پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

# بروندادهای تخصصی
# گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

سال دوم، شماره ۲، بهار ۱۳۹۶

جایگاه پیل‌های سوختی اکسید جامد در تولید انرژی دنیا/ ساسان محبی

اصول و مبانی اکتشاف منابع زمین‌گرمایی هیدروترمال/جواد نورعلیئی

ارزیابی عملکرد نیروگاه‌های خورشیدی متصل به شبکه در نقاط مختلف ایران/ علی هاشمی، صابر طالاری، محمد زاغری، آرش حق پرست کاشانی، پدیده سرفراز، حمیدرضا صادقی شقاقی، حامد سنعاتی

# به‌نام خدا


## گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

**صاحب‌امتیاز:** پژوهشگاه نیرو

**مدیرمسئول:** شهریار بزرگمهری

**سردبیر:** مهدی رحیمی تاکامی

**مدیر اجرایی:** مهدی رحیمی تاکامی

**گرافیست و صفحه‌آرا:** حامد محبی

**ویراستار:** محمد گل محمد

**عکس روی جلد:** حامد محبی

➢ **همکاران این شماره:**

**همکاران گروه:** دکتر شهریار بزرگمهری، مهندس مهدی رحیمی تاکامی، دکتر محمد گل محمد، مهندس مهدی رضایی ، مهندس احسان لیوانی، مهندس حامد محبی

**همکاران معاونت پژوهشی:** مهندس ثریا رستمی، نوشین فرودی

➢ **ناشر:**

**نشانی الکترونیکی:** Energy@nri.ac.ir

**نشانی:** تهران، شهرک غرب، انتهای پونک باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر

**تلفن: ۸۸۰۷۹۴۴۶-۰۲۱**

**دورنگار: ۸۸۳۶۱۶۰۳-۰۲۱**



**اعضای هیئت‌تحریریه:**

دکتر شهریار بزرگمهری، مهندس مهدی رحیمی تاکامی، دکتر حمید عبدلی، دکتر خالد آذری، دکتر داور ابراهیمی، مهندس جواد نورعلیئی، مهندس مهدی رضایی، مهندس علی هاشمی، مهندس حامد محبی، مهندس احسان لیوانی، مهندس محمد خلج، مهندس مهدی اخلاقی، مهندس سینا سالمی، مهندس مرتضی ترابی، دکتر محمد گل محمد

**اعضای هیئت‌داوران:**

دکتر همایون کنعانی، مهندس مصطفی برزگر گردرودباری، دکتر حمید عبدلی، مهندس علی هاشمی، و مهندس احسان لیوانی


**اهداف و رویکرد:**

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر» با هدف فراهم آوردن بستری مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب مرتبط با این بخش در صنعت برق به‌صورت داخلی منتشر می شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه بهترشدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.


مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج‌شده بر عهده نویسندگان است.

# فهرست مطالب


| | |
|---|---|
| • سخن سردبیر | ۱ |
| • کاهش قیمت تمام شده برق تولیدی در مناقصات برگزار شده برای راه اندازی نیروگاه خورشیدی | ۲ |
| • آشنایی با آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر | ۷ |
| • جایگاه پیل‌های سوختی اکسید جامد در تولید انرژی دنیا | ۱۸ |
| • اصول و مبانی اکتشاف منابع زمین گرمایی هیدروترمال | ۳۴ |
| • ارزیابی عملکرد نیروگاههای خورشیدی متصل به شبکه در نقاط مختلف ایران | ۵۶ |
| • برگزیده‌ای از واژه‌های علمی مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی در حوزه انرژی‌های تجدید پذیر | ۷۶ |
| • معرفی کتاب | ۷۸ |

## سخن سردبیر

روند نزولی قیمت تمام شده برق تولیدی توسط سیستم‌های فتوولتاییک در مناقصات اخیر این سوال را در ذهن متبادر می‌سازد، که آیا می‌توان توقع داشت، در کشور شاهد مناقصاتی با این قیمت‌ها بود و اگر این امکان وجود دارد، چرا علیرغم تعیین تعرفه تضمینی خرید برق در زمینه راه‌اندازی نیروگاه خوشیدی فعالیت‌های قابل توجهی صورت نگرفته است و بیشتر فعالیت‌ها تنها معطوف به گرفتن مجوز شده است.

با توجه به نظر تحلیلگران تغییر تعرفه‌ها در حدود ۱۸ تا ۴۳ درصد از نرخ اولیه که در سال ۲۰۱۵ برای اولین بار ارائه شد، علیرغم این که تعرفه جدید تاثیری در قراردادهای خرید برقی که قبلا امضا شده‌اند ندارد اما نشان دهنده نبود ثبات در قوانین است و از آنجا که جریمه یا قانونی در صورت تخطی از قانون توسط ارگان‌های دولتی وجود ندارد، بنابراین تاثیر تعرفه جاری در طول مدت زمان قرارداد خرید برق، غیرقطعی و پر ریسک است.

در وضعیت فعلی قرارداد فروش برق در ایران اطمینان‌بخش برای سرمایه‌گذاری نیست و در کل یک بی میلی برای وام دهندگان بین المللی جهت ورود به بازار ایران وجود دارد. فرم حال حاضر قرارداد فروش برق در پروژه‌های تجدیدپذیر مطابق با استانداردهای بین المللی قابل اعتماد جهت سرمایه‌گذاری تشخیص داده نمی‌شود. برای حمایت مالی بانک‌های جهانی در پروژه‌های تجدیدپذیر ایران آن‌ها انتظار ضمانتی از طرف وزارت نیرو را دارند که این انتظار مشابه چیزی است که در سایر بازارهای نوینی سطح جهان هم دیده می‌شود. برای حل این مشکل شاید یک ضمانت دولتی احتمالا چاره ساز است.

**مهدی رحیمی تاکامی**
**گروه انرژی‌های تجدیدپذیر**

گزارش و خبر

# کاهش قیمت تمام شده برق تولیدی در مناقصات برگزار شده برای راه‌اندازی نیروگاه خورشیدی

با توجه به اطلاعات موجود، در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ به بررسی کاهش قیمت تمام شده برق تولیدی چند مناقصه برگزار شده برای راه اندازی نیروگاه خورشیدی می‌پردازیم. نیروگاه سویحان ابوظبی در شهر سویحان در شمال غربی شهر ابوظبی در امارات متحده عربی ساخته شده است. این مناقصه که توسط DEWA[1] برگزار شده است، در اسناد آن ظرفیت اعلام شده برابر با ۳۵۰ مگاوات می‌باشد و طبق آنچه که در این اسناد به آن اشاره شده است، از شرکت کنندگان در مناقصه خواسته شده است که برای ظرفیتهای بالاتر نیز رقم های پیشنهادی خود را ارائه کنند. در این مناقصه ۶ گروه شرکت کرده‌اند، که هر گروه شامل دو یا سه عضو هستند. مشخصات این گروه‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به قیمتهای پیشنهادی بهترین قیمت مربوط به گروه متشکل از Jinko Solar چین و Marubeni ژاپن می‌باشد، که رقم پیشنهادی آن‌ها برای قیمت تمام شده برق ۲/۴۲ سنت دلار بر کیلووات ساعت می‌باشد. در صورتی که ظرفیت نیروگاه به ۱۱۷۰ مگاوات برسد، این رقم به ۲/۳ سنت دلار بر کیلووات ساعت می‌رسد. قیمت پیشنهادی در این مناقصه در بازارهای دیگر، تکرار نخواهد شد چرا که فاکتورهای موثر در تعیین این قیمت شامل حمایت دولتی، قیمت تجهیزات و کارگر مربوط به منطقه ابوظبی می‌باشد. رقم‌های پیشنهادی و نرخ بازگشت سرمایه مربوط به هر کدام از شرکت کنندگان در جدول (۱) نشان داده شده است. قسمتی از این پروژه در شکل (۱) آمده است:

[1] Dubai Electricity and Water Authority

جدول(۱): اطلاعات مربوط به مناقصه سویحان ابوظبی

| Managing Member | Consortium Member(s) | | IRR (%) | LEC (in fils/kWh) | NPV of Weighted Net Electrical Energy (in MWh) | Weighted LEC (in fils/kWh) | Ranking based on Weighted LEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Marubeni | Jinko Solar | | 7.00% | 10.796 (USD 2.940c) | 24,422,894 | 8.888 (USD 2.420c) | 1 |
| Masdar | EDF | PAL | 7.00% | 11.311 (USD 3.080c) | 24,361,555 | 9.304 (USD 2.533c) | 2 |
| Tenaga | Phelan Energy | | 7.15% | 11.512 (USD 3.135c) | 18,097,309 | 9.543 (USD 2.598c) | 3 |
| RWE | B-Electric | | 7.00% | 13.038 (USD 3.550c) | 19,539,720 | 10.720 (USD 2.919c) | 4 |
| JGC | First Solar | Sojitz | 8.46% | 13.840 (USD 3.769c) | 22,235,300 | 11.339 (USD 3.088c) | 5 |
| Kepco | Q Cells | GSE | 7.00% | 15.980 (USD 4.351c) | 10,446,040 | 13.349 (USD 3.635c) | 6 |

شکل(۱): نیروگاه فتوولتائیک سویحان ابوظبی

در آوریل ۲۰۱۶ شرکت آمریکایی Sun Edison موفق شد، قراردادی برای نصب و راه اندازی دو نیروگاه فتوولتاییک با مجموع ظرفیت ۲۰۲ مگاوات با تولیدکننده محلی برق در شیلی با نام Colbun SA ببندد. ظرفیت واحد بزرگتر ۱۴۵ مگاوات و در منطقه والپاریزو و ظرفیت واحد کوچکتر ۵۷ مگاوات و در منطقه متروپولیتن می‌باشد. قیمت تمام شده برق تولیدی در این قرارداد ۲/۹۱ سنت دلار بر کیلووات ساعت می‌باشد، که در این تاریخ یک رکورد برای این‌گونه قرارداد بوده است. پارک انرژی شیخ مکتوم دبی که قرار است

ظرفیت نصب شده در آن تا سال ۲۰۲۰ به ۱۰۰۰ مگاوات و تا سال ۲۰۳۰ به ۵۰۰۰ مگاوات برسد، تاکنون در ۳ فاز طراحی شده است. فاز اول این پارک انرژی به ظرفیت ۱۳ مگاوات در سال ۲۰۱۳ راه‌اندازی شده است، فاز دوم آن به ظرفیت ۲۰۰ مگاوات قرار است تا سال ۲۰۱۷ راه‌اندازی شود و فاز سوم آن به ظرفیت ۸۰۰ مگاوات در دسامبر ۲۰۱۵ اسناد مربوط به RFP آن منتشر شد. یکی از فازهای قبلی این پروژه در شکل (۲) آمده است:

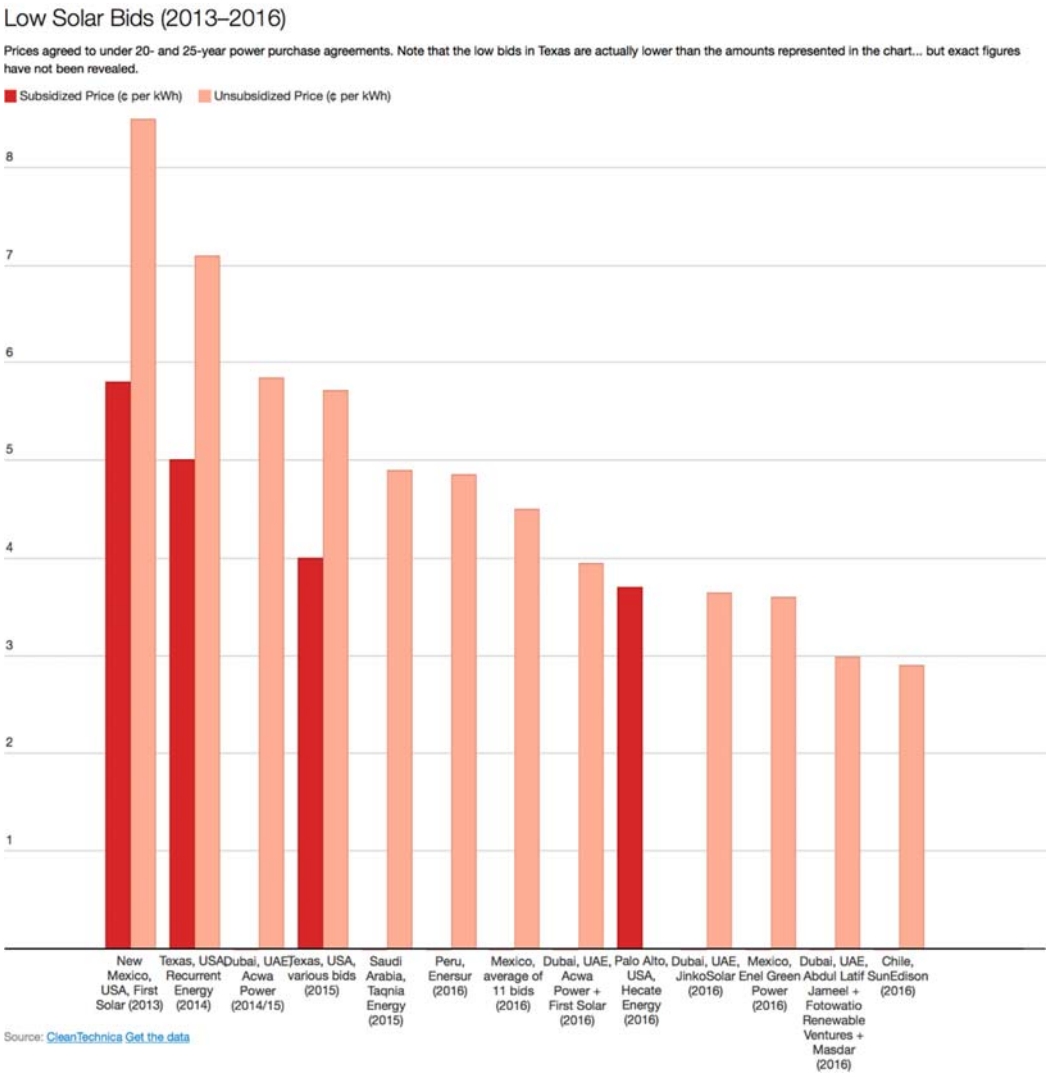
شکل(۲): پروژه پارک خورشیدی شیخ مکتوم دبی

در مرحله نهایی این مناقصه، ۵ کنسرسیوم بین‌المللی حضور داشته‌اند که قیمتهای پیشنهادی آن‌ها در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول(۲): قیمت تمام شده برق تولیدی در مناقصات برگزار شده برای راه اندازی نیروگاه

| کنسرسیوم | قیمت تمام شده برق (cents/kWh) |
|---|---|
| Abu Dhabi’s Masdar and Spanish developer FRV | ۲/۹۹ |
| JinkoSolar | ۳/۶۹ |
| Saudi Arabian Acwa Power with First Solar | ۳/۹۶ |
| GDF Suez, together with Japanese Marubeni | ۴/۴۴ |
| EDF with Qatar’s Nebras Power | ۴/۴۸ |

در چند سال اخیر رکوردشکنی‌های متعدد در زمینه کاهش قیمت تمام شده اعلامی در مناقصات اتفاق افتاده است، بطوری‌که بهترین قیمت تمام شده پیشنهادی برای مناقصه سیحوان ابوظبی برای ظرفیت ۳۵۰ مگاوات، ۲/۴۲ سنت دلار بر کیلووات ساعت بوده است. شکل (۴) قیمتهای مربوط به چند مناقصه برگزار شده در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد.




شکل(۴): روند تغییرات قیمت تمام شده از سال ۲۰۱۳ تا آوریل ۲۰۱۶

همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود، قیمت تمام شده در بازه زمانی سال ۲۰۱۳ تا آوریل ۲۰۱۶ در حدود ۳ سال بیش از ۷۰ درصد کاهش یافته است.

معرفی موسسه

IRENA
International Renewable Energy Agency

## آشنایی با سازمان بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر

یک سازمان بین دولتی است که از تحول و گذار کشورها به یک آینده با انرژی پایدار حمایت می‌کند و به عنوان یک پلتفرم اصلی برای همکاری‌های بین‌المللی، مرکز و گنجینه‌ای از سیاست، فناوری، ابتکار و دانش مالی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. IRENA مشوق و مروج استفاده گسترده و پایدار از تمامی اشکال انرژی تجدیدپذیر شامل انرژی زیستی، زمین‌گرمایی، برق‌آبی، انرژی اقیانوسی، خورشیدی و بادی در جهت توسعه پایدار، دسترسی به انرژی و امنیت آن و رشد و موفقیت اقتصاد کم کربن می‌باشد.

## دیدگاه، مأموریت و تعهد سازمانی

تأسیس IRENA یک سیگنال روشن از تعهد جامعه جهانی به گذار از سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های تجدیدپذیر است که خود کلید اصلی در تلاش جهان برای حصول اطمینان از یک آینده پایدار می‌باشد. اعضای IRENA و کشورهای مشارکت کننده، نیاز به تمرکز و عمل قاطع در رسیدن به این هدف را تصدیق می‌کنند.

مطابق تفویض جهانی دولت‌ها، IRENA به عنوان:

- یک قطب شبکه‌ای از برنامه‌ها و فعالیت‌های کشوری، منطقه‌ای و جهانی؛
- یک مرجع مشاوره‌ای در برنامه‌ریزی، توسعه و پیاده‌سازی خط‌مشی‌ها؛
- یک صدای جهانی مقتدر و متحد

در حیطه انرژی‌های تجدیدپذیر فعالیت می‌کند.

## اصول تأسیس IRENA

سند تأسیس این سازمان، اساسنامه آن است که در سال ۲۰۰۹ به تصویب رسید. این سند ترسیم و تنظیم کننده اصول راهبری است که همه اعضاء سازمان آن‌ها را پذیرفته‌اند.

بخش‌هایی از این اساسنامه عبارتند از:

- تمایل به تشویق و ترویج گسترده و پذیرش فزاینده استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با لحاظ توسعه پایدار،
- الهام گرفتن از اعتقاد راسخ آن‌ها در موقعیت‌های زیاد ارائه شده در زمینه انرژی تجدیدپذیر برای بیان و کاهش تدریجی مشکلات امنیت انرژی و قیمت‌های ناپایدار و متغیر انرژی،
- اعتقاد به نقش اصلی‌ای که انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند در کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر ایفا کنند و در نتیجه مشارکت در پایدارسازی سیستم آب و هوا و فراهم نمودن امکان یک گذار پایدار، ایمن و آرام به یک اقتصاد کم کربن.
- تمایل به ترویج اثر مثبتی که روش‌های استحصال انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند بر رشد اقتصاد پایدار و محرک و ایجاد اشتغال داشته باشد،
- دارای انگیزه ناشی از پتانسیل بسیار زیاد انرژی‌های تجدیدپذیر در ارائه دسترسی غیرمتمرکز به انرژی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه و دسترسی به انرژی برای مناطق و جزایر منزوی و دور افتاده،
- نگرانی از پیامدهای منفی استفاده از سوخت‌های فسیلی و بهره‌گیری ناکارا از زیست توده بر سلامت انسان،
- اعتقاد به این که انرژی‌های تجدیدپذیر همراه با بازدهی انرژی بالا می‌تواند افزایش شدید و رو به رشد نیاز جهانی به انرژی را طی دهه‌های پیش رو پوشش دهد.
- اثبات تمایل اعضاء به تأسیس یک سازمان بین‌المللی برای انرژی‌های تجدیدپذیر که همکاری میان اعضای آن را تسهیل می‌کند و در عین حال همکاری نزدیکی را با سازمان‌های موجود مروج استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، ایجاد می‌نماید.

## حقایق کلیدی درباره IRENA

- کنفرانس تأسیس سازمان: ۲۹ ژانویه ۲۰۰۹ در بُن آلمان.
- تأسیس رسمی: ۴ آوریل ۲۰۱۱ در ابوظبی، امارات متحده عربی.
- تعداد مشارکت‌کننده‌های فعلی: ۱۸۰

  اعضاء: ۱۵۳ (شامل ۱۵۲ دولت و اتحادیه اروپا)

  امضاءکنندگان/ دولت‌های در حال الحاق: ۲۷
- دفتر مرکزی: ابوظبی، امارات متحده عربی.
- دفاتر دور از دفتر مرکزی:

  بُن، آلمان (مرکز نوآوری و فناوری IRENA)

  نیویورک، آمریکا
- منابع مالی: اعانه ارزیابی شده اعضاء و اعانات داوطلبانه
- مدیر کل: عدنان امین (از کنیا)

## ساختار سازمانی

سازمان IRENA دارای سه ارگان اصلی می‌باشد:

## مجمع

مجمع بالاترین نهاد تصمیم‌گیر در IRENA است و از نمایندگان اعضاء (هر عضو یک نماینده) تشکیل می‌شود. جلسات آن به صورت سالانه برگزار می‌گردد و در آن اموری چون جهت‌گیری راهبردی آژانس، برنامه کاری، بودجه و مسائل سازمانی مورد بحث و تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد. جلسات مجمع IRENA به یک پلتفرم همایش بین‌المللی برای گفتگوها و مباحثات اصولی و مفصل در زمینه انرژی تجدیدپذیر تبدیل شده است که آن را به یک همایش جهانی پیشرو برای تبادل افکار و ایده‌ها در این زمینه بدل کرده است.

دفتر مرکزی IRENA در ابوظبی امارات.

## شورا

شورای IRENA از ۲۱ عضو تشکیل می‌شود که سالانه دو بار با یکدیگر ملاقات می‌کنند و آماده‌سازی‌های اصولی فراوانی را برای جلسه سالیانه مجمع انجام می‌دهند. برهم‌کنش‌های درون شورا، دستورالعمل‌های مهمی

را در تمامی زمینه‌های کاری آژانس ارائه می‌دهد. شورا پاسخگوی مجمع است و برای یک دوره دو ساله و به صورت چرخشی انتخاب می‌گردد. نگاه شورا بر دستیابی به توزیع جغرافیایی عادلانه و منصفانه، مشارکت مؤثر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه و مؤثر بودن کارکردهای شورا استوار است.

**دبیرخانه**

دبیرخانه به رهبری مدیر کل، پروژه‌ها و فعالیت‌های IRENA را اجرا می‌کند. از جمله وظایف دبیرخانه، آماده‌سازی و ارسال پیش‌نویس برنامه کاری، بودجه و گزارش سالیانه و انجام برنامه کاری آژانس می‌باشد. این بخش پشتیبانی اداری، اجرایی و فنی از مجمع، شورا و بدنه زیرمجموعه آن‌ها را به عهده دارد. در دبیرخانه سه بخش برنامه‌ای، آرایه‌ای از فعالیت‌های IRENA را انجام می‌دهند.

**مدیر کل**

عدنان امین مدیرکل IRENA مسئول ایجاد یک ساختار مدیریتی سازمانی استوار و دقیق و نیز دیدگاه راهبردی برای اجرای تعهد آژانس به تشویق و ترویج به استفاده از جهانی از انرژی تجدیدپذیر می‌باشد. آقای امین زمانی که به عنوان اولین مدیر کل IRENA برگزیده شد، گذار آژانس از مرحله مقدماتی به تأسیس آن در سال ۲۰۱۱ را راهبری نمود.

آقای امین (از کنیا) دارای بیش از ۲۵ سال سابقه در دیپلماسی چند جانبه و اشتغال و تجربه مستقیم در ترویج توسعه جهانی و مسائل اجتماعی–اقتصادی[1] از جمله توسعه پایدار می‌باشد. از سوابق خدمتی وی

[1] - socio-economic

می‌توان به ریاست هیئت اجرایی سیستم سازمان ملل برای هماهنگی‌ها (CEB[1]) و نیز مدیر اجرایی دبیرخانه هیئت سطح بالای دبیر کل سازمان ملل متحد در انسجام سیستمی این سازمان اشاره کرد.

## بخش‌های برنامه‌ای

### حمایت کشوری و مشارکت‌ها

بخش حمایت کشوری و مشارکت‌های (CSP)[2] IRENA به کشورها و مناطق گوناگون در معرفی انرژی های تجدیدپذیر یاری می‌رساند. IRENA با طیف وسیع و گوناگونی از سهامداران عمومی و خصوصی در زمینه توسعه و اجرای راهبردهای دستیابی به سهم بیشتر انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان کار می‌کند. پرچمدار فعالیت‌های این سازمان عبارتست از ارزیابی آمادگی انرژی‌های تجدیدپذیر (PRAs)[3] که یک روش کشور محور را برای شناسایی کارهای اولویت‌دار جهت تقویت گسترش انرژی تجدیدپذیر با خرید از همه سهامدارن کلیدی پیشنهاد و ارائه می‌دهد. به علاوه، از طریق شبکه جزایر انرژی تجدیدپذیر جهانی (GREIN)[4]، خوشه‌هایی از جزایر در کنار سایر موضوعات، با یکدیگر در مورد برآورد منابع، کاربردهای شبکه توزیع برق و نقشه راه گسترش فناوری‌ها کار می‌کنند. IRENA همچنین در حال همکاری با طیف وسیعی از سهامداران جهت توسعه یک شبکه مشورتی سیاست‌های انرژی تجدیدپذیر (REPAN)[5] می‌باشد که کشورها را قادر

[1] - UN System Chief Executives Board for Coordination
[2] - Country support and Partnerships
[3] - Renewables Readiness Assessments
[4] - Global Renewable Energy Islands Network
[5] - Renewable Energy Policy Advice Network

خواهد ساخت تا با متخصصین و شاغلین این حوزه در سراسر جهان جهت کمک‌های فنی و مشورتی ارتباط یابند.

**مرکز نوآوری و فناوری**

مرکز نوآوری و فناوری IRENA (IITC)[1] آخرین اطلاعات را در زمینه فناوری‌ها و نوآوری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه می‌دهد و در عین حال در پی مسیرهای نوینی برای گذار جهانی به یک آینده با انرژی پایدار می‌باشد. از طریق این مرکز ممتاز برای نوآوری و فناوری در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه‌های انجام گرفته را برای اعضای IRENA به ابزارهایی عملی و سیاست محور تبدیل می‌کند. IRENA همچنین به طور پیوسته داده‌های به روز مربوط به هزینه فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر را با کمک برنامه‌ریزی فناوری انرژی، توسعه پروژه و راهبردهای افزایش بازدهی و نوآوری، تولید می‌کند. این امر تعهد آژانس در برابر طیف گسترده‌ای از سهامداران را از طریق معاهده برآورد هزینه تجدیدپذیر[2] IRENA و توسعه REMAP 2030 پشتیبانی می‌کند. REMAP 2030 نقشه راهی برای دو برابر نمودن سهم انرژی تجدیدپذیر در مصرف جهانی انرژی تا سال ۲۰۳۰ می‌باشد.

[1] - IRENA Innovation and Technology Centre
[2] - Renewable Costing Alliance

**مرکز دانش، سیاست و امور مالی[1]**

مرکز دانش، سیاست و امور مالی (KPFC)[2] IRENA خزانه و گنجینه‌ای جهانی از دانش انرژی تجدیدپذیر است و به عنوان یک مرکز برتر در زمینه خط مشی و امور مالی انرژی تجدیدپذیر فعالیت می‌کند. از این طریق، IRENA یک دروازه معلوماتی از آمارهای مربوط به هزینه‌ها، اشتغال، پتانسیل منابع و وضعیت گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر و تحقیقات و داده‌های مربوط به سیاست‌ها، چهارچوب سرمایه‌گذاری و اثرات اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی مترتب بر فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر را فراهم می‌نماید. این بخش تحلیل ارزش اقتصادی شامل درآمدها، شغل‌ها، تبادلات مالی، تراز تجاری و شرایط محلی/ منطقه‌ای را به عهده دارد و سیاستگذاران را در به حداکثر رساندن زنجیره ارزش انرژی تجدیدپذیر به کمک ابزارهایی مورد حمایت قرار می‌دهد. پروژه کلیدی دیگر، اطلس جهانی انرژی تجدیدپذیر[3] است که بزرگ‌ترین ابتکار در برآورد پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهان می‌باشد. پلتفرمی مبتنی بر اینترنت نقشه‌های با کیفیت بالا از منابع را از مؤسسات فنی پیشرو و مدل‌های ساده شده را برای ارزیابی پتانسیل‌های فنی فراهم می‌نماید. هدف از این امر، تبدیل این اطلس به اولین مرجع برای داده‌های منابع[4] و کاتالیستی برای برنامه‌ریزی، توسعه خط‌مشی و سرمایه‌گذاری در بازارهای در حال ظهور و جدید انرژی تجدیدپذیر می‌باشد.

[1] - Knowledge, Policy and Finance Center
[2] - IRENA Knowledge, Policy and Finance Centre
[3] - Global Renewable Energy Atlas
[4] - Resource data

**فعالیت‌های IRENA**

به منظور پاسخگویی به نیازهای شدید و روبه رشد جهانی به انرژی به یک شیوه مؤثر و پایدار، IRENA از کشورهایی که خواهان شتابدهی در به کارگیری انرژی تجدیدپذیر هستند، پشتیبانی می‌کند و به آن‌ها مشاوره ارائه می‌دهد. در جهت نیل به این هدف، سازمان دسترسی به اطلاعات از جمله داده‌های معتبر در زمینه پتانسیل منابع، بهترین تجربیات موجود، مکانیزم‌های مالی اثبات شده و خبرگی فنی پیشرفته را تسهیل می‌کند. IRENA کارگاه‌هایی را همراه با متخصصین جهان سازماندهی می‌کند؛ به کشورهای عضو در طراحی و تدبیر سیاست‌ها و خط‌مشی‌های مناسب و آماده‌سازی پذیرش فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر یاری می‌رساند؛ گزارش‌های تحلیلی با ارزش و ابزارهای اجرایی را تولید می‌کند و به دولت‌ها، سیاست‌ها و خط‌مشی‌هایی را برای شتاب بخشیدن به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر پیشنهاد می‌دهد.

در راستای این اهداف، IRENA گستره‌ای از تولیدات و خدمات را ارائه می‌دهد، از جمله:

- **برآورد آمادگی انرژی تجدیدپذیر** با مشارکت دولت‌ها و سازمان‌های منطقه ی و ارائه سیاست‌های راهنما و تسهیل به اشتراک‌گذاری مطالعات موردی و بهترین نمونه‌های عملی و تجربی؛
- **اطلس جهانی انرژی تجدیدپذیر** ترسیم کشور به کشور منابع انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر خورشیدی، باد و دیگر انواع آن؛
- **همکاری آموزشی انرژی تجدیدپذیر IRENA** یک مرجع برخط[1] بی‌نظیر برای آموزش، یادگیری و موقعیت‌های شغلی در این بخش؛

[1] - On-line

- **خلاصه فناوری‌ها** برای حمایت از خط‌مشی‌ها و سیاست‌های سند محور و گزینه‌های سرمایه‌گذاری؛
- **مطالعات هزینه‌ای** دائماً در حال بسط یافتن و به روز شدن در زمینه گزینه‌های گوناگون انرژی تجدیدپذیر؛
- **REMAP 2030** نقشه راه جهانی برای دو برابر نمودن سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی جهان تا سال ۲۰۳۰؛
- **تسهیل پروژه صندوق IRENA / ابوظبی برای توسعه (ADFD)**[1] یک برنامه وام حمایتی هفت ساله به ارزش ۳۵۰ میلیون دلار امریکا برای تأمین مالی پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر نوآورانه و تکرارپذیر در کشورهای در حال توسعه؛
- **شبکه جهانی جزایر انرژی تجدیدپذیر (GREIN)**[2] که همکاری میان جزایر را در زمینه برنامه‌ریزی و گسترش انرژی تجدیدپذیر تسهیل می‌نماید.

## منابع

[1] IRENA. (2013). Introduction to international renewable agency (IRENA). Retrieved from: www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Brochure2013

[2] IRENA. (Novermber, 2017). Retrieved from: www.irena.org

[1] - IRENA/Abu Dhabi Fund for Development (ADFD) Project Facility
[2] - Global Renewable Energy Islands Network

مقاله مروری

# جایگاه پیل‌های سوختی اکسید جامد در تولید انرژی دنیا

حامد محبی[1]

**چکیده**: پیل‌های سوختی اکسید جامد به دلیل راندمان بالا، آلودگی اندک، دانسیته توان (حجمی و وزنی) بالا، آلودگی صوتی اندک و مزایایی از این دست تجهیزاتی جذاب جهت تبدیل انرژی هستند. این پیل‌ها به دلیل دمای عملکردی بالا این قابلیت را دارند تا از رنج وسیعی از گازها به عنوان سوخت استفاده کنند. علاوه بر این حرارت تولیدی توسط این پیل‌ها کیفیت بسیار مناسبی به منظور استفاده در سیکل‌های ترکیبی و تولید همزمان برق و حرارت دارد. این خصوصیات منحصربفرد باعث شده است تا این پیل‌ها جایگاه ویژه‌ای در تامین انرژی دنیا در آینده پیدا کنند. وجود سند راهبرد ملی توسعه فناوری هیدروژن و پیل سوختی در کشور تاکیدی بر استراتژیک بودن این فناوری می‌باشد، لذا شناخت جایگاه این فناوری در دنیا و روند توسعه آن در کشورهای مختلف جهت دستیابی به اهداف مندرج در سند ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله کاربردهای مختلف این نوع از پیل‌های سوختی، روند توسعه آن در دنیا و همچنین موسسات مهم فعال در این زمینه معرفی شده‌اند.

**کلیدواژه**: پیل سوختی اکسید جامد، کاربرد، توسعه

## ۱- مقدمه

امروزه تولید نیرو و مسائل زیست محیطی وابسته به آن مورد توجه محافل جهانی قرار گرفته است. در حال حاضر انرژی مورد نیاز دنیا عموما از روش‌های سنتی و با استفاده از سوخت فسیلی تولید می‌شود که عمدتا دارای راندمان پایین و آلودگی زیست محیطی زیادی هستند. لذا توجه به سمت روش‌هایی با راندمان بالا و الودگی کم جلب شده است. در سال ۱۹۹۷ دپارتمان انرژی آمریکا برنامه بیست و یکم خود را با توجه

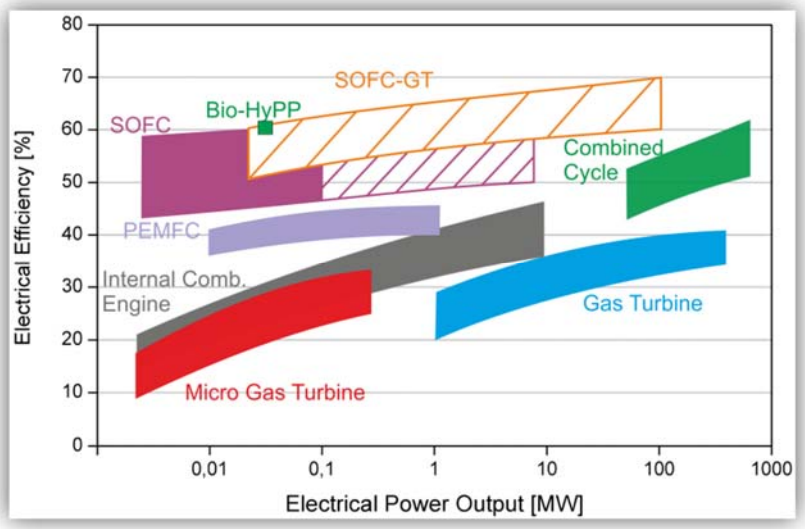
[1] کارشناس پژوهشی گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: hmohebbi@nri.ac.ir

ویژه به سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی تصویب کرد و رویکرد کلی این برنامه توجه به تنوع سوخت و بازده بالای سیستم‌های مورد استفاده (در حد ۷۵٪) بود.

تاریخچه پیل‌های سوختی به ۱۸۳۹ بر می‌گردد که برای نخستین بار ویلیام رابرت از اختلاط هیدروژن و اکسیژن الکتریسیته تولید نمود. این باتری‌های گازی بها با نام پیل‌های سوختی شناخته شدند. به دلیل عدم حضور اجزای متحرک در مکانیزم عمل پیل‌های سوختی می‌توان انتظار عمر بیشتر و کاهش هزینه‌های نگهداری را از این سیستم‌ها داشت. از میان انواع پیل‌های سوختی (جدول ۱)، پیل سوختی اکسید جامد (SOFC) به دلیل دمای کاری بالا، دارا بودن ساختار جامد و قابلیت استفاده از گستره وسیعی از گازها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این نوع از پیل‌های سوختی در سه نوع لوله‌ای، صفحه‌ای و مونولیتیک توسعه داده شده‌اند. از میان این طراحی‌ها پیل‌های سوختی اکسید جامد صفحه‌ای به دلیل سادگی تولید، خواص مکانیکی مناسب و دانسیته توان تولیدی بیشتر، به صورت گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شکل (۱) راندمان پیل سوختی اکسید جامد و محدوده توان تولیدی آن با برخی از روش‌های تولید انرژی مقایسه شده است. در این مقاله نگاهی اجمالی خواهیم داشت به وضعیت کنونی پیل‌های سوختی اکسید جامد در دنیا و کاربرهای متصور بر آن.

جدول (۱): مقایسه انواع پیل‌های سوختی

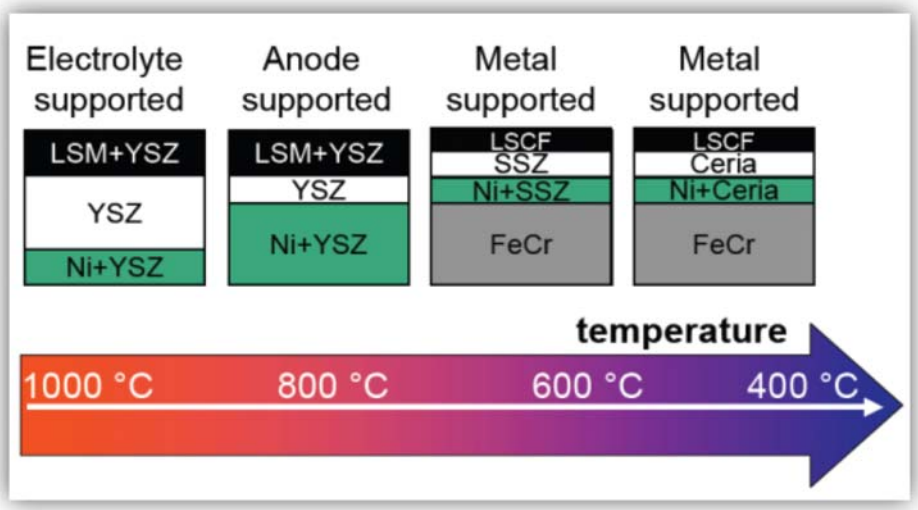
| پارامترها | انواع پیل سوختی | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | اکسید جامد | غشای تبادل یونی | متانولی | اسید فسفریک | آلکالاین | مولتی کربنیت |
| دمای عملیاتی $C^0$ | ۸۰۰-۱۰۰۰ | ۵۰-۱۰۰ | ۶۰-۲۰۰ | ۲۰۰ | ۵۰-۲۰۰ | ۶۵۰ |
| سوخت | $H_2$.$CO$,$CH_4$ و سایر هیدروکربنها | $H_2$ | $CH_3OH$ | $H_2$ | $H_2$ | $H_2$.$CO$,$CH_4$ و سایر هیدروکربنها |
| دانسیته توان | ۰.۱-۱.۵ | ۳.۸-۶.۵ | ۰.۶ | ۰.۸-۱.۹ | ۱ | ۱.۵-۲.۶ |
| هزینه نصب($/Kw) | ۳۰۰۰ | ۱۵۰۰> | - | ۲۱۰۰ | ۱۸۰۰ | ۳۰۰۰-۲۰۰۰ |
| ظرفیت | ۱KW-۱.۷MW | ۳۰W- ۲۵۰kW | ۱W-۱MW | ۱۰۰kw- ۱.۳MW | ۱۰-۱۰۰kW | ۱۵۵kW-۳MW |
| الکترولیت | YSZ | نفیون | غشای پلیمری جامد | اسید فسفریک | KOH | کربنات لیتیم و پتاسیم |
| بازیابی حرارتی | بلی | - | خیر | بلی | - | بلی |
| مزایا | الکترولیت جامد، بازدهی بالا | دانسیته توان بالا، شروع بکار سریع، الکترولیت جامد | عدم نیاز به ریفورمر | کاراکترهای الکترولیت ثابت | دانسیته توان بالا، شروع بکار سریع | بازده بالا، عدم نیاز به کاتالیست فلزی |
| معایب | هزینه بالا، شروع بکار زمانبر | کاتالیست پلاتینیوم گران،حساس به ناخالصی‌ها | دانسیته توان و بازده کم | الکترولیت خورنده،حساس به ناخالصی خوراک | کاتالیست پلاتینیوم گران،حساس به ناخالصی‌ها | هزینه بالا،شروع بکار زمانبر،الکترولیت مایع خورنده |
| مصارف | مسکونی،بازیابهای حرارتی صنعتی،حمل‌ونقل | مسکونی،برق اضطراری بیمارستان،بانک،حمل‌ونقل | تامین نیرو موبایل،لپ‌تاپ | تولید نیرو قابل حمل، حمل‌ونقل،بازیاب حرارتی صنعتی | حمل‌ونقل، ایستگاه‌های فضایی،تولین نیرو قابل حمل | حمل‌ونقل، صنعت،واحدهای تولید نیرو |




شکل (۱): مقایسه راندمان و محدوده تولید توان روش‌های مختلف تولید توان

## ۲- انواع پیل‌های سوختی اکسید جامد

از نظر ساختار سل و نوع طراحی پیل‌های سوختی اکسید جامد را می‌توان به دو دسته عمده تقسیم کرد: صفحه‌ای و لوله‌ای. بسته به نوع پایه نیز پیل‌های سوختی اکسید جامد به دو دسته خود پایه و با پایه خارجی تقسیم می‌شوند. در دسته خودپایه نیز این پیل‌ها به سه دسته آندپایه، الکترولیت پایه و کاتد پایه تقسیم می‌شوند. در شکل (۲) شمایی از انواع این پیل‌ها به همراه تاثیر نوع پیل بر دمای کاری آن نشان داده شده است.




شکل (۲): انواع پیل‌های سوختی به لحاظ پایه و تاثیر آن بر دمای کاری

سوخت‌های متفاوتی را می‌توان در این پیل‌ها به کار گرفت که از جمله آنها می‌توان به هیدروژن، گاز طبیعی، بیوگاز ، اتانول، گاز سنتز حاصل از گازی ساز و ... اشاره کرد. نسبت به دیگر انواع پیل‌های سوختی، پیل سوختی اکسید جامد مقاومت بیشتری در برابر ناخالصی مونواکسید کربن دارد؛ اما به وجود ناخالصی $H_2S$ به شدت حساس است.

همان طور که در شکل (۲) نشان داده شده است دمای کاری پیل به نوع پایه بستگی دارد. دمای عملکردی پایین‌تر امکان استفاده از مواد ارزانتری را برای صفحات اتصال دهنده فراهم می‌کند. ضمن اینکه دمای کاری کمتر منجر به مدیریت حرارتی ساده‌تر و زمان راه اندازی کوتاهتر خواهد شد. با این حال کاهش بیش از حد

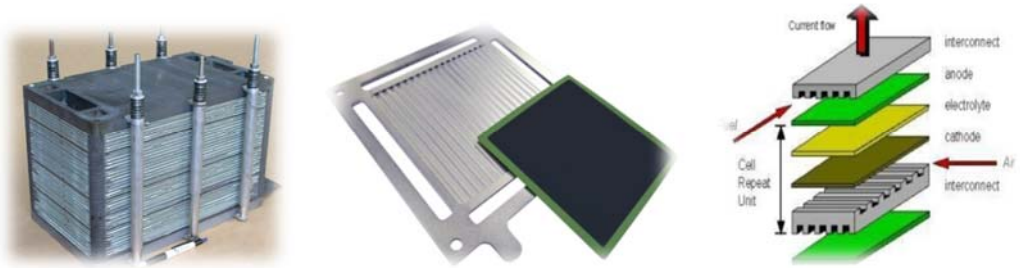
دما بر فعالیت کاتالیست‌ها و هدایت یونی تاثیری به شدت منفی دارد. لذا در انتخاب نوع پایه و دمای کاری این موارد نیز بایستی مد نظر قرار گیرد و از الکترولیت و آندهای سازگار با هر دما استفاده نمود.

به لحاظ شکل سل، پیل‌های سوختی اکسید جامد به دو دسته صفحه‌ای و لوله‌ای تقسیم می‌شوند. در طراحی لوله‌ای (شکل۳)، الکترودها و الکترولیت به شکل یک لوله هستند. ساختار لوله‌ای سل باعث می‌شود تا مشکلات آب بندی در این نوع از طراحی کمتر باشد. در طراحی صفحه‌ای (شکل ۴) الکترودها و الکترولیت به صورت تخت بر روی هم قرار می‌گیرند. چگالی توان نوع صفحه‌ای بیشتر از نوع لوله‌ای است. در طراحی لوله‌ای به علت مسیرهای هدایت الکتتریکی طولانی‌تر افت‌ها بیشتر بوده و ماکزیمم چگالی توان آنها حدود ۳۰۰ میلی وات بر سانتی‌متر مربع است. نوع صفحه‌ای به دلیل داشتن مسیر هدایت کوتاه‌تر دارای دانسیته توان بیشترب هستند. چگالی توان بالاتر و سهولت ساخت باعث شده ات تا پیل‌های سطح بیشتر مورد توجه واقع شوند. اگرچه آب‌بندی یکی از چالش‌های اساسی در پیل‌های سوختی صفحه‌ای است. در جدول (۲) مقایسه‌ای بین پیل‌های سوختی اکسید جامد لوله‌ای و صفحه‌ای انجام شده است. چگالی توان پایین پیل‌های سوختی اکسید جامد لوله‌ای باعث شده است تا از آن‌ها تنها در کاربردهای تولید توان ساکن استفاده شود (شکل ۵) و تمایل برای استفاده از آن‌ها در کاربردهای متحرک کمتر است. نوع صفحه‌ای به دلیل داشتن چگالی توان بالاتر قابلیت استفاده در کاربردهای متحرک را دارا است. اولین کاربرد این نوع پیل‌های سوختی اکسید جامد مربوط به واحدهای توان یدکی آن بورد[1] است که از سوخت خود خودرو استفاده می‌کنند. این سیستمها به دلیل صرفه جویی در مصرف سوخت، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. موسسه دلفی یک APU با استفاه از پیل

[1] - On-board auxiliary power unit (APU)

سوختی اکسید جامد صفحه‌ای ۵ کیلو وات برای تامین برق سیستم تهویه مطبوع کامیونها توسعه داده است شکل(۶).

شکل (۳): شماتیک، سل و استک پیل سوختی اکسید جامد با طراحی لوله‌ای

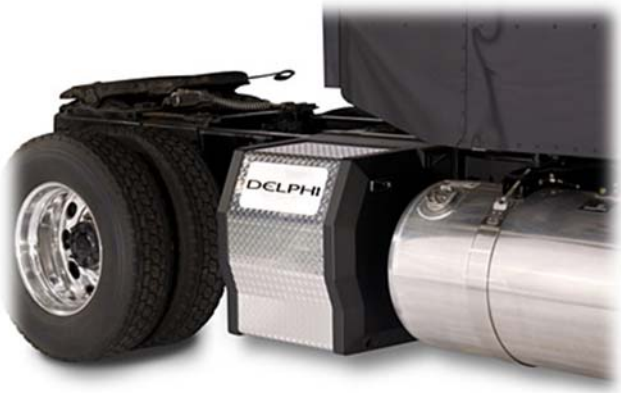



شکل (۴): شماتیک، سل و استک پیل سوختی اکسید جامد با طراحی صفحه‌ای

جدول (۲): مقایسه بین پیل سوختی اکسید جامد صفحه‌ای و لوله‌ای

| | پیل صفحه‌ای | پیل لوله‌ای |
|---|---|---|
| توان ویژه | ۰.۶-۲ | ۰.۲-۰.۲۵ |
| توان حجمی | نسبتا بالا | نسبتا پایین |
| هزینه تولید | نسبتا پایین | نسبتا بالا |
| آببندی دما بالا | لازم | لازم نیست |

شکل (۵): سیستم تولید همزمان انرژی شرکت زیمنس با توان ۱۲۵ کیلووات بر اساس طراحی لوله‌ای




شکل (۶): سیستم APU ساخته شده توسط شرکت دلفی

## ۳- کاربردهای پیل سوختی

به طور کلی استفاده از پیل‌های سوختی اکسید جامد به ۳ گروه اصلی زیر قابل تقسیم است:

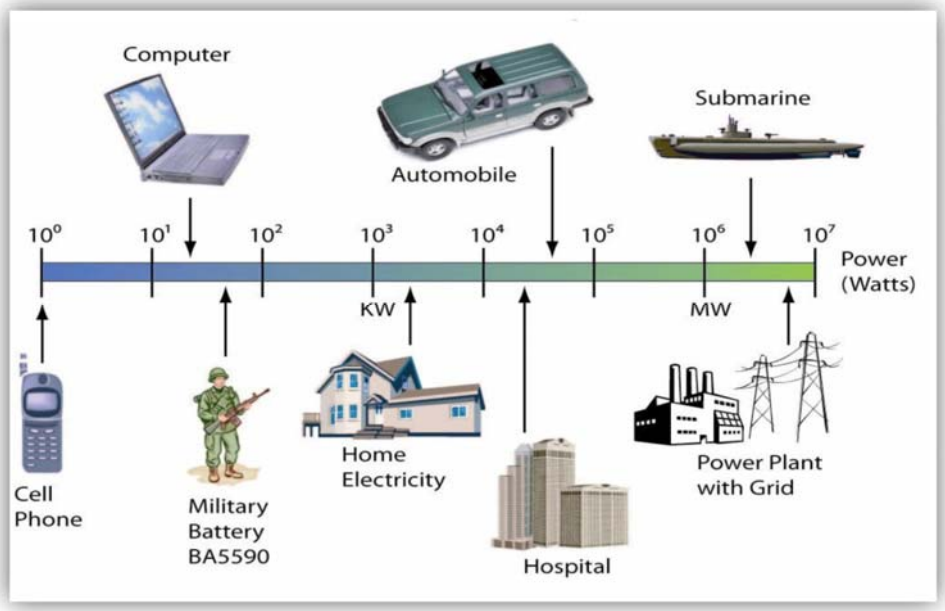
۱- کاربردهای ساکن که خود به دو دسته کاربرد بزرگ (بیشتر از ۱۰ کیلو وات) و کاربرد کوچک (کمتر از ۱۰ کیلو وات) تقسیم می‌شوند.

۲- کاربردهای حمل و نقل

۳- کاربردهای قابل حمل که خود به سه دسته میکرو (کمتر از ۵ وات)، کوچک، (۵ تا ۵۰۰ وات) و بزرگ (بیشتر از ۵۰۰ وات) تقسیم می‌شوند.

در شکل(۷) توزیع کاربردهای پیل سوختی اکسید جامد نشان داده شده است. در حال حاضر استفاده از SOFC در بخش حمل و نقل بیش از کاربردهای ساکن بزرگ است. پیل‌های سوختی اکسید جامد ساخته شده در بخش حمل و نقل، می‌تواند به عنوان سیستم‌های مستقل در APUها برای تامین توان یدکی خودروها به کار روند. با استفاده از این سیستم کارایی سیستم الکتریکی افزایش یافته و در صورت استفاده در کامیون‌های کشنده مصرف سوخت از ۱ گالن بر دقیقه به ۰/۲ گالن بر دقیقه خواهد رسید. استفاده از SOFC در صنعت خودرو نیز در حال افزایش است. این حرکت از سال ۲۰۰۵ آغاز شده است و شرکتهایی مانند تویوتا و سوزوکی و هوندا در حال گسترش این صنعت هستند. پیش‌بینی‌ها حاکی از تولید انبوه این خودروها و توجیح پذیری کامل اقتصادی این طرح‌ها تا سال ۲۰۲۰ است. بیشترین تعداد SOFC های نصب شده مربوط به کاربردهای ساکن کوچک است. این گروه شامل واحدهای ساکن مورد استفاده برای تامین برق خانگی، کاربردهای صنعتی، UPS و کاربردهای نظامی هستند. همانطور که پیشتر اشاره شد، بازده بالا و دمای عملکردی بالا SOFC را برای این کاربردها بسیار مناسب کرده است. از نوع ساکن در بخش‌هایی نظیر تامین انرژی منازل، بیمارستان‌ها، مراکز خرید و نهایتاً واحدهای تولید نیرو در مقیاس‌های گسترده استفاده می‌شود. از

کاربردهای پرتابل SOFC می‌توان به کاربرد در لپ‌تاپ‌ها، موبایل و تجهیزات تولید نیرو برای سربازان اشاره کرد.

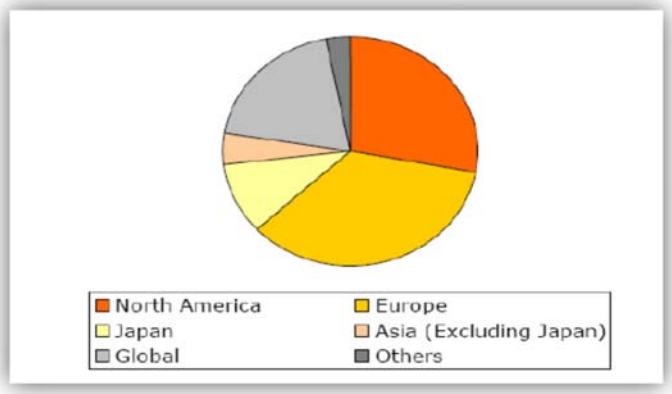



شکل (۷): توزیع کاربردهای پیل سوختی اکسید جامد

## ۴- توسعه پیل سوختی اکسید جامد

از نظر فعالیت بر روی SOFC قاره اروپا با حدود ۳۵ درصد بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است و آمریکای شمالی مقام دوم را دارا است. همان طور که در شکل (۸) دیده می‌شود، حدود ۱۹ درصد فعالیت ها مربوط به شرکت‌هایی است که اعتقاد دارند تجارتشان جهانی است و به کشور خاصی محدود نیست. فعالیت‌ها در زمینه SOFC در زمینه‌های مختلفی صورت می‌گیرد. یافته‌ها نشان می‌دهد که حدود یک سوم فعالیت‌ها در زمینه تحقیق و توسعه است. حدود ۴۲ درصد از فعالیت‌ها با هدف تجاری‌سازی انجام می‌شود. در مقایسه با PEM که حدود ۷۵ درصد از فعالیتها در زمینه تجاری سازی است پیل‌های سوختی اکسید جامد فاصله زیادی از بازار دارند. در سال‌های اخیر توسعه‌های قابل توجهی در زمینه تولید و تجاری‌سازی سیستم

های پیل سوختی اکسید جامد انجام گرفته است و بیشتر شرکتهای فعال در این زمینه در حال گذار از فاز تحقیقاتی و ازمایشگاهی به فاز تجاری سازی هستند و رقابت سختی بین این شرکتها بوجود آمده است. در کشور آمریکا برای مثال شرکت بلوم انرژی[1] سرورهای تامین انرژی بر پایه SOFC را توسعه داده است و در حال حاضر شرکتهایی نظیر google، ebay، Coca cola از این سرورها برای تامین انرژی استفاده می‌کنند (شکل ۹). همچنین دپارتمان انرژی آمریکا بر نامه نقشه راه SECA را برای توسعه پیل سوختی اکسید جامد در آمریکا تدوین نموده است (شکل ۱۰).




شکل (۸): فعالیت بر روی پیل سوختی اکسید جامد بر حسب موقعیت جغرافیایی

شکل (۹): سرورهای انرژی ساخته شده توسط شرکت بلوم انرژی

[1] Bloom Energy

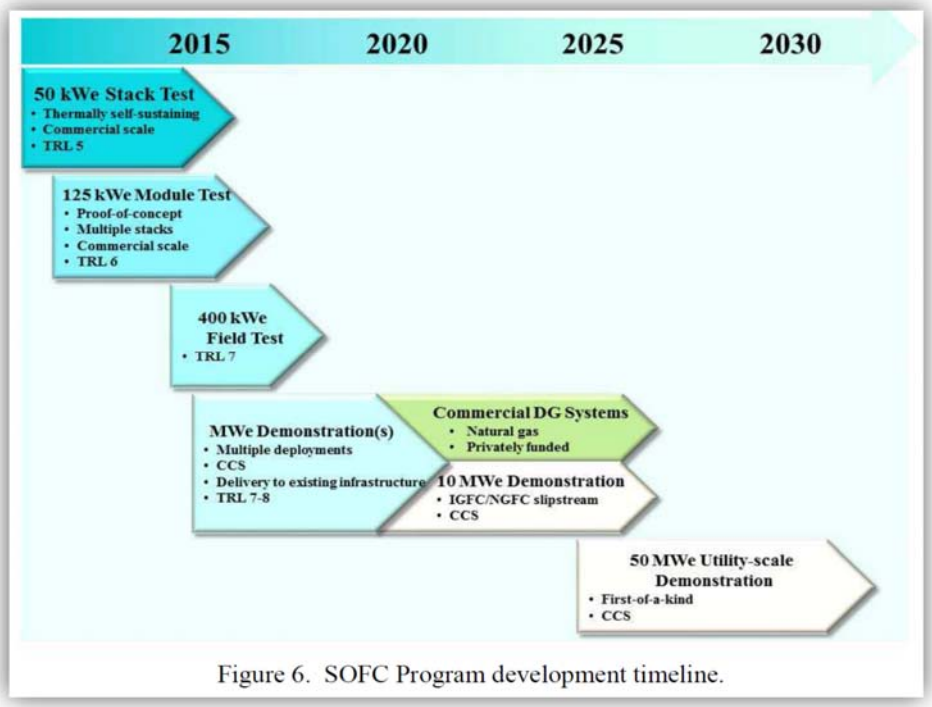


Figure 6. SOFC Program development timeline.

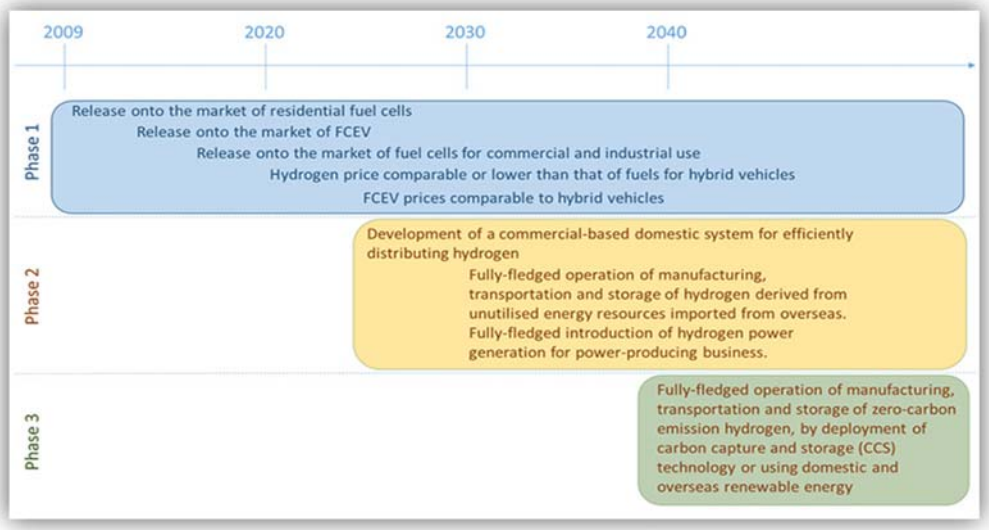
شکل (۱۰): نقشه راه توسعه SOFC در آمریکا

در اروپا کمیسیون اروپا حمایت کننده و عهده‌دار مشارکت در طرح‌های پیل سوختی و هیدروژن است. کمیسیون اروژا در سال ۲۰۰۸ تاسیس شده است و بر اساس طرح‌های اجرایی خود برای پروژه‌های تحقیقاتی، توسعه‌ای و آزمایشگاهی در پنج حوزه اصلی شامل حمل و نقل و زیرساختهای سوخت رسانی، تولید و توزیع هیدروژن، تولید توان ساکن، تولید توان و حرارت ترکیبی و تجاری سازی سرمایه گذاری ۱۱۳ میلیون دلاری انجام داده است. یکی از بزرگترین پروژه‌های اروژا در این زمینه پروژه Callux می‌باشد که بزرگترین پروژه در زمینه کاربردهای انرژی خانگی می‌باشد (شکل ۱۱). در این پروژه همکاری‌هایی با شرکت‌های سازنده دستگاه‌های پیل سوختی با چندین سال تجربه مانند Baxi Innotech، Hexis و Vaillant برای توسعه دستگاه-هاس گرمایی پیل سوختی بر اساس فناوری پیل سوختی اکسید جامد انجام گرفته است. در آسیا دو کشور ژاپن و کره جنوبی پیشتاز این عرصه هستند. کشور ژاپن با پروژه ENE-Farm سعی در تامین بخش عمده

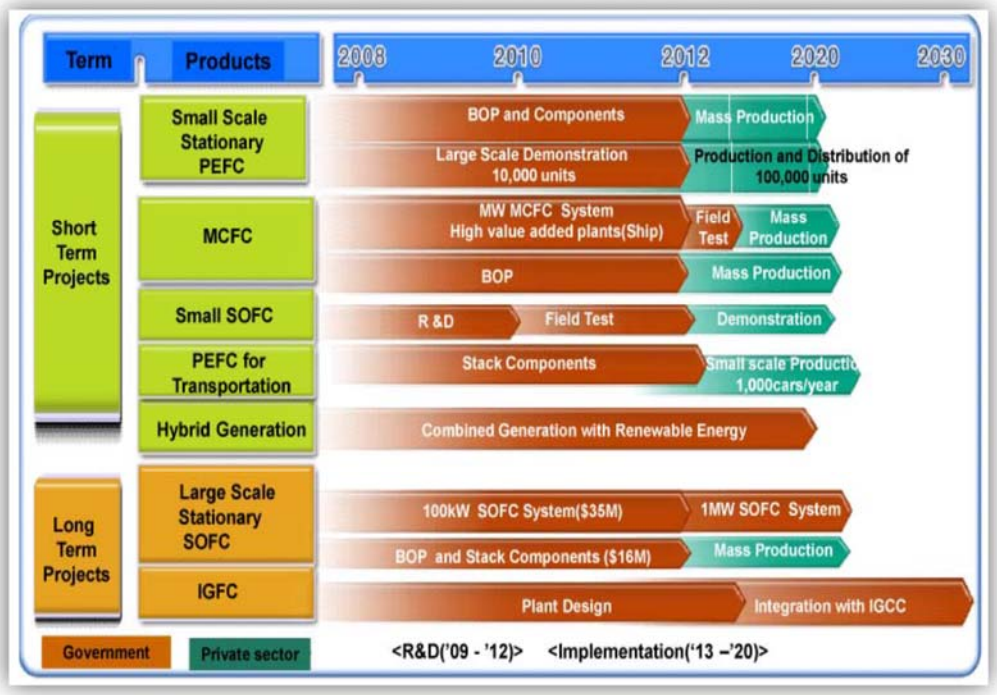
مصارف خانگی از طریق سیستم‌های تولید توان کوچک خانگی دارد. در حال حاضر بیش از ۱۲۰۰۰۰ دستگاه سیستم تولید توان خانگی جهت تامین برق و حرارت در ژاپن نصب شده است (شکل ۱۲). ضمن اینکه هدف ژاپن استقرار اقتصاد هیدروژنی تا سال ۲۰۴۰ است (شکل ۱۳). کره جنوبی نیز در حال سرمایه گذاری وسیعی در حوزه تحقیق و توسعه و تجاری سازی پیل‌های سوختی اکسید جامد با هدف تبدیل شدن به یک کشور پیشرو جهانی در تکنولوژی پیل سوختی می‌باشد (شکل ۱۴).

شکل (۱۱): سیستم‌های تولید توان SOFC ساخته شده در پروژه Callux

شکل (۱۲): نمونه ای از سیستم‌های SOFC نصب شده در ژاپن تحت پروژه ENEfarm

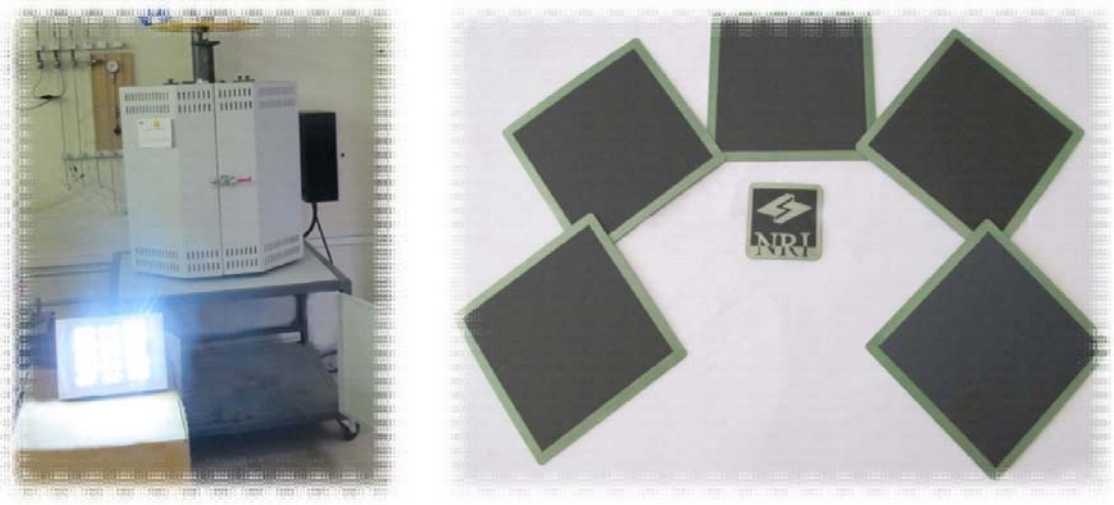



شکل (۱۳): برنامه توسعه فناوری‌های مبتنی بر هیدروژن در ژاپن




شکل (۱۴): نقشه راه پیل سوختی در کره جنوبی

در ایران فناوری پیل‌های سوختی اکسید جامد در ابتدای راه خود قرار دارد. مطابق با سند راهبرد ملی توسعه فناوری هیدروژن و پیل سوختی دانش فنی طراحی و ساخت تک سل پیل سوختی اکسید جامد و طراحی و ساخت اجزای استک پیل سوختی اکسید جامد و همچنین دانش فنی استفاده مستقیم از گاز طبیعی در پیل سوختی اکسید جامد در پژوهشگاه نیرو توسعه داده شده است و یک برنامه جامع به منظور توسعه یک سیستم ۵ کیلووات CHP تدوین شده است (شکل ۱۵). همچنین مراکز دانشگاهی و پژوهشی متعددی نیز در حال تحقیق و توسعه در زمینه SOFC می‌باشند.




شکل (۱۵): سل‌ها و استک ۱۰۰ وات پیل سوختی اکسید جامد ساخته شده در پژوهشگاه نیرو

## ۵- نتیجه‌گیری

پیل‌های سوختی اکسید جامد یکی از کاندیداهای اصلی تامین انرژی در اینده جهان به شمار می‌روند و با توجه به اهمیت اقتصاد هیدروژنی در آینده نقش مهمی را بر عهده خواهند داشت. مطالعات نشان داده است که عمده‌ترین کاربردهای پیل سوختی اکسید جامد شامل سیستم‌های تامین انرژی کوچک خانگی، واحدهای

صنعتی، APU ها و کاربردهای نظامی است. در حال حاضر عمده فعالیت‌های زمینه SOFC در حوزه تحقیق و توسعه در حال انجام است اما رفته رفته فعالیت‌های مربوط به تجاری‌سازی و معرفی این فناوری به بازار در حال اوج گیری است. عمده فعالیتهای مربوط به توسعه پیل سوختی اکسید جامد در اروپا، آمریکا و ژاپن در حال انجام است.

## منابع

[1] *S.E. Veyo, L.A. Shockling, J.T. Dederer, J.E. Gillett, W.L. Lundberg, ASME J. Eng. Gas Turbines Power 124 (2002) 845–849.*

[2] *T. Kabata, M. Nishiura, K. Tomida, S. Koga, N. Matake, et al., 2008 Fuel Cell Seminar & Exposition, Phoenix, 2008, pp. 263–267 (DEM41-2).*

[3] C. Severin, S. Pischinger, J. Ogrzewalla, J. Power Sources 145 (2005) 675–682.

[4] A. Lindermeir, S. Kah, S. Kavurucu, M. Muhlner, Appl. Catal. B: Environ. 70 (2007) 488–497.

[5] Oldham, Charles. U.S. FUEL CELL COUNCIL. INDUSTRY OVERVIEW 2010. Washington, DC : s.n., 2010.

[6] *Vincent, Bill. 2009 FUEL CELL MARKET REPORT. s.l. : U.S. Department of Energy, 2010.*

[7] Kawamoto, Hiroshi. Research and Development Trends in Solid Oxide FuelCell Materials, From the Viewpoint of Electrolyte-Related R&D as Key. Science & Technology Trends, 2008, Vol. 26.

[8] Barrett, Steve.European Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking kickstarts 2010 action plan. Fuel Cells Bulletin, 2010.

[9] *Heyen, Ewald. callux, calluxField Test of Residential Fuel Cells. 2010*

[10] *Ceramic Fuel Cells Limited. [Online] 20 11, 2010. http://www.cfcl.com.au/.*

[11] *B. M. Steinetz, N. P. Bansal, F. W. Dynys, J. Lang, C. C. Daniels, J. L. Pako, S. R. Choi, Solid Oxide Fuel Cell Seal Development at NASA Glenn Research Center,*

مقاله تحقیقاتی

# اصول و مبانی اکتشاف منابع زمین‌گرمایی هیدروترمال

جواد نورعلیئی[1]

**چکیده:** انرژی زمین گرمایی، یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر است که غالباً از سیال داغی که در اعماق زمین قرار دارد بدست می‌آید. این انرژی در نقاط خاصی از کره زمین، متمرکز شده است که برای بهره‌برداری از آن، می بایست عملیات اکتشافی گسترده‌ای را در مناطق دارای پتانسیل انرژی زمین‌گرمایی انجام داد. با طراحی و اجرای مطالعات اکتشافی می‌توان منبع زمین‌گرمایی را با دقت بالایی شناسایی نموده و مقدار ریسک عملیات حفاری چاه های زمین‌گرمایی را نیز به میزان قابل توجهی کاهش داد. عملاً، کاهش ریسک حفاری، مهم‌ترین هدف از طراحی و اجرای برنامه اکتشافی در یک منطقه ناشناخته می‌باشد. مطالعات اکتشافی به ترتیب شامل پنج بخش مطالعات زمین شناسی، مطالعات ژئوشیمیایی، مطالعات ژئوفیزیکی، عملیات حفاری و مطالعات مهندسی مخزن می‌گردد.

**کلیدواژه:** اکتشاف، انرژی زمین‌گرمایی، مبانی، اصول، مدل توسعه

## ۱- مقدمه

امروزه، اهمیت و نقش انرژی در زندگی انسان‌ها بر کسی پوشیده نیست. در واقع، نمی‌توان تصور کرد که اگر جریان برق شهر برای مدتی طولانی قطع شود چه مشکلاتی برای عموم مردم به وجود خواهد آمد. ترافیک، روشنایی شهرها و روستاها، خدمات مخابراتی و ارتباطی، خدمات پزشکی و بسیاری از جنبه‌های زندگی انسان، مختل و یا متوقف خواهد شد. بنابراین، مقوله انرژی از اهمیت بسیار زیادی در زندگی انسان برخوردار می‌باشد.

[1] کارشناس پژوهشی گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: jnouraliee@nri.ac.ir

در حال حاضر، بخش عمده انرژی مورد نیاز بشر از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌گردد که از یک سو آلاینده محیط زیست بوده و از سوی دیگر، ذخائر آنها نیز تجدید شونده نیستند. آلایندگی ناشی از سوخت های فسیلی در کره زمین به حدی رسیده است که موجب تغییرات آب و هوایی گسترده در نقاط مختلف آن شده است. وقوع طوفان‌های بزرگ، خشکسالی‌ها، تغییرات ناگهانی در فصول مختلف سال از جمله عوارض آلودگی‌های ناشی از به کارگیری سوخت‌های فسیلی می‌باشد.

پس از بروز مشکلات ناشی از سوخت‌های فسیلی، محققین از چند دهه قبل به تحقیق و بررسی در خصوص منابع انرژی جایگزین پرداختند که منجر به طراحی و احداث نیروگاه‌های خورشیدی، بادی، جزر و مدی و غیره گردید. یکی از این منابع جایگزین انرژی که هم تجدیدپذیر بوده و هم فاقد آلایندگی می باشد، انرژی زمین‌گرمایی است.

انرژی زمین‌گرمایی، انرژی حرارتی است که درون کره زمین، ذخیره شده است. در واقع، به طور دقیق‌تر، انرژی زمین‌گرمایی، بخشی از حرارت زمین است که توسط بشر می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار گیرد. امروزه، رایج‌ترین شیوه بهره‌برداری از این انرژی، استفاده از بخار یا آب داغ محبوس شده در اعماق زمین می‌باشد. بخار یا آبداغ محبوس در زیر زمین در مخازن زمین گرمایی انباشته شده‌اند. از آن جایی که مخازن زمین‌گرمایی همانند مخازن آب، نفت، گاز و سایر منابع طبیعی مشابه، درون زمین قرار دارند، بنابراین، نخستین گام جهت بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی، شناسایی آن‌ها یا همان اکتشاف منابع زمین‌گرمایی می‌باشد.

اکتشاف منابع زمین‌گرمایی با مطالعات پتانسیل‌سنجی آغاز شده و به تدریج، دانش کارشناسان مربوطه نسبت به منبع/مخزن زمین‌گرمایی مورد بررسی، افزایش می‌یابد. در پایان مطالعات اکتشافی، معمولاً یک یا چند چاه در محدوده مخزن زمین گرمایی حفر شده و نهایتاً با تولید سیال زمین‌گرمایی (آب داغ یا بخار) و مشخص

شدن خصوصیات مخزن شامل مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن، فعالیت‌های اکتشافی خاتمه می‌یابد. در این مقاله، سعی شده است تا مقوله اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی از زوایای مختلف مورد بحث و بررسی قرار گیرد. نکته شایان ذکر آن که، در حال حاضر، برخی از منابع زمین گرمایی نسبت به منابع هیدروترمال از گسترش بسیار کمتری برخوردار می‌باشند، بنابراین، در این مقاله به این دسته از منابع زمین‌گرمایی پرداخته نخواهد شد.

در این مقاله، نخست، تعاریف مورد استفاده در خصوص اکتشاف منابع انرژی زمین گرمایی مورد بررسی قرار گرفته و سپس، به مواردی نظیر نقش اکتشاف در توسعه منابع مذکور، اهداف مورد انتظار از طراحی و اجرای مطالعات اکتشافی، عوامل موثر بر طراحی یک برنامه اکتشافی، انواع روش‌های اکتشافی و نهایتاً مقایسه اکتشاف منابع زمین‌گرمایی و سایر ذخایر طبیعی پرداخته خواهد شد.

## ۲- تعاریف

منابع انرژی زمین‌گرمایی همانند منابع نفت ، گاز، مواد معدنی و آب‌های زیرزمینی در اعماق زمین قرار دارند. بنابراین، منابع طبیعی یاد شده، اصطلاحاً زمین‌شناسی محور می‌باشند. بدین معنی که شناسایی و بهره برداری از آن‌ها مستلزم آگاهی از وضعیت زمین شناسی مناطق اکتشافی دربردارنده منابع فوق الذکر می‌باشد. محققین مختلف، تعاریف متفاوتی از اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی ارائه نموده‌اند. در ادامه به برخی از این تعاریف اشاره می‌گردد.

- در عملیات اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی، بخش‌های زیرزمینی منطقه اکتشافی به منظور شناسایی منابعی که قابلیت تولید برق داشته باشند، مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرند. منابع زمین‌گرمایی، حجمی از سنگ داغ و آب داغ هستند که در اعماق زمین واقع شده‌اند. در برنامه‌های اکتشافی، جهت شناسایی منابع زمین‌گرمایی از فنون و روش‌های اکتشافی متعددی استفاده می‌شود. در پایان یک برنامه اکتشافی، مخازن زمین‌گرمایی کشف می‌شوند. این مخازن، دارای وزن مخصوص کم، تخلخل زیاد، نفوذپذیری زیاد و گسل‌های زیرزمینی هستند که به کمک اطلاعات مذکور می‌توان در منطقه اکتشافی، محدوده میدان زمین‌گرمایی را جهت حفر نخستین چاه اکتشافی در منطقه مطالعاتی، شناسایی نمود، [۱].
- نخستین گام جهت توسعه یک منبع زمین‌گرمایی به منظور تولید برق و یا تولید آب داغ، اکتشاف سطحی و برآورد انرژی حرارتی منبع زمین‌گرمایی مورد بررسی می‌باشد [۲].
- هدف از برنامه اکتشاف منابع زمین‌گرمایی، شناسایی یک منبع حرارت بالا در عمقی از زمین است که بتوان با حفر چاه از آن بهره‌برداری نمود. این منبع زمین‌گرمایی دارای نفوذپذیری بالا، سیستم درز و شکاف و شکستگی مطلوب و حجم قابل توجهی آب است که قادر است حرارت را از اعماق زمین به سطح آن منتقل کند. بنابراین، عملیات اکتشافی و شناسایی محدوده مخزن زمین‌گرمایی، از جنبه اقتصادی برای توسعه یک منطقه زمین‌گرمایی، حیاتی و مهم است [۳].

با در نظر گرفتن اهداف مورد انتظار از یک برنامه اکتشافی، می توان اکتشاف منابع انرژی زمین گرمایی را به صورت زیر تعریف نمود:

" اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی، مجموعه ای از فعالیت‌ها و اقداماتی است که با اجرای آن‌ها، اجزاء و خصوصیات یک مخزن زمین‌گرمایی شناسایی می‌گردد. اجزای مخزن شامل منشأ حرارت، سنگ مخزن، سنگ پوشش، محل نفوذ آبهای جوی، محل صعود سیال زمین‌گرمایی و خروج آن از مخزن مربوطه می‌باشد. خصوصیات مخازن زمین‌گرمایی نیز شامل شکل، عمق، درجه حرارت، فشار، آنتالپی و همچنین ویژگی‌های شیمیایی مخزن می‌باشد. در حین اجرای فعالیت‌های مذکور، از روش‌های اکتشافی علمی و فنی متعددی نیز استفاده می‌شود. معمولاً اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی شامل مطالعات زمین شناسی، مطالعات ژئوشیمیایی، مطالعات ژئوفیزیکی، حفاری و مطالعات مهندسی مخزن می‌گردد."

## ۳- نقش اکتشاف در توسعه منابع انرژی زمین‌گرمایی

بدون شک، توسعه کاربرد انرژی زمین‌گرمایی در یک منطقه، مستلزم وجود یک برنامه جامع می‌باشد. از این رو، معمولاً به منظور توسعه انرژی زمین‌گرمایی، یک برنامه کامل زمان‌بندی شده، تهیه و تدوین می‌گردد. تجربه پروژه‌ها و طرح‌های مشابه در کشورهای مختلف، نشان داده است که اجرای برنامه فوق‌الذکر، ممکن است بین ۶ تا ۱۰ سال به طول بیانجامد.

به عنوان مثال، بانک جهانی، یک نمودار جریانی برای توسعه انرژی زمین‌گرمایی در یک منطقه خاص، ارائه نموده است (شکل ۱). بر اساس این نمودار، مراحل اصلی توسعه بهره برداری از انرژی زمین‌گرمایی به ترتیب از ابتدا تا انتها شامل موارد زیر می‌شوند:

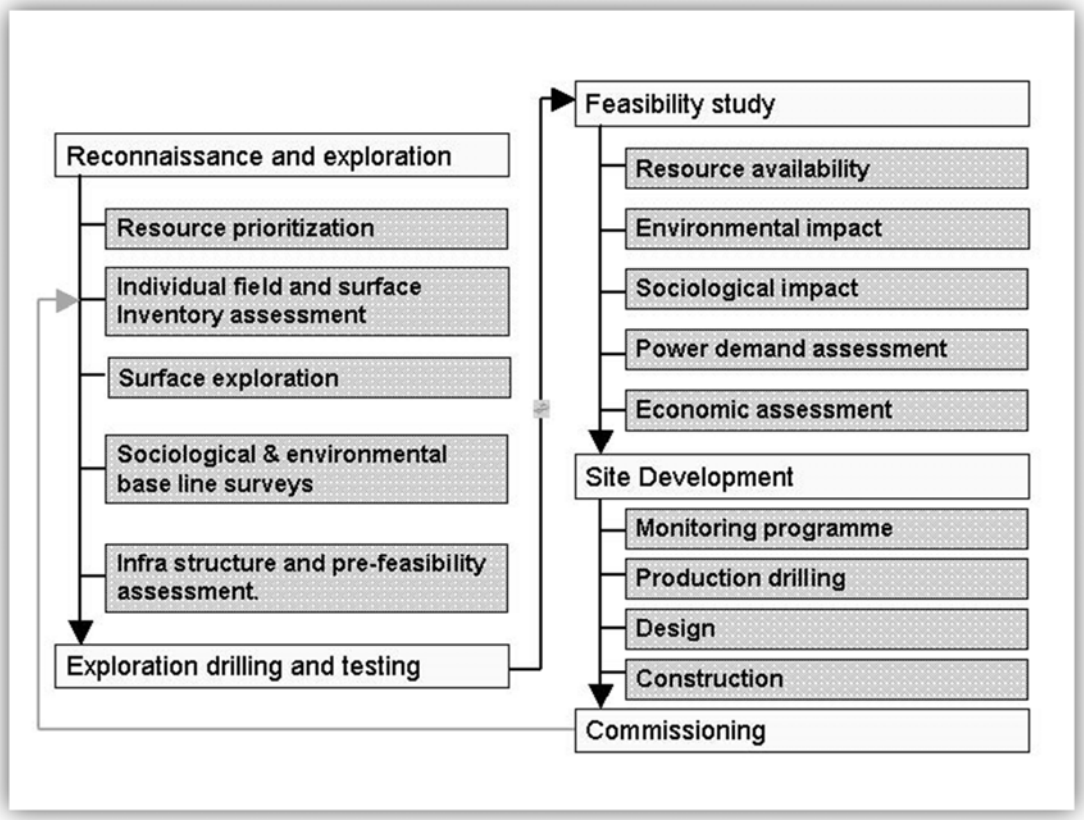
- مطالعات پتانسیل‌سنجی و اکتشاف
- حفاری اکتشافی و آزمایشات چاه‌ها

- مطالعات امکان‌سنجی
- توسعه ساختگاه
- نصب و راه‌اندازی

البته، همان گونه که در شکل نشان داده شده است، پس از خاتمه مراحل توسعه یا به عبارت دیگر پس از نصب و راه‌اندازی نیروگاه و یا طرح‌های کاربرد مستقیم، می‌توان مراحل توسعه را مجدداً در یک منطقه زمین گرمایی جدید، آغاز نمود. این موضوع، با استفاده از یک فلش مجزا در شکل (۱) نمایش داده شده است.

طبق مندرجات نمودار یاد شده، دو مرحله نخست از برنامه توسعه، مرتبط با اکتشاف منابع زمین‌گرمایی بوده و به کمک نتایج این مراحل، می‌توان بخش‌های بعدی برنامه را اجرا کرد.

البته، بدیهی است که برنامه توسعه بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی در کشورهای مختلف، متفاوت می‌باشد. حتی برخی از کشورهایی که در این زمینه، سابقه فعالیت طولانی‌تری دارند در طول زمان و بر حسب تجربیات بدست آمده از پروژه‌های قبلی، برنامه توسعه خود را به روز رسانی می‌نمایند.

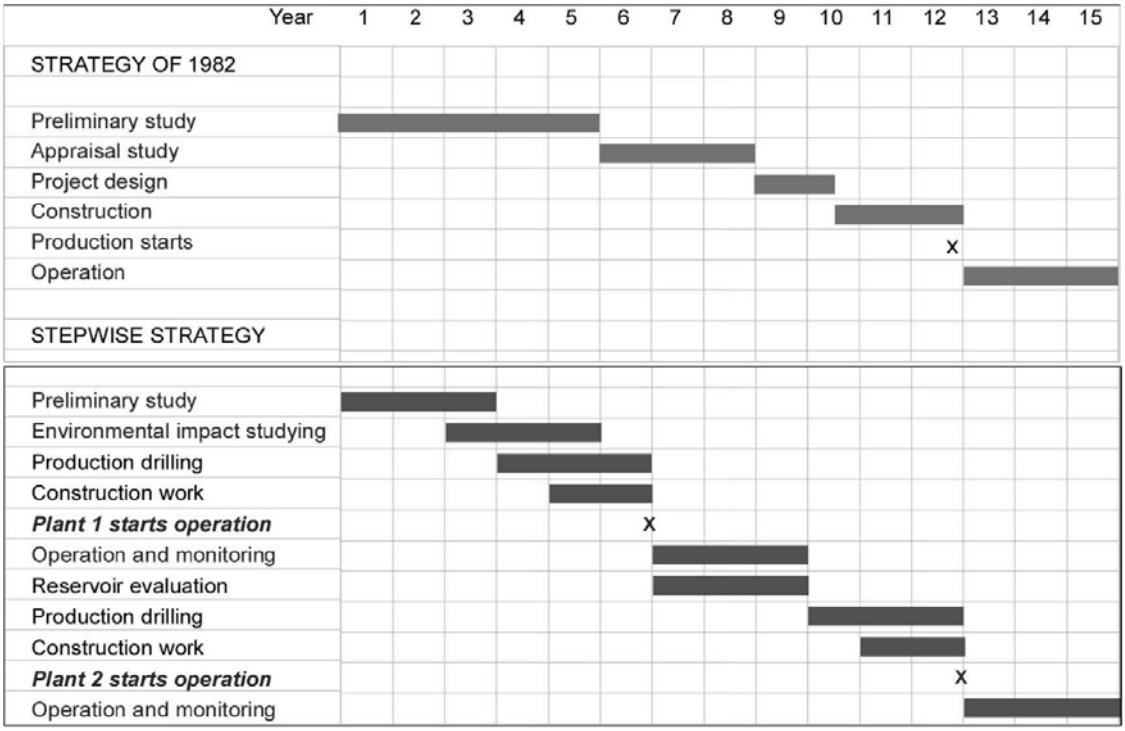



شکل(۱): نمودار جریانی توسعه بهره‌برداری از منابع زمین‌گرمایی هیدروترمال [۳]

در همه برنامه‌های توسعه بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی، همواره اکتشاف، نخستین مرحله از مراحل توسعه انرژی زمین‌گرمایی در یک منطقه می‌باشد. به عنوان مثال، در شکل (۲)، برنامه توسعه بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی در کشور ایسلند نشان داده شده است.

کشور ایسلند، جزیره‌ای آتشفشانی است که در شمال غرب اروپا واقع شده و تقریباً تمام انرژی مورد نیاز خود را از منابع انرژی تجدیدپذیر تأمین می‌کند. انرژی این کشور مشترکاً توسط نیروگاه‌های برقآبی و زمین‌گرمایی تأمین می‌شود. همان گونه که در شکل نشان داده شده است، در هر دو برنامه، نخستین بخش‌های برنامه توسعه

به اکتشاف و حفاری مخزن زمین‌گرمایی مورد بررسی، اختصاص دارد. به عنوان مثال، در برنامه سال ۲۰۰۵، عملیات احداث نیروگاه زمین‌گرمایی، پس از گذشت چهار سال از آغاز برنامه توسعه، شروع می‌گردد.




شکل (۲): مقایسه برنامه‌های توسعه انرژی زمین‌گرمایی در کشور ایسلند در سال‌های ۱۹۸۲ و ۲۰۰۵ [۶]

به دلیل شرایط زمین‌شناسی خاص این کشور (موقعیت آن در پشته‌های میان اقیانوسی واقع در اقیانوس اطلس)، منابع انرژی زمین‌گرمایی بسیار زیادی در این کشور وجود دارند. در ایسلند، تولید برق از منابع انرژی زمین گرمایی از ۴۵ سال قبل آغاز شده است. در حال حاضر، نیروگاه‌های زمین‌گرمایی بیش از ۶۵۰ مگاوات برق تولید می‌کنند که معادل ۲۹٪ کل برق تولید شده در این کشور می‌باشد. علاوه بر این، امروزه گرمایش حدود ۹۰ ٪ منازل مسکونی در ایسلند با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی تأمین می‌شود [۶] همان طور که در شکل

فوق الذکر مشخص می‌باشد اجرای مراحل بعدی توسعه کاربرد انرژی زمین‌گرمایی کاملاً وابسته به نتایج بدست آمده از مطالعات اکتشافی می‌باشد.

به عبارت دیگر، چنانچه نتایج حاصل از مطالعات اکتشافی، اثبات نماید که اجرای مراحل بعدی توسعه، ازنظر فنی و اقتصادی توجیه پذیر نیست، بلافاصله برنامه توسعه متوقف خواهد گردید. بنابراین، طراحی و اجرای برنامه مطالعات اکتشافی منابع انرژی زمین‌گرمایی بسیار مهم می‌باشد. زیرا در صورتی که عملیات اکتشافی به خوبی برنامه ریزی و اجرا شوند، نتایج و دستآورهای حاصل از آن، می‌تواند نقش بسزایی در پیشبرد مراحل آتی پروژه و همچنین صرفه جویی در هزینه‌های پروژه داشته باشد، [۵].

## ۴- اهداف اکتشاف

بدون شک، عملیات اکتشاف منابع زمین گرمایی هیدروترمال به منظور نیل به اهداف مشخصی صورت می پذیرد. با بررسی کتب و مقالات پژوهشی، مشخص شد که اهداف اکتشاف منابع زمین‌گرمایی هیدروترمال به دو دسته کلی (اصلی) و جزئی (فرعی) تقسیم می‌شوند. در ادامه، اهداف مذکور تشریح می‌گردند.

### ۱-۴-اهداف کلی (اصلی)

مطالعات اکتشافی منابع زمین‌گرمایی به منظور تأمین اهداف کلی یا اصلی زیر انجام می‌شوند.

- مشخص نمودن وجود یا عدم وجود حداقل یک منبع زمین‌گرمایی در منطقه اکتشافی
- شناسایی خصوصیات مختلف منبع یا مخزن زمین‌گرمایی مورد نظر

- فراهم نمودن بستر لازم جهت تصمیم‌گیری در خصوص توسعه یا عدم توسعه منطقه زمین گرمایی در دست مطالعه
- کاهش هزینه‌ها و صرفه جویی در سرمایه اختصاص یافته جهت توسعه منابع زمین‌گرمایی مربوطه

## ۲-۴-اهداف جزئی (فرعی)

این دسته از اهداف مطالعات اکتشافی بسیار گسترده‌تر بوده و محققین مختلف، اهداف متنوعی را معرفی نموده‌اند. به عنوان مثال در ادامه به تعدادی از اهداف مطرح شده توسط متخصصین مختلف، اشاره می‌گردد. دی پیپو [۷]، معتقد است که یک برنامه اکتشافی در خصوص منابع زمین‌گرمایی هیدروترمال باید اهداف زیر را محقق نماید:

- شناسایی مناطقی که در اعماق آن‌ها سنگ داغ وجود دارد.
- برآورد حجم مخزن زمین‌گرمایی
- برآورد درجه حرارت مخزن زمین‌گرمایی
- برآورد میزان نفوذپذیری سنگ مخزن
- پیش بینی نوع سیال تولید شده از چاه‌ها (بخار خشک ، آب‌دوغ یا سیال دوفازی)
- مشخصص نمودن وضعیت شیمیایی سیال مخزن
- پیش‌بینی توان تولید برق مخزن مربوطه حداقل برای یک دوره ۲۰ ساله

البته یادآور می‌گردد که آخرین هدف مطرح شده مربوط به منابع زمین‌گرمایی حرارت بالا می‌باشد. بنا به نظر لامب [۸]، اهداف مطالعات اکتشاف منابع زمین‌گرمایی عبارت هستند از:

- شناسایی منبع زمین‌گرمایی
- شناسایی یک مخزن زمین‌گرمایی مطلوب (از نظر تولید سیال) در منطقه اکتشافی
- برآورد اندازه منبع زمین‌گرمایی
- مشخص نمودن نوع میدان زمین‌گرمایی
- مشخص نمودن زون‌های تولید سیال /نواحی صعود سیال
- شناسایی توان حرارتی سیالی که در آینده از چاه‌های حفر شده در میدان زمین‌گرمایی تولید خواهد شد.
- تهیه مجموعه‌ای از اطلاعات در خصوص وضعیت کنونی مخزن زمین‌گرمایی به منظور مقایسه آن با شرایط پس از بهره‌برداری از مخزن
- شناسایی عوامل زیست‌محیطی که ممکن است پس از آغاز بهره‌برداری از مخزن آسیب ببینند.
- شناسایی هر عامل یا پدیده‌ای که ممکن است در زمان توسعه میدان زمین‌گرمایی، مشکل‌ساز شود.

برخی از متخصصین، اهداف اکتشاف منابع زمین‌گرمایی را تا قبل از مرحله حفاری چاه‌ها مطرح کرده‌اند. به عنوان مثال، وانجی [۹]، معتقد است که هدف اصلی و مهم از انجام مطالعات اکتشافی، بدست آوردن حداکثر اطلاعات ممکن درباره خصوصیات یک سیستم (مخزن) زمین‌گرمایی قبل از انجام عملیات حفاری می‌باشد. اطلاعات مورد نظر عبارتند از:

- درجه حرارت مخزن
- میزان نفوذپذیری مخزن
- محدوده دارای ناهنجاری حرارتی روی سطح زمین
- عمق مخزن (یا به عبارت دیگر، عمقی که در آن درجه حرارت سیال مورد نیاز وجود دارد)
- محل نواحی صعود سیال
- ترکیب شیمیایی سیال مخزن

آچینگ [۱۰]، نیز در مقاله خود به بیان اهداف مطالعات اکتشافی منابع زمین‌گرمایی تا قبل از عملیات حفر چاه ها می‌پردازد. وی نیز معتقد است که اکتشاف منابع هیدروترمال به منظور تامین اهداف زیر صورت می‌پذیرد:

- شناسایی مناطقی که دارای پتانسیل انرژی زمین‌گرمایی هستند
- برآورد درجه حرارت تقریبی مخزن
- مشخص نمودن خصوصیات میان مخزن
- مشخص نمودن هندسه (شکل اندازه و عمق مخزن)
- رتبه‌بندی مناطق امیدبخش شناسایی شده بر اساس اولویت توسعه
- تهیه یک مدل مفهومی از مخزن زمین‌گرمایی
- تعیین موقعیت حفر چاه‌ها
- مشخص نمودن وضعیت زیست محیطی منطقه اکتشافی قبل از آغاز بهره‌برداری از مخزن

## ۵- عوامل موثر بر طراحی یک برنامه اکتشافی

برای اجرای مطالعات اکتشافی در یک منطقه ناشناخته می‌بایست پیش از آغاز مطالعات، برنامه اکتشافی مدونی را طراحی و تهیه نمود. بدیهی است که برنامه مذکور از بخش‌های مختلفی تشکیل شده که از نظر زمانی، اجزای آن دارای تقدم و تاخر خاص می‌باشند. به عنوان مثال معمولاً یک برنامه اکتشافی منابع زمین گرمایی با اجرای مطالعات زمین‌شناسی آغاز می‌شود. زیرا به کمک نتایج حاصل از آن می‌توان نتایج بدست آمده از مطالعات ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی را تفسیر و بررسی کرد.

با این وجود نمی‌توان یک برنامه اکتشافی خاص را برای همه مناطق زمین‌گرمایی به کار برد. زیرا خصوصیات و ویژگی‌های مناطق زمین‌گرمایی متفاوت یکسان نبوده و لذا معمولاً برنامه اکتشافی هر منطقه با سایر مناطق، کاملاً مشابه نمی‌باشد. عوامل مختلفی در تهیه یک برنامه اکتشافی تاثیر می‌گذارند.

لامب [۸]، معتقد است که هر یک از عوامل زیر می‌توانند در طراحی یک برنامه اکتشافی نقش داشته باشند:

- نرخ طرح‌های بهره‌برداری پیش بینی شده
- سطح فناوری در دسترس
- منابع مالی اختصاص یافته
- موقعیت مخزن زمین‌گرمایی
- زمان در نظر گرفته شده

این در حالی است که بنا به نظر وانجی [۹]، علاوه بر عوامل مذکور، سایر مواردی که در تهیه و تدوین یک برنامه اکتشافی و انتخاب روش‌های مطالعاتی جهت بررسی منابع زمین‌گرمایی نقش دارند شامل موارد زیر می شوند:

- شرایط زمین‌شناسی منطقه اکتشافی
- در دسترس بودن نشانه‌های سطحی
- وضعیت جغرافیایی منطقه اکتشافی از نظر ناهمواری

## ۶- انواع روش‌های اکتشافی منابع انرژی زمین‌گرمایی

مطالعات اکتشافی منابع انرژی زمین‌گرمایی شامل روش‌های بسیار زیادی می‌گردد اما می‌توان آن‌ها را در ۵ دسته کلی‌تر تقسیم‌بندی نمود. بدین ترتیب، عملیات اکتشاف منابع زمین‌گرمایی هیدروترمال شامل مطالعات زمین‌شناسی، مطالعات ژئوشیمایی، مطالعات ژئوفیزیکی، عملیات حفاری و مطالعات مهندسی مخزن می‌گردد. در ادامه، توضیح مختصری در خصوص هر یک از روش‌های یاد شده ارائه می‌گردد.

### ۶-۱- مطالعات زمین‌شناسی

نخستین گام جهت شناسایی منابع زمین‌گرمایی، انجام مطالعات زمین‌شناسی در منطقه دربرگیرنده‌ی آن‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر با شناخت وضعیت زمین‌شناسی منطقه اکتشافی، می‌توان به نحو مؤثرتر و بعضاً اقتصادی‌تری از انرژی مخزن زمین‌گرمایی موجود در منطقه، بهره‌برداری نمود. در واقع، برای هر مخزن زمین گرمایی، چه حرارت بالا و چه حرارت پایین، شناخت وضعیت زمین‌شناسی، زمین‌ساختاری و رژیم تکتونیکی

منطقه دربرگیرنده‌ی مخزن، نقش بسیار مهمی در شناسایی مخزن مذکور خواهد داشت. مطالعات زمین شناسی منابع زمین‌گرمایی به دو دسته مطالعات زمین‌شناسی سطح الارضی و تحت الارضی تقسیم می‌گردد.

## ۶-۲- مطالعات ژئوشیمیایی

با انجام مطالعات ژئو شیمیایی در خصوص سیال زمین‌گرمایی و سنگ مخزن می‌توان به تعداد زیادی از سؤالات مرتبط با مخزن زمین‌گرمایی و تولید سیال از آن پاسخ داد. بررسی‌های ژئوشیمیایی، نقش مهمی در شناسایی منابع زمین‌گرمایی و توسعه آن دارد. مطالعات ژئو شیمیایی شامل نمونه برداری و تجزیه شیمیایی آب و گاز چشمه‌های آبگرم، آب سرد و سایر شواهد سطحی انرژی زمین گرمایی موجود در منطقه اکتشافی است. پس از بدست آمدن نتایج آزمایش‌های فوق می‌توان موارد زیر را مشخص کرد: منبع زمین گرمایی مربوطه حاوی آب‌داغ است یا بخار؟ حداقل درجه حرارت منبع زمین‌گرمایی چقدر می باشد؟ پیش‌بینی گردد که میزان یکنواختی آب ورودی به سیستم چه میزان است؟ خواص شیمیایی سیال داخل مخرن چیست؟ منشأ سیال مخزن چیست؟

## ۶-۳- مطالعات ژئوفیزیکی

مطالعات ژئوفیزیکی در کاوش و توصیف میدان‌های زمین‌گرمایی و تعیین محل حفر چاه‌های مختلف، پس از مراحل زمین‌شناسی سطحی و جمع آوری اطلاعات ژئوشیمیایی انجام می‌گیرد. ژئوفیزیک، علم ترکیب و ساختار درونی زمین و شناخت فرآیندهایی است که سیمای بیرونی زمین را تعیین کرده است. کاربرد مطالعات ژئوفیزیکی در شناسایی، کنترل و بازنگری منابع زمین‌گرمایی می‌باشد. به این منظور از روش‌های اکتشافی

ژئوفیزیکی مختلفی در کلیه مراحل اکتشاف منابع زمین‌گرمایی استفاده می‌شود که اساس آن‌ها اندازه‌گیری خواص فیزیکی زمین (سنگ‌ها و سیال‌ها)، اعم از درجه حرارت، میزان هدایت حرارتی، مقاومت الکتریکی، سرعت امواج لرزه‌ای، میزان شدت میدان مغناطیسی و چگالی است. به کمک روش‌های ژئوفیزیکی می‌توان به طور مستقیم یا غیر مستقیم به وضعیت زمین ساختاری مناطق اکتشافی و موقعیت مخازن زمین‌گرمایی در آن‌ها پی برد. به طوری که امروزه، بدون انجام اکتشافات ژئوفیزیکی و استفاده از نتایج آن، نمی‌توان یک چاه زمین‌گرمایی را حفر نمود.

### ۶-۴- عملیات حفاری

پس از مطالعات مختلف زمین‌شناسی و انجام آزمایش‌های متفاوت بر روی نمونه‌های سنگ‌ها و مطالعاتی نظیر مطالعات ژئوفیزیکی، زمین‌شناسان به وجود منابع زمین‌گرمایی در یک محل پی می‌برند. سپس با توجه به موقعیت محل و بررسی تمام جوانب، حفاری در آن منطقه شروع می‌گردد. بدیهی است در حوزه‌های شناخته شده با در نظر گرفتن برنامه توسعه‌ای و حدود منابع زیرزمینی اقدام به حفر چاه‌های جدید می‌گردد. معمولاً آن دسته از چاه‌های زمین‌گرمایی که قبل از تثبیت وجود منابع حفر می‌گردند به نام چاه‌های اکتشافی معروف می‌باشند (Exploration well) حفاری چاه‌های اکتشافی معمولاً با دقت بیشتری نسبت به حفر یک چاه در محل شناخته شده صورت می‌گیرد و خود دلایل بسیار دارد که مهم‌ترین آن ناشناخته بودن وضع لایه‌های زیرزمینی در حوزه جدید می‌باشد. در حین حفر این نمونه چاه‌ها و حتی پس از اتمام حفاری سعی می‌گردد که حتی الامکان اطلاعات بیشتری (و با دقت بیشتر) کسب گردد چرا که اعمال بعدی که در این چنین حوزه‌هائی صورت می‌گیرد این اطلاعات را به عنوان مبنا در پیش خود دارد.

### ۶-۵- مطالعات مهندسی مخزن

پس از حفر چاه‌های اکتشافی در منطقه مورد بررسی، حجم زیادی از اطلاعات در خصوص چاه‌های یاد شده بدست می‌آید که به کمک آن‌ها می‌توان مخزن زمین‌گرمایی را بهتر شناسایی نموده و میزان توان حرارتی آن را بررسی کرد. این مطالعات بر روی موارد زیر متمرکز می‌باشد: مشخص کردن محل حفر چاه‌های آتی، انداز گیری مشخصات چاه‌ها، تفسیر داده‌های بدست آمده از چاه‌ها، مشخص کردن نحوه تولید سیال از مخزن، پیش‌بینی رفتار مخزن نسبت به تولید سیال از آن.

در حقیقت، هدف نهایی از مطالعات مهندسی مخزن، تعیین بهینه‌ترین شرایط تولید سیال از مخزن به نحوی است که بتوان حداکثر توان حرارتی مخزن را تحت شرایط مناسب اقتصادی، مورد بهره‌برداری قرار داد. مهم‌ترین فعالیت یک مهندس مخزن، پیش‌بینی رفتار چاه/ مخزن در دست بررسی می‌باشد. برای این منظور، مهم‌ترین سؤالات قابل طرح، شامل این موارد می‌گردند: کدام برنامه، مناسب‌ترین برنامه جهت توسعه مخزن در دست مطالعه است؟ چه تعداد چاه در منطقه باید حفر شود تا اهداف مناسب‌ترین برنامه توسعه مخزن، محقق شود؟ الگوی حفر چاه‌ها چگونه باید باشد؟ مقدار تولید سیال چاه‌ها چقدر باید باشد؟ چه مقدار از حرارت مخزن قابل برداشت است؟ نحوه تغییر حرارت در مخزن بر اثر بهره‌برداری از آن چگونه خواهد بود؟

## ۷- مقایسه اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی و اکتشاف سایر ذخایر طبیعی

به طور کلی روش‌های اکتشافی منابع زمین‌گرمایی از روش‌های متداول در اکتشاف منابع معدنی و همچنین منابع نفت و گاز، اقتباس شده است. در واقع مشخصات زمین گرمایی بیشتر شبیه خصوصیات زمین‌شناسی منابع زمین‌گرمایی بیشتر شبیه خصوصیات زمین‌شناسی ذخایر معدنی می‌باشد. به عبارت دیگر تصور بر این

است که شرایط زمین‌شناسی منابع زمین‌گرمایی مشابه شرایط زمین‌شناسی ذخایر معدنی جوان از نظر زمان زمین‌شناسی می‌باشد. از این رو بخش عمده روش‌های اکتشافی مخازن زمین‌گرمایی بسیار شبیه تکنیک‌های ذخایر معدنی می‌باشد.

از سوی دیگر مراحل اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی با اکتشاف منابع نفت و گاز نیز شباهت‌ها و اختلافاتی دارد که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌گردد.

یکی از مهم‌ترین نشانه‌های سطحی انرژی زمین‌گرمایی چشمه‌های آبگرم می‌باشد حال آن که در میادین نفتی، به جای چشمه‌های آبگرم، چشمه‌های نفتی وجود دارد که البته در برخی از آن‌ها، همراه با نفت، قیر نیز از زمین خارج می‌شود. امروزه به منظور بهره‌برداری از مخازن زمین‌گرمایی چاه‌هایی با اعماق مختلف (حداکثر تا عمق ۵ کیلومتر) حفر می‌شوند که در حفاری آن‌ها از فناوری‌های به کار رفته در حفر چاه‌های نفت و گاز استفاده می‌شود [۱۱].

به منظور شناسایی منابع نفت و گاز، قبل از حفاری چاه‌های عمیق، از روش‌های ژئوفیزیکی متعددی استفاده می‌شد که نتایج حاصل از آن‌ها تا حدود زیادی متخصصین اکتشاف را از وجود منابع نفت و گاز مطمئن می سازد.

روش‌های ژئوفیزیکی یاد شده در اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی نیز به کار می‌روند. اما به دلیل وجود ویژگی‌های خاص منابع مذکور، میزان کارایی روش‌های ژئوفیزیکی به اندازه کاربرد آن‌ها در شناسایی منابع نفت و گاز نبوده و لذا نمی‌توان به نتایج حاصل از آن‌ها همانند مطالعات اکتشافی نفت و گاز اتکاء نمود، [۱۲].

حفاری چاه‌های زمین‌گرمایی فرآیندی پیچیده و پرهزینه به شمار می‌رود. اگر چه عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز و منابع زمین‌گرمایی مشابه هم به نظر می‌رسند، اما با یکدیگر اختلافاتی نیز دارند. بنا به دلیل زیر

شرکت‌های فعال در حوزه حفاری چاه‌های زمین‌گرمایی، از روش‌ها و ابزاری متفاوتی برای حفر چاه‌های مذکور استفاده می‌کنند، [۱۲].

- تفاوت خصوصیات زمین‌شناسی منابع انرژی زمین‌گرمایی با منابع نفت و گاز
- قطر زیاد چاه‌های زمین‌گرمایی جهت افزایش صرفه اقتصادی آن‌ها

در جدول (۱)، موارد اختلاف عملیات اکتشاف منابع نفت و گاز با اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی ارائه شده است.

جدول (۱): مقایسه عملیات اکتشاف منابع نفت و گاز و منابع زمین گرمایی با تأکید بیشتر بر عملیات حفاری (Taylor, 2007)

| عامل مقایسه | حفاری منابع نفت و گاز | حفاری منابع انرژی زمین‌گرمایی |
|---|---|---|
| تکنسین‌های حفاری* | آموزش دیده و متخصص در حوزه حفاری چاه‌های نفت و گاز | آموزش دیده و متخصص در حوزه حفاری چاه‌های زمین‌گرمایی |
| قطر چاه‌ها | معمولاً قطر چاه‌ها کم‌تر (زیرا چاه‌های دارای قطر کم‌تر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه هستند) | قطر چاه‌ها بیش‌تر (زیرا هدف نهایی از حفاری استخراج حرارت بیش‌تری می‌باشد، بنابراین، قطر چاه‌ها را بیش‌تر در نظر می‌گیرند تا حجم سیال تولیدی افزایش یابد) |
| سازندهای زمین‌شناسی | معمولاً در سازندهای نرم رسوبی حفر می‌شود | معمولاً در سازندهای سخت آتش‌فشانی رسوبی حفر می‌شود |
| حرارت چاه‌ها | نسبتاً پایین | بالا |
| نوع مته | - الماسه<br>- دارای مخروط دوار | دارای مخروط دوار |
| روش‌های اکتشافی مورد استفاده (قبل از حفر چاه‌ها) | - ارزه‌نگاری سه بعدی<br>- هدف، شناسایی طاقدیس‌های حاوی نفت و گاز می‌باشد. | - روش اکتشافی خاصی مد نظر نبوده و می‌بایست از مجموعه‌ای از روش‌های اکتشافی استفاده نمود.<br>- هدف اصلی از اکتشاف منابع زمین‌گرمایی، شناسایی نشانه‌های سطحی است که بیانگر وجود ناهنجاری حرارتی در اعماق منطقه اکتشافی باشند. |

* به دلیل حجم آموزش‌های تخصصی و تفاوت تکنیک‌های مورد استفاده در حفاری چاه‌های نفت و گاز و منابع زمین‌گرمایی، نمی‌توان تکنسین یک حوزه را در حوزه دیگر به کار گرفت.

## ۸- نتیجه‌گیری

مطالعات اکتشافی منابع زمین‌گرمایی هیدروترمال، نخستین مرحله از برنامه توسعه بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی در یک منطقه ناشناخته می‌باشد. مهم‌ترین هدف از اجرای مطالعات اکتشافی، شناسایی دقیق خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مخزن زمین‌گرمایی مورد مطالعه می‌باشد. هر چند که عملیات حفاری نیز جزء یک برنامه اکتشافی است اما هدف اصلی از انجام مطالعات قبل از حفاری، کاهش ریسک عملیات حفر چاه

های زمین‌گرمایی می‌باشد. عوامل مختلفی بر یک برنامه اکتشافی تأثیر می‌گذارند که از جمله آن‌ها می‌توان به میزان سرمایه تخصیص یافته، شرایط زمین‌شناسی منطقه اکتشافی و زمان اختصاص یافته، اشاره نمود. یک برنامه اکتشافی استاندارد معمولاً به ترتیب شامل مطالعات زمین‌شناسی، مطالعات ژئوشیمیایی، مطالعات ژئوفیزیکی، عملیات حفاری و مطالعات مهندسی مخزن می‌گردد. بدیهی است که هر چه این برنامه، بهتر و دقیق‌تر طراحی و اجرا شود، از یک سو اطلاعات جامع‌تر و کامل‌تری از مخزن زمین‌گرمایی در دست مطالعه، بدست خواهد آمد و از سوی دیگر، هزینه مطالعات اکتشافی نیز تا سر حد ممکن کاهش خواهد یافت.

## مراجع


[1] www.en.openei.org

[2] www.geothermal.is/geothermal exploration

[3] www.petroleum-economist.com

[4] World Bank, 2009: World Bank geothermal webpage: www.worldbank.org

[5] Ragnarsson A. 2015. Geothermal Development in Iceland 2010-2014, in Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, April 19-24, 2015.

[6] Benedikt Steingrímsson, B., Ármannsson, H., Guðmundsson, A.,"Phases of Geothermal Development in Iceland", Paper to be presented at Workshop for Decision Makers on Geothermal Projects and Management, organized by UNU-GTP and KengGen in Naivasha, Kenya, 14-18 November, 2005.

[7] DiPPipo, R., 2007: Geothermal Power Plants, Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact, Second edition.

[8] Lumb, J.T., 1981. Prospecting for Geothermal Resources, In: Rybach, L., and Muffler, L.,J.P., eds., Geothermal Systems, Principles and Case Histories, J. Wiley & Sons, New York, pp. 77-108.

[9] Wanjie, C., 2012: Overview of Geothermal Surface Exploration Methods, Presented at short course VIII on Exploration for Geothermal Resources, Organized by UNU-GTP, GDC and Kengen, at Lake Bogoria and Lake Naivasha, Kenya, Oct. 27- Nov. 18, 2012.

[10] Ochieng, L., 2013: Overview of Geothermal Surface Exploration Methods, Presented at short course VIII on Exploration for Geothermal Resources, Organized by UNU-GTP, GDC and Kengen, at Lake Bogoria and Lake Naivasha, Kenya, Oct. 31- Nov. 22, 2013.

[11] Goldstein, B., G. Hiriart, R. Bertani, C. Bromley, L. Gutierrez-Negrin, E. Huenges, H. Muraoka, A. Ragnarsson, J. Tester, V. Zui, 2011: Geothermal Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[12] Taylor, M., The State of Geothermal Technology, Part I: Subsurface Technology, Geothermal Energy Association, 2007, 80 pp.

مقاله تحقیقاتی

# ارزیابی عملکرد نیروگاه‌های خورشیدی متصل به شبکه در نقاط مختلف ایران

علی هاشمی، صابر طالاری، محمد زاغری، آرش حق پرست کاشانی، پدیده سرفراز، حمیدرضا صادقی شقاقی، حامد شفاعتی[1]

**چکیده:** با گسترش سیستم‌های خورشیدی متصل به شبکه دستورالعملی برای ارزیابی عملکرد دوره‌ای این سیستم‌ها در کشور موردنیاز است. این مقاله ابتدا به ارائه‌ی دستورالعملی جامع با توجه به استانداردهای بین‌المللی برای بررسی عملکرد سیستم‌های خورشیدی در محل سایت می‌پردازد. سپس نتیجه‌ی ارزیابی چهار سایت نمونه در شهرهای کرمان، بندرعباس، بیرجند و اصفهان را تشریح می‌کند. به طوریکه علاوه بر مسائل عملکردی سیستم‌ها ایرادات نصب نیز که بر عملکرد سیستم تأثیرگذار است بیان می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** سیستم‌های خورشیدی متصل به شبکه، آزمون‌های ارزیابی، استاندارد، ماژول، بازرسی

## ۱- مقدمه

استانداردهای بین‌المللی شناسایی شده‌اند که برای جلوگیری از تکرار مجدد و کمک به تألیف استانداردهای بومی برای پیاده‌سازی سیستم‌های خورشیدی می‌توان به آن‌ها در گزارشات اشاره کرد. در این مقاله با توجه به استانداردهای بین‌المللی نظیر IEC 62446 و IEC 61829 آزمون‌های موردنیاز ارزیابی سیستم‌های خورشیدی متصل به شبکه معرفی شده‌اند. همچنین نتایج بدست آمده از ارزیابی عملکرد چند نیروگاه خورشیدی نصب‌شده در سراسر کشور ارائه و بررسی شده و در نهایت نکات برجسته هرکدام از سایت‌ها به صورت خلاصه تشریح و نتیجه‌گیری لازم از این آزمون‌ها بیان می‌شوند. ادامه مقاله به صورت زیر تقسیم‌بندی

[1] کارشناس پژوهشی گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Ahashemi@nri.ac.ir

شده‌است: در بخش ۲ آزمون‌های موردنیاز شامل آزمون‌های بازرسی بصری، همبندی و مقاومت زمین، مقاومت عایقی، جریان- ولتاژ، راندمان اینورتر و بازرسی با دوربین مادون قرمز تشریح می‌شوند. نتیجه‌ی آزمون‌ها بر روی سیستم خورشیدی شهرهای کرمان، بیرجند، بندرعباس و اصفهان در بخش ۳ بیان شده است و در بخش آخر جمع‌بندی از نتایج به‌دست‌آمده ارائه شده است.

## ۲- آزمون‌های مورد نیاز برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک

استانداردهای IEC 62446، IEC 61829 و IEC 61683 آزمون‌های مورد نیاز و روش‌های انجام آن برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه در محل سایت را تعیین کرده‌اند. همچنین در سال‌های اخیر نصب و راه‌اندازی نیروگاه‌های خورشیدی متصل به شبکه در کشور در حال افزایش است. به منظور اطمینان از عملکرد مناسب و ایمن، هرکدام از این سیستم‌ها نیازمند بازرسی‌های دوره‌ای می‌باشند. این بازرسی‌ها شامل آزمون‌های مختلفی است که استانداردهای بین‌المللی آن‌ها را مشخص کرده‌اند [۲و۱]. در این آزمون‌ها موارد مختلفی از سیستم نظیر همبندی زمین، مقاومت عایقی، ولتاژ، جریان و توان مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. به گونه‌ای که مقادیر اندازه‌گیری‌شده در حالت بهره‌برداری با مقادیر نامی و قابل انتظار مقایسه می‌شوند. به این ترتیب میزان افت عملکرد سیستم و نیز عیوب احتمالی شامل تجهیزات معیوب شناسایی شده و اقدامات اصلاحی برای رفع آنها تعیین می‌شوند. همچنین مقادیر اندازه‌گیری شده در هر دوره ارزیابی ذخیره خواهند شد تا در دوره‌های بعدی ارزیابی بتوان از آنها برای تشخیص میزان افت عملکرد سیستم استفاده کرد. علاوه بر تجهیزات مرسوم اندازه‌گیری، تجهیزاتی نیز مخصوص سیستم‌های فتوولتائیک در بازار ارائه شده‌است که به تسهیل انجام آزمون‌ها کمک زیادی می‌کند [۴و۳]. به طور مثال دستگاه‌های ترسیم نمودار جریان – ولتاژ و توان – ولتاژ به طور اختصاصی برای سیستم‌های خورشیدی ساخته شده‌اند که قابلیت‌های مناسبی از قبیل

اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و توان در حالت بهره‌برداری و نیز در شرایط استاندارد (دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و تابش ۱۰۰۰ وات بر مترمربع) را دارند. همچنین این دستگاه‌ها می‌توانند منحنی‌های جریان – ولتاژ و توان – ولتاژ را در مدت چند ثانیه رسم کنند.

علاوه بر اینها به دلیل اینکه نصب و راه‌اندازی نیروگاه‌های خورشیدی در ایران نسبتاً نوپاست و استانداردهای لازم برای آن در دست تهیه می‌باشد لذا در این آزمون‌ها می‌توان با بازرسی‌های بصری مشکلات احتمالی در اجرا و پیاده‌سازی این سیستم‌ها را مطابق با استانداردها نحوه‌ی ارزیابی نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری‌ها برای امکان انحراف از مقادیر مورد انتظار را بیان کرده‌اند. در ادامه هرکدام از این آزمون‌ها معرفی می‌شوند.

## ۲-۱- آزمون بازرسی بصری

قبل از شروع فرآیند آزمون‌ها ابتدا می‌بایست کل سایت را به صورت چشمی مورد بررسی قرار داد. در این مرحله سطح پنل‌ها برای وجود ترک، سوختگی و شکستگی کنترل می‌شوند. وجود هرگونه سایه‌اندازی بر روی پنل‌ها توسط عوامل محیطی و یا به دلیل عدم استفاده از وسایل مناسب هنگام نصب بررسی می‌شود. کابل‌ها و مسیر سیم‌کشی باید برای یافتن هرگونه خوردگی عایق، قطع‌شدگی و یا اتصالات غیراستاندارد کنترل شوند. همچنین تابلوهای AC و DC و نیز کلیدها و فیوزهای حفاظتی به کار رفته داخل آن می‌بایست از نظر صحت اتصالات بازدید شوند. محل قرارگیری اینورترها با توجه نوع اینورتر، سازه از نظر خوردگی و زنگ‌زدگی و همچنین سیستم مونیتورینگ و هواشناسی از نظر صحت عملکرد از دیگر مواردی است که در بازرسی بصری باید مورد بررسی قرار گیرند [۱].

## ۲-۲- آزمون همبندی و مقاومت زمین

این آزمون برای بررسی مقاومت زمین و همبندی زمین به کار می‌رود. زمین مناسب سیستم فتوولتائیک خطر برق‌گرفتگی را برای پرسنل و همچنین تأثیرات صاعقه را بر روی تجهیزات کاهش می‌دهد. در یک سیستم زمین قسمت‌هایی از سیستم مانند قاب ماژول فتوولتائیک، تابلو و سایر تجهیزات فلزی که نباید حامل جریان باشند به زمین وصل می‌کنند. طبق استاندارد این مقاومت باید کمتر از ۲ اهم باشد [۱].

## ۲-۳- آزمون مقاومت عایقی

با استفاده از آزمون مقاومت عایقی صحت سیم‌بندی، احتمال نشتی جریان و احتمال افت عایق کابل‌ها بررسی می‌شوند. مطابق با استاندارد IEC 62446 با توجه به ولتاژ نامی سیستم مقدار ولتاژ ۲۵۰، ۵۰۰ یا ۱۰۰۰ ولت به سیستم داده شده و مقدار مقاومت عایقی اندازه‌گیری می‌شود. برحسب میزان ولتاژ نامی سیستم مقاومت عایقی بیش از ۰/۵ یا ۱ مگااهم مجاز خواهد بود. به دلیل اعمال ولتاژ بالا در این آزمون تمهیدات ایمنی ویژه‌ای می‌بایست لحاظ شوند. جدول (۱) استاندارد مربوط به اندازه‌گیری مقاومت عایقی را مشخص می‌کند.

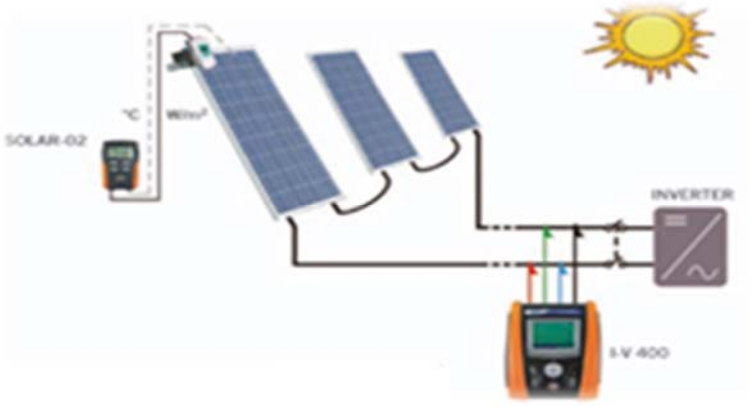
جدول (۱): ولتاژ آزمون مقاومت عایقی برای سیستم‌های خورشیدی و مقاومت مجاز [۱]

| ولتاژ سیستم(ولت) $V_{oc,stc} \times 1.25$ | ولتاژ آزمون (ولت) | حداقل مقاومت عایقی (مگا اهم) |
|---|---|---|
| کمتر از ۱۲۰ | ۲۵۰ | ۰/۵ |
| ۱۲۰-۵۰۰ | ۵۰۰ | ۱ |
| بیشتر از ۵۰۰ | ۱۰۰۰ | ۱ |

## ۲-۴- آزمون جریان – ولتاژ

در این مشخصه‌های الکتریکی هرکدام از رشته‌های سیستم خورشیدی شامل جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدارباز، حداکثر توان و ... در شرایط بهره‌برداری اندازه‌گیری می‌شوند. با استفاده از داده‌های دماسنج و تابش‌سنج این مقادیر به شرایط استاندارد تبدیل می شوند تا با مقادیر نامی در شرایط استاندارد مقایسه شوند. در صورت انحراف زیاد مشخصه‌ها از مقادیر نامی می‌بایست هرکدام از ماژول‌های رشته تحت آزمون قرار گیرند [۱].

در این آزمون می‌توان منحنی جریان – ولتاژ و توان – ولتاژ را برای هر رشته ترسیم کرد و مشکلات احتمالی نظیر افزایش مقاومت سری پنل‌ها، کاهش مقاومت شنت پنل‌ها، اتصال کوتاه دیود بایپس و غیره شناسایی خواهند شد. این آزمون به شدت به دما و تابش حساس می‌باشد و می‌بایست در تابش مناسب (بالای ۶۰۰ $W/m^2$) انجام شود. همچنین کلید سمت DC می‌بایست برای این آزمون قطع باشد [۲]. در شکل (۱) نحوه انجام این آزمون نشان داده‌شده است [۳].




شکل (۱): نحوه انجام تست جریان – ولتاژ

### ۲-۵- آزمون راندمان اینورتر

در این آزمون با استفاده از یک دستگاه تحلیل‌کننده‌ی توان مشخصه‌های الکتریکی متناوب شامل هارمونیک‌های جریان و ولتاژ، ضریب توان و جریان و ولتاژ هرکدام از فازها اندازه‌گیری می‌شوند. به طور همزمان می‌توان مشخصه‌های سمت DC مانند جریان، ولتاژ و توان را نیز اندازه‌گیری کرد و در نهایت می‌توان راندمان الکتریکی اینورتر که نسبت توان AC به DC می‌باشد را بدست آورد [۵].

### ۲-۶- آزمون بازرسی با دوربین مادون قرمز

این آزمون برای تست حرارتی سیستم به منظور تشخیص نقاط گرم[۱]، ترک‌خوردگی و اتصالات داخلی معیوب ماژول‌ها و همچنین معایب موجود در دیودهای بایپس، کلیدها و اتصالات تابلوهای AC و DC مفید می‌باشد. در این آزمون سیستم می‌بایست در حال عملکرد عادی و متصل به شبکه باشد و همچنین تابش خورشید از ۴۰۰ وات بر مترمربع کمتر نباشد. با استفاده از دوربین مادون قرمز از جلو و عقب ماژول‌ها تصویربرداری کرده و نقاط با اختلاف دمایی بالا شناسایی می‌شوند (شکل ۲) [۱].

شکل (۲): تصویربرداری با مادون قرمز

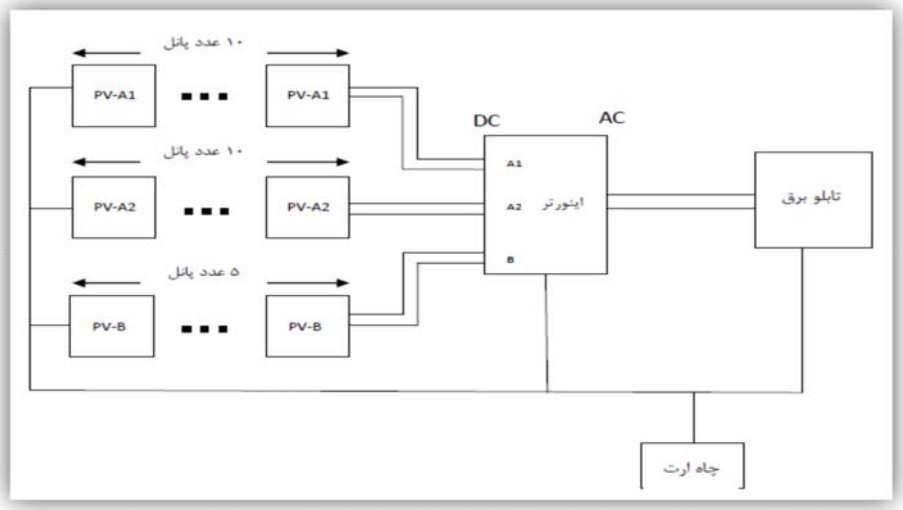
[۱] -Hot Spot

## ۳- ارزیابی سیستم‌های خورشیدی نصب‌شده در ایران

به صورت نمونه چند نیروگاه خورشیدی با مقیاس‌های مختلف در موقعیت‌های جغرافیایی متفاوت در ایران انتخاب شدند و مطابق با استانداردها و دستورالعمل‌های بین‌المللی عملکرد هرکدام مورد ارزیابی قرار گرفت. در این قسمت نتایج ارزیابی ۴ سایت در شهرهای کرمان، بندرعباس، بیرجند و اصفهان تشریح می‌شوند.

### ۳-۱- کرمان

سیستم خورشیدی ۵ کیلوواتی در شهر کرمان شامل ۲۵ ماژول مونوکریستالین ۲۰۰ واتی ایرانی (مدل آریا سولار) به همراه یک اینورتر ۵ کیلووات SMA برای اتصال به شبکه می‌باشد. این سیستم از سه رشته تشکیل شده‌است به طوری که ۲ رشته شامل ۱۰ ماژول سری و یک رشته شامل ۵ ماژول سری می‌باشد. نمودار سیم‌کشی این سیستم در شکل (۳) آمده است.



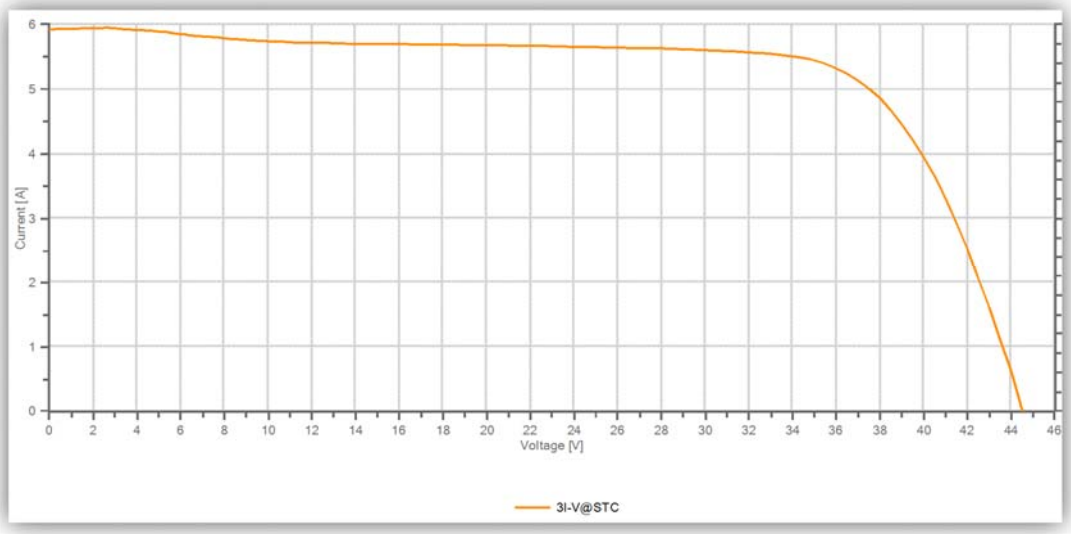

شکل (۳): نمودار سیم‌کشی سیستم خورشیدی کرمان

این سیستم دارای تجهیزات ارت می‌باشد اما با استفاده از آزمون مقاومت زمین مشاهده شد سیستم ارت به درستی متصل نبوده و در بعضی نقاط مقاومت زمین بسیار بالا بوده است. بنابراین به دلیل نبود سیستم ارت مناسب انجام آزمون مقاومت عایقی امکان‌پذیر نمی‌باشد. نتایج آزمون جریان- ولتاژ برای هرکدام از رشته‌ها در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): نتایج آزمون ولتاژ – جریان سایت کرمان

| رشته | A1 | A2 | B |
|---|---|---|---|
| تعداد ماژول | ۱۰ | ۱۰ | ۵ |
| ولتاژ مدار باز نامی(V) | ۴۵۷ | ۴۵۷ | ۲۲۸,۵ |
| جریان اتصال کوتاه نامی(A) | ۵,۴۲ | ۵,۴۲ | ۵,۴۲ |
| توان نامی(kW) | ۲ | ۲ | ۱ |
| ولتاژ مدار باز استاندارد(V) | ۴۴۹,۷ | ۴۴۵,۴ | ۲۲۴,۶ |
| جریان اتصال کوتاه استاندارد(A) | ۵,۸۷ | ۵,۹۴ | ۵,۷۲ |
| توان استاندارد(kW) | ۱,۹۸۱ | ۱,۹۱۳ | ۰,۹۵ |

در این آزمون تحت شرایط بهره‌برداری مقادیر مختلف اندازه‌گیری شده و با فرمول‌های مشخص شرایط استاندارد (دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و تابش $W/m^2$ ۱۰۰۰) تبدیل شده‌اند که نتایج تبدیل در قسمت پایین جدول آورده شده‌اند. این مقادیر می‌بایست با مقادیر نامی در بالای جدول اختلاف زیادی نداشته باشند. همچنین نتایج رشته‌های یکسان نباید بیش از ۵درصد با یکدیگر اختلاف داشته باشند [۱]. نکته قابل توجه نتایج بدست آمده مقادیر جریان استاندارد است که از مقدار نامی بیشتر شده‌است که این به دلیل تابش نه چندان مطلوب حدود $W/m^2$ ۳۰۰ در زمان اندازه‌گیری می‌باشد. آزمون اینورتر نیز بازدهی آن را ۹۴/۳ درصد و مجموع هارمونیک جریان را ۱/۹ درصد نشان می‌دهد در شکل (۴) نمودار جریان – ولتاژ استاندارد رشته A2 نشان داده شده است:



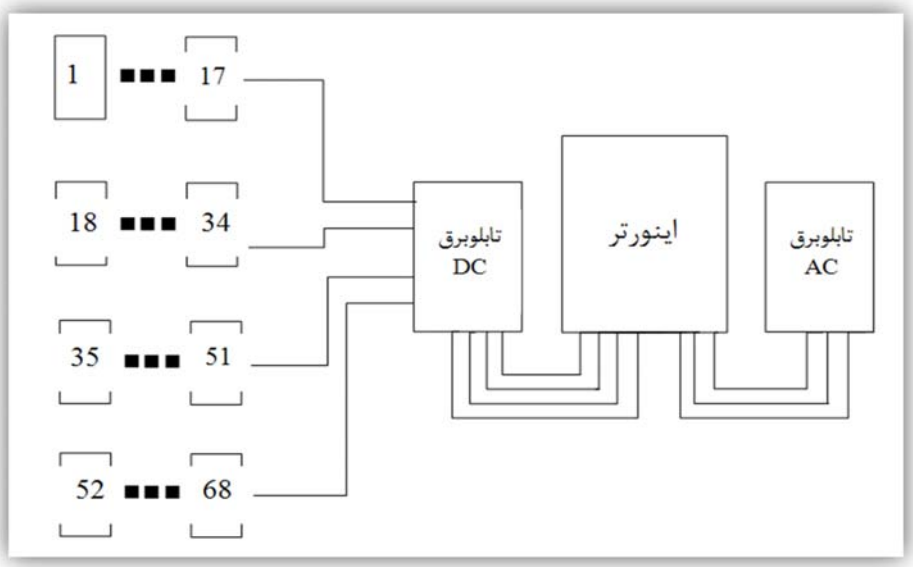

شکل (۴): نمودار جریان- ولتاژ استاندارد رشته A2

با بازرسی بصری از سایت کرمان موارد زیر مشاهده شد:

- بخشی از کابل DC تنها با استفاده از چسب برق به سایر کابل‌ها متصل بود.
- فیوزهای DC از نوع حفاظتی نبودند و تنها در بی‌باری برای قطع و وصل استفاده می‌شوند.
- کابل‌های DC توسط بست‌های کمربندی غیرمقاوم در برابر اشعه ماورابنفش به سازه مهار شده‌اند.
- امکان زنگ‌زدگی و خوردگی در سازه وجود دارد.
- برچسب‌زنی و شناسایی در بخش‌های مختلف سیستم اعمال نشده‌است.
- اینورتر با صرف زمان زیادی به شبکه وصل می‌شد.

### ۳-۲- بندرعباس

سیستم خورشیدی ۱۷ کیلوواتی بندرعباس دارای ۶۸ ماژول ۲۵۰ واتی منوکریستالین LG می‌باشد به طوری که ۱۷ماژول سری تشکیل یک رشته را می‌دهند. به این ترتیب ۴ رشته به اینورتر ۱۷ کیلوواتی SMA متصل است. نمودار سیم‌کشی سیستم در شکل(۵) آورده شده‌است.



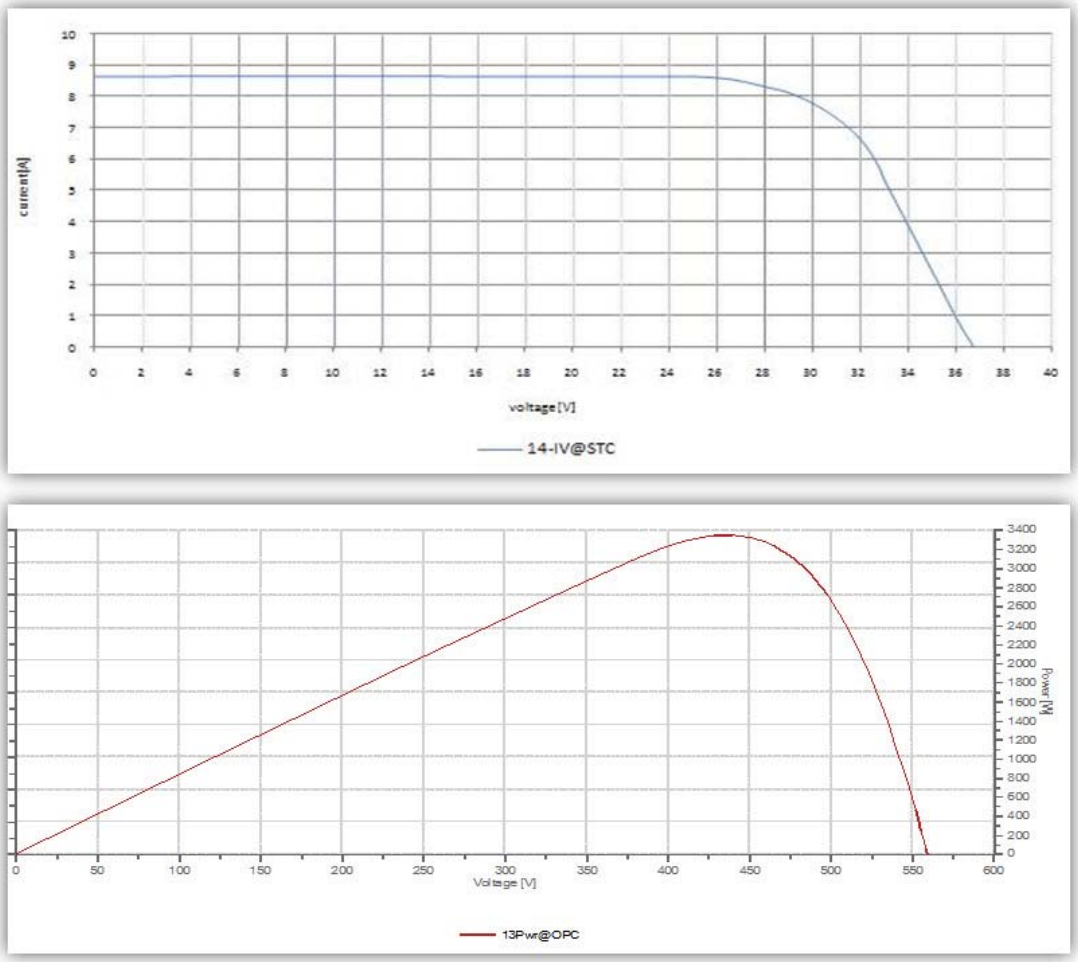

شکل (۵): نمودار سیم‌کشی سیستم خورشیدی بندرعباس

نیروگاه خورشیدی بندرعباس نیز دارای سیستم ارت نبود و بنابراین قابلیت انجام آزمون عایقی نیز امکان‌پذیر نخواهد بود. نتایج آزمون جریان – ولتاژ برای هرکدام از رشته‌ها در جدول (۳) تشریح شده است. همچنین نمودار جریان- ولتاژ و توان- ولتاژ برای رشته ۲ نیز در شکل (۶) آمده است. در هنگام اندازه‌گیری تابش در حدود $W/m^2$ ۸۵۰ و دمای ماژول ۵۸ درجه بوده است. مطابق جدول (۳) و شکل (۶) اختلاف

زیادی بین مقادیر استاندارد و نامی نمی‌باشد، بنابراین سیستم در وضعیت عملکردی مطلوبی می‌باشد. همچنین راندمان اینورتر ۹۵/۵۷ درصد و مجموع هارمونیک‌های جریان تقریباً ۲ درصد بوده است.

جدول (۳): نتایج آزمون ولتاژ – جریان سایت بندرعباس

| رشته | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
|---|---|---|---|---|
| تعداد ماژول | ۱۷ | ۱۷ | ۱۷ | ۱۷ |
| ولتاژ مدار باز نامی(V) | ۶۳۰,۷ | ۶۳۰,۷ | ۶۳۰,۷ | ۶۳۰,۷ |
| جریان اتصال کوتاه نامی(A) | ۸,۷۶ | ۸,۷۶ | ۸,۷۶ | ۸,۷۶ |
| توان نامی(kW) | ۴,۲۵ | ۴,۲۵ | ۴,۲۵ | ۴,۲۵ |
| ولتاژ مدار باز استاندارد(V) | ۶۱۳,۷۱ | ۶۲۵,۲۶ | ۶۲۹,۸۵ | ۶۲۹,۰۲ |
| جریان اتصال کوتاه استاندارد(A) | ۸,۶۸ | ۸,۶۴ | ۸,۶۵ | ۸,۵۹ |
| توان استاندارد(kW) | ۴,۲۲۳ | ۴,۲۲۵ | ۴,۲۰۰ | ۴,۲۰۲ |

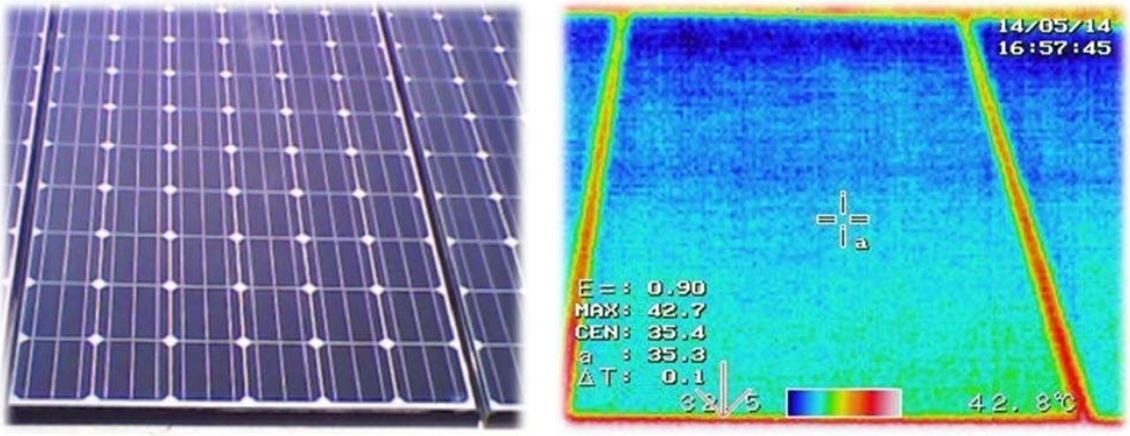



شکل (۶): نمودار جریان – ولتاژ و توان – ولتاژ استاندارد برای رشته دوم از سایت بندرعباس

آزمون دوربین مادون قرمز نیز سلامت ماژول‌ها را تأیید کرد. همانطور که در شکل (۷) مشهود است اختلاف دمای بین کمترین و بیشترین دما در سطح ماژول حدود ۷ درجه است که یکنواختی حرارتی سطح را نشان می‌دهد. در این سایت از طریق بازرسی بصری علاوه بر نکات ۱، ۳ و ۵ سایت کرمان نکات دیگری نیز قابل توجه بود:

- به دلیل نبود دستورالعمل بهره‌برداری و شستسوی مدام سطح ماژول‌ها بسیار کثیف بود.

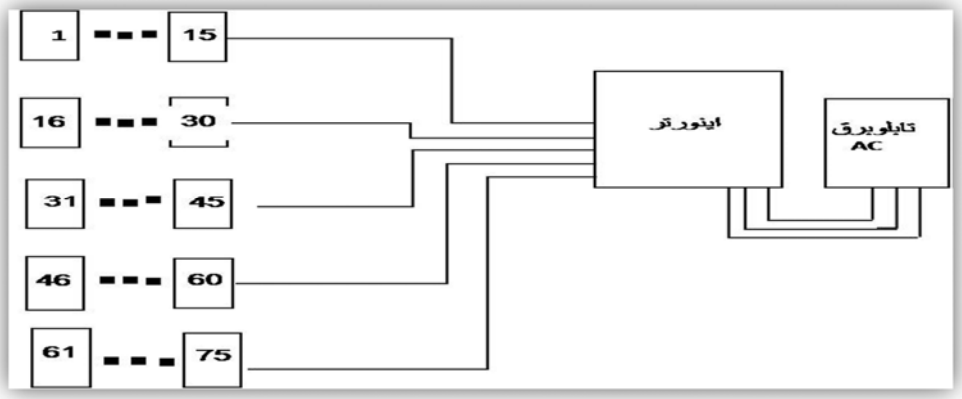
- نداشتن حفاظ فیزیکی برای ماژول‌ها در محل نصب.




شکل (۷): تصاویر مادون قرمز از یکی از ماژول‌های سایت بندرعباس

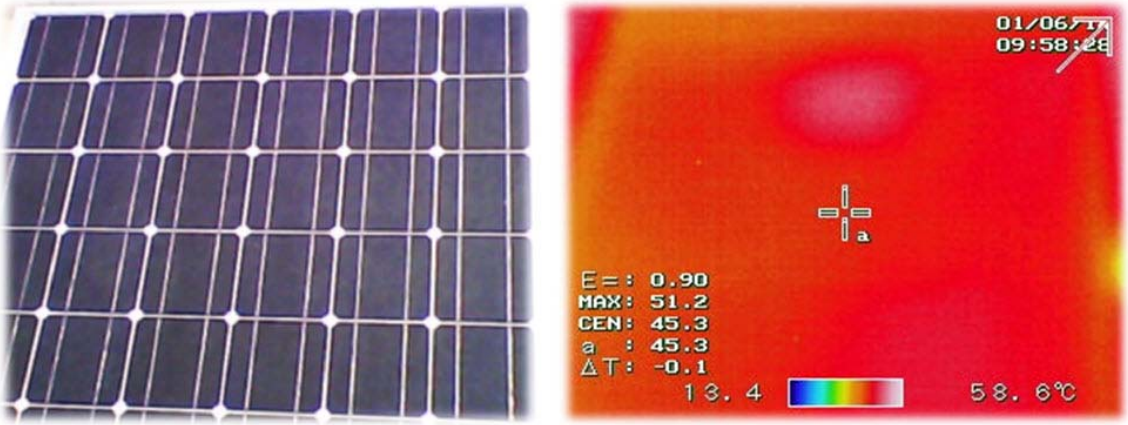
### ۳-۳- بیرجند

نیروگاه ۱۵ کیلوواتی بیرجند شامل ۷۵ ماژول ۲۰۰ واتی مونوکریستالین آریا سولار می‌باشد. ۱۵ ماژول سری تشکیل یک رشته را داده که مجموعاً ۵ رشته به یک اینورتر ۱۵ کیلوواتی SMA متصل هستند. نمودار سیم‌کشی سیستم به صورت شکل (۸) می‌باشد.




شکل (۸): نمودار سیم‌کشی سیستم خورشیدی بیرجند

همان طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود این سیستم دارای تابلوی DC نبود. همچنین این نیروگاه نیز از سیستم ارت برخوردار نیست لذا اندازه‌گیری مقاومت عایقی امکان‌پذیر نبود. نتایج آزمون جریان – ولتاژ در جدول (۴) آمده است. همان طور که در جدول (۴) مشخص است جریان اتصال کوتاه استاندارد بیشتر از مقدار نامی است. این مسئله به دلیل آن است که سطح ماژول‌ها در هنگام آزمون دارای عدم یکنواختی به علت آلودگی‌های غیرقابل شستشو با تجهیزات معمولی نظیر فضله‌های پرندگان بود و نیز هوای نسبتاً ابری بر روی پایداری تابش و دما در هنگام تست تأثیرگذار بود. راندمان اینورتر ۹۶/۹ درصد بود و هارمونیک جریان در حدود ۱/۸ درصد بوده‌است. در بازرسی بصری نیز علاوه بر موارد ۱، ۳ و ۵ از سایت کرمان و مورد ۱ از سایت بندرعباس می‌توان به فقدان تابلوی DC نیز اشاره کرد. در تصویربرداری با دوربین مادون قرمز امکان وجود نقطه گرم در یکی از ماژول‌ها (شکل ۹) تشخیص داده شد که پس از انجام آزمون جریان- ولتاژ بر روی آن ماژول جدول (۵) و عدم وجود مشکل در نتیجه‌ی این آزمون ماژول سالم تشخیص داده شد.




شکل (۱۰): تصویر مادون قرمز از ماژول مشکوک در سایت بیرجند

جدول (۴): نتایج آزمون ولتاژ – جریان در سایت خورشیدی بیرجند

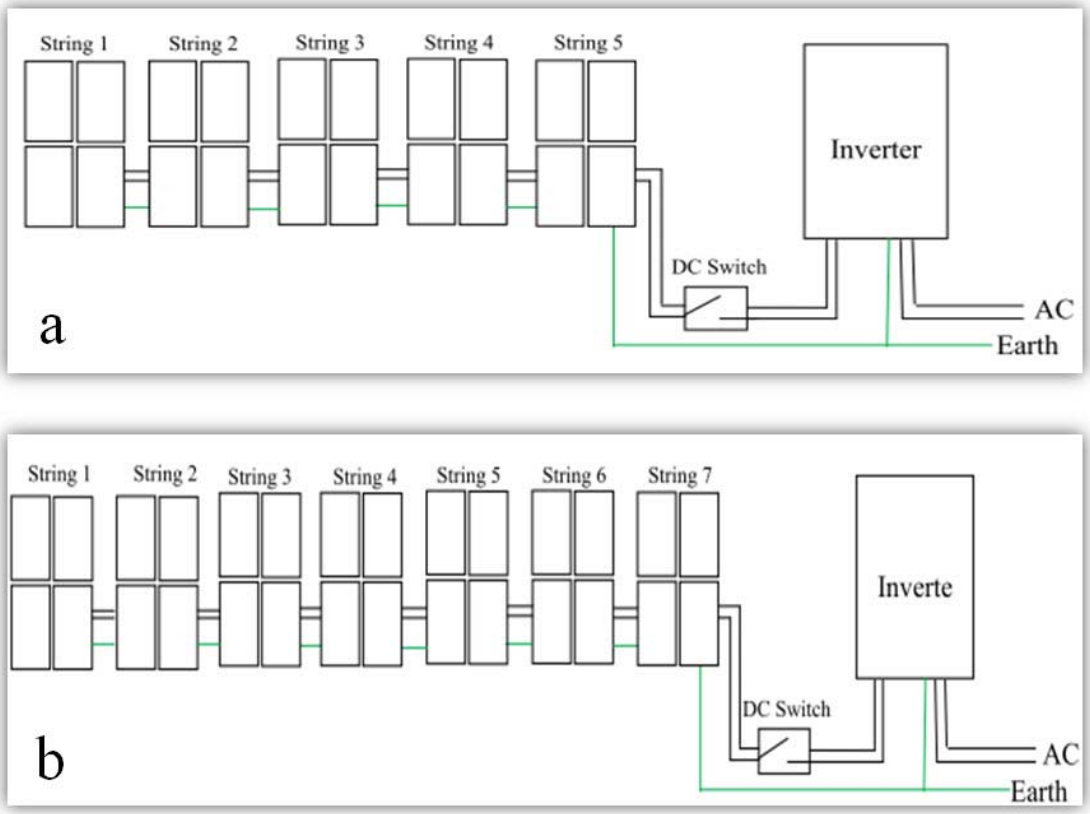
| رشته | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| تعداد ماژول | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ |
| ولتاژ مدار باز نامی(V) | ۶۸۵,۵ | ۶۸۵,۵ | ۶۸۵,۵ | ۶۸۵,۵ | ۶۸۵,۵ |
| جریان اتصال کوتاه نامی(A) | ۵,۴۲ | ۵,۴۲ | ۵,۴۲ | ۵,۴۲ | ۵,۴۲ |
| توان نامی(kW) | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ |
| ولتاژ مدار باز استاندارد(V) | ۶۵۹,۳ | ۶۶۲,۷ | ۶۶۴,۰۸ | ۶۷۱,۸ | ۶۶۵,۹۱ |
| جریان اتصال کوتاه استاندارد(A) | ۶,۰۵ | ۶,۱۱ | ۶,۰۱ | ۶,۰۸ | ۶,۰۵ |
| توان استاندارد(W) | ۲۹۵۴,۷ | ۲۹۸۰,۷۹ | ۲۹۱۱ | ۳۰۱۶,۳۵ | ۲۹۸۷,۴ |

جدول (۵): نتایج آزمون جریان – ولتاژ از ماژول مشکوک در سایت بیرجند

| | توان ماکزیمم | ولتاژ مدار باز | جریان اتصال کوتاه | تابش | دما |
|---|---|---|---|---|---|
| شرایط بهره‌برداری | ۱۵۶,۴۹ | ۳۹,۶ | ۵,۴۷ | ۹۰۹ | ۶۰,۴ |
| شرایط استاندارد | ۱۹۹,۹ | ۴۴,۹۲ | ۵,۹۵ | ۱۰۰۰ | ۲۵ |
| مقدار نامی | ۲۰۰ | ۴۵,۷ | ۵,۴۲ | ۱۰۰۰ | ۲۵ |

### ۳-۴- اصفهان

سیستم خورشیدی ۸/۶۴ کیلوواتی اصفهان دارای ۱۶۴ ماژول از نوع لایه نازک[۱] Calyxo بود. این سیستم دارای ۴ اینورتر ۱/۲ کیلوواتی و ۳ اینورتر ۱/۶۸ کیلوواتی می‌باشد. نحوه‌ی سیم‌بندی هرکدام در شکل (۱۰) نشان داده‌شده است. مطابق شکل هر چهار ماژول تشکیل یک رشته را می‌دهند و اینورتر ۱/۲ کیلوواتی دارای ۵ رشته و دیگری دارای ۷ رشته می‌باشد.



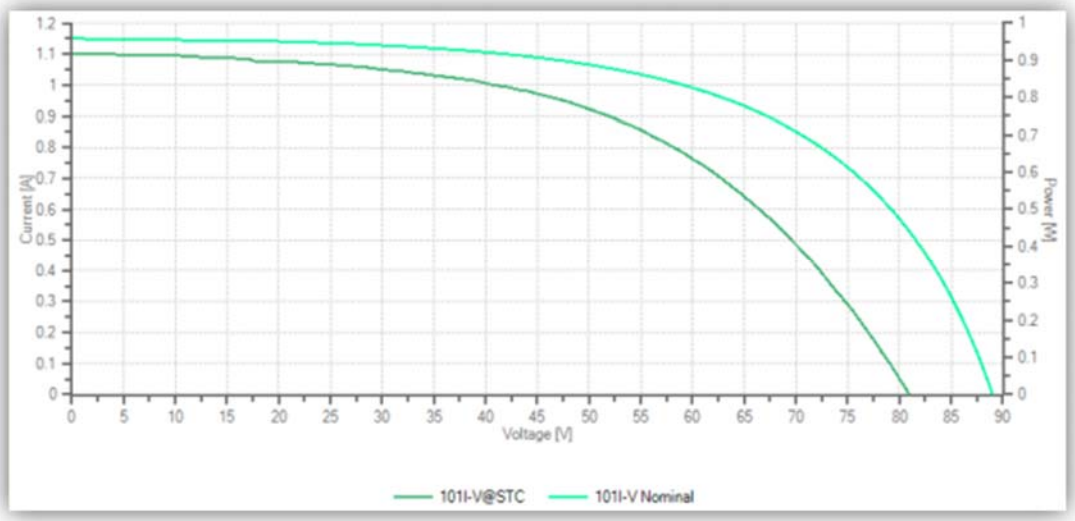

شکل (۱۰): سیم‌بندی سیستم خورشیدی اصفهان: (a) آرایش اینورترهای ۱/۲ کیلوواتی و (b) آرایش اینورترهای ۱/۶۸ کیلوواتی

[۱] Thin film

از آنجایی که این نیروگاه دارای سیستم زمین مناسب می‌باشد تست عایقی و همبندی زمین قابل انجام بود. با اعمال ولتاژ ۱۰۰۰ولت از سر یکی از آرایه‌ها (اینورتر ۱/۲ کیلوواتی) مقدار مقاومت عایقی ۸۲ مگا اهم اندازه‌گیری شد. همچنین مقاومت همبندی زمین نیز ۰/۰۶ اهم بدست آمد که هردو قابل قبول می‌باشند. این تست‌ها برای سایر قسمت‌های سیستم نیز موردقبول بود. با انجام آزمون جریان- ولتاژ برای هر کدام از رشته‌ها مشاهده شد که مقدار ولتاژ مدار باز نسبت به مقدار نامی انحراف زیادی دارد (جدول ۶). در ضمن بازرسی با دوربین مادون قرمز از نظر نقطه داغ مشکلی را برای سیستم نشان نداد. به این ترتیب برای هرکدام از ماژول‌ها آزمون جریان- ولتاژ گرفته شد (شکل ۱۱) که مجدداً همان مشکل در هرکدام از ماژول‌ها هم مشاهده شد. تغییر رنگ در باس‌های ارتباطی ماژول که از پشت آن قابل مشاهده بود پدیده‌ای قابل توجه می‌باشد که امکان افزایش مقاومت سری ماژول‌ها را افزایش می‌دهد. برای تأیید این احتمال می‌بایست یکی از ماژول‌ها در آزمایشگاه تست شود.

جدول (۶): نتایج آزمون جریان – ولتاژ برای یکی از رشته‌های سایت اصفهان

| | توان ماکزیمم (W) | ولتاژ مدار باز (V) | جریان اتصال کوتاه (A) | تابش ($W/m^2$) | دمای ماژول (سانتیگراد) |
|---|---|---|---|---|---|
| مقدار بهره‌برداری | ۱۶۱,۵ | ۲۸۵,۴۳ | ۱,۱ | ۹۹۸ | ۶۱,۷ |
| مقدار استاندارد | ۱۸۱,۴ | ۳۱۰,۹۶ | ۱,۰۹ | ۱۰۰۰ | ۲۵ |
| مقدار نامی | ۲۴۰ | ۳۵۵,۶ | ۱,۱۵ | ۱۰۰۰ | ۲۵ |




شکل (۱۱): منحنی جریان- ولتاژ یکی از ماژول‌ها در شرایط استاندارد و نامی

نکاتی نیز که از بازرسی بصری بدست آمد شامل موارد زیر است:

- باس‌بارهای ماژول‌ها تغییر رنگ داده‌اند که این خود می‌تواند دلیل افزایش مقاومت سری باشد.
- کابل‌های مهار موجود در محوطه سایت و همچنین بست‌ها سازه ایجاد سایه می‌کردند.
- سازه بتونی دچار ترک‌خورگی بود.

## ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتیجه‌های بدست آمده از آزمون‌ها و بازرسی‌های بصری از سایت‌ها، فقدان دستورالعمل بهره‌برداری در هرکدام از سایت‌ها موجب عدم رسیدگی متداوم از قبیل شستشوی پنل‌ها می‌شود که این امر

کاهش راندمان سیستم را به همراه دارد. همچنین نبود استانداردی مشخص در نصب و پیاده‌سازی سیستم‌ها باعث شده هرکدام از سایت‌ها با نقایصی نظیر نبود تابلوی DC مواجه باشند. لذا این ارزیابی‌های دوره‌ای برای بهبود راندمان و تولید سیستم‌ها بسیار مفید خواهند بود. به طور نمونه در سایت اصفهان دلایل راندمان پایین‌تر از حد انتظار شناسایی شده و بهره‌بردار نسبت به عیب احتمالی آگاه خواهد شد و برای رفع آن اقدام می‌کند.

## منابع

[1] .“Grid connected photovoltaic systems – Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection” IEC 62446. 2009. Ed.1

[2] .“Crystalline silicon photovoltaic (PV) array - On-site measurement of I-V characteristics” IEC 61829, 1995, Ed.1.

[3] HT instrument Co. available on Website:http://www.ht-instruments.com/en/products-ht/pv_testers/, Access on August 2014.

[4] Solmetric Co. Website: available on http://www.solmetric.com/pvanalyzermatrix.html, Access on August 2014.

[5] “Photovoltaic systems – Power conditioners – Procedure for measuring efficiency” IEC 61683. 1999.Ed.1.

آموزش

# برگزیده‌ای از واژه‌های علمی مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر

**گردآورنده**: شمسیه دوستی[۱]

توسعه و گسترش زبان فارسی زمینه ساز تقویت وحدت، هویت و اقتدار ملی است و سبب کمک به تقویت و گسترش زبان فارسی و تجهیز آن برای برآوردن نیازهای روزافزون فرهنگی، علمی، فنی و ایجاد هماهنگی در فعالیت‌های واژه‌گزینی، واژه‌سازی و معادل‌یابی برای واژه‌های بیگانه و برنامه ریزی و مدیریت واژه گزینی میشود. طرح‌های تحقیقاتی فرهنگستان زبان ایران در نُه پژوهشگاه سازمان یافته است. وسیع‌ترین فعّالیت فرهنگستان زبان و ادب فارسی درزمینهٔ واژه‌گزینی بوده است و گروه واژه‌گزینی از نُه کمیسیون علمی و فنّی، پزشکی و کشاورزی و طبیعی، زبان و ادب، تاریخ، فلسفه و علوم اجتماعی و تربیتی و روان‌شناسی، هنرهای زیبا، ارتش، اقتصاد، بازرگانی، حقوق، علوم اداری، سیاسی و جغرافیا تشکیل شده است. در چارچوب فعّالیت‌های علمی فرهنگستان دو برنامهٔ عمده در نظر است:

ـ برنامهٔ واژه‌گزینی، که به گزینش معادل‌های فارسی برای واژگان و اصطلاحات بیگانه اختصاص دارد.

ـ بررسی و مطالعه دربارهٔ زبان‌ها و گویش‌های ایرانی.

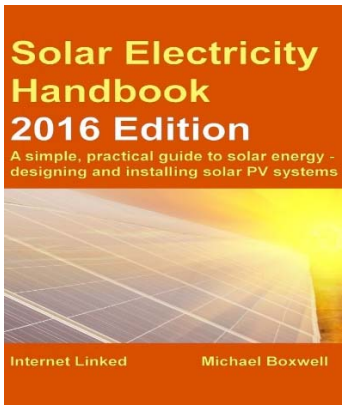
۱- کارشناس پژوهشی گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Doosti_fariba@yahoo.com

با توجه به این مسئله در این مجله سعی می‌شود، در هر شماره تعدادی از واژگان مصوب فرهنگستان زبان و ادب پارسی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، اشاره شود. به همین منظور در این شماره تعدادی از واژگان مربوط به بخش انرژی خورشیدی از شاخه‌های مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر معرفی می‌شود.

| نام مصوب | واژه بیگانه | تعریف |
|---|---|---|
| اختلاف‌منظر خورشیدی | *solar parallax* | زاویه‌ای که شعاع استوایی زمین از فاصلهٔ یک واحد نجومی تحت آن دیده شود |
| **تابش خورشیدی** | *solar radiation* | کل تابش الکترومغناطیسی‌ای که از خورشید منتشر می‌شود. |
| باد خورشیدی | *solar wind* | جریانی از مواد که از خورشید به بیرون حرکت می‌کند |
| **اوج خورشیدی** | *aphelion* | موقعیتی در مدار زمین یا هر جرم گردان دیگر به دور خورشید که در آن، جرم مورد نظر در دورترین فاصله از مرکز خورشید قرار گیرد |
| پادآماج خورشیدی | *solar antapex, antapex* | جهت مخالف حرکت خورشید و منظومهٔ شمسی نسبت به دستگاه مرجع موضعی |
| ثابت خورشیدی | *solar constant* | توانی که واحد سطح بالاترین لایهٔ جوّ زمین از خورشید دریافت می‌کند. |

.

## معرفی کتاب




Title: Solar Electricity Handbook (2016 Edition)

A simple, practical guide to solar energy - designing and installing solar PV systems

**عنوان فارسی:**

هندبوک برق خورشیدی

یک، راهنمای عملی ساده برای انرژی خورشیدی، طراحی و نصب سیستم‌های فتوولتائیک ( PV )

**سال انتشار**: ۲۰۱۶

این کتاب که شامل ۱۶۹صفحه می‌باشد و در آوریل ۲۰۱۶ به چاپ رسیده است. این کتاب بر اساس اطلاعات و داده‌های مجمع‌های مربوط به صنایع، وب‌سایت‌های دولتی، نهادهای قانونی و مجله‌های مربوطه تهیه شده است.

مواردی که در این کتاب بررسی شده است شامل:

- نحوه کار پانل‌های خورشیدی
- نحوه استفاده از پانل‌های خورشیدی
- مزایای استفاده از انرژی خورشیدی
- طراحی یک سیستم انرژی خورشیدی
- اصول اساسی، برای راهنمای گام به گام طراحی و نصب سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک
- طراحی سیستم برق رسانی، برای روستاها
- تأمین انرژی ماشین آلات، سیستم‌های شبکه برق رسانی ساختمان‌ها برای مسکن