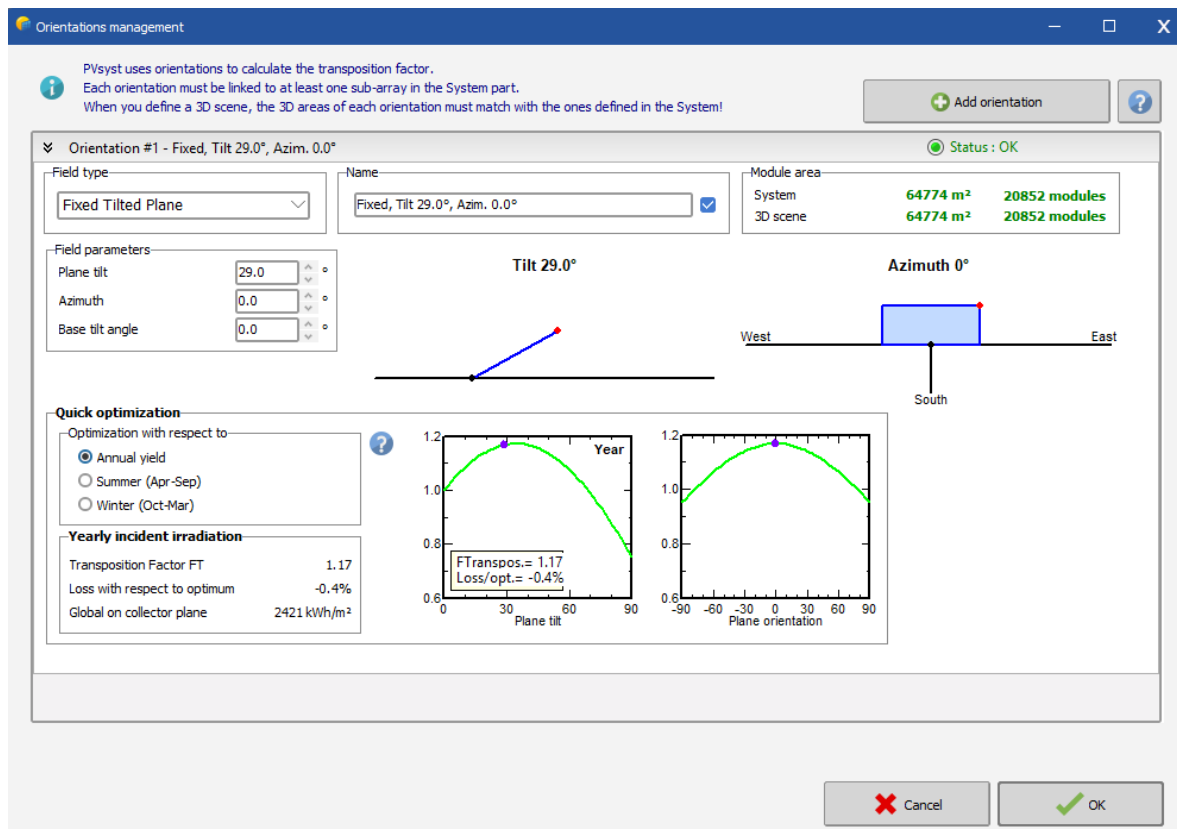
1-5- شیب و جهت بهینه پنل‌ها

با توجه به اینکه ایران در نیمکره شمالی کره زمین واقع شده است، جهت‌گیری بهینه پنل‌های خورشیدی برای بیشینه‌سازی دریافت تابش خورشیدی در راستای جنوب جغرافیایی قرار دارد؛ بنابراین در طراحی نیروگاه‌های خورشیدی، پنل‌ها به گونه‌ای نصب می‌شوند که زاویه آزیموث آن‌ها حدود 180 درجه (رو به جنوب) باشد. این انتخاب سبب می‌شود پنل‌ها در طول سال بیشترین میزان تابش خورشیدی مستقیم را دریافت کرده و در نتیجه بازده انرژی تولیدی نیروگاه در شرایط واقعی بهره‌برداری به حداکثر برسد.

زاویه بهینه نصب پنل‌های خورشیدی معمولاً برابر با عرض جغرافیایی یا کمی کمتر از آن در نظر گرفته می‌شود. در زمین پیشنهادی احداث نیروگاه، عرض جغرافیایی حدود 32/12 درجه است، بنابراین زاویه بهینه نصب پنل‌ها برای این منطقه نباید از حدود 32 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 پنل‌ها می‌باشد. با توجه به شرایط زمین پروژه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس، فاصله بین ردیف‌ها پس از طراحی و انجام محاسبات، معادل 10 متر تعیین شده است تا ضمن استفاده بهینه از زمین، از سایه‌افکنی بین ردیف‌ها جلوگیری گردد.

برای تعیین زاویه نصب مناسب‌تر، شبیه‌سازی‌هایی با نرم‌افزار PVsyst برای این نیروگاه انجام شد؛ در این شبیه‌سازی‌ها زاویه نصب پنل‌ها در بازه ۲۷ تا ۳۲ 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، سایه‌افکنی بین ردیف‌ها به شکل قابل توجهی کاهش می‌یابد؛ بنابراین زاویه 29 درجه بعنوان زاویه مطلوب نصب پنل‌ها انتخاب شد. همچنین زاویه نصب پایین‌تر پنل‌ها از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه تر است.

شکل 1-7، تلفات سالیانه نیروگاه در زاویه 29 درجه را نشان می‌دهد که مقدار ناچیزی می‌باشد.



شکل 1-7: تلفات سالیانه نیروگاه در زاویه 29 درجه در نرم افزار PVsyst

1-6- بررسی پتانسیل تابشی در شهرستان فردوس

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



جدول 1-5: اطلاعات تابشی سالانه شهرستان فردوس

Map Data		
Specific Photovoltaic Power Output	PVOUT	2161 kWh/kWp
Direct Normal Irradiation	DNI	2058 kWh/m ²
Global Horizontal Irradiation	GHI	2073.6 kWh/m ²
Diffuse Horizontal Irradiation	DIF	521.92 kWh/m ²
Air Temperature	TEMP	16.66 °C
Terrain Elevation	ELE	1400 m

- **PVOUT**: نشان دهنده‌ی این است که یک سیستم خورشیدی به ازای هر کیلووات ظرفیت نصب شده (kWp)، چقدر انرژی تولید می‌کند.

- **DNI**: فقط 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.

- **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

- **ELE**: ارتفاع از سطح دریا در محل احداث نیروگاه

شهرستان فردوس با میانگین بیش از 300 روز آفتابی در سال (مطابق با نرمال اقلیمی کل کشور) و میزان تابش سالانه با شدت حدود 2000 kWh/m² تا 2100 (GHI) و DNI حدود 2000 kWh/m²، یکی از نقاط مستعد برای توسعه نیروگاه خورشیدی در استان محسوب می‌شود.

مطابق شکل 1-7، نقشه توان ویژه خروجی (PVOUT) در این منطقه، عددی در حدود 2161 kWh/kWp را نشان می‌دهد که برای ارتفاع 1400 متری بسیار مناسب است.



با توجه به بررسی‌های اقلیمی و داده‌های شکل 1-8، فصول بهار و تابستان (میانه اردیبهشت تا پایان شهریور)، شدت تابش خورشیدی به اوج خود می‌رسد و تولید انرژی در اوج قرار دارد. در مقابل، در فصول پاییز و زمستان هرچند تابش کاهش می‌یابد، اما PVOUT همچنان در حدی باقی می‌ماند که بهره‌وری اقتصادی نیروگاه را تأمین می‌کند به ویژه با توجه به کاهش مصرف زمستانه و افزایش ضریب صرفه‌جویی انرژی.

با در نظر گرفتن جدول 1-5 و شکل 1-8 مقدار PVOUT در شهرستان فردوس در حدود 2000 kWh/kWp تا 2161 در سال به ازای هر کیلووات پنل خورشیدی نصب‌شده است که بازدهی مطلوبی به شمار می‌رود. در مقایسه:

در این راستا، عدد 2161 kWh/kWp برای ناحیه‌ای در ارتفاع 1400 متری، یک بازده بسیار مناسب و قابل قبول برای احداث نیروگاه خورشیدی به شمار می‌رود. همچنین، این بازده نشان‌دهنده عملکرد اقتصادی قابل قبولی در همه فصول سال، به ویژه بهار و تابستان است.

با توجه به داده‌های تابشی منطقه، مقدار تابش خورشیدی کل روی سطح GHI در بازه‌ای بین 2000 تا 2073 کیلووات ساعت بر مترمربع در سال برآورد شده است. این مقدار نشان‌دهنده پتانسیل مناسب خورشیدی در منطقه بوده و آن را در رده‌ی مناطق با تابش بسیار مناسب در سطح کشور و حتی در مقیاس بین‌المللی قرار می‌دهد. چنین سطحی از تابش، زمینه‌ساز دستیابی به مقادیر بالای تولید سالانه انرژی الکتریکی PVOUT در محدوده‌ی 2000 تا 2161 کیلووات ساعت به ازای هر کیلووات ظرفیت نصب شده در سال می‌باشد. 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.

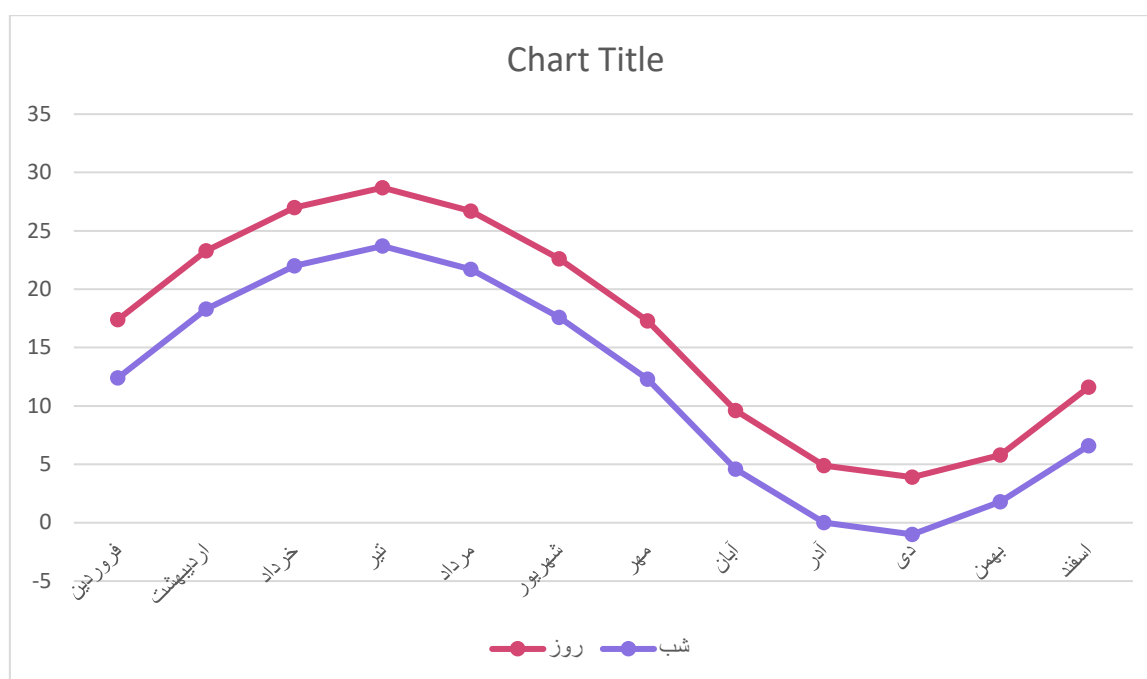
1-7- بررسی میانگین حداقل و حداکثر دما

در این بخش، داده‌های مربوط به حداقل و حداکثر دما و تأثیرات آن بر نیروگاه خورشیدی در شهرستان فردوس بررسی می‌شود. میانگین دمای سالانه در این شهرستان حدود 16 درجه سانتی‌گراد برآورد می‌گردد که نشان‌دهنده اقلیمی گرم و خشک است. این شرایط اگرچه از نظر تابش خورشیدی بسیار مناسب و پرپتانسیل است، اما به دلیل دمای بالای محیط، مدیریت حرارتی پنل‌ها برای جلوگیری از کاهش راندمان ضرورت دارد. در شکل 1-9 نمودار میانگین حداقل و حداکثر دما در شهرستان فردوس نشان داده شده است.

شهرستان فردوس با اقلیم گرم و خشک، دارای تابستان‌هایی نسبتاً گرم با دماهای بالا معمولاً در بازه 23 تا 29 درجه سانتی‌گراد و شب‌هایی نسبتاً معتدل حدود 20 تا 25 درجه سانتی‌گراد است. در زمستان، دما به طور قابل توجهی کاهش

یافته و در برخی شب‌ها ممکن است به حدود 3 تا 4 درجه سانتی‌گراد نیز برسد. چنین نوساناتی می‌تواند بر عملکرد پنل‌های خورشیدی تأثیر مستقیم داشته و موجب تغییر بازده آن‌ها شود؛ بنابراین استفاده از راهکارهای خنک‌سازی و طراحی مناسب سازه‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد.

در فصول بهار و پاییز، شرایط دمایی متعادل‌تر بوده و دماهای متوسط روزانه امکان عملکرد بهینه پنل‌ها را فراهم می‌سازد.



شکل 1-9: نمودار میانگین حداقل و حداکثر دما در شهرستان فردوس

در تابستان، دما بطور معمول به حدود 29 درجه می‌رسد که می‌تواند عملکرد پنل‌های خورشیدی را کاهش دهد. همانگونه که گفته شد، پنل‌های خورشیدی با افزایش دما دچار افت راندمان می‌شوند. هرچه دمای محیط بالاتر رود، توان خروجی پنل‌ها کاهش می‌یابد. از این‌رو، انتخاب پنل‌هایی با ضریب دمای پایین‌تر توصیه می‌شود.

8-1- بررسی رطوبت نسبی در منطقه

رطوبت نسبی یکی از عوامل محیطی مؤثر بر عملکرد نیروگاه‌های خورشیدی است. این پارامتر می‌تواند بر میزان تابش خورشیدی دریافتی، بازدهی پنل‌ها و همچنین طول عمر تجهیزات تأثیرگذار باشد.

1-8-1- تعریف رطوبت نسبی



درصد بخار آب موجود در هوا نسبت به حداکثر ظرفیت بخار آب که هوا در آن دما می‌تواند نگه دارد. در نیروگاه‌های خورشیدی، رطوبت نسبی نقش‌های زیر را ایفا می‌کند:

- ✓ کاهش شفافیت هوا و ایجاد پراکندگی در تابش خورشیدی.
- ✓ ایجاد شرایط برای تشکیل شبنم یا مه روی پنل‌ها که می‌تواند عملکرد پنل‌ها را تحت تأثیر قرار دهد.
- ✓ افزایش احتمال خوردگی قطعات فلزی و پنل‌ها.

1-8-2- میانگین رطوبت نسبی در شهرستان فردوس

- ✓ شهرستان فردوس به دلیل قرارگیری در اقلیم بیابانی و خشک استان خراسان جنوبی، به طور کلی دارای رطوبت نسبی پایین است.
- ✓ میانگین سالانه رطوبت نسبی در این شهرستان معمولاً در بازه ۲۵٪ تا ۳۰٪ قرار دارد.
- در ماه‌های مختلف سال، نوساناتی در رطوبت نسبی دیده می‌شود:
- ✓ تابستان (تیر و مرداد): میانگین رطوبت نسبی به حدود ۱۵٪ تا ۲۰٪ کاهش می‌یابد، به دلیل گرمای زیاد و خشکی هوا.
- ✓ زمستان (دی و بهمن): با سرد شدن هوا، رطوبت نسبی به حدود ۳۵٪ تا ۴۰٪ می‌رسد. البته این مقدار نیز در مقایسه با مناطق مرطوب، همچنان پایین است.

• نوسانات روزانه رطوبت نسبی

- ✓ ساعات شب و صبح زود: به دلیل افت دما، رطوبت نسبی افزایش یافته و می‌تواند به حدود ۴۰٪ تا ۵۰٪ برسد. در برخی شب‌های زمستان احتمال تشکیل شبنم وجود دارد.
- ✓ ظهر و بعدازظهر: با افزایش دما و کاهش رطوبت، مقادیر به حدود ۱۵٪ تا ۲۰٪ کاهش پیدا می‌کند که مشخصه بارز اقلیم بیابانی است.

1-9- بررسی بارش‌های سالیانه شهرستان فردوس

در شهرستان فردوس واقع در استان خراسان جنوبی، میانگین بارش سالانه در حدود ۱۴۸ میلی‌متر برآورد می‌شود که این مقدار، شهرستان را در زمره مناطق فوق‌العاده خشک قرار می‌دهد. بارندگی در این منطقه عمدتاً به صورت بارش‌های

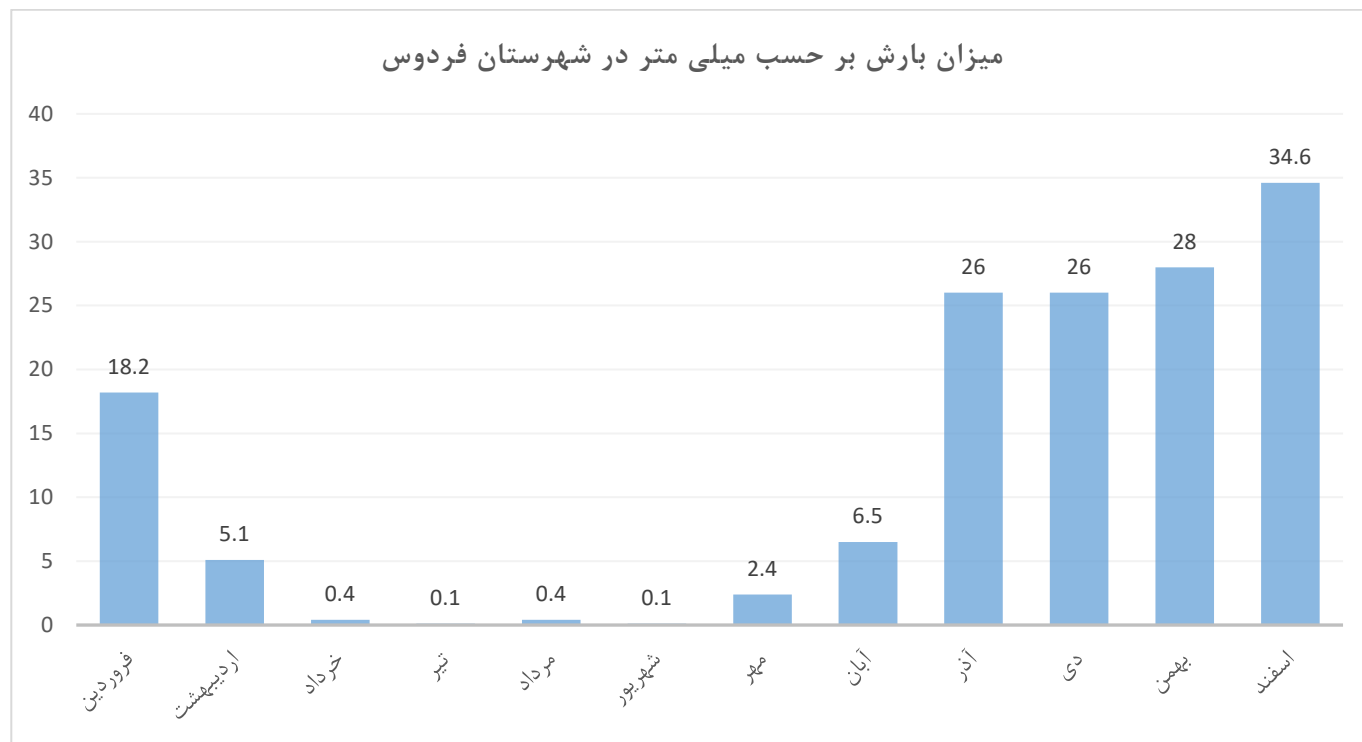


کوتاه مدت و پراکنده در فصل زمستان و گاهی اوایل بهار رخ می دهد. دوره ی مرطوب کوتاه بوده و معمولاً از دی ماه تا اسفند ادامه دارد؛ با این حال تعداد روزهای بارانی محدود و میزان بارش در هر نوبت نیز ناچیز است.

بیشترین میزان بارش ماهانه معمولاً در ماه های فوریه و مارس (بهمن و اسفند) ثبت می شود که به طور میانگین کمتر از 34 میلی متر در چند روز محدود است. در مقابل، از اواسط بهار تا اوایل پاییز (تقریباً خرداد تا مهر) شرایط خشک حاکم است و در ماه های ژولای، آگوست و سپتامبر (تیر تا شهریور) تقریباً هیچ بارشی ثبت نمی شود.

از منظر طراحی نیروگاه، خشکی طولانی مدت و بارندگی ناچیز اگرچه تهدیدی برای منابع آب و کشاورزی محسوب می شود، اما برای صنعت خورشیدی یک مزیت عمده به شمار می رود. نبود ابرهای متراکم و بارندگی های مستمر باعث می شود که تعداد ساعات آفتابی سالانه در فردوس بسیار بالا بوده و راندمان نیروگاه های فتوولتائیک افزایش یابد.

به طور عددی، دوره ی بدون بارش مؤثر در فردوس بیش از 7 ماه از سال ادامه دارد که در این بازه تابش خورشیدی به حداکثر رسیده و شرایط مناسبی برای بهره برداری از نیروگاه های خورشیدی فراهم می آورد. شکل 1-10 نمودار تغییرات بارندگی در ماه های مختلف شهرستان فردوس را نشان می دهد.



شکل 1-10: میزان بارش در شهرستان فردوس



10-1- بررسی سرعت و جهت وزش باد در شهرستان فردوس

سرعت و جهت وزش باد از عوامل محیطی مهمی هستند که باید در طراحی، بهره‌برداری و نگهداری نیروگاه‌های خورشیدی در نظر گرفته شوند. این عوامل می‌توانند تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی بر بازدهی نیروگاه و همچنین دوام و پایداری سازه‌ها و تجهیزات داشته باشند.

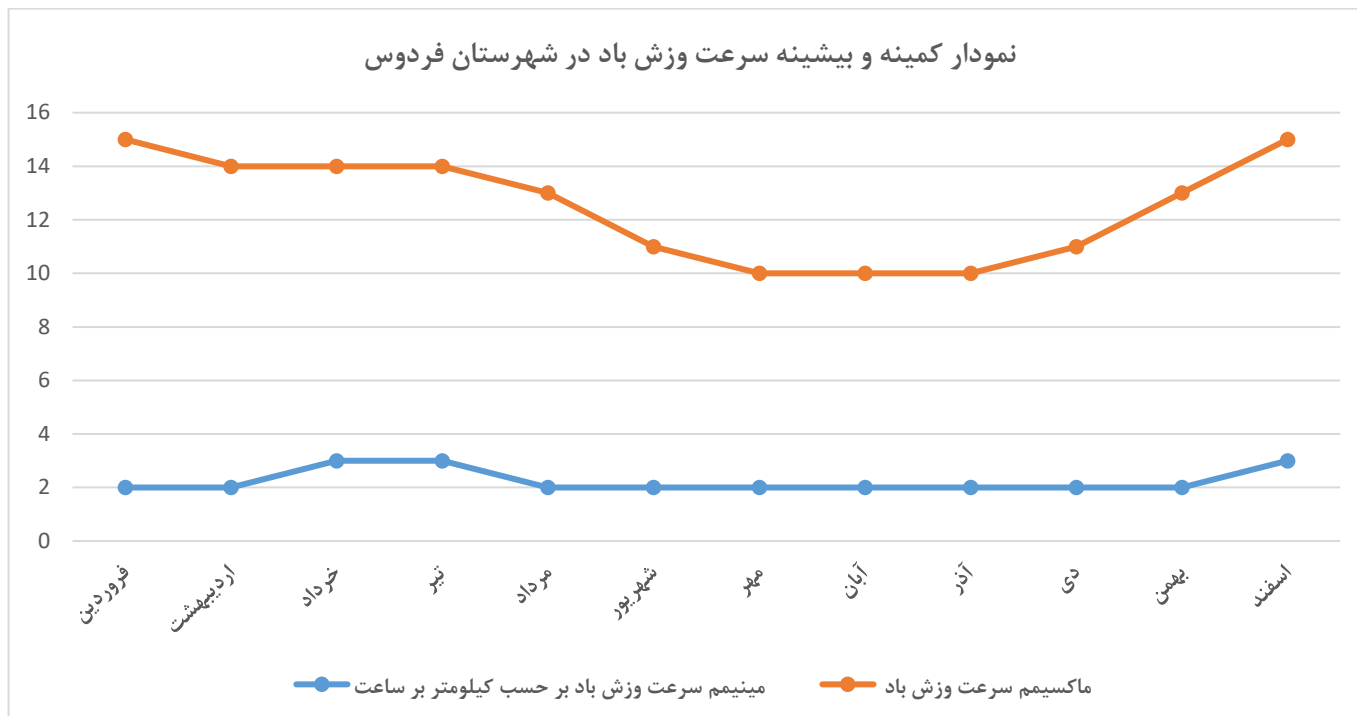
10-1-1- ویژگی و میانگین سرعت باد در فردوس

فردوس، واقع در مرکز استان خراسان جنوبی و فلات ایران، در اقلیمی بیابانی و خشک قرار دارد. الگوی وزش باد در این منطقه تحت تأثیر اختلاف دمای شدید روز و شب، توپوگرافی بیابانی و فشارهای جوی منطقه‌ای شکل می‌گیرد. وزش باد در فردوس عمدتاً از دو دسته منبع پدید می‌آید:

- ✓ بادهای محلی و روزانه که ناشی از اختلاف دما بین سطح دشت‌های گرم و ارتفاعات اطراف است. این بادهای اغلب در ساعات گرم روز شدت بیشتری می‌یابند و در ساعات شب کاهش می‌یابند.
- ✓ بادهای منطقه‌ای و فصلی که شامل جریان‌های شمال‌شرقی و شرقی در تابستان (مانند بادهای 120 روزه سیستان که گاه اثرات آن تا خراسان جنوبی نیز می‌رسد) و همچنین بادهای غربی در فصل‌های سردتر سال است.

یکی از ویژگی‌های مهم اقلیم فردوس، وقوع بادهای نسبتاً شدید در بهار و تابستان است که گاه با گرد و غبار همراه بوده و می‌تواند بر کارایی پنل‌های خورشیدی تأثیر بگذارد. بر اساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه، میانگین سرعت باد در فردوس حدود 2 تا 15 کیلومتر بر ساعت متغیر است، در حالی که در برخی روزهای خاص به ویژه در تابستان، سرعت باد می‌تواند به بیش از 40 کیلومتر بر ساعت نیز برسد. جهت غالب باد در این شهرستان معمولاً از سمت شمال‌شرقی و شرقی است، هرچند در فصول سرد، تغییراتی به سمت جریان‌های غربی و شمال‌غربی مشاهده می‌شود.

در شکل 11-1 نمودار بیشینه و کمینه سرعت باد در محل احداث نیروگاه در شهرستان فردوس نشان داده شده است.



شکل 1-11: نمودار ماکزیمم و مینیم سرعت باد در شهرستان فردوس

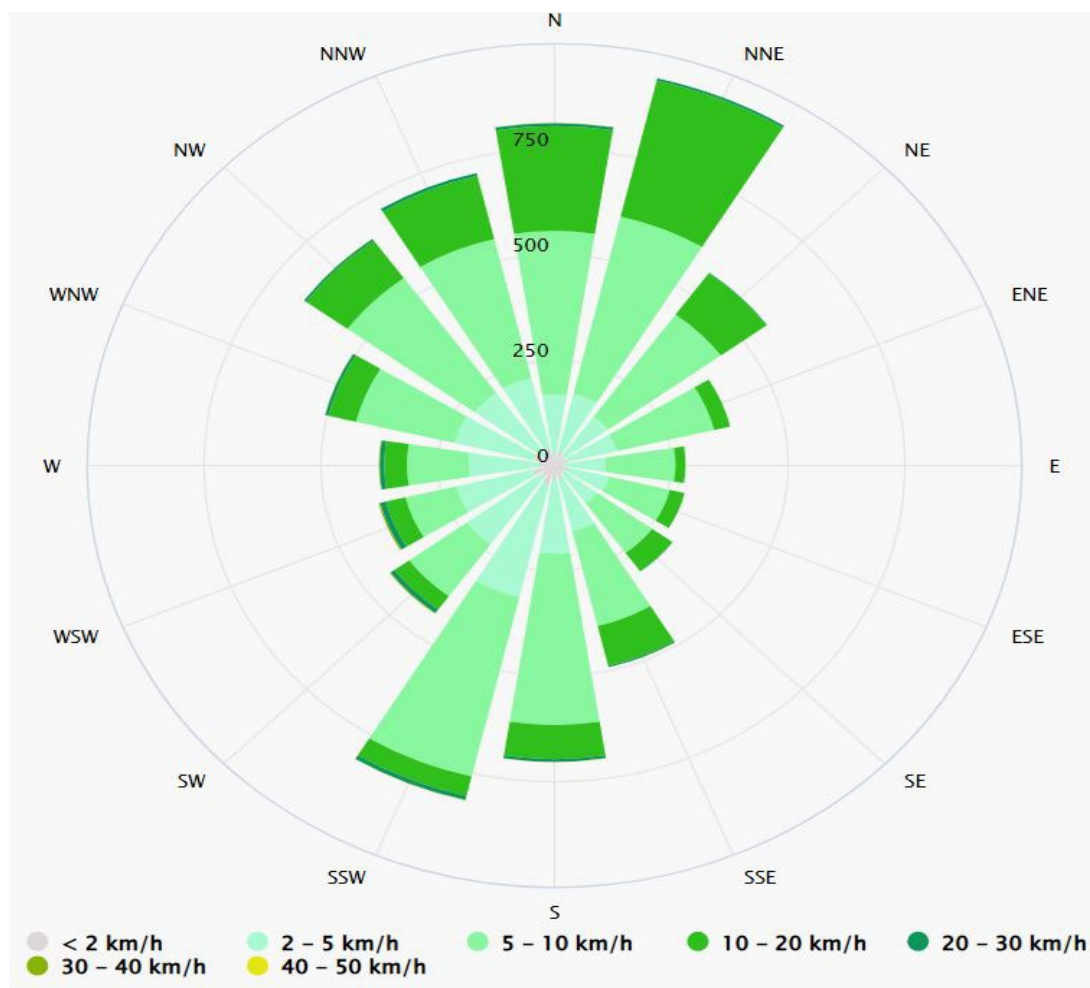
10-2- جهت وزش باد در شهرستان فردوس

در شکل 12-1 نمودار گلباد شهرستان فردوس براساس جهت و سرعت آن آورده شده است. نمودار گلباد (Wind Rose) برای نمایش توزیع جهت و سرعت باد در یک بازه زمانی مشخص (معمولاً ماهانه یا سالانه) است. در این نمودار:

- ✓ شاخه‌ها جهت‌های اصلی و فرعی وزش باد را نشان می‌دهند (مانند شمال، جنوب غرب، شرق و ...).
- ✓ طول هر شاخه بیانگر فراوانی یا درصد زمانی وزش باد از آن جهت است.
- ✓ معمولاً رنگ‌ها یا بخش‌بندی شاخه‌ها نشان‌دهنده محدوده سرعت باد در آن جهت هستند.

این نمودار کمک می‌کند جهت غالب وزش باد، شدت آن و الگوی تغییرات فصلی مشخص شود و در طراحی نیروگاه‌های خورشیدی یا بادی برای تعیین آرایش سازه‌ها و پیش‌بینی اثرات گردوغبار کاربرد زیادی دارد.

بادهای غالب در فردوس معمولاً به سمت شمال، شمال شرق و جنوب غرب می‌وزند. این جهت تحت تأثیر شرایط جوی منطقه و جهت‌گیری توپوگرافی است.



شکل 1-12: نمودار گلباد در شهرستان فردوس

منطقه فردوس با توجه به سرعت باد متوسط و جهت غالب مشخص، شرایط مناسبی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی دارد. وزش بادهای معتدل در طول سال می‌تواند به خنک‌سازی طبیعی پنل‌ها و افزایش بهره‌وری سیستم کمک کند. با این حال، وزش بادهای شدید به ویژه در بهار و تابستان می‌تواند بر سازه‌ها و تجهیزات تأثیر منفی داشته باشد؛ بنابراین طراحی سازه‌های مقاوم در برابر باد، مانیتورینگ شرایط باد و نگهداری منظم تجهیزات اهمیت ویژه‌ای دارد. این بررسی محیطی و اقلیمی می‌تواند به طراحی بهینه و اجرای موفق نیروگاه‌های خورشیدی در فردوس کمک کرده و بهره‌وری طولانی‌مدت سیستم را تضمین کند.

**11-1- فناوری مورد استفاده**

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: جمع‌بندی برندهای برتر پنل خورشیدی

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

جدول 1-7: جمع‌بندی برندهای برتر اینورتر

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

11-1-1- پنل و اینورتر نیروگاه خورشیدی فردوس

با توجه به توضیحات ارائه شده و با در نظر گرفتن جلسات فنی برگزار شده، در حال حاضر پنل TrinaSolar و اینورتر Sungrow به عنوان تجهیزات اصلی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس انتخاب شده است که جزئیات آن‌ها در ادامه بیان شده است.



1-11-2- پنل خورشیدی

در این نیروگاه از پنل خورشیدی 720 وات N-type/ Bifacial/ Monocrystalline/ Topcon استفاده شده است که بازدهی در حدود 23.2٪ درصد دارد. این شرکت یکی از پنج تأمین کننده برتر پنل خورشیدی در جهان است. کاتالوگ این پنل در پیوست شماره 1، ارائه شده است.

1-11-2-1- تأثیر سطح پشتی¹ در پنل های بایفیشیال

پنل های بایفیشیال علاوه بر سطح جلویی² که به طور مستقیم تابش خورشید را دریافت می کند، 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 این فرمول،

- **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 TOPcon در حدود 70 تا 80 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.

¹ Rear Side

² Front Side



در این نسبت تاثیرگذار خواهند بود.

داده‌های تجربی نشان می‌دهند در شرایط بهینه شامل تابش مناسب، آلودگی بالا، ارتفاع مناسب سازه، فاصله مناسب بین ردیف‌ها و تاثیر Bifacial Gain بر بازده کلی پنل معمولاً از 5٪ فراتر نمی‌رود و معمولاً در اکثر ایام سال در بازه 2-5٪ قرار دارد.

1-11-3- اینورتر خورشیدی

در این نیروگاه از اینورتر خورشیدی 320 کیلووات ساخت شرکت Sungrow کشور چین استفاده شده است. کاتالوگ اینورتر به کار رفته در این طراحی در پیوست شماره 2، ارائه خواهد شد.

1-11-4- استراکچر

با توجه به هزینه‌های بالای سیستم‌های ردیاب خورشیدی و پیچیدگی‌های ناشی از بهره‌برداری و نگهداری آن‌ها، در اغلب پروژه‌های نیروگاه خورشیدی در ایران، استفاده از استراکچرهای ثابت به عنوان گزینه اصلی مد نظر قرار می‌گیرد. این نوع استراکچر ضمن کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های عملیاتی و نگهداری، از نظر پایداری مکانیکی و طول عمر نیز عملکرد مطمئن‌تری دارد. هرچند سیستم‌های ردیاب می‌توانند افزایش محدودی در انرژی تولیدی ایجاد کنند، اما تحلیل‌های اقتصادی نشان می‌دهد که استفاده از استراکچرهای ثابت در شرایط اقتصادی و اقلیمی ایران گزینه‌ای به صرفه‌تر و عملی‌تر است.

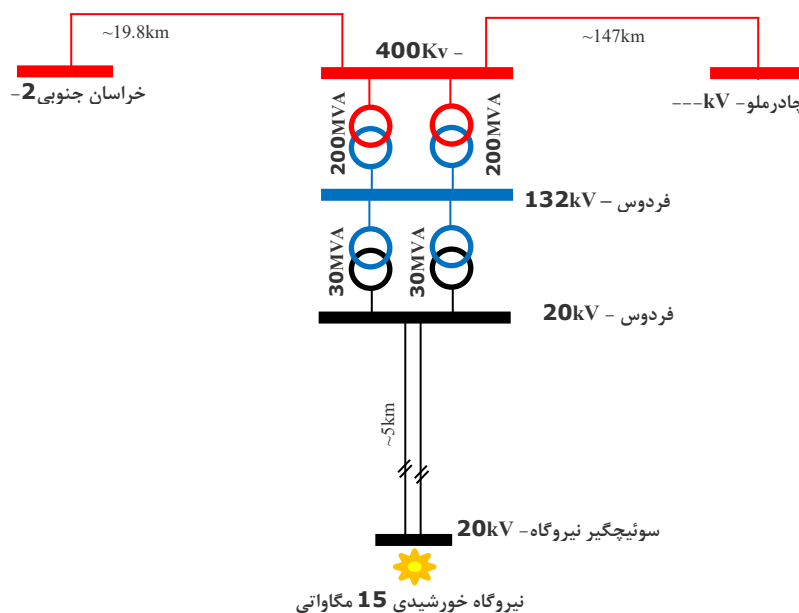
12-1- نحوه اتصال به شبکه

با توجه به موقعیت مکانی زمین محل احداث نیروگاه، پست برق 132/20 کیلوولت در پیرامون زمین محل احداث نیروگاه واقع شده است. بر این اساس و با توجه به موافقت نامه اولیه دریافتی از شرکت برق منطقه‌ای خراسان جنوبی، نیروگاه مذکور باید از طریق خط 20 کیلوولت به شینه 20 کیلوولت پست فردوس اتصال یابد که مطابق با این آلترناتیو که طرح کلی آن در شکل 1-13 نشان داده شده است، شرایط اولیه اتصال به شبکه به شرح ذیل می‌باشد:

✓ نیروگاه از طریق احداث دو خط 20 کیلوولت دومداره Heyna بطول تقریبی 5.5 کیلومتر بصورت شعاعی به شینه 20 کیلوولت پست فردوس 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 هادی‌ها در شرایط بهره‌برداری نرمال و تک‌اضطراری تعیین گردد که در این مطالعات دو هادی Heyna و Lynx پیشنهاد می‌شود که در نهایت هادی ایده‌آل با توجه به بند قبل شرایط اتصال به شبکه، هادی Heyna می‌باشد؛

✓ بدیهی است به منظور اتصال نیروگاه به پست مذکور، توسعه دو فیدر خط 20 کیلوولت در پست فردوس ضروری می‌باشد که با توجه به بازدید میدانی صورت گرفته، امکان انجام این طرح وجود دارد؛



شکل 12-1: دیاگرام تک خطی آلترناتیو پیشنهادی به منظور اتصال به شبکه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس



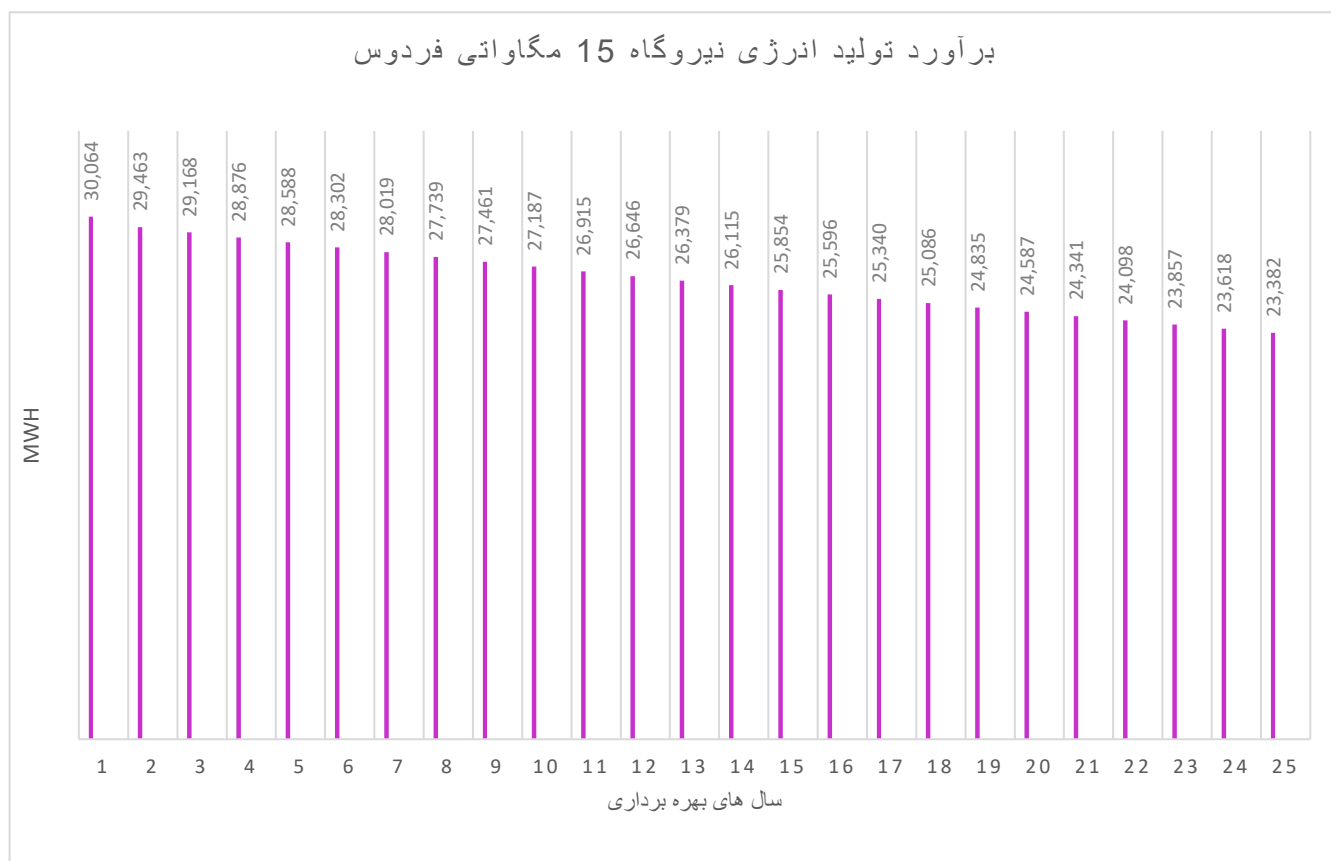
13-1- برآورد انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی با استفاده از شبیه‌سازی در نرم افزار PVsyst

در این بخش از گزارش و مطابق با مدل‌های در نظر گرفته شده برای پنل و اینورتر و نیز موقعیت جغرافیایی محل احداث طرح، نتایج مطالعات بدست آمده از نرم‌افزار PVsyst ارائه شده است. نتایج کامل شبیه‌سازی نیروگاه در نرم‌افزار PVsyst در پیوست شماره 3 ارائه شده است. مطابق با نتایج بدست آمده از این نرم‌افزار میزان انرژی تولیدی نیروگاه در سال اول بهره‌برداری مطابق با ذیل است:

30.064MWh = انرژی تولیدی نیروگاه 15 مگاواتی در سال اول

همچنین، با در نظر گرفتن خروجی نرم‌افزار PVsyst و توان تولیدی نیروگاه در سال اول بهره‌برداری و نیز با توجه به راندمان پنل‌های خورشیدی در نظر گرفته شده در پروژه، نمودار تولید سالیانه انرژی نیروگاه 15 مگاواتی فردوس در طول مدت زمان 20 سال بهره‌برداری، مطابق با شکل 13-1، خواهد بود. در این شکل، محور عمودی بیانگر میزان انرژی تولیدی نیروگاه بر حسب مگاوات ساعت بوده و محور افقی نیز بیانگر سال‌های بهره‌برداری از نیروگاه می‌باشد.

شکل 13-1: نمودار تولید سالیانه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس در طول 25 سال مدت بهره‌برداری





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 0/25، 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.



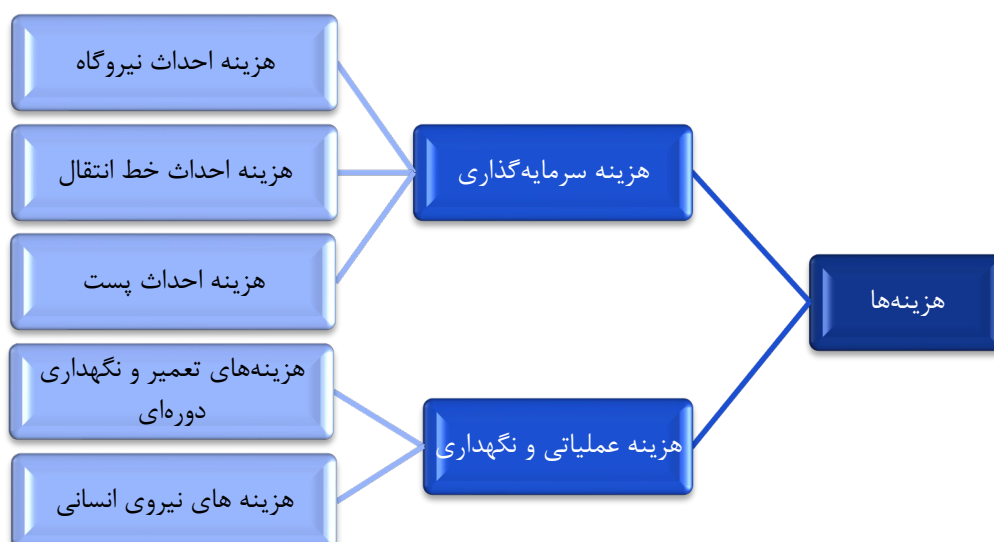
فصل دوم:

بخش مالی و اقتصادی – تحلیل هزینه‌ها و درآمدهای پروژه

2- تحلیل اقتصادی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس

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 نمای 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 Capital Expenditure

² Operation Expenditure

³ Internal Rate of Return

⁴ Net Present Value

⁵ Payback Period



2-1- 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، 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 2-1، مهم‌ترین مفروضات اقتصادی مورد استفاده در تحلیل‌های این گزارش را به‌صورت خلاصه ارائه می‌نماید:

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

ردیف	پارامتر اقتصادی	واحد	مقدار عددی
1	هزینه سرمایه‌گذاری (CAPEX)	دلار	6,430,000
2	هزینه عملیاتی و نگهداری سالیانه (OPEX)	دلار	96,000
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 تنزیل	درصد	12

لازم به ذکر است که در ادامه، توضیحات تفصیلی درباره هر یک از مفروضات ارائه خواهد شد.



2-2- هزینه‌های سرمایه‌گذاری

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

2-2-1- هزینه احداث نیروگاه

این بخش شامل هزینه‌های خرید و نصب تجهیزات نیروگاه از قبیل پنل‌های خورشیدی، اینورترها، سازه‌های نگهدارنده، کابل و تجهیزات جانبی است. هزینه‌های مطالعات اولیه، طراحی، مهندسی، نصب و اجرا نیز در این دسته قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که در این مطالعات، هزینه احداث هر مگاوات نیروگاه خورشیدی در حدود 330,000 دلار (بدون احتساب هزینه‌های خط انتقال، توسعه پست، مدیریت 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 بخش‌های دیگر که شامل مواردی از قبیل فعالیت‌های ساختمانی، تأمین کابل و تجهیزات جانبی نیروگاه و مهندسی می‌باشد، بصورت ریالی محاسبه شده است.

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

2-1-2- هزینه اتصال به شبکه نیروگاه

با توجه به موقعیت نیروگاه نسبت به شبکه برق پیرامونی و پست 132 کیلوولت فردوس، اتصال نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی مورد مطالعه در این پروژه از طریق احداث دو خط دو مداره 20 کیلوولت و اتصال این خط به پست 132 کیلوولت فردوس، صورت خواهد گرفت. بنابراین، هزینه اتصال به شبکه نیروگاه شامل مواردی از قبیل احداث خطی به طول تقریبی 5.5 کیلومتر و توسعه پست بالادست می‌باشد.

بنابراین، با توجه به توضیحات ارائه شده، هزینه‌های ثابت (CAPEX) احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس و توسعه شبکه بالادست، به شرح جدول 2-2، می‌باشد.

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

شرح حالت اتصال به شبکه	احداث نیروگاه (دلار)	احداث خط و توسعه شبکه بالادست (دلار)	مجموع (دلار)
احداث نیروگاه 15 مگاواتی و اتصال به شبکه سراسری	5,457,000	971,000	6,430,000



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، تمیزکاری، هزینه‌های مربوط به قطعات یدکی و جایگزینی تجهیزات معیوب می‌شود.

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 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، همچنین، 1 نفر نیز به عنوان نیروی فعال در زمینه بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری خط در نظر گرفته شده است.

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

هزینه تعمیر و نگهداری نیروگاه (دلار)	هزینه سالیانه نیروی کار انسانی (دلار)	هزینه سالیانه نیروی کار (دلار)	مجموع (دلار)
57,600	34,560	3,840	96,000

2-4 - درآمد نیروگاه خورشیدی

منابع درآمدی نیروگاه خورشیدی را می‌توان در دو چارچوب اصلی طبقه‌بندی 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 می‌کند. این ساز و کار اگرچه از نظر سرمایه‌گذار اطمینان و پایداری جریان نقدی را تضمین می‌نماید، اما نرخ فروش برق در این روش به طور معمول کمتر از قیمت‌های معاملاتی در بازار بورس انرژی است. دومین مسیر، فروش برق در تابلوی سبز بورس انرژی است که طی آن تولیدکننده می‌تواند برق تولیدی خود را مستقیماً به مصرف‌کنندگان عمده یا شرکت‌های متقاضی برق سبز



است عرضه نماید. این روش، علیرغم نوسانات قیمتی، به طور بالقوه امکان دستیابی به بازدهی بالاتر را فراهم می‌سازد چرا که قیمت برق در بازار رقابتی بورس انرژی غالباً بیش از نرخ خرید تضمینی تعیین می‌شود. جدول 2-4، نرخ‌های جدید خرید برق تضمینی از نیروگاه‌های خورشیدی را نشان می‌دهد.

جدول 2-4: هزینه‌های سالیانه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی (بر حسب دلار)

ردیف	ظرفیت نیروگاه	نرخ پایه خرید تضمینی (ریال بر کیلووات ساعت)
1	200 کیلووات و کمتر	58540
2	بین 200 کیلووات تا 1 مگاوات	46386
3	200 کیلووات و کمتر با ذخیره ساز	91169

از آنجا که انتخاب روش فروش برق، می‌بایست در زمان درخواست اخذ مجوز احداث نیروگاه خورشیدی تعیین شود و برای نیروگاه 15 مگاواتی فردوس، 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.

در ایران، مفهوم برق سبز که به برق تولید شده توسط منابع تجدیدپذیر گفته می‌شود، با راه‌اندازی تابلوی برق سبز در بورس انرژی به منظور اجرای اهداف ماده ۱۶ قانون جهش تولید دانش‌بنیان و تأمین برق صنایع با مصرف بالاتر از یک مگاوات، از ابتدای سال ۱۴۰۲ مطرح شد. تابلوی برق سبز و اولین معامله آن که از ابتدای خرداد ۱۴۰۲ صورت گرفت، با ورود انرژی‌های تجدیدپذیر به بورس انرژی، می‌تواند پاسخی به سه چالش مهم ناترازی برق، ناترازی گاز و ناترازی منابع مالی در بخش انرژی باشد. لازم به ذکر است نرخ خرید انرژی تولیدی نیروگاه‌ها در این بازار بر اساس شرایط فصلی تغییر می‌کند؛ این تغییر به نحوی است که در ماه‌های گرم سال (ماه‌های پیک بار شبکه برق) افزایش قابل توجهی نسبت به ماه‌های دیگر سال دارد به نحوی که متوسط قیمت معاملات در تیر ماه ۱۴۰۲، ۷۱,۶۸۴ 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 انرژی‌های تجدیدپذیر (ساتبا) اقدام به خرید تضمینی برق تولیدی نیروگاه‌های تجدیدپذیر با نرخ ۷۰ درصد مبلغ معامله انرژی سبز در بورس سبز انرژی می‌نماید. با توجه به اینکه قیمت برق در تابلوی سبز بورس انرژی برای نخستین بار در تیرماه ۱۴۰۲ ارائه شده است، این بازار همچنان در مراحل ابتدایی خود قرار دارد و الگوی قیمتی مشخص و پایداری در آن مشاهده نمی‌شود.

از طرفی دیگر، با توجه به شرایط اقتصادی کشور و تورم مستمر، پیش‌بینی قیمت برق بر حسب ریال با عدم قطعیت قابل توجهی همراه است و نوسانات قابل ملاحظه‌ای را تجربه می‌کند. از اینرو، به منظور ایجاد مبنایی پایداری برای تحلیل‌های



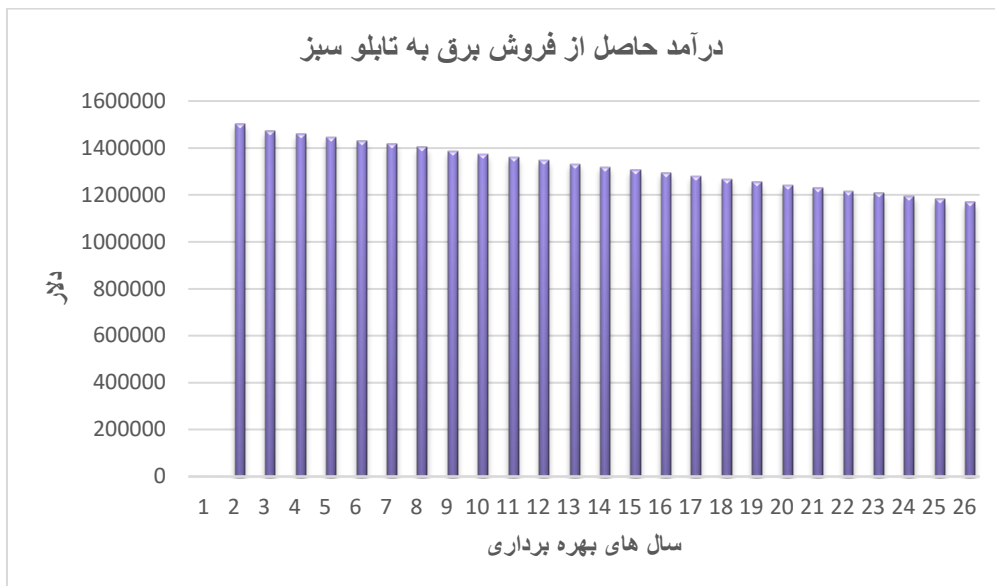
اقتصادی و مقایسه‌پذیری بهتر در این گزارش، قیمت برق در تابلوی سبز بورس انرژی بر حسب دلار ارائه شده و مبنای محاسبات قرار گرفته است.

با توجه به توضیحات ارائه شده و از آنجاکه بر اساس خروجی نرم‌افزار PVSyst، میزان انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس در سال اول بهره‌برداری از آن در حدود 30,064 MWh می‌باشد، میزان انرژی تولیدی نیروگاه در طول 25 سال بهره‌برداری از آن (با در نظر گرفتن تلفات سالیانه پنل‌های خورشیدی مورد استفاده در پروژه)، مبلغ متوسط فروش انرژی تولیدی نیروگاه‌های خورشیدی بر اساس تابلو سبز، میزان درآمد سالیانه نیروگاه، جریان نقدینگی و همچنین جریان نقدینگی تجمعی سالیانه نیروگاه بیان شده است. شایان ذکر است که نرخ خرید تضمینی انرژی بر اساس قیمت برق سبز در فصل بهار سال 1405 تعیین گردیده و معادل 75.514 ریال به ازای هر کیلووات‌ساعت در نظر گرفته شده است. این میزان با احتساب نرخ ارز آزاد معادل 170.000 تومان، به دلار تبدیل گردیده 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 حاصلضرب انرژی تولیدی سالیانه نیروگاه در قیمت فروش برق سبز بدست می‌آید و میزان انرژی تولیدی نیروگاه به دلیل افت راندمان پنل خورشیدی سالیانه حدود 0/3٪ کاهش می‌یابد 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.



جدول 2-5: درآمد سالیانه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی (بر حسب دلار)

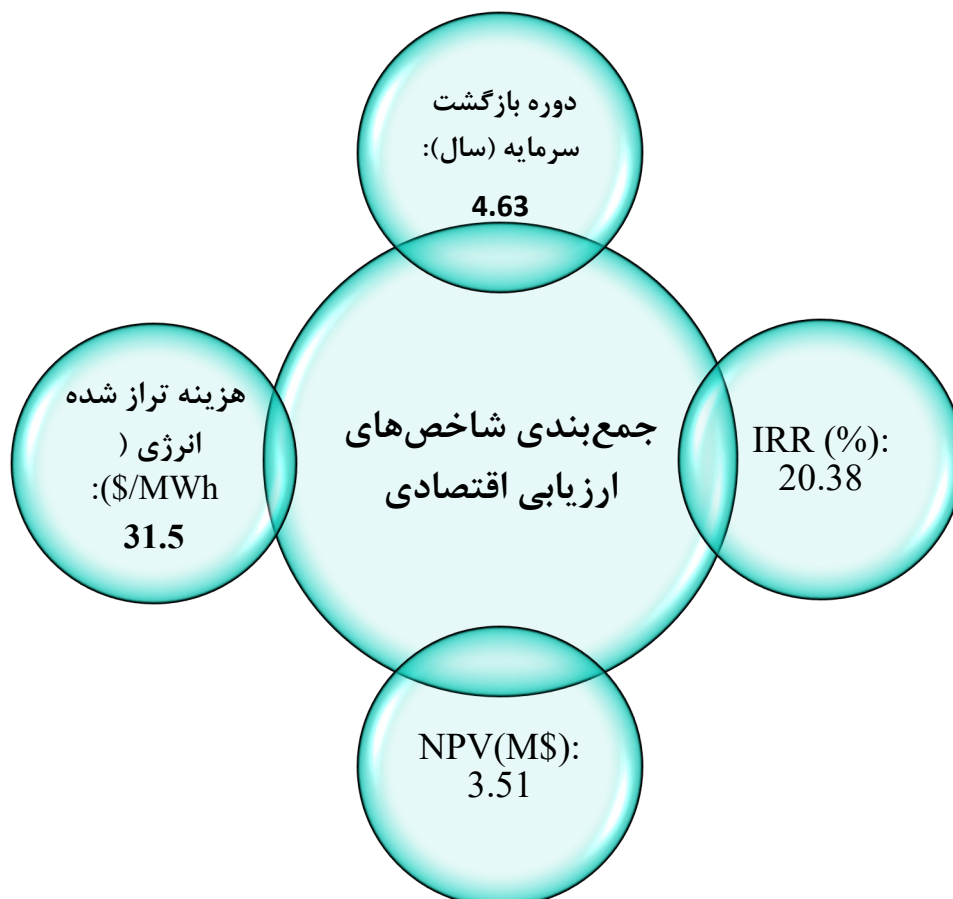
سال	میزان انرژی تولیدی منطقه در سال (MWh)	متوسط قیمت هر kWh انرژی در تابلو سبز (دلار)	درآمد حاصل از فروش برق به تابلو سبز (دلار)	جریان نقدی (دلار)	جریان نقدی تجمعی (دلار)
1405	0	0	0	0	-6430000
1406	30,064	0.05	1503200	1407200	-5022800
1407	29,463	0.05	1473150	1377150	-3645650
1408	29,168	0.05	1458400	1362400	-2283250
1409	28,876	0.05	1443800	1347800	-935450
1410	28,588	0.05	1429400	1333400	397950
1411	28,302	0.05	1415100	1319100	1717050
1412	28,019	0.05	1400950	1304950	3022000
1413	27,739	0.05	1386950	1290950	4312950
1414	27,461	0.05	1373050	1277050	5590000
1415	27,187	0.05	1359350	1263350	6853350
1416	26,915	0.05	1345750	1249750	8103100
1417	26,646	0.05	1332300	1236300	9339400
1418	26,379	0.05	1318950	1222950	10562350
1419	26,115	0.05	1305750	1209750	11772100
1420	25,854	0.05	1292700	1196700	12968800
1421	25,596	0.05	1279800	1183800	14152600
1422	25,340	0.05	1267000	1171000	15323600
1423	25,086	0.05	1254300	1158300	16481900
1424	24,835	0.05	1241750	1145750	17627650
1425	24,587	0.05	1229350	1133350	18761000
1426	24,341	0.05	1217050	1121050	19882050
1427	24,098	0.05	1204900	1108900	20990950
1428	23,857	0.05	1192850	1096850	22087800
1429	23,618	0.05	1180900	1084900	23172700
1430	23,382	0.05	1169100	1073100	24245800



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

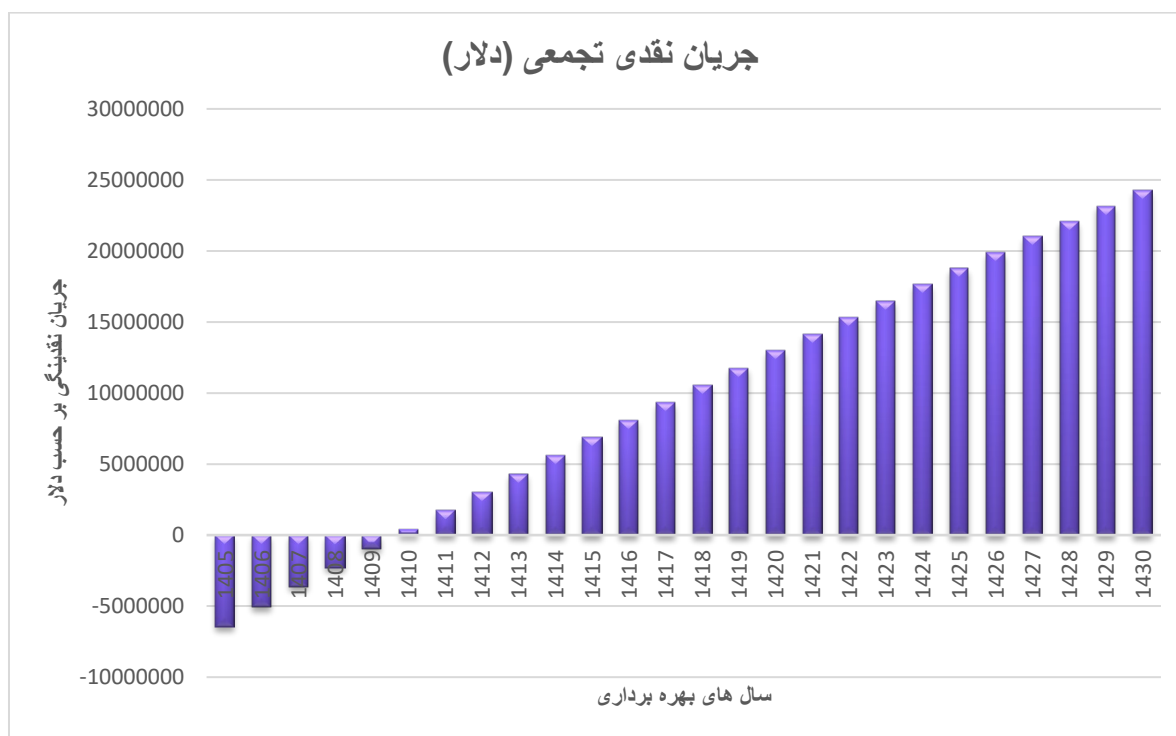
2-5- محاسبه شاخص های مالی و اقتصادی

در شکل 2-3، برخی از مهم ترین شاخص های اقتصادی برای نیروگاه 15 مگاواتی فردوس 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 4 سال از زمان احداث به دست آمده است که عددی معقول و منطقی است.



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

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 ماه های احداث و بهره برداری از نیروگاه می باشد. در این پروژه، جریان نقدی تجمعی در چهار سال اول به دلیل صرف هزینه های سرمایه گذاری (CAPEX) به طور طبیعی منفی است و از سال پنجم با آغاز بهره برداری، ورود جریان های نقدی مثبت شروع می شود. نقطه سر به سر پروژه در سال پنجم محقق می شود و از آن سال به بعد، جریان نقدی تجمعی وارد محدوده مثبت می شود. این الگو نشان می دهد که دوره بازگشت سرمایه در این پروژه، 4.63 سال از زمان آغاز سرمایه گذاری است. چنین بازه زمانی برای بازگشت سرمایه به طور نسبی کوتاه تلقی می شود و بیانگر جذابیت مالی پروژه است.



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



در همین راستا و بر اساس محاسبات اولیه صورت گرفته، میزان انرژی تولیدی نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس 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 صورتی که 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 فردوس در طول 25 سال دوره بهره‌برداری خود معادل 35,100 دلار برآورد می‌شود.

¹ Net Present Value (NPV)



فصل سوم:

بخش محیط زیستی – بررسی تاثیرات زیست محیطی پروژه



3- ارزیابی جامع اثرات زیست محیطی نیروگاه خورشیدی فردوس

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 فردوس 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 جلودگیری 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 جلودگیری از آلودگی صوتی	1373/03/13
12	آئین نامه اجرایی نحوه جلودگیری 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

3-2- موقعیت جغرافیایی محدوده 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 کم‌تراکم، 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 مناطقی کم‌چالش و کم‌تراکم 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 فردوس از منظر کاربری اراضی در قالب سه دسته‌ی مراتع کم‌تراکم، نیمه‌تراکم 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 کشاورزی و اراضی شهری و ... قرار نگرفته است.

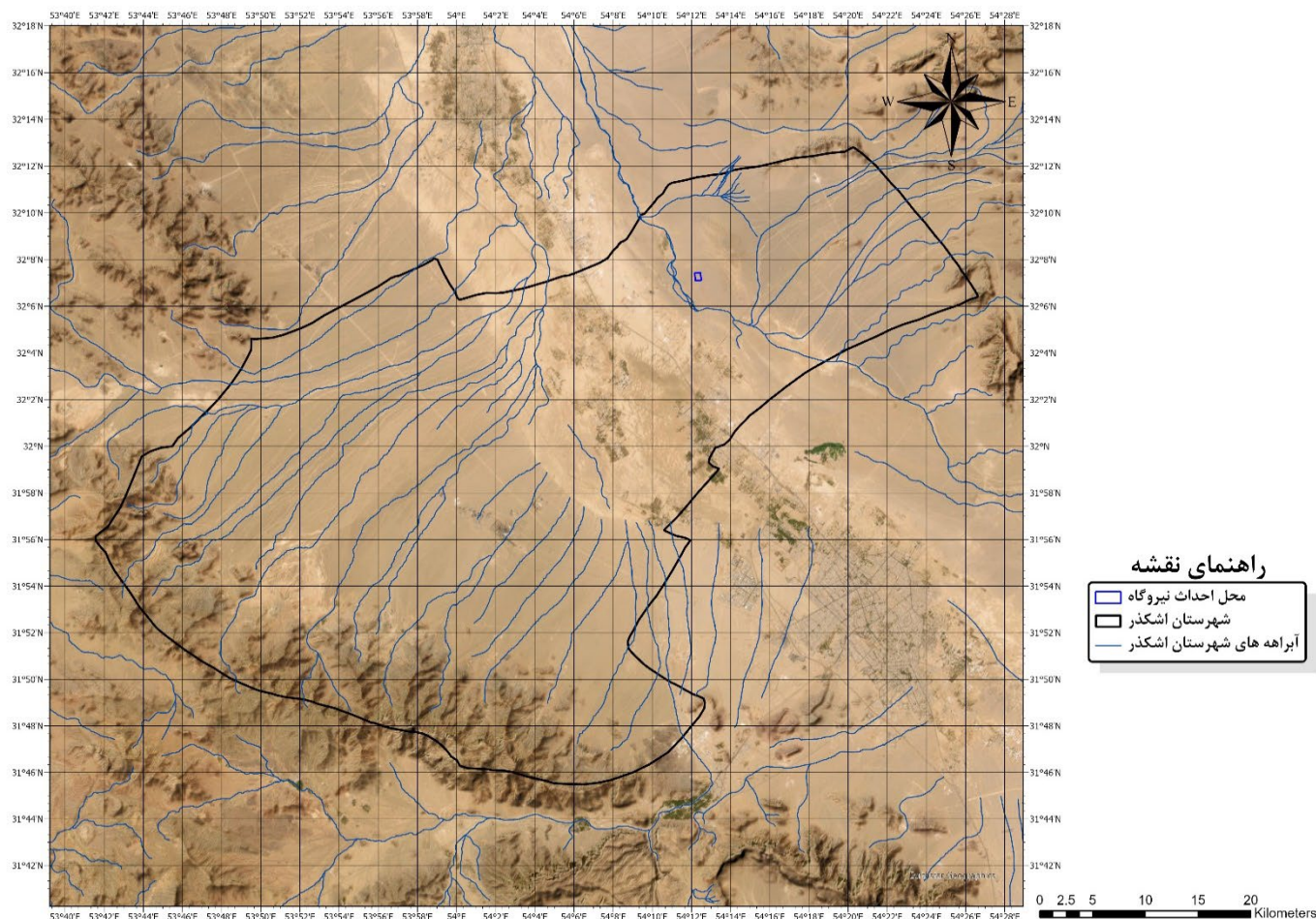


شکل 3-1: نقشه کاربری اراضی شهرستان فردوس

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 2-3 نقشه آبراهه‌های پیرامون محل احداث نیروگاه که با خطوط آبی رنگ و با استفاده از نرم افزار Arc Gis Pro استخراج شده، نشان داده شده است.



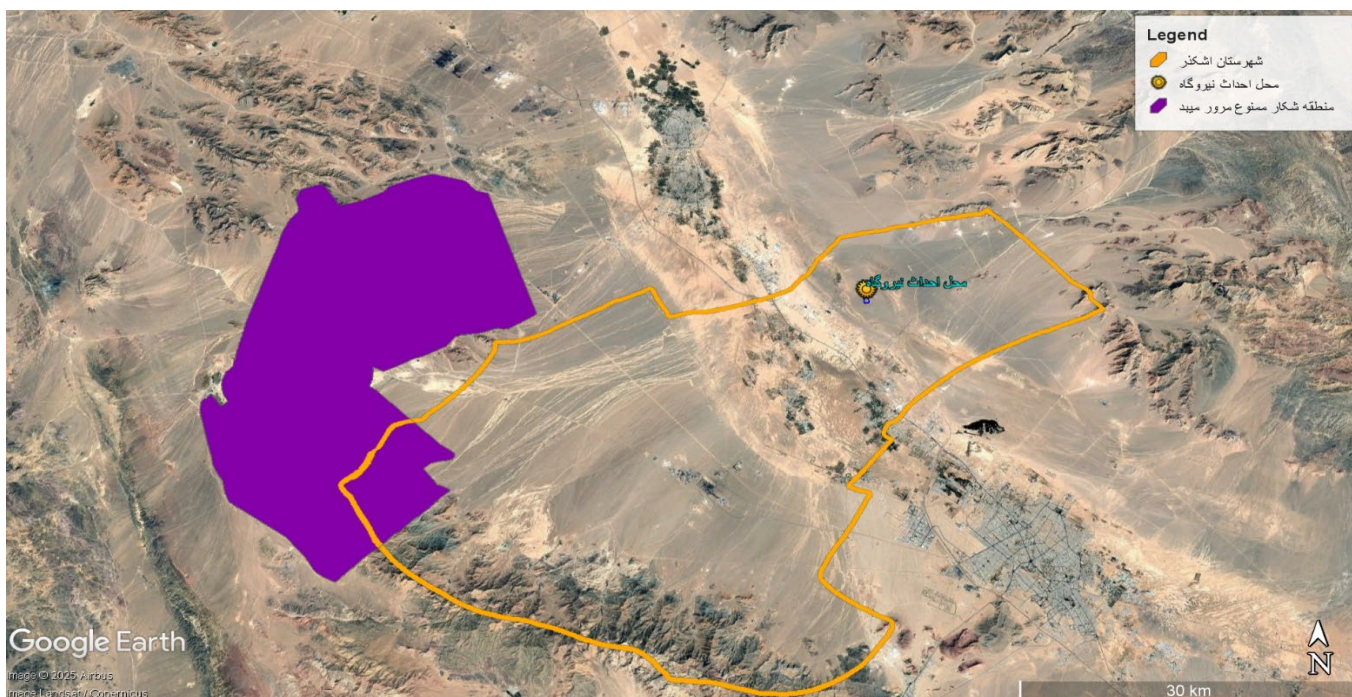
شکل 2-3: نقشه آبراهه‌های پیرامون محل احداث نیروگاه

	اسناد خدمات مهندسی طراحی پایه و تفضیلی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس	
Page: 51 of 91	Doc. No:	2026.FER.EL.REP.010
	Document Title:	
	گزارش مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی	
		Rev. 00

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 فردوس 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، منطقه شکار ممنوع مرور میبد در غرب شهرستان فردوس واقع شده است اما فاصله آن تا محل احداث نیروگاه خورشیدی حدود 32 کیلومتر است. این فاصله قابل توجه موجب می‌شود که فعالیت‌های پروژه تأثیر مستقیمی بر حیات وحش و اکوسیستم این منطقه نداشته باشد و نگرانی‌های زیست محیطی مرتبط با تداخل با مناطق حفاظت شده به حداقل برسد. علاوه بر این، فاصله مناسب با منطقه حفاظت شده باعث کاهش نیاز به مجوزهای ویژه محیط زیستی و تسهیل روند اجرایی پروژه می‌شود. بنابراین، موقعیت انتخاب شده برای نیروگاه از منظر حفاظت محیط زیست و توسعه پایدار انرژی‌های تجدیدپذیر مناسب ارزیابی می‌گردد.



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



3-5- پیش‌بینی حجم پساب انسانی و روغن‌های مستعمل در دوران بهره‌برداری

در مرحله بهره‌برداری از نیروگاه خورشیدی، هرچند ماهیت فعالیت آن آلاینده‌گی مستقیم و قابل توجهی در مقایسه با نیروگاه‌های حرارتی ندارد اما برخی جریان‌های جانبی مانند تولید پساب انسانی ناشی از حضور کارکنان در محل و همچنین روغن‌های مستعمل ناشی از تعمیر و نگهداری تجهیزات اجتناب‌ناپذیر است. برآورد حجم و کیفیت این جریان‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چرا که مدیریت صحیح آنها 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 روغن‌های مستعمل در طول دوره بهره‌برداری نیروگاه پیش‌بینی شده است.

3-5-1- برآورد فاضلاب انسانی طرح

در فاز بهره‌برداری نیروگاه نیازمند تیم فنی برای نگهداری و مدیریت عملکرد سیستم خواهد بود. در فرایند بهره‌برداری از نیروگاه 15 مگاواتی فردوس، برآورد می‌شود:

- با استقرار یک کانکس نگهبانی 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 با در نظر گرفتن سه شیفت کاری، 3 اپراتور جهت حضور در اتاق مانیتورینگ مورد نیاز خواهد بود.
- به منظور مدیریت موجودی قطعات یدکی و تجهیزات مصرفی نیروگاه و نیز به منظور تعمیر و نگهداری نیروگاه و با در نظر گرفتن سه شیفت کاری، 3 نفر نیرو مورد نیاز خواهد بود.
- به طور کلی دست کم 9 نیروی انسانی به طور 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.

باتوجه به تعداد پرسنل شاغل طی فاز بهره‌برداری پروژه حاضر و با در نظرگیری 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 به‌مراه عمده مشخصه کیفی و نحوه دفع در جدول 3-2 برآورد و ارائه گردیده است.



جدول 3-2: برآورد کمی و کیفی فاضلاب تولیدی طی فاز بهره‌برداری پروژه

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

3-5-2- برآورد حجم روغن‌های مستعمل تولیدی

در نیروگاه‌های خورشیدی، عمده‌ترین نوع روغن مصرفی در تجهیزات الکتریکی، روغن ترانسفورماتورها می‌باشد که وظیفه عایق‌سازی الکتریکی و خنک‌کنندگی داخل ترانس‌ها را برعهده دارد.

طی فاز احداث، نصب تعداد قابل توجهی ترانسفورماتور با ظرفیت‌های متنوع انجام می‌شود که هر ترانسفورماتور حاوی حجم مشخصی روغن عایقی است که بسته به طراحی و توان آن، متغیر است. همچنین در فرآیند نصب و راه‌اندازی ترانسفورماتورها، روغن عایقی تحت تست‌های دقیق و کنترل کیفیت قرار می‌گیرد. به دلیل دقت بالای فرایند نصب و وجود پروتکل‌های استاندارد، میزان روغن مستعمل ناشی از نشتی، تخلیه روغن‌های اولیه یا آزمون‌های عملکردی بسیار محدود است. اغلب این روغن‌ها پس از ارزیابی مجدد، بازیافت شده و به چرخه مصرف باز می‌گردند.

طی فاز بهره‌برداری، فعالیت‌های نگهداری پیشگیرانه و اصلاحی، از جمله پایش کیفیت روغن ترانسفورماتورها، تصفیه و تعویض جزئی یا کلی روغن انجام می‌شود. به دلیل طول عمر بالای روغن‌های عایقی و طراحی پایدار ترانسفورماتورها، تعویض کامل روغن تنها در فواصل زمانی طولانی صورت می‌پذیرد. به‌علاوه، برخلاف نیروگاه‌های حرارتی یا صنعتی که تجهیزات مکانیکی گسترده و روانکارهای متعددی دارند، نیروگاه خورشیدی به دلیل ساختار ثابت و فاقد بخش‌های مکانیکی پیچیده، نیاز به مصرف و تعویض روغن در سطوح پایین‌تری دارد.

حجم روغن مستعمل تولید شده در دوره نگهداری بسیار ناچیز است. علاوه بر این، مقررات زیست محیطی و استانداردهای فنی در پروژه‌های نیروگاهی، الزاماتی برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و بازیافت روغن‌های مستعمل تدوین کرده‌اند تا از آلودگی محیط زیست جلوگیری شود. این رویه‌ها تضمین می‌کنند که روغن مستعمل به شکل ایمن مدیریت گردیده و ریسک نشت یا تخلیه غیرمجاز به حداقل برسد.



3-6- پیش‌بینی مجموعه آثار و پیامدهای زیست محیطی طرح

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

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 زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی آزاد می‌کنند. مهم‌ترین گاز منتشر شده از این نیروگاه‌ها، دی‌اکسید کربن (CO_2) است که سهم عمده‌ای در گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی دارد. طبق گزارش‌های سازمان بین‌المللی انرژی (IEA)، نیروگاه‌های حرارتی بیش از 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 3-3 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 فردوس در سال اول بهره‌برداری از آن در حدود 32438 MWh می‌باشد. بنابراین، نسبت به یک نیروگاه حرارتی که همین میزان انرژی را تولید می‌کند؛

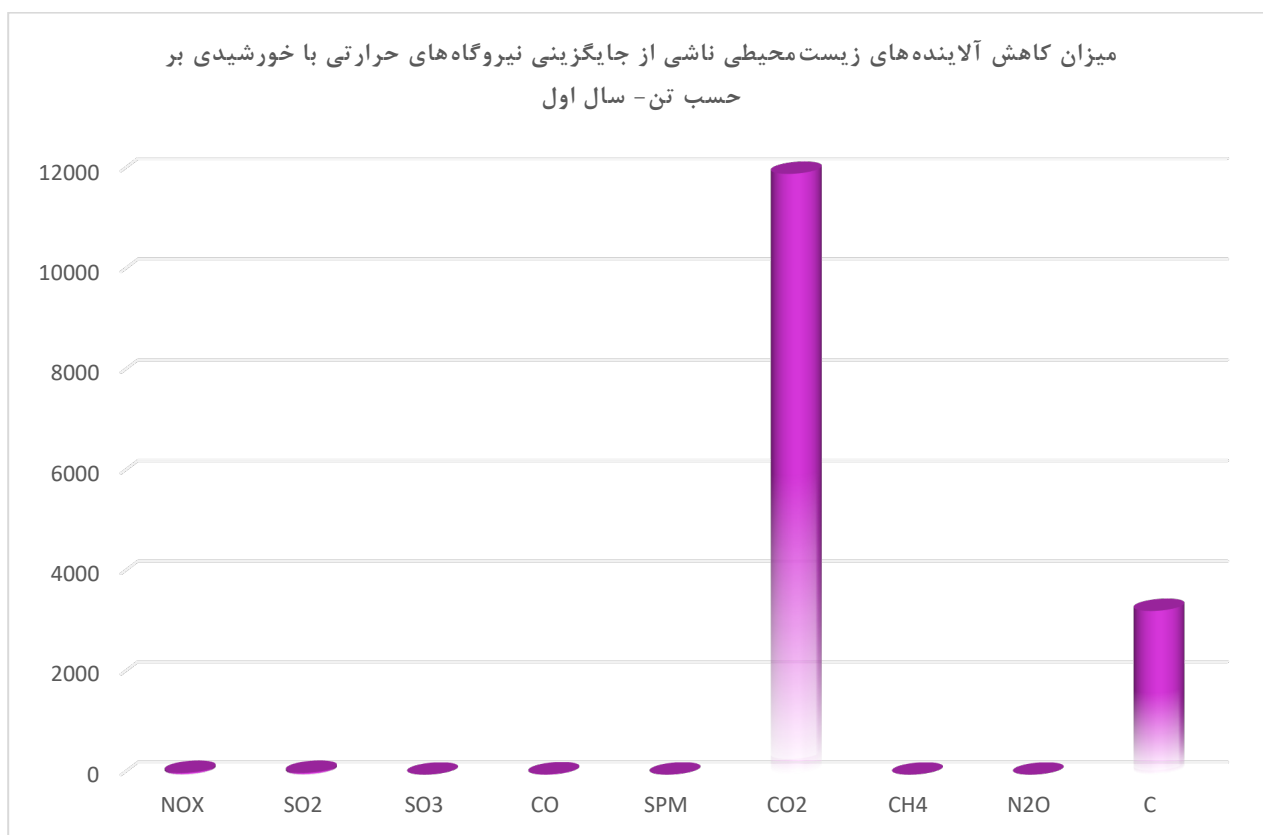


- در صورت احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس ، 12000 تن دی اکسید کربن کمتری در سال وارد جو می شود که این میزان بر اساس رابطه زیر تعیین می شود:
میزان عدم تولید CO_2 (kg) = ضریب CO_2 × میزان انرژی سالانه تولیدی نیروگاه (kWh)
- یک درخت بالغ حدود 22 کیلوگرم دی اکسید کربن را در سال جذب می کند، بنابراین این میزان عدم تولید دی اکسید کربن معادل جذب میزان دی اکسید کربنی است که توسط بیش از 550 هزار 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 4000 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 فردوس در سال اول بهره برداری، در شکل 3-4 نشان داده شده است.



جدول ۳-۳: شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در بخش نیروگاهی کشور

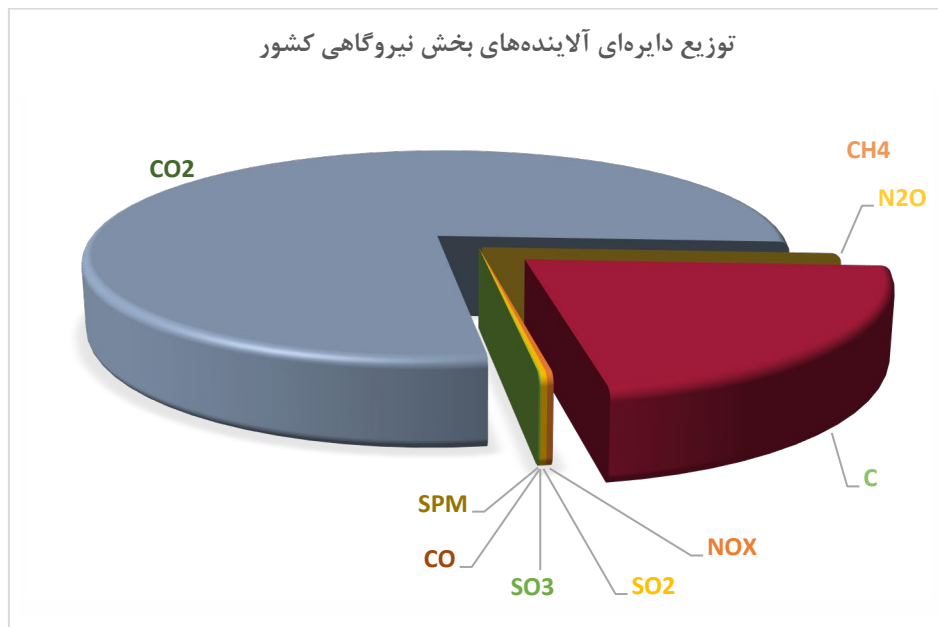
شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش نیروگاهی کشور در سال 1401 (Kg/MWh)									
C	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	SPM	CO	SO ₃	SO ₂	NO _x	گازهای آلاینده
206.19	0.003	0.02	756.029	0.146	2.011	0.025	5.731	2.159	بخاری
230.708	0.002	0.017	845.931	0.114	0.119	0.009	0.319	2.396	گازی
150.409	0.002	0.012	551.5	0.087	0.091	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
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



شکل ۳-۴: میزان کاهش آلاینده‌های زیست محیطی در سال اول بهره‌برداری نیروگاه خورشیدی ۱۵ مگاواتی فردوس

۳-۶-۱-۲- بهبود کیفیت هوا و سطح سلامتی انسان‌ها

شکل ۳-۵: شکل که توزیع دایره ای آلاینده‌های زیست محیطی تولید شده در نیروگاه‌های حرارتی کشور را نشان می‌دهد، مطابق با داده‌های آخرین ترازنامه انرژی منتشر شده در ایران که مربوط به سال ۱۴۰۱ است، ترسیم شده است.



شکل 3-5: توزیع دایره‌ای آلاینده‌های بخش نیروگاهی کشور

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 (NO_x) 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، NO_x 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 به‌ویژه 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، به‌خصوص، در زنجیره غذایی متمرکز شده و اثرات نوروتاکسیک شدیدی بر موجودات زنده دارد.

¹ Particulate Matter (PM)



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 (NO_x)، دی اکسید گوگرد (SO_x) و ذرات معلق ($PM_{2.5}$) را منتشر نمی‌کنند؛ بنابراین استقرار نیروگاه خورشیدی در یک منطقه، می‌تواند بهبود چشمگیری در شاخص کیفیت هوا¹ 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 بهداشت²، 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.

۳-۱-۶-۳- کاهش تغییرات اقلیمی و کمک به حفظ اکوسیستم

بر اساس گزارش رسمی هیئت ارزیابی تغییرات اقلیمی^۳، 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^۴ 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. دی اکسید کربن، به عنوان اصلی‌ترین گاز گلخانه‌ای، عامل مهم گرمایش جهانی است و کاهش انتشار آن نقش موثری در محدودسازی روند افزایش دما دارد.

۳-۱-۶-۴- 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.

¹ Air Quality Index (AQI)

² World Health Organization (WHO)

³ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

⁴ Transient Climate Response to Cumulative Emissions of Carbon Dioxide (TCRE)



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 فردوس (32438 مگاوات ساعت) باشد، حدود 81095 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 دارند 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.

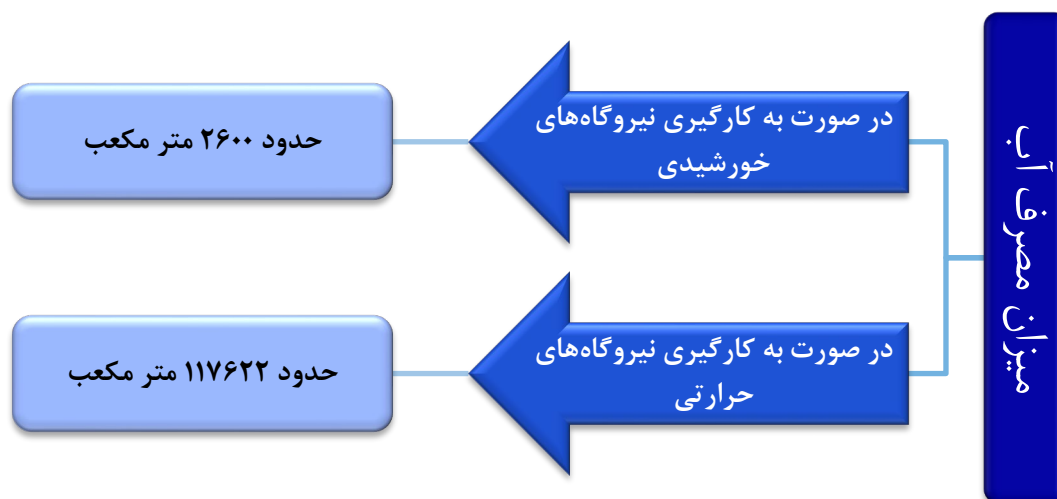
- در سیستم‌های رباتیک، دستگاه‌های هوشمند بصورت خودکار در مسیرهای برنامه‌ریزی شده حرکت کرده و بدون نیاز به مداخله انسانی، عملیات شست و شو را با مصرف حداقلی آب یا در مواردی بصورت خشک انجام می‌دهند. این روش برای پروژه‌های بزرگ و محیط‌های خشک و پرتکرار بسیار کارآمد است.

- در روش نیمه‌اتوماتیک، 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 شست و شو 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.

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 پنل‌ها در هر ماه 2 نوبت شسته شوند، مصرف آب سالیانه جهت شست و شوی پنل‌ها در محدوده 100 تا 130 مترمکعب در سال به ازای هر مگاوات ظرفیت است که برای یک نیروگاه 15 مگاواتی، حداکثر به 1800 مترمکعب در سال می‌رسد.

این صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف آب می‌تواند در مناطقی با تنش آبی بالا، نقشی حیاتی ایفا کند. علاوه بر این، کاهش استفاده از منابع آبی باعث جلوگیری از تخلیه حرارتی به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها شده و از آسیب به اکوسیستم‌های آبی و موجودات زنده در این زیستگاه‌ها جلوگیری می‌کند. این ویژگی نیروگاه‌های خورشیدی، آن‌ها را به گزینه‌ای ایده‌آل برای تأمین انرژی پایدار در مناطقی که با بحران‌های آبی مواجه هستند تبدیل می‌کند.



شکل ۳-۶: مقایسه‌ای شماتیک از میزان مصرف آب در دو سناریوی تولید برق توسط نیروگاه‌های حرارتی و نیروگاه‌های خورشیدی

3-6-2- اثرات منفی زیست محیطی نیروگاه‌های فوتوولتائیک 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 جمله 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.



۳-۶-۲- تأثیر بر تنوع زیستی

یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها در احداث نیروگاه‌های خورشیدی، تغییر زیستگاه‌های گونه‌های گیاهی و جانوری است که می‌تواند به تخریب زیستگاه‌های طبیعی و 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.

۳-۶-۳- 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 تجدیدپذیر^۱، 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

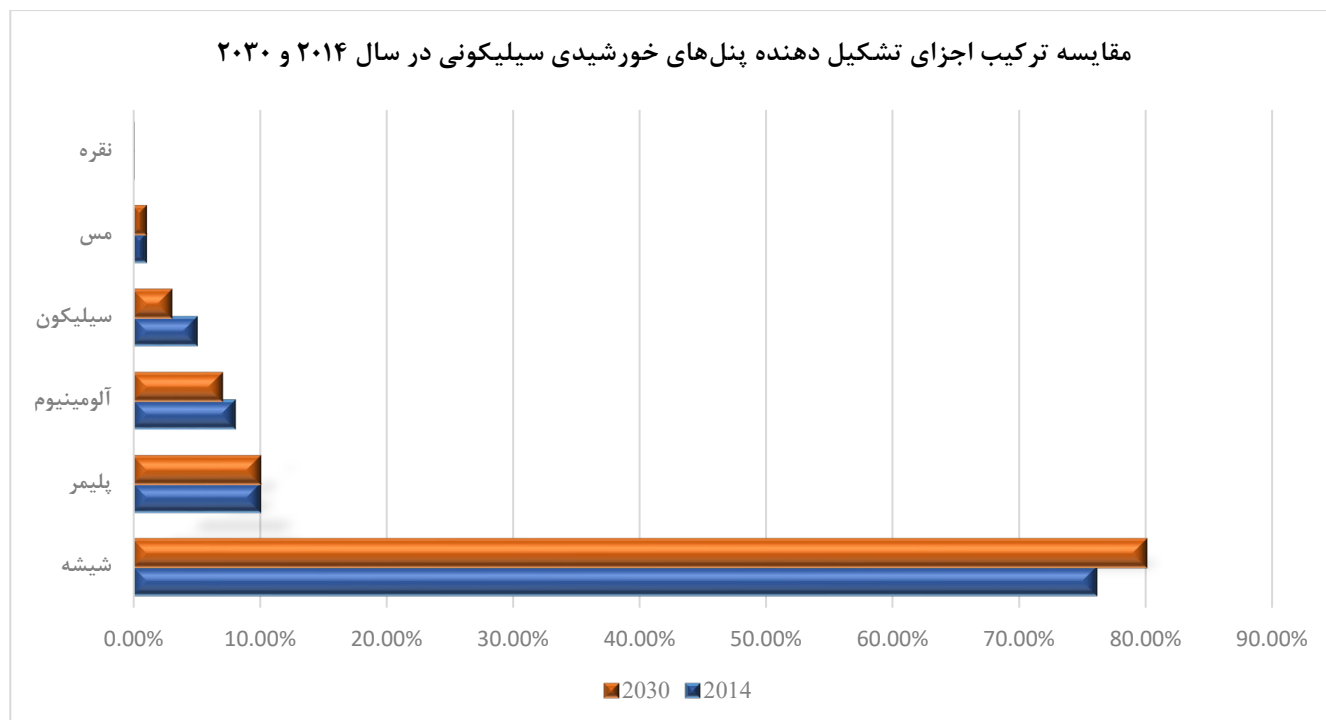
از آنجا که بخش عمده پسماندهای یک نیروگاه خورشیدی مربوط به پنل‌هاست، آگاهی دقیق از ترکیب ساختاری و مشخصات فنی آن‌ها نقش کلیدی در طراحی راهکارهای مناسب مدیریت پسماند ایفا می‌کند چرا که فناوری‌های مختلف تولید پنل‌ها از نظر نوع مواد و میزان مواد خطرناک، تفاوت‌های قابل توجهی دارند. این تفاوت‌ها در مراحل جمع‌آوری،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

¹ International Renewable Energy Agency (IRENA)

در حال حاضر، فناوری سیلیکون کریستالی^۱ حدود ۹۵٪ بازار جهانی پنل‌های خورشیدی را تشکیل می‌دهند. در میان انواع مختلف آن، پنل‌های مونوکریستال^۲ به دلیل بازدهی بالاتر، دوام بیشتر و عملکرد بهتر در شرایط محیطی مختلف، کاربرد گسترده‌تری نسبت به نوع پلی کریستال^۳ 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.

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 زیست‌محیطی صنعت انجام می‌شود.



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

^۱ c-Si

^۲ Monocrystalline Solar Panel

^۳ Polycrystalline Solar Panel



• 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 25 تا 30 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 فتوولتایک است که بیشترین حجم تجهیزات نیروگاه را تشکیل می‌دهند. این پنل‌ها عمدتاً از موادی مانند شیشه، آلومینیوم، سیلیکون کریستالی و پلیمر ساخته می‌شوند که بسیاری از آن‌ها قابلیت بازیافت دارند. در این مرحله، اگرچه ممکن است ضایعاتی نظیر سلول‌های سیلیکونی شکسته، شیشه‌های ترک خورده 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 بزرگ مقیاس، 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.

¹ Regular Loss

² Early Loss



- 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:

این خرابی‌ها در فاصله ۵ تا ۱۱ سال پس از نصب رخ می‌دهند و ناشی از مشکلاتی نظیر تخریب پوشش‌های ضدانعکاس⁴، تغییر رنگ لایه EVA، جدا شدن لایه‌ها یا شکست سلول‌ها هستند.

- خرابی و نقص ناشی از فرسودگی⁵:

این دسته از خرابی‌ها معمولاً از سال دوازدهم به بعد و تا پایان عمر طراحی‌شده پنل‌ها، ظاهر می‌شوند. علت آن‌ها تخریب ساختاری، خوردگی، شکستن اتصالات یا ترک‌خوردگی سلول‌هاست. بر اساس برخی مطالعات آماری، حدود ۴۰٪ از پنل‌های بررسی‌شده 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 قرار دارند.

¹ Infant Failure

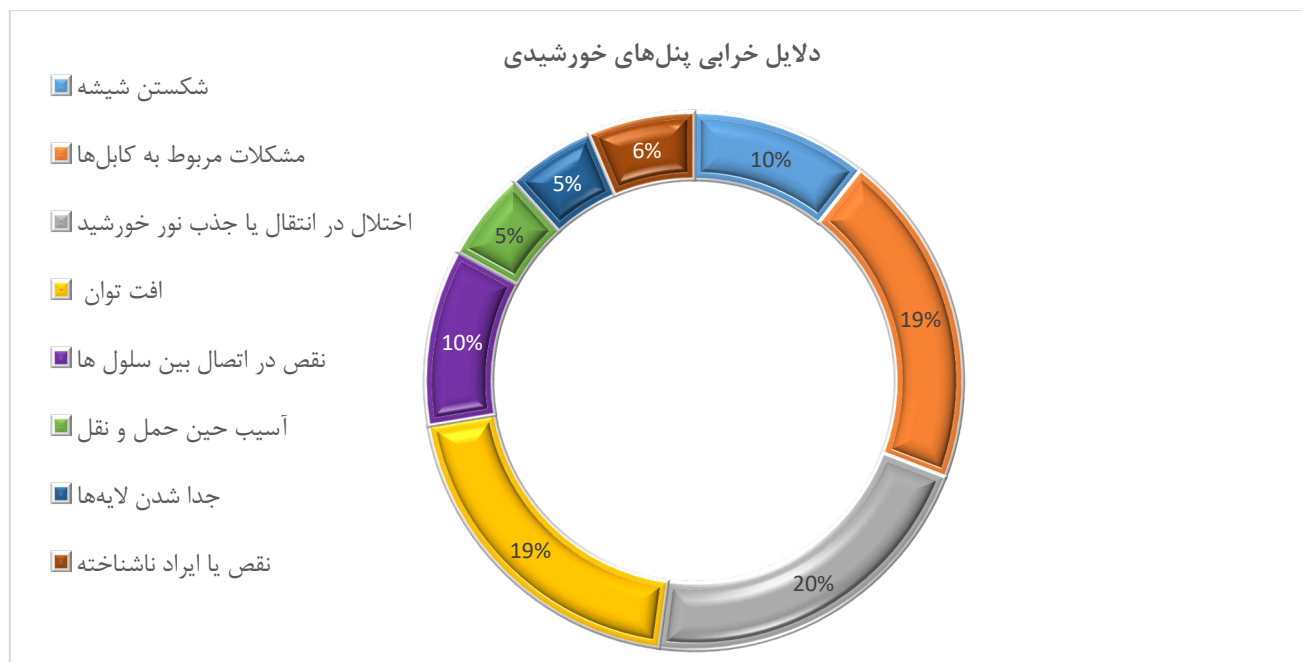
² Light Induced Degradation

³ Midlife Failure

⁴ Anti-Reflective Coatings

⁵ Wear-out Failure

- 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

- 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

¹ Reduce

² Reuse

³ Recycle

⁴ Dispose



این استراتژی‌ها مکمل یکدیگر بوده و در کنار سیاست‌گذاری‌های هوشمندانه، می‌توانند تأثیرات 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 سلنیوم با مواد کم‌خطرتر 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.

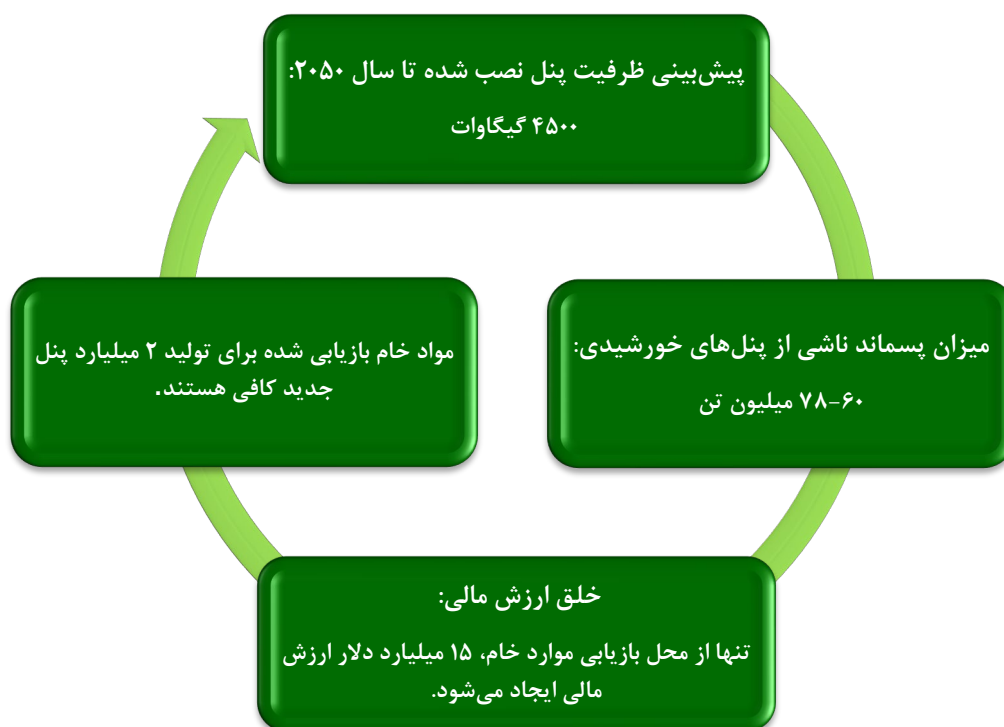
✓ استفاده مجدد:

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 زودهنگام پیدا کنند. تعمیر پنل‌ها شامل تعویض 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.

✓ بازیافت پنل‌ها:

بازیافت پنل‌های خورشیدی یکی از مهم‌ترین بخش‌های مدیریت پسماند است که نقش حیاتی در حفظ محیط زیست و بازیابی مواد باارزش 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 بازایافت 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 بازایافت پنل‌ها تا سال 2050

✓ دفع نهایی:

دفع نهایی، به‌عنوان آخرین حلقه در چرخه مدیریت پسماند، زمانی مطرح می‌شود که امکان بکارگیری سایر گزینه‌های مدیریتی مانند استفاده مجدد و بازیافت وجود نداشته باشد. در نیروگاه‌های خورشیدی، بخشی از پسماندها از قابلیت بازیافت مؤثر یا استفاده مجدد برخوردار نیستند و ناگزیر باید طبق دستورالعمل سازمان حفاظت محیط زیست، به شرکت‌های دارای مجوز حمل و دفع پسماندهای ویژه، تحویل داده شوند. در این مرحله، انتخاب محل مناسب جهت دفن یا سوزاندن پسماندها تحت شرایط کنترل‌شده، متناسب با نوع ماده،



از اهمیت بالایی برخوردار است به گونه‌ای که از بروز هرگونه آلودگی در منابع خاک و آب‌های زیرزمینی به طور موثر جلوگیری شود.

۳-۶-۲-۴- آلودگی آب و خاک ناشی از شست و شوی پنل‌ها

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

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

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

3-7- برنامه تمهیدات و پایش زیست محیطی

برنامه پایش زیست محیطی بخشی کلیدی از فرآیند ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه‌های عمرانی و زیرساختی به شمار می‌رود که با هدف ارزیابی مداوم پیامدهای واقعی پروژه بر مؤلفه‌های محیط‌زیست طراحی می‌شود. این برنامه به منظور سنجش اثربخشی اقدامات پیشنهادی جهت کاهش اثرات منفی زیست محیطی و نیز اطمینان از پایبندی پروژه به الزامات قانونی و استانداردهای زیست محیطی تدوین می‌شود. از این طریق، امکان شناسایی و مدیریت انحرافات احتمالی از پیش‌بینی‌های مطالعات ارزیابی اثرات زیست محیطی فراهم شده و زمینه برای مداخله سریع و اصلاح فرایندها مهیا می‌گردد.

در چارچوب احداث و بهره‌برداری از نیروگاه‌های فتوولتائیک، اجرای برنامه پایش زیست محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چراکه این پروژه‌ها اگرچه در مقایسه با نیروگاه‌های حرارتی آلودگی کمتری ایجاد می‌کنند اما ممکن است در مراحل ساخت، بهره‌برداری و برچیدن، اثراتی بر کیفیت خاک، منابع آب، زیستگاه‌های طبیعی، مناظر و پسماندهای



صنعتی بر جای بگذارند. به همین منظور، پایش مستمر و نظام‌مند شاخص‌های 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 می‌شود.

3-7-1- برنامه جامع مدیریت پسماند نیروگاه

فرآیند مدیریت مواد زائد جامد، شامل مراحل نگهداری موقت پسماند، جمع‌آوری، حمل‌ونقل، بازیافت و دفع است. در تمامی این مراحل نیاز به مدیریت صحیح و ارائه راهکارهای مهندسی می‌باشد زیرا نگهداری مناسب پسماند و طراحی مناسب مخازن و محل قرارگیری آنها، روند انجام خدمات جمع‌آوری و حمل و نقل پسماند را بهبود می‌بخشد و این امر پردازش پسماند را با راندمان بالاتری امکانپذیر خواهد کرد. مهم‌ترین محصول این پروسه کاهش هزینه‌های بخش مدیریت مواد زائد جامد و جلوگیری از تخریب محیط زیست می‌باشد. در همین راستا برنامه جامع مدیریت پسماند واحد در جدول 3-4 ارائه گردیده‌است.



جدول 3-4: برنامه جامع مدیریت پسماند

فاز	پسماند	منبع تولید	تمهیدات
احداث	پسماندهای گیاهی	پاکتراشی و بوته کنی	این ضایعات جمع آوری 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.
	نخاله های ساختمانی	عملیات احداث و فعالیتهای ساختمانی	به حداقل رساندن نخاله های ساختمانی استفاده مجدد از نخاله های ساختمانی جهت بسترسازی کف مازاد نخاله های ساختمانی در مکانی در سایت دپو گردد و در نهایت توسط شهرداری شهرستان حمل گردد
	پسماندهای صنعتی (گریس، روغن مستعمل، باطری فرسوده، فیلترهای مستعمل هوا، سیم و کابل، پالت های چوبی، لاستیک فرسوده، قطعات فلزی و پلاستیکی)	واحد سرویس ماشین آلات و انبار موقت	جمع آوری در بشکه های مخصوص سپس انبارش (فضایی سرپوشیده و با سطح عایق (سیمانکاری شده) و غیرقابل نفوذ) بصورت موقت و فروش در دوره های زمانی مشخص جمع آوری روغن ها و سوخت های نشت یافته، در مخازن مخصوص به منظور بازیافت یا استفاده مجدد.
احداث و بهره برداری	پسماندهای عادی یا خانگی (غذایی، پسماندهای اداری، ظروف پلاستیکی و یکبار مصرف و غیره)	فعالیت پرسنل طی فاز احداث و بهره برداری	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 به عنوان چک پرینت فروش پسماندهای خشک به واحدهای بازیافت سطح استان
	لجن فاضلاب بهداشتی	فعالیت پرسنل طی فازهای احداث و بهره برداری	با توجه به بی هوای 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 دیصلاح تحویل گردد.
بهره برداری	روغن های خازن و ترانس های پست برق	فعالیت های فاز بهره برداری	جمع آوری کلیه روغن های مستعمل ترانس و غیره در بشکه های مخصوص سپس انبارش (فضایی سرپوشیده و با سطح عایق (سیمانکاری شده) و غیرقابل نفوذ) بصورت موقت و فروش در دوره های زمانی مشخص
	پنل ها و تجهیزات معیوب	پنل ها و تجهیزات	استفاده از مواد و تجهیزات با طول عمر بیشتر نظارت بر برنامه های تعمیر و نگهداری به منظور افزایش طول عمر وسایل و تجهیزات نظارت بر روش های انبار مواد اولیه و محصول به منظور جلوگیری از تخریب تجهیزات



اسناد خدمات مهندسی طراحی پایه و تفضیلی احداث نیروگاه خورشیدی 15مگاواتی فردوس

Doc. No:

2026.FER.EL.REP.010

Page: 72 of 91

Document Title:

گزارش مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی

Rev. 00

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 پنل‌های آسیب دیده
(تعداد پنل‌های معیوب حدود 0/1٪ برآورد می‌گردد که با نمونه جدید تعویض خواهدشد)
تحویل پنل‌های آسیب دیده به شرکت‌های ذیصلاح جهت بازیافت (به نحوی که قاب‌های آلومینیومی و سیم‌های مسی پشت پنل
به‌منظور استفاده مجدد جدا گردد و باقی اجزای پنل در خردکن صنعتی خرد شوند و به‌عنوان شیشه خرد شده به فروش رسند یا به
محل دفن زباله مورد تایید سازمان حفاظت محیط زیست تحویل گردد)



3-7-2- جدول پایش زیست محیطی طرح

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

جدول 3-5: پایش زیست محیطی طرح نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس به تفکیک فازهای احداث و بهره برداری

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	3 ماهه
احداث	تیم و کیفیت هوا	ذرات معلق و گردوغبار	کنترل حمل و نقل و نظارت مستمر بر آن بازدید چشمی	حمل و نقل 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 دپو کردن منابع قرصه	محدوده کارگاهی و تردد ماشین آلات	تیم HSE پیمانکار	روزانه				
		گازهای آلاینده خروجی (ذرات معلق، HC و غیره) و سروصدای ماشین آلات	کنترل معاینه فنی ماشین آلات	ماشین آلات ساختمانی	بازبینی و تعمیر موتور ماشین آلات جهت بررسی راندمان سوخت و استانداردهای مربوطه و به حداقل رساندن صداهای غیر ضروری ممنوعیت استفاده از ماشین آلات بالای 20 سال	ماشین آلات در کارگاه		ماهانه				
		آلودگی صوتی (سروصدا)	اندازه گیری و پایش شدت تراز صوتی/فرکانس و میزان جابجایی ارتعاشات در سطح کارگاهی و منطقه	فعالیت های فاز ساختمانی	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی حین کار مانند گوشی های محافظ و ماسک و البسه مناسب	محدوده بلافضل نیروگاه	تیم HSE پیمانکار و آزمایشگاه معتمد	سه ماه یکبار				



اسناد خدمات مهندسی طراحی پایه و تفصیلی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس

Doc. No:

2026.FER.EL.REP.010

Document Title:

گزارش مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی

Page: 74 of 91

Rev. 00

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	3 ماهه
							محیط زیست					
	کیفیت منابع خاک	تغییر بافت و ساختمان خاک	بازدید چشمی	عملیات خاکی (خاکبرداری و خاکریزی)	کنترل تسطیح مکان های خاکبرداری و احیاء اراضی	محدوده بلافاصله نیروگاه	تیم HSE پیمانکار و تیم HSE مجری	ماهانه				
		افت کیفیت خاک	پیش از آغاز فاز احداث و پس از اتمام فاز احداث (4 الی 10 نمونه خاک مرکب) شامل پارامترهای: pH, EC, PCBs, فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب، جیوه، مولیبدن، نیکل، سلنیوم و روی) و کل نیتروژن	فعالیت های فاز ساختمانی	نظارت بر کمپ کارگاهی (محل توقف ماشین آلات)	محدوده کارگاهی داخل سایت نیروگاه	آزمایشگاه معتمد محیط زیست	سالانه				
		احتمال نشت مواد نفتی	بازدیدهای چشمی	ماشین آلات ساختمانی	پایش و نظارت بر عملکرد ماشین آلات برای جلوگیری از نشت مواد نفتی	محل استقرار ماشین آلات	تیم HSE پیمانکار	هفتگی				



اسناد خدمات مهندسی طراحی پایه و تفصیلی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس

Doc. No:

2026.FER.EL.REP.010

Page: 75 of 91

Document Title:

گزارش مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی

Rev. 00

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	3 ماهه
		نخاله های ساختمانی		فعالیت های فاز ساختمانی	نظارت بر نحوه دفع مناسب نخاله های ساختمانی و انتقال به محل مناسب	محدوده بلافصل 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 بلافصل 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 کلیرم 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 معمد محیط زیست	سه ماه یکبار				
		سوانح و خطرات		بازدیدهای دوره ای واحد HSE	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				



اسناد خدمات مهندسی طراحی پایه و تفصیلی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس

Doc. No:

2026.FER.EL.REP.010

Page: 76 of 91

Document Title:

گزارش مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی

Rev. 00

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	3 ماهه
بهره‌داری	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 سطل‌های 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	محل‌های تخلیه سپتیک تانک	مسئول HSE کافرما و آزمایشگاه معتمد محیط زیست	سه ماه یکبار				



اسناد خدمات مهندسی طراحی پایه و تفصیلی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس

Doc. No:

2026.FER.EL.REP.010

Page: 77 of 91

Document Title:

گزارش مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی

Rev. 00

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	3 ماهه
	کیفیت منابع آب	تغییر در کیفیت آب	PH, TDS, COD, BOD, DO, EC, TSS محلول، نیتروژن، فسفر کل، دبی، دما، فسفات، نترات، آمونیاک، فلزات سنگین، آنیون‌ها و کاتیون‌ها، کلیفرم‌های مدفوعی، چربی و روغن، سولفات، کروم، فنل	فعالیت‌های فاز بهره‌برداری	پایش منابع آبی	نزدیکترین آبراهه اصلی به نیروگاه	مسئول HSE کافرما و آزمایشگاه معتد محیط زیست	6 ماهه				



3-8- جمع بندی

بررسی های انجام شده در این گزارش نشان می دهد که احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس، 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 فردوس 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 فردوس 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 حرارتی	نیروگاه خورشیدی	
انتشار بالا و مستمر دی اکسید کربن و دیگر آلاینده ها	کاهش چشمگیر دی اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه ای	انتشار گازهای گلخانه ای
آلودگی شدید هوا، افزایش بیماری های تنفسی و قلبی	بهبود کیفیت هوا و کاهش بیماری های تنفسی و قلبی ناشی از آلودگی	کیفیت هوا و سلامت عمومی
مصرف بالای آب برای خنک سازی تجهیزات و فرآیندهای تولید انرژی	مصرف ناچیز آب، بدون نیاز به فرآیندهای خنک سازی پرهزینه	صرفه جویی در منابع آبی
تشدید تغییرات اقلیمی و افزایش اثرات منفی ناشی از گرمایش جهانی	کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و کمک به مقابله با گرمایش جهانی	تغییرات اقلیمی



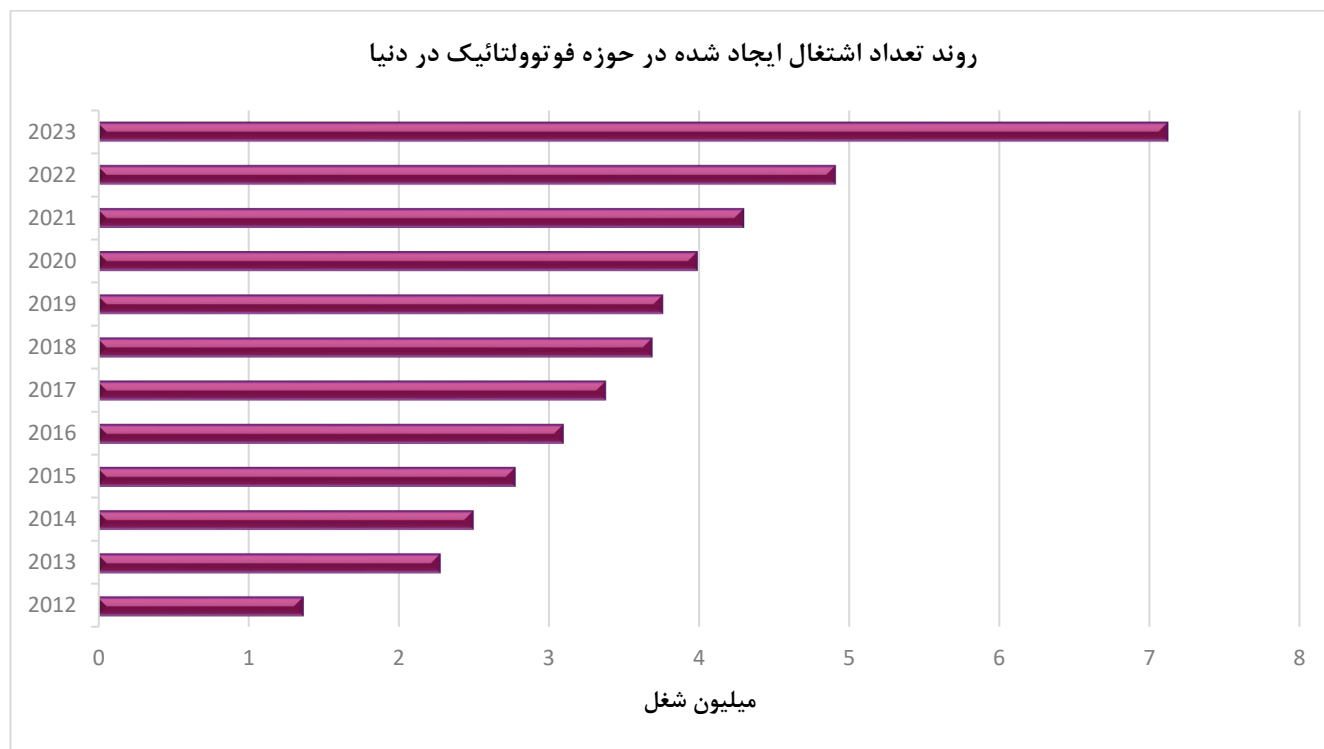
فصل چهارم:

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

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 تجدید پذیر¹، 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 تامین 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)



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 فردوس، برآورد می‌شود:

- با استقرار یک کانکس نگهبانی 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 با در نظر گرفتن سه شیفت کاری، 3 اپراتور جهت حضور در اتاق مانیتورینگ مورد نیاز خواهد بود.
- به منظور مدیریت موجودی قطعات یدکی و تجهیزات مصرفی نیروگاه و نیز به منظور تعمیر و نگهداری نیروگاه و با در نظر گرفتن سه شیفت کاری، 3 نفر نیرو مورد نیاز خواهد بود.
- به طور کلی دست کم 9 نیروی انسانی به طور 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 قابل‌توجهی 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، مهندسين و متخصصين 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.

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 شست‌وشو 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.

- 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.

¹ Soiling Effect



- 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.

4-3- 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
- وضعیت RUN/STOP اینورتر
- وضعیت بریکر Incoming
- آلارم Minor نیروگاه



- آلام 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)



فصل پنجم:

بخش ریسک‌ها – شناسایی ریسک‌های احتمالی و راهکارهای کاهش آن



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 طولانی مدت 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:



- **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 فردوس را نشان می‌دهد.

¹ CAPEX

	اسناد خدمات مهندسی طراحی پایه و تفضیلی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس	
	Doc. No:	2026.FER.EL.REP.010
Page: 88 of 91	Document Title:	گزارش مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی
		Rev. 00



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

5-4- چالش‌ها و موانع در پروژه نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس

در جریان مطالعات میدانی، مجموعه‌ای از چالش‌ها شناسایی شد که ضروری است برای مدیریت آن‌ها در فازهای احداث و بهره‌برداری، تدابیر لازم از پیش اندیشیده شود. مهم‌ترین این موارد عبارت‌اند از:

5-4-1- شرایط خاک و پایداری زمین

بخش قابل توجهی از محدوده مورد مطالعه دارای خاک ماسه‌ای و پوک است. این ویژگی، علاوه بر ایجاد محدودیت در تردد وسایل نقلیه (حتی خودروهای دو دیفرانسیل)، موجب افزایش احتمال گیرکردن و ایجاد شیارهای عمیق در سطح مسیر می‌شود. همچنین این شرایط در فرآیند تثبیت تجهیزات نقشه‌برداری نظیر پایه‌های دوربین توتال استیشن یا آنتن‌های GPS چالش‌آفرین است چرا که راد یا میله‌های تثبیت‌کننده به راحتی در خاک فرو رفته و باعث تغییر موقعیت یا تغییر ارتفاع نقاط کنترل موقت می‌شوند. برای رفع این مشکل، استفاده از پایه‌های پهن‌تر، به‌کارگیری صفحات فلزی زیر رادها و پایش مداوم دقت نقاط کنترل، به عنوان راهکارهای عملیاتی در دستور کار قرار گرفت. این موضوع در مراحل



اجرای نیروگاه نیز اهمیت خواهد داشت چرا که ماهیت خاک می تواند بر طراحی فونداسیون ها و پایداری سازه ها تأثیرگذار باشد.

5-4-2- محدودیت های دسترسی به سایت

محل احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس با فاصله ای حدود سه کیلومتر از نزدیک ترین جاده آسفالت قرار گرفته است. نبود جاده دسترسی استاندارد، علاوه بر افزایش زمان و هزینه های حمل و نقل، دشواری های قابل توجهی را برای انتقال تجهیزات و نیروی انسانی ایجاد می کند. مسیرهای خاکی موجود عموماً ناهموار و در برخی مقاطع تحت تأثیر رمل های ماسه ای و تپه های بادی مدفون شده اند. این مسئله ضرورت طراحی و احداث مسیرهای دسترسی پایدار و مقاوم در برابر شرایط اقلیمی را در فاز اجرایی پروژه دوچندان می کند.

5-4-3- شرایط آب وهوایی منطقه

قرارگیری سایت در اقلیم کویری استان خراسان جنوبی، چالش های ویژه ای را به همراه دارد. اختلاف دمای شدید شبانه روزی، به ویژه در فصل تابستان، علاوه بر ایجاد شرایط ناملایم برای پرسنل نیروگاه، بر عملکرد تجهیزات الکترونیکی حساس نیز اثرگذار است. همچنین احتمال وقوع طوفان های شن در فصول گرم، تهدیدی جدی برای سلامت تجهیزات به شمار می رود. این شرایط می تواند هزینه های نگهداری و تعمیرات را نیز افزایش دهد. از این رو، اتخاذ تدابیری نظیر استفاده از تجهیزات مقاوم در برابر شرایط محیطی، پیش بینی ساز و کارهای حفاظتی برای کارکنان و بکارگیری پوشش های ویژه برای حفاظت از تجهیزات، از ملزومات اساسی در اجرای پروژه خواهد بود.



اسناد خدمات مهندسی طراحی پایه و تفضیلی احداث نیروگاه خورشیدی 15 مگاواتی فردوس

Doc. No:

2026.FER.EL.REP.010

Page: 90 of 91

Document Title:

گزارش مطالعات امکانسنجی نیروگاه خورشیدی

Rev. 00

فصل ششم:

جمع بندی



6- جمع بندی

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

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

15	توان نیروگاه / مگاوات
شهرستان فردوس / استان خراسان جنوبی	محل احداث
اخذ شده	وضعیت مجوز زیست محیطی
اخذ شده	وضعیت مجوز امور اراضی
اخذ شده	وضعیت مجوز اتصال به شبکه
712,477	انرژی تولیدی نیروگاه در طول 25 سال بهره‌برداری (مگاوات ساعت)
تابلو بورس سبز	مدل قراردادی پیشنهادی جهت خرید و فروش انرژی نیروگاه
12000	حداقل میزان صرفه جویی در انتشار کربن دی اکسید در سال اول بهره‌برداری
6,430,000	هزینه تقریبی احداث نیروگاه (دلار)
96,000	مجموع هزینه‌های سالیانه (دلار)
از طریق احداث دو خط 20 kV دو مداره به پست فردوس	نحوه اتصال به شبکه
971,000	هزینه اتصال به شبکه (دلار)
Trina Solar - 720 W	پنل خورشیدی انتخابی
Sungrow - 320 kW	اینورتر خورشیدی انتخابی
20852	تعداد پنل‌ها
44	تعداد اینورترها
31.5	مقدار LCOE (\$/Mwh)
20.38%	مقدار IRR
4.63 سال	مقدار دوره بازگشت سرمایه

نکته: شایان ذکر است مقادیر انرژی برآوردی در نرم‌افزار PVsyst مبتنی بر داده‌های اقلیمی پایگاه جهانی Meteonorm و مفروضات طراحی است؛ بنابراین تولید واقعی نیروگاه ممکن است تحت تأثیر شرایط اقلیمی واقعی، کیفیت تجهیزات و نحوه بهره‌برداری با مقادیر شبیه‌سازی شده تفاوت داشته باشد.