





انرژی خورشیدی ۱	گزارش اول:
انرژی زمین گرمایی ۱	گزارش دوم:
انرژی باد ۱	گزارش سوم:
انرژی زیست توده ۱	گزارش چهارم:
انرژی هیدروژن و پیل سوختی ۱	گزارش پنجم:
انرژی خورشیدی ۲	گزارش ششم:
انرژی زمین گرمایی ۲	گزارش هفتم: ✓
انرژی باد ۲	گزارش هشتم:





ایجاد تنوع در منابع انرژی کشور و استفاده از آن با رعایت  
مسائل زیست محیطی و تلاش برای افزایش سهم  
انرژیهای تجدیدپذیر با اولویت انرژی آبی

تلاش برای کسب فناوری و دانش فنی انرژیهای نو برای  
ایجاد نیروگاههایی از قبیل بادی خورشیدی پیل های سوختی  
و زمین گرمایی در کشور

## فهرست مطالب

۲	پیشگفتار
۲	مقدمه
۳	انرژی وابسته به حرارت مرکزی زمین
۳	طبیعت گرمای زمین
۴	تعریف انرژی زمین گرمایی
۴	چگونگی انتقال گرمای زمین به سطح زمین
۵	مکانهای مناسب جهت بهره برداری از انرژی زمین گرمایی
۵	تعریف و نحوه دسته بندی منابع زمین گرمایی
۶	انواع منابع زمین گرمایی
۸	نشانه های انرژی زمین گرمایی
۸	تاریخچه ژئوترمال
۹	مزایای استفاده از انرژی زمین گرمایی
۱۲	کاربردهای انرژی زمین گرمایی
۱۲	کاربردهای مستقیم انرژی زمین گرمایی
۲۱	نیروگاههای زمین گرمایی
۲۶	سیستمهای مدرن زمین گرمایی
۲۷	دیدگاههای اقتصادی در ارزیابی پروژه های زمین گرمایی
۲۸	ملاحظات اقتصادی برای بهره برداری مناسب
۲۹	مزایای استفاده نیروگاهی زمین گرمایی
۲۹	عوامل بازدارنده ساخت نیروگاههای زمین گرمایی
۲۹	چشم انداز آینده و رویکرد جهانی در خصوص انرژی زمین گرمایی
۳۰	وضعیت نیروگاههای زمین گرمایی تا پایان سال ۲۰۰۷
۳۰	خلاصه ای از وضعیت نیروگاههای زمین گرمایی در کشور های مختلف
۳۳	تاثیر بهره برداری از نیروگاههای زمین گرمایی در محیط زیست
۳۴	مقایسه انرژی زمین گرمایی با انرژی حاصل از سوختهای فسیلی
۳۶	انرژی زمین گرمایی در ایران

# انڈیزی زمین گرامپری ۲

## پیشگفتار

با نیم‌نگاهی به آمارهای بدست آمده در سال ۲۰۰۷ میتوان مشاهده کرد که در این سال بیش از ۱۰۰ میلیارد دلار در بخش افزایش ظرفیت‌ها، ساخت نیروگاه‌ها و تحقیق و توسعه انرژی‌های نو در دنیا سرمایه‌گذاری شده است.

میزان ظرفیت تولید الکتریسیته در نیروگاه‌های جهان در سال ۲۰۰۷ به طور چشمگیری افزایش یافته است و بر طبق آمار این میزان به ۲۴۰ گیگاوات رسید که نسبت به سال ۲۰۰۴ حدود ۵۰٪ افزایش یافته است. همچنین ظرفیت‌های موجود در انرژی‌های تجدیدپذیر ۳/۴ درصد در تولید الکتریسیته جهان سهم داشته‌اند (این ارقام بدون در نظر گرفتن انرژی آبی (Hydropower) بوده زیرا این انرژی به تنهایی ۱۵ درصد در تولید الکتریسیته دنیا سهم دارد).

در این مجلد که در ادامه مطالب کتابچه قبلی در زمینه انرژی زمین‌گرمایی می‌باشد، تلاش شده است تا به مباحث انرژی زمین‌گرمایی به صورت علمی‌تر و تخصصی‌تر پرداخته شود امید است که به یاری خداوند متعال بتوان قدمهای موثرتری در جهت رشد و ارتقاء سطح فرهنگ عمومی جامعه در این راستا برداشته شود.

فناپذیری سوخت‌های فسیلی، تنوع بخشی به منابع انرژی، توسعه پایدار و ایجاد امنیت انرژی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی فسیلی از یک طرف و پاک و تجدیدپذیر بودن منابع انرژی‌های نو نظیر خورشید، باد، زمین‌گرمایی و ... از طرف دیگر باعث توجه جدی جهانیان به توسعه و گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش سهم این منابع در سبد انرژی جهانی شده است. امروزه ما شاهد افزایش چشمگیر فعالیت‌ها و بودجه دولت‌ها و شرکت‌ها در امر تحقیق، توسعه و عرضه سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر هستیم و این فعالیت‌ها و صرف بودجه‌های مذکور در نهایت باعث کاهش قیمت تمام‌شده انرژی‌های تجدیدپذیر و رقابت‌پذیری با سیستم‌های انرژی سنتی موجود می‌گردد. این امر در مورد انرژی باد و برخی کاربردهای انرژی زیست‌توده محقق شده و روند سریع کاهش قیمت‌ها در مورد سایر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر نیز در حال انجام است.

## ۱. مقدمه

به ناحیه سردتر انتقال پیدا میکند، حرارت و گرمای درون زمین به نواحی نزدیک به سطح حرکت میکند. تقریباً توانی معادل با ۴۲ میلیون مگاوات حرارتی به طور پیوسته از کل سطح کره زمین قابل استحصال است که این مقدار انرژی، به طور پیوسته به فضای سردی که زمین را در بر گرفته است منتقل میشود.

طبق محاسبات، مشخص شده است که انرژی حرارتی ذخیره شده در ۱۱ کیلومتر فوقانی پوسته زمین معادل پنجاه هزار برابر کل انرژی به دست آمده از منابع نفت و گاز شناخته شده امروز جهان است. پس این منبع عظیم انرژی می‌تواند در آینده جایگزین قابل اعتمادی برای انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی باشد. البته بدیهی است که بهره‌برداری گسترده از ذخایر زمین‌گرمایی، مستلزم توسعه بیشتر در زمینه تکنیک‌های اکتشاف و استخراج آن است.

زمینی که زیر پای ما قرار دارد، منبع بسیار عظیم انرژی است. انرژی زمین‌گرمایی از انرژی خورشیدی که در طول هزاران سال در داخل زمین ذخیره شده و همچنین فروپاشی عناصر رادیو اکتیو در عمق زمین نشأت گرفته است. این انرژی که به صورت حرارت از اعماق زمین به سطح هدایت میشود در صورت توسعه فن‌آوری استخراج آن، به تنهایی قادر خواهد بود کلیه نیازهای انرژی امروز و آینده بشر را تامین کند. انرژی زمین‌گرمایی در واقع گرمای موجود در عمق زمین است و درجه حرارت زمین با رفتن به عمق آن افزایش می‌یابد. البته میان افزایش درجه حرارت و افزایش عمق زمین، رابطه خطی وجود ندارد. نظر به اینکه حرارت همیشه از سمت ناحیه گرم‌تر



## ۲. انرژی وابسته به حرارت مرکزی زمین

گرما شکلی از انرژی می‌باشد و انرژی وابسته به حرارت مرکزی زمین بطور تحت‌اللفظی یکنوع انرژی داخل زمینی می‌باشد که باعث ایجاد پدیده‌های زمین‌شناسی در مقیاس جهانی می‌گردد. زمین مانند یک دیگ بخار می‌باشد که در آن سیالات زمین گرمایی می‌توانند گرمای بالا و فشار زیاد مورد نیاز برای رسیدن به سطح زمین را بدست آورند. معمولاً، این سیالات در مخازنی روی می‌دهند که در عمق بیش از ۳۰۰۰ متری زمین قرار گرفته‌اند و می‌توان آنها را با استفاده از حفر چاه بازیافت نمود. تاسیسات سطحی انرژی زمین گرمایی را به نوعی مفید از انرژی، نظیر الکتریسیته و یا گرما برای مقاصد دیگر نظیر گرمای خانگی، تبدیل می‌کنند.

## ۳. طبیعت گرمای زمین

### ۱-۳- پوسته، جبه و هسته زمین

سیاره ما متشکل از یک پوسته، با ضخامتی در حدود ۲۰ تا ۶۵ کیلومتر در نواحی قاره‌ای و ۵ تا ۶ کیلومتر در نواحی اقیانوسی، یک جبه با ضخامت ۲۹۰۰ کیلومتر و یک هسته با شعاع در حدود ۳۴۷۰ کیلومتر می‌باشد. خصیصه‌های شیمیایی و فیزیکی پوسته، جبه و هسته با سطح و مرکز زمین متفاوت می‌باشد. بیرونی‌ترین سطح زمین به نام لیتوسفر خوانده می‌شود که بالای سطح پوسته قرار گرفته است. ضخامت آن از حداقل ۸۰ کیلومتر در نواحی اقیانوسی تا بیش از ۲۰۰ کیلومتر در نواحی قاره‌ای می‌باشد. خصیصه لیتوسفر، داشتن یک بدنه سخت می‌باشد. در زیر لیتوسفر ناحیه‌ای به نام استنوسفر، با ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر ضخامت قرار دارد که دارای سختی کمتر و انعطاف‌پذیری بیشتر می‌باشد.

بواسطه تفاوت در دمای بین قسمت‌های مختلف استنوسفر، حرکت‌های رسانای گرمایی و احتمالاً سلول‌های رسانای گرمایی در حدود دهها میلیون سال قبل تشکیل یافته‌اند. حرکت کاملاً آهسته آنها (چندین سانتیمتر در سال) بوسیله تداوم تولید گرما از طریق اضمحلال عناصر رادیواکتیو و گرمای متصاعد شده از عمیق‌ترین قسمت‌های زمین ناشی گردیده است. حجم‌های بسیار بزرگی از صخره‌های گرم با تراکم کمتر و دارای گرمای بیشتری از مواد اطراف، باعث تداوم این حرکت به سوی بالا گشته است. در حالیکه صخره‌های سردتر، متراکم‌تر و سنگین‌تر نزدیک

سطح زمین تمایلی به فرورفتگی، داشتن گرمای مجدد و بازگشت به سطح داشتند، که بسیار مشابه با جوشیدن آب در یک کتری می‌باشد.

در نواحی که لیتوسفر نازک‌تر می‌باشد، و مخصوصاً در نواحی اقیانوسی لیتوسفر به سمت بالا آمده و بوسیله مواد مذاب بسیار داغ که از استنوسفر ناشی می‌شود، مترادف با بالا آمدن قسمتی از سلول‌های رسانا، شکسته می‌گردد. چنین مکانیسمی باعث تولید برآمدگی‌های پراکنده در قدیم و حال حاضر گردیده که بیش از ۶۰,۰۰۰ کیلومتر زیردریا را پوشش داده و در برخی از نواحی به سطح آب می‌آید. این پدیده حتی در بین قاره‌ها نیز روی می‌دهد مانند دریای سرخ. قسمت نازکی از صخره‌های مذاب پدیدار شده از استنوسفر نیز باعث بوجود آمدن پوسته‌های سخت گردیده و در تماس با آب دریا منجمد شده و پوسته جدید اقیانوسی را بوجود آورده است.

### ۲-۳- موتور گرمای زمین

گرمای تولید شده در داخل زمین و گرمای انتشار یافته به سطح زمین به نظر غیرمتعادل می‌باشند. برحسب یک تئوری سیاره ما به سوی سرد شدن در حرکت می‌باشد.

فرایند سرد شدن لایه میانی زمین عملاً بسیار آهسته صورت می‌گیرد، بطوریکه دمای آن در طول سه میلیارد سال گذشته بیشتر از ۳۵۰-۳۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش نیافته و هم‌اینک دمای نواحی مرکزی آن در حدود ۴۰۰۰ درجه سانتیگراد است.

در اینجا به نظر میرسد که کل حرارت موجود در اعماق زمین، با فرض اینکه میانگین دمای سطح زمین را ۱۵ درجه سانتیگراد در نظر بگیریم، به میزان  $۱۰^{۲۴} \times ۱۲/۶$  مگاژول و سهم پوسته از این مقدار  $۱۰^{۲۴} \times ۵$  مگاژول باشد. بنابراین انرژی حرارتی زمین فوق‌العاده زیاد است، اما کسر کوچکی از آن میتواند توسط بشر مورد بهره‌برداری قرار گیرد. تاکنون بهره‌برداری ما از این انرژی، محدود به مناطقی بوده است که شرایط زمین‌شناسی آنها این اجازه را به یک سیال حامل (آب در فاز مایع یا بخار) می‌دهد تا حرارت را از لایه‌های داغ عمقی به سطح زمین یا نزدیکی آن انتقال داده و بدین ترتیب منابع زمین گرمایی را بوجود آورد. اما تکنیک‌های جدید و نوآوری شده ممکن است در آینده نزدیکی دیدگاه‌های جدیدی را در این زمینه بوجود آورد.

پیدایش (حدود ۴/۵ میلیارد سال قبل) حالت مذاب داشته، تدریجاً سرد شده و بخش خارجی آن به صورت جامد درآمده است. اما بخش های داخلی آن، به دلیل کندی از دست دادن گرما، حالت مذاب خود را حفظ کرده و دارای درجه ی حرارت بالایی است و می تواند منبع گرمایی درونی پوسته باشد که از هسته به طرف خارج منتقل می شود.

گرادیان زمین شناختی توضیح دهنده افزایش دما در عمق پوسته زمین می باشد. چنانچه دما در چند متر اول زیر سطح زمین، که بصورت میانگین مساوی دمای متوسط سالیانه فضای خارجی یعنی ۱۵ درجه سانتیگراد می باشد، می توانیم به طور منطقی تصور کنیم که دما در عمق ۳۰۰۰ متر ۶۵ تا ۷۵ درجه سانتیگراد باشد. در عمق ۱۰۵ تا ۹۰ درجه سانتیگراد خواهد بود.

با این وجود، نواحی وسیعی وجود دارد که در آن گرادیان گرمای زمین از مقدار میانگین فاصله دارد، نواحی مانند صخره های عمیق که در زیر زمین فرو رفته و حوضچه هایی که با رسوباتی که از نظر زمین شناختی بسیار جوان می باشند پوشیده گردیده است، گرادیان گرمای زمین ممکن است کمتر از  $10^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  باشد. از طرف دیگر، در برخی از نواحی گرم زمین، گرادیان حتی بیش از ۱۰ برابر حد میانگین خواهد بود.

#### ۴. تعریف انرژی زمین گرمایی (ژئوترمال)

ژئوترمال از کلمه ی یونانی «ژئو» به معنی زمین، و «ترمال» به معنی گرما و گرمایی گرفته شده است. بنابراین، انرژی ژئوترمال به معنای (انرژی زمین گرمایی) یا انرژی با منشأ درونی زمین است. این انرژی، به شکل گرمای محسوس، از بخش درونی زمین منشأ می گیرد و در سنگ ها و آب های موجود در شکاف ها و منافذ داخل سنگ در پوسته ی زمین وجود دارد. مشاهدات به عمل آمده از معادن عمیق و چاه های حفاری شده نشان می دهد که درجه ی حرارت سنگ ها به طور پیوسته با عمق زمین افزایش می یابد، هر چند نرخ افزایش درجه ی حرارت ثابت نیست. با این روند، درجه حرارت در قسمت بالایی جبه به مقادیر بالایی می رسد و سنگ ها در این قسمت به نقطه ی ذوب خود نزدیک می شوند.

در طول عمر زمین، این حرارت درونی به طور آرام تولید شده و در درون زمین محفوظ و محبوس مانده است. همین امر موجب شده است که منبع انرژی مهمی فراهم شود و امروزه به عنوان یک انرژی نامحدودی مورد توجه قرار گیرد.

از طرف دیگر، نظریه های موجود در خصوص تکامل زمین نیز مبنایی برای توضیح وجود گرما در داخل زمین هستند. مطالعات نشان می دهد که زمین در زمان

#### ۵. چگونگی انتقال گرمای زمین به سطح زمین

گرما از هسته ی زمین به طور پیوسته به طرف خارج حرکت می کند. مواد مذاب با استفاده از خاصیت رسانایی (Conduction) و انتقال حرارت از طریق جریانهای همرفتی (Convection) به لایه های فوقانی زمین رسیده و حرارت لازم برای مخازن زمین گرمایی را تامین می کنند. وقتی درجه ی حرارت و

## ۶. مکانهای مناسب جهت بهره برداری از انرژی زمین گرمایی

مناطق دارای چشمه های آب گرم و آبفشان ها، اولین مناطقی هستند که در آن ها انرژی زمین گرمایی مورد بهره برداری قرار گرفته و توسعه یافته است. در حال حاضر، تقریباً تمام نیروی الکتریسیته حاصل از انرژی زمین گرمایی از چنین مکان هایی به دست می آید. در بعضی نواحی، درجه ی حرارت سنگ ها ممکن است به ۳۰۰ درجه ی سانتی گراد برسد و مقادیر عظیمی انرژی گرمایی فراهم کند. بنابراین، انرژی زمین گرمایی در مکان هایی که فرایندهای زمین شناسی اجازه داده اند ماگما تا نزدیکی سطح زمین بالا بیاید، یا به صورت گدازه جریان یابد، می تواند تشکیل شود. ماگما نیز در سه منطقه می تواند به سطح زمین نزدیک شود :

۱- محل برخورد صفحات قاره ای و اقیانوسی (فرورانش)؛ مثلاً حلقه ی آتش دور اقیانوس آرام.

۲- مراکز گسترش؛ محلی که صفحات قاره ای از هم دور می شوند، نظیر ایسلند و دره ی کافتی آفریقا

۳- نقاط داغ زمین؛ نقاطی که ماگما را پیوسته از جبهه به طرف سطح زمین می فرستند و ردیفی از آتشفشان را تشکیل می دهند.

## ۷. تعریف و نحوه دسته بندی منابع زمین گرمایی

معمولاً هنگامیکه راجع به منابع ژئوترمال سخن میگوییم، اشاره اصلی ما به آن بخشی از منابع ژئوترمال است که بهتر است آن را «منابع قابل دسترسی» بنامیم، یعنی کل انرژی ذخیره شده ما بین سطح زمین و عمق معینی از پوسته آن (زیر یک ناحیه سطحی معین) که مقدار تقریبی آن با عنایت به میانگین سالیانه دمای محل سنجیده می شود.

«بخش مفید منابع قابل دسترسی ژئوترمال» (Resource) به آن بخش از منابع قابل دسترسی ژئوترمال اطلاق می شود که بهره برداری از آنها در یک آینده معین (کمتر از صد سال آینده) از توجیه اقتصادی کافی و اعتبار قانونی لازم برخوردار خواهد بود.

فشار به اندازه ی کافی بالا باشد، بعضی از سنگ های جبهه ذوب می شوند و ماگما به وجود می آید. سپس به دلیل سبکی و تراکم کمتر نسبت به سنگ های مجاور، ماگما به طرف بالا منتقل می شود و گرما را در جریان حرکت، به طرف پوسته ی زمین حمل می کند.

گاهی اوقات، ماگمای داغ به سطح زمین می رسد و

گدازه را به وجود می آورد. اما بیشتر

اوقات، ماگما در زیرسطح

زمین باقی می ماند

و سنگ ها و

آب های

مجاور

را

گرم می کند.

این آب ها بیشتر منشاء

سطحی دارند و حاصل آب

بارانی هستند که به اعماق زمین نفوذ

کرده است. بعضی از این آب های داغ از طریق

گسل ها و شکست های زمین به طرف بالا حرکت می

کنند و به سطح زمین میرسند که به عنوان چشمه های آب

گرم و آبفشان شناخته می شوند. اما بیشتر این آب ها در

اعماق زمین، در شکاف ها و سنگ های متخلخل محبوس

می مانند و منابع زمین گرمایی را به وجود می آورند.





## ۸. انواع منابع زمین گرمایی:

به طور کلی می توان منابع زمین گرمایی را در پنج گروه عمده تقسیم بندی کرد که شامل موارد زیر است:

### ۱. منابع آب داغ (سیستم های هیدروترمال)

منابع آبی هستند که در زیر زمین داغ میشوند و سپس به سطح زمین انتقال پیدا می کنند که در میان انواع منابع زمین گرمایی با توجه به تکنولوژی، امروزه دارای بیشترین استفاده هستند

در سیستم زمین گرمایی هیدروترمال اساس کار مشابه صنعت نفت می باشد. بدین معنی که در مناطقی از زمین مخازن آب داغی وجود دارد که می بایست اکتشاف و استخراج گردد. آب داغ استخراج شده بسته به کیفیت منبع و دمای آب و فشار مخزن می تواند جهت تولید برق یا کاربردهای گرمایشی استفاده شود.

این نوع منابع زمین گرمایی به سه گروه تقسیم بندی می شوند:

- ۱- دسته اول: مخازن دما بالا با دمای بالاتر از  $150^{\circ}\text{C}$  که مناسب برای تولید برق با تکنیکهای معمولی می باشد.
- ۲- دسته دوم: مخازن با دمای بین  $100^{\circ}\text{C}$  الی  $150^{\circ}\text{C}$  که مناسب برای تولید برق با تکنیکهای پیشرفته تر باینری هستند.
- ۳- دسته سوم: مخازن دما پائین با دمای کمتر از  $100^{\circ}\text{C}$  که برای کاربردهای مستقیم مناسب می باشند.

بخشی از منابع مفید ژئوترمال را منابعی با سطوح معین تشکیل می دهند که اصطلاحاً آنها را «منابع موجه اقتصادی» (Reserve) می نامند. این منابع، بخشی از منابع موجود در یک ناحیه معین می باشند که هم اینک از توجیه اقتصادی کافی (در مقایسه با سایر منابع متداول انرژی) و اعتبار قانونی لازم برخوردار بوده و با انجام عملیات حفاری یا با استناد به شواهد زمین شناسی و نوع خصوصیات ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی منطقه قابل شناسایی می باشد. رایج ترین معیار دسته بندی منابع ژئوترمال، معیاری است که بر اساس انتالپی سیالات زمین گرمایی، که عامل اصلی انتقال حرارت از سنگهای داغ موجود در اعماق زمین به سطح آن قلمداد می شود، پایه ریزی می گردد. انتالپی، که در حالت کلی می توان آن را متناسب با دما پنداشت، پارامتری است که بر محتوای حرارتی سیالات دلالت داشته و تصویری کلی از ارزش آنها ارائه می دهد. منابع زمین گرمایی بر حسب معیارهای مختلف به سه نوع انتالپی-پایین، انتالپی-متوسط و انتالپی-بالا تقسیم می شود.



## ۲. منابع بخار خشک

منابعی با درجه حرارت بسیار بالا هستند که از آنها بخار خشک و یا آمیزه ای از بخار و آب با درجه حرارت بسیار بالا استحصال میشود که به جهت تولید برق این منابع دارای آرمانی ترین شرایط هستند، اما متأسفانه این منابع در دنیا نادرند.

بزرگترین سیستم زمین گرمایی فعال در دنیا که از منابع بخار خشک بهره میگیرد، نیروگاه زمین گرمایی با نام Geysers است و در کالیفرنیا، شمال سانفرانسیسکو واقع است. اولین چاه تولید در این نیروگاه در سال ۱۹۲۴ حفر گردید و تا سال ۱۹۹۰، ۲۶ نیروگاه برای ظرفیت بیش از ۲۰۰۰ مگاوات ساخته شد. و در حال حاضر این نیروگاه عظیم دارای ظرفیتی بالغ بر ۸۵۰ مگاوات بوده و حدود ۷۰ درصد از برق کالیفرنیا شمالی را تامین میکند. این نیروگاه از یک سیستم خنک کننده آب برای ایجاد و کیومی جهت کشیدن بخار به سمت توربین استفاده میکند تا راندمان سیستم را در تولید برق بالاتر برد. اما این فرایند حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد از بخار رابه محیط داده و نمیتواند آنرا دوباره به زمین تزریق نماید. تلاشهایی برای حل این مشکل در حال انجام است. در صورت اصلاح این مشکل و تزریق بخار هدر رفته به منابع، خروجی سیستم ۸۵ مگاوات افزایش یافته و با این مقدار الکتریسیته می توان برق ۸۵۰۰ منزل مسکونی را تامین کرد.

عمده ترین نگرانی در مورد این سیستم های باز مانند geysers خارج شدن گاز سمی سولفید هیدروژن از آن است. مشکل دیگر تجمع نمک در لوله هاست که باعث بسته شدن آنها میشود و باید دوباره توسط چاههای دیگری به زمین تزریق گردد. با استفاده از سیستم های حلقه بسته مانند سیکل باینری که به تفصیل بدان خواهیم پرداخت، هیچ گونه گازی از نیروگاه متصاعد نمیشود و هرچه به سطح زمین آورده شده دوباره به درون زمین برمی گردد.

## ۳. منابع تحت فشار:

منابع عظیمی هستند که از آب شور (brine) تشکیل یافته اند و از نظر شرایط کلی به درجه اشباع رسیده اند و در لایه های میان صخره های اعماق زمین به صورت محبوس وجود دارند. این منابع عمدتاً حاوی گاز متان محلول هستند و در عمق ۳ تا ۶ کیلومتری از سطح زمین یافت میشوند و درجه حرارت آنها بین ۹۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی گراد تخمین

زده میشوند، اما غالباً دارای درجه حرارتی پایین تر از ۱۵۰ درجه هستند. این نوع منابع به طور بالقوه بسیار خوش آتیه هستند زیرا از این ذخایر امکان استخراج سه نوع انرژی که شامل انرژی حرارتی از سیال گرم شده، انرژی هیدرولیک ناشی از فضای بالای حبس شده و انرژی شیمیایی ناشی از سوخت گاز متان محلول وجود دارد.

## ۴. تخته سنگهای خشک داغ:

تخته سنگ های بسیار عظیم با منبع آتش فشانی هستند که در اعماق زمین وجود داشته و درجه حرارت بسیار بالا و فیزیک سخت دارند.

به سیستمهای بهره برداری از این منابع سیستم های زمین گرمایی توسعه یافته (Enhanced Geothermal Systems) که به اختصار EGS گفته می شود. از آنجا که در همه جای کره زمین در اعماق گرما با شدتهای مختلف وجود دارد و تنها محدودیت موجود عدم وجود منابع آب می باشد لذا با کمک این سیستم می توان رشد قابل توجهی را در توسعه انرژی زمین گرمایی برقرار کرد. سیستم بهره برداری به این صورت می باشد که با حفر چاههای بسیار

عمیق (با عمق ۴ تا ۶ هزار متر) به لایه های داغ زمین دسترسی پیدا کرده، سپس آب با فشار بالا به چاه تزریق شده که در اثر این فشار هیدرولیکی در سنگ شکافت ایجاد می شود. همین کار برای چاه تولید (Production Well) نیز انجام می شود و بین دو چاه ارتباط برقرار می گردد. بدین صورت آب در حین عبور از شکافهای ایجاد شده حرارت را از سنگهای داغ دریافت و از چاه تولید خارج و وارد سیکل نیروگاه می شود. درجه حرارت آب حاصل از این منابع بین ۱۳۵ تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد بوده و در این حالت امکان افزایش بازده نیروگاه تا ۱۵ درصد وجود دارد.

## ۵. مواد مذاب

این منابع که به نام گدازه ها میشناسیم در واقع ایده آل ترین حالت ممکن برای منابع زمین گرمایی بوده که درجه حرارت آن بین ۷۰۰ تا ۲ هزار درجه سانتی گراد است. با توجه به درجه حرارت بالای این مخازن و محدودیت های فنی موجود، امروزه از این منابع عظیم استفاده نمی شود.

## ۹. نشانه های انرژی زمین گرمایی

مهمترین نشانه های منابع زمین گرمایی موارد زیر است:

\* سنگ های آتشفشانی جوان تر از یک میلیون سال

\* چشمه های آبگرم

\* بخار فشان یا گاز فشان

\* آب فشان

\* نواحی دگرسان شده

\* گل فشان

\* کوه های آتشفشانی فعال

البته ذکر این نکته ضروری است که برای آغاز بررسی های اکتشافی در یک منطقه زمین گرمایی، بیش از یک نشانه باید در منطقه وجود داشته باشد.

## ۱۰. تاریخچه ژئوترمال

وجود کوههای آتش فشان یقیناً باید نیاکان ما را از این حقیقت آگاه ساخته باشد که بخشهای خاصی از اعماق زمین داغ میباشند. با اینحال، تا یک دوره ی زمانی بین قرنهای شانزدهم و هفدهم، یعنی زمانی که اولین معادن تا عمق چند صد متری سطح زمین حفر گردیده و بشر بر اساس ادراکات فیزیکی ساده استنباط نمود که دمای زمین با عمق افزایش می یابد، اطلاع چندانی در این زمینه وجود نداشت.

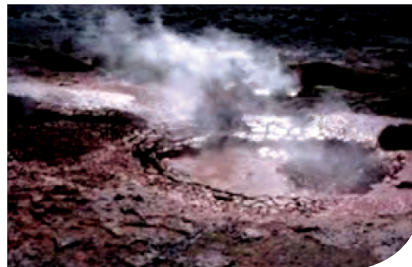
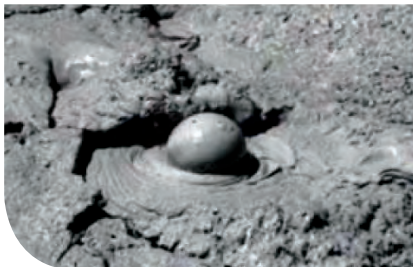
شاید نخستین اندازه گیری ها بوسیله ی دامسنج در سال ۱۷۴۰ و در معدنی نزدیک Belfort در کشور فرانسه انجام پذیرفت. در سال ۱۸۷۰ از روشهای علمی پیشرفته ای جهت مطالعه ی نوع رفتار حرارتی زمین استفاده می شد، اما با ورود به قرن بیستم و کشف نقشی که حرارت رادیوژنیک (حرارت ناشی از زوال مواد رادیو اکتیو) ایفا میکند، پرده از راز پدیده هایی همچون موازنه

حرارتی و تاریخچه ی حرارتی زمین برداشته شد. در واقع، تمامی مدل های پیشرفته حرارتی زمین براساس حرارت تولید شده در اثر زوال ایزوتوپ های رادیو اکتیو اورانیوم، توریم، پتاسیم که با عمر طولانی در اعماق زمین یافت میشود، پایه ریزی شده اند.

در دهه ی ۱۹۸۰ میلادی دریافته شد هیچ موازنه ای بین حرارت تولیدی ناشی از زوال مواد رادیو اکتیو در اعماق زمین و حرارت منتشر شده از سطح آن به محیط اطراف برقرار نیست و سیاره زمین به آهستگی در حال سرد شدن است.

در اوایل قرن نوزدهم، استخراج سیالات ژئوترمال با هدف بهره برداری از پتانسیل انرژی حرارتی آنها صورت می پذیرفت. در آن زمان، یک کارخانه شیمیایی در کشور ایتالیا در ناحیه ای که هم اکنون لاردرو نامیده میشود، راه اندازی گردید تا از آبهای داغی که بطور طبیعی یا از طریق چاههای کم عمقی که مخصوصاً برای این کار حفر میشدند، به بیرون جریان میافتند، اسید بوریک تولید کند.

در سال ۱۸۲۷ استخراج بخارات طبیعی آب با هدف بهره برداری از انرژی مکانیکی آن آغاز شد. از بخار آب ژئو ترمال برای بالا بردن مایعات در بالا بر های گازی قدیمی و همچنین بعد ها در پمپهای رفت و برگشتی و گریز از مرکز و جرقه هایایی که به نوعی با عملیات حفاری در ارتباط بوده یا در صنایع محلی تولید اسید بوریک کاربرد داشتند، استفاده می شد.





First Geothermal Power Plant, 1904, Larderello, Italy

می شوند و هیچگونه آلودگی وارد هوا نمی شود.  
**\*بدون مشکل بودن برای منطقه:** فضای کمتری برای احداث نیروگاه نیاز دارد و عوارضی چون ایجاد تونل، چاله های روباز، کپه های آشغال و یا نشست نفت و روغن را به دنبال ندارد.

**\*قابل اطمینان بودن (پدافند غیر عامل):** نیروگاههای زمین گرمایی می توانند در طول سال فعال باشد و به دلیل قرار گرفتن روی منبع سوخت، مشکلات مربوط به قطع نیروی محرکه در نتیجه ی بدی هوا، بلایای طبیعی و یا تنش های سیاسی را ندارد.

**\*تجدید پذیری و دائمی بودن**

**\*صرفه جویی ارزی:** هزینه ای برای واردات سوخت از کشور خارج نمی شود و نگرانی های ناشی از افزایش هزینه ی سوخت وجود نخواهد داشت.

**\*ایجاد تنوع در سید انرژی کشور**

**\*توسعه فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی مناطق محروم**

**\*کمک به رشد کشورهای در حال توسعه:** نصب آن در مکان های دور افتاده می تواند، استاندارد و کیفیت زندگی را با آوردن نیروی برق بالا ببرد.

نخستین تلاشها برای تولید برق از بخار آب ژئوترمال در سال ۱۹۰۴ میلادی در ناحیه ی لاردرو انجام پذیرفت. موفقیت این آزمایش، ارزش صنعتی انرژی ژئو ترمال را بخوبی نشان داد و این آغازی بود بر بهره برداری خاصی که قرار بود بعد ها بطور قابل توجهی توسعه داده شود.

سیستم نمونه ای که در کشور ایتالیا راه اندازی شد، به سرعت توسط چند کشور دیگر الگو برداری شد. نخستین چاه های ژئو ترمال در سال ۱۹۱۹ در Beppu ژاپن و در سال ۱۹۲۱ در The Geysers کالیفرنیا (آمریکا) حفر شدند که البته در آن زمان با موفقیت چندانی همراه نبودند. در سال ۱۹۲۸ کشور ایسلند، کار استخراج سیالات ژئوترمال (بویژه آب داغ) را برای تامین نیاز حرارتی منازل آغاز نمود. در همان زمان در ناحیه لاردرو با به جریان انداختن بخار آب کیفیت-پایین در مبدل های حرارتی، نیاز حرارتی منازل روستایی و آب داغ مصرفی آنها تامین می گردید.

### ۱۱. مزایای استفاده از انرژی زمین گرمایی

**\*تمیز بودن:** در این روش همانند نیروگاه بادی و خورشیدی، نیازی به سوخت نیست، بنابراین سوخت های فسیلی حفظ



با توجه به فوایدی که برشمرديم، انرژی زمین گرمایی به رشد کشورهای در حال توسعه کمک می کند .

## ۱۲. کاربردهای انرژی زمین گرمایی

کاربرد انرژی زمین گرمایی به دو دسته مستقیم و غیر مستقیم (نیروگاهی) تقسیم میشود. استفاده مستقیم از انرژی ژئوترمال به گذشته های دور باز میگردد. از زمان های دور، مردم از آب زمین گرمایی که آزادانه در سطح زمین به صورت چشمه های گرم جاری بودند، استفاده کرده اند. رومی ها برای مثال از این آب برای درمان امراض پوستی و چشمی بهره می گرفتند. در بسیاری از نقاط برای گرم کردن خانه ها از آن استفاده می شد. بومی های آمریکا نیز از آب زمین گرمایی برای پختن و مصارف دارویی بهره می گرفتند. امروزه، با حفر چاه به درون مخازن زمین گرمایی، و مهار آب داغ و بخار، از آن برای تولید نیروی الکتریسیته در نیروگاه زمین گرمایی و یا مصارف دیگر بهره برداری می کنند. (کاربرد غیر مستقیم) در نیروگاه زمین گرمایی، آب داغ و بخار خارج شده از مخازن زمین گرمایی، نیروی لازم برای چرخاندن ژنراتور توربین را فراهم می آورد و انرژی الکتریسیته تولید می کند. آب مورد استفاده، از طریق چاه های تزریق به مخزن برگشت داده می شود تا دوباره گرم شود و در عین حال، فشار مخزن حفظ، و تولید آب داغ و بخار تقویت شود و ثابت باقی بماند.

## ۱۳. کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی

کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی به معنی بهره برداری بدون واسطه از انرژی حرارتی سیال زمین گرمایی است. در این حالت انرژی زمین گرمایی به انرژی الکتریکی تبدیل نمی شود بلکه به صورت مستقیم، از انرژی حرارتی آن استفاده می شود. منابع زمین گرمایی که دمای آنها ۶۵ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد است برای تبدیل به انرژی الکتریکی دارای توجیه اقتصادی بالایی نیستند لذا این گونه منابع زمین گرمایی برای بهره گیری مستقیم از انرژی حرارتی، مناسب شناخته شده اند. منابع زمین گرمایی حرارت پایین نسبت به مخازن حرارت بالا از گستردگی بیشتری برخوردارند. به عنوان مثال در کشور آمریکا بیش از ۱۳۵۰ سیستم زمین گرمایی شناخته شده که تنها پنج درصد آنها بیش از ۱۵۰ درجه سانتیگراد و ۸۵ درصد آنها کمتر از ۹۰ درجه سانتیگراد حرارت دارند. طرحهای کاربرد مستقیم

انرژی زمین گرمایی نسبت به نیروگاههای زمین گرمایی از آلاینده گی کمتری برخوردارند به نحوی که در اغلب موارد پس از خنک شدن سیال زمین گرمایی می توان آن را به محیط رها کرد.

کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی از گذشته های بسیار دور متداول بوده است. شواهد زیادی وجود دارد که نشان می دهد بشر در طول تاریخ از آب داغ یا بخار طبیعی زمین به منظور استحمام، پختن غذا و گرم کردن محل زندگی خود استفاده کرده است.

به دلیل گسترده بودن دامنه درجه حرارت سیال زمین گرمایی، کاربردهای آن نیز بسیار متعدد است. نکته بسیار مهم در کاربرد سیال زمین گرمایی، کیفیت شیمیایی آن است. به این معنی که اگر میزان املاح محلول آن کم باشد بدون کمک گرفتن از مبدل حرارتی می توان مستقیماً آب داغ یا بخار را مورد استفاده قرار داد و در غیر اینصورت برای استفاده از سیال باید از مبدل حرارتی کمک گرفت که طبیعتاً بازده سیستم مربوطه پایین تر خواهد بود. به عنوان مثال در ریکیاویک، در کشور ایسلند به دلیل وجود سنگ های آتشفشانی خاص، املاح محلول سیال خروجی از چاه ها بسیار پایین بوده و در نتیجه سیال تولید شده مستقیماً از چاه ها به سیستم های گرمایش منطقه ای هدایت می شود.

## ۱-۱۳ تکنولوژی:

سیستم هایی که در کاربرد های مستقیم از منابع انرژی زمین گرمایی مورد استفاده قرار میگیرند از منابع با درجه حرارت بین ۲۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد استفاده می کنند که این رنج درجه حرارت از دمایی که برای نیرو گاه ها لازم است پایین تر می باشد. سیستم های کاربرد مستقیم زمین گرمایی از تکنولوژی پیچیده ای برخوردار نبوده و شامل ۳ بخش اساسی می باشند:

\* سیستم تولید که آب را از داخل چاه ها به سطح زمین می آورد.

\* سیستم تحویل که آب داغ را در داخل لوله ها توزیع می کند.

\* سیستم دفع که آب سرد شده را دوباره به مخازن آبی بر می گرداند.

تولید گرما از منابع زمین گرمایی در کاربرد - مستقیم می تواند در مقایسه با گاز طبیعی یا سیستم های گرمایی الکتریکی هزینه کمتری در بر داشته باشد. اگر چه کاربردهای استفاده مستقیم اغلب یک سرمایه گذاری عمده برای حفاری و



نصب تجهیزات لازم دارد. اما در عوض هزینه راه اندازی و تعمیر و نگهداری کمتری محدودی داشته و به خرید سوخت دائمی احتیاجی نیست.

در حال حاضر حدود ۷۲ کشور جهان از منابع زمین گرمایی به طور مستقیم استفاده می‌کند. موارد استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی و میزان مصرف هر کدام در دنیا به درصد عبارتند از:

\* گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها (۲۰٪)

\* پمپ‌های حرارتی (۳۳٪)

\* کشاورزی (۷/۵٪)

\* آبرزی پروری (۴/۲٪)

\* کاربردهای صنعتی (۴/۲٪)

\* درمان بیماری‌ها (۲۸/۸٪)

\* سایر (۲/۳٪)

در ادامه شرح مختصری در خصوص هر یک از موارد فوق ارائه می‌شود:

## ۲-۱۳ گرمایش ساختمان‌ها (گرمایش محیطی و منطقه ای)

گرمایش ساختمانها، یکی از موفقیت آمیز ترین کاربردهای کنونی انرژی ژئوترمال به شمار می‌رود. هم اینک بیش از بیست کشور جهان، انرژی زمین گرمایی را برای همین منظور خاص مورد استفاده قرار می‌دهند. از آنجاییکه دمای ایده آل این نوع کاربرد خاص در محدوده دماهای پایین (بطور کلی پایین تر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد) واقع است، لذا تردیدی وجود ندارد که استفاده از انرژی زمین گرمایی در این زمینه کاربردی خاص میتواند بطور قابل ملاحظه ای در سرتاسر جهان گسترش یابد. در این کاربرد، آب داغ از چاه زمین گرمایی به فضاهای مسکونی، تجاری یا اداری منتقل شده و گرمایش فضاهای مزبور را تامین می‌کند. در صورت نامناسب بودن کیفیت آب از نظر شیمیایی، از مبدل حرارتی استفاده می‌شود. یکی از مزایای مهم سیستم‌های گرمایشی زمین گرمایی این است که آب داغ پس از تامین حرارت فضاهای مختلف، مجدداً به درون مخزن زمین گرمایی تزریق می‌شود و در نتیجه میزان آلودگی زیست محیطی آن بسیار پایین است.

در بسیاری از کشورها در حین انجام عملیات حفاری برای اکتشاف منابع نفت و گاز مقادیر فراوانی آب گرم یافت شده و بلافاصله پس از کشف این منابع، از آنها در مقیاس وسیعی برای گرمایش محیط استفاده شده است، نظیر مجارستان و فرانسه. امروزه کشورهای ایسلند، آمریکا، و

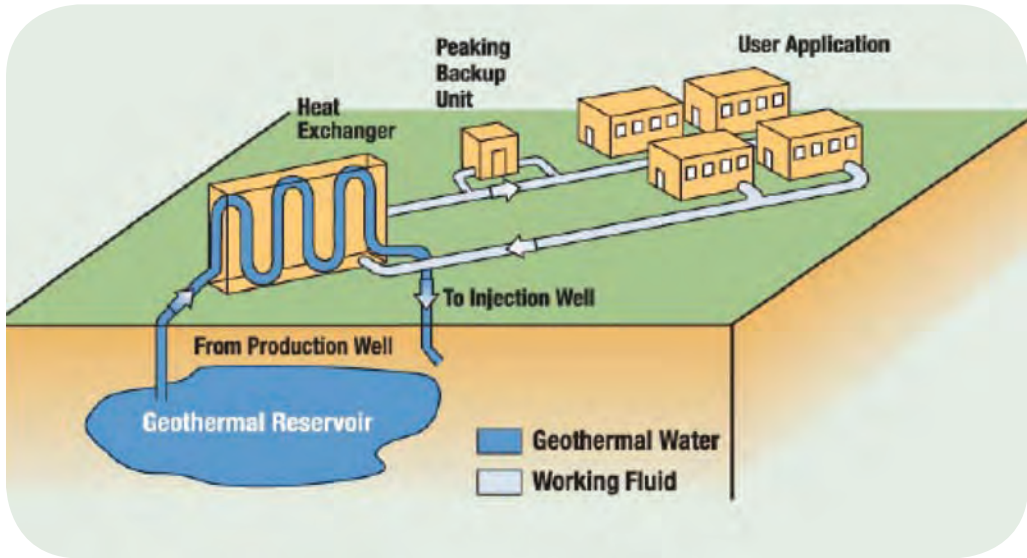
ژاپن برای تامین حرارت سیستم‌های گرمایش مرکزی خود از انرژی زمین گرمایی استفاده می‌کنند.

به‌طور کلی سیستم‌های گرمایش محیطی (Space heating) از یک چاه زمین گرمایی تک واحد برای گرم کردن یک ساختمان استفاده می‌کند، در حالیکه در سیستم‌های گرمایش منطقه ای (district heating) از یک یا چند چاه برای گرم کردن چندین ساختمان یا حتی قسمتی از یک شهر استفاده می‌شود. درجه حرارت آب گرم مورد نیاز برای سیستم‌های گرمایشی ۶۰ درجه سانتیگراد یا بالاتر است. با استفاده از سیستم‌های گرمایش منطقه ای می‌توان از ۳۰ تا ۵۰ درصد هزینه‌ها در مقایسه با گاز طبیعی یا حتی در مقایسه با سیستم‌هایی که از الکتریسیته، نفت یا پروپان استفاده می‌کنند صرفه جویی نمود.

سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای زمین گرمایی، گرما را بوسیله پمپ آب زمین گرمایی - معمولاً یا داغ‌تر - از یک یا چند چاه زمین گرمایی تامین می‌کنند. آب زمین گرمایی درون یک مبدل گرمایی که گرما را به آب واقع در لوله‌های جداگانه (رادیاتورهای) انتقال داده و این آب داغ درون ساختمان پمپاژ می‌شود. بعد از عبور از درون مبدل گرمایی، آب زمین گرمایی به درون منبع خود بازمی‌گردد و می‌تواند دوباره گرم شده و استفاده شود. آب برگشتی از رادیاتورها غالباً در محدوده دمایی ۴۰-۳۵ سانتیگراد واقع است.

اسناد تاریخی نشان می‌دهد در شش قرن پیش در فرانسه از منابع زمین گرمایی برای گرمایش منازل استفاده میشده است. بزرگترین سیستم گرمایش منطقه‌ای در Reykjavik ایسلند قرار دارد. در گذشته هوای اطراف این شهر به واسطه سوخت‌های فسیلی بسیار آلوده بوده و حال با استفاده از انرژی زمین گرمایی به یکی از پاک‌ترین شهرهای جهان تبدیل شده است.

ملاحظات مربوط به منبع برای این کاربرد خاص شامل توسعه منبع، دمای سیال، پتانسیل انرژی منبع، شیمی سیالات و فاصله از بازار پتانسیل مصرف می‌باشد. در ضمن احتیاجاتی جهت گرمایش (سرمایش) محیطی در نظر گرفته شده است که شامل: چگونگی آب و هوای منطقه، جمعیت منطقه، نوع ساختمان‌ها و جنبه‌های فنی-اقتصادی می‌باشد.



District heating system

#### ۴-۱۳ کشاورزی

کاربرد سیالات زمین گرمایی در کشاورزی عبارتند از: کشاورزی در زمین های روباز و گرمایش گلخانه ها. با این حال رایج ترین کاربرد انرژی زمین گرمایی در زمینه فعالیت های کشاورزی به تامین گرمایش گلخانه ها اختصاص دارد که از رشد بسیار خوبی در سرتاسر جهان برخوردار بوده است. در برخی از مناطق سردسیر آب داغ مخازن زمین گرمایی برای گرم کردن خاک های کشاورزی و رشد گیاهان خارج از فصل طبیعی استفاده می شود. این نوع کاربرد در کشورهای سردسیر، بسیار رواج دارد. از جمله محصولات که به کمک این انرژی کشت می شود می توان به خیار، گوجه فرنگی، انواع گل ها، گیاهان خانگی، نهال درختان و انواع کاکتوس ها اشاره کرد. در بین کشورهای

#### ۳-۱۳ سرمایه گذاری محیطی

سرمایش محیطی، گزینه دیگری است که چنانچه امکان سازگاری دادن ماشین های جذبی با کاربردهای ژئوترمال وجود داشته باشد، میتوان به آن صورت عینی و عملی بخشید. تکنولوژی این ماشینها به خوبی شناخته شده است و میتوان به سهولت در بازار به آنها دسترسی پیدا کرد. سیکل جذبی (absorption cycle)، فرایندی است که در آن به جای الکتریسیته از گرما بعنوان منبع انرژی استفاده میشود. عمل تبرید با استفاده از دو سیال انجام می پذیرد: یک مبرد که دائماً در سیکل به جریان در می آید، تبخیر می شود و کندانس می گردد، و یک سیال ثانویه یا جاذب. سیالات زمین گرمایی، انرژی حرارتی لازم برای به حرکت در آوردن این ماشین ها را فراهم میسازند.



سطحی، حصار کشی بر فراز سطح حوضچه ها و استفاده از ذخیره ی حرارتی آب حوضچه ها، میتوان نیازهای حرارتی را کاهش داد.

کشورهایی مانند ایسلند، گرجستان، نیوزلند، ژاپن و چین از جمله کشورهای پیشرو در زمینه استفاده از انرژی زمین گرمایی برای پرورش آبزیان هستند.



جهان، مجارستان از نظر استفاده از گلخانه های زمین گرمایی، مقام نخست را دارد. راههای مختلفی برای رسیدن به شرایط بهینه رشد گیاهان وجود دارد که تمامی آنها بر اساس دمای بهینه رشد هر گیاه و میزان نور، غلظت CO<sub>2</sub> در محیط گلخانه، رطوبت خاک و هوا و سرعت جا به جایی هوا پایه ریزی شده اند. جداره گلخانه ها میتواند از صفحات شیشه ای یا پلاستیکی ساخته شود. گرمایش گلخانه ها میتواند از طریق جابه جایی اجباری هوا در مبدل های حرارتی و یا سیرکولاسیون آب داغ در زیر بستر یا روی کف گلخانه و یا توسط کوئل های پره دار و یا نهایتا ترکیبی از روشهای فوق انجام پذیرد. علاوه بر مجارستان کشورهای نظیر ایسلند، چین، یونان، نیوزلند و روسیه نیز در زمینه گلخانه های زمین گرمایی فعال هستند. توجیه اقتصادی گرمایش گلخانه ای ژئو ترمال به عواملی نظیر هزینه های سرمایه گذاری اولیه، هزینه های جاری، هزینه انرژی در مقایسه با ارزش محصول تولیدی در گلخانه، دسترسی به بازار مصرف و... بستگی دارد.

## ۵-۱۳ آبزی پروری

یکی از رایج ترین و سودمند ترین کاربردهای مستقیم انرژی زمین گرمایی، آبزی پروری است. آبزی پروری به معنای پرورش ارگانیزم های آب شیرین یا آب شور در یک محیط کنترل شده با هدف افزایش نرخ تولید میباشد. مهمترین گونه هایی که معمولاً اقدام به پرورش آنها میشود، عبارتند از آبزیانی نظیر ماهی کپور، گربه ماهی، ماهی خاردار، تیلاپیا، انواع قورباغه، ماهی سفید، انواع مارماهی، قزل آلا، سگ ماهی، میگو، انواع خرچنگ ها، صدف ها، سوسمارها، کروکودیل ها، و ...

استفاده از انرژی زمین گرمایی برای پرورش آبزیان بر استفاده از انرژی طبیعی خورشید ارجحیت دارد، زیرا ثابت شده است که با استفاده از انرژی زمین گرمایی میتوان ماهی های بیشتری را در دوره کوتاهتری تولید کرد.

دمای مورد نیاز و همچنین دوره زمانی برای رشد هر یک از گونه های آبزیان متفاوت است و برای تولید بهینه این موارد باید به دقت رعایت شود.

حوضچه های پرورش ماهی اغلب با مشکل تلفات حرارتی مواجه هستند که با کمک استفاده از روکش های

۱-۵-۱۳- فن آوری پیشرفته پرورش ماهی در ایسلند:  
مزارع پرورش ماهی در ایسلند بر پایه منابع غنی آب شیرین و آب شور دریا همراه با انرژی زمین گرمایی برای گرم کردن آن تکیه دارد. آب زیرزمینی سرد فراوانی در ایسلند وجود داشته و در بسیاری از مناطق منابع انرژی زمین گرمایی آشکار گردیده است. در طی سالهای ۱۹۹۰-۱۹۸۶ ایسلند شروع به تحقیق برای تعیین پتانسیل پرورش ماهی کرد.

با حفاری های زیاد، آب با دمای مناسب برای پرورش ماهی شناخته شده است. هنگامی که آزمایشات با تخلیه لوله ای عمق کم در شن های ساحل انجام می شد نشان داد که آب دریا می تواند به صورت ایمن و با کیفیت خوب برای پرورش ماهی جمع آوری شود.

در فصل زمستان، نیاز به آب گرم برای ثابت نگه داشتن دمای حوضچه ها حدود ۱۰°C افزایش می یابد. به علت عبور آب شور از تجهیزات، باید از خوردگی رادیاتورها در مبدل های گرمایی جلوگیری شود.

ساخت سیستم یک مزرعه پرورش ماهی که ماهی ها در

تانکهای انفرادی در سایزهای مختلف پرورش داده می‌شود در سال ۱۹۸۸ آغاز شد. در زمان تخم‌گذاری آب گرم و سرد در چشمه‌ها و با حفاری چاه‌ها استفاده می‌شد. با تنظیم دما می‌توان رشد ماهی را کاهش یا افزایش داد و این در سایز ماهی‌های تحویلی در هر سال و ایمنی آنها بسیار مهم است و در بسیاری از حوضچه‌های پرورش ماهی در ایسلند مقدار قابل توجهی ماهی قزل‌آلا تولید می‌شود.

یک مزرعه پرورش ماهی شامل این قسمت‌ها است:

تامین آب شیرین	تامین آب دریا
تامین آب گرم	سیستم تهویه
سیستم اکسیژن زنی	سیستم تانک عقب
سیستم فیلترینگ و بخارج پخش کننده	سیستم تغذیه
نظارت/کنترل	تامین الکتریسیته و شرایط اضطراری
سیستم اعلام خطر	سیستم back-up
بررسی ماهیها و سیستم درجه‌گذاری	عمل‌آوری ماهی و تاسیسات بسته‌بندی

اگر چه فقط حدود ۱۰٪ از منابع آب از منشأ زمین گرمایی است، از این آب گرم به صورت آبشاری (cascade) استفاده می‌شود. داغ‌ترین آب  $35-37^{\circ}\text{C}$  ابتدا برای گرمایش خانگی در طبقات حوضچه‌های پرورش ماهی استفاده می‌شود. آب داغ به شبکه تانکهای ماهی وارد می‌شود، این آب قبل از اینکه با آب استفاده شده توسط ماهی‌ها مخلوط شود برای ذوب کردن برف‌ها به کار می‌رود.

انواع آب وارده بر حوضچه‌ها (سرد/شیرین، گرم/زمین گرمایی و سرد/آب دریا) به روشهای مختلف بطوری که برای سایز، انواع مختلف ماهی مناسب است باهم مخلوط می‌شوند. قبل از اینکه مخلوط آبها وارد تانک‌ها شود، عمل هواگیری، هوادهی برای همسان سازی نیتروژن انجام میشود که در غیر اینصورت ممکن است به حالت اشباع برسد و نیتروژن در اشباع ممکن است باعث مرگ ماهی‌ها شود. بعد از هواگیری، آب بعلت وجود جاذبه به سمت تانکها میرود.



## ۶-۱۳ ذوب برف

یکی از کاربردهای مستقیم انرژی زمین گرمایی جلوگیری از یخ زدگی معابر و خیابانها توسط لوله هایی است که در زیر زمین تعبیه شده و آب گرم زمین گرمایی از این لوله ها عبور کرده و باعث ذوب برف میشود. طراحی سیستم های ذوب برف بر پایه اصولی است که بوسیله ASHRAE (انجمن مهندسان سیستم های گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع در آمریکا) تهیه شده است. میزان گرمایش سیستم به میزان بارش برف، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد وابسته است. جنس لوله هایی که در سیستم ذوب برف به کار می رود فلز یا پلاستیک و به علت مشکلات خوردگی در لوله های متقاطع به جای آهن از پلی اتیلن استفاده می شود. حرارت زمین گرمایی در درون سیستم، به طور مستقیم از لوله های سیار و از میان یک مبدل یا بوسیله عبور آب به طور مستقیم در سطح خیابان ها سیستم را تغذیه می کند. امروزه در سراسر جهان به کمک انرژی زمین گرمایی حدود ۵۰۰ هزار متر مربع از مسیر پیاده روها و جاده ها گرم می شوند که بخش اعظم آنها نیز در کشور ایسلند وجود دارند. در حال حاضر علاوه بر ایسلند، نمونه هایی از سیستم های زمین گرمایی و دیگر سیستم ها در آمریکا، آرژانتین، کانادا و سوئیس برای ذوب برف پیاده روها، جاده ها، پل ها و زمین های ورزشی مورد استفاده قرار می گیرد. از مزایای آشکار این سیستم حذف مشکلات مربوط به برف رویی و در نتیجه ایمن سازی پیاده روها و معابر و کاهش تصادفات است.

اندازه تانکها به سایز ماهی ها بستگی دارد. تانکهای کوچک برای ماهی های آزاد و تانکهای بزرگ برای ماهی های بزرگ ساخته می شود. تانکهای کوچک معمولاً از فایبر گلاس ساخته می شود و تانکهای بزرگ از عناصر بتونی پیش ساخته که بر روی هم سوار شده اند که توسط کابل های استیل کششی به هم سفت بسته می شوند.

جریان آبهای خروجی از تانک بعلت سنگینی در میان لوله کشی فاضلاب سنتی به سمت یک حوضچه ته نشینی، درست جایی که مدفوع ماهی ها و پس ماند غذاها قرار می گیرند، هدایت میشود.

زنگ اعلام خطرهای اضطراری در بسیاری از پارامترهای حساس برای ماهی برای جلوگیری از هر گونه اتلافی وصل شده اند. سطح اکسیژن در آب خروجی از هر تانک به طور پیوسته کنترل می شوند. زنگها در سیستم مشخص کننده آب، در زمان خاموشی پمپ ها به کار می افتند. تمامی تزریق کننده های اکسیژن به طور دائم بررسی و نظارت می شوند. در نهایت دمای آب ورودی از دهانه به سمت تانک نظارت شده و زنگ اعلام خطر اگر دمای آب زیاد باشد فعال می شود.

مقدار ماهی تولیدی در مزرعه های پرورش ماهی با استفاده مناسب از انرژی زمین گرمایی، افزایش سطح اکسیژن در آب، کنترل تمامی شرایط، خلوص آب زیرزمینی و کنترل شوری آب افزایش خواهد یافت.



### ۱-۶-۱۳- معیارهای کلی طراحی:

ذوب برف بوسیله سیستم های گرمایشی به ۴ فاکتور اتمسفری بستگی دارد: (۱) میزان بارش (۲) دمای هوا (۳) رطوبت نسبی (۴) سرعت باد

سیستم ذوب برف باید ابتدا برف را آب کند و سپس آب فیلم (غشاء) حاصله را بخار نماید. میزان بارش تعیین می کند که چه دمایی لازم است که برف را گرم کند و سپس آن را ذوب نماید. میزان تبخیر برف به سرعت باد و تغییرات فشار بخار بین هوا و برف ذوب شده بستگی دارد. نظر به اینکه فشار بخار به وسیله رطوبت نسبی و دمای هوا تعیین می شود به طوریکه دمای سطح سنگ فرش ها معمولاً ثابت است، میزان بخار حاصل با تغییرات دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد تغییر می کند. انتقال گرمایی (همرفت) و تلفات تابش از برف آب شده به ضریب فیلم (غشاء) و تفاوت دما بین سطح زمین و هوا بستگی دارد. ضریب فیلم (غشاء) تابعی از سرعت باد به تنهایی است و از زمانی که دمای سطح زمین ثابت می شود، انتقال گرمایی و تلفات تابش با تغییرات در دمای هوا و سرعت باد تغییر می کند.

تجهیزات مربوط به سیستمهای ذوب برف بر طبق سه نوع کلاس ۱ و ۱۱ و ۱۱۱ طبقه بندی میشود. این سه کلاس به صورت زیر شرح داده می شود:

کلاس ۱) (کمینه): مسیرهای کاشت درختان و خیابانهای ماشین روی خلوت  
کلاس ۲) (میان): پیاده رو ها و خیابانهای پر تردد  
کلاس ۳) (بیشینه): میدانهای عمومی، بزرگراهها، ورودی بیمارستانها و...

### ۲-۶-۱۳- مصالح لوله کشی و نصب و تأسیسات کف خیابانها:

مصالح لوله کشی می تواند هم فلزی و هم پلاستیکی باشد. در گذشته از لوله های فولادی، مسی و آهنی استفاده می شد و هنوز هم در بعضی نقاط استفاده می شود اگرچه فولاد و آهن اگر به وسیله پوشش گذاری و کاتدی حفاظت نشوند به سرعت زنگ می زنند. در ضمن استفاده از نمکها برای یخ زدن و بالا بردن دما، خوردگی این مواد را شتاب می دهد. تجربیات ناسا نشان می دهد به طور تقریبی با هر  $18^{\circ}\text{F}$  افزایش دما خوردگی فلز دو برابر افزایش می یابد.

خرابی های لوله های آهنی باعث قطع سیستم های ذوب برف زمین گرمایی آبشارهای Klamath در ایسلند بعد از ۵۰ سال از راه اندازی شد.

روش جدید در آمریکا استفاده از لوله های پلاستیک با آهن برای لوله های اصلی است. لوله های پلاستیکی معمولی یک پلی اتیلن اتصال عرضی (PEX) هستند. این دسته از لوله ها سبک وزن و قابل انعطاف بوده و می توان آنها را به راحتی در هر جهت خم کرد. به بسط های حلقه یی احتیاجی نیست و از اتصالات متراکم مکانیکی استفاده میشود و آشکار است که عمری بالاتر از ۵۰ سال دارد.

استفاده از یک محلول ضد یخ (اتیلن یا پروپیلن) ضروری است و این محلول در یک سیستم بسته چرخش می کند و به وسیله یک مبدل گرمایی گرم می شود.

### ۳-۶-۱۳- نحوه استفاده از انرژی زمین گرمایی در سیستم های ذوب برف:

انرژی زمین گرمایی می تواند به وسیله یکی از ۴ متد زیر، سیستم را تغذیه کند: (۱) استفاده سراسری از لوله های گرمایی؛ (۲) استفاده مستقیم از چاه به سمت لوله های سیار؛ (۳) یک مبدل گرمایی سراسری در رأس چاه؛ (۴) بوسیله اجازه عبور آب به طور مستقیم بر روی سنگ فرش ها.

### ۷-۱۳- کاربرد های صنعتی

انرژی زمین گرمایی میتواند به طرق مختلف در حوزه صنعت مورد استفاده قرار گیرد. البته این دسته از کاربردهای انرژی زمین گرمایی هنوز مانند سایر مصارف این انرژی در سطح جهان از گستردگی چشمگیری برخوردار نشده است. با این وجود، در حال حاضر حدود ۱۹ کشور جهان از این انرژی در فرایندهای مختلف صنعتی استفاده می کنند. به عنوان مثال می توان به این موارد اشاره کرد:

- تولید برات و اسید بوریک از سیالات زمین گرمایی در ایتالیا
- استحصال نفت در روسیه
- پاستوریزه کردن شیر در رومانی
- تولید چرم در اسلوونی و صربستان
- تولید گاز دی اکسید کربن در ایسلند و ترکیه
- تولید کاغذ و قطعات خودرو در مقدونیه
- خمیر کاغذ، کاغذ و چوب در نیوزلند
- استخراج طلا در آمریکا (شستشوی توده ای خاک با هدف بازیافت طلا و نقره)

- آبدیاری از سبزیجات ومیوه ها
- خشک کردن الوارها و رنگرزی
- فرآوری و تولید خاک سیلیسی مرغوب در ایسلند

## ۸-۱۳ چشمه‌های آب درمانی و آب معدنی (Balneology)

قرن هاست که مردم چین، ایسلند، ژاپن، نیوزلند، آمریکای شمالی و دیگر مناطق از آب داغ چشمه‌ها برای حمام کردن و شستشو استفاده می‌کنند. رومی‌های قدیم از آب زمین گرمایی برای درمان چشم و بیماری‌های پوستی و در بعضی مناطق دیگر برای گرم کردن ساختمان‌ها استفاده می‌کردند. حتی جنگل‌های قرون وسطی بر سر سرزمین‌های با چشمه‌های آب گرم رخ داد. امروزه از آب‌های گرم دارای حرارت بیش از ۵۰ درجه سانتیگراد برای درمان بیماری‌های نظیر فشار خون بالا، روماتیسم، بیماری‌های پوستی و بیماری‌های دستگاه عصبی استفاده می‌شود. کشور ژاپن به عنوان رهبر Balneology شناخته می‌شود. ژاپنی‌ها به حمام‌های مخصوص که به زمان‌های قبل بر

هستند که با استفاده از انرژی برق، گرما را از زیر زمین جمع آوری و توسط سیالی که از لوله‌های کار گذاشته شده میگذرد به واحد نصب شده در داخل ساختمان منتقل میکنند. این واحد گرمای سیال درون لوله‌ها را جذب کرده و با استفاده از قوانین متراکم سازی (compression) حرارت را تشدید و افزایش داده و به دمای مطلوب جهت گرمایش ساختمان میرساند. گرمای حاصل از پمپ‌های حرارتی به واسطه احتراق ایجاد نشده و فقط گرما را از محلی به محل دیگر منتقل میکنند. همچنین به طور معکوس در تابستان هوای گرم داخل ساختمان از طریق یک مکنده وارد دستگاه شده و پس از سرد شدن مجدداً به داخل اتاق دمیده میشود. در داخل دستگاه حرارت به مبرد منتقل شده و پس از عبور مبرد از سیکل مربوطه، حرارت موجود در آن توسط یک مبدل دو لوله ای به آب داخل کویل زمینی که داخل لوله‌های پلی اتیلنی نصب شده در داخل زمین منتقل میشود. سیکل کاری این سیستم کاملاً مانند یخچال بوده و فقط به جای انتقال گرمای درون یخچال به اطراف یخچال، گرمای درون ساختمان را به زمین منتقل میکند. راندمان انرژی این سیستم ها ۳۰۰

می‌گردد اعتقاد داشتند. ژاپن با ۴۰۰۰ چشمه آب داغ و تسهیلات استحمام، حدود ۱۲ میلیون توریست در سال دارد. دیگر کشورها با آب معدنی و چشمه‌های آب گرم شامل نیوزلند، مکزیک و آمریکا هستند. در حال حاضر حدود ۴۵ کشور جهان از چشمه‌های آب گرم خود برای این منظور استفاده می‌کنند. در ارتباط با توسعه چنین مراکزی، شواهد و نمونه‌های متعددی را می‌توان در سطح جهان معرفی کرد.

## ۹-۱۳ پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی (Ground-source heat pumps)

تکنولوژی پمپ‌های حرارتی بر این اصل استوار است که در عمق ۲ تا ۳ متری زمین، درجه دما ثابت بوده و در زمستان گرمتر از هوای بیرون و در تابستان سردتر از هوای محیط است. سیستم‌های گرمایش و گرمایش ژئوترمال که با نام‌های دیگری هم مانند پمپ‌های حرارتی با منبع زمین (GSHP) سیستم‌های مبدل زمین گرمایی (GeoExchange) و یا سیستم‌های انرژی زمینی (EES) شناخته میشوند، شامل پمپ‌های حرارتی

تا ۴۰۰ درصد بوده (در مقایسه با مدرن ترین سیستم‌های گازی با ۹۸ درصد راندمان) و به ازای هر ۱ دلار برق مصرفی در این سیستم ۳ تا ۴ دلار صرفه جویی مصرف داریم. در واقع یک سیستم منفرد، کار دو سیستم گرمایش و سرمایش را انجام میدهد. استفاده از این سیستم‌ها تا ۶۶ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داده و ۷۵ درصد کمتر از سیستم‌های گرمایش و سرمایش سنتی، الکتریسیته مصرف میکنند.

سیستم‌های گرمایش و سرمایش با پمپ‌های حرارتی شامل سه بخش اساسی است:

۱. حلقه‌های زیر زمینی (ground loop): که شامل لوله‌های کار گذاشته شده در زیر خاک است و بامخلوطی از آب و ضد یخ پر شده و این مخلوط در لوله‌ها جریان یافته و گرمای زمین را جذب میکند.

۲. پمپ حرارتی (heat pumps) که شامل سه قسمت است و نحوه عملکرد آن کاملاً شبیه یخچال است:

\* evaporator (تبخیر کننده): حرارت را از آب جاری در حلقه زیر زمینی دریافت میکند.

\*Compressor (متراکم کننده):

سردکن (refrigerant) را اطراف پمپ حرارتی حرکت داده و سردکن گازی را تا رسیدن به دمای مطلوب سیستم توزیع متراکم میکند.

\*Condenser (چگالنده): گرما را به یک مخزن آب داغ که سیستم توزیع از این مخزن تغذیه میشود، میرساند. ساختار فنی پمپهای حرارتی به گونه ای است که امکان استخراج انرژی حرارتی را از یک منبع حرارتی دما-پایین فراهم ساخته و آن را بصورت یک انرژی حرارتی مفید در دمای بالاتر در دسترس ما قرار میدهد. بزرگترین مزیت این سیستم در این است که حتی در مناطقی که دارای پتانسیل بالایی از انرژی زمین گرمایی نیستند و آب ژئوترمال در دمای پایین، مثلاً ۲۰-۴۰، که برای کاربرد مستقیم در فرایندهای گرمایش محیطی بسیار پایین است، منبع حرارتی ایده آلی برای تغذیه پمپهای حرارتی به شمار میرود.

پمپ های حرارتی به دو گروه عمده تقسیم میشوند:

\*پمپهای حرارتی آب-به-هوای هوا یا داغ یا هوای سرد را با استفاده از محلول واسطه (آب یا الکل) و زمین به عنوان سینک یا منبع حرارتی به ساختمان منتقل میکند.

\*پمپهای حرارتی آب-به-آب: آب داغ یا آب سرد را با استفاده از محلول واسطه (آب یا الکل) و زمین به عنوان سینک حرارتی یا منبع حرارتی به ساختمان تحویل میدهد.

### ۳. سیستم توزیع گرما (heat distribution system)

شامل سیستم گرمایش کف ساختمان و رادیاتورها برای گرمایش محیط و در بعضی موارد ذخیره آب برای تامین آب گرم ساختمان میباشد.

سیستم های گرمایش و سرمایش با پمپ های حرارتی را میتوان به این صورت طبقه بندی کرد:

۱. سیستم های باز (open systems)

۲. سیستم های بسته (closed systems)

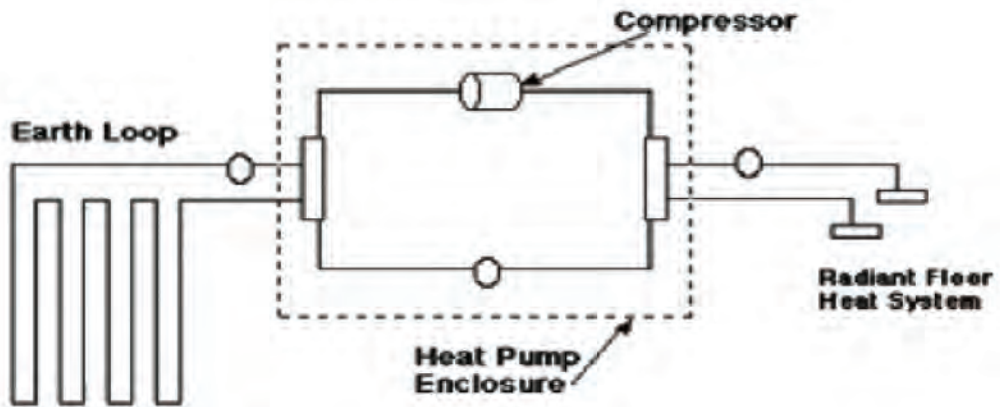
۳. سیستم های دیگر (other systems)

سیستم حلقه باز:

در سیستم های حلقه باز آبهای زیر زمینی به عنوان حامل گرما عمل کرده و بطور مستقیم به سمت پمپ حرارتی انتقال می یابد. در این سیستم هیچ نوع مانع و حائلی میان خاک، آب زیر زمینی و تبخیر کننده پمپ حرارتی وجود ندارد و از اینرو سیستم حلقه باز نامیده میشود.

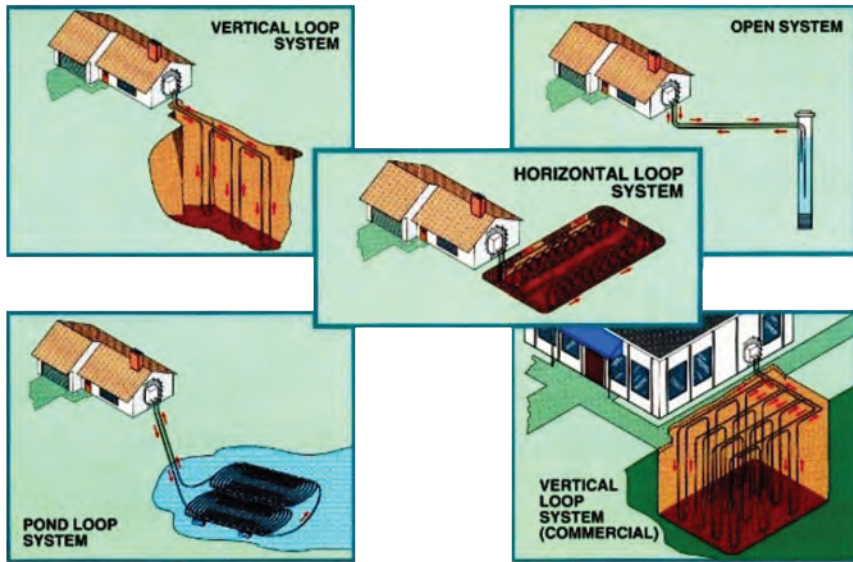
سیستم حلقه بسته:

در سیستم حلقه بسته مبدل های حرارتی در زیر زمین بصورت افقی، عمودی و یا مورب قرار دارد و یک مدیوم یا واسطه حامل حرارتی در مبدل سیرکوله شده و گرما را از زمین به پمپ حرارتی و بلعکس انتقال میدهد. حامل گرما توسط دیواره ی مبدل حرارتی از خاک و از آبهای زیر زمینی مجزا شده است و از اینرو به آن سیستم حلقه بسته میگویند.



heatpump cycle





\* پمپ های حرارتی نصب شده در واحد های تجاری با بازیافت گرمای اضافی قسمت های داخلی ساختمان و انتقال این گرما به محیط های بازتر ساختمان در هزینه ها صرفه جویی میشود. این سیستم ها برای مدیران این مراکز این امکان را فراهم می آورد تا قسمت های خالی ساختمان را که نیاز به گرمایش ندارند از قسمت های دیگر جدا و ایزوله کند.

\* بدلیل عدم وجود هرگونه احتراق، این سیستمها بسیار ایمن تر از سیستمهای متداول هستند.

\* آلودگی محیطی (گازهای گلخانه ای) و صوتی این سیستمها کمتر از سیستمهای متداول است.

### وضعیت پمپ حرارتی زمین گرمایی در ایران

در ایران مطالعه گسترده بر روی پمپ حرارتی زمین گرمایی از سال ۱۳۸۰ در معاونت امور انرژی آغاز گردید که این مطالعات منجر به تغییر یک کولر گازی به پمپ حرارتی زمین گرمایی گردید. این دستگاه در سایت زمین گرمایی مشکین شهر نصب و راه اندازی شده است و کویل زمینی آن که به صورت افقی است، باعث شده تا میزان مصرف برق دستگاه مذکور با اندازه ۳۰٪ کاهش یابد.

### پمپ حرارتی زمین گرمایی در طالقان

جهت تکمیل نمودن این مطالعات سازمان انرژیهای نو ایران به کمک شرکت آسناد صنعت چهار دستگاه پمپ

بعضی از سیستم ها در قالب دو نوع بالا قرار نمیگیرند به طور مثال سیال حامل و آبهای زیر زمینی از هم مجزا نشده اند ولی در فاصله معینی از هم قرار دارند که در گروه سیستم های دیگر قرار میگیرند. سیستم چاههای ستونی ایستاده در این زمره است.

درانتخاب هریک از این سیستم ها، فاکتورهای مختلفی مانند عوامل زمین شناسی و آبهای زیر زمینی و...دخیل هستند.

در سال ۲۰۰۷ بیش از ۲ میلیون پمپ حرارتی زمین گرمایی در بیش از ۳۰ کشور جهان برای تامین گرمایش و سرمایش استفاده شده است . .

### مزایای پمپ های حرارتی

\* پمپهای حرارتی زمین گرمایی چه در تاسیسات تجاری و چه مسکونی معمولا هزینه نگهداری و تعمیر پایین تری نسبت به سیستم های سنتی و متداول دارند زیرا تمامی تجهیزات این سیستم ها در داخل ساختمان ها و یا در زیر زمین نصب میشود و در نتیجه هیچ یک از تجهیزات در معرض هوا و یا تخریب قرار ندارد. همچنین تمامی سیستم های سرمایشی شبیه به سیستم یخچال های خانگی آب بندی شده اند.

\* سیستم پمپ های حرارتی زمین گرمایی بسیار منعطف بوده و به راحتی و با هزینه پایین میتوان آنها را بسط و گسترش داده و یا به قسمت های کوچکتر تقسیم کرد تا بطور مناسب در ساختمان جاسازی و نصب شوند.

۳ متری و ۱/۵ متری نصب گردیده است. علاوه بر کویل عمودی-افقی به منظور مطالعه کویل های مختلف از دو آرایش افقی دیگر نیز استفاده شده است که قابل انتخاب است. در این سایت برای اولین بار از یک آبگرمکن ۳۰۰ لیتری به صورت سری با کویل زمینی استفاده و مورد تست قرار گرفت. نتیجه تست عملکرد مناسبی را برای سیستم ارائه داد به گونه ای که به کمک سیستم نصب شده ضمن خنک کاری فضای اداری به وسعت ۴۵ متر مربع با ارتفاع ۴/۵ متر، با مصرف برقی در حدود ۸۵۰ وات قادر به تامین آب گرم مورد نیاز مجموعه با دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و با حجم ۳۰۰ لیتر گردید.



### پمپ حرارتی زمین گرمائی در اهواز

استان خوزستان از جمله مناطقی از کشور است که در ماه های گرم به دلیل داشتن رطوبت و دمای بالا از کولر گازی بسیار استفاده می شود. در شهر اهواز نیز یک دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمائی نصب گردید و کویل زمینی این سیستم از نوع مارییج با طول ۲۰۰ متر در کانالی به طول هفت متر نصب گردید. در زمستان ۱۳۸۶ این سیستم در حالت گرمایشی راه اندازی شد و با مصرف برق ۸۵۰ وات گرمای مورد نیاز اتاقی به مساحت ۳۵ متر مربع را تامین نمود. هم اکنون و با شروع فصل گرما سیستم در حالت سرمایش با مصرف برق ۹۰۰ وات در حال کار می باشد و توسط دستگاه های اندازه گیری تمامی پارامترهای مهم اندازه گیری می شود و اطلاعات بدست آمده نشان از موفقیت این سیستم دارد.



V

حرارتی زمین گرمائی تهیه و آن را در آزمایشگاه کولر گازی «آزمایشگاه صرفه جوئی ملی انرژی» مورد آزمایش قرار داد که منتج به محاسبه راندمان (COP) برابر ۴/۵ و مصرف برق ۷۵۰ وات گردید که در مقایسه با بهترین کولر گازی موجود در ایران که دارای راندمان کمتر از ۲/۵ با مصرف برق ۲۸۰۰ وات می باشد، از میزان قابل توجه کاهش مصرف برق برخوردار است.

پس از آن جهت نمایش واقعی عملکرد و کاهش مصرف برق واقعی، یک دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمائی در سایت طالقان جهت مطالعه دقیق و برداشت اطلاعات میزان کاهش مصرف برق، دما و رطوبت هوا و خاک نصب گردید. برای این منظور مدارهای مختلف لوله پلی اتیلن ۲ اینچ کویل زمینی طراحی و در داخل ۹ حلقه چاه به عمق ۱۵ متر و به قطر ۸۰ سانتی متر نصب شد که هدف از حفاری این تعداد چاه مطالعه و تحقیق بر روی اثرات چیدمان های مختلف و سیکل های مختلف کویل زمینی می باشد. همچنین جهت مطالعه بهتر بر روی انتقال حرارت داخل زمین تعداد ۱۲ سنسور اندازه گیری دما در چاهها نصب شده تا همزمان با برداشت اطلاعات میزان مصرف برق، دما و رطوبت هوای آزاد، دما و رطوبت داخل اتاق، بتوان دمای زمین و میزان حرارت تبادل شده بین سیال داخل کویل زمینی و خاک را

نیز اندازه گیری نمود. نتیجه مطالعات بیانگر عملکرد مناسب سیستم در فصل گرما و سرما بوده و در مقایسه با یک کولر گازی معمولی مشابه ۶۵ درصد کاهش مصرف برق نشان می دهد.



### پمپ حرارتی زمین گرمائی در رشت

به منظور بررسی عملکرد دستگاه در شرایط شمالی کشور، شهر رشت به عنوان نمونه انتخاب و سومین پمپ حرارتی در آن نصب و راه اندازی شد. به دلیل بالا بودن سطح آب در شهر رشت و مشکلات حفر چاه، از کویل عمودی-افقی استفاده شد. به همین منظور در پست شهید سیادت دو کانال به عمق ۵ متر حفاری و در آنها لوله های پلی اتیلنی با قطر ۲ اینچ به طول ۱۰۰ متر به صورت عمودی و افقی با فاصله

## پمپ حرارتی زمین گرمایی در شهر بندرعباس

پنجمین پمپ حرارتی زمین گرمایی در ایران در شهر بندرعباس و در کتابخانه اداره جهاد کشاورزی استان هرمزگان نصب شده است. شهر بندرعباس نیز به دلیل گرما و رطوبت بالا و نزدیکی به دریا انتخاب گردید تا تاثیر این ویژگی های مهم بر عملکرد پمپ حرارتی زمین گرمایی بررسی و مورد مطالعه قرار گیرد. کویل این سیستم به صورت افقی و ماریچ است



## ۱۴. نیروگاههای زمین گرمایی

می دانیم منابع بزرگ زمین گرمایی یعنی منابعی که اساسا برای تولید انرژی الکتریکی قابل استفاده هستند، در نواحی محدودی از زمین یافت می شوند و منابع کوچک زمین گرمایی تنها در ظرفیت های محدود (کمتر از ۱۰ مگاوات) قابلیت بهره برداری به طور غیر مستقیم را دارا هستند. پس بررسی اصولی و همه جانبه در راه اندازی یک نیروگاه زمین گرمایی ضروری به نظر می رسد. فرایند ساخت یک نیروگاه زمین گرمایی امری بسیار پیچیده است که به مطالعاتی دقیق در هریک از اجزای آن احتیاج است. لازم است مطالعاتی دقیق در زمینه ماهیت منبع و سیال ژئوترمال، تعیین موقعیت مکانی منبع به طور دقیق، عمق، جهت، تعداد و نوع چاه های لازم، نوع و سایز نیروگاه، استفاده از متد مناسب دفع سیالات استفاده شده و طراحی سیستم های لازم جهت کاهش اثرات زیست محیطی انجام شود تا پروژه از لحاظ اقتصادی توجیه پذیر گردد. از آنجاییکه این منابع ژئوترمال منابعی دینامیک و متغیر هستند متخصصان باید از عهده اصلاح و ایجاد تغییرات لازم در تجهیزات نیروگاه با تغییر در منابع زمین

گرمایی در جهت بالا نگه داشتن راندمان سیستم بر آیند. در مرحله نخست شناخت مشخصات کامل منبع قبل از عملیات حفاری که عملیاتی هزینه بر است، ضروری می نماید. مرحله بعد عملیات حفاری آغاز میشود که معمولا در ابتدا ۳ چاه در مرحله تایید منطقه حفر میگردد. این چاهها در بهترین مناطقی که در مطالعات کشف گردیده و ترجیحا به صورت سه گوش از یک مثلث حفر میگردد. از این چاهها برای مطالعات سنگ شناسی نمونه هایی برداشت میشود. نحوه رفتار و کیفیت سیال منبع باید بررسی گردد و در آخر چاههای مورد نیاز حفر می گردند.

حال به بررسی سیستم های تبدیل انرژی که سیال را از منابع ژئوترمال گرفته و فرایندهایی را بر روی آن جهت استفاده و تولید الکتریسیته در یک نیروگاه انجام می دهد در آخر این سیال را به صورت موثر دفع نماید می پردازیم. تکنولوژی های مورد استفاده در تبدیل انرژی زمین گرمایی به انرژی الکتریکی به حالت سیال زمین گرمایی (مایع یا بخار بودن آن) و همچنین دمای آن، عمق و کیفیت منبع بستگی دارد و میتوان آنها را به دو دسته سنتی (بخار خشک، بخار لحظه ای و باینری) و سیستم های پیشرفته که برخی از آنها هنوز به مرحله تجاری نرسیده اند، تقسیم کرد.

توربین هایی که برای نیروگاههای زمین گرمایی ساخته می شوند باید از موادی که دارای مقاومت بالایی در برابر خوردگی و پوسیدگی هستند، ساخته شوند. زیرا سولفید هیدروژن موجود در گازهای خروجی از زمین باعث خوردگی فولادهای معمولی میشود.

### واحد های نیروگاهی بر دو قسمند:

\* واحدهای نیروگاهی سرچاهی: این واحدها در مجاورت یک یا چند چاه تولیدی راه اندازی شده و معمولا با آب داغ یا بخار آب خروجی از آن (ها) تغذیه میشوند. این واحدها دارای ساختار مدولار بوده و در مقیاس های معین ساخته میشوند.

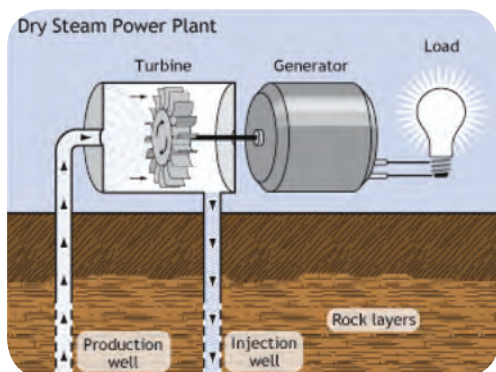
\* نیروگاه های مرکزی: شامل خطوط انتقال به هم پیوسته و طولی هستند که بخار آب را از مجموعه چاه های متعدد به واحد مرکزی منتقل میکند.

هریک از این واحدها دارای مزایا و معایب خاص خود

بوده و با توجه به میزان تقاضا، عوامل محیطی و... انتخاب میشوند.

### ۱-۱۴ انواع نیروگاه های زمین گرمایی :

- تجهیزات استفاده شده در یک نیروگاه بخار خشک شامل:
۱. چاه و سیستم تامین بخار و سیال ژئوترمال
  ۲. توربین-ژنراتور و سیستم های کنترل
  ۳. کندانسور، دستگاه تخلیه گاز و دستگاه کنترل آلودگی
  ۴. سیستم ثابت نگه دارنده دما(برج خنک کننده)
  ۵. سیستم های back up
  ۶. سیستم های کاهش نویز
  ۷. سیستم های دفع ضایعات زمین گرمایی(چاههای تخلیه)



### ۲-۱-۱۴ سیکل بخار لحظه ای :

این نوع از نیروگاه ها متداول ترین نوع نیروگاه های زمین گرمایی هستند. این نیروگاه ها از سیال با درجه حرارت بالاتر از ۱۸۲ درجه سانتی گراد که تحت فشار بالا به سطح زمین آورده می شود استفاده میکنند. سیال به درون یک تانک که فشار درون آن بسیار پایین تر از فشار سیال نگه داشته می شود. اسپری میشود و این اختلاف فشار باعث تبخیر آبی یا فلش شدن سیال میشود. این بخار به سمت توربین هدایت میگردد.

این نوع نیروگاه در بیش از ۱۸ کشور دنیا در حال کار بوده و حدود ۶۵ درصد از ظرفیت نیروگاههای جهان را داراست. محدوده ظرفیت این نیروگاهها ۳ تا ۹۰ مگاوات است. میزان انتشار گازهای گل خانه ای در نیروگاههای فلش در مقایسه با نیروگاههای با توربین گازی (۰/۵۹ کیلوگرم بر کیلووات ساعت) و نیروگاههای فسیلی (۱/۱۳ کیلوگرم بر کیلووات ساعت) در حدود ۰/۰۶ کیلوگرم بر کیلووات ساعت است و انواع این نوع نیروگاه عبارتند از:

۲. نیروگاههایی که سیال زمین گرمایی بصورت دو فاز مایع و بخار با دمای نسبتا بالا از چاه های تولیدی خارج شده و سپس وارد یک جدا کننده شده و بخار حاصل به سمت توربین و آب داغ به سمت چاههای تزریقی و برج خنک کننده فرستاده میشود. حال برحسب اینکه عمل جدایش آب از بخار در یک مرحله یا دو مرحله انجام میشود و بر حسب وجود یا عدم وجود کندانسور به چند دسته تقسیم میشوند که در ادامه به شرح آنها می پردازیم .
۳. نیروگاه ترکیبی که از ترکیب دو نیروگاه فوق به صورت سری و موازی تولید برق میکند.

### ۱-۱-۱۴ سیکل بخار خشک

در این نوع سیکل، سیال زمین گرمایی خروجی از چاه از چنان کیفیتی برخوردار است که به صورت بخار خالص از چاه خارج شده و مستقیما وارد توربین می شود و نیازی به مخزن تفکیک کننده نمی باشد. درجه حرارت این بخار در حدود ۲۳۵ درجه سانتی گراد است. این بخار پس از عبور از توربین از طریق چاه تخلیه به درون زمین بازمیگردد. اتصالات تجهیزات این نیروگاه با چاه ها نسبتا ساده تر از نیروگاههای دیگر است. از این نوع نیروگاهها اولین بار در سال ۱۹۰۴ و در ایتالیا بهره برداری شد. بزرگترین نیروگاه بخار خشک در کالیفرنیا واقع است. این نوع نیروگاهها بسیار نادر می باشند و در حدود ۲۸ درصد ظرفیت نصب شده نیروگاه های زمین گرمایی در جهان را تشکیل میدهند. ظرفیت متوسط این نیروگاهها بالاتر از ۳۹ مگاوات است و در حال حاضر تنها در کشور ایتالیا و آمریکا این نوع از نیروگاههای ژئوترمال در حال کار است.



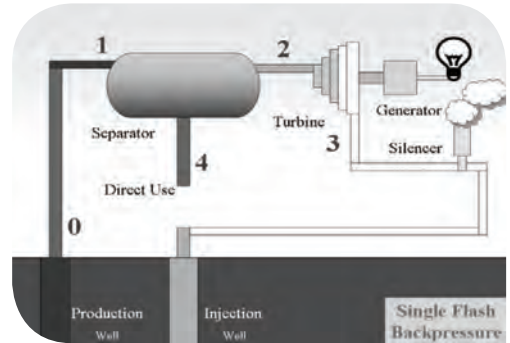
### ۱-۳-۱۴ سیکل بخار لحظه ای تک مرحله ای بدون کندانسور

در این نوع سیکل، سیال زمین گرمائی پس از خارج شدن از چاه تغذیه بصورت دو فاز مایع و بخار به داخل مخزن تفکیک کننده هدایت میشود. در مخزن تفکیک کننده، فاز بخار را از مایع بدون اتلاف فشار جدا شده و بخار به داخل توربین رفته و باعث چرخش روتور توربین می شود و نهایتاً از طریق ژنراتور برق تولید می گردد و برق تولیدی به شبکه تزریق می شود. یکی از نکات مهم در این مرحله، جداسازی بخار و سیال به طور کامل و قبل از برخورد بخار به توربین می باشد. سیال خروجی از توربین، به داخل ساینسر هدایت می شود تا با جداسازی مایع از بخار، پس از ترکیب با مایع خارج شده از مخزن تفکیک کننده، جهت کاربردهای مستقیم انرژی زمین گرمائی مانند گرمایش فضا، گلخانه زمین گرمائی، استخراجهای شنه، مراکز آبدرمانی، حوضچه های پرورش ماهی و سیستم ذوب برف مورد استفاده قرار گیرد، و یا اینکه بداخل چاههای تغذیه تزریق گردد. برای مثال یک نیروگاه ۳۰ مگاواتی از این نوع به ۵ یا ۶ چاه تولید ۲ و ۳ چاه تزریق (تخلیه) احتیاج دارد.

کتر بودن فشار بعد از کندانسور در مقایسه با فشار بعد از توربین، امکان تولید برق بیشتر نسبت به سیکل بخار لحظه ای بدون کندانسور ایجاد شود. باید دقت داشت که گازهای موجود در بخار طبیعی (مانند دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن) کندانسور نمیشوند و اگر به طور مناسب از سیستم دفع نشوند، دمای کلی کندانسور را افزایش و توان خروجی توربین را کاهش میدهند. برج خنک کننده در نیروگاههای زمین گرمایی نسبت به یک نیروگاه فسیلی با اتمی با همان ظرفیت، بسیار بزرگ تر است با این حال سیکل تبخیر آبی احتیاج به حجم زیادی از آب ندارد و این مزیت، استفاده از آن را در مناطق خشک و بی آب میسر می سازد. نیروگاههای تبخیر آبی یک مرحله ای از لحاظ زمین مورد نیاز برای نیروگاه نسبت به دیگر نیروگاهها بسیار اقتصادی تر بوده و حداکثر به زمینی با متراژ حدود ۱۲۰۰ متر مربع بر مگاوات نیاز دارد. که این متراژ در مقایسه با یک نیروگاه اتمی که در حدود ۱۰،۰۰۰ نیروگاه زغال سنگی ۴۰،۰۰۰ و نیروگاه فتوولتائیک ۶۶،۰۰۰ متر مربع بر مگاوات زمین نیاز دارند، بسیار کمتر است.

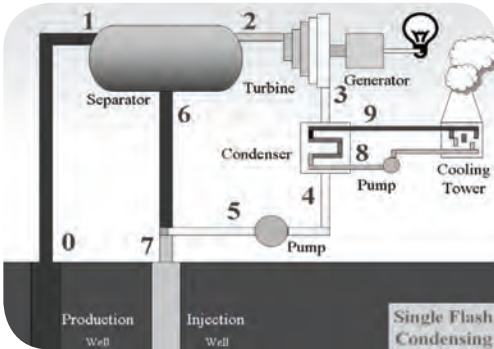
لیست تجهیزات مورد استفاده در این نوع نیروگاه:

۱. چاه و سیستم تامین بخار و سیال ژئوترمال
۲. توربین-ژنراتور و سیستم های کنترل
۳. کندانسور، دستگاه تخلیه گاز و دستگاه کنترل آلودگی
۴. سیستم ثابت نگه دارنده دما (برج خنک کننده)
۵. سیستم های back up
۶. سیستم های کاهش نویز
۷. سیستم های دفع ضایعات زمین گرمایی (چاههای تزریق)



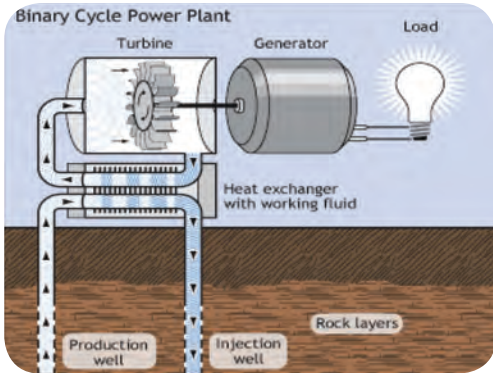
### ۱-۴-۱۴ سیکل بخار لحظه ای تک مرحله ای با کندانسور

سیکل بخار لحظه ای با کندانسور نیز همانند سیکل بخار لحظه ای بدون کندانسور است با این تفاوت که در این سیکل، سیال زمین گرمائی پس از خارج شدن از توربین وارد کندانسور شده و بوسیله آب سردی که توسط برج خنک کننده تامین شده است، به صورت کاملاً مایع در میآید تا اولاً بخار بدلیل ملاحظات زیست محیطی به داخل اتمسفر وارد نشود، ثانیاً امکان پمپاژ مایع بوجود بیاید و ثالثاً بخاطر



## ۵-۱-۱۴ سیکل بخار دو مرحله ای با کندانسور

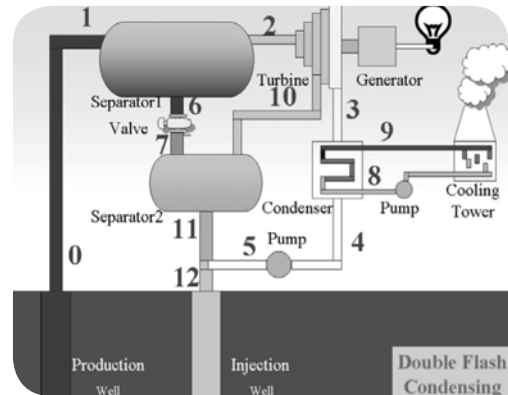
این سیستم ها در واقع شکل بهبود یافته ای از سیستم های یک مرحله ای هستند (۱۵ تا ۲۵ درصد خروجی بالاتر). طرز کار آنها نیز همانند سیکل بخار لحظه ای با کندانسور است با این تفاوت که در سیکل بخار دو مرحله ای دو توربین فشار پائین و فشار بالا و دو تفکیک کننده بخار از مایع وجود دارد. بخار در تفکیک کننده مرحله اول از مایع جدا شده و وارد توربین فشار بالایی شود. سپس مایع جدا شده مجدداً وارد تفکیک کننده مرحله دوم شده و بخار خروجی از تفکیک کننده دوم وارد توربین فشار ضعیف میگردد که از این طریق میتوان با تولید بخار بیشتر و هدایت نمودن آن بدخل قسمتهای کم فشار توربین، ضمن بالا بردن راندمان نیروگاه، میزان تولید برق را نیز افزایش داد. این نیروگاهها نسبت به نوع قبل پیچیده تر و گرانتر بوده ولی برق تولیدی بیشتر، استفاده از آنها را توجیه میکند. این نوع از نیروگاهها در ۹ کشور در حال کار بوده و ظرفیت آنها در محدوده ۴/۷ تا ۱۱۰ مگاوات است. در ضمن تجهیزات مورد استفاده در این نیروگاهها کاملاً مشابه نیروگاههای تبخیر آبی یک مرحله است.



بیشتر مناطق زمین گرمایی دارای سیال با درجه حرارت متوسط هستند و یا آنقدر آلوده به مواد معدنی و گازها هستند که نمیتوان آنها مستقیماً وارد توربین بخار نمود. در نیروگاههای باینری از این سیالات استفاده میشود. سیال زمین گرمایی و یک سیال ثانویه (بدلیل وجود دو سیال به آن باینری یا دوگانه میگویند) که این سیال ثانویه دارای نقطه تبخیر بسیار پایین تر از آب است (ایزو بوتان یا ایزو پنتان) از داخل یک مبدل گرمایی

(HEAT EXCHANGER) عبور داده میشوند. گرمای سیال زمین گرمایی باعث تبخیر سیال دوم شده و بخار حاصل باعث چرخش توربین میشود. انتخاب درست سیال ثانویه تاثیر زیادی بر عملکرد نیروگاه باینری دارد. انتخاب این سیال باید با در نظر گرفتن مشخصات ترمودینامیکی آن و همچنین اثرات زیست محیطی و ایمن بودن آن انجام شود. مبدل گرمایی را تبخیر کننده یا بویلر نیز می نامند. در بعضی از نیروگاهها دو مبدل را سری میکنند که اولی کار پیش گرمایش و دومی عمل تبخیر را انجام میدهد.

اولین نیروگاه باینری در جهان در کشور روسیه و در سال ۱۹۱۷ راه اندازی شد. در حال حاضر در بیش از ۱۶ کشور از این سیکل استفاده میشود. ظرفیت متوسط نیروگاههای باینری مدرن در حال حاضر ۷ تا ۱۰ مگاوات است و هم اینک بزرگترین سازنده این نیروگاهها شرکت آمریکایی



## ۶-۱-۱۴ سیکل باینری (دوگانه)

نیروگاههای سیکل باینری در میان نیروگاههای ژئوترمال از لحاظ ترمودینامیکی شبیه ترین نوع به نیروگاههای فسیلی یا اتمی هستند زیرا سیال در یک سیکل کاملاً بسته در سیستم کار میکند و در واقع تفاوت اساسی این نوع سیکل با سیکل تبخیر آبی و بخار خشک در این است که سیال زمین گرمایی هرگز در تماس با تجهیزات نیروگاهی (توربین و ژنراتور) قرار نمیگیرد. سیال

ORMAT می باشد.

به دلیل حلقه بسته بودن این سیستم هیچ گاز یا بخاری از آن به محیط متصاعد نمیشود. تنها آلودگی این نوع نیروگاه به تزریق دوباره سیال به زمین صورت میگیرد و جالب توجه است که در نیروگاه باینری واقع در روسیه از این آب گرم تلف شده برای اهداف کشاورزی استفاده می شود. به دلیل درجه حرارت متوسط اغلب منابع زمین گرمایی، در آینده استفاده از نیروگاههای باینری افزایش خواهد یافت.

واحدهای نیروگاهی باینری معمولا بصورت واحدهای مدولار کوچک با ظرفیت های چند صد کیلووات الی چند مگاوات ساخته میشوند. این واحدها را میتوان به یکدیگر به صورت سری یا موازی متصل نمود تا نیروگاههایی با ظرفیت چند ده مگاوات ساخت.

هزینه آنها به عوامل مختلفی بستگی دارد، اما به طور اخص به دمای سیال ژئو ترمال تولید شده، که بر سائز توربین، مبدل های حرارتی و سیستم خنک کننده نیروگاه تاثیر گذار است، بستگی دارد.

تجهیزات بکار برده شده در یک نیروگاه سیکل باینری متفاوت از تجهیزات نیروگاه بخار خشک و بخار لحظه ای

است و شامل:

۱. پمپ ها و موتورهای درون چاهها
۲. سیستم تامین سیال زمین گرمایی
۳. مبدل های حرارتی بین سیال زمین گرمایی و سیال عامل
۴. توربین-ژنراتور و سیستم کنترل
۵. کندانسور سیال ثانویه، سیستم اکومولاتور و ذخیره سازی
۶. سیستم پمپهای تغذیه سیال ثانویه (عامل)
۷. سیستم تنظیم حرارت (سیستم خنک کننده خشک و مرطوب)
۸. سیستم پشتیبانی (back up)
۹. سیستم دفع ضایعات نیروگاه (تزریق سیال مصرف شده به زمین)
۱۰. سیستم اطفای حریق (اگر سیال ثانویه قابل اشتعال باشد)

نوع نیروگاه	دمای منبع (سانتیگراد)	راندمان مصرف (درصد)	میزان هزینه نیروگاه و پیچیدگی	میزان استفاده در حال حاضر
سیکل بخار خشک	۱۸۰-۳۰۰+	۵۰-۶۵	پایین ← متوسط	مناطق خاص
سیکل بخار لحظه ای	۲۰۰-۲۶۰	۳۰-۳۵	متوسط	گسترده
سیکل بخار لحظه ای	۲۴۰-۳۲۰	۳۵-۴۵	متوسط ← بالا	گسترده
سیکل باینری	۱۲۵-۱۶۵	۲۵-۴۵	متوسط ← بالا	گسترده

مشخصات انواع مختلف نیروگاه های زمین گرمایی

## ۱۵. سیستم های مدرن زمین گرمایی

منابع زمین گرمایی مانند اثر انگشت انسانها منحصر به فرد بوده و هیچ دو منبعی کاملا شبیه یکدیگر نیستند. پس تکنولوژیهای مورد استفاده برای تبدیل این انرژی به برق باید به درستی انتخاب و گاهی با شرایط منبع تطبیق داده شوند. در قسمت های قبل دیدیم که چطور هریک از سیستمهای تبدیل برای درجه حرارت خاصی از منابع مورد استفاده قرار می گیرد.

بعضی از منابع زمین گرمایی به طراحی سیستم های پیشرفته تری نسبت به سیستم هایی که تا به حال بحث شد احتیاج دارند.

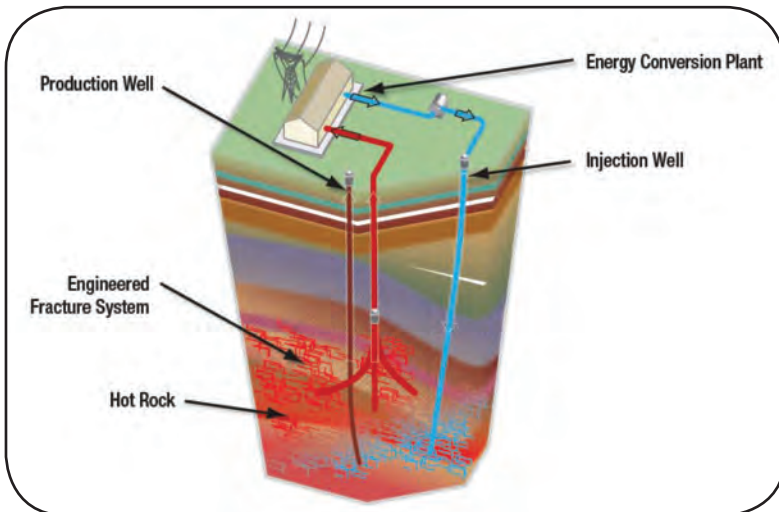
حال به معرفی برخی از سیستم های پیشرفته زمین گرمایی می پردازیم که برخی از آنها به حالت تجاری در آمده اند و برخی از آنها در مراحل مختلف تحقیق و بررسی می باشند. مطرح ترین سیستم جدید بهره برداری از انرژی زمین گرمایی سیستم های EGS هستند که در این سیستم ها سنگ های داغ و خشک مورد استفاده قرار می گیرد.

بخار و آب های داغ زمین گرمایی تنها بخشی کوچک از منابع زمین گرمایی هستند. شرایطی که بتواند باعث سیرکوله شدن آب به سطح زمین شود تنها در ۱۰ درصد از مناطق خشکی سطح زمین وجود دارد. ماگما و سنگ

های داغ و خشک زمین انرژی ارزان، پاک و فراوانی را اگر تکنولوژی های چگونگی استفاده از آنها ابداع شود در اختیار ما قرار میدهد. در این تکنولوژی سنگ های خشک و داغ با پمپاژ آب سرد پرفشار درون آنها خرد و شکسته می شود. سپس آب وارد این سنگ های داغ شده و زمانی که این آب گرم شد از طریق چاه دیگری به سطح زمین برمیگردد و برای حرکت توربین و تولید الکتریسیته مورد استفاده قرار می گیرد.

محققان از سال ۱۹۷۴ شروع به مطالعه بر روی این تکنولوژی کرده اند و یک سیستم آزمایشی در نیو مکزیکو احداث گردیده است. در این سیستم آب ۸۰ درجه فارنهایت به داخل چاه اول تزریق و آب ۳۶۰ درجه فارنهایت به سطح زمین باز میگردد. تحقیق و پژوهش در زمینه این متد جدید در استرالیا، آلمان، فرانسه و ژاپن در حال انجام است پیش بینی شده است که سیستم های EGS فقط در کشور آمریکا تا سال ۲۰۵۰ قادر به تامین ۱۰۰ گیگاوات برق می باشند.

سیستمهای مدرن زمین گرمایی قادر به کاهش هزینه ها تا ۵۰ درصد کمتر از سیستم های متداول هستند و میتوانند برق را با هزینه ای حدود ۴/۵ تا ۷/۳ سنت بر کیلووات ساعت تولید نمایند.





جمع‌آوری شده ریسک سرمایه‌گذاری بطور چشمگیری کاهش می‌یابد.

اولین مرحله از این بررسی‌ها، مطالعات اکتشافی مقدماتی می‌باشد. در این بخش از مطالعات، محدوده‌های دارای ذخایر زمین‌گرایی تعیین شده و مطالعات مقدماتی کیفی انجام میشود. سپس مناطق دارای بیشترین منابع برای اکتشافات بعدی انتخاب می‌شوند. پس از اتمام این مطالعات، احتمال موفقیت در دستیابی به یک مخزن قابل بهره‌برداری، ۳۰ درصد میباشد.

پس از مطالعات اکتشافی مقدماتی، لازم است مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی صورت پذیرد. این بخش از مطالعات شامل موارد زیر می‌باشد:

- جمع‌آوری اطلاعات با توجه به شواهد غیرمستقیم در مورد نوع منبع حرارتی، تراوایی طبقات و وجود سنگ پوشش

- محدود کردن ناحیه مورد نظر به مناطق دارای بیشترین ذخایر انرژی زمین‌گرایی

- ارزیابی خصوصیات و پتانسیل ذخایر انرژی زمین‌گرایی

- اثبات وجود ذخایر و پیشنهاد ادامه روند اکتشافات با

حفر چاه‌های اکتشافی

- تعیین محل حفر چاه‌های اکتشافی و طراحی چاه‌های مورد نظر برای حفاری

پس از انجام این مطالعات و رسیدن به اطلاعات فوق احتمال موفقیت در دستیابی به یک منبع قابل بهره‌برداری به ۵۰ درصد افزایش پیدا می‌کند.

مرحله بعدی در این بخش از مطالعات، مطالعات امکان‌سنجی تکمیلی می‌باشد. پس از اتمام این مطالعات موارد زیر در مورد مخزن زمین‌گرایی قابل تشخیص خواهند بود:

- اثبات وجود مخزن زمین‌گرایی

- اثبات و تعیین مقدار پتانسیل انرژی زمین‌گرایی قابل بهره‌برداری

- ارزیابی کمی منبع زمین‌گرایی از نظرانتالیبی، میزان مواد جامد غیرمحلول و گازهای غیرقابل تراکم و توان تولیدی و تزریقی چاه‌های حفر شده.

- طراحی حفر چاه‌های تولیدی و تزریقی

- طراحی نیروگاه و روند اجرای پروژه

- ارزیابی و برآورد هزینه‌ها و بررسی اقتصادی پروژه

حرکت جدید دیگر در این زمینه استفاده از انرژی خورشیدی برای کمک به تولید انرژی زمین‌گرایی توسط آژانس انرژی کالیفرنیا شمالی است. این آژانس ۶۳۰۰ ماژول خورشیدی در یک ایستگاه پمپاژ آب بنا نهاده است. گرمای زمین، آب را به بخار تبدیل و از این بخار برای تولید برق در نیروگاهها استفاده می‌شود. انرژی خورشیدی برای تامین برق پمپ‌ها استفاده میشود.

از دیگر تکنولوژی‌های جدید میتوان به:

\*سیستم‌های ترکیبی تبخیر لحظه‌ای یک و دو مرحله‌ای

\*سیستم‌های ترکیبی بخار لحظه‌ای -باینری

\*سیستم‌های Total-flow (جریان کلی)

\*سیستم‌های ترکیبی زمین‌گرمایی-فسیلی یا بیوماس اشاره کرد که هنوز به بهره‌برداری تجاری نرسیده‌اند.

## ۱۶. دیدگاه‌های اقتصادی در ارزیابی پروژه‌های زمین‌گرمایی

هزینه بهره‌برداری از منابع انرژی زمین‌گرمایی به میزان زیادی به توان تولیدی چاه‌های حفر شده بستگی دارد. بطور کلی توان تولیدی هر چاه از حدود ۲ تا ۳۰ مگاوات الکتریکی متغیر است. همچنین هزینه حفاری چاهها و تعداد چاه‌هایی که به هر علت ناموفق و غیرتولیدی

می‌باشند در هزینه‌های سرمایه‌گذاری تأثیر به‌سزایی دارد.

از جمله عوامل دیگر به نوع سیستمها، شرایط و مشخصات میدان زمین‌گرمایی می‌توان اشاره کرد. بطور مثال هزینه حفر یک چاه در حوزه زمین‌گرمایی پاریس تا یک میلیون دلار می‌رسد درحالیکه در میدانهای زمین‌گرمایی ایسلند و ایتالیا که سیستمهای درجه حرارت بالا هستند این میزان در حدود چند صد هزار دلار می‌باشد.

بدیهی است دلیل وجود پارامترهای متعدد و تغییرات گسترده هر یک از پارامترهای مذکور بسته به شرایط محلی و نوع سیستمهای زمین‌گرمایی، تعیین یک مقدار ثابت و مشخص بعنوان هزینه توسعه و بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی غیرممکن است. در واقع هر پروژه زمین‌گرمایی دارای هزینه سرمایه‌گذاری خاص خود برای توسعه و بهره‌برداری است. بطور کلی هزینه‌های بهره‌برداری از منابع انرژی زمین‌گرمایی به دو بخش عمده تقسیم میشوند:

۱- هزینه‌های مرحله اکتشافی

۲- هزینه‌های مرحله توسعه‌ای و نصب نیروگاه

فاز اکتشافی خود به سه بخش عمده تقسیم می‌گردد که در هر بخش با تکمیل مطالعات مربوطه و پردازش اطلاعات

- ارزیابی و بررسی‌های زیست محیطی پروژه پس از انجام مطالعات مربوط به این بخش، احتمال موفقیت در دستیابی به یک منبع قابل بهره‌برداری ۷۰ درصد خواهد بود.

در تولید برق از انرژی زمین‌گرمایی معمولاً میزان سرمایه‌گذاری اولیه برای انجام اکتشافات مربوطه و نصب نیروگاه نسبت به نیروگاه‌های دیگر بالاتر است. اما به دلیل پایین بودن هزینه‌های تعمیر و نگهداری و عدم نیاز به سوخت در حین بهره‌برداری از نیروگاه، قیمت تمام شده برق در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی با نیروگاه‌های متعارف سوخت فسیلی قابل مقایسه و از انواع دیگر انرژی‌های نو به مراتب ارزانتر است.

در هزینه‌های یک نیروگاه زمین‌گرمایی عوامل متعددی دخالت دارند که میتوان به مواردی همچون میزان عمق و درجه حرارت منبع، نوع منبع (بخار، مایع و یا دوفازی)، خواص شیمیایی آب زمین‌گرمایی، میزان نفوذ پذیری منابع، میزان ظرفیت نیروگاه، تکنولوژی نیروگاه، نزدیکی به خطوط اصلی شبکه برق، نحوه انعقاد قرارداد با پیمانکاران، رهبری، مدیریت، قوانین محلی، باورهای

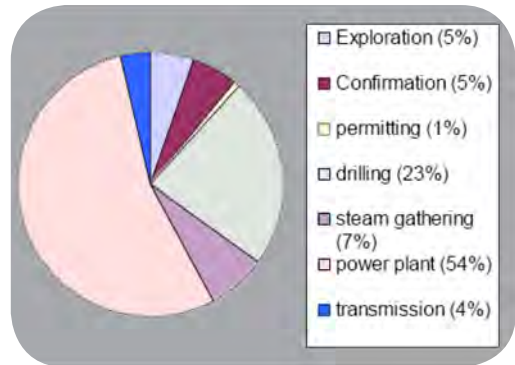
مذهبی و رسومات افراد ساکن در محل، حق بیمه، حق الامتیاز ساکنین محل و دیگر هزینه‌های غیر مستقیم اشاره کرد.

تکنولوژی نیروگاه‌های باینری نقش بسیار مهمی را در بازار برق زمین‌گرمایی ایفا میکند. ۳۰ درصد از هزینه‌ها مربوط به منبع زمین‌گرمایی و ۷۰ درصد مربوط به نیروگاه میباشد. قابلیت تولید الکتریسیته از هر چاه تابعی از مشخصات ترمو دینامیکی (فاز و درجه حرارت) سیال موجود در منبع بوده و هرچه درجه حرارت سیال بالاتر باشد، تعداد چاه‌های مورد نیاز کمتر و در نتیجه هزینه مربوط به حفاری کاهش میابد.

در ضمن برای استفاده بهینه از انرژی میتوان بعد از استفاده از سیال در نیروگاه‌های فلش آن را به نیروگاه باینری که با سیال با درجه حرارت کمتر کار میکنند هدایت شوند. در حالیکه در بیشتر نقاط دنیا پس از استفاده از سیال زمین‌گرمایی در نیروگاه استفاده مفیدی نشده و یا دوباره به درون زمین تزریق میشود.

کمیسیون Public Service of Nevada هزینه‌های جانبی سوخته‌های فسیلی را برآورد کرده است. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های رفع آلودگی‌های مختلف ناشی از سوخته‌های فسیلی از جمله گازهای CO، CO<sub>2</sub>، CH<sub>4</sub>، NO<sub>2</sub>، SO<sub>2</sub> و... است. اگر این هزینه‌ها به هزینه تولید الکتریسیته از سوخته‌های فسیلی اضافه شود در این صورت تولید برق از ژئوترمال مقرون به صرفه خواهد بود.

مدت زمان احداث یک نیروگاه زمین‌گرمایی بدون احتساب زمان مطالعات اکتشافی و حفاری ۳ تا ۵ سال و عمر مفید یک نیروگاه زمین‌گرمایی ۲۵ تا ۳۵ سال می باشد. ضریب تولید این نیروگاهها ۹۰ درصد بوده و کل هزینه‌های راه اندازی نیروگاه حدود ۴۰۰۰ دلار بر کیلووات می باشد.



نمودار تفکیک هزینه‌های مربوط به یک نیروگاه زمین‌گرمایی

## ۱۷. ملاحظات اقتصادی برای بهره برداری

### مناسب:

۱. کوتاه بودن فاصله بین منبع ژئوترمال و سایت بهره برداری

۲. طراحی سیستم بهره برداری با عمر طولانی (جهت مستهلک ساختن هزینه سرمایه گذاری)

۳. صرفه جویی و بالا بردن ضریب بهره برداری با استفاده از سیستم‌های مرکب (هیبرید) یا سیستم‌های آبشاری (cascade)

۴. ساده بودن سیستم از لحاظ فنی و قابل فهم توسط متخصصین

۵. بررسی بازار مصرف وانتقال محصول (اگر واحد برای تولید فرآورده های مصرفی باشد).

۶- هزینه راه اندازی یک واحد ژئوترمال عموماً بیشتر و گاهی اوقات خیلی بیشتر از واحد مشابهی است که با یک سوخت رایج کار می کند. بالعکس هزینه جاری نیروگاههای ژئوترمال بسیار کمتر از واحدهای مشابه با سوخت رایج و تقریباً معادل هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات ژئوترمال آن واحد (خطوط لوله، شیرآلات، پمپها، مبدل های حرارتی و غیره) می باشد. هزینه بالای راه اندازی واحدهای ژئوترمال با کسب درآمد ناشی از عدم مصرف سوخت جبران می شود. بنابراین منابع نیروگاههای ژئوترمال باید به گونه ای طراحی گردد که از طول عمر به حد کفایت طولانی برخوردار باشد تا سرمایه گذاری اولیه را مستهلک نسازد.

۷- به منظور کاستن از هزینه های تعمیر و نگهداری و تعداد دفعات قطع سیستم، لازم است پیچیدگی فنی واحد ژئوترمال در حدی باشد که توسط پرسنل فنی محلی یا کارشناسانی که به سهولت قابل دسترس هستند، قابل هضم باشد. به طور ایده آل باید از متخصصین بسیار خیره یا سازندگان این واحدها فقط برای تعمیرات بسیار گسترده یا رفع خرابی های وسیع کمک گرفت.

## ۱۸. مزایای استفاده نیروگاهی از انرژی ژئوترمال

- از این انرژی می توان انرژی های ثانویه دیگری چون انرژی الکتریسیته تولید کرد بدون این که هیچ گونه سوختی چون نفت، گاز و یا زغال سنگ استفاده شود و این خود دال بر غیرآلاینده بودن انرژی ژئوترمال است. مقدار گاز CO<sub>2</sub> تولید شده در نیروگاه های زمین گرمایی به ترتیب معادل ۱۵ درصد نیروگاه های گاز سوز، ۱۰ درصد نیروگاه های نفت سوز و ۸ درصد نیروگاه های زغال سنگ سوز بوده و هم چنین میزان تولید اکسید نیتروژن و گوگرد آن تقریباً در حدود صفر است.

- انرژی ژئوترمال را می توان در تمام مدت ۲۴ ساعت شبانه روز و در هر ۳۶۵ روز سال استخراج و استفاده کرد. و همچنین مستقل از شرایط جوی می باشد.

- این انرژی، یک انرژی بومی است و احتیاج به وارد کردن یا صادر کردن آن به کشور دیگری نیست.

- احداث نیروگاه های کوچک ژئوترمال در روستاهای کوچک علاوه بر کمک اقتصادی به منطقه و جذب جهانگرد، از مهاجرت روستاییان به شهرها جلوگیری خواهد نمود و باعث افزایش درجه رفاه عمومی خواهد شد.

- دستگاههای ژئوترمال فضای زیادی را اشغال نمی کنند. در نتیجه بر محیط تأثیر چشم گیری نمی گذارند.

- بعد از احداث یک واحد قدرت ژئوترمال انرژی تولیدی تقریباً به صورت مجانی در می آید. تنها مقداری انرژی برای به حرکت درآوردن پمپها لازم است که آن هم به وسیله انرژی تولیدی تأمین می شود.

## ۱۹. عوامل باز دارنده ساخت نیروگاه های زمین گرمایی

\* محدودیت تجهیزات:

تجهیزات نیروگاهی تولید برق زمین گرمایی به گونه ای طراحی شده است که حداقل ظرفیت آنها برابر ۱۰۰ کیلووات است.

\* احتیاج به منابع با درجه حرارت بالا

\* مصرف برق زیاد در خود نیروگاه:

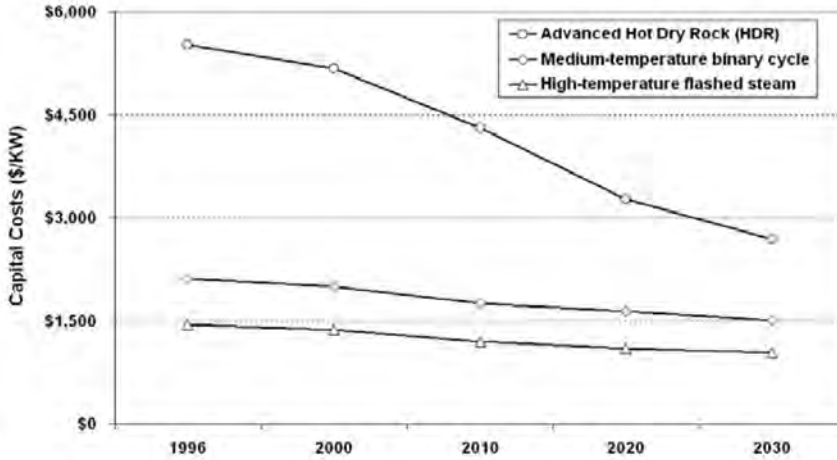
مصرف برق در پمپ های برج خنک کن، فن های

برج خنک کن، پمپ های چاه ها و همچنین پمپ های تولید سیکل توان است.

\* هزینه سرمایه گذاری بالا

## ۲۰. چشم انداز آینده و رویکرد جهانی در خصوص انرژی زمین گرمایی

پیش بینی می شود تا پایان سال ۲۰۱۰ میزان استفاده از انرژی زمین گرمایی به بیش از ۱۰۰۰ مگاوات برسد. سیستم سنگهای خشک و داغ هنوز در حال مطالعه و تحقیق می باشد و با توجه به اینکه نیاز به وجود مخزن آب گرم در این تکنولوژی منتفی است و صرفاً وجود منبع گرم اهمیت دارد و در اعماق نیز معمولاً زمین داغ می باشد، لذا در صورت رساندن این تکنولوژی به حد اقتصادی آن می توان شاهد رشد سریع انرژی زمین گرمایی بود. همانگونه که در شکل ملاحظه می شود، سرعت کاهش قیمت این تکنولوژی بالا می باشد. سایر تکنولوژیهای تولید برق نیز با نرخ مناسبی در حال کاهش قیمت می باشد و سیستم تبخیر آبی به حد اقتصادی خود رسیده است. در نمودار زیر سرعت کاهش قیمت این تکنولوژی جدید (سنگهای خشک و داغ) نشان داده شده است.



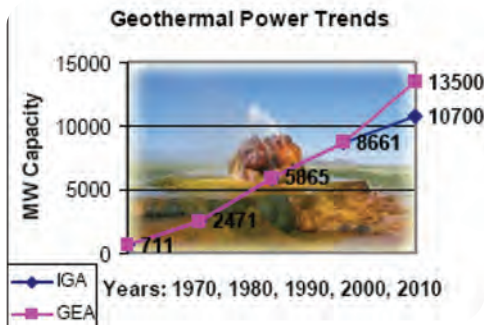
نمودار پیش بینی هزینه های سرمایه گذاری نیروگاههای سنگ داغ (HOT DRY ROCK) در مقایسه با نیروگاه فلش و باینری

## ۲۲. خلاصه ای از وضعیت نیروگاههای زمین گرمایی در کشورهای مختلف :

در پایان سال ۲۰۰۷ ظرفیت نصب شده زمین گرمایی در دنیا در حدود ۹/۷ گیگا وات بوده و انتظار می رود این ظرفیت در پایان سال ۲۰۱۰ به ۱۱ گیگاوات برسد. فعال ترین و مهمترین کشور در تولید برق زمین گرمایی و افزایش در ظرفیت نصب شده نیروگاهی کشور ایسلند است. این کشور از سال ۲۰۰۵ تا به حال حدود ۲۲۰ مگاوات ظرفیت جدید نصب شده و ۱۱٪ افزایش داشته است.

## ۲۱. وضعیت نیروگاههای زمین گرمایی تا پایان سال ۲۰۰۷

در نمودارهای زیر میزان ظرفیت نصب شده از سال ۱۹۷۵ تا پایان سال ۲۰۰۷ در جهان و همچنین پیش بینی میزان رشد آن تا پایان سال ۲۰۱۰ نشان داده شده است و همینطور که ملاحظه میشود ظرفیت نصب شده انرژی زمین گرمایی در جهان با سرعت زیادی در حال افزایش است. کل ظرفیت نصب شده نیروگاههای زمین گرمایی در جهان: میزان ظرفیت نصب شده از سال ۱۹۷۵ تا پایان سال ۲۰۰۷ و پیش بینی تا پایان سال ۲۰۱۰



میزان ظرفیت نصب شده از سال ۱۹۷۵ تا پایان سال ۲۰۰۷ و پیش بینی تا سال ۲۰۱۰

Year	Installed Capacity MW
1975	1,300
1980	3,887
1985	4,764
1990	5,832
1995	6,833
2000	7,972
2005	8,933
2007	9,732

کل ظرفیت نصب شده نیروگاه های زمین گرمایی در جهان

COUNTRY	Installed Capacity in 2000 (MW)	Installed Capacity in 2005 (MW)	Installed Capacity in 2007 (MW)	Running Capacity in 2007 (MW)	Increment (MW)	Increment (%)	Forecasting for 2010 (MW)
AUSTRALIA	0.2	0.2	0.2	0.1			0.2
AUSTRIA	0.0	1.1	1.1	0.7			1
CHINA	29.2	27.8	27.8	18.9			28
COSTA RICA	142.5	163.0	162.5	162.5			197
EL SALVADOR	161.0	151.0	204.2	189.0	53	35%	204
ETHIOPIA	7.3	7.3	7.3	7.3			7
FRANCE	4.2	14.7	14.7	14.7			35
GERMANY	0.0	0.2	8.4	8.4	8		8
GUATEMALA	33.4	33.0	53.0	49.0	20	61%	53
ICELAND	170.0	202.0	421.2	420.9	219	109%	580
INDONESIA	589.5	797.0	992.0	991.8	195	24%	1192
ITALY	785.0	791.0	810.5	711.0	20	2%	910
JAPAN	546.9	535.0	535.2	530.2			535
KENYA	45.0	129.0	128.8	128.8			164
MEXICO	755.0	953.0	953.0	953.0			1178
NEW ZEALAND	437.0	435.0	471.6	373.1	37	8%	590
NICARAGUA	70.0	77.0	87.4	52.5	10	14%	143
PAPUA-NEW GUINEA	0.0	6.0	56.0	56.0	50	833%	56
PHILIPPINES	1909.0	1930.0	1969.7	1855.6	40	2%	1991
PORTUGAL	16.0	16.0	23.0	23.0	7	44%	35
RUSSIA	23.0	79.0	79.0	79.0			185
THAILAND	0.3	0.3	0.3	0.3			0.3
TURKEY	20.4	20.0	38.0	29.5	18	90%	83
USA	2228.0	2564.0	2687.0	1935.0	123	5%	2817
<b>TOTAL</b>	<b>7973</b>	<b>8933</b>	<b>9732</b>	<b>8590</b>	<b>800</b>		<b>10993</b>

کشورهای دارای قابلیت تولید برق بیش از ۵۰۰۰ مگاوات	فیلیپین-مکزیک-اندونزی
کشورهای دارای قابلیت تولید برق بیش از ۲۰۰۰ مگاوات	شیلی-اتیوپی-زاین-کنیا-نیوزلند-روسیه-امریکا
کشورهای دارای قابلیت تولید برق بیش از ۱۰۰۰ مگاوات	آرژانتین-ایسلند-ایتالیا-نیکاراگوئه-گینه جدید
کشورهای دارای قابلیت تولید برق بیش از ۵۰۰ مگاوات	بولیوی-چین-کلمبیا-کاستاریکا-السالوادور-گواتمالا-تانزانیا
کشورهای دارای قابلیت تولید برق بیش از ۲۰۰ مگاوات	کنگو-جیبوتی-دومینیکن-اکوادور-اریتره-فرانسه-یونان-مجارستان-هند-ایران-پرو-رواندا-ترکیه-اوگاندا-ویتنام-یاناما-پرتغال
کشورهایی که دارای پتانسیل زمین گرمایی هستند	ارمنستان-کامرون-کانادا-جزایر کیپ ورده-چاد-چک-فیجی-گرجستان-هندوراس-مالاوی-سنت لوسیا-موزامبیک-سنت وینسنت-عربستان سعودی-جزایر سولومون-اسپانیا-سودان-نایلند-ونزوئلا-یمن-زامبیا

کشورهایی که دارای ذخائر احتمالی برای تولید برق از انرژی زمین گرمایی یا اسفاده از سیکل‌های تبخیر لحظه ای و باینری (برای دوره ۳۰ ساله) هستند.

که ۱۳۶۰ مگاوات ظرفیت نصب شده را داراست. نیروگاه دیگری واقع در کالیفرنیا مرکزی دارای ظرفیتی معادل ۷۵۰ مگاوات است. نیروگاه های دیگری نیز در مناطق مختلف این کشور واقع است. ظرفیت کل نصب شده در این کشور ۲۸۵۰ مگاوات و ظرفیت فعال آن ۱۹۳۵ مگاوات می باشد و در حدود ۱۳۰ مگاوات ظرفیت جدید در حال ساخت است.

### فیلیپین

این کشور طبق طبقه بندی IGA مقام دوم را در تولید برق از انرژی زمین گرمایی داراست. ظرفیت نصب شده در این کشور در حدود ۱۹۷۱ بوده و ظرفیت فعال و در

در حال حاضر در ۲۱ کشور جهان از انرژی زمین گرمایی برای تولید برق استفاده می شود. که این کشور ها شامل: آمریکا، ایسلند، ایتالیا، فرانسه، نیوزلند، مکزیک، روسیه، ترکیه، چین، ژاپن، فیلیپین، اندونزی و... می باشند. ۲۲ کشور جدید نیز در مراحل مطالعه و بررسی برای بهره برداری تا سال ۲۰۱۰ هستند.

در ادامه به شرح وضعیت چند مورد از مناطق تا پایان سال ۲۰۰۷ می پردازیم:

### آمریکا:

این کشور در تولید برق زمین گرمایی مقام اول را داراست. بزرگترین نیروگاه بخار خشک جهان در این کشور واقع بوده

حال کار آن بیش از ۱۸۷۵ مگاوات است و این میزان در حدود ۲۷٪ از برق این کشور را تامین میکند.

## مکزیک

این کشور از لحاظ ظرفیت نیروگاهی نصب شده مقام سوم را در جهان داراست. تولید برق از انرژی زمین گرمایی با ظرفیت نیروگاهی بالغ بر ۹۵۹/۵ مگاوات تا پایان سال ۲۰۰۷ است. این میزان ظرفیت ۳/۲۴٪ از الکتریسیته این کشور را تامین می کند.

## آفریقا

انرژی الکتریکی زمین گرمایی در این قاره از لحاظ اقتصادی نقش بسیار مهمی را ایفا میکند. در کشور کنیا دو نیروگاه ۴۵ و ۶۵ مگاوات و سه نیروگاه خصوصی ۴۸ مگاواتی ساخته شده است. کشور کنیا در صدد است ظرفیت این نیروگاه ها را تا سال ۲۰۱۷ به میزان ۵۷۶ مگاوات رسانده و از این طریق حدود ۲۵ درصد از برق مورد نیاز این کشور را از این طریق تامین نماید. از کشور هایی که پیشرفت قابل ملاحظه ای در زمینه زمین گرمایی در قاره آفریقا داشته اند کشور گینه نو است که با تولید ۵۶ مگاوات برق زمین گرمایی در حدود ۷۵٪ برق مورد نیاز این کشور تامین میشود. این کشور با بهره برداری از معادن طلا، از این منطقه برای تولید انرژی الکتریکی زمین گرمایی نیز استفاده می کند.

## ایسلند

این کشور در منطقه ای آتش فشانی واقع بوده و موقعیتی ایده آل برای استفاده از انرژی زمین گرمایی داراست. در حدود ۲۶ درصد از انرژی الکتریکی این کشور از انرژی زمین گرمایی تامین می شود. به علاوه سیستم های گرمایشی زمین گرمایی، حدود ۸۷٪ گرمای منازل این کشور را تامین می کنند. کل ظرفیت نصب شده در این کشور بیش از ۴۲۲ مگاوات بوده و ۱۶۰ مگاوات ظرفیت جدید در حال ساخت است ظرفیت نصب شده در این کشور از سال ۲۰۰۵ تا به امروز ۱۰۸٪ رشد داشته است. هدف این کشور استفاده ۱۰۰٪ از این انرژی و حذف سوخت های فسیلی در آینده نزدیک است.

## ۲۳. تاثیر بهره برداری از منابع زمین گرمایی بر محیط زیست:

معمولا میزان تاثیری که بهره برداری از منابع انرژی زمین

گرمایی بر محیط زیست میگذارد، با وسعت ابعاد این بهره برداری متناسب است. میزان تطبیق این بهره برداری با قواعد زیست محیطی بسیار مهم است زیرا یک تغییر بظاهر ناچیز در محیط زیست میتواند باعث وقوع زنجیره ای از حوادث شود که به سختی میتوان پیشاپیش، ارزیابی دقیقی از آنها به عمل آورد.

\* نخستین اثر مشهود زیست محیطی واحد های نیروگاهی یا غیر نیروگاهی ژئو ترمال ناشی از عملیات حفاری است و اساسا به محض اتمام عملیات حفاری، تبعات مخرب زیست محیطی آن نیز به پایان می رسد.

\* مرحله بعدی، یعنی نصب و راه اندازی خطوط لوله ای است که کار انتقال سیالات ژئو ترمال را بر عهده خواهند داشت و ساخت واحدهای بهره برداری، نیز بر حیات جانوران و گیاهان و شکل ظاهری منطقه تاثیر خواهد گذاشت.

\* مسائل زیست محیطی در حین فعالیت واحد بهره برداری نیز به وجود میآیند. سیالات زمین گرمایی معمولا حاوی گاز هایی نظیر دی اکسید کربن، سولفید هیدروژن، متان و مواد محلولی میباشد که باعث آلودگی محیط زیست میشوند.

\* آلودگی هوا به هنگام تولید برق در نیروگاه های متداول میتواند بعنوان یک معضل زیست محیطی عمده قلمداد شود. سولفید هیدروژن یکی از آلاینده های اصلی است. با این حال میتوان با استفاده از فرایند های گوناگون، میزان انتشار این گاز را به حداقل رسانید. واحد های نیروگاهی سیکل دو سیاله و همچنین واحد های گرمایش منطقه ای نیز ممکن است باعث ایجاد معضلات کوچکی شوند که با استفاده از سیستم های حلقه بسته که مانع از انتشار گاز ها میشوند، میتوان آنها را برطرف نمود.

\* تخلیه پساب های خروجی نیز یکی از منابع پتانسیل آلودگی شیمیایی قلمداد می شوند.

\* استخراج مقادیر فراوانی از سیالات زمین گرمایی از منابع آبی زیر زمینی میتواند باعث وقوع پدیده نشست یا بعبارتی فرونشینی تدریجی سطح زمین شود.

\* آلودگی صوتی ناشی از فعالیت واحد های ژئو ترمال را می توان در مواردی که واحد به تولید انرژی می پردازد هم یک معضل زیست محیطی قلمداد نمود.

اثرات زیست محیطی ممکن	جزئیات	تکنیک های کاهش اثرات
آلودگی هوا	انتشار سولفید هیدروژن	استفاده از سیستم های تجاری موثر در کاهش آلودگی هوا
آلودگی آبها	تخلیه غیر اصولی سیالهای استفاده شده در نیروگاه، آلودگی آبهای زیر زمینی	تزریق (بازگرداندن) سیال استفاده شده به درون زمین از طریق چاه بازگشت
آلودگی صوتی و بصری	حفاری، لوله کشی ها	استفاده از سایلنسرها، Rock muffler
	وساختمان ها در مناطق طبیعی	ساخت بناهای کم ارتفاع و رنگ آمیزی مناسب تجهیزات
استفاده از زمین	حفر چاه ها، مسیر لوله ها، ساخت نیروگاه و فونداسیون ها	اثرات بسیار کمتری نسبت به نیروگاههای سنتی
استفاده از آب	Make up آب برای برج خنک کننده	استفاده از کندانسورهای Air-cooled
نشست زمین	برداشت مداوم آب از منابع زیر زمینی	به ندرت اتفاق می افتد (فقط در نیوزلند مشاهده شده)
گازهای گل خانه ای	انتشار دی اکسید کربن	انتشار بسیار کمتر نسبت به نیروگاههای سنتی
کاهش شگفتی های طبیعی	ظهور شگفتیهای طبیعی زمین (آبفشان ها، آتش فشان ها)	ساخت نیروگاهها دور از این منابع و پارکهای ملی
ژئوترمال		

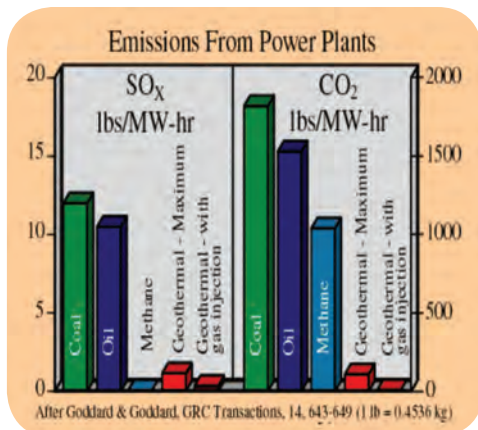
## ۲۴. مقایسه انرژی زمین گرمایی با انرژی حاصل از سوختهای فسیلی

امروزه تولید انرژی به کمک منابع سوختهای فسیلی یا نیروگاههای هسته ای با آلودگی قابل ملاحظه محیط زیست توأم است و تحقیقات دانشمندان برای رفع این آلودگیها همچنان ادامه دارد. خوشبختانه انرژی زمین گرمایی علاوه بر تجدیدپذیر بودن، در مقایسه با سایر منابع تولید انرژی، آلودگی کمتری داشته و جزو منابع پاک انرژی به شمار می رود. البته این به آن معنا نیست

که انرژی زمین گرمایی کاملاً فاقد آلودگی است ولی میزان آلودگی آن نسبت به نیروگاههای فسیلی و یا هسته ای به حدی اندک است که می توان با هزینه نسبتاً کمی آن را به حداقل ممکن رساند. شایان ذکر است که برخی از نیروگاهها و طرحهای بهره برداری از این انرژی، کاملاً فاقد آلودگی است. از سوی دیگر میزان آلودگی تاسیسات مزبور، ارتباط مستقیمی با درجه حرارت منبع زمین گرمایی دارد، به این ترتیب که منابع حرارت بالا نسبت به انواع حرارت پایین، آلودگی بیشتری تولید می کنند و همچنین طرحهای کاربرد مستقیم نیز کمتر



است. گاز آمونیاک ( $NH_3$ ) به میزان کم در بسیاری از سیستم‌های زمین گرمایی، تولید و پس از خروج از نیروگاه در اتمسفر، اکسید شده و به نیتروژن و آب تبدیل می‌شود. از آن جا که در نیروگاه‌های زمین گرمایی هیچ گونه احتراقی رخ نمی‌دهد لذا در این قبیل نیروگاهها هیچ یک از ترکیبات  $NO_x$  نیز تولید نمی‌شود حال آن که این ترکیبات در نیروگاه‌های فسیلی به میزان قابل توجهی تولید می‌شوند. بنابراین استفاده از انرژی زمین گرمایی به صورت تولید برق یا کاربرد مستقیم، مخاطرات زیست محیطی مهمی در برداشته و گازها و ترکیبات آلاینده بسیار کمی را به محیط زیست وارد می‌کند. آب داغ خروجی از نیروگاه‌های زمین گرمایی علاوه بر درجه حرارت بالا معمولاً برخی ترکیبات محلول نیز دارد که آلاینده محیط زیست است. . از جمله این ترکیبات می‌توان به  $Hg, As, B, NaCl$  اشاره کرد. بدیهی است که این مواد محلول باید پیش از تزریق مجدد آب داغ به درون مخزن تصفیه شوند. به طور مثال میزان کاهش  $CO_2$  و  $SO_2$  با استفاده از انرژی زمین گرمایی در نمودار زیر آمده است:



از نیروگاه‌های زمین گرمایی محیط زیست را آلوده می‌کنند. البته مزایای این انرژی نسبت به استفاده از سوخت‌های فسیلی، صرفاً ملاحظات زیست محیطی نبوده و شامل موارد دیگری نیز می‌شود. مزایای انرژی زمین گرمایی را می‌توان به دو دسته کلی مزایای زیست محیطی و کاربردی تقسیم بندی کرد. یکی از دلایل مهمی که سبب گسترش روز افزون استفاده از انرژی زمین گرمایی در سراسر جهان شده مزایای زیست محیطی این انرژی است. به این ترتیب که از یک سو نیروگاهها و طرح‌های کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی آلودگی بسیار کمی تولید می‌کنند و از سوی دیگر با صرفه جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی، کمک شایان توجهی به پاکیزگی محیط زیست می‌شود. مهمترین مزایای زیست محیطی کاربرد انرژی زمین گرمایی عبارتند از عدم آلودگی هوا و منابع آب زیرزمینی و عدم نیاز به زمین وسیع. امروزه موضوع کیفیت هوا یکی از مباحث مهم در حفاظت محیط زیست است. نیروگاه‌های سوخت- فسیلی از جمله کانونهای مهم آلاینده هواست که هر ساله با تولید حجم زیادی از گازهای گلخانه‌ای و سایر ترکیبات زیان آور

موجبات تخریب محیط زیست را فراهم می‌آورند. خوشبختانه نیروگاه‌های زمین گرمایی به دلیل تولید بسیار کم گازهای مضر جزو پاکیزه ترین انواع نیروگاه‌های مولد برق به شمار می‌روند. البته میزان آلودگی این دسته از نیروگاهها بر حسب نوع سیکل تولید برق بکار رفته، متفاوت است. میزان تولید گازهایی چون  $CO_2, SO_2, NH_4$  در نیروگاه‌های زمین گرمایی درصد بسیار کمی از میزان تولید این گازها در نیروگاه‌های فسیلی است. گاز دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) از جمله مهمترین گازهای گلخانه‌ای است که جزو گازهای آلاینده به شمار نمی‌رود ولی باعث افزایش درجه حرارت کره زمین می‌شود. میزان گازهای گلخانه‌ای تولید شده در نیروگاه‌های زمین گرمایی نسبت به سایر نیروگاهها به حدی کم است که اگر یک کیلووات ساعت برق تولیدی از نیروگاه‌های فسیلی را با یک کیلووات ساعت برق تولیدی از نیروگاه زمین گرمایی جایگزین کنیم، میزان گازهای گلخانه‌ای تولید شده در حدود ۹۵ درصد کاهش خواهد یافت.

میزان گاز  $SO_2$  یا  $H_2S$  خروجی از نیروگاه‌های زمین گرمایی نیز نسبت به سایر انواع نیروگاهها بسیار ناچیز

## ۲۵. انرژی زمین گرمایی در ایران:

رشد روزافزون جمعیت، توسعه ی شهری و نیز اقتصاد انرژی در کشور ما، تولید ۹۰ هزار مگاوات برق در سال ۲۰۲۰ را اجتناب ناپذیر ساخته است. در حدود ۹۸ درصد ظرفیت تولید فعلی نیروگاه های برق کشور به کاربرد سوخت های فسیلی متکی است. حال آنکه محدودیت منابع سوخت فسیلی، رشد مصرف داخلی و نبود منابع کافی برای صادرات از یک سو، و موازین و معیارهای زیست محیطی توسعه ی پایدار از سوی دیگر، کاربرد انرژی های تجدیدپذیر در بستر تولید را اجتناب ناپذیر ساخته است.

به رغم پتانسیل های بسیار مناسب به منظور کاربرد انرژی زمین گرمایی، به دلیل نبود سیاستگذاری های کلان در زمینه ی به کارگیری انرژی تجدیدپذیر، و فقدان فناوری مناسب در خصوص حفاری عمیق، مهندسی مخازن، ساخت و نیز بهره برداری از نیروگاه های زمین گرمایی، و بالاخره وجود رقیب سرسخت منابع ارزان سوخت های فسیلی، بهره برداری از پتانسیل های مزبور کماکان جدی گرفته نشده است.

پس از یک وقفه نسبتاً طولانی و با هدف فعال نمودن مجدد طرح، گزارشهای موجود مجدداً در سال ۱۳۶۹ توسط کارشناسان UNDP بازننگری شده و منطقه زمین گرمایی مشکین شهر بعنوان اولین اولویت جهت ادامه مطالعات اکتشافی معرفی شد.

در اولویت اول به منظور ادامه مطالعات قبلی و تکمیل نمودن فاز اکتشاف در ناحیه مشکین شهر در سال ۱۳۷۴ کارشناسان معاونت امور انرژی وزارت نیرو با هدف نصب اولین نیروگاه زمین گرمایی در کشور برنامه فاز اکتشاف تکمیلی را تهیه و بخش مطالعات سطح الارضی شامل عملیات ژئوفیزیکی، زمین شناسی و بررسیهای ژئوشیمیایی و ماهواره ای آغاز گردید این مطالعات توسط مهندسین مشاور کینگستون موریسون از کشور نیوزلند و با مدیریت سازمان انرژیهای نو ایران طی سال ۱۳۷۷ به انجام رسید که حاصل این مطالعات منجر به تخمین درجه حرارت احتمالی مخزن در حد ۲۴۰ درجه سانتیگراد و تعیین نقاط حفاریهای اکتشافی در دامنه های شمالی سبلان مشرف به جنوب شهرستان مشکین شهر گردید. با هدف دستیابی به نقاط حفاری و آماده سازی سایتیهای

حفاری و همچنین ساخت تجهیزات مربوط به تست چاهها، شرکت مشانیر به منظور تهیه نقشه های اجرایی و سپس نظارت بر مراحل ساخت بعنوان مشاور و ناظر ایرانی برگزیده شده و پیمانکاران مورد نیاز نیز از طریق برگزاری مناقصات انتخاب شدند و در نتیجه با اعتباری بالغ بر ۲۰ میلیارد ریال کار ترمیم راه مشکین شهر به موئیل به طول ۱۶ کیلومتر و احداث جاده های دسترسی از روستای موئیل به سایتیهای حفاری به طول ۹ کیلومتر، ترمیم و احداث چند دهانه پل - احداث کمپ مرکزی شامل سوله های نگهداری تجهیزات و مواد مصرفی حفاری و کمپ رفاهی جهت اسکان پرسنل در سایت، احداث سه سکوی حفاری و تأسیسات آبرسانی شامل ایستگاه پمپاژ، مخزن ذخیره آب با گنجایش ۵ هزار متر مکعب و خط لوله انتقال آب به طول ۷ کیلومتر و همچنین ساخت تجهیزات و ادوات مربوط به آزمایش چاهها طی سالهای ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ به اجرا درآمد.

در کشور ما ایران از سال ۱۳۵۴ و بمنظور شناسایی پتانسیل های منبع انرژی زمین گرمایی مطالعات گسترده ای توسط وزارت نیرو با همکاری مهندسین مشاور ایتالیایی ENEL در نواحی شمال و شمال غرب ایران در محدوده ای به وسعت ۲۶۰ هزار کیلومتر مربع آغاز گردید. نتیجه این تحقیقات مشخص نمود که مناطق سبلان، دماوند، خوی، ماکو و سهند با مساحتی بالغ بر ۳۱ هزار کیلومتر مربع جهت انجام مطالعات تکمیلی و بهره برداری از انرژی زمین گرمایی مناسب می باشند.

در همین راستا برنامه اکتشاف، مشتمل بر بررسیهای زمین شناسی، ژئوفیزیک و ژئوشیمیایی برنامه ریزی شد. در سال ۱۳۶۱ با پایان یافتن مطالعات اکتشاف مقدماتی در هر یک از مناطق ذکر شده، نواحی مستعد با دقت بیشتری شناسایی شده و در نتیجه در منطقه سبلان: نواحی مشکین شهر، سرعین و بوشلی، در منطقه دماوند ناحیه: نونال، در منطقه ماکو - خوی نواحی: سیاه چشمه و قطور و در منطقه سهند پنج ناحیه کوچکتر جهت تمرکز فعالیتهای فاز اکتشاف تکمیلی انتخاب شدند.



پس از پایان یافتن تست چاهها اطلاعات مورد نیاز جهت انجام مدلسازی و مطالعات مهندسی مخزن و در نتیجه برآورد پتانسیل حرارتی مخزن زمین گرمایی در منطقه مشکین شهر فراهم خواهد شد و در نهایت مطالعات امکان سنجی طرح ضمن ارائه طرح توسعه و بهره برداری از میدان زمین گرمایی سبلان ادامه خواهد یافت. امید است ضمن دستیابی به نتایج مثبت در حفاریهای اکتشافی و همچنین تأمین اعتبارات مورد نیاز جهت ادامه طرح شاهد نصب و راه اندازی اولین نیروگاه زمین گرمایی کشور در این منطقه باشیم.

### ۱-۲۵ پتانسیل های انرژی زمین گرمایی در کدام بخشهای ایران قرار دارد و بر چه اساسی انتخاب شده اند؟

پتانسیل انرژی زمین گرمایی در ایران بر اساس مطالعات انجام شده در بیش از ۱۰ منطقه شناسایی شده است. این مناطق بر اساس میزان فعالیت های تکتونیکی، میزان چشمه های آب گرم و ظهورهای سطح الارضی و سایر شواهد زمین شناسی شناسایی شده اند. بر اساس گزارش ارائه شده توسط (سازمان انرژی های نو ایران، ۱۳۷۷) این مناطق به شرح زیر می باشند:

- \* منطقه سبلان ( مشکین شهر - سرعین - بوشلی )
- \* منطقه دماوند ناحیه ناندل
- \* منطقه ماکو ناحیه سیاه چشمه

همزمان بمنظور انتخاب پیمانکار برای انجام حفاریهای اکتشافی طی یک مناقصه بین المللی شرکت ملی حفاری ایران بعنوان پیمانکار حفاری انتخاب شد. عملیات اجرایی حفر اولین چاه اکتشافی زمین گرمایی ایران به عمق سه هزار متر آبانماه ۱۳۸۱ آغاز و با نظارت مهندسین مشاور SKM از نیوزلند و تحت بدترین شرایط جوی و دمای ۳۰ درجه سانتیگراد زیر صفر در طول زمستان ادامه یافت. عملیات حفاری اولین چاه در پایان اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۲ خاتمه یافت و طی مدت ۱۸ ماه حفاریهای اکتشافی شامل سه حلقه چاه اکتشافی عمیق با عمق ۳۲۰۰ متر، ۳۱۷۶ و ۲۲۶۰ متر و دو حلقه چاه تزریقی با عمق حدود ۶۵۰ متر به پایان رسید. پس از به پایان رسیدن عملیات حفاری، تجهیزات فلزی تست جریان چاه در محل مورد نظر نصب گردید و در تاریخ ۸۳/۳/۹ عملیات تست اولین چاه زمین گرمایی کشور آغاز گردید. نتایج تست به شرح ذیل می باشد.

تست دومین چاه زمین گرمایی نیز در تاریخ ۸۳/۶/۱۷ انجام شد.

همزمان با کلیه فعالیت های ذکر شده سازمان انرژی های نو ایران با همکاری سازمان بهره وری انرژی ایران، ضمن تجهیز آزمایشگاه و ایستگاه پایش صحرائی، مطالعات سیستماتیک و گسترده ای را جهت پایش محیط زیست منطقه و کنترل اثرات زیست محیطی ناشی از اجرای طرح انجام داد.

## ۲-۲۵- معرفی پروژه توسعه میدان و احداث نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر

اهداف پروژه:

- \*اکتشاف و توسعه میدان زمین گرمایی سبلان (مشکین شهر) جهت احداث نیروگاه به ظرفیت ۵۵ مگاوات در ۲ فاز
- \*دستیابی به فن آوری بهره برداری از منابع زمین گرمایی در کشور و بومی نمودن دانش آن
- \*شناسایی پتانسیلهای غیرفسیلی منابع انرژی
- \*ایجاد تنوع در سید انرژی کشور
- \*حفاظت از محیط زیست یا بهره برداری از منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر و متناسباً کاهش مصرف منابع فسیلی

### ۱-۲-۲۵ فعالیت های انجام شده :

این پروژه در دو مرحله انجام می گیرد که مرحله اول شامل اکتشاف و ارزیابی پتانسیل نیروگاهی میدان زمین گرمایی سبلان به منظور انجام مقدمات لازم جهت ساخت، نصب و راه اندازی نیروگاه زمین گرمایی برای اولین بار در کشور بوده و مرحله دوم ( توسعه میدان زمین گرمایی جهت احداث نیروگاه ) شامل فازهای ذیل می باشد .

۱. حفر چاههای تولیدی ، توصیفی ، تزریقی (جمعاً ۲۰ حلقه)
۲. نصب نیروگاه ۵ مگاوات پایلوت
۳. نصب نیروگاه ۵۰ مگاوات ( پس از برنامه چهارم توسعه )
۴. پیشهای زیست محیطی در خلال توسعه میدان

### ۳-۲۵ دیگر اقدامات انجام شده و در حال انجام در کشور توسط سانا در حوزه انرژی زمین گرمایی:

- انجام مطالعات مقدماتی پتانسیل سنجی انرژی زمین گرمایی در کل کشور (۱۳۷۸-۱۳۷۵)
- انجام مطالعات پتانسیل سنجی انرژی زمین گرمایی در مناطق خوی و بوشلی (در سال ۱۳۸۳ از سازمان انرژی اتمی به سانا انتقال یافته است) (۱۳۸۳-۱۳۷۳)
- انجام مطالعات تکمیلی پتانسیل سنجی انرژی زمین گرمایی در مناطق سبلان و دماوند (۱۳۸۴-۱۳۸۲)
- طراحی و ساخت نصب و آزمایش پمپ حرارتی زمین گرمایی به ظرفیت ۱/۵ تن تبرید (۱۳۸۳-۱۳۸۰)
- بررسی تاثیرات اقلیمی و آب و هوایی بر عملکرد پمپ حرارتی زمین گرمایی
- انجام مطالعات تکمیلی پتانسیل سنجی در منطقه محلات

- \*منطقه خوی ناحیه قطور
- \*منطقه سهند
- \*منطقه تفتان - بزمان
- \*منطقه نایند
- \*منطقه بیرجند - فردوس
- \*منطقه تکاب - هشترود
- \*منطقه خور - بیابانک
- \*منطقه اصفهان - محلات
- \*منطقه رامسر
- \*منطقه بندرعباس - میناب
- \*منطقه بوشهر - کازرون
- \*منطقه لار - بستک



در این نقشه نقاط مختلف کشور ایران که دارای پتانسیل مناسب انرژی زمین گرمایی می باشند با رنگ قرمز نشان داده شده است.

## یادداشت

A series of horizontal dotted lines for writing.







