وزارت نیرو
سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر
بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)

پژوهشگاه نیرو

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

شماره ۱۰ – فروردین ۱۴۰۳

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

ویژه‌نامه انرژی زمین گرمایی

عنوان پروژه: رصد فن‌آوری به‌منظور شناخت جدیدترین دستاوردها و فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر

کارفرما: سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق ایران (ساتبا)

پژوهشگر: پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی پشتیبان: گروه انرژی‌های تجدیدپذیر

پژوهشکده پشتیبان: پژوهشکده انرژی و محیط‌زیست

مدیر پروژه: مهندس ثریا رستمی

مجری پروژه: دکتر ابوالفضل موسوی ترشیزی

ناظر پژوهشگاه: دکتر محمد چمنی

ناظر کارفرما: دکتر اکبر شعبانی‌کیا

همکار این گزارش:

استاد جواد نورعلیئی

این گزارش به قلم استاد گرامی جناب آقای مهندس جواد نورعلیئی، یک ماه پیش از بازنشستگی ایشان تهیه شده است. ضمن قدردانی از ۳۰ سال زحمات تخصصی ایشان در حوزه انرژی زمین‌گرمایی کشور، از همکاری ایشان در پروژه بسیار سپاس‌گزاریم.

شماره ۱۰– فروردین ماه ۱۴۰۳

فهرست مطالب

انرژی زمین‌گرمایی، ضرورتی مغفول درایران ٤

چشم انداز توسعه بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی در اندونزی ٦

گذری بر پتانسیل منابع انرژی زمین‌گرمایی هیدروترمال در ایران ١٥

شرکت میتسوبیشی پاور ١٩

منابع انرژی زمین‌گرمایی پیشرفته، آینده‌ای درخشان برای توسعه فراگیر انرژی زمین‌گرمایی در جهان ٢٢

منابع انرژی زمین‌گرمایی فوق بحرانی، عمق بیشتر، توان بیشتر ٢٨

دالان‌های زمین‌گرمایی، راهکاری برای کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌های کشور ٣٧

استفاده از حرارت سیال زمین‌گرمایی برای فرآوری قهوه در اندونزی ٤١

منطقه آناتولی، بهشت انرژی زمین‌گرمایی در ترکیه ٤٢

تأمین سرمایش ساختمان‌ها با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی در امارات متحده عربی ٤٥

افتتاح نخستین نیروگاه زمین‌گرمایی به زودی در ایران ٤٨

سخن آغازین

انرژی زمین‌گرمایی، ضرورتی مغفول درایران

انرژی زمین‌گرمایی، جزو مهجورترین نوع منبع انرژی در بین انرژی‌های تجدیدپذیر کشور محسوب می‌گردد. زیرا از یک سو تا به امروز، در کشور پروژه برجسته و بارزی در این حوزه اجرا نشده است و از سوی دیگر، نسبت به سایر انواع انرژی تجدیدپذیر، کماکان ناشناخته نیز هست. درواقع، این منبع انرژی، علیرغم گستردگی بی‌نظیر موارد کاربرد، هنوز به جایگاه واقعی خود در کشور، دست نیافته است.

با مطالعات انجام شده توسط سازمان‌ها و مؤسسات پژوهشی و دانشگاه‌های کشور، خوشبختانه مشخص شده است که منابع انرژی زمین‌گرمایی به‌وفور در کشور وجود داشته و طبق جدیدترین برآوردها بیش از ۱۵۰ منطقه امیدبخش زمین‌گرمایی در ایران وجود دارد. در خصوص انرژی زمین‌گرمایی، باید این نکته مهم را نیز در نظر داشت که برحسب نوع سیال (آب داغ، بخار یا مخلوط هر دو) و درجه حرارت آن، طیف بسیار گسترده‌ای از موارد کاربرد وجود دارد. در حقیقت، با آب گرم خروجی از منابع زمین‌گرمایی حرارت پایین می‌توان یخ و برف جاده‌ها را ذوب نموده و با افزایش حرارت سیال، می‌توان گرمایش منازل و گلخانه‌ها را تأمین کرد و نهایتاً می‌توان با بخار خروجی از چاه‌های زمین‌گرمایی، برق تولید کرد.

به‌طورکلی، منابع انرژی زمین‌گرمایی به دودسته اصلی منابع عمیق و کم‌عمق تقسیم می‌شوند. منابع عمیق، منابعی هستند که دارای سیال هستند. حال آنکه، منابع کم‌عمق، منابعی هستند که فاقد سیال بوده و در اعماق ۱ تا ۵ متری زمین قرار دارند. ازآنجایی‌که درجه حرارت زمین در اعماق کم در تمام طول سال، ثابت است لذا به کمک این منبع حرارتی، می‌توان گرمایش و سرمایش فضاهای مختلف را تأمین کرد. با بهره‌برداری از این دسته از منابع انرژی زمین‌گرمایی، می‌توان هم در مصرف

برق و هم در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی نمود. سیستم‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی و دالان‌های زمین‌گرمایی جزو شناخته‌شده‌ترین سیستم‌هایی هستند که از منابع انرژی زمین‌گرمایی کم‌عمق استفاده می‌کنند.

تاکنون پروژه‌های متعددی در حوزه انرژی زمین‌گرمایی در کشور انجام شده است. با اجرای پروژه‌های یادشده، دانش فنی مرتبط با اکتشاف منابع این انرژی در کشور بومی شده است. خوشبختانه، برای نخستین بار در کشور، سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری‌های مرتبط با انرژی زمین‌گرمایی نیز تهیه و اخیراً سند مذکور، به‌روزرسانی نیز شده است.

با توجه به وضعیت فعلی تأمین انرژی در کشور، قویاً پیشنهاد می‌گردد که بهره‌برداری از منابع انرژی زمین‌گرمایی کم‌عمق در دستور کار وزارت نیرو قرار گیرد. بدیهی است که با اتخاذ سیاست‌های تشویقی و حمایتی مناسب و مؤثر، می‌توان بیش‌ازپیش، بخش خصوصی را برای ورود به حوزه منابع فوق‌الذکر، ترغیب نموده و متعاقباً بستر لازم برای کاهش قابل‌ملاحظه مصرف برق در کشور را نیز فراهم نمود.

جواد نورعلیئی

پژوهشگر حوزه زمین‌گرمایی پژوهشگاه نیرو

تحولات راهبردی

چشم انداز توسعه بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی در اندونزی

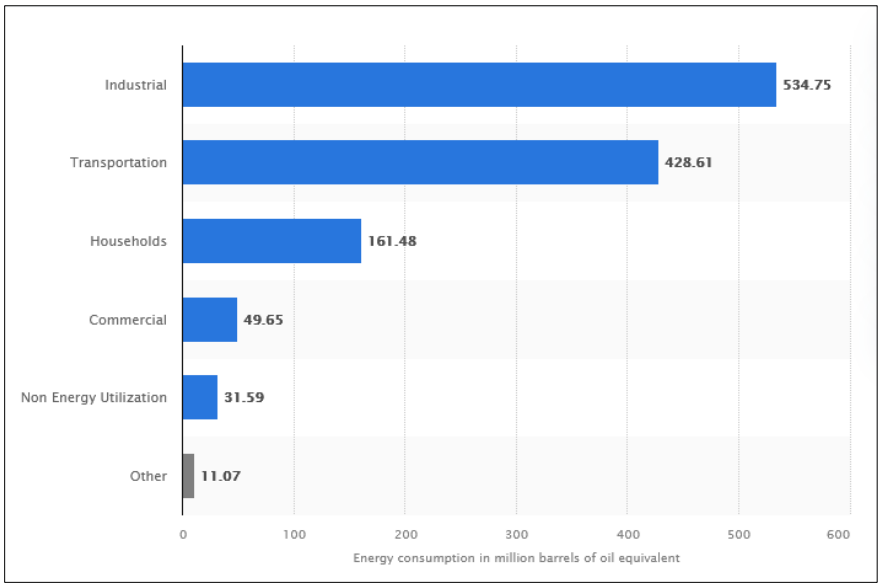
اندونزی کشوری است که از ۱۷۵۰۸ جزیره بزرگ و کوچک تشکیل شده و در جنوب شرق قاره آسیا واقع شده است. مساحت این کشور ۱/۹۱۹/۴۴۰ کیلومترمربع بوده و ازنقطه‌نظر وسعت، پانزدهمین کشور جهان محسوب می‌گردد. جمعیت این کشور در سال ۲۰۱۷ بیش از ۲۶۴ میلیون نفر بوده است. اقتصاد این کشور بیشتر بر کشاورزی، صنعت و گردشگری متکی اســـت. اندونزی ذخایر قابل‌توجهی از طلا، مس، گاز طبیعی و نفت خام نیز دارد. توتون، برنج، قهوه و کائوچو جزو مهم‌ترین محصولات کشاورزی این کشور هستند.

بر اساس آخرین اطلاعات و آمار موجود، این کشور در آستانه دسترسی کامل مردم خود به برق قرار دارد. در سال ۲۰۲۳، ظرفیت کل انواع نیروگاه نصب‌شده در اندونزی، حدود ۸۵۰۰۰ مگاوات بوده است. بخش عمده برق تولیدی در این کشور به کمک سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. در جدول (۱)، سهم هر یک از انواع منبع انرژی در تأمین برق این کشور در سال ۲۰۲۰ ارائه شده است.

جدول (۱)– سهم هر یک از انواع انرژی در تولید برق اندونزی در سال ۲۰۲۰ (برحسب درصد)

انرژی فسیلی	انرژی بادی	انرژی برق‌آبی	انرژی زمین‌گرمایی	انرژی زیست‌توده
۸۲/۳	۰/۲	۶/۸	۵/۷	۵

مهم‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در اندونزی، بخش‌های صنعت، حمل‌ونقل و مصارف خانگی و تجاری هستند. همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، در سال ۲۰۲۰، بخش‌های صنعت و حمل‌ونقل، عمده‌ترین حوزه‌های مصرف‌کننده انرژی در این کشور بوده‌اند.

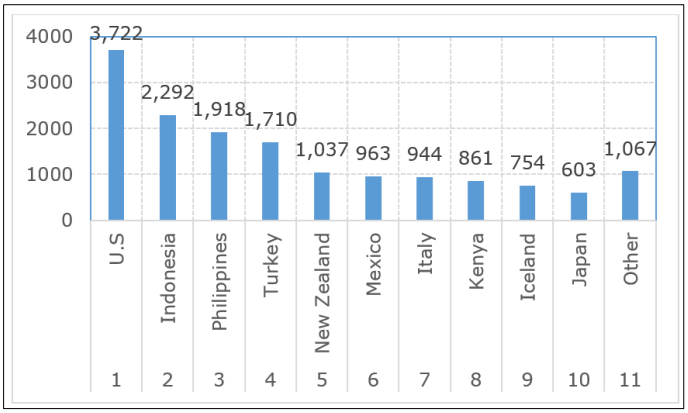


شکل (۱)– نمودار سهم مصرف انرژی بخش‌های مختلف در اندونزی (سال ۲۰۲۰)
(برحسب میلیون بشکه نفت معادل)

❖ پتانسیل انرژی زمین‌گرمایی

ازنقطه‌نظر جغرافیایی، این کشور در حاشیه اقیانوس آرام واقع شده است. گرداگرد اقیانوس یادشده، نوار باریکی وجود دارد که مملو از کوه‌های آتش‌فشانی فعال است و به‌اختصار آن را "کمربند آتش[1]" نیز می‌نامند. اندونزی نیز بخشی از کمربند آتش‌فشانی مذکور است. به همین دلیل، این کشور از حیث منابع انرژی زمین‌گرمایی هیدروترمال، یکی از غنی‌ترین نقاط کره زمین، محسوب می‌شود. درواقع، منابع انرژی زمین‌گرمایی این کشور به‌تنهایی معادل ۴۰٪ کل منابع انرژی زمین‌گرمایی شناخته‌شده در جهان هستند. نکته جالب آنکه، تاکنون صرفاً ۷٪ از منابع مذکور، مورداستفاده قرارگرفته‌اند. بااین‌وجود، اندونزی یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان برق از منابع انرژی زمین‌گرمایی در جهان، به شمار می‌رود. در سال ۲۰۲۱، این کشور با تولید ۲۲۹۲ مگاوات برق، در جایگاه دوم جهان قرار داشته است، شکل (۲).

[1] Ring of fire

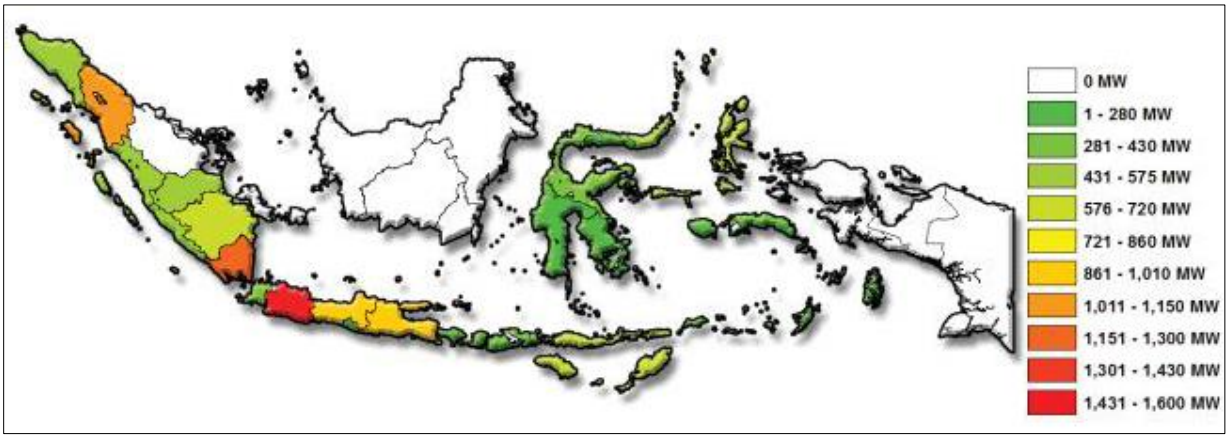


شکل (۲)– نمودار تولید برق از منابع انرژی زمین‌گرمایی در کشورهای پیشرو جهان (۲۰۲۱)

همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد در اندونزی منابع انرژی زمین‌گرمایی متعدد و فراوانی وجود دارند. درواقع، منابع مذکور در اغلب جزایر این کشور به‌جز جزایر کالیمانتان[۲] و پاپوآ[۳] قرار دارند. بر اساس آخرین مطالعات انجام شده، تاکنون تعداد ۳۵۶ منطقه امیدبخش زمین‌گرمایی در این کشور شناسایی شده است. علاوه بر این، بر اساس مطالعات فوق‌الذکر، منابع انرژی زمین‌گرمایی اندونزی به دو دسته منابع آتش‌فشانی و غیرآتش‌فشانی دسته‌بندی می‌شوند. منابع غیرآتش‌فشانی شامل منابعی هستند که دارای درجه حرارت متوسط هستند. این دسته از منابع انرژی زمین‌گرمایی عمدتاً در شرق کشور قرار دارند.

به دلیل موقعیت خاص اندونزی در کمربند آتش، تعداد ۱۲۷ آتش‌فشان فعال در این کشور وجود دارد. بنابراین، به دلیل فعالیت آتش‌فشان‌های یادشده، تعداد بسیار زیادی منبع انرژی زمین‌گرمایی نیز در مجاورت آتش‌فشان‌های این کشور وجود دارند. بر اساس آخرین پژوهش‌های به‌عمل‌آمده، با استفاده از کلیه مناطق امیدبخش زمین‌گرمایی شناسایی شده در این کشور، می‌توان مجموعاً ۲۳۳۶۰ مگاوات برق تولید نمود. در شکل (۳) نقشه پراکندگی منابع انرژی زمین‌گرمایی در اندونزی نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است منابع زمین‌گرمایی حرارت متوسط در بخش‌های شرقی و منابع حرارت بالا در غرب کشور قرار دارند. در جدول (۲) نیز مشخصات کلی مهم‌ترین منابع زمین‌گرمایی شناسایی شده در اندونزی ارائه شده است.

[2] Kalimantan
[3] Papua



شکل (۳)– نقشه پراکندگی منابع انرژی زمین‌گرمایی در اندونزی

(راهنمای رنگی، میزان تقریبی برق تولیدشده از منابع انرژی زمین‌گرمایی را برحسب مگاوات نشان می‌دهد.)

جدول (۲)– مشخصات کلی منابع انرژی زمین‌گرمایی شناسایی شده در اندونزی

No.	Island	Total Location	Resources (MW)					Total Installed Capacity
			Speculative	Hypothetic	Reserves			
					Probable	Possible	Proven	
1	Sumatera	101	2.167	1.567	3.624	976	1.126,4	949,75
2	Jawa	75	1.259	1.191	3.260	377	1.820	1.253,8
3	Bali	6	70	21	104	110	30	0
4	Nusa Tenggara	34	215	146	783	121	12,5	19,08
5	Kalimantan	14	151	18	6	0	0	0
6	Sulawesi	90	1.352	342	989	180	120	120
7	Maluku	33	560	91	485	6	2	0
8	Papua	3	75	0	0	0	0	0
Total		356	5.849	3.376	9.251	1.770	3.110,9	2.342,63
					14.131,9			
			23.356,9					

Geological Agency, 2021

❖ تاریخچه تولید برق از انرژی زمین‌گرمایی

در اندونزی، تولید برق از منابع انرژی زمین‌گرمایی دارای تاریخچه‌ای ۱۰۰ ساله است. این تاریخچه طولانی را می‌توان به دو بخش عمده، تقسیم‌بندی کرد:

- دوره پیش از تصویب قانون زمین‌گرمایی
- دوره پس از تصویب قانون زمین‌گرمایی

در ادامه، شرح مختصری در خصوص هر یک از دوره‌های زمانی فوق‌الذکر، ارائه می‌گردد.

❖ فعالیت‌ها و اقدامات انجام شده قبل از تصویب قانون زمین‌گرمایی

- بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۲۰ الی ۱۹۷۰

نخستین فعالیت‌های اکتشافی منابع انرژی زمین‌گرمایی در اندونزی، در دهه ۱۹۲۰ و توسط سازمان زمین‌شناسی اندونزی در استان جاوای غربی انجام شدند. طی این دوره، چندین چاه کم‌عمق در منطقه یادشده، حفر شدند. در یکی از چاه‌ها، سیال زمین‌گرمایی با درجه حرارت ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد اما در آن مقطع زمانی، هیچ تلاشی جهت تولید برق از چاه فوق‌الذکر صورت نگرفت.

- بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۷۱ الی ۱۹۸۰

در دهه ۷۰ میلادی، به کمک کارشناسانی از کشورهای ایتالیا، ژاپن، نیوزیلند و آمریکا، فعالیت‌های مرتبط با انرژی زمین‌گرمایی در اندونزی، شتاب بیشتری پیدا کردند. در این دوره زمانی، اکتشاف منابع زمین‌گرمایی در جزایر بالی و جاوا به شرکت پرتامینا[4] (شرکت ملی نفت اندونزی) و سایر مناطق کشور به دولت اندونزی واگذار شد. شرکت مذکور، چندین چاه عمیق زمین‌گرمایی را در منطقه کاموجانگ[5] حفر کرد. طی حفاری‌ها، یک مخزن حرارت بالا شناسایی شد که درجه حرارت بخار خروجی آن ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد بود. دبی و فشار سیال مذکور نیز به ترتیب معادل ۶۰ تن بر ساعت و ۳۵ بار بودند. با استفاده از سیال به‌دست‌آمده از چاه مذکور، یک نیروگاه زمین‌گرمایی با ظرفیت یک مگاوات در منطقه کاموجانگ احداث شد. متعاقباً در سال ۱۹۷۹، یک نیروگاه ۳۰ مگاواتی نیز در منطقه یادشده، احداث و راه‌اندازی شد.

با فراگیر شدن مطالعات اکتشافی، به‌تدریج مناطق امیدبخش زمین‌گرمایی در سایر نقاط کشور نیز شناسایی شدند. بدین ترتیب، منابع انرژی زمین‌گرمایی در مناطق درجات[6]، سالاک[7] و لاهندونگ[8] کشف شده و مورد بررسی دقیق قرار گرفتند. نکته شایان ذکر آن‌که، در این بازه زمانی، ریسک عملیات اکتشافی گسترده مورداشاره توسط دولت‌های نیوزیلند و ژاپن پوشش داده شد.

- بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۸۱ الی ۲۰۰۲

در این دوره زمانی، پیرو دستور ریاست جمهوری وقت کشور، عملیات توسعه میادین زمین‌گرمایی، شتاب بسیار بیشتری یافت. در این دوره، توسعه بهره‌برداری از ۵ منطقه امیدبخش، مشترکا به شرکت‌های اندونزیایی و آمریکایی واگذار شد. در این بازه زمانی، نیروگاه‌های زمین‌گرمایی در مناطق زیر احداث شدند:

[4] Pertamina
[5] Kamojang
[6] Darajat
[7] Salak
[8] Lahendong

- منطقه کاموجانگ به ظرفیت ۱۴۰ مگاوات
- منطقه سالاک به ظرفیت ۱۱۰ مگاوات
- منطقه دینگ[9] به ظرفیت ۶۰ مگاوات

❖ فعالیت‌ها و اقدامات انجام شده پس از تصویب قانون زمین‌گرمایی

- بازه زمانی ۲۰۰۳ الی ۲۰۱۰

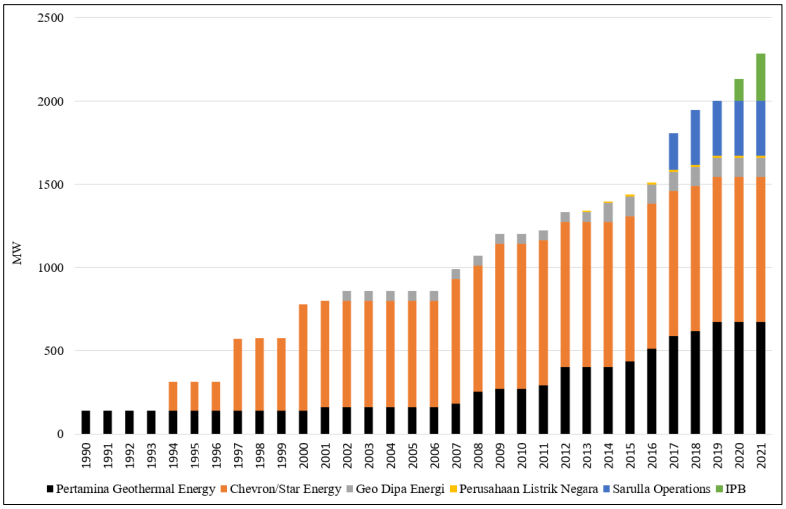
در سال ۲۰۰۳، دولت اندونزی، اولین قانون زمین‌گرمایی کشور را تصویب کرد. این قانون، ورود شرکت‌های خصوصی به حوزه بهره‌برداری از منابع انرژی زمین‌گرمایی را بسیار تسهیل نمود. پیرو تصویب قانون یادشده، دولت‌های محلی نیز اختیارات بسیار بیشتری برای توسعه این انرژی به دست آوردند. درواقع، با تصویب قانون زمین‌گرمایی، دولت مرکزی و دولت‌های محلی با توان بسیار بیشتری در خصوص اجرای پروژه‌های اکتشافی مقدماتی و حفاری چاه‌های زمین‌گرمایی اقدام نمودند.

در این دوره زمانی با همکاری شرکت‌هایی از کشورهای آمریکا، هلند، ایسلند، فیلیپین و ژاپن، تعداد ۳۵ منطقه امیدبخش زمین‌گرمایی در سراسر کشور موردبررسی دقیق قرار گرفتند. در این دوره، ظرفیت تولید برق اندونزی از انرژی زمین‌گرمایی از حدود ۹۰۰ مگاوات به ۱۲۰۰ مگاوات افزایش یافت.

- بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۱۱ الی ۲۰۲۲

در سال ۲۰۱۴، قانون زمین‌گرمایی جدیدی به تصویب رسید که مجدداً سرعت پیشرفت پروژه‌های زمین‌گرمایی را افزایش داد. مهم‌ترین تأثیر این برنامه، خارج کردن پروژه‌های زمین‌گرمایی از شمول پروژه‌های معدنی کشور بود. ازآنجایی‌که مجوز فعالیت‌های معدنی به‌سختی توسط دولت صادر می‌شد لذا این موضوع، مانع بزرگی در مسیر توسعه نیروگاه‌های زمین‌گرمایی در کشور نیز بود. در این دوره زمانی، تعداد ۶۳ منطقه امیدبخش زمین‌گرمایی برای توسعه، به بخش خصوصی معرفی شدند. بدین ترتیب، تا پایان سال ۲۰۲۲، مجموع برق تولیدشده در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی کشور به ۲۳۴۲ مگاوات افزایش یافت. در شکل (۴) روند افزایش تولید برق با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی در اندونزی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱ نشان داده شده است.

[9] Dieng



شکل (۴)- روند رشد تولید برق از منابع انرژی زمین‌گرمایی در اندونزی طی سال‌های ۱۹۹۰ الی ۲۰۲۱ (مگاوات)
(رنگ‌های متفاوت نمودار مربوط به مؤسسات و شرکت‌های مختلف سرمایه‌گذار در حوزه نیروگاه‌های زمین‌گرمایی است.)

❖ برنامه توسعه بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی در آینده

- **افزایش ظرفیت نیروگاه‌ها**

بر اساس پیش‌بینی‌ها و برآوردهای انجام شده، دولت اندونزی قصد دارد که ظرفیت فعلی نصب‌شده نیروگاه‌های زمین‌گرمایی خود را در سال ۲۰۳۵ به ۹۳۰۰ مگاوات افزایش دهد. برای تحقق این هدف، یک مدل کسب‌وکار خاص برای بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۲۱ الی ۲۰۳۰ تهیه شد. بر اساس مدل یادشده، تعداد قابل‌توجهی پروژه مرتبط با انرژی زمین‌گرمایی در سراسر کشور به اجرا درخواهد آمد.

- **اجرای برنامه حفاری در استان‌های مالاکوی[10] شمالی و نوسا تنگارای[11] شرقی**

به‌غیر از افزایش ظرفیت نیروگاهی، یکی از برنامه‌های آتی دولت اندونزی برای توسعه بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی در کشور، اجرای برنامه حفاری توسط بخش دولتی در استان‌های مالاکوی شمالی و نوسا تنگارای شرقی است. درواقع، در این برنامه، دولت مرکزی هزینه‌های مرتبط با ریسک عملیات اکتشاف منابع جدید انرژی زمین‌گرمایی و به‌ویژه حفاری چاه‌های جدید را تقبل می‌نماید. این امر باهدف تشویق و ترغیب سرمایه‌گذاران و شرکت‌های خصوصی جهت ورود به حوزه انرژی زمین‌گرمایی انجام خواهد شد.

[10] Malaku
[11] Nusa Tenggara

- **توسعه جزیره فلورس**[۱۲]

جزیره فلورس در شرق اندونزی واقع شده است. به دلیل پتانسیل بسیار زیاد منابع انرژی زمین‌گرمایی، دولت مرکزی رسماً این جزیره را به‌عنوان "جزیره زمین‌گرمایی" نام‌گذاری کرده است. عملاً این تصمیم، توسط وزارت انرژی و منابع معدنی کشور اتخاذ شده است. جزیره فلورس دارای ۱۸ منطقه امیدبخش زمین‌گرمایی است که بر اساس برآوردهای انجام شده، مجموعاً توانایی تولید ۷۳۵ مگاوات برق را دارند. به‌طورکلی، به دلیل اهمیت نقش انرژی زمین‌گرمایی در توسعه این جزیره، دولت محلی مستقر در استان نوسا تنگارا مسئول حمایت از پروژه‌های مرتبط با این حوزه خواهد بود. در حال حاضر، در این جزیره، سه نیروگاه زمین‌گرمایی وجود دارند که مجموع ظرفیت آن‌ها معادل ۱۹ مگاوات است.

- **توسعه بهره‌برداری از منابع انرژی زمین‌گرمایی حرارت متوسط**

اندونزی، علاوه بر منابع زمین‌گرمایی حرارت بالا، دربردارنده تعداد بسیار زیادی از منابع حرارت پایین تا متوسط نیز هست که در سایه توجه بیش‌ازحد به منابع حرارت بالا، از پرداختن به آن‌ها غفلت شده است. درواقع، اگر این کشور قصد داشته باشد که تولید گازهای گلخانه‌ای خود را در آینده، به صفر برساند باید الزاماً از همه انواع منبع انرژی تجدیدپذیر در سبد انرژی خود استفاده کند. ازآنجایی‌که امروزه به کمک منابع زمین‌گرمایی حرارت پایین تا متوسط نیز می‌توان برق تولید کرد لذا دولت اندونزی نیز می‌بایست تولید برق از منابع مذکور را جزو برنامه‌های آتی خود قرار دهد. بر اساس تحقیقات و مطالعات انجام شده، مشخص شده است که در اندونزی، تولید برق از منابع حرارت پایین تا متوسط ازنظر اقتصادی نیز توجیه‌پذیر است. البته، به‌جز مزیت مذکور، بنا به دلایل زیر نیز تولید برق از منابع زمین‌گرمایی یادشده قابل دفاع است: نخست اینکه درجه حرارت منابع فوق‌الذکر، بیش از ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد است و دوم آنکه، منابع مذکور در اعماق کم زمین قرار دارند.

- **اجرای طرح‌های کاربرد مستقیم**

اجرای پروژه‌های کاربرد مستقیم انرژی زمین‌گرمایی توسط دولت و شرکت‌های خصوصی می‌تواند برای جوامع محلی و ساکنان اطراف محل اجرای پروژه‌ها منافع فراوانی در پی داشته باشد. البته، به‌منظور توسعه پروژه‌های یادشده، دولت اندونزی علاوه بر وضع قوانین مرتبط با تولید برق از انرژی زمین‌گرمایی، باید قوانین مرتبط با کاربرد مستقیم این انرژی را نیز تبیین و ابلاغ نماید. شایان ذکر آنکه، دولت اندونزی اقدامات و فعالیت‌هایی را در این خصوص آغاز نموده است. بدون شک، این اقدامات نقش بسیار مؤثری در توسعه کاربرد مستقیم انرژی زمین‌گرمایی در کشور خواهد داشت.

[12] Flores

- **سیستم‌های زمین‌گرمایی پیشرفته (EGS)**[13]

این سیستم‌ها نوعی از منابع انرژی زمین‌گرمایی هستند که فاقد آب بوده و به‌صورت مصنوعی در اعماق زمین به وجود می‌آیند. در این سیستم‌ها ابتدا چند چاه در سنگ‌های داغ واقع در اعماق زیاد زمین حفر می‌گردد. سپس، آب به درون چاه‌ها تزریق‌شده و آب مذکور در مجاورت سنگ‌های داغ به بخار تبدیل‌شده و بخار خروجی از چاه‌ها، انرژی حرارتی را به سطح زمین، منتقل نموده و به کمک آن در نیروگاه زمین‌گرمایی، برق تولید می‌شود.

به دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی اندونزی و وجود شرایط تکتونیکی فعال و همچنین، تعداد بسیار زیاد گسل‌های فعال، تحقیق و پژوهش به‌منظور توسعه سیستم‌های EGS در این کشور نیز توجیه‌پذیری بالایی دارد. در اندونزی، بیش از ۸۶ حوزه رسوبی وجود دارد که اغلب آن‌ها ازنظر تکتونیکی نیز فعال هستند. در مجاورت برخی از حوزه‌های رسوبی مذکور، تعدادی چشمه آب گرم و سایر نشانه‌های سطحی انرژی زمین‌گرمایی هم وجود دارند.

- **افزایش ظرفیت نیروگاه‌های موجود با استفاده از سیکل دومداره**[14]

در حال حاضر، اغلب نیروگاه‌های زمین‌گرمایی در اندونزی از سیکل تبخیر آنی یک مرحله‌ای[15] برای تولید برق استفاده می‌کنند. بااین‌وجود، علیرغم مزایای فراوان سیکل دومداره، هنوز بهره‌برداری از این سیکل در کشور رواج نیافته است. درواقع، با اضافه نمودن سیکل دومداره به نیروگاه‌های زمین گرمای موجود، می‌توان ظرفیت تولید برق آن‌ها را افزایش داد.

در همین راستا، در سال ۲۰۱۷، نخستین نیروگاه زمین‌گرمایی دومداره اندونزی در منطقه سارولا[16] احداث و راه‌اندازی شد. نکته شایان ذکر آنکه، به کمک سیکل دومداره، هم می‌توان ظرفیت نیروگاه‌های زمین‌گرمایی موجود کشور را افزایش داد و هم می‌توان از منابع زمین‌گرمایی حرارت پایین تا متوسط نیز برق تولید نمود. بدیهی است که اقدامات مذکور، نهایتاً موجب افزایش ظرفیت تولید برق از منابع انرژی زمین‌گرمایی خواهد شد.

منابع:

- www.ststista.com
- https://www.researchgate.net
- https://pangea.stanford.edu/ERE/db/IGAstandard

[13] Enhanced Geothermal Systems
[14] Binary cycle
[15] Single flash cycle
[16] Sarulla

کاربردی

گذری بر پتانسیل منابع انرژی زمین‌گرمایی هیدروترمال در ایران

منابع انرژی ایران صرفاً محدود به منابع نفت و گاز نبوده و این سرزمین، از حیث سایر منابع انرژی نیز یک کشور غنی محسوب می‌گردد. یکی از منابع انرژی یادشده، منابع انرژی زمین‌گرمایی است. البته ازآنجایی‌که منابع زمین‌گرمایی به چند دسته متفاوت، تقسیم‌بندی می‌شوند لذا در این یادداشت، منظور از منابع زمین‌گرمایی، منابع هیدروترمال هستند که حاوی آب داغ یا بخار بوده و در حال حاضر، جزو شناخته‌شده‌ترین منابع انرژی زمین‌گرمایی در جهان به شمار می‌روند.

بدیهی است که نخستین گام جهت بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی در هر کشوری، شناسایی منابع این انرژی است. در ایران نیز در همین راستا، پروژه‌های متعددی به‌منظور شناسایی پتانسیل منابع فوق‌الذکر انجام شده است. در همین خصوص، در سال ۱۹۷۴، برای نخستین بار یکی از کارشناسان سازمان ملل از ایران بازدید نمود. وی پس از بررسی اولیه اطلاعات موجود آن زمان، اذعان نمود که منابع انرژی زمین گرمای در ایران، به‌وفور وجود دارند.

پیرو اظهارنظر کارشناس یادشده، در سال ۱۹۷۵، شرکت ایتالیایی انل طی انعقاد قراردادی با وزارت وقت نیروی ایران، برای اولین بار، نسبت به شناسایی منابع انرژی زمین‌گرمایی در کشور اقدام نمود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از اقدامات شرکت مذکور، چهار منطقه امیدبخش زمین‌گرمایی بهنام‌های دماوند، سبلان، سهند و ماکو–خوی در کشور شناسایی شدند. لازم ذکر آنکه، مناطق امیدبخش فوق‌الذکر، بسیار وسیع و پهناور بودند.

پس از انقلاب و به دنبال تأسیس سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، با اجرای یک پروژه پژوهشی، اولین نقشه پتانسیل منابع انرژی زمین‌گرمایی کشور در سال ۱۹۹۸ تهیه و منتشر شد. در نقشه مذکور، تعداد ۱۴ منطقه امیدبخش زمین‌گرمایی در

سراسر کشور شناسایی و نام‌گذاری گردید. بااین‌وجود، محققین و پژوهشگران دیگری هم مبادرت به تهیه نقشه انرژی زمین‌گرمایی کشور نمودند که در برخی از مقالات پژوهشی داخلی و بین‌المللی به آن‌ها اشاره شده است.

در دهه ۹۰ هجری خورشیدی و پیرو حمایت‌های ستاد توسعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر معاونت علمی فناوری ریاست جمهوری، در محدوده برخی از استان‌های کشور، پتانسیل منابع انرژی زمین‌گرمایی به‌طور سیستماتیک و با دقت بسیار زیاد موردبررسی قرار گرفت. آن‌ها شامل استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، خراسان جنوبی، قزوین و اردبیل می‌شوند که با اجرای فعالیت‌های تحقیقاتی، تعداد ۴۵ منطقه امیدبخش زمین‌گرمایی در استان‌های یادشده، شناسایی شدند. در جدول (۱)، مشخصات دقیق‌تر مناطق امیدبخش شناسایی شده در ۵ استان فوق‌الذکر، ارائه‌شده‌اند.

دراین‌بین، اجرای پروژه شناسایی منابع انرژی زمین‌گرمایی استان آذربایجان غربی به پژوهشگاه نیرو واگذار شد. لذا به‌منظور اکتشاف منابع مذکور از اطلاعات متعددی نظیر نقشه‌های زمین‌شناسی موجود، تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات مربوط به مطالعات ژئوفیزیکی هوایی استفاده شد. با خاتمه فعالیت‌های پروژه، تعداد ۱۲ منطقه امیدبخش زمین‌گرمایی در استان مذکور شناسایی شد. در شکل (۱)، نقشه پراکندگی مناطق امیدبخش زمین‌گرمایی در استان آذربایجان غربی نشان داده شده است. با اجرای پروژه فوق‌الذکر، مشخصات کامل‌تر هر یک از مناطق امیدبخش نیز به دست آمد که نتایج موردنظر در جدول مندرج در شکل (۱) ارائه‌شده‌اند.

جدول (۱)– مشخصات مناطق امیدبخش زمین‌گرمایی شناسایی شده در برخی از استان‌های کشور

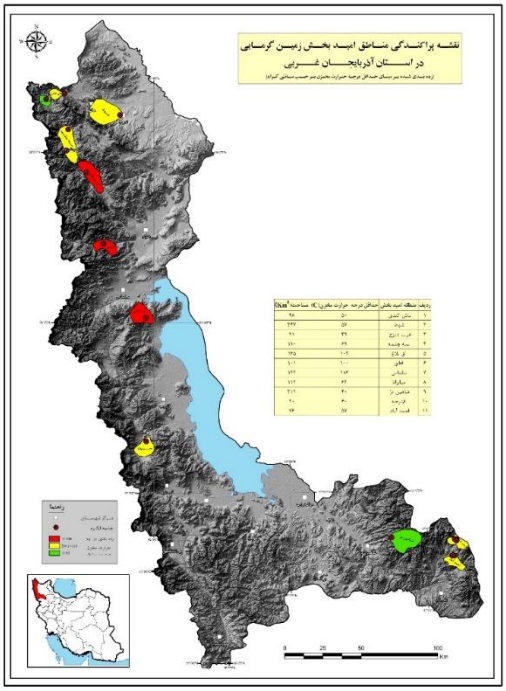
ردیف	نام استان	وسعت (Km^2)	تعداد چشمه‌های آب گرم	دامنه درجه حرارت چشمه‌ها (C)	تعداد مناطق امیدبخش شناسایی شده
۱	آذربایجان شرقی	۴۵۴۹۱	۳۶	۳۵-۲۵	۲۲
۲	اردبیل	۱۷۸۸۰	۳۱	۸۶-۲۸	۶
۳	آذربایجان غربی	۴۳۰۰۰	۳۷	۵۷-۲۶	۱۲
٤	قزوین	۱۵۶۴۰	۵	۵۳-۳۰	۲
۵	خراسان جنوبی	۱۵۰۷۳۲	۸	۳۸-۳۱	۳

با توجه به‌ضرورت به‌روزرسانی نقشه پتانسیل منابع انرژی زمین‌گرمایی در کشور، در سال ۱۳۹۹، با انجام یک فعالیت مشترک بین سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) و گروه انرژی‌های تجدیدپذیر پژوهشگاه نیرو، دقیق‌ترین و به‌روزترین نقشه پتانسیل منابع انرژی زمین‌گرمایی کشور تهیه و منتشر شد. برای تهیه نقشه مذکور، از منابع اطلاعاتی متعددی به شرح زیر استفاده شد:

- اطلاعات مربوط به پروژه‌های پتانسیل سنجی استان‌های مطالعه شده
- اطلاعات مندرج در پایان‌نامه‌های دانشگاهی در مقاطع کارشناسی ارشد و دکترا
- اطلاعات مندرج در مقالات علمی و پژوهشی بین‌المللی و داخلی معتبر
- اطلاعات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- گزارش‌های علمی و فنی وزارت نیرو

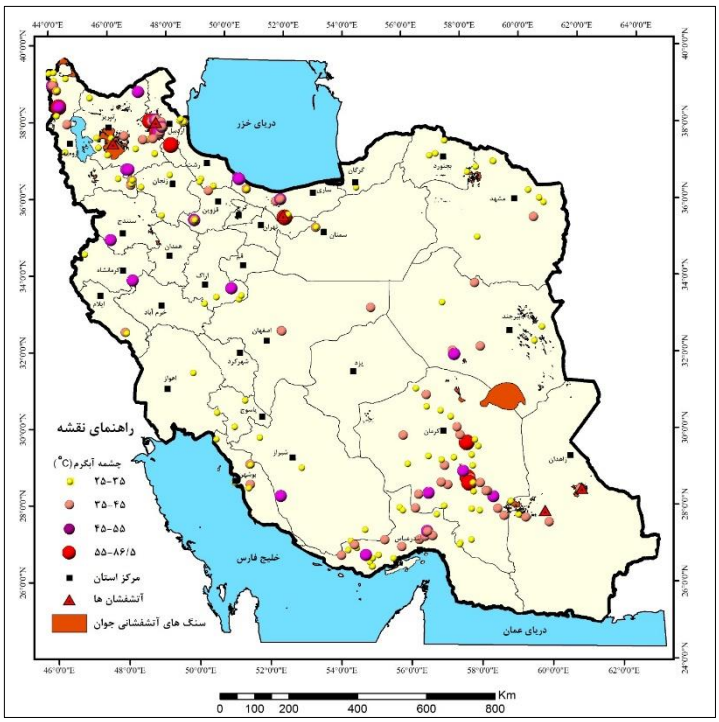
پس از گردآوری اطلاعات، آن‌ها به‌دقت موردبررسی قرار گرفتند. در ادامه، موقعیت دقیق چشمه‌های آب گرم، گسل‌های اصلی و محدوده سنگ‌های آتش‌فشانی جوان کشور به محیط نرم‌افزاری GIS منتقل‌شده و نهایتاً به یک نقشه یکپارچه تبدیل شدند.

نهایتاً با پایان یافتن بررسی‌ها مشخص شد که از حیث وفور منابع انرژی زمین‌گرمایی، استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، هرمزگان و کرمان جزو استان‌های دارای پتانسیل بالا محسوب می‌شوند. در شکل (۲)، جدیدترین نقشه پراکندگی منابع انرژی زمین‌گرمایی هیدروترمال کشور نشان داده شده است. علاوه بر این، در شکل (۳) نیز تعداد مناطق امیدبخش زمین‌گرمایی در استان‌های مختلف ایران، نمایش داده شده است. یادآور می‌گردد که بر اساس بررسی‌ها و مطالعات به‌عمل‌آمده، از بین ۳۱ استان کشور، استان‌های تهران، قم، یزد، چهارمحال و بختیاری، همدان، البرز و لرستان فاقد منبع انرژی زمین‌گرمایی هیدروترمال هستند.

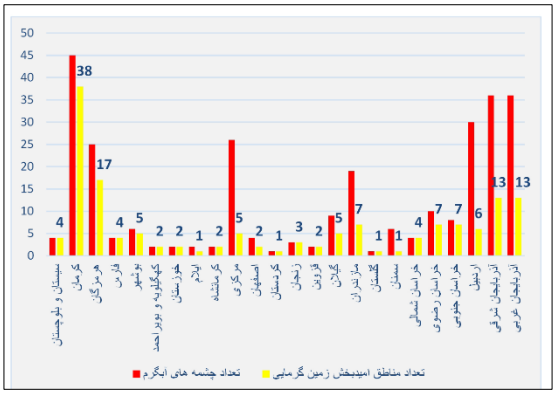


شکل (۱)– نقشه پراکندگی مناطق امیدبخش زمین‌گرمایی هیدروترمال در استان آذربایجان غربی

ازآنجایی‌که اغلب منابع انرژی زمین‌گرمایی شناسایی شده در کشور از نوع حرارت پایین تا متوسط هستند لذا آن‌ها برای راه‌اندازی طرح‌های کاربرد مستقیم (پرورش آبزیان مختلف، تأمین گرمایش منازل و گلخانه‌ها و غیره) و یا تولید برق به کمک سیکل دومداره مناسب هستند. البته، بدیهی است که با اجرای پروژه‌های پتانسیل‌سنجی سیستماتیک در هر یک از استان‌های کشور، می‌توان مشخصات دقیق هر یک از مناطق امیدبخش زمین‌گرمایی شناسایی شده را نیز به دست آورد.



شکل (۲)- نقشه پراکندگی مناطق امیدبخش زمین‌گرمایی هیدروترمال در ایران



شکل (۳)- نمودار توزیع چشمه‌های آبگرم و مناطق امیدبخش زمین‌گرمایی در استان‌های کشور

غول فناوری

شرکت میتسوبیشی پاور

این شرکت یکی از زیرمجموعه‌های گروه صنعتی بزرگ صنایع سنگین میتسوبیشی (Mitsubishi Heavy Industries) است که اختصاصاً فعالیت‌های آن مرتبط با تولید برق در انواع نیروگاه‌ها است. این شرکت در حوزه نیروگاه‌های زمین‌گرمایی نیز بسیار فعال بوده و تعداد قابل‌توجهی از نیروگاه‌های زمین‌گرمایی را در سراسر جهان، طراحی و احداث کرده است. علاوه برساخت نیروگاه‌های زمین‌گرمایی، سایر زمینه‌های فعالیت این شرکت، طراحی و ساخت نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، نیروگاه‌های بخار و نیروگاه‌های زغال‌سنگ‌سوز هستند. یادآور می‌گردد که گروه صنعتی میتسوبیشی، در سال ۱۹۲۳ و در کشور ژاپن تأسیس شده است. بااین‌وجود، شرکت میتسوبیشی پاور به‌عنوان یکی از زیرمجموعه‌های گروه مذکور در سال ۲۰۱۳ فعالیت خود را آغاز نموده است.

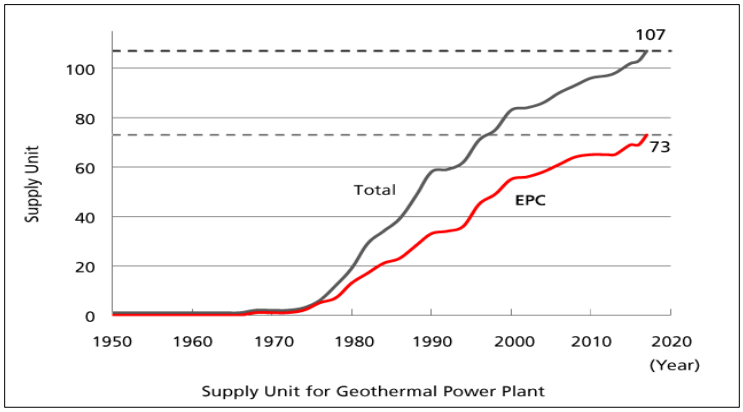
علاوه بر طراحی و ساخت انواع نیروگاه، شرکت میتسوبیشی پاور، تجهیزات و تأسیسات زیر را نیز طراحی و تولید می‌کند:

- توربین‌های گاز
- توربین‌های بخار
- بویلرها
- سیستم‌های کنترل کیفیت هوا
- ژنراتورها
- سیستم‌های کنترل نیروگاهی

- پیل‌های سوختی
- سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی

در حوزه انرژی زمین‌گرمایی، این شرکت نیروگاه‌هایی با ابعاد بسیار متفاوت، از ۱۰۰ کیلووات تا ۱۶۰ مگاوات را احداث می‌کند. در حال حاضر، با استفاده از تجهیزات ساخت شرکت میتسوبیشی پاور، در ۱۰۰ واحد نیروگاه زمین‌گرمایی، مجموعاً ۳۰۰۰ مگاوات برق در ۱۳ کشور جهان تولید می‌شود.

نکته شایان ذکر آنکه برای نخستین بار در جهان کارشناسان این شرکت، سیکل تولید برق تبخیر آنی دومرحله‌ای[17] را در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی، طراحی و اجرا کردند. با بررسی‌ها و تحقیقات انجام شده توسط کارشناسان شرکت میتسوبیشی پاور، نیروگاه‌های زمین‌گرمایی احداث‌شده توسط شرکت یادشده، دارای بیشترین بازدهی و بالاترین ساعت کارکرد پیوسته در بین نیروگاه‌های زمین‌گرمایی فعال جهان هستند. به‌عنوان‌مثال، نیروگاه زمین‌گرمایی لس آزوفرس ۳[18] که در سال ۲۰۱۵ در مکزیک احداث شد پس از یک سال فعالیت، با بررسی اطلاعات گردآوری‌شده، مشخص شد که نیروگاه فوق‌الذکر در ۹۹/۶ ٪ زمان کارکرد خود، برق تولید نموده است. بدون شک، این ضریب دسترسی، در نوع خود، مقدار بسیار قابل‌توجهی محسوب می‌شود. عمده فعالیت‌های شرکت میتسوبیشی در حوزه نیروگاه‌های زمین‌گرمایی از اواسط دهه ۷۰ میلادی آغاز شد. همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است پس از شروع فعالیت‌های این شرکت، فرآیند احداث نیروگاه‌ها با شتاب مناسبی ادامه یافت و تا به امروز نیز این روند ادامه دارد.



شکل (۱)– نمودار تعداد واحدهای تولید توان نصب‌شده در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی در سراسر جهان توسط شرکت میتسوبیشی طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۰

[17] Double flash power cycle
[18] Los Azufres III

نکته قابل‌ذکر آن‌که، شرکت میتسوبیشی پاور صرفاً سازنده تجهیزات نیروگاهی نبوده و علاوه بر طراحی و ساخت تجهیزات و تأسیسات نیروگاهی، خدمات مهندسی، تدارکات و ساخت نیروگاه‌های زمین‌گرمایی (EPC)[19] را نیز ارائه می‌دهد. بر اساس اطلاعات منتشرشده توسط پایگاه اطلاع‌رسانی شرکت مذکور، از سال ۱۹۵۰ تاکنون، ۱۰۷ واحد نیروگاه زمین‌گرمایی توسط این شرکت در اقصی نقاط جهان، طراحی و احداث شده است. نکته قابل‌توجه آنکه، حدود ۷۰ ٪ سرمایه‌گذاران نیروگاه‌های فوق‌الذکر، متقاضی دریافت خدمات EPC نیز از این شرکت بوده‌اند، شکل (۱).

هدف اصلی در شرکت میتسوبیشی پاور این است که به نحوی نیروگاه‌های زمین‌گرمایی را طراحی و احداث نمایند که آن‌ها قادر باشند حداکثر توان ممکن را از منابع محدود انرژی زمین‌گرمایی موجود، تولید نمایند. البته، در خصوص منابع انرژی زمین‌گرمایی، باید به دو نکته مهم اشاره کرد. نخست اینکه خصوصیات هر مخزن زمین‌گرمایی، منحصربه‌فرد بوده و دوم اینکه، شرایط جوی منطقه احداث هر نیروگاه زمین‌گرمایی نیز با سایر نیروگاه‌های زمین‌گرمایی تفاوت دارد. بدیهی است که موارد مذکور، تأثیر بسزایی در فرآیند طراحی و ساخت نیروگاه زمین‌گرمایی موردنظر خواهند داشت.

شکل (۲)– نمایی از نیروگاه زمین‌گرمایی افلر (Efeler) در ترکیه به ظرفیت ۹۷/۶ مگاوات

در اشکال (۲) و (۳) تصاویری از نیروگاه‌های زمین‌گرمایی احداث شده توسط شرکت میتسوبیشی در کشورهای ترکیه و کنیا نشان داده‌شده‌اند.

شکل (۳)– نمایی از نیروگاه زمین‌گرمایی الکاریا ۳ (Olkarai III) در کنیا به ظرفیت ۱۵۸ مگاوات

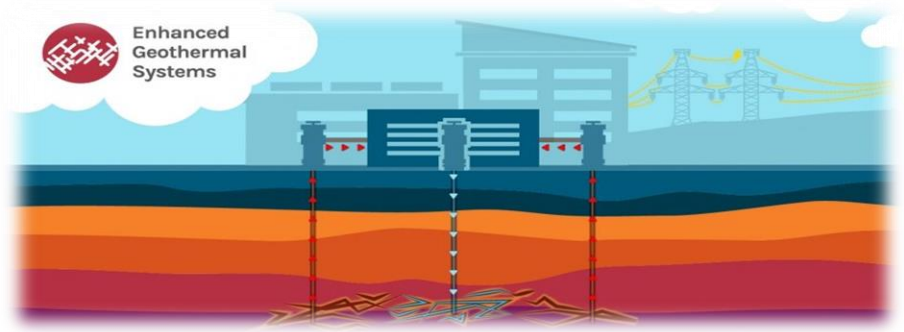
منابع:

- www.power.mhi.com
- www.aiib.org
- Bloomberg.com

[19] Engineering, Procurement, Construction

تحولات فناورانه

منابع انرژی زمین‌گرمایی پیشرفته، آینده‌ای درخشان برای توسعه فراگیر انرژی زمین‌گرمایی در جهان



سیستم‌های زمین‌گرمایی پیشرفته (Enhanced/Engineered Geothermal System: EGS) جزو منابع انرژی زمین‌گرمایی عمیق به شمار می‌روند. این دسته از منابع زمین‌گرمایی به‌طور مصنوعی در اعماق زمین ایجاد شده و به کمک بخار خروجی از آن‌ها می‌توان برق تولید نمود. درواقع، منابع یادشده، به آن دسته از سیستم‌های زمین‌گرمایی اطلاق می‌شود که در آن منابع هیدروترمال به‌طور مصنوعی تشکیل می‌شود.

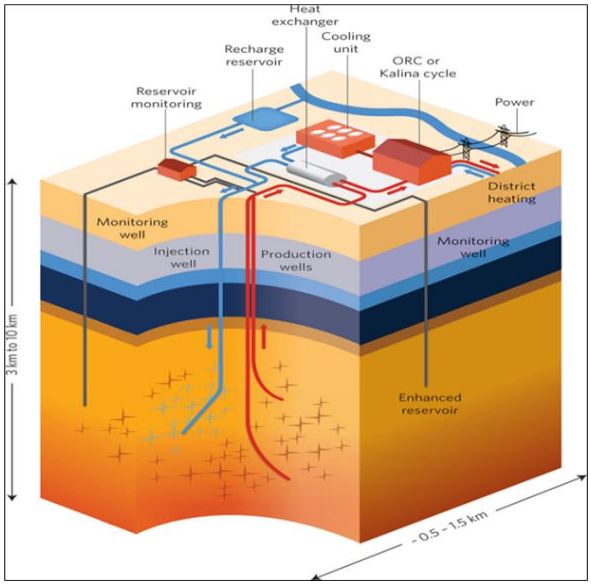
نیروگاه‌های زمین‌گرمایی هیدروترمال، به دلیل متمرکز شـــدن آن‌ها در مکان‌هایی بخصـــوص و همچنین اندازه و ابعاد آن‌ها، دارای محدودیت‌هایی هســـتند که منابع پیشـــرفته، این محدودیت‌ها را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهند. به این صـــورت که مخازن هیدروترمال مصـــنوعی در اعماق پوســـته و درجایی که ســـنگ‌های داغ به دلیل عدم وجود ســـیال و یا نفوذپذیری مناســـب تا پیش‌ازاین غیرقابل اســـتفاده بوده‌اند، تشـــکیل گردیده و از انرژی آن‌ها بهره‌برداری می‌شـــود. از ســـوی دیگر، منابع پیشرفته، موجب افزایش طول عمر سیستم‌های زمین‌گرمایی نیز می‌شوند.

در حال حاضر، منابع هیدروترمال موجود در عمق‌های نسبتاً کمی قرار دارند اما در منابع EGS، با ایجاد شکستگی‌ها و شکاف‌ها در سنگ‌های واقع در اعماق ۳ تا ۱۰ کیلومتری زمین و همچنین، تزریق سیال به درون سنگ‌های یادشده، مخازن هیدروترمال مصنوعی به وجود می‌آیند. در شکل ۱ طرح نمونه یک سیستم زمین‌گرمایی پیشرفته نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است عمق تشکیل این منابع بیشتر از منابع هیدروترمال متعارف است. همچنین، در این سیستم‌ها سیال از طریق چاه‌های تزریقی به محدوده شکستگی‌ها تزریق‌شده و پس از گرم شدن، با استفاده از چاه‌های تولیدی به سطح زمین، منتقل و جهت تولید برق، وارد نیروگاه زمین‌گرمایی می‌گردد.

سیستم‌های زمین‌گرمایی متعارف دارای عمر مشخصی جهت برداشت سیال داغ هستند و به‌طورکلی میانگین عمر یک مخزن زمین‌گرمایی متعارف حدود ۳۰ سال در نظر گرفته می‌شود. این در حالی است که از سیستم‌های زمین‌گرمایی پیشرفته می‌توان به مدت طولانی‌تری استفاده نمود.

مهم‌ترین تفاوت‌های منابع انرژی زمین‌گرمایی پیشرفته با سیستم‌های زمین‌گرمایی مرسوم عبارت هستند از:

- منابع انرژی زمین‌گرمایی پیشرفته در عمق بیشتری قرار دارند.
- تعداد منابع انرژی زمین‌گرمایی پیشرفته نسبت به منابع هیدروترمال بسیار بیشتر است.
- مخزن زمین‌گرمایی در منابع هیدروترمال به‌صورت طبیعی و بر اساس شرایط خاص زمین‌شناختی منطقه تشکیل شده است. درحالی‌که مخازن زمین‌گرمایی پیشرفته به‌صورت مصنوعی ایجاد می‌شوند.
- ازآنجایی‌که مخازن زمین‌گرمایی پیشرفته به‌صورت مصنوعی ایجاد شده و در عمق بیشتری قرار دارند، لذا هزینه‌های آن نیز بسیار بیشتر از منابع متعارف انرژی زمین‌گرمایی است.



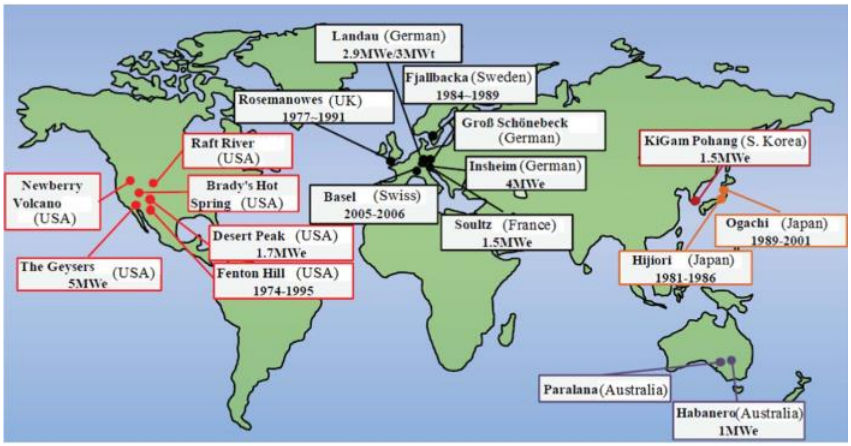
شکل (۱)– طرح نمونه یک سیستم زمین‌گرمایی پیشرفته

- به دلیل فراوانی تعداد منابع زمین‌گرمایی پیشرفته، می‌توان در مناطق گسترده‌تری به تولید برق از این دسته از منابع زمین‌گرمایی پرداخت یا به‌عبارت‌دیگر، گزینه‌های بیشتری جهت احداث نیروگاه‌های زمین‌گرمایی در دسترس خواهد بود.

مهم‌ترین مانع در توسعه منابع انرژی زمین‌گرمایی پیشرفته، ایجاد مخازن هیدروترمال مصنوعی و تأمین مجراهای ضروری جهت گردش آب درون سنگ‌های داغ و خردشده است. به‌منظور کارکرد پیوسته یک نیروگاه EGS، تولید پیوسته و مداوم

سیال داغ، امری ضروری است. برای ایجاد این پیوستگی در تولید سیال، باید هم سیال کافی موجود باشد و هم سیال موردنظر بتواند به‌راحتی در مخزن زمین‌گرمایی جریان داشته باشد.

طی ۴۰ سال اخیر، فناوری‌های مرتبط با منابع انرژی زمین‌گرمایی پیشرفته، در کشورهای مختلفی توسعه پیدا کرده است که در شکل (۲)، موقعیت پروژه‌های اجراشده در حوزه منابع مذکور در جهان نشان داده شده است.



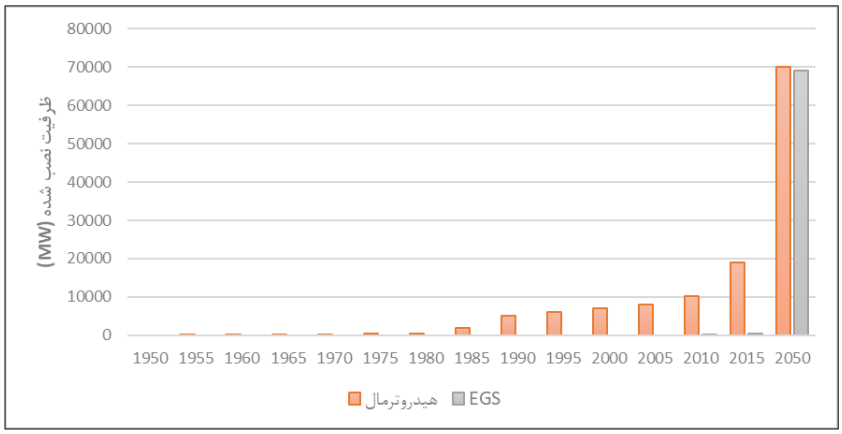
شکل (۲)– نقشه پراکندگی مهم‌ترین نیروگاه‌های EGS فعال در جهان

همان‌گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، در این سال‌ها کشورهای متعددی اقدام به راه‌اندازی نیروگاه EGS نموده‌اند ولی به دلیل نیاز این پروژه‌ها به هزینه زیاد و همچنین فناوری‌ها و تجهیزات پیشرفته، اکثر پروژه‌های EGS در دنیا در مرحله تحقیقاتی هستند. درواقع، چنانچه برخی از آن‌ها باهدف تجاری نیز در حال اجرا هستند، بااین‌وجود، آن‌ها نیز در مراحل اولیه توسعه فناوری‌های مرتبط با این حوزه هستند.

اولین نمونه از نیروگاه‌های EGS در مقیاس اقتصادی در سایت Soultz فرانسه و سایت Landau آلمان به بهره‌برداری رسیدند. با ادامه توسعه این حوزه پیش‌بینی‌شده است تا سال ۲۰۵۰ ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌های EGS به ۷۰ گیگاوات در جهان برسد. در این سال‌ها با توسعه فناوری‌های جدید، اکتشافات جدید و رفع سایر چالش‌های این حوزه، تمرکز توسعه انرژی‌های زمین‌گرمایی از روش‌های سنتی به EGS تغییر خواهد نمود.

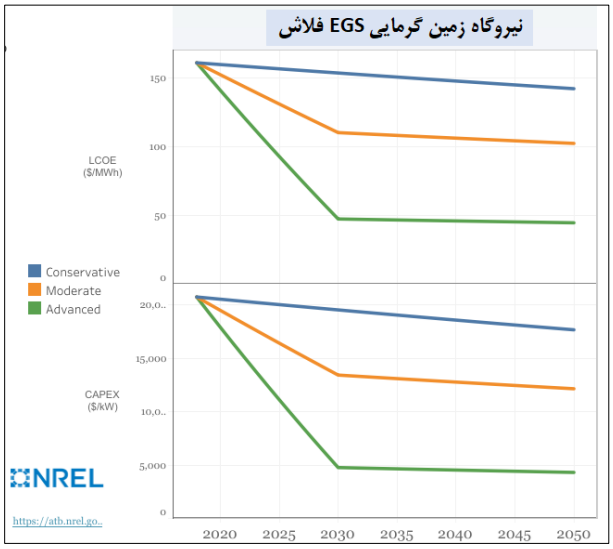
یک گروه تحقیقاتی وابسته به دانشگاه MIT، پیش‌بینی نموده است که تا سال ۲۰۵۰، صرفاً در آمریکا در حدود ۱۰۰ هزار مگاوات ظرفیت نیروگاههای زمین‌گرمایی پیشرفته خواهد بود که به نظر، بسیار خوش‌بینانه است. همچنین، طبق گزارش‌های سازمان زمین‌شناسی آمریکا، این کشور، توانایی تولید ۵۱۷ هزار مگاوات برق معادل نیمی از کل تولید برق این کشور از منابع EGS را دارد. به‌عبارت‌دیگر، در نقاطی که از درجه حرارت بیشتری برخوردار هستند می‌توان منابع زمین‌گرمایی پیشرفته را ایجاد نمود. بااین‌وجود، علیرغم تحقیقات صورت گرفته تاکنون، کماکان فناوری‌های مرتبط با بهره‌برداری از منابع انرژی

زمین‌گرمایی پیشرفته، تجاری نیستند. درواقع، تجاری‌سازی فناوری‌های یادشده، هنوز هم به سرمایه‌گذاری و حمایت بیشتر و جدی‌تر دولت‌ها نیاز دارد.



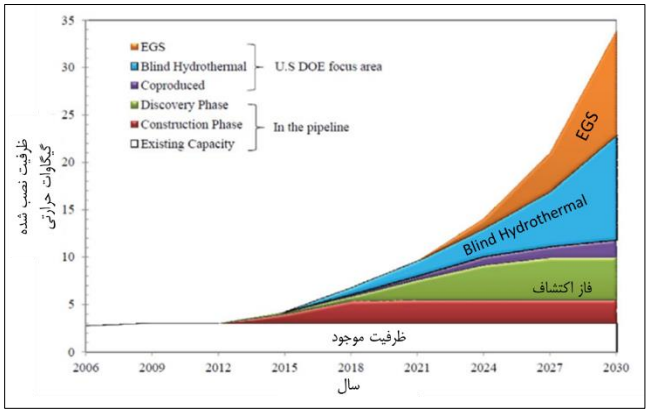
شکل (۳)– پیش‌بینی توسعه ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌هایEGS در جهان تا سال ۲۰۵۰

بااین‌وجود، پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آینده با توسعه این فناوری و کاهش هزینه‌های مربوطه آن، توجه ویژه‌ای به این دسته از نیروگاه‌های زمین‌گرمایی خواهد شد، شکل (۳). روند توسعه فناوری‌های این بخش به‌گونه‌ای است که طبق برآوردهای انجام شده، در سال ۲۰۳۰، هزینه تولید برق از منابع انرژی زمین‌گرمایی پیشرفته به ۰.۰۶ دلار به ازای هر کیلووات ساعت، کاهش می‌یابد.



شکل (۴) – پیش‌بینی روند تغییرات هزینه تراز شده و CAPEX یک نیروگاه زمین‌گرمایی EGS دارای سیکل تبخیر آنی در آمریکا برای سه سناریوی مختلف

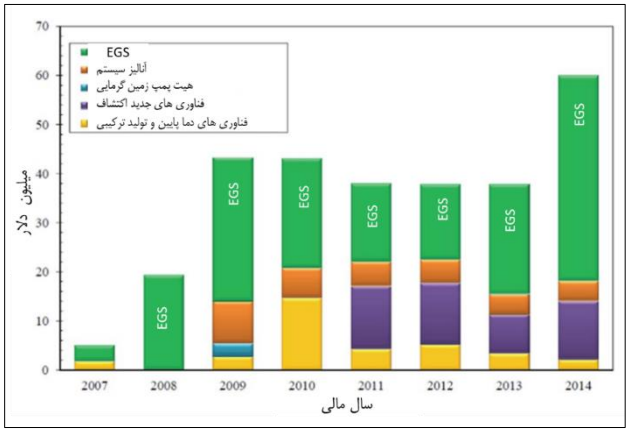
همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است یکی از اهداف اصلی از توسعه فناوری‌های مرتبط با منابع پیشرفته در آمریکا، کاهش هزینه‌های راه‌اندازی و نهایتاً کاهش هزینه انرژی تولیدشده از این فناوری است به‌گونه‌ای که برق تولیدشده در نیروگاه‌های فوق‌الذکر بتواند با سایر گزینه‌های تولید برق رقابت نماید.



شکل (۵)– پیش‌بینی روند توسعه انواع منبع انرژی زمین‌گرمایی در آمریکا طی سال‌های ۲۰۰۶ الی ۲۰۳۰

بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته در آمریکا منابع انرژی زمین‌گرمایی EGS تا سال ۲۰۳۰ با سرعت بسیار زیادی رشد خواهند کرد، شکل (۵). درواقع کشور مذکور و سایر کشورهای پیشرفته، سرمایه‌گذاری فراوانی را برای توسعه این بخش انجام داده‌اند و امیدوار هستند که با این سرمایه‌گذاری‌ها به‌تدریج، موانع فنی و اقتصادی این حوزه را نیز برطرف نمایند.

مطابق شکل (۶) در آمریکا از سال ۲۰۰۸ تاکنون، سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی در صرف تحقیقات در خصوص فناوری‌های مرتبط با منابع EGS شده است. این کشور امیدوار است که با سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده، هزینه‌های احداث نیروگاه‌های EGS را به‌میزان قابل‌ملاحظه‌ای کاهش دهد در جدول (۱) میزان کاهش هزینه‌های مرتبط با تولید برق از یک نیروگاه EGS در آمریکا طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ ارائه شده است.



شکل (۶) – روند سرمایه اختصاص‌یافته به بخش‌های مختلف حوزه انرژی زمین‌گرمایی در آمریکا طی سال‌های ۲۰۰۷ الی ۲۰۱۴

جدول (۱) – پیش‌بینی روند کاهش هزینه‌های تولید برق از یک نیروگاه EGS در آمریکا طی سال‌های ۲۰۱۱ الی ۲۰۳۰

ردیف	نوع هزینه	هزینه تراز شده سال ۲۰۱۱ (دلار بر کیلووات ساعت)	هزینه ترازشده ۲۰۳۰ (دلار بر کیلووات ساعت)
۱	اکتشاف و ارزیابی منابع	۰.۰۳۷	۰.۰۰۴
۲	حفاری و ایجاد شکاف مصنوعی	۰.۰۷۴	۰.۰۱۶
۳	ساخت نیروگاه	۰.۰۵۳	۰.۰۲۵
۴	تعمیر و نگهداری	۰.۰۴۳	۰.۰۱۵
۵	بیمه پوشش ریسک	۰.۰۲۴	
۶	کل	۰.۲۳۱	۰.۰۶

منابع:

- https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.097
- https://www.energy.gov/eere/geothermal/
- https://www.bestec-for-nature.com/index.php/en/projects-en/insheim-en
- https://atb.nrel.gov/electricity
- https://www.energy.gov/index.php/eere/geothermal

تحولات فناورانه

منابع انرژی زمین‌گرمایی فوق بحرانی، عمق بیشتر، توان بیشتر

منابع انرژی زمین‌گرمایی هیدروترمال متعارف در محدوده خاصی از عمق و درجه حرارت قرار می‌گیرند. غالباً منابع مذکور دارای حداکثر ۳۰۰۰ متر عمق و درجه حرارتی بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد هستند. به‌طورمعمول، از هر چاه زمین‌گرمایی متعارف می‌توان بین ۲ تا ۴ مگاوات برق تولید کرد.

بااین‌وجود، دانشمندان حوزه انرژی زمین‌گرمایی معتقد هستند که با حفر چاه‌های عمیق در مناطق فعال آتش‌فشانی می‌توان به درجه حرارت‌های بالاتر و بالطبع، حجم زیادی از بخار فوق بحرانی[۲۰] دست‌یافت. درواقع، در منابع فوق بحرانی، سیال موجود در مخزن، به‌جای سیال دوفازی (مخلوط آب داغ و بخار)، از نوع بخار فوق بحرانی است. طبق تعریف، سیال فوق بحرانی، سیالی است که درجه حرارت آن بیشتر از ۳۷۴ درجه سانتی‌گراد و فشار آن نیز حدود ۲۲۰ بار است بنابراین، به دلیل آنتالپی بالاتر، با استفاده از بخار فوق بحرانی خروجی از یک چاه زمین‌گرمایی بسیار عمیق، می‌توان برق بسیار بیشتری نیز تولید نمود. برآوردها نشان می‌دهد که توان تولید برق یک چاه زمین‌گرمایی فوق بحرانی می‌تواند تا ۱۰ برابر میزان برق تولیدشده توسط یک چاه متعارف زمین‌گرمایی نیز باشد.

ازآنجایی‌که حفر یک چاه زمین گرمای فوق بحرانی مستلزم دسترسی به منابع مالی کافی و همچنین، فناوری‌های پیشرفته است لذا در حال حاضر، صرفاً کشورهای توسعه‌یافته‌ای مانند ایسلند و ژاپن، فعالیت‌های خود را در این خصوص آغاز نموده‌اند.

[20] Superheated steam

❖ اهداف مطالعات پژوهشی

بدون شک، حفر چاه‌های بسیار عمیق در مناطق فعال آتش‌فشانی، امری چالش‌برانگیز و بسیار هزینه‌بر است. بنابراین، قطعاً کشورهای پیشرفته‌ای که به تحقیق و پژوهش در خصوص این دسته از منابع انرژی زمین‌گرمایی می‌پردازند باید اهداف خاصی را در این خصوص مدنظر داشته باشند. در ادامه، مختصراً اهداف مذکور معرفی می‌گردند.

❖ اهداف علمی

ازآنجایی‌که تاکنون در هیچ جای جهان، منابع زمین‌گرمایی حرارت بالا، موردبررسی قرار نگرفته‌اند لذا با اجرای پروژه‌های عملیاتی در منابع مذکور، می‌توان اطلاعات علمی ارزشمندی را در خصوص این دسته از منابع انرژی زمین‌گرمایی به دست آورد. برخی از اطلاعاتی که با اجرای این قبیل پروژه‌ها مشخص خواهند شد به شرح زیر هستند:

- نحوه گردش سیال در محیط‌های آتش‌فشانی فعال
- بررسی دقیق و نمونه‌برداری از سیال فوق بحرانی
- بررسی شرایط حاکم بر منابع انرژی زمین‌گرمایی فوق بحرانی
- ارزیابی تجهیزات مرتبط با عملیات حفاری، نمونه‌برداری و نمودارگیری از چاه در شرایط حرارت بسیار زیاد
- بررسی وضعیت زمین‌شناسی آتش‌فشان‌های فعال واقع در مناطق قاره‌ای و اقیانوسی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر

❖ اهداف اقتصادی

بدیهی است که تمامی کشورهای درحال‌توسعه از سال‌ها قبل، شبکه سراسری برق خود را تکمیل کرده‌اند. اما علیرغم این موضوع، در هر کشوری، توسعه پایدار اقتصادی مستلزم تأمین زیرساخت انرژی آن نیز هست. بنابراین، کشورهای توسعه‌یافته نیز از این قاعده مستثنی نبوده و آنها نیز می‌بایست مطابق با برنامه‌های پیش‌بینی‌شده خود، توان تولید برق خود را افزایش دهند.

ناگفته پیداست که با اجرای پروژه‌های پژوهشی می‌توان گلوگاه‌های فناورانه و بالطبع پرهزینه بهره‌برداری از منابع فوق بحرانی را شناسایی نمود. بدون شک، با رفع موانع فناورانه، مسیر برای تجاری‌سازی استفاده از منابع فوق بحرانی هموار خواهد شد. به‌عبارت‌دیگر، چنانچه فناوری‌های مرتبط با بهره‌برداری از منابع انرژی زمین‌گرمایی فوق بحرانی، تجاری‌سازی شوند در آن صورت با حفر یک چاه زمین‌گرمایی فوق بحرانی می‌توان حدوداً معادل ۱۰ برابر یک چاه زمین‌گرمایی معمولی، برق تولید نمود.

❖ معرفی کشورهای پیشرو

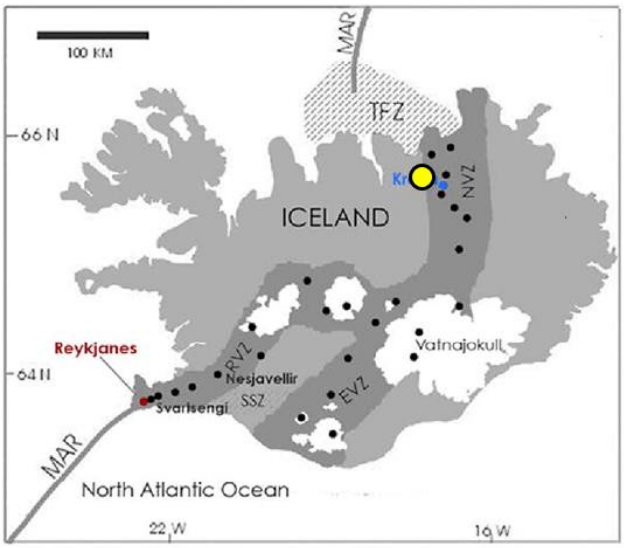
- **ایسلند**

ایسلند از یک سو به دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی خود و از سوی دیگر به دلیل تجربه بسیار طولانی در بهره‌برداری از منابع انرژی زمین‌گرمایی، یکی از مناسب‌ترین کشورهای جهان برای پژوهش و تحقیق در خصوص منابع زمین‌گرمایی فوق بحرانی، محسوب می‌شود.

این کشور از لحاظ فعالیت‌های آتش‌فشانی، بسیار فعال بوده و به همین دلیل یکی از مکان‌های مناسب جهان برای بررسی منابع انرژی زمین‌گرمایی فوق بحرانی به شمار می‌رود. در ایسلند پروژه‌های مرتبط با منابع فوق بحرانی با اصطلاح Iceland Deep Drilling Project (IDDP) یا "پروژه حفاری عمیق ایسلند" شناخته می‌شوند. البته ازآنجایی‌که منابع فوق بحرانی ایسلند در دونقطه متفاوت از این کشور، موردمطالعه و بررسی قرارگرفته‌اند لذا در ادامه توضیحات مختصری در خصوص هر یک از پروژه‌های یادشده، ارائه می‌شود.

- پروژه IDDP-1

مشخصات این پروژه برای نخستین بار در سال ۲۰۰۰ معرفی شد. طبق توافق‌های به‌عمل‌آمده، مقرر شد پروژه IDDP-1 توسط کنسرسیومی از سه شرکت ایسلندی و شرکت‌هایی از نروژ، امریکا و کانادا انجام شود. با آغاز فعالیت‌های اجرایی، ظرف یک سال و با بررسی کلیه اطلاعات سطحی و زیرسطحی موجود، از بین سه نقطه مناسب در شمال و جنوب غرب کشور، منطقه کرافلا[۲۱] واقع در شمال شرق ایسلند برای حفر نخستین چاه عمیق کشور انتخاب شد. در شکل (۱) موقعیت چاه شماره IDDP-1 در کشور ایسلند نشان داده شده است.



شکل (۱)- موقعیت چاه عمیق IDDP-1 در شمال شرق ایسلند

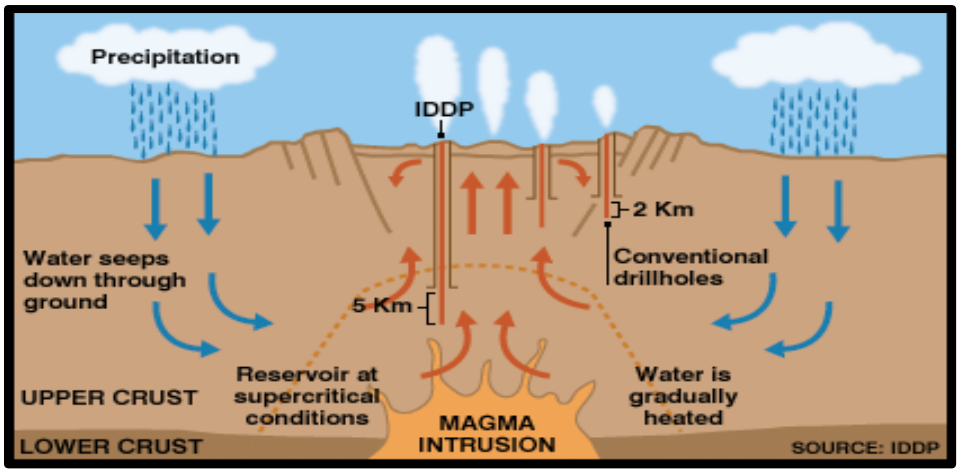
[21] Krafla

عملاً هدف اصلی از اجرای این پروژه، دستیابی به بخش‌های زیرین یک منبع زمین‌گرمایی متعارف بوده است. درواقع، با حفر یک چاه عمیق، می‌توان به بخش‌هایی از یک منبع انرژی زمین‌گرمایی متعارف که تاکنون موردبررسی قرار نگرفته‌اند دست‌یافت. طبق پیش‌بینی‌های اولیه، این احتمال وجود دارد که با حفر چاه یادشده، بتوان سیالی را یافت که درجه حرارت آن بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده و فشار آن نیز کمتر از ۲۲۰ بار[۲۲] باشد. طبق برنامه از پیش تعیین‌شده، مقررشده بود که چنانچه نفوذپذیری سنگ‌ها کم باشد با تزریق سیال سرد به درون سنگ‌های داغ، درز و شکاف‌های جدیدی در سنگ‌ها به وجود آمده و درنتیجه، درز و شکاف‌های موجود، توسعه یابند. علاوه بر مطالب یادشده، موارد زیر نیز جزو اهداف اجرای پروژه‌های IDDP بودند:

- افزایش توان تولیدشده توسط یک چاه واحد
- توسعه یک منبع زمین‌گرمایی جدید در بخش‌های زیرین یک منبع زمین‌گرمایی متعارف
- افزایش طول عمر مخزن یا زمان بهره‌برداری از مخزن زمین‌گرمایی در حال تولید و همچنین تأسیسات و تجهیزات نیروگاهی مربوطه آن
- ارزیابی مجدد پتانسیل منابع انرژی زمین‌گرمایی موجود
- سایر مزایای صنعتی، آموزشی و اقتصادی
- کسب دانش در خصوص وضعیت نفوذپذیری سنگ‌ها در اعماق بیش از ۲۰۰۰ متری زمین
- کسب دانش نحوه انتقال انرژی حرارتی از ماگما به آب
- نحوه تزریق آب به درون چاه‌های عمیق و داغ و استحصال حرارت از چاه‌های مذکور
- استحصال احتمالی محصولات ارزشمند شیمیایی از سیال زمین‌گرمایی خروجی از چاه‌های عمیق

در خصوص چاه شماره IDDP-1 پیش‌بینی می‌شد که عمق چاه موردنظر حدود ۴۵۰۰ متر بوده و درجه حرارت انتهای چاه نیز بین ۴۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد. در شکل (۲)، مقایسه عمق یک چاه عمیق فوق بحرانی نسبت به عمق چاه‌های متعارف زمین‌گرمایی نمایش داده شده است.

[22] bar



شکل (۲)– مقایسه عمق چاه IDDP-1 با عمق چاه‌های متعارف زمین‌گرمایی در منطقه کرافلا (شمال شرق ایسلند)

چاه IDDP-1 حدفاصل سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ حفر شد. هرچند که طبق برنامه اولیه، مقررشده بود که چاه مذکور تا عمق ۴۵۰۰ متری حفر شود ولی عملاً در عمق ۲۱۰۰ متری، این چاه به یک توده کم‌عمق ماگمایی با درجه حرارت بیش از ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد برخورد کرد و به دنبال آن عملیات حفاری متوقف شد. طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ این چاه به‌منظور بررسی توان تولید برق آن، به‌تفصیل مورد آزمایش قرار گرفت. بر اساس نتایج آزمایشات یادشده، مشخص شد که این چاه قادر است در فشار ۲۰ بار، ۳۶ مگاوات برق تولید کند. حداکثر دبی سیال اندازه‌گیری شده چاه نیز معادل ۵۰ کیلوگرم بخار در ثانیه بود. در شکل (۳)، تصویری از زمان آزمایش چاه IDDP-1 نشان داده شده است.

شکل (۳)– نمایی از آزمایش چاه زمین‌گرمایی IDDP-1 در منطقه کرافلا (ایسلند) با توان تولید برق ۳۶ مگاوات

البته، ذکر این نکته نیز ضروری است که طی انجام آزمایشات، حداکثر فشار اندازه‌گیری شده چاه معادل ۱۴۰ بار بود. بااین‌وجود، علیرغم توان بسیار زیاد چاه، به دلیل بروز مشکل‌های به وجود برای چندین قطعه از شیرآلات سرچاهی و عدم امکان استفاده از چاه، چاه مذکور با تزریق سیمان بسته شد. بااین‌وجود، در حین عملیات حفاری و همچنین، انجام آزمایشات، اطلاعات بسیار ارزشمندی در خصوص منابع انرژی زمین‌گرمایی فوق بحرانی به دست آمد. قبلاً بر اساس مطالعات اکتشافی انجام شده مشخص شده بود که در زیر منطقه موردبررسی، یک اتاقک ماگمایی با وسعت ۶ کیلومترمربع وجود دارد که در اعماق ۳ تا ۷ کیلومتری واقع شده است.

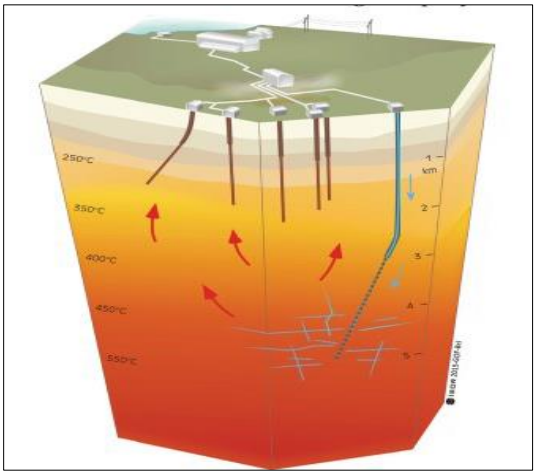
مهم‌ترین درسی که می‌توان از اجرای پروژه IDDP-1 گرفت این است که در آینده و جهت بهره‌برداری از منابع زمین‌گرمایی فوق بحرانی، می‌بایست تمام لوله‌های جداری، شیرآلات سرچاهی و سایر تجهیزاتی که در آن‌ها سیال زمین‌گرمایی برای تولید برق در آن‌ها جریان دارد باید در برابر سیال‌های دارای درجه حرارت‌های بسیار زیاد و همچنین، بسیار خورنده مقاوم باشند. درواقع، برای تولید برق، تجهیزات یادشده برای زمان‌های طولانی در معرض سیالات بسیار داغ و خورنده قرار دارند.

- پروژه IDDP-2

پس از حفر چاه عمیق IDDP-1 و کسب تجربه از این پروژه، محققین تصمیم گرفتند که دومین چاه عمیق را در یک منبع زمین‌گرمایی فوق بحرانی در منطقه ریکینس[۲۳] واقع در جنوب ایسلند حفر کنند. این چاه نیز نظیر چاه IDDP-1 در یک منطقه آتش‌فشانی فعال حفر شد.

درواقع، برای حفر چاه IDDP-2، چاه شماره RN-15 که قبلاً در منطقه مذکور حفرشده و ۲۵۰۰ متر عمق داشت انتخاب شد. بدین ترتیب که چاه یادشده به‌صورت انحرافی (دارای زاویه نسبت به محور قائم) تا عمق ۴۶۵۰ متری (معادل ۴۵۰۰ متری عمودی) حفر شد. در شکل (۴) طرح نمونه چاه IDDP-2 در مقایسه با سایر چاه‌های حفرشده در منطقه، نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است عمق چاه IDDP-2 تقریباً دو برابر عمق چاه‌های زمین‌گرمایی مجاور خود است.

[23] Reykjanes



شکل (۴)- مقایسه عمق چاه زمین‌گرمایی IDDP-2 نسبت به سایر چاه‌های حفرشده در منطقه ریکینس (ایسلند)

پس از تکمیل حفر چاه، در کف آن درجه حرارت سیال زمین‌گرمایی معادل ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. در حین حفاری این چاه، به دلیل شـرایط خشـن چاه، لوله جداری موجود در چاه آسـیب دید که متعاقب بروز این مشـکل، عملیات حفاری متوقف شد. بدون شک، با انجام تحقیقات در خصوص تجهیزات و تأسیسات مقاوم در برابر شرایط درجه حرارت‌ها و فشارهای بسیار زیاد، می‌توان مسیر بهره‌برداری از منابع انرژی زمین‌گرمایی فوق بحرانی را هموارتر نمود.

بدون تردید با اجرای پروژه‌های IDDP-1 و IDDP-2 اطلاعات بسیار ارزشمندی در خصوص منابع زمین‌گرمایی فوق بحرانی ایسلند به دست آمد. بااین‌وجود، کماکان به مطالعات و پژوهش‌های بیشتری در این زمینه نیاز است. در همین راستا و طبق برنامه از پیش تعیین‌شده، تا سال ۲۰۲۶، چاه شماره IDDP-3 نیز در منطقه زمین‌گرمایی هنگیتل[۲۴] واقع در جنوب غرب ایسلند حفر خواهد شد. برای حفر چاه یادشده و همچنین، احداث نیروگاه در مجاورت چاه‌های IDDP-1، IDDP-2 و IDDP-3، ۱۰۰ میلیون یورو اعتبار در نظر گرفته شده است.

- **ژاپن**

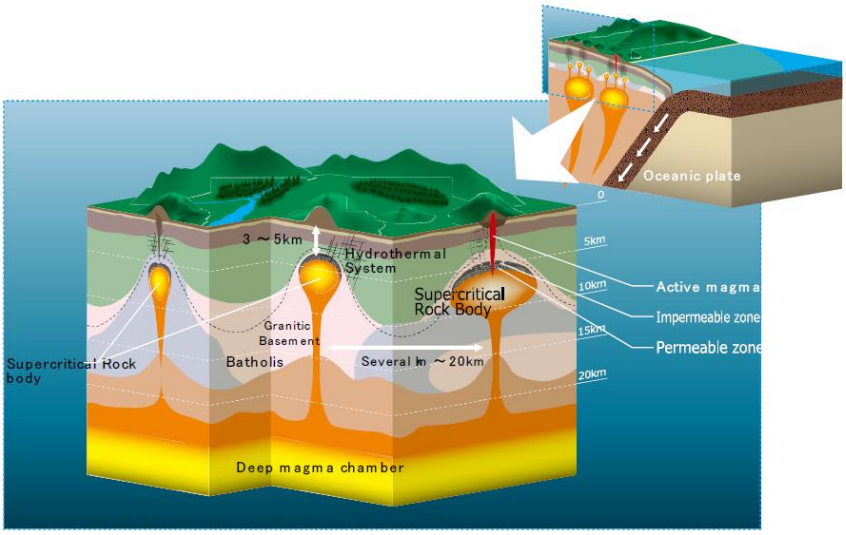
ژاپن نیز همانند ایسلند به دلیل موقعیت زمین‌شناسی خاص خود دارای تعداد قابل‌توجهی آتش‌فشان فعال است. در حال حاضـر، این کشـور به کمک منابع انرژی زمین‌گرمایی متعارف خود حدود ۵۰۰ مگاوات برق تولید می‌کند. ازآنجایی‌که ژاپن جزو کشـورهای توسعه‌یافته و صـنعتی محسـوب می‌گردد لذا از دیدگاه فناورانه، قابلیت تحقیق و پژوهش در خصـوص منابع انرژی زمین‌گرمایی فوق بحرانی را نیز دارد. البته، ذکر این نکته نیز ضروری است که پس از وقوع سونامی ناشی از زلزله در سال ۲۰۱۱ و بروز مشکل جدی برای نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما، دولت ژاپن تصمیم گرفت که ظرفیت تولید برق خود را از

[24] Hengill

نیروگاه‌های هسته‌ای به نیروگاه‌های تجدیدپذیر تغییر دهد. بر اساس مطالعات انجام شده، در این کشور می‌توان به کمک منابع فوق بحرانی صدها گیگاوات برق تولید نمود. استفاده از منابع طبیعی یادشده، از یک سو موجب تأمین انرژی پایدار کشور شده و از سوی دیگر، موجب کاهش قابل‌ملاحظه تولید گاز دی‌اکسید کربن می‌گردد.

نتایج مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهند که درجه حرارت منابع فوق بحرانی ژاپن، بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده و عمق سنگ‌های ماگمایی در این کشور نسبت به سایر کشورهای جهان کمتر است. در شکل (۵) مقایسه عمق منابع انرژی زمین‌گرمایی متعارف و فوق بحرانی ژاپن نمایش داده شده است. بنابراین، این کشور از مزایای مناسبی جهت پرداختن به حوزه منابع زمین‌گرمایی فوق بحرانی برخوردار است. بااین‌وجود، از دیدگاه فناورانه، کماکان موارد ناشناخته زیادی وجود دارند که می‌بایست با اجرای پروژه‌های پژوهشی، شناسایی شوند.

بنابراین، با توجه به مزایای قابل‌توجه بهره‌برداری از منابع فوق بحرانی، در سال ۲۰۱۷ دولت ژاپن تولید برق با استفاده از منابع زمین‌گرمایی مذکور را به‌عنوان یکی از برنامه‌های راهبردی خود برای کاهش میزان گاز دی‌اکسید کربن تا سال ۲۰۵۰ (بر اساس توافق‌نامه COP-21) انتخاب نمود. هزینه‌های اجرای پروژه فوق‌الذکر توسط سازمان توسعه فناوری‌های صنعتی و انرژی‌های نو[۲۵] (NEDO) تأمین خواهد شد.



شکل (۵)– مقایسه عمق منابع انرژی زمین‌گرمایی متعارف و فوق بحرانی در ژاپن

- **اهداف**

با توجه به موارد ناشناخته در خصوص منابع انرژی زمین‌گرمایی فوق بحرانی در ژاپن، مهم‌ترین اهدافی که با اجرای پروژه‌های پژوهشی در این خصوص برآورده خواهند شد به شرح زیر هستند:

- جستجو برای یافتن موقعیت مکانی منابع زمین‌گرمایی فوق بحرانی در کشور

[25] New Energy and Industrial Technology Development Organization

- درک بهتر و دقیق‌تر خصوصیات و شرایط طبیعی حاکم بر منابع مذکور
- شناسایی روش‌های استخراج مقرون‌به‌صرفه و ایمن انرژی از منابع فوق بحرانی
- هموار کردن مسیر برای احداث نیروگاه‌های جدید زمین‌گرمایی با استفاده از منابع فوق بحرانی
- بررسی و تحقیق در خصوص ساخت تجهیزات و تأسیسات سرچاهی و نیروگاهی مقاوم در برابر سیال‌های دارای درجه حرارت بسیار زیاد و بسیار خورنده

○ پروژه‌های پژوهشی

بررسی‌های اولیه نشان می‌دهند که عمق منابع فوق بحرانی ژاپن بین ۳ تا ۵ کیلومتر است. همچنین، بر اساس مدل‌های اولیه تهیه‌شده پیش‌بینی‌شده است که با استفاده از یک چاه عمیق حفرشده در مناطق فوق بحرانی می‌توان تا ۴۰ مگاوات برق تولید کرد البته به این شرط که بتوان با انجام روش‌های خاصی میزان نفوذپذیری چاه را افزایش داد. از سوی دیگر، دانشمندان پیشنهاد کرده‌اند که به‌منظور بهره‌برداری بهینه و اقتصادی از منابع فوق بحرانی بهتر است که از مبدل‌های حرارتی درون‌چاهی استفاده شود.

طبق برنامه راهبردی تهیه‌شده دولت ژاپن، در آینده نزدیک، تعداد ۸ پروژه تحقیقاتی در خصوص منابع انرژی زمین‌گرمایی فوق بحرانی در این کشور اجرا خواهد شد. عناوین پروژه‌های یادشده، به شرح زیر هستند:

- ارزیابی اولیه و کلی منابع انرژی زمین‌گرمایی فوق‌بحرانی کشور
- بررسی و تحقیق در خصوص طراحی و ساخت تجهیزات سرچاهی و نیروگاهی جهت تولید برق از منابع فوق بحرانی
- تحقیق درزمینه ایجاد منابع زمین‌گرمایی فوق بحرانی مصنوعی (منابع فاقد سیال طبیعی)
- تحقیق در زمینه استفاده از هوش مصنوعی به‌منظور توسعه منابع زمین‌گرمایی فوق بحرانی
- پژوهش در زمینه ابداع سیستم اندازه‌گیری تنش در سنگ‌ها هم‌زمان با حفر چاه‌های زمین‌گرمایی فوق بحرانی
- تحقیق و بررسی در خصوص ابداع روش‌های پایش منابع زمین‌گرمایی فوق بحرانی
- پژوهش در خصوص فناوری‌ها و مواد ضروری جهت بهره‌برداری از منابع زمین‌گرمایی فوق بحرانی
- توسعه سامانه‌های پایش منابع انرژی زمین‌گرمایی پیشرفته (Engineering Geothermal System)

منابع:

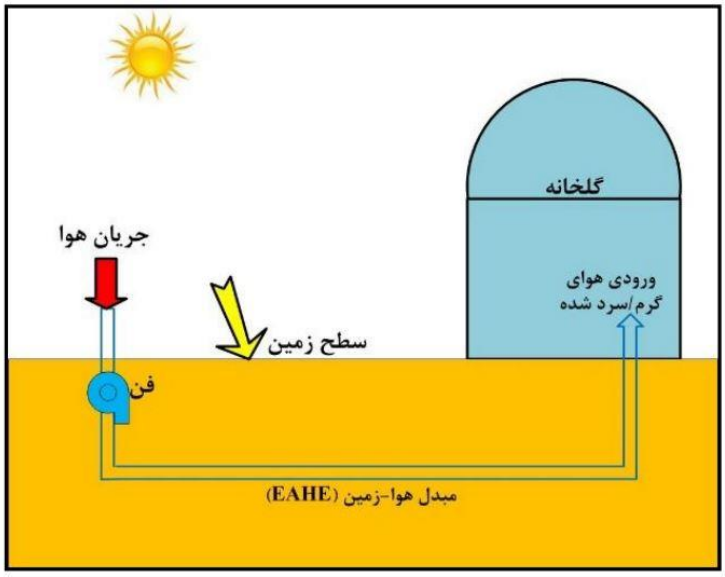
- https://www.thinkgeoenergy.com
- https://www.researchgate.net
- https://pangea.stanford.edu/ERE/db/IGAstandard

کاربردی

دالان‌های زمین‌گرمایی، راهکاری برای کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌های کشور

به تجربه ثابت شده است که درجه حرارت زمین در اعماق کم آن، در تمام طول سال ثابت بوده و تغییر نمی‌کند. با استفاده از همین پدیده طبیعی، یکی از محبوب‌ترین موارد کاربرد انرژی زمین‌گرمایی با عنوان "دالان‌های زمین‌گرمایی" ابداع شده است. در بسیاری از کشورها از سیستم‌های مذکور برای تأمین بخشی از انرژی موردنیاز جهت گرمایش و سرمایش فضاهای مسکونی و صنعتی استفاده می‌شود. نکته جالب در خصوص این سیستم‌ها این است که معماری آن‌ها برگرفته از بادگیرهایی است که در ایران باستان برای سرمایش فضای داخلی خانه‌های واقع در مناطق کویری ایران، مورداستفاده قرار می‌گرفته‌اند.

اجزای اصلی تشکیل‌دهنده دالان‌های زمین‌گرمایی، مجموعه‌ای از لوله‌های سیمانی یا پلی‌اتیلنی، یک یا چند فن و تعدادی دریچه هستند که معمولاً در کف فضای موردنظر قرار دارند. از این سیستم‌ها عمدتاً برای تأمین گرمایش و سرمایش فضای داخلی گلخانه‌ها استفاده می‌شود. هرچند مواردی نیز مشاهده‌شده‌اند که از آن‌ها برای گرمایش و سرمایش سایر فضاها مانند منازل مسکونی، مرغداری‌ها و غیره نیز استفاده‌شده است. به‌منظور آشنایی بیشتر، در شکل (۱) طرح نمونه یک سیستم دالان زمین‌گرمایی مرتبط با یک گلخانه و نحوه کار آن نمایش داده شده است.



شکل (۱)- طرح نمونه یک سیستم دالان زمین‌گرمایی جهت تأمین گرمایش و سرمایش فضای یک گلخانه

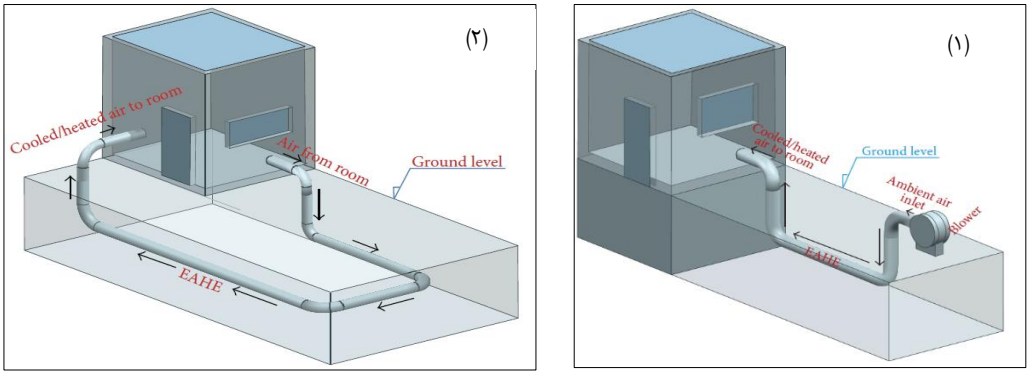
نظر به مزایای متعدد دالان‌های زمین‌گرمایی، استفاده از آن‌ها در سراسر جهان به‌شدت در حال گسترش است. کشورمان نیز از این قاعده مستثنی نبوده و بهره‌برداری از این سیستم‌ها در ایران نیز به‌تدریج رو به افزایش است. مزایای استفاده از دالان‌های زمین‌گرمایی در گلخانه‌ها به شرح زیر هستند:

- کاهش مصرف سوخت و برق موردنیاز برای تأمین گرمایش و سرمایش فضا
- هزینه احداث کم
- هزینه تعمیر و نگهداری کم
- عدم انتشار آلاینده‌های هوا
- قابلیت استفاده در تمام فصول سال
- یکنواخت بودن حرارت در محیط

شایان ذکر آنکه، مزایای فوق‌الذکر به‌قدری جذاب هستند که سبب شده، مالکین گلخانه‌ها بدون دریافت هیچ‌گونه کمک‌هزینه یا اعمال سیاست‌های تشویقی از سوی دولت، خود رأساً اقدام به طراحی و نصب این سیستم‌ها در گلخانه‌های خود نموده‌اند. به‌عبارت‌دیگر، شاید بتوان ادعا نمود که سیستم‌های دالان زمین‌گرمایی جزو معدود سیستم‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر هستند که بدون هیچ‌گونه حمایتی، درحال‌توسعه در کشور هستند.

از دالان‌های زمین‌گرمایی برای تأمین گرمایش و سرمایش سایر فضاها هم استفاده می‌شود. به‌عنوان‌مثال، از این سیستم‌ها در مدارس، دانشگاه‌ها، فروشگاه‌ها و منازل نیز استفاده شده است. در ایران، از این سیستم‌ها غالباً در گلخانه‌ها استفاده می‌شود.

این سیستم‌ها برحسب نوع طراحی و نحوه فعالیت، به دو نوع اصلی باز و بسته، تقسیم‌بندی می‌شوند. در سیستم‌های باز، هوا در کانال یا لوله موردنظر به‌صورت یک‌طرفه، جریان می‌یابد. اما در سیستم‌های بسته، جریان هوا در داخل کانال یا لوله‌ها به‌صورت گردشی است. در شکل (۲)، انواع باز و بسته دالان‌های زمین‌گرمایی، نمایش داده‌شده‌اند.



شکل (۲)– انواع دالان زمین‌گرمایی، (۱) نوع باز، (۲) نوع بسته

با انجام پروژه‌های تحقیقاتی، مشخص شده است که عوامل زیر بر نحوه عملکرد سیستم‌های دالان زمین‌گرمایی مؤثر هستند:

- جنس لوله‌های مدفون در زمین
- ابعاد هندسی و طراحی سیستم
- میزان جریان هوا
- نوع خاک

همان‌گونه که پیش‌تر به آن اشاره شد، در ایران نیز از دالان‌های زمین‌گرمایی برای تأمین گرمایش و سرمایش فضای داخلی گلخانه‌ها استفاده می‌شود. طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده، تا سال ۱۳۹۹ تعداد ۱۴ گلخانه که مجموع مساحت آن‌ها به ۳۰ هکتار می‌رسد از این سیستم‌ها استفاده کرده‌اند. ازآنجایی‌که در سال ۱۴۰۱، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر پژوهشگاه نیرو، یک پروژه پژوهشی را در این حوزه آغاز نموده است لذا جهت بررسی بیشتر و دقیق‌تر این سیستم‌ها از یکی از گلخانه‌های مجهز به دالان زمین‌گرمایی در استان البرز بازدید به عمل آمد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از بررسی گلخانه مذکور، مشخص شد که چنانچه، علاوه بر استفاده از سیستم دالان زمین‌گرمایی، سازه گلخانه نیز با عایق‌بندی بسیار مناسبی احداث گردد در آن صورت به میزان قابل‌توجهی در مصرف انرژی برای تأمین گرمایش و سرمایش گلخانه موردنظر، صرفه‌جویی خواهد شد.

پیرو رایزنی‌های به‌عمل‌آمده با مالکین گلخانه‌های مجهز به سیستم دالان زمین‌گرمایی در کشور، مشخص شد که استفاده از سیستم مذکور در اقلیم‌های سردسیر موجب کاهش مصرف سوخت گلخانه‌ها از ۲۰ تا ۷۰ درصد شده است. این در حالی

است که میزان کاهش مصرف انرژی در اقلیم‌های گرمسیر تا ۱۰۰ درصد نیز گزارش‌شده است. میزان کاهش مصرف برق گلخانه‌ها برای تأمین سرمایش در فصل تابستان نیز تا حدود ۵۰ درصد اعلام‌شده است.

با توجه به مزایای متعدد استفاده از دالان‌های زمین‌گرمایی در گلخانه‌ها پیشنهاد می‌شود که سیاست‌های تشویقی مناسب و مؤثری جهت توسعه بهره‌برداری از آن‌ها در کشور، تدوین و اجرا شوند. با توجه به طرح توسعه گلخانه‌ها در کشور تا سال ۱۴۱۰، بدون شک استفاده از سیستم‌های دالان زمین‌گرمایی، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی (سوخت و برق) در کشور خواهد داشت. در جدول (۱)، میزان مصرف فعلی انرژی در گلخانه‌های کشور با مقادیر پیش‌بینی‌شده منتاظر آن در سال ۱۴۱۰ ارائه شده است. البته، ذکر این نکته نیز ضروری است که چنانچه از دالان‌های زمین‌گرمایی در سایر فضاهای سرپوشیده کشور نیز استفاده شود در آن‌صورت، میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی کشور به‌مراتب بیشتر از مقادیر برآورد شده کنونی خواهد بود.

میزان مصرف انرژی	برق (مگاوات ساعت)	گاز طبیعی (مترمکعب)	گازوئیل (لیتر)
مصرف کل در کشور	۲۵۰۰	۳/۳۶۰/۰۰۰/۰۰۰	۱/۲۰۰/۰۰۰/۰۰۰
پیش‌بینی تا سال ۱۴۱۰	۸۵۰۰	۷/۱۴۰/۰۰۰/۰۰۰	۲/۵۵۰/۰۰۰/۰۰۰

جدول (۱)– آمار میزان مصرف انرژی سالیانه در گلخانه‌های کشور و چشم انداز ۱۰ ساله آن

منبع:

گزارش‌های پروژه " ارزیابی فنی-اقتصادی بهره‌برداری از دالان‌های زمین‌گرمایی در کشور و ارائه راهکارهای توسعه این سیستم‌ها"

خبر خارجی

استفاده از حرارت سیال زمین‌گرمایی برای فرآوری قهوه در اندونزی

در منطقه کاموجانگ (Kamojang) اندونزی، با استفاده از سیال زمین‌گرمایی، فرآوری دانه‌های قهوه (Geothermal Coffee processing, GCP) را انجام می‌دهند. این اقدام، از یک سو موجب کاهش زمان فرآورش شده و از سوی دیگر مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی نیز دربردارد. این کاربرد مستقیم انرژی زمین‌گرمایی، موجب توانمندسازی جوامع محلی شده و همچنین، سبب پیدایش مزایای اجتماعی برای بهره‌برداران از این منبع انرژی می‌گردد. همان‌گونه که اشاره شد این پتانسیل در اندونزی و از طریق فرآورش قهوه در منطقه یادشده عینیت یافته است. یادآور می‌شود که این پروژه توسط شرکت Pertamina Geothermal Energy (PGE) در منطقه جاوه غربی، احداث شده و بهره‌برداری می‌شود. بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده تاکنون، استفاده از انرژی زمین‌گرمایی، زمان مراحل فرآورش دانه‌های قهوه (شامل فرآیندهای تخمیر و خشک‌کردن) را به نحو قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داده است. بدین ترتیب که بدون استفاده از سیال زمین‌گرمایی، زمان شستشو و خشک‌کردن کامل دانه‌های قهوه، به ۷ تا ۱۰ روز، پردازش عسل به ۱۴ تا ۳۰ روز و فرآورش طبیعی نهایی به ۴۲ تا ۵۳ روز زمان نیاز دارد. حال آنکه، با استفاده از حرارت سیال زمین‌گرمایی، دوره‌های زمانی مذکور به نحو چشمگیری کاهش می‌یابند. بدین ترتیب که زمان شستشو و خشک‌کردن کامل دانه‌های قهوه به ۲ تا ۴ روز، پردازش عسل به ۴ تا ۷ روز و فرآورش طبیعی نهایی به ۷ تا ۱۰ روز زمان نیاز دارد.

نکته لازم ذکر آنکه، بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی، از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی نیز مزایایی در پی دارد. بدین ترتیب که با استفاده از سیال زمین‌گرمایی، تولید گاز CO_2 و همچنین، زباله‌های آلی به ترتیب به میزان ۴ تن و ۴۱۹ کیلوگرم در سال کاهش می‌یابد. ازنظر اقتصادی نیز استفاده از سیال یادشده، موجب کاهش هزینه‌ها به میزان ۱۰۶۵۹ دلار در سال شده است. بدیهی است که در صورت توسعه کارگاه‌های فرآورش قهوه در منطقه کاموجانگ، اعداد مذکور به‌مراتب افزایش خواهند یافت.

منبع: CNBC Indonesia

خبر خارجی

منطقه آناتولی، بهشت انرژی زمین‌گرمایی در ترکیه

کشور ترکیه ازنقطه‌نظر فراوانی منابع انرژی زمین‌گرمایی ازجمله کشورهای پیشتاز در قاره اروپا و چهارمین کشور جهان، محسوب می‌شود. البته، چنانچه با استفاده از روش‌های نوین و ترکیبی، این کشور از این ثروت طبیعی خود، بهره‌برداری بهینه‌تری به‌عمل‌آورده و ارزش‌افزوده بیشتری تولید کند در آن صورت تا حدود زیادی به یکی از کشورهای پیشتاز جهان از حیث بهره‌برداری از منابع انرژی زمین‌گرمایی تبدیل خواهد شد.

در این خصوص، رئیس هیئت انجمن انرژی زمین‌گرمایی ترکیه، بیان نمود که "در حال حاضر این کشور به میزان ۵۰۰۰ مگاوات از منابع انرژی زمین‌گرمایی خود استفاده می‌نماید. موارد استفاده مذکور شامل تولید برق، تأمین گرمایش منازل مسکونی و گلخانه‌ها و همچنین، مجتمع‌های آب‌درمانی می‌شوند. بااین‌وجود، ظرفیت کشف نشده منابع انرژی زمین‌گرمایی در ترکیه، به میزان ۶۲۰۰۰ مگاوات برآورد شده است."

وی اضافه نمود، "از حیث منابع انرژی زمین‌گرمایی، منطقه آناتولی در ترکیه نقش قابل‌توجهی دارند. درواقع، منابع مذکور در این منطقه به‌منزله منابع نفتی پایان‌ناپذیری هستند که می‌توان از آن‌ها برای کاربردهای مختلف بهره‌برداری کرد. بااین‌وجود، ما خوشحال هستیم که در برخی از استان‌ها و مناطق کشورمان ذخایر نفتی جدیدی شناسایی شده است. بدون

شک، ما می‌بایست به همان میزان یا حتی بیشتر باید برای شناسایی منابع انرژی زمین‌گرمایی در کشورمان نیز شادی کنیم زیرا منابع مذکور جزو منابع انرژی پاک و پایدار هستند."

وی ادامه داد "بیایید وقتی یک منبع انرژی زمین‌گرمایی پیدا می‌کنیم خوشحال باشیم. وی با اشاره به اینکه در سال‌های اخیر تجربه شرکت‌های حفاری ترکیه در اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی تأثیر قابل‌توجهی بر فعالیت‌های اکتشافی و حفاری منابع نفتی در ترکیه داشته است، بیان نمود که اکتشاف منابع نفتی و منابع انرژی زمین‌گرمایی از نظر فنی و مهندسی بسیار به یکدیگر نزدیک هستند. بااین‌وجود، وقتی در یکی از استان‌های کشورمان نفت یافت می‌شود، فریادهای شادی را از بسیاری از اقشار جامعه و رسانه‌ها می‌شنویم، اما وقتی این اتفاق برای منابع انرژی زمین‌گرمایی رخ می‌دهد که نتیجتاً این موضوع، می‌تواند موجب ارزش‌آفرینی در جامعه از جنبه‌های مختلف شود، همین لذت تجربه نمی‌شود.

بدیهی است که با شناسایی منابع انرژی زمین‌گرمایی در یک منطقه، فرصت‌های ارزشمندی از قبیل تولید برق، کشت محصولات گلخانه‌ای، تأمین گرمایش منازل و پرورش انواع آبزیان در آن منطقه ایجاد می‌شود که متعاقباً موجب رونق اقتصادی و افزایش اشتغال‌زایی در منطقه یادشده می‌شود. استفاده بهینه‌تر از منابع مذکور برای ارتقا شاخص‌های زیست‌محیطی و اقتصادی کشور ما مهم است. ترکیه از نظر منابع زیرزمینی، موقعیت منحصربه‌فردی دارد. درواقع، انرژی زمین‌گرمایی جواهری است که در بسیاری از زمینه‌ها به توسعه اقتصادی کشورها کمک می‌کند.

وی در ادامه اظهار داشت که با توجه به تجارب ارزشمندی که کشورها در تمامی حوزه‌های انرژی زمین‌گرمایی دارند ما می‌توانیم در این خصوص، رهبر جهان باشیم. در واقع، به دنبال تسریع در سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی زمین‌گرمایی، شرکت‌های حفاری مستقر در ترکیه با اجرای پروژه‌های متعدد در داخل کشور و حتی در سایر کشورها حدفاصل سال‌های ۲۰۱۰ الی ۲۰۲۰، تجارب ارزشمندی را به دست آوردند.

شکل (۱)– نمایی از چشمه‌های آب گرم در منطقه پاموکاله

وی در ادامه سخنان خود اظهار داشت که "منطقه آناتولی یک جغرافیای باشکوه است که برای هزاران سال است که مردم در آن با ثروت ناشی از انرژی زمین‌گرمایی عجین شده و در مکان‌هایی که نشانه‌های این منبع انرژی وجود داشته است ساکن

شده‌اند. آنان با استفاده از این انرژی منازل خود را گرم کرده و بیماری‌های خود را درمان کرده‌اند. آناتولی بهشت زمین‌گرمایی است. به‌عبارت‌دیگر، در این منطقه، منابع انرژی زمین‌گرمایی به‌مثابه منابع نفتی است. اگر از منابع انرژی زمین‌گرمایی آناتولی که حدود ۱۵۰۰ عدد برآورد شده است، به نحو مناسبی در راستای افزایش رفاه مردم استفاده کنیم، در آن صورت می‌توانیم رتبه چهارم خود در رتبه‌بندی جهانی را به رتبه یک ارتقا دهیم. سرمایه‌گذاران فعال در حوزه انرژی زمین‌گرمایی ترکیه بادانش مهندسی، منابع انسانی و توان مالی خود آماده‌اند تا نقش ارزنده‌ای در تحقق این چشم انداز بزرگ داشته باشند. امروزه می‌بینیم که شرکت‌های حفاری ترکیه نیروگاه‌های زمین‌گرمایی را در یک جغرافیای وسیع از اروپا تا آفریقا و خاور دور احداث کرده‌اند . بدون شک، انرژی زمین‌گرمایی جایگاه مهمی در منابع اصلی انرژی ترکیه داشته و یقیناً استفاده از آن، به تحقق چشم انداز دولت ما در خصوص دستیابی به "انتشار خالص صفر کربن در سال ۲۰۵۳" کمک قابل‌توجهی می‌کند.

شکل (۲)– نمایی از فضای داخلی یک گلخانه زمین‌گرمایی در منطقه ارزروم

منبع:JeotermalHaberler

خبر خارجی

تأمین سرمایش ساختمان‌ها با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی در امارات متحده عربی

نمایی از تأسیسات مربوط به پروژه سرمایش منطقه‌ای زمین‌گرمایی در شهر مصدر (ابوظبی، امارات متحده عربی)

شرکت ملی نفت ابوظبی (Abu Dhabi National Oil Company, ADNOC) و شرکت ملی سرمایش مرکزی (National Central Cooling Company) یا شرکت "تبرید" اعلام کردند که فعالیت‌های مشترک خود را در پروژه G2COOL (سرمایش منطقه‌ای زمین‌گرمایی) آغاز می‌کنند. این پروژه، نخستین پروژه سرمایش مرکزی در منطقه خلیج‌فارس است که با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی فعالیت خواهد کرد. در حال حاضر، پروژه سرمایش مرکزی زمین‌گرمایی ۱۰ ٪ نیاز بارهای سرمایشی شهر مصدر را تأمین می‌کند. یادآور می‌شود که مصدر، شهری است که در مجاورت ابوظبی، مرکز کشور امارات متحده عربی واقع شده است.

چند ماه قبل، شرکت‌های مذکور اعلام کردند که به دلیل آزمایش موفق دو چاه زمین‌گرمایی، پیشرفت قابل‌ملاحظه‌ای در پروژه سرمایش مرکزی زمین‌گرمایی رخداده است. شایان ذکر آنکه، درجه حرارت آب خروجی از چاه‌ها، ۹۰ درجه سانتی‌گراد و مجموع دبی آن‌ها حدود ۱۰۰ لیتر بر ثانیه است. در حال حاضر، در سیستم سرمایش مذکور، به کمک آب داغ خروجی از چاه‌ها و با استفاده از فناوری سرمایش جذبی، آب‌خنک تولید می‌شود که از آن برای راه‌اندازی سیستم سرمایش مرکزی شرکت تبرید استفاده می‌شود.

چاه‌های زمین‌گرمایی فوق‌الذکر حدفاصل سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ و توسط شرکت Reykjavik Geothermal حفرشده‌اند. پیرو موفقیت‌های به‌دست‌آمده در پروژه‌های زمین‌گرمایی و همچنین، فناوری‌های مرتبط با سرمایش مرکزی و همچنین فعالیت‌های توسعه‌ای در شهر مصدر، شرکا را بر آن داشت که پروژه را مورد بازبینی قرار دهند.

پروژه اصلی شرکت ادنوک با اختصاص ۱۵ میلیارد دلار اولیه و به‌منظور کاهش تولید کربن و دستیابی به تولید کربن صفر تا سال ۲۰۴۵ فعال شده است. به کمک سیستم سرمایش مرکزی زمین‌گرمایی، می‌توان فرآیند کربن‌زدایی از سیستم‌های سرمایشی متعارف ساختمان‌ها در شهر مصدر را سرعت بخشید. درواقع، این اقدام موجب تنوع‌بخشی به منابع انرژی در امارات متحده عربی خواهد شد که خود بخشی از برنامه راهبردی انرژی این کشور تا سال ۲۰۵۰ محسوب می‌شود.

انرژی موردنیاز برای سرمایش منازل، بیش از ۷۰ ٪ مصرف انرژی در کشور امارات متحده عربی را در برمی‌گیرد. مطالعات نشان می‌دهند که سرمایش مرکزی، گزینه پایدارتری نسبت به سیستم‌های سرمایشی متعارف هستند. زیرا سیستم‌های مرکزی، درصورتی‌که مطابق استانداردها فعالیت کنند از نظر مصرف انرژی، نسبت به سیستم‌های سرمایشی متعارف، حدود ۵۰ ٪ بهینه‌تر هستند. با به‌کارگیری انرژی زمین‌گرمایی در سیستم‌های سرمایش مرکزی، می‌توان به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای تقاضا برای مصرف برق سیستم‌های سرمایشی را در سطح کشور کاهش داد.

در این خصوص، مدیر اجرایی بخش راهکارهای اجرایی کاهش کربن و توسعه بین‌المللی شرکت ادنوک اظهار داشت: این پروژه یکی از جدیدترین اقدامات در برنامه راهبردی شرکت ادنوک است که منجر به توسعه فناوری‌های جدید و بهره‌برداری از آن‌ها در راستای کاهش تولید کربن در سطح کشور می‌شود. این نخستین بار است که ما می‌خواهیم از مقادیر قابل‌توجهی از انرژی حرارتی پاکی که در زیرزمین کشور ما وجود دارد استفاده کنیم. خوشبختانه، میزان کارایی اولیه سیستم سرمایش مرکزی G2COOL از انتظارات ما بیشتر بوده است و این امر، اثبات می‌کند که انرژی زمین‌گرمایی گزینه‌ای مناسب برای کاهش تولید کربن ناشی از سیستم سرمایش ساختمان‌ها است. بدیهی است که به دلیل آب‌وهوای بسیار گرم، سرمایش ساختمان‌ها مهم‌ترین عامل مصرف‌کننده انرژی در منطقه خلیج‌فارس است. من منتظر هستم تا با شرکا و همکاران خود بتوانیم راه‌های جدیدی را برای بهره‌برداری از انرژی حرارتی اعماق زمین پیدا کنیم. در آن صورت می‌توانیم به کمک راهکارهای به‌دست‌آمده، با سرعت بیشتری بتوانیم به هدف کاهش تولید کربن و همچنین، تولید کربن صفر تا سال ۲۰۴۵ در کشور دست پیدا کنیم.

در همین راستا مدیرعامل شرکت تبرید گفت: ازآنجایی‌که کشور ما میزبان کنفرانس COP28 است بنابراین، شرکت ما مفتخر است که نتایج امیدوارکننده به‌دست‌آمده از نخستین پروژه سرمایش مرکزی زمین‌گرمایی در منطقه خلیج‌فارس را به اطلاع عموم برساند. در حقیقت، نتایج به‌دست‌آمده از این پروژه پایلوت، اثبات کرد که انرژی زمین گرمایی یک منبع پاک انرژی تجدیدپذیر است که می‌توان از آن برای راه‌اندازی سیستم‌های سرمایش مرکزی زمین‌گرمایی در سراسر امارات متحده عربی استفاده نمود.

ایجاد یک سیستم سرمایشی پایدار، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های شهر مصدر است. تأمین ۱۰ درصد از نیازهای بار سرمایشی شهر ما با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی، جهشی بزرگ در سفر ما برای دستیابی به تولید کربن صفر است. ما خوشحالیم که برای ایجاد آینده‌ای پایدارتر در شهر مصدر با شرکت‌های ادنوک و تبرید کار می‌کنیم. با توجه به نتایج رضایت‌بخش حاصل از اجرای پروژه G2COOL، شرکت ادنوک قصد دارد که به‌منظور به حداکثر رساندن سهم انرژی زمین‌گرمایی در امارات متحده عربی با چندین شرکت معتبر در این حوزه، همکاری کند. همکاری‌های یادشده، حول فناوری‌های مرتبط با حفاری چاه‌های زمین‌گرمایی و تولید برق از این منبع انرژی خواهند بود.

منبع: thinkgeoenergy.com

خبر داخلی

افتتاح نخستین نیروگاه زمین‌گرمایی به زودی در ایران

بهنام خائفی‌نژاد، مجری طرح نیروگاه‌های بخاری شرکت مادرتخصصی برق حرارتی با اشاره به اینکه تاکنون برای ساخت این نیروگاه بیش از ۲۰۰ میلیارد تومان سرمایه‌گذاری صورت گرفته است، ادامه داد: این طرح به عنوان یک پایلوت بر روی مخزنی از انرژی زمین‌گرمایی با ظرفیت تولید حدود ۲۵۰ مگاوات برق در حال احداث است.

وی پیشرفت اجرای این نیروگاه را ۹۳ درصد برشمرد و گفت: برای اکتشاف و استخراج منابع زمین‌گرمایی یاد شده، حفر چندین حلقه چاه به عمق حدود سه هزار متر و با ظرفیت تولید ۳۰ مگاوات انجام شده است که در فاز نخست پنج مگاوات از این ظرفیت به زودی وارد مدار می‌شود.

مجری طرح نیروگاه‌های بخاری شرکت مادرتخصصی برق حرارتی با تأکید بر اینکه اجرای این پروژه موجب دست‌یابی کشورمان به دانش اکتشاف، طراحی، اجرا و بهره‌برداری از منابع انرژی زمین‌گرمایی شده است، افزود: در روند اجرای این طرح درصدد توسعه انرژی زمین‌گرمایی به عنوان یک انرژی پاک و پایدار و رونق اقتصادی در این منطقه از طریق جذب گردشگر هستیم.

خائفی‌نژاد در پایان گفت: در گام‌های بعدی اجرای این پروژه در تلاش برای توسعه ظرفیت نیروگاه مشگین‌شهر و چاه‌های موجود آن و سپس توسعه کل مخزن اکتشافی در این منطقه و توسعه نیروگاه‌های زمین‌گرمایی در سایر نقاط کشور هستیم.
نخستین نیروگاه زمین‌گرمایی ایران در ۲۵ کیلومتری جنوب شهرستان مشگین‌شهر توسط شرکت مادرتخصصی تولید نیروی برق حرارتی در دست ساخت است.

بنا بر این گزارش در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی مکانیزم تولید برق مشابه نیروگاه‌های بخاری است، ولی به جای اینکه حرارت و گرمای موردنیاز برای ایجاد بخارآب ورودی توربین‌ها توسط سوخت‌های فسیلی همانند گاز و گازوئیل تأمین شود، توسط گرمای موجود در عمق زمین تأمین می‌شود. بنابراین، به‌منظور تولید برق از بخار طبیعی محبوس در زیرزمین، چندین چاه بر روی مخزن زمین‌گرمایی مربوطه، حفرشده و سپس در نیروگاه زمین‌گرمایی، به کمک بخار مذکور برق تولید می‌شود.

منبع: برق نیوز

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

شماره ۱۰ – فروردین ۱۴۰۳