

بسم رب الشهداء و صدیقین

## « طرح استفاده از انرژی ژئوترمال. نیروگاهها. راهکارهای کاهش اثرات محیطی»

با دیدگاه کاربرد در ایران

محور های مقاله.....

\*ریشه یابی انرژی زمین گرمایی زمین \* انتقال انرژی ژئوترمال به سطح

\*تاریخچه \* نشانه های انرژی زمین گرمایی

\*انواع مخازن \*دیدگاههای اقتصادی پروژه

\*انرژی زمین گرمایی در ایران \* انواع نیروگاههای استخراج

\*آلودگیهای احتمالی انرژی \* به حداقل رساندن تاثیرات بر محیط

\*استفاده از حفاری slim hole و کاهش تخریب

**به کوشش : امید یکه زارع**

**دانشجوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج**

1390

## مقدمه:

امروزه با توجه به تنگنایهای سیاسی و اقتصادی که روز به روز در حال وخیم تر شدن اوضاع سیاسی چند کشور صاحب سوخته‌های فسیلی است توجه کشورهای صاحب قدرت ولی دست خالی از این سوخته‌ها به سمت انرژی‌هایی که به اصطلاح انرژی‌های نو گفته میشوند، جلب شده و با تمام توان مطالعات خود را برای استفاده هر چه بیشتر از این انرژی‌ها معطوف نموده اند.

در حال حاضر استفاده از سل های خورشیدی و بادی و آبی با سابقه ترین این نو انرژی‌هاست. ولی انرژی که مورد بحث و بررسی موشکافانه قرار دادیم حدال در کشور جمهوری اسلامی به شدت به کندی پیش میرود . لذا در توان خویش دیدم جمع آوری بحث های ابتدایی که تمام نیروگاههای در حال فعالیت سراسر دنیا از این متد ها بهره جسته اند و همچنین در یافته های اخیر زمین شناسان و مهندسان و متخصصان امر روش های جدید تری در نیروگاهها و حتی حفاریها نیز لحاظ گردیده تا کمترین خسارت به منطقه مورد بهره برداری وارد گردد. در این کوشش جداول مربوط به نقاط مخازن و نوع این مخازن در ایران آورده شده است تا به تناسب هر مخزن ، نیروگاه مربوطه طراحی و بهره برداری گردد.

امید است این انرژی به سرنوشت انرژی خورشیدی گرفتار نگردد.



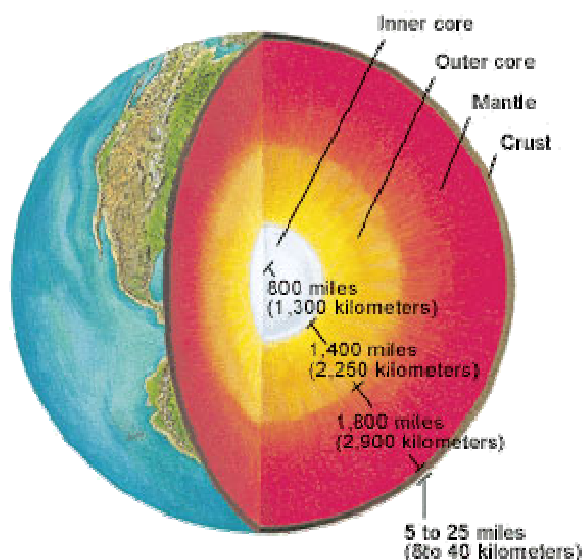
## ریشه یابی انرژی ژئوترمال:

اصطلاح اصلی زمین گرمایی GEOTHERMAL از ژئو به معنای زمین و ترمال به معنای دما و گرما می باشد. بنابراین انرژی زمین گرمایی از دمای بسیار بالایی که در درون زمین و در زیر سطح زمین قرار گرفته است نشأت میگیرد.

همانطور که همه میدانیم درون زمین و نه رسیده به مرکز هرچه به جبهه نزدیکتر میشویم ، دمای ذرات و سنگها و همچنین آبهای موجود در شکافها و منافذ داخل سنگ افزایش می یابد. در حالی که درجه حرارت سنگها بطور پیوسته به عمق زمین ارتباط دارد هرچند که نرخ افزایش در جه حرارت ثابت نیست ولی با این چنین روندی در جه حرارت در قسمت بالایی جبهه به حد ذوب شدن سنگها میرسد. با توجه به علم زمین شناسی و بررسی های ژئوفیزیکی نتایج به سمتی پیش رفت که منشاء این گرما در پوسته و جبه زمین به طور عمده به خاطر تجزیه و فعل و انفعالات مواد رادیو اکتیو است. در طول عمر زمین این گرمای درونی به طور آرام تولید و جایگزین میگردد و درون زمین محفوظ میگردد. همین امر موجب شده انسان که از همه انرژیها و در همه جا حتی مقداری هم شده بهر گرفته نتوانست این انرژی گرمایی فوق العاده را نادیده بگیرد.

از طرف دیگر احتمال گرم بودن تمام نقاط زیر پوسته بسیار بالا و عملی ایست لذا نظریه های موجود در خصوص تکامل زمین نیز مبنای ی برای توزیع و جود گرما در داخل زمین هستند و مطالعات نشان میدهد که زمین در زمان پیدایش خود حالت مذاب داشته است و در فضا، کم کم سرد شده و حالت جامد پیدا کرده است اما بخش های داخلی آن به دلیل کندی از دست دادن گرما ، حالت مذاب خود را حفظ کرده و همانطور که گفته شده فعل و انفعالات تجزیه رادی اکتیو نیز در قسمت بالایی مانع از دست دادن این گرما می باشد.

طبق محاسبه ها، 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 می تواند در آینده جایگزین قابل اطمینانی برای انرژی حاصل از سوخت های فسیلی باشد. البته بدیهی است که بهره برداری گسترده از ذخایر انرژی زمین گرمایی، مستلزم توسعه بیشتر در زمینه تکنیک های اکتشاف و استخراج آن است.



با این تفاسیر این انرژی در مخزن زمین گرمایی متمرکز شده است که برای دسترسی به آن در محل مخزن، چاهی عمیق حفر می کنند. سیال خروجی از چاه، عامل انتقال انرژی از مخزن به سطح زمین است. البته عمق مخزن زمین گرمایی نباید بیش از سه هزار متر باشد زیرا بهره برداری از انرژی آن با فناوری کنونی بشر توجیه اقتصادی ندارد. با افزایش عمق زمین درجه حرارت افزایش می یابد. این افزایش حرارت را شیب حرارتی می نامند. تمام منابع انرژی زمین گرمایی در نقاطی واقع شده اند که از شیب حرارتی بالایی برخوردارند.



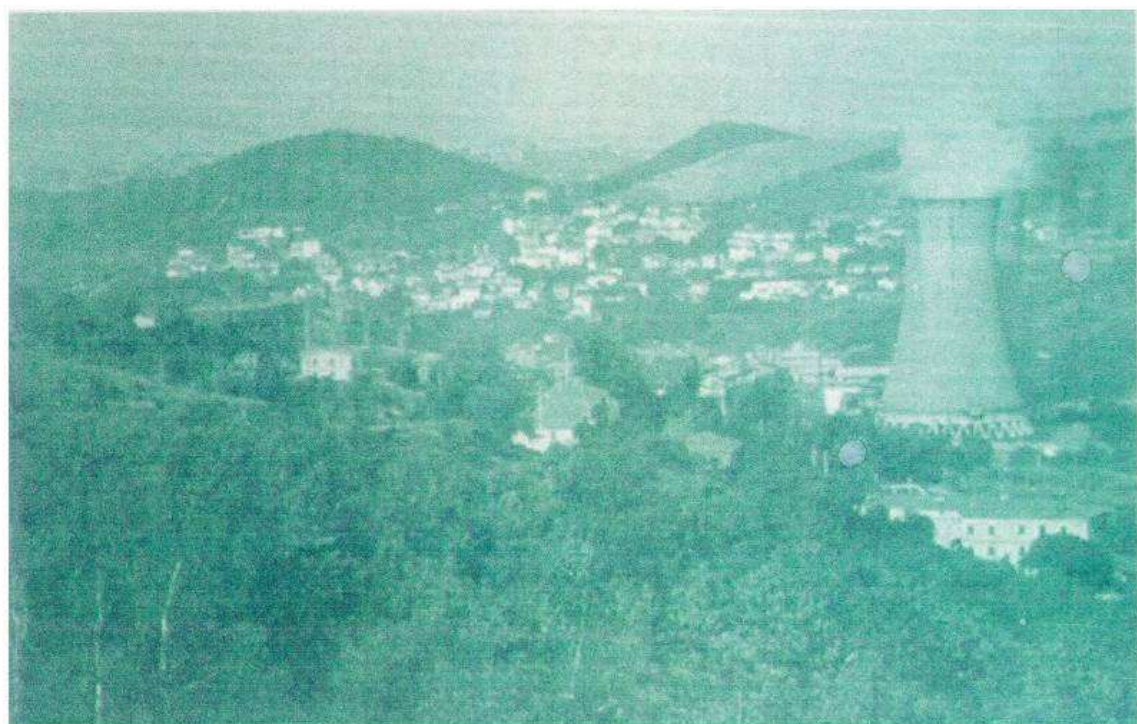
ش. نمونه ای از چاه زمین گرمایی

## تاریخچه:

این انرژی از ابتدای خلقت مورد استفاده انسان بوده است. بدین ترتیب که از آن برای شست و شو، پخت و پز، استحمام، کشاورزی و درمان بیماری ها استفاده می شد. اسناد و مدارک موجود ثابت می کند که ساکنان کشورهای نظیر چین، ژاپن، ایسلند و نیوزیلند در گذشته های دور از این انرژی استفاده می کردند. در سال ۱۸۲۸ فردی به نام لاردرلو در کشور ایتالیا برای تهیه اسید بوریک از حرارت آب های گرم به جای سوزاندن هیزم استفاده کرد. حد فاصل سال های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۳ به دلیل گران شدن بی سابقه و ناگهانی نفت، همه کشورها به فکر استفاده از انرژی های جایگزین افتادند و به تدریج کشورهایی چون آمریکا، ایسلند، فیلیپین، اندونزی و اغلب کشورهای که روی کمر بند زمین گرمایی جهانی قرار داشتند بهره برداری از این انرژی را شروع کردند.

به منظور تولید برق از انرژی زمین گرمایی، آبهای داغ یا بخارات داغ طبیعی از درون چاه های حفر شده به سطح زمین هدایت شده و جهت به چرخش درآوردن توربین مورد استفاده قرار می گیرند. آب داغ یا بخار داغ در نیروگاه های زمین گرمایی با گردش توربین های خاص و مولدهای مربوطه باعث تولید برق می گردد. برخلاف نیروگاه های سوخت فسیلی هیچ ماده سوختی در نیروگاه های زمین گرمایی بکار برده نمی شود. ایتالیا اولین کشوری بود که در سال ۱۹۰۴ میلادی توانست از انرژی زمین گرمایی نیروی برق تولید کند. در متون رومیان بیش از ۲۰۰ سال پیش به وجود میادینی از بخار در مکان لاردرلو کنونی، جنوب فلورانس اشاره شده است. در این مکان که ریشه تاریخی دارد، اولین مرکز تولید برق از انرژی زمین گرمایی راه اندازی شده است. در میدان زمین گرمایی در ناحیه لاردرلو ایتالیا در سال ۱۹۴۰ نیروی برقی بالغ بر ۱۳۷ مگاوات الکتریکی تولید می شد که در جریان جنگ جهانی دوم آماج بمباران هوایی قرار گرفت و از بین رفت. این نیروگاه پس از جنگ بازسازی شده و مورد بهره برداری مجدد قرار گرفت به طوری که در سال ۱۹۷۵ ظرفیت آن بالغ بر ۳۸۰ مگاوات الکتریکی گردید. پس از جنگ جهانی دوم کشور ژلاندنو اولین کشوری بود که در سال ۱۹۵۸ از دو واحد نیروگاه برق که بوسیله بخار آب داغ منابع زمین گرمایی تغذیه می شدند بطور اقتصادی بهره برداری کرد. در سال ۱۹۶۰ ایالات متحده آمریکا در ناحیه بیگ گیزرز واقع در ۱۵۰ کیلومتری شمال سانفرانسیسکو در آمریکا از بخار خشک میدان زمین گرمایی نیروی برق تولید کرد. سپس در مدت ۱۷ سال بیشتر کشورهای جهان از این انرژی برق استحصال کردند. در تاریخ ثبت شده که اولین موارد کاربردی انرژی زمین گرمایی همانطور که گفته شد برای گرم کردن فضا و اهداف در مانی بوده.

در سال 1800 انرژی زمین گرمایی به طور وسیعتری توسط کنت فراچسکو دلاردل مورد مطالعه قرار گرفت. اولین مبدل مکانیکی در سال 1897 برای میدانهای لاردلو ایتالیا برای گرم کردن بویلر که یک موتور بخار کوچک را میچرخاند ساخته شد.



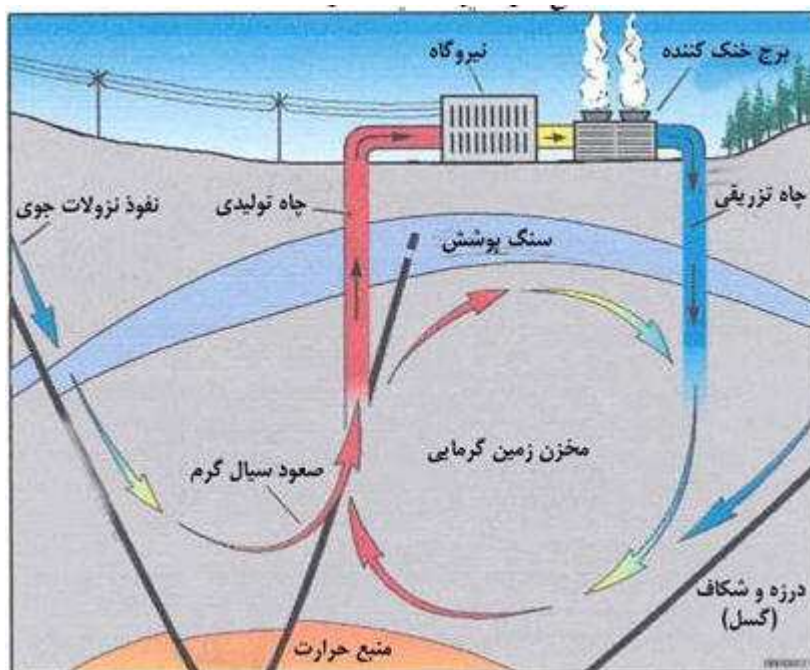
ش.نمایی از نیروگاه زمین گرمایی در لاردلو ایتالیا

اولین تلاش برای تولید الکتریسیته همچنین در مکان لاردلو در سال 1904 توسط یک ژنراتور با توانایی روشن کردن چهار لامپ انجام شد. این روند در سال 1912 توسط توربین تقطیر کننده دنبال شد و به رقم تولید 8.5 مگا وات رسید.

در ایالات متحده ، اولین تلاش در اه پیشرفت میدانهای چشمه های آب گرم در سال 1922 انجام شد. بخار با موفقیت کنترل شد اما لوله ها و توربینها در آن زمان قادر نبودند خاصیت خوردگی و سایش بخار را تحمل کنند و به سرعت از بین میرفتند. که لوله ها و توربین های امروزی این مشکلات را با ایجاد لایه ای محافظ بر طرف نموده اند. این تلاشها تا سال 1956 به نتیجه نرسید و شرکت ماگما و ترمال پاور پس از به کنترل در آوردن بخار امتیاز آنرا به دو شرکت پاسیفیک گاز و الکتریک کمپانی فروختند. پس از آن آلیاژ ضد زنگ استیل (stainless stell) کشف شد که میتواند در برابر خوردگی بخار مابله کند. و اولین واحد ژنراتوری برق با ظرفیت 11 مگا وات در سال 1960 شروع بکار کرد. تا کنون 13 واحد بزرگتر رو به رشد به این

مجموعه اضافه شده است که آخرین آن یک واحد 109 مگا واتی میباشد که در september 1982 شروع بکار کرد. 2 واحد دیگر در حال ساخت است و همچنین 4 واحد دیگر در حال طراحی میباشد.

دانستن این مطالب از این جهت مفید میباشد که از یک میدان خوب انرژی به چه اندازه میتوان بهره برداری سالانه و بی وقفه حاصل نمود و ماندن در یک پروژه مشکین شهر که حدودا در سال 72 طراحی ان انجام گرفت با سرعتی لاک پشتی موقعیتهای پیش رو را از دست میدهد.



### مهمترین نشانه های منابع زمین گرمایی موارد زیر است:

همانطور که گفته شد این انرژی از قسمت ماگمای مرکزی زمین تامین میگردد. پوسته زمین به عنوان منبع حرارت عمل میکند. این انرژی گرمایی در سطح زمین توزیع شده است ، البته توزیع این انرژی یکسان نیست این انرژی در مناطق زمین شناسی فعال خصوصا مناطقی که آتشفشانهای جوان و فعالتر مستقر هستند متمرکز است. مثالی برای استفاده از انرژی زمین گرایی استفاده از آبهای زیر زمینی گرم برای پرورش ماهی های که در شرایط محیطی خاص و دمای آبهای گرمتر زندگی میکنند بسیار مناسب است. و در هنگامیکه این آبها اضافه باشد یا تعویض بخواند سرد شده و به سمت مراتع و مزارع کشاورزی رها خواهد شد.

در همین ابتدا دو محدودیت را در نظر داشته باشید تا در ادامه به حل این محدودیت ها بپردازیم یکی اینکه مناطقی که توزیع انرژی متمرکز تری دارند در نواحی آتشفشانی و کوهپایه ای است و شرایط دسترسی به آنها بسیار سخت میباشد. و دیگری اینکه احتمال فاصله زیاد پوسته تا نزدیکی جبهه زیاد باشد که در صد قطع شدن پروژه بالا میرود.

نشانه های انرژی زمین گرمایی

1. سنگ های آتشفشانی جوان جوان تر از یک میلیون سال

2. چشمه های آبگرم

3. بخارفشان یا گازفشان

4. آب فشان

5. نواحی دگرسان شده

6. گل فشان

7. کوه های آتشفشانی فعال

### عوامل اساسی تشکیل منابع زمین گرمایی:

بطور کلی برای شکل گیری و تکامل یک سیستم زمین گرمایی وجود چهار عامل اصلی، منبع حرارتی (Heat source)، سنگ مخزن (Reservoir rock)، سنگ پوششی (Cap rock) و سیال (Fluid) ضروری است. سیستم های زمین گرمایی در مناطقی تشکیل می گردند که این چهار عامل در کنار همدیگر قرار گرفته باشند. در شکل زیر چگونگی تشکیل یک مخزن زمین گرمایی و رابطه بین چهار عامل اساسی در تشکیل یک مخزن زمین گرمایی نشان داده شده است.

#### 1- منبع حرارتی

تمرکز حرارت در پوسته زمین در مقیاس ناحیه ای و موضعی توسط چندین فرآیند صورت می گیرد. مهمترین منبع تولید حرارت در داخل پوسته زمین واپاشی عناصر رادیواکتیو می باشد. علاوه بر منبع مذکور، عوامل

دیگری نیز در تولید حرارت نقش دارند که از آن جمله می‌توان به فعالیت‌های آذرین درونی، آتشفشانها، فعالیت‌های تکتونیکی و همچنین فرونشینی سریع رسوبات در حوضه‌های رسوبی فعال اشاره کرد. واپاشی رادیواکتیو باعث تبدیل شدن بخشی از ماده به انرژی تشعشعی می‌شود که این انرژی نیز به نوبه خود به انرژی حرارتی تبدیل می‌گردد. ایزوتوپهای رادیواکتیو طبیعی به میزان متفاوتی حرارت تولید می‌کنند، ولی بیشترین میزان توسط واپاشی سری ایزوتوپهای اورانیوم ( $^{238}\text{U}$  و  $^{235}\text{U}$ ) و توریوم ( $^{232}\text{Th}$ ) که در نهایت ایزوتوپ پتاسیم ( $^{40}\text{K}$ ) را ایجاد می‌کنند، تولید می‌شود. در نتیجه می‌توان گفت که تولید حرارت در سنگها توسط واکنشهای رادیواکتیو و به تناسب مقدار اورانیوم، توریم و پتاسیم موجود در آنها صورت می‌گیرد. سرد شدن توده‌های نفوذی تزریق شده به درون پوسته، غالباً بعنوان یک منبع تولید حرارت برای سیستم‌های زمین‌گرمایی بشمار می‌رود. این توده‌ها که غالباً حرارتی بین 700 تا 1200 درجه سانتیگراد دارند، با ایجاد سیستم‌های چرخشی و یا هدایتی در درون پوسته زمین حرارت نواحی مجاور خود را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهند. بطور کلی فعالیت‌های مرتبط با قرارگیری توده‌های ماگمایی در مقیاس جهانی از فرضیه جدا شدن قاره‌ها و عملکرد صفحه‌های تکتونیکی تبعیت می‌نماید.

نقاط حاشیه‌ای حاشیه صفحات تکتونیکی که محل فعالیت‌های ماگمایی و تولید ماگما می‌باشند در چارچوب ایجاد حرارت و منبع حرارتی اهمیت زیادی دارند. چرا که نفوذ و حرکت روبه‌بالای توده‌های ماگمایی، در امتداد مرز صفحات تکتونیکی صورت می‌پذیرد و منابع زمین‌گرمایی در این نقاط و یا مناطق مجاور آنها متمرکز میشوند.

## 2- سنگ مخزن

سنگ مخزن که وجود آن یکی از الزامات عمده در شکل‌گیری یک سیستم زمین‌گرمایی است می‌تواند شامل یک توالی از سنگهایی با ویژگیهای خاص باشد که بطور معمول شامل ضخامتی از سنگهای رسوبی یا آذرآواری است. این قبیل سنگها دارای تخلخل و ضخامت قابل ملاحظه‌ای بوده و می‌توانند حجم عظیمی از سیالات زمین‌گرمایی را در خود ذخیره نمایند. شایان ذکر است که علاوه بر دو عامل تخلخل و ضخامت، عامل تراوایی نیز در تشکیل مخازن زمین‌گرمایی نقش مهمی ایفا می‌نماید. به عبارت دیگر اقتصادی بودن یک مخزن زمین‌گرمایی در درجه اول بستگی به حجم سیال موجود در سیستم و در درجه دوم بستگی به میزان تراوایی سنگها دارد، چنانکه بسیاری از رسوبات یا سنگهای رسوبی با وجود اینکه به دلیل تخلخل بالا حاوی حجم قابل

ملاحظه‌ای از سیالات هستند، اما به دلیل تراوایی ناچیز، امکان استخراج و بهره‌برداری اقتصادی از سیالات مذکور وجود ندارد.

### 3- سنگ پوشش

سنگ پوشش شامل ضخامتی از طبقات غیر قابل نفوذ و یا با نفوذپذیری ناچیز است که بر روی سنگ مخزن قرار گرفته و مانع از فرار سیال از مخزن می‌گردد. سنگ پوشش معمولاً از طبقات سنگهای رسی، انیدریتی، ژئپسی و یا نمکی تشکیل می‌شود. این سنگ‌ها معمولاً دارای هدایت حرارتی پائین بوده و تقریباً بصورت عایق حرارتی عمل می‌نمایند. بدلیل انتقال حرارت از منبع حرارتی به سنگ مخزن و عدم انتقال آن توسط سنگ پوششی به لایه‌های بالاتر درجه حرارت سنگ مخزن بتدریج افزایش پیدا می‌کند. لایه‌های سنگ پوشش ممکن است در طول تکامل یک سیستم، ایجاد شوند، ولی اغلب به نظر می‌رسد که در اثر فرایندهای زمین‌شناسی بسیار قدیمی رسوبگذاری شده باشند. گاهی اوقات فعالیت‌های شدید تکتونیکی باعث ایجاد شکستگی‌هایی در سنگ پوشش می‌شود که در چنین شرایط موجب خروج سیال از سنگ مخزن و نفوذ آن به طبقات فوقانی و در نهایت موجب ظهور چشمه‌های آبگرم و گازفشانها در سطح زمین می‌گردد که در بررسی‌ها و تحقیقات زمین‌گرمایی یکی از علائم وجود انرژی زمین‌گرمایی محسوب می‌شوند.

### 4- سیال

یکی از عوامل اصلی در تکوین و شکل‌گیری سیستم‌های زمین‌گرمایی و بهره‌برداری اقتصادی از آن وجود سیالات زمین‌گرمایی است که عامل انتقال حرارت از مخازن و منابع مربوطه به سطح می‌باشند. منشأ تأمین سیالات موجود در مخازن زمین‌گرمایی بسیار متنوع بوده و شامل آبهای جوی (Meteoric water)، آبهای بین دانه‌ای (Connate water)، آبهای فسیلی (Fossil water)، آبهای ماگمایی (Magmatic water) و آبهای حاصل از دگرسانی و دگرگونی کانی‌های ناپایدار می‌باشد. البته باید توجه داشت که در بیشتر موارد آبهای مربوط به سه گروه آخر نقش چندان مؤثری در تأمین سیالات زمین‌گرمایی ندارند. همچنین نکته مهم در بهره‌برداری اقتصادی از مخازن زمین‌گرمایی برقراری حالت تعادل بین میزان استخراج سیالات زمین‌گرمایی و میزان تغذیه مخزن می‌باشد که باید بطور طبیعی و از طریق منابع فوق و یا به صورت مصنوعی انجام می‌پذیرد.



بطور کلی براساس ویژگیهای زمین شناسی، هیدرولوژیکی و انتقال حرارت، مخازن زمین گرمایی به چهارگروه اصلی طبقه بندی می شوند.

#### 1- مخازن گرمایی

#### 4- مخازن ماگماتیک

#### 2- مخازن سنگ داغ خشک

#### 3- مخازن زمین تحت فشار

از آنجائیکه پیدایش مخازن زمین گرمایی یک پدیده طبیعی است، لذا هریک از انواع اصلی فوق به انواع فرعی تری نیز تقسیم می شوند. در این کتاب تنها به شرح عمده ترین آنها خواهد شد. مخازن گرمایی Hydrothermal ویژگی این سیستم وجود سنگهایی با تراوایی و تخلخل بالاست و اکثر سیستم های جهان که برای استفاده از انرژی زمین گرمایی مورد اکتشاف و بهره برداری قرار گرفته اند از این نوع می باشند. نیروی کنوکسیون در این قبیل سیستم ها بدون شک از اهمیت بالایی برخوردار بوده و گرم شدن آب در اعماق غالباً به نفوذ ماگما ارتباط داده می شود، در نتیجه این امکان وجود دارد که بخشی از آب در حال چرخش نیز از سرد شدن ماگما تامین گردد. منبع حرارتی در این گونه سیستم ها حرارت توده نفوذی ماگمایی در عمق کم می باشد. بطور کلی این قبیل سیستم های چرخشی غالباً با آتشفشانها و یا ولکانیسم های جوان همراه می باشند. مخازن گرمایی که یکی از عمده ترین ذخایر زمین گرمایی دنیا را تشکیل می دهند و به دو نوع مخزن فرعی آب بالنده (مخزن با برتری آب) و مخزن با بخار بالنده (مخزن با برتری بخار) تقسیم می شوند.

#### 1. مخازن گرمایی:

#### 1-1- مخازن با آب بالنده (Water dominated)

مخازن با آب بالنده را بطور معمول مخازن آب داغ می نامند. این مخازن که ترکیبی از آب و بخار است در آن درصد آب موجود در مخزن به مراتب بیش از درصد بخار موجود میباشد لذا بخش قابل توجهی از حجم مخزن توسط آب داغ اشغال شده است. در حال حاضر بیشتر مخازن زمین گرمایی از این نوع هستند ولی هزینه استخراج و بهره برداری از این مخازن بمراتب بیشتر از مخازن با برتری بخار (بخار بالنده) می باشد. طبق اطلاعات موجود بیش از 90 درصد مخازن زمین گرمایی کشف شده جهان از این نوع هستند. چون دمای آب ذخیره شده در این منابع از 25 تا 310 درجه سانتیگراد متغیر است. موارد کاربرد سیال استخراج شده از این

مخازن نیز متفاوت می باشد. چنانکه از انرژی سیال داغ این نوع منابع زمین گرمایی می توان بطور مستقیم برای کاربردهای حرارتی و بطور غیر مستقیم در تولید نیروی برق بهره گیری کرد. مخازن آب داغ بطور معمول بوسیله آبهای سطحی و بارشهای جوی مجاور منطقه زمین گرمایی تغذیه می شوند، عبارت دیگر آبهای سطحی و آب بارشهای جوی بتدریج در ژرفای زمین نفوذ کرده و منابع مذکور را تشکیل داده اند. دمای این مخازن به نوع و کیفیت سرچشمه حرارتی، رسانایی گرمایی سنگ مخزن، رسانایی سنگهای اطراف، ضخامت و نوع سنگ پوششی بستگی دارد. مهمترین عامل اقتصادی که در تولید برق از مخازن با آب بالنده باید مورد توجه طراحان قرار گیرد آن است که جهت استحصال نیروی برق از منابع آب داغ نیاز به تولید حجم زیادی از آب و دفع آن یا تزریق مجدد آن به مخزن است. موضوع قابل توجه اینجاست که با فن آوری موجود، راه اندازی و نگهداری این جریان چرخشی در وضعیت متناسب هزینه سرمایه ای و عملیاتی بسیار زیادی را طلب می کند. لذا برآورد دقیق هزینه های تولید برق از این منابع، دقت نظر و جامع نگری ویژه ای را طلب می نماید. در واقع مهمترین فرق میان مخازن آب داغ و بخار بالنده تولید حجم زیاد سیال در مخازن آب داغ و هزینه بالای تزریق مجدد آن به زمین می باشد. در حال حاضر نیروگاه هایی که از انرژی زمین گرمایی آب داغ بهره گیری می کنند 42 درصد نیروی برق زمین گرمایی جهان را تامین می کنند. با وجود این پیش بینی می شود بعلت فراوانی مخازن زمین گرمایی آب داغ، در آینده موارد استفاده آن افزایش خواهد یافت. چرا که براساس برآوردهای موجود ظرفیت مخازن آب داغ جهان بیش از 9 برابر ظرفیت مخازن بخار خشک تخمین زده میشود.

## 1-2- مخازن بخار بالنده (Steam dominated)

مخازن با بخار بالنده مخازنی هستند که در آنها بخار آب نسبت به آب داغ فضای بیشتری از حجم سنگ مخزن را اشغال می کند و بخش اعظمی از سیال بصورت بخار خشک می باشد. در این مخازن آنتالپی (محتوی حرارتی) بخار آب مخزن در حال تعادل با آب داغ مخزن است. هنگامی که مخزن مورد بهره برداری قرار می گیرد بخار انبساط یافته تبدیل به بخار فوق العاده گرم می شود که این نوع منابع زمین گرمایی به مخازن بخار خشک معروف هستند. علت اساسی پیدایش این گونه مخازن آن است که حجم تغذیه آب نسبت به دمای منشأ حرارتی مخزن کم بوده و به محض اینکه مخزن، آب دریافت می کند قسمت اعظم آن تبدیل به بخار می شود. مخازن با بخار بالنده همیشه دارای سنگ پوششی مناسبی هستند. تعداد این گونه مخازن با توجه به شرایط خاصی که برای تشکیل این گونه مخازن وجود دارد انگشت شمار بوده که از آن میان، شمار معدودی مورد بهره

برداری قرار گرفته اند. مخازن بخار خشک زمین گرمایی که در حال حاضر مورد بهره برداری قرار می گیرند شامل میدان زمین گرمایی بیگ گیزر (Big geryseyers) در کالیفرنای آمریکا، لاردردلو (Larderello) در ایتالیا و میدان زمین گرمایی ماتسوکاوا (Matsukawa) در ژاپن می باشند که از بخارهای خشک حاصل از این میدانها نیروی برق زیادی تولید می شود.

## ۲- مخازن سنگ داغ خشک (Hot dry rock)

میدانهای زمین گرمایی سنگ داغ خشک از جمله میدانهایی هستند که با پیشرفت تکنولوژی و انجام تحقیقات فراوان در حال حاضر به عنوان یکی از منابع زمین گرمایی بالقوه و مستعد مطرح گردیده اند. این گونه منابع زمین گرمایی از سنگهای متراکم داغ و فاقد تخلخل و تراوایی طبیعی تشکیل شده اند. در این مخازن بصورت مصنوعی و مکانیکی و با روشهای آبشکنی (Hydrofracturing) و انفجار (Shoot fracturing) در بین دو چاه شکستگی و تراوایی مصنوعی بوجود می آورند (Garnish, 1987). سپس با تزریق آب بداخل شکستگیها، آب تزریقی با دریافت حرارت از سنگ داغ به حالت آب داغ یا بخار آب درآمده و سپس استخراج می گردد. برای انجام این کار ابتدا دو حلقه چاه عمیق با فاصله نسبتاً نزدیک به یکدیگر و ژرفای بیشتر از 2 کیلومتر حفر می شود. پس از رسیدن به سنگهای داغ که دارای درجه حرارت بیش از 200 درجه سانتیگراد می باشند از طریق آبشکنی و انفجار انتهای دو چاه توسط سیستمی از شکستگیها بهم ارتباط داده می شود. سپس با تزریق آب به یکی از چاهها، از چاه دیگر آب داغ یا بخار استخراج می گردد. در حال حاضر بهره برداری از این منابع در دست بررسی و مطالعه بوده و هنوز از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد.



### ۳- مخازن تحت فشار

در طی دوره رسوبگذاری در یک حوضه رسوبی، حجم عظیمی از مواد رسوبی آواری، آذرآواری، رسوبات شیمیایی و غیره در آن نهشته می‌شوند. با افزایش ضخامت رسوبات تدریجاً بستر حوضه شروع به فرونشینی نموده و با افزایش عمق رسوبات نهشته شده، درجه حرارت و فشار آنها افزایش می‌یابد. بدین ترتیب آنها که در ابتدا دارای ترکیب شیمیایی مشابه با آبهای حوضه رسوبی بودند با افزایش فشار و درجه حرارت از نظر شیمیایی تغییر کرده و به شورآبه‌هایی با درجه حرارت بالا تبدیل می‌شوند. همزمان با این دگرگونی‌ها مقادیر زیادی گاز متان و سولفید هیدروژن نیز ایجاد می‌شود که خود عامل ازدیاد فشار می‌باشد. دو عامل در تشکیل این گونه مخازن فوق العاده موثر هستند. (1) سنگ پوششی مناسب (رس یا شیل) که با ضخامت قابل ملاحظه خود از نفوذ سیال و حرارت مخزن به خارج جلوگیری می‌کند. (2) ژرفای زیاد مخزن از سطح زمین که این دو عامل به کمک هم باعث بالا رفتن حرارت به بیش از 200 درجه سانتیگراد می‌شوند. قابل توجه اینکه برای استخراج و توسعه این نوع مخزن زمین گرمایی از نظر اقتصادی، شرکت‌های ذینفع، به مقدار تولید گاز متان همراه

آن توجه زیادی دارند. به عبارت دیگر اقتصادی شناختن این گونه مخازن منوط به حجم قابل تولید گاز متان نیز می باشد. حوضه های رسوبی شناخته شده سراسر جهان، که میادین تحت فشار زمین گرمایی را تشکیل داده اند بیش از 67 میدان هستند که از آن تعداد 7 میدان در ایالات متحده آمریکا گزارش گردیده که هنگام اکتشافات نفت و گاز شناخته شده اند و مهمترین آنها حوضه رسوبی سنوزویک (Cenozoic) در خلیج مکزیک است. روند تغییرات شیب حرارتی در این ناحیه بر اساس ژرفای پایین تر از 2 کیلومتر در حدود 57 درجه سانتیگراد به ازای 1000 متر و در ژرفای بالاتر از 2 کیلومتر بالغ بر 29 درجه سانتیگراد در 1000 متر عمق است. بنابراین دمای سیال مخزن در ژرفای 4572 متر بیش از 260 درجه سانتیگراد برآورد شده است.

### ۵- مخازن ماگمایی (Magmatic)

برپایه رخدادهای زمین شناسی ماگما به اشکال گوناگون در اعماق مختلف و در قشر رویی زمین پدیدار می شود و در تحت شرایط مختلفی بهره گیری از حرارت ماگما امکان پذیر است. توده های ماگمایی به دلیل حرارت بالا از پتانسیل بالقوه حرارتی زیادی برخوردار هستند. چنانکه دانشوران و پژوهشگران آزمایشگاه سندیا (Sandia) موفق شدند با حفر چاه در نزدیکی دهانه آتشفشانی "کیلا اورایکی" (Kilauea Iki) جزیره هاوایی از توده ماگمایی که کمتر از 22 سال از نفوذ آن به زیر طبقات زمین نگذشته است و هم اکنون نیز در حال خنک شدن است حرارت استخراج کنند. اگر چه تولید نیروی برق از مخازن ماگمایی بطور آزمایشی میسر گردیده است ولی هنوز تکنولوژی استفاده از انرژی ماگمایی در مرحله پژوهش و مطالعات قرار دارد. مشکلات و مسائل مهمی که در مورد طرح استخراج نیرو از انرژی ماگمایی مطرح است عبارتند از :

- 1) مشکلات و مسائل حفاری در سنگهای نیمه مذاب که دمای آنها بیشتر از 800 درجه سانتیگراد است.
- 2) نحوه آماده سازی و ساخت لوله جدار ته چاه بمنظور استحصال حرارت از توده های مورد نظر
- 3) تصحیح و ایجاد تکنیک های ژئوفیزیکی بمنظور تعیین موقعیت دقیق توده های ماگمایی در حال سرد شدن.

تولید نیروی برق اقتصادی از انرژی ماگمایی شاید در آینده نزدیک میسر گردد ولی در حال حاضر بهره برداری از منابع مذکور در مرحله مطالعاتی قرار دارد. با توجه به اینکه میزان انرژی موجود در این مخازن بمراتب بیشتر از مخازن دیگر انرژی زمین گرمایی است پیش بینی می گردد در صورت بهره برداری از این سیستم ها در آینده، نرخ رشد تولید انرژی زمین گرمایی به میزان قابل توجهی افزایش یابد.

جدول ۱- دمای مخازن در حال بهره برداری و میزان انرژی موجود در آنها [۲]

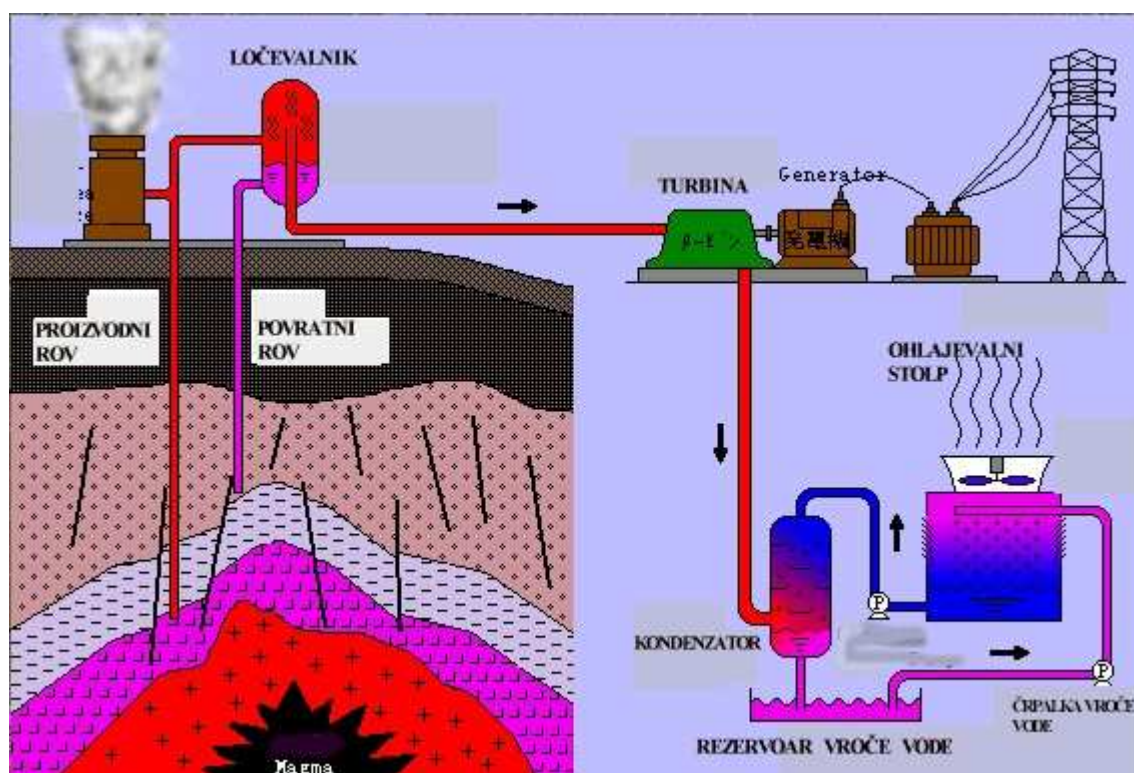
| مناطق انرژی زمین گرمایی | دمای مخازن درجه سانتی<br>گراد ( ) بیشترین دمای<br>مخزن | حداکثر آنتالپی بر<br>حسب<br>(Kj/Kg) Kca/kg |
|-------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| سیستمهای حاوی بخار      |                                                        |                                            |
| گیسرز (آمریکا)          | ۳۳۷ (۳۱۰)                                              | ۷۱۸ (۳۰۰۰)                                 |
| لاردلو (ایتالیا)        | ۲۰۰ (۴۲۰)                                              | ۷۴۲ (۳۱۰۰)                                 |
| آمباتا (ایتالیا)        | ۱۵۴ (۳۴۴)                                              | ۶۲۲ (۲۶۰۰)                                 |
| ماتسو کاوا (ژاپن)       | ۲۲۰                                                    |                                            |
| کاموجانگ (اندونزی)      | ۱۷۵ (۲۴۸)                                              | ۶۶۵ (۲۷۸۰)                                 |
| سیستمهای حاوی آب داغ    |                                                        |                                            |
| وایراکی (نیوزلند)       | ۲۳۰ (۲۹۰)                                              | ۲۸۱ (۱۱۷۵)                                 |
| برودلندز (نیوزلند)      | ۲۸۰ (۳۲۶)                                              | ۴۰۱ (۱۶۷۵)                                 |
| نواحی والی (آمریکا)     | ۱۶۰ (۳۷۰)                                              | ۲۳۹ (۱۰۰۰)                                 |
| سرپریتو (مکزیک)         | ۲۶۵ (۳۸۸)                                              | ۵۸۱ (۲۴۳۰)                                 |
| لوس آزوفرس (مکزیک)      | ۱۷۵ (۳۰۰)                                              | ۶۴۶ (۲۷۰۰)                                 |
| لوس هامروس (مکزیک)      | ۳۱۰ (۴۱۸)                                              | ۶۲۲ (۲۶۰۰)                                 |
| مومتومدو (نکاراگوئه)    | ۲۱۰ (۳۲۷)                                              | ۶۴۶ (۲۷۰۰)                                 |
| آهواچاپان ( السالوادور) | ۲۱۰ (۲۴۰)                                              | ۶۶۰ (۲۷۶۰)                                 |
| تیوی (فلیپین )          | ۲۷۳ (۳۰۹)                                              | ۶۷۰ (۲۸۰۰)                                 |
| ماک بان (فلیپین)        | ۲۰۷ (۳۱۳)                                              | ۴۲۷ (۱۷۹۰)                                 |
| هاتچوبارو (ژاپن)        | ۲۱۸ (۳۰۸)                                              | ۵۳۸ (۲۲۵۰)                                 |
| اولکاریا (کنیا)         | ۲۰۵ (۳۳۰)                                              | ۵۷۴ (۲۴۰۰)                                 |
| کرافلا (ایسلند)         | ۲۰۵ (۳۴۴)                                              | ۶۴۱ (۲۶۸۰)                                 |

### چگونگی انتقال گرمای زمین به سطح زمین:

گرما از هسته ی زمین به طور پیوسته به طرف خارج حرکت می کند. این جریان از طریق انتقال و هدایت گرمایی، گرما را به لایه های سنگی مجاور (جبه) می رساند. وقتی درجه ی حرارت و فشار به اندازه ی کافی بالا باشد، بعضی از سنگ های جبه 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 زیر سطح 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 می رسند 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 گرما را به وجود می آورند.



### کاربرد انرژی زمین گرمایی:

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 (پمپئی) 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.

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.

کاربردهای انرژی زمین گرمایی بطور کلی به دو بخش عمده طبقه بندی میگردد.

تولید برق -

استفاده مستقیم از انرژی حرارتی -

### تولید برق:

به منظور تولید برق از انرژی زمین گرمایی، آبهای داغ یا بخارات داغ طبیعی از درون چاههای حفر شده به سطح گیرند. آب داغ یا بخار داغ در زمین هدایت شده و جهت به چرخش درآوردن توربین مورد استفاده قرار می گردد. برخلاف نیروگاههای زمین گرمایی با گردش توربینهای خاص و مولدهای مربوطه باعث تولید برق می شود. ایتالیا اولین نیروگاههای سوخت فسیلی هیچ ماده سوختی در نیروگاههای زمین گرمایی بکار برده نمی کشوری بود که در سال 1904 میلادی توانست از انرژی زمین گرمایی نیروی برق تولید کند. چنانکه در میدان شد که زمین گرمایی در ناحیه لاردلو ایتالیا در سال 1940 نیروی برقی بالغ بر 137 مگاوات الکتریکی تولید می در جریان جنگ جهانی دوم آماج بمباران هوایی قرار گرفت و از بین رفت. این نیروگاه پس از جنگ بازسازی شده و مورد بهره برداری مجدد قرار گرفت به طوری که در سال 1975 ظرفیت آن بالغ بر 380 مگاوات الکتریکی گردید. پس از جنگ جهانی دوم کشور زلاندنو اولین کشوری بود که در سال 1958 از دو واحد شدند بطور اقتصادی بهره برداری کرد. در سال نیروگاه برق که بوسیله بخار آب داغ منابع زمین گرمایی تغذیه می 1960 ایالات متحده آمریکا در ناحیه بیگ گیزرز واقع در 150 کیلومتری شمال سانفرانسیسکو در آمریکا از بخار

خشک میدان زمین گرمایی نیروی برق تولید کرد. سپس در مدت 17 سال بیشتر کشورهای جهان از این انرژی برق استحصال کردند.

در نیروگاه های زمین گرمایی، انرژی الکتریکی به کمک چرخه های مخصوصی تولید می شود. مهمترین و رایج ترین آنها عبارتند از:

### چرخه تبخیر آبی

در این دسته از چرخه های تولید برق، سیال زمین گرمایی پس از خروج از چاه، وارد یک جداکننده شده و بخار حاصل به سمت توربین و آب داغ به سمت چاه های تزریقی و برج خنک کننده روانه می شود. حال، برحسب اینکه عمل جدایش یا تبخیر آبی در یک مرحله یا دو مرحله انجام شود و برحسب وجود یا عدم وجود کندانسور، سه نوع چرخه تبخیر آبی وجود دارد: چرخه تبخیر آبی یک مرحله ای بدون کندانسور، چرخه تبخیر آبی یک مرحله ای با کندانسور، چرخه تبخیر آبی دو مرحله ای

### چرخه دو مداره

از این چرخه برای تولید برق از مخزن های زمین گرمایی حرارت پایین استفاده می شود. حدود ۵۰ درصد دارند، که اگر برای تولید برق از آنها  $200^{\circ}\text{C}$  تا  $250^{\circ}\text{C}$  مخازن زمین گرمایی شناخته شده جهان درجه حرارتی بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد باشد، چرخه مزبور بازده بسیار پایینی خواهد داشت. در این چرخه از سیال عامل برای تولید برق استفاده می شود بدین ترتیب که آب داغ، سیال عامل را در یک مبدل حرارتی، گرم و به بخار تبدیل می کند. بخار حاصل، توربین را به حرکت در آورده، برق تولید می کند. از جمله مزیت های مهم این چرخه، عدم وجود خوردگی یا رسوب گذاری توسط سیال عامل است. در حال حاضر مهمترین کشورهای جهان از نقطه نظر تولید برق از منابع زمین گرمایی، کشورهای آمریکا ۲۲۲۸ مگاوات، فیلیپین ۱۹۰۹ مگاوات، ایتالیا ۷۶۹ مگاوات، مکزیک ۷۵۵ مگاوات و اندونزی ۵۹۰ مگاوات هستند.

تا اواخر دهه ۵۰، بعلاوه ارزشی قیمت سوخت های متداول (نفت، گاز و زغال سنگ) بهره گیری از انرژی زمین گرمایی چندان پیشرفت نداشت. تنها برخی از کشورها بعلاوه موقعیت طبیعی توانسته بودند از آن بهره گیری کنند. بهره برداری از منابع انرژی زمین گرمایی بعنوان یک منبع عمده تولید انرژی، امروزه مورد توجه زیادی قرار

گرفته است. افزایش ظرفیت تولید اقتصادی در مقیاس صدها مگاوات در تولید برق و همچنین استفاده مستقیم در طی سه دهه گذشته نشان دهنده پیشرفتهای چشمگیری در این زمینه است. تولید برق از منابع زمین گرمایی هم اکنون در 22 کشور جهان صورت می گیرد. انرژی زمین گرمایی برخلاف سایر انرژی های تجدید پذیر (خورشیدی، بادی، امواج و غیره) منشأ یک انرژی پایدار بشمار می آید. چنانکه بطور مداوم و بصورت 24 ساعت در روز و به 365 روز در سال میتوان با بار کامل از آن برق یا انرژی حرارتی تولید کرد. در صورتیکه سایر انرژی های نو، فصلی و وابسته به زمان و شرایط خاصی هستند. در حال حاضر بیش از ۸۰۰۰ مگاوات الکتریسیته از انرژی زمین گرمایی در جهان تولید میشود که آمریکا با بیش از ۳۰۰۰ مگاوات در رتبه اول و فیلیپین با حدود ۲۰۰۰ مگاوات رتبه دوم را دارد.

### کاربرد مستقیم

کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی، بهره برداری بدون واسطه از انرژی زمین گرمایی است. در این حالت، انرژی زمین گرمایی به انرژی الکتریکی تبدیل نمی شود، بلکه فقط از انرژی حرارتی آن استفاده می شود. مخزن های زمین گرمایی که دمای آنها بین ۶۵C تا ۱۵۰C است برای تولید برق، توجیه اقتصادی ندارد، لذا این گونه مخزن ها برای استفاده مستقیم از انرژی حرارتی، مناسب هستند. مخزن های زمین گرمایی حرارت پایین، نسبت به مخزن های حرارت بالا گستردهتری دارند. آب داغ مخزن های حرارت پایین را می توان با دستگاه های حفاری چاه های آب استخراج کرد. یک محقق ایسلندی به نام لیندال به منظور نشان دادن موارد کاربرد انرژی زمین گرمایی، نموداری تهیه کرده است که در آن موارد مختلف کاربرد سیال زمین گرمایی بر حسب درجه حرارت آن ارائه شده است. همان گونه که در نمودار لیندال مشخص شده است، موارد بهره برداری مستقیم از انرژی زمین گرمایی را می توان به ۶ رده کلی زیر تقسیم بندی کرد:

1. گرمایش ساختمان ها 5. درمان بیماری ها

2. کشاورزی 6. سایر

3. دامپروری

4. کاربردهای صنعتی

### ❖ گرمایش ساختمان ها:

این مورد متداول ترین کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی است. حدود ۳۷ درصد کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی در سراسر جهان را گرمایش فضاهای مختلف مسکونی، تجاری، اداری و غیره به خود اختصاص می دهد. البته در صورت نامناسب بودن کیفیت آب از نظر شیمیایی، از مبدل حرارتی برای گرمایش استفاده می شود. یکی از مزیت های مهم سیستم های گرمایشی این است که آب داغ پس از تأمین حرارت فضاهای مختلف، مجدداً به درون مخزن زمین گرمایی تزریق می شود و در نتیجه میزان آلودگی زیست محیطی آن بسیار پایین است.

شایان ذکر آنکه امروزه انواع خاصی از مبدل های حرارتی وجود دارند که درون چاه های زمین گرمایی تعبیه شده و حرارت آب داغ مخزن را به آب شیرین درون مبدل منتقل می کنند. درجه حرارت آب گرم مورد نیاز برای سیستم های گرمایشی حدود ۶۰°C یا بالاتر است. امروزه کشورهای ایسلند، فرانسه، مجارستان و ژاپن برای تأمین حرارت سیستم های گرمایش مرکزی خود از انرژی زمین گرمایی استفاده می کنند. به عنوان مثال شهر ۱۵۰ هزار نفری ریکیاویک مرکز ایسلند تماماً به وسیله آب داغ تولیدی از مخزن های زمین گرمایی مجاور شهر تأمین می شود.

### ❖ کشاورزی:

عمده ترین کاربرد انرژی زمین گرمایی در زمینه فعالیت های کشاورزی، تأمین گرمایش گلخانه ها است. البته در برخی از مناطق سردسیر از حرارت آب داغ مخزن های زمین گرمایی برای گرم کردن خاک های کشاورزی نیز به کار می رود. این نوع کاربرد در کشورهای سردسیر بسیار گسترش دارد. از جمله محصولات که به کمک این انرژی کشت می شوند می توان به خیار، گوجه فرنگی، انواع گل ها، گیاهان خانگی، نهال درختان و انواع کاکتوس ها اشاره کرد. در بین کشورهای جهان مجارستان از نظر استفاده از گلخانه های زمین گرمایی مقام نخست را دارد. برای گرم کردن گلخانه ها معمولاً یا آب داغ را از لوله های فلزی عبور می دهند یا اینکه همانند سیستم های گرمایشی خانه ها از پره های رادیاتور استفاده می کنند، یا آب داغ را از درون شبکه متراکمی از

لوله ها که در پشت آنها یک فن قوی وجود دارد، عبور می دهند. علاوه بر مجارستان کشورهای نظیر ایسلند، چین، یونان، نیوزیلند و روسیه نیز در زمینه گلخانه های زمین گرمایی فعال هستند.

### ❖ دامپروری

به کمک انرژی زمین گرمایی می توان انواع مختلف آبزیان را نیز پرورش داد. امروزه در سطح جهان از انرژی زمین گرمایی برای پرورش و رشد آبزیانی نظیر میگو، قزل آلا، صدف و همچنین آبزیان آکواریومی استفاده می شود. نظر به اینکه درجه حرارت بهینه برای پرورش انواع مختلف آبزیان برای هر یک از آنها میزان مشخصی است، با استفاده از انرژی زمین گرمایی می توان درجه حرارت حوضچه های پرورش را در حد مطلوب تامین کرد و آن را در تمام طول سال ثابت نگه داشت. بدین ترتیب می توان مقدار تولید انواع مختلف آبزیان را به میزان قابل توجهی افزایش داد. به عنوان مثال رشد بهینه ماهی قزل آلا در درجه حرارت ۵۱۵ درجه سانتیگراد است.

کشورهایی مانند ایسلند، گرجستان، ترکیه، نیوزیلند، ژاپن و چین از جمله کشورهای پیشرو در زمینه استفاده از انرژی زمین گرمایی برای پرورش آبزیان هستند. در حال حاضر ۱۶ کشور از چنین تاسیساتی بهره می گیرند.

### ❖ کاربردهای صنعتی

این دسته از کاربردهای انرژی زمین گرمایی هنوز مانند سایر مصارف انرژی زمین گرمایی در سطح جهان گستردگی چشمگیری ندارد. با این وجود، در حال حاضر حدود ۱۹ کشور جهان از این انرژی در فرآیندهای مختلف صنعتی استفاده می کنند. به عنوان مثال می توان به موارد زیر اشاره کرد:

تولید برات و اسید بوریک از سیال های زمین گرمایی در ایتالیا

استحصال نفت در روسیه . تولید کاغذ و قطعات خودرو در مقدونیه

پاستوریزه کردن شیر در رومانی . تولید خمیر کاغذ، کاغذ و چوب در نیوزیلند

تولید چرم در اسلوانی و صربستان . درمان بیماری ها

تولید گاز دی اکسید کربن در ایسلند و ترکیه

این کاربرد نیز بسیار قدیمی بوده و از روزگاران دور اقوامی چون رومی ها، چینی ها، ژاپنی ها، عثمانی ها و ساکنان سایر نواحی کره زمین به منظور استحمام و درمان بیماری های گوناگون از آب های گرم طبیعی زمین استفاده می کردند.

در حال حاضر حدود ۴۵ کشور جهان از چشمه های آب گرم خود برای این منظور استفاده می کنند. در ارتباط با توسعه چنین مراکزی، شواهد و نمونه های متعددی را می توان در سطح جهان معرفی کرد. به عنوان مثال، ژاپنی ها با بهره گیری از بیش از ۲۲۰۰ کانون تفریحی مرتبط با چشمه های آبگرم، سالانه قریب به صد میلیون مهمان و گردشگر را پذیرا هستند.

امروزه از آب های گرم دارای حرارت بیش از ۵۰ درجه سانتیگراد برای درمان بیماری هایی نظیر فشار خون بالا، روماتیسم، بیماری های پوستی و بیماری های دستگاه عصبی استفاده می شود.

#### ❖ ذوب برف جاده ها

به کمک انرژی زمین گرمایی می توان برف یا یخ جاده ها و پیاده روها را نیز ذوب کرد. گسترش این نوع کاربرد نسبت به سایر موارد انرژی زمین گرمایی محدودتر است. 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 به جز کشور ایسلند، کشورهای چون آرژانتین، آمریکا و ژاپن نیز برای ذوب برف جاده های خود از انرژی زمین گرمایی بهره می گیرند. همان گونه که پیشتر اشاره شد جنبه های گوناگون کاربرد انرژی زمین گرمایی به سرعت در حال افزایش است و مرتباً به کشورهای بهره مند از این انرژی افزوده می شود. میزان گسترش موارد کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی در سراسر جهان در جدول ذیل آمده است. یادآور می شود که پمپ های حرارتی زمین گرمایی نوعی سیستم تهویه گرمایش و سرمایش است. همان گونه که می دانیم، درجه حرارت زیرزمین تا اعماق کم ۲ تا ۱۵ متری تقریباً در تمام طول سال ثابت است. بنابراین با استفاده از این پدیده طبیعی می توان گرمایش و سرمایش منازل را در زمستان و تابستان فراهم کرد. در واقع سازوکار اصلی این سیستم های تهویه، تبادل حرارت با بخش های کم عمق زمین است، بدین معنی که در فصل تابستان، حرارت را از داخل منازل به زمین منتقل می کنند و در زمستان، حرارت زیرزمین را به داخل فضاهای مسکونی هدایت می کنند.

### ❖ پمپهای حرارتی:

از پمپهای حرارتی برای گرم کردن و خنک کردن هوا استفاده می کنند پمپهایی که از انرژی زمین گرمایی استفاده می کنند دارای کارایی بیشتری نسبت به سایر پمپها هستند.

### ❖ برای پرورش ماهی:

برای پرورش ماهی گرم کردن آب به وسیله گرمای زمین برای توسعه پرورش ماهی

### ❖ برای تهیه چوب:

از انرژی زمین گرمایی می توان در کوره های حرارتی برای خشک کردن چوب در تهیه کاغذ استفاده کرد.

### کاربردهای مستقیم انرژی زمین گرمایی در سال 1997

| درصد استفاده | موارد کاربردی             |
|--------------|---------------------------|
| 33           | گرم کردن فضا              |
| 15           | آبگرم حمام                |
| 13           | شیلات                     |
| 12           | گلخانه ها                 |
| 12           | پمپهای گرمایی             |
| 10           | صنایع                     |
| 1            | خشک کردن محصولات کشاورزی  |
| 1            | آب کردن برف (تهویه مطبوع) |
| 3            | غیره                      |

### مصارف دیگر انرژی زمین گرمایی:

آب زمین گرمایی در سرتاسر دنیا، حتی زمانی که به اندازه ی کافی برای تولید برق داغ نیست، مورد استفاده قرار می گیرد. آب های زمین گرمایی که درجه ی حرارت آنها بین 50 تا 300 درجه ی فارنهایت است، مستقیماً مورد استفاده قرار می گیرند که موارد مصرف آنها به شرح زیر است:

1- برای تسکین درد عضلات در چشمه های داغ و درمان با آب معدنی (آب درمانی).

2- گرم کردن داخل ساختمان های منفرد و حتی منطقه ای که مجاور چشمه های گرم است. در این روش، سیستم های گرم کننده، آب زمین گرمایی را از طریق یک مبدل گرمایی پمپ می کنند و گرما را به آب شهری انتقال می دهند و آب شهری گرم شده، از طریق لوله کشی به ساختمان های شهر منتقل می شود. در داخل ساختمان ها نیز، یک مبدل گرمایی دیگر گرما را به سیستم گرمایی ساختمان ها منتقل می کند

3- برای کمک به رشد گیاهان، سبزیجات و محصولات دیگر در گلخانه (زراعت).

4- برای کوتاه کردن زمان مورد نیاز رشد و پرورش ماهی، میگو، نهنک و تمساح (آبزی پروری).

5- برای پاستوریزه کردن شیر، خشک کردن پیاز، الوارکشی و برای شستن پشم (استفاده صنعتی).

بزرگترین واحد این سیستم گرمایی در دنیا، در (ریکیاویک) در ایسلند قرار دارد. از زمانی که این سیستم برای تامین گرمای شهر مذکور به کار می رود، ریکیاویک به یکی از تمیزترین شهرهای دنیا تبدیل شده است؛ در صورتی که قبل از آن بسیار آلوده بود.

موارد مصرف دیگری نیز از گرمای زمین گرمایی وجود دارد. برای مثال، در (کلامت فالز) در اورگن آمریکا، زیر جاده ها و پیاده روها آب ژئوترمال لوله کشی می شود، تا از یخ زدن آن ها در شرایط هوای یخبندان جلوگیری شود. در نیومکزیکو، ردیفی از لوله ها که زیر خاک دفن شده اند، آب زمین گرمایی را انتقال می دهند تا گل ها و سبزیجات پرورش یابند. با این شیوه، اطمینان حاصل می شود که زمین یخ نمی زند. به علاوه، فصل رویش طولانی تر می شود و روی هم رفته، محصولات کشاورزی سریع تر رشد می کنند و بدون استفاده از گلخانه محافظت می شوند. کشورهایی که در حال حاضر از مخازن زمین گرمایی برای تولید الکتریسیته استفاده می کنند، عبارتند از آمریکا، نیوزیلند، ایسلند، مکزیک، فیلیپین، اندونزی و ژاپن. استفاده از این انرژی در بسیاری از کشورها در حال گسترش است. راه حل استفاده ی بیشتر از انرژی زمین گرمایی، افزایش آگاهی عمومی و تقویت فناوری مرتبط با زمین گرمایی است.

## طرح نیروگاهها:

انواع نیروگاههای زمین گرمایی:

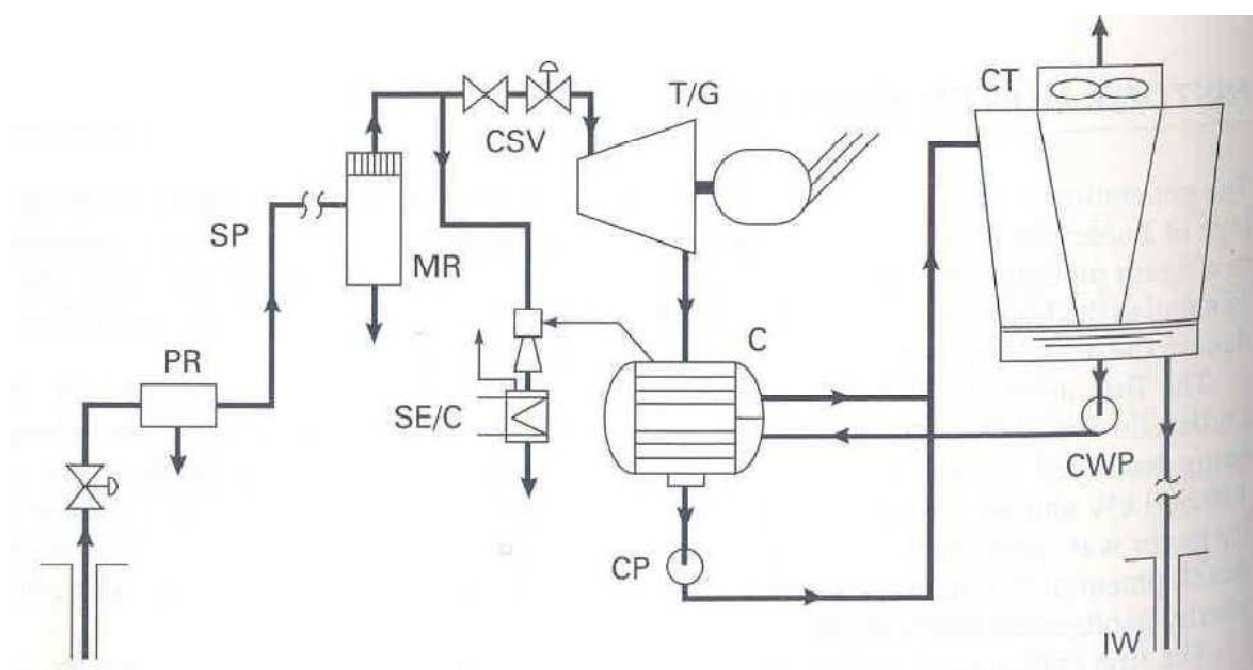
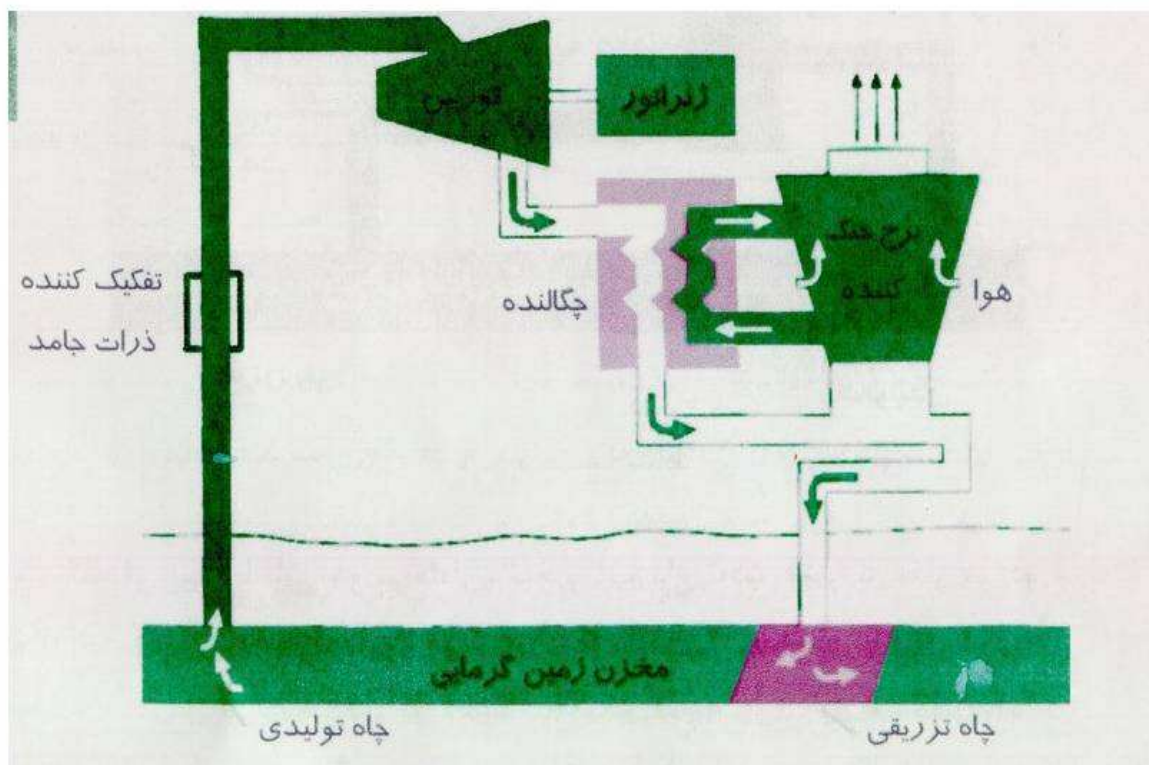
- 1-نیروگاههای بخار خشک
- 2 -نیروگاههای بخار انبساط آبی
- 3 -نیروگاههای سیکل دو مداره
- 4 -نیروگاههای باتوربین تفکیک دورانی
- 5 - نیروگاههای سیکل ترکیبی

### **1-نیروگاههای بخار خشک:**

در این نیروگاهها برای تولید برق از مخازن هیدروترمال تحت بخار استفاده میشود.نسبت بخار به آب خیلی زیاد بوده و به صورت بخار خشک است.بخار خشک با استفاده از فشار طبیعی خود از چاه تولیدی خارج شده پس از گذشتن از صافی ، تصفیه و به داخل توربین هدایت می شود. در طرح اولیه در این نیروگاهها در سال 1904در لادرلو ساخته شد.بدین ترتیب که بخار خشک از چندین چاه بوسیله خطوط لوله هایی بهنیروگاه انتقال پیدا میکند و مستیما در توربینهایی از نوع واکنسی استفاده میشوند. بین هر منبع و نیروگاه ، سیستمهای جدا کننده جامد از مایع وجود دارد این سیستمهای جدا کننده در نزدیکی مخزن زمینی قرار گرفته و مانع از ورود ذراتی مثل گرد و خاک و سنگریزه به نیرو گاه بوده و آنها را برگشت میدهد . در ورودی نیروگاه نیز یک رطوبت گیر برای خشک نمودن کامل بخار موجود است. شکل زیر دیاگرام ساده از طرح بخار خشک مستیم را نمایش میدهد.

بخار پس از خروج از توربین وارد چگالنده شده و حرارت خود را از دست می دهد و تقطیر شده ، وبا تقطیر

بخار در چگالنده، بین توربین و چگالنده خلاء ایجاد شده و توانایی گردش توربین افزایش یافته و بازدهی افزایش می یابد. برای خنک کردن آب مورد نیاز این سیستمها از برجهای خنک کننده استفاده میشود نیروگاههای لادرلو و گیزرز از این نمونه هستند.



در اکثر کشورها، عملیات خروج گاز به اتمسفر با استاندارد های محلی مطابقت دارد. در سطوح بالای گاز غیر قابل چگالش NCG در بخار زمین گرمایی یافت میشود که معمولاً تا 5٪ وزن بخار خواهد بود. این گاز در سیستم استخراجی به عنوان یک جزء ضروری طرح فوق است که معمولاً دو خارج کننده بخار دو مرحله ای قبل و بعد از سیستم خنک کننده استفاده میشود. اما در بعضی موارد توربوآمپرسور هم لازم خواهد بود. یک آند انسور (چگالنده) نوع سطحی در شکل صفحه قبل نشان داده شده است. در چنین نیروگاههایی معمولاً کندانسور های تماس مستقیم استفاده میگردد. در سیستم جدا کننده گاز غیر قابل چگالش، قبل از آزاد شدن گاز به اتمسفر و در صورتی که گاز مورد نظر مثل سولفید هیدروژن از حد معینی تجاوز کرد، میبایست یک طرح شیمیایی دیگری هم برای جداسازی آن بکار گرفته شود. بعضی واحدهای تولید برق از سیستمهای STRET福德 برای این منظور استفاده میکنند که در بویلر همانند یک نیروگاه معمولی بچرخه در نمی آیند، لذا ساخت برج های خنک کننده ضروری است. نرخ توان این واحد ها در اندازه کوچک بین 10 تا 15 مگا وات و اندازه های متوسط حدود 55 تا 60 مگا وات و بالاتر حدود 135 مگاوات ساخته شده است. اما اخیراً در عمل استفاده از مقادیر اسمی 20 تا 60 مگا وات در هر واحد دیده میشود.

## 2- نیروگاههای بخار انبساط آبی (FLASH STEAM)

این نیروگاهها برای استفاده از مخازن تحت مایع به اندازه کافی داغ (در حدود 160 درجه) مورد استفاده قرار میگیرند و به دو صورت زیر میباشند:

- تک مرحله ای

- دو مرحله ای

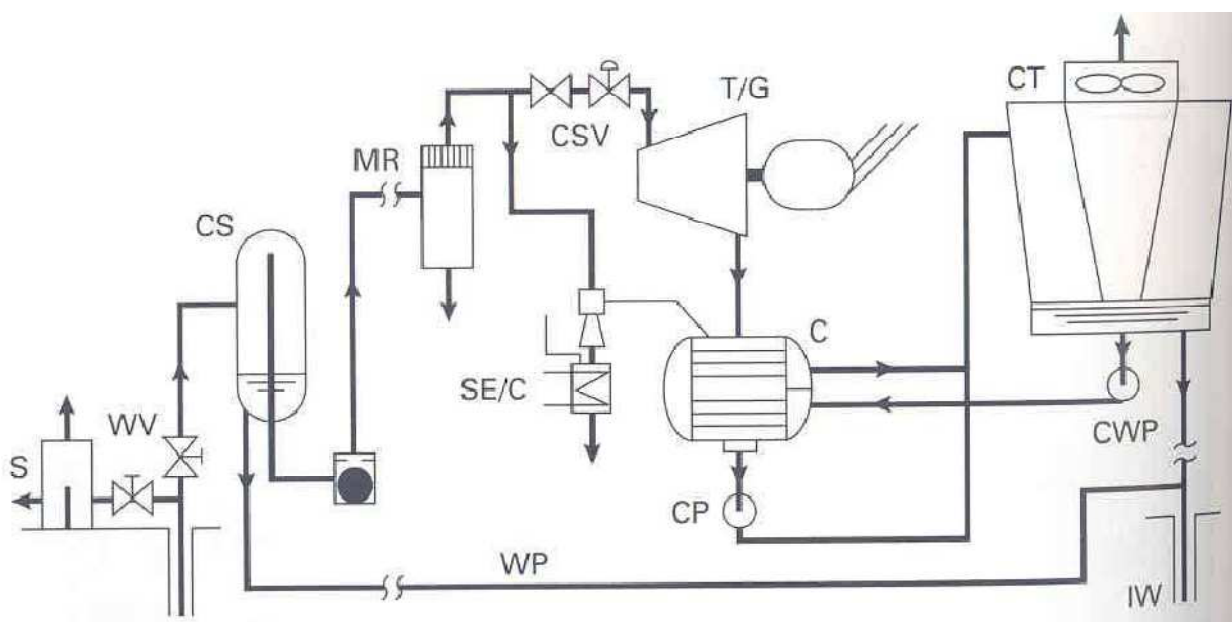
در اکثر مخازن زمین گرمایی نسبت آب به بخار بیشتر است که در آن محصول مخزن، یک مخلوط دو فاز مایع و بخار است. کیفیت مخلوط تابعی از حالت سیال مخزن است و در آن ابعاد مخزن و فشار دهانه مخزن با یک سوپاپ و یا یک صفحه آبکاری شده میتوان روزه را کنترل کند. معمولاً کیفیت بخار چنین منابعی رنج 10٪ تا 50٪ میباشد. عمل جداسازی فازها در غلظت 175 تا 350 بوسیله عمل سانتریفوژ انجام میپذیرد

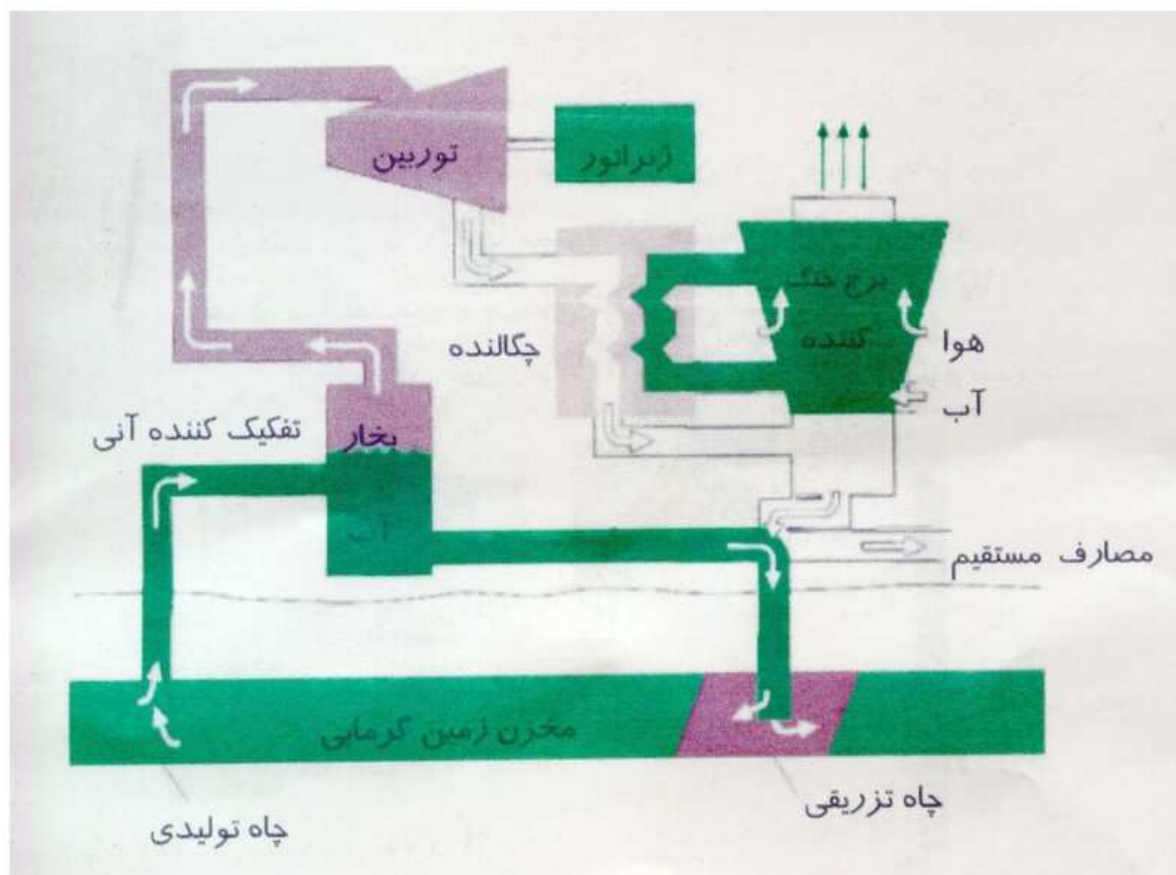
و جداکننده های CYCLONE با کارایی بالا ، کیفیت بخار منطقه را بیشتر از 99.99٪ می‌رساند. مایع حاصل از جداسازی بوسیله چاههای تزریق به بیرون دفع میشود.

### تک مرحله ای :

آبهای داغ زمین گرمایی که تحت فشار زیاد هستند در اثر دما و فشار بسیار زیاد طبیعی خود به بالای چاه آمده و به سمت دستگاه تفکیک کننده آنی هدایت می شود در این دستگاه در نتیجه افت فشار مقدار زیادی از آب داغ به بخار تبدیل میشود .بخار حاصله پس از گذشتن از صافیهای مخصوص به درون توربین بخار هدایت و توربین کوپل شده با توربین برق تولید میکند.سیستم چگالش و برج خنک کننده در این نوع مانند نیروگاههای بخار خشک میباشد. دیاگرام ساده شده ای از این طرح در ذیل نمایش داده شده است. این چنین طرحی را "جداکننده خروجی تحتانی" نامیده میشود. و بسیار ساده است. بخار خروجی از سایکلون به یک شیر اطمینان یک طرفه ساچمه ای وارد میشود که شیر مذکور از ورود مایعی که وازد خط لوله بخار در طبرگشتن میشود جلوگیری میشود. طرح فو بسیار نزدیک به طرح بخار خشک است ولی تفاوت اصلی آن در حجم زیاد مایعی که جابجا میشود ناشی میگردد. برای طرحهای نیرو گاهی 55 مگاوات از نوع سینگل فلاش نوعا حدود 630 کیلو گرم بر ثانیه مایع اضافی تولید میگردد که کاربرد های آن را در قسمت مذکور توضیح داده شده است.

طرح فوق الذکر احتیاج به یک سیستم تزریق داخلی با طراحی خوب و وسیع که شامل چاهها و لوله هایی است که با توجه به شناختی که از مخازن داریم ، طراحی شود.



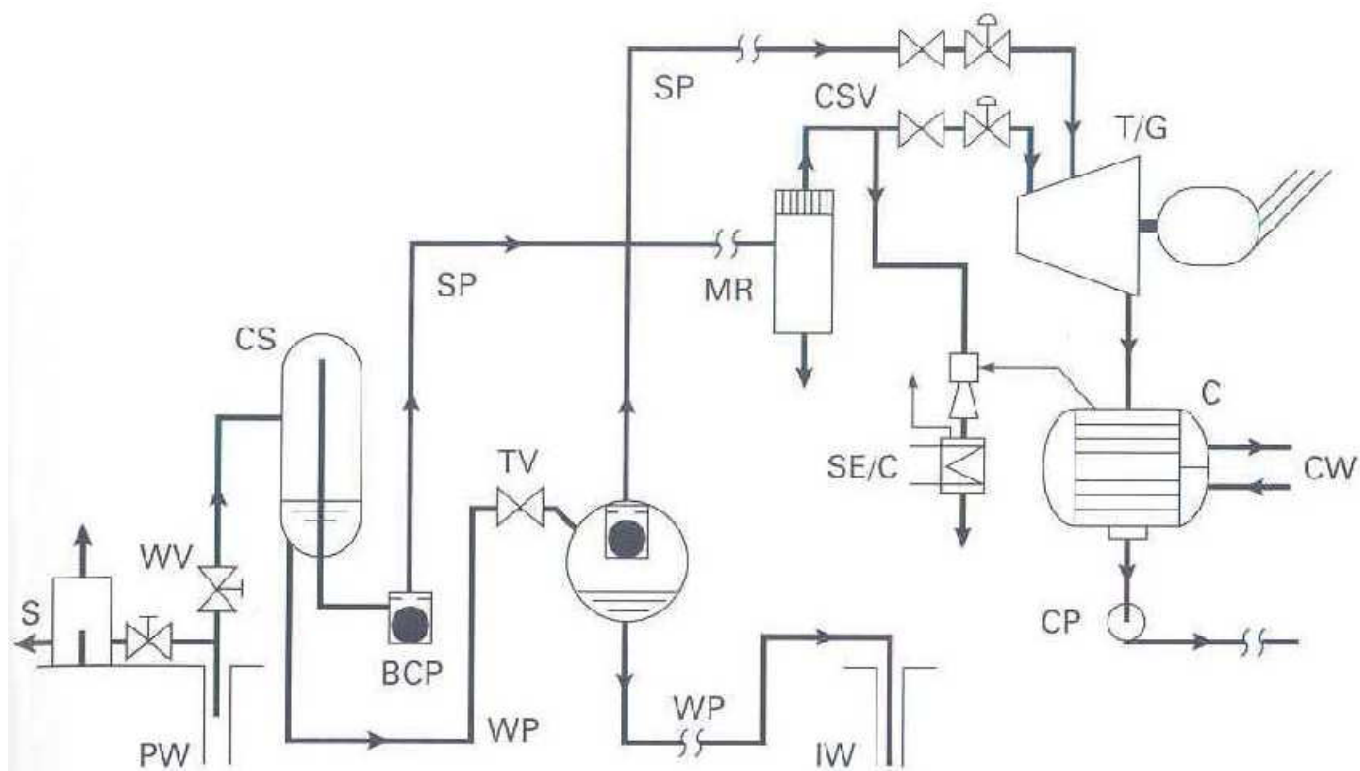
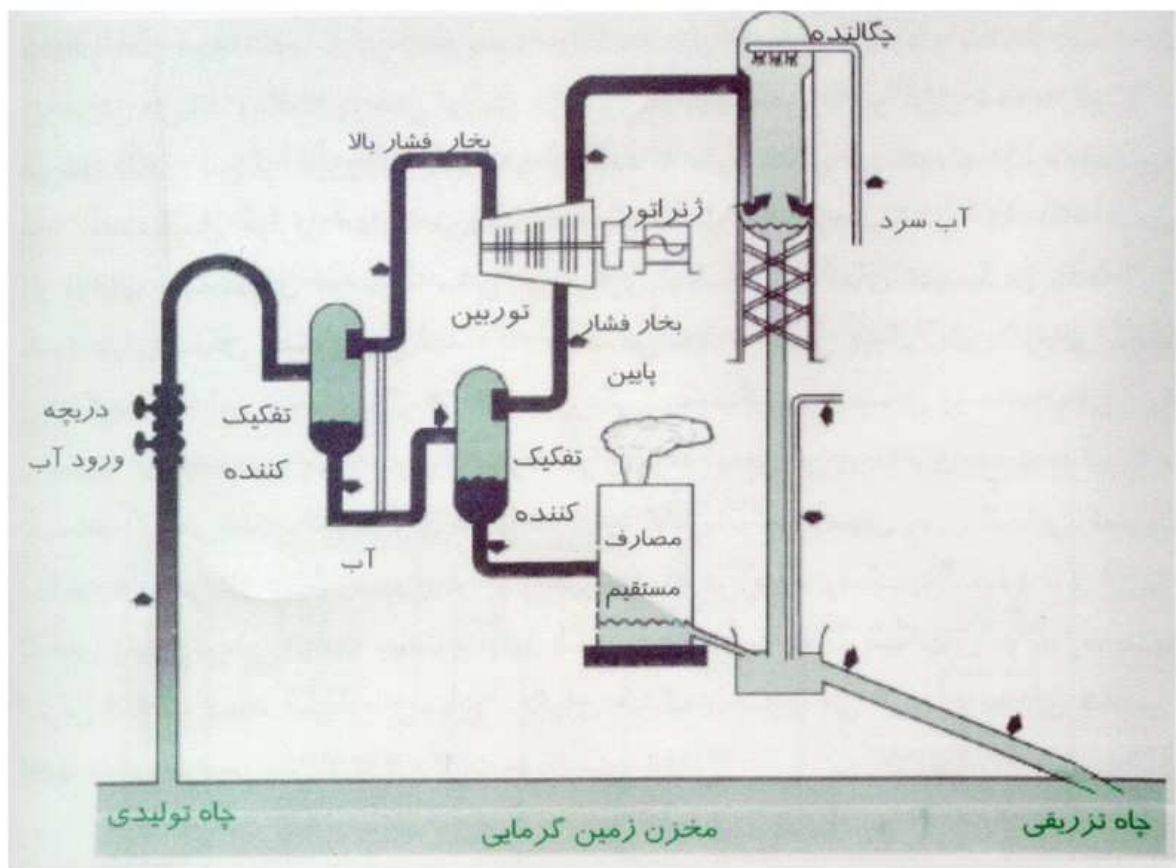


### دو مرحله ای:

این طرح تقریباً شبیه طرح سینگل است، با این تفاوت که مایع جدا شده در جداکننده (ساده یا سایکلون) دوباره به یک جباب با فشار کم رفته و به بخار تبدیل میگردد و به سمت توبین هدایت میشود.

در این نوع، تبخیر آب داغ تحت فشار به بخار در دو دستگاه تفکیک کننده مجزا و در دو مرحله صورت میگیرد. آب داغ پس از تفکیک کننده اول، وارد تفکیک کننده دوم که دارای فشار کمتری است شده و مجدداً مقداری از آن در این دستگاه تبدیل به بخار میشود. بخار حاصل از مرحله ی اول به قسمت فشار بالای توربین و بخار حاصل از مرحله ی دوم وارد قسمت فشار ضعیف توربین میشود که دارای قطر بیشتری است.

این سیستم برای حداکثر بهره گیری از انرژی سیال زمین گرمایی طراحی گردیده است. از این سیستم در بسیاری از نقاط جهان با ظرفیت بین 10 تا 55 مگاوات استفاده شده است. بهترین انتخاب از نظر اقتصادی و بحساب آوردن شرایط محلی ویژه شامل دما و فشار خواهد بود. همچنین باید به مکان و موقعیت مکانی نیروگاه و شرایط بهره برداری دقت نمود بطوریکه در موقع ضروری تغییرات موزد نیاز برای توسعه طرح امکان جداسازی واحد های اضافی را امکان پذیر نماید.



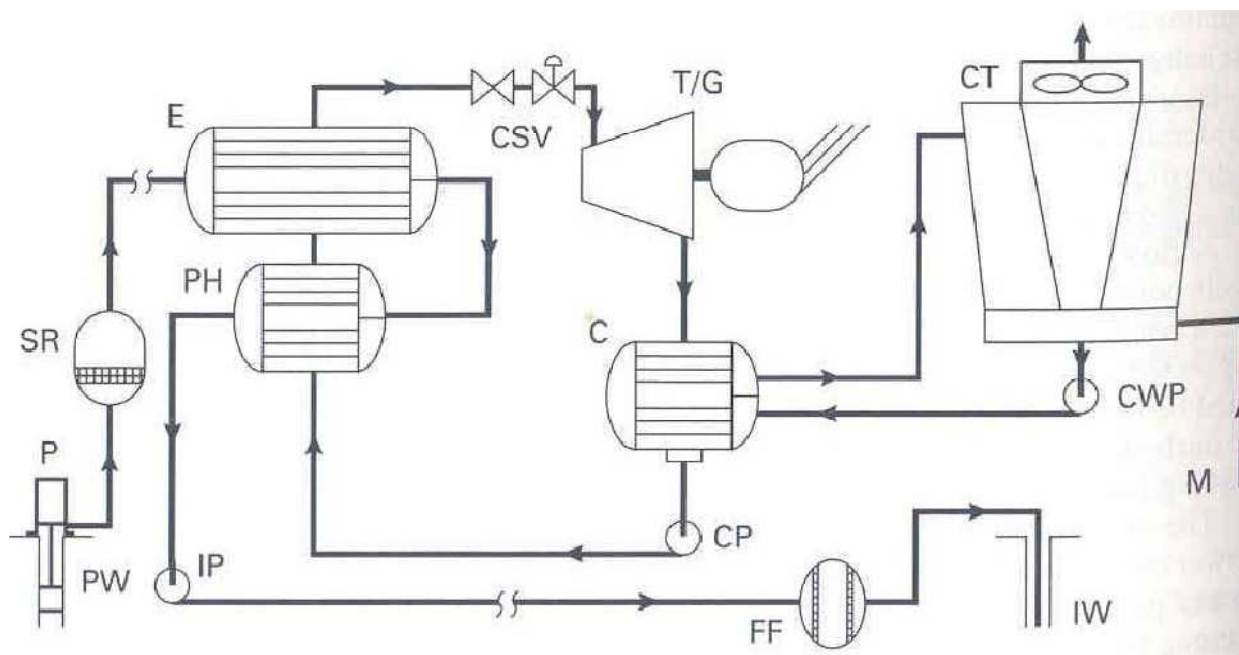
دیاگرام ولی اوت نیروگاه دومرحله ای

### 3- نیروگاههای سیکل دو مداره:

این نیروگاهها برای مخازن هیدرو ترمال تحت مایع که دمای آنها آنقدر بالا نیست تا بتوان در سیکلهای تبخیر آبی استفاده کرد، مناسب است.

همچنین برای مخازنی که دارای آلاینده‌گی می باشند و نیز مخازن آب شور که به دلیل تشکیل رسوبات سخت نمی توانند در روشهای تبخیر آبی مورد استفاده قرار گیرند ، استفاده نمود .این سیستم دارای دودمدار مستقل ازهم میباشد مدار اول مربوط به تولید

سیال زمین گرمایی وانتقال آن به مبدل حرارتی وشامل تجهیزات سر چاهها ، پمپ ها جهت استخراج آب از چاههای تولیدی وپمپ جهت تزریق آبهای مصرف شده به چاههای تزریق می باشد. آب گرم چاه تولیدی بادمایی در حدود 65 تا 200 درجه بوسیله پمپ ته چاه ویا با فشار طبیعی به مبدل حرارتی انتقال یافته ودر آنجا حرارت خود را به مدار دوم میدهد که در آن گازهایی بانقطه جوش پایین مانند ایزوبوتان یا فریون جریان دارند و نقش شاره کارکن نیروگاه را ایفا میکنند ،منتقل میکند وخود سرد میشود.در مدار دوم ،شاره کارکن با دریافت حرارت ،تبدیل به بخار میشود وبا فشار زیاد به سمت توربین جریان می یابد وباعث چرخش توربین شده، درنهایت ژنراتور کوپل شده باتوربین تولید برق میکند. بخار پس از خروج از توربین در چگالنده به مایع تبدیل ودوباره با پمپ تغذیه به سمت مبدل حرارتی هدایت میشود.



#### 4- نیروگاههای با توربین تفکیک دورانی:

آب داغ زمین گرمایی تحت فشار در ابتدا وارد دستگاه تفکیک کننده میشود و مقداری از آن باتبدیل به بخار فشار قوی به سمت طبقه فشار قوی توربین بخار (قطر کوچک توربین) هدایت میشود. باقیمانده سیال در دستگاه تفکیک (آب داغ تحت فشار) به سمت دستگاه تفکیک دورانی (R.S.T) که هم محور با توربین بخار می باشد هدایت میشود. در این مرحله، دو عمل انجام میشود، از یک طرف نیروی حاصل از انرژی جنبشی دستگاه تفکیک دورانی، به سرعت و توان گردشی توربین بخار کمک میکند و از طرف دیگر در دستگاه تفکیک دورانی، مقداری بخار کم فشار تولید می شود، که به سمت طبقه کم فشار توربین (پرههای بزرگ) هدایت میشود، این فرآیند نیز توان گردشی توربین بخار افزایش داده، با استفاده از چنین نیروگاهی، از انرژی آب داغ بهره گیری بیشتری میشود و بازده افزایش می یابد.

اولین واحد اقتصادی از این نوع اولین بار در آمریکا در سال 1985 به ظرفیت نهمی 9 مگاوات در ایلت نوادا بهره برداری شد.

#### 5- نیروگاههای سیکل ترکیبی:

در این نیروگاهها در کنار انرژی حرارتی حاصل از منابع زمین گرمایی از انرژی حرارتی دیگر نظیر: سوختهای فسیلی جهت کمبود انرژی حرارتی نیروگاه استفاده میشود. در این نیروگاه سیال زمین گرمایی در یک مبدل حرارتی، حرارت خود را به شاره کارکن (آب مقطر) انتقال داده و منجر به پیش گرم کردن آن میشود سپس آب گرم مذکور با استفاده از انرژی حرارتی حاصل از احتراق سوختهای متداول در داخل مولد بخار تبدیل به بخار میشود و بخار تولیدی با عبور از توربین باعث چرخش محور شده و بدین ترتیب در ژنراتور کوپل شده به توربین انرژی الکتریکی تولید میشود. بزرگترین مزیت این روش این است که بایست گرم کردن آب توسط انرژی حرارتی منبع زمین گرمایی، در میزان مصرف سوخت نیروگاه صرفه جویی میشود.

### دیدگاههای اقتصادی در ارزیابی پروژه‌های زمین گرمایی:

هزینه بهره‌برداری از منابع انرژی زمین گرمایی به میزان زیادی به توان تولیدی چاه‌های حفر شده بستگی دارد. بطور کلی توان تولیدی هر چاه از حدود 2 تا 30 مگاوات الکتریکی متغیر است. همچنین هزینه حفاری چاهها و تعداد چاه‌هایی که به هر علت ناموفق و غیرتولیدی می‌باشند در هزینه‌های سرمایه‌گذاری تأثیر به سزایی دارد. از جمله عوامل دیگر به نوع سیستمها، شرایط و مشخصات میدان زمین گرمایی می‌توان اشاره کرد. بطور مثال هزینه حفر یک چاه در حوزه زمین گرمایی پاریس تا یک میلیون دلار می‌رسد درحالی‌که در میدانهای زمین گرمایی ایسلند و ایتالیا که سیستمهای درجه حرارت بالا هستند این میزان در حدود چند صد هزار دلار می‌باشد.

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

#### 1- هزینه‌های مرحله اکتشافی

#### 2- 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 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 زمین گرمایی 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، 30 درصد می‌باشد و هزینه متعارف این نوع مطالعات در دنیا 300 هزار دلار برآورد شده است.

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 زمین‌گرمایی

- ارزیابی خصوصیات و پتانسیل ذخایر انرژی زمین‌گرمایی

- 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 50 درصد افزایش پیدا می‌کند. طبق اطلاعات موجود این بخش از مطالعات بطور معمول 1 تا 2 میلیون دلار هزینه دارد.

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

- اثبات وجود مخزن زمین‌گرمایی

- اثبات و تعیین مقدار پتانسیل انرژی زمین‌گرمایی قابل بهره‌برداری

- ارزیابی کمی منبع زمین‌گرمایی از نظر آنتالپی، 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

- ارزیابی و بررسی‌های زیست محیطی پروژه

پس از انجام مطالعات مربوط به این بخش، احتمال موفقیت در دستیابی به یک منبع قابل بهره‌برداری 70 درصد خواهد بود. این بخش از مطالعات بطور متوسط 10 تا 15 میلیون دلار هزینه دربردارد.

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. مقایسه قیمت تمام شده تولید برق بوسیله نیروگاه‌های زمین‌گرمایی با دیگر انواع انرژی‌های نو و سوخت‌های فسیلی در جدول زیر نشان داده شده است.

مقایسه هزینه‌های تولید برق در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی با نیروگاه‌های سوخت فسیلی و سایر انرژی‌های نو

نوع نیروگاه نوع سیستم قیمت تمام شده (سنت/کیلووات ساعت)

زمین گرمایی تبخیر آبی (single flash) دومداره (3/36/3) binary

باد 5

بیوماس 8/7

خورشیدی حرارتی فتوولتائیک 1337/6

گاز طبیعی 3/1

نفت 4/3

زغالسنگ 3

هسته ای 3/8

## بررسی اقتصادی انرژی زمین گرمایی:

| هزینه های تولید (سنت بر کیلو وات) |          |      |                                |                         | سرمایه گذاری<br>(دلار بر کیلو وات) | نوع نیروگاه                          |
|-----------------------------------|----------|------|--------------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| ایالتا                            | آمریکا   | ژاپن | فرانسه<br>گودالپ<br>(4 مگاوات) | جیبوتی (20 مگا<br>واتی) |                                    |                                      |
| 1/2                               | 3/6      | 8/8  | -                              | 20                      | 725                                | بخاری با سوخت نفت                    |
| 4                                 | 4/3      | -    | -                              | -                       | 1100                               | بخاری با سوخت زغال سنگ               |
| 9/2                               | 6/3      | -    | -                              | -                       | 1500                               | هسته ای                              |
| 2/2                               | 9/3      | 8/8  | -8/11                          | -6/12                   | 1000                               | زمین گرمایی (بخار خشک<br>و تبخیراتی) |
| 2/2                               |          |      | 2/8                            | 6/9                     |                                    |                                      |
|                                   | 1/5-5/16 |      |                                |                         | 3600                               | زمین گرمایی (سیستم دو<br>مداره)      |

## هزینه متوسط جهانی تولید برق از زمین گرمایی:

| هزینه تولید (سنت بر کیلو وات ساعت) |                        |                       | ظرفیت نیروگاه              |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|
| مخزن با کیفیت<br>پایین             | مخزن با کیفیت<br>متوسط | مخزن با کیفیت<br>بالا |                            |
| 6-5/10                             | 5/5-5/8                | 5-7                   | کوچک (کمتر از 5 مگا وات)   |
| نامناسب                            | 5/4-7                  | 4-6                   | متوسط (5-30 مگا وات)       |
| نامناسب                            | 4-6                    | 5/2-5                 | بزرگ (بزرگتر از 30 مگاوات) |

هزینه مربوط به ساخت و راه اندازی یک نیروگاه زمین و گرمایی در حد وسیعی میتواند تغییر کند و به

ضرایب زیر مربوط می شود:

- نوع منبع (بخار یا آب گرم)
- اندازه نامی نیروگاه
- دمای منبع
- نوع نیروگاه
- محصول از نظر حجمی مخزن
- تغییرات آب و هوایی
- هزینه سرمایه گذاری
- هزینه کار

سه ضریب اول از تعداد چاههایی که باید حفر شود متاثر می شوند. با استفاده از هزینه نوعی و پتانسیل توان برای تولید چاهها، یک چاه واحد می تواند قیمتی حدود ۱۰۰ تا ۴۰۰ دلار برای هر کیلو وات داشته باشد. سه مورد دیگر، هزینه سرمایه گذاری سیستم مبدل انرژی را تعیین می کند. دو مورد آخر هزینه بهره برداری طرح مثل قیمت و هزینه سرویس، بهره برداری و نگهداری (Q&M) مربوط می شوند.

هزینه های سرمایه گذاری بر حسب کیلو وات تغییر می آند و این تغییر به صورت معکوس نسبت به دما و مقادیر نامی خواهد بود. هزینه های نگهداری و تعمیرات سالانه با مقادیر نامی افزایش می یابد، اما وابسته به دمای سیال زمینی و اندازه طرح است. این هزینه ها در مواقعی که با منابع انرژی تجدید ناپذیر و بطور مستقل برای مکانهایی که الکتریسیته بوسیله موتورهای دیزلی کنترل می شود. مقایسه شوند مناسب می باشد.

### کاربرد عینی انرژی زمین گرمایی در کشور ترکیه:

در سال 1963 نخستین چاه زمین گرمایی در ترکیه در منطقه Kizildere حفر شد. با خروج بخار از چاه مذکور، صنعت انرژی زمین گرمایی در این کشور متولد شد. طی سالهای گذشته بخش عمده توسعه کاربرد انرژی زمین گرمایی در کشور ترکیه، در زمینه طرحهای کاربرد مستقیم رخ داده است. در بخش گرمایش 65000 خانه از این انرژی (معادل MWt 750) استفاده می کنند. مساحت گلخانه های زمین گرمایی نیز 2635000 m<sup>2</sup> است. از آب داغ 200 چشمه نیز جهت درمان بیماریها استفاده می شود که انرژی حرارتی آب آنها معادل MWt 327 است. علاوه بر این، مطالعات طراحی جهت تامین گرمایش 300000 خانه نیز انجام شده است. با احتساب تمامی موارد فوق، در اکتبر 2004 میزان انرژی حرارتی مورد استفاده در کلیه طرحهای کاربرد مستقیم معادل MWt1077 بود.

مقدار تولید برق نیز در نیروگاه زمین گرمایی Kizildere که تنها نیروگاه زمین گرمایی ترکیه است از 90 GWh به 108 GWh افزایش یافته است. در منطقه Kizildere علاوه بر نیروگاه، تاسیسات تولید گاز CO<sub>2</sub> نیز وجود دارد. بدین ترتیب که بخشی از گاز CO<sub>2</sub> آزاد شده در کندانسور نیروگاه، به CO<sub>2</sub> مایع تبدیل می شود. این فرآیند در کارخانه یخ خشک سازی که در مجاورت نیروگاه قرار دارد انجام می شود. میزان تولید کارخانه مذکور 120/000 تن در سال است که از آن در صنعت نوشابه سازی ترکیه استفاده می شود. شایان ذکر آنکه تاکنون فقط 3/5 درصد پتانسیل انرژی زمین گرمایی در ترکیه مورد بهره برداری قرار گرفته است. بر اساس برآوردهای انجام شده، پتانسیل انرژی گرمایش منازل به کمک انرژی زمین گرمایی در ترکیه MWt31500 (معادل گرمایش 5 میلیون خانه) است. این در حالی است که طبق شرایط فنی و اقتصادی کنونی، می توان به کمک این انرژی، گرمایش یک میلیون خانه را تامین کرد.

یکی از پروژه های گرمایش منطقه ای موفق در ترکیه، پروژه منطقه Salihli بود که در ژانویه 2002 راه اندازی شد و به کمک آن گرمایش 24000 خانه تامین شد. میزان درآمد ترکیه از صنعت زمین گرمایی شامل تولید برق، گرمایش منطقه ای، تولید CO<sub>2</sub>، طرحهای گردشگری و سایر موارد حدود 1/400/000 دلار است. تعداد افراد شاغل در صنعت مذکور نیز 40000 نفر است. در سال 2004، استفاده از انرژی زمین گرمایی در ترکیه، موجب صرفه جویی در مصرف سوختهای فسیلی به میزان 500 میلیون دلار شده است.

### تولید سیال زمین گرمایی:

از سال 2000 تاکنون، تعداد 54 حلقه چاه تولیدی زمین گرمایی توسط موسسه تحقیق و اکتشاف مواد معدنی (MTA) حفر شده است. بنابراین مجموعه چاههای حفر شده توسط بخش دولتی ترکیه 352 حلقه چاه است. مجموع چاههای حفر شده توسط بخش دولتی و خصوصی، حدود 500 حلقه چاه برآورد شده است. میزان انرژی حرارتی تولید شده توسط چاههای موجود و چشمه‌های آبگرم طبیعی در ژوئن 2003 معادل MWt3293 بوده است. لازم به ذکر آنکه برای محاسبه انرژی حرارتی مذکور، درجه حرارت میانگین چشمه‌ها 40 درجه سانتی‌گراد فرض شده است.

### سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای:

در حال حاضر در 14 شهر ترکیه، بخشی از گرمایش منازل، توسط انرژی زمین گرمایی تامین می‌شود. این سیستم‌ها از سال 1987 نصب و راه‌اندازی شده‌اند و از آن زمان تاکنون، سیستم‌های مذکور در ابعاد فنی و اقتصادی توسعه قابل توجهی یافته‌اند. توسعه سریع سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای در ترکیه عمدتاً به عوامل زیر بستگی دارد:

- احداث سیستم‌های گرمایش متناسب با شرایط خاص ترکیه
- مشارکت مردم در تامین مالی پروژه‌ها به میزان 50٪ الی 60٪ کل سرمایه
- گرمایش زمین گرمایی حدود 50٪ الی 70٪ ارزان‌تر از گرمایش به کمک گاز طبیعی است.

تعدادی سیستم گرمایش منطقه‌ای حرارت پایین در این کشور وجود دارند که اسامی آنها به شرح زیر است: سیستم گرمایش منطقه‌ای

Afyon - Orucoglu، 48 درجه سانتی‌گراد سیستم گرمایش منطقه‌ای

Bolu - Karacasu، 44 درجه سانتی‌گراد سیستم گرمایش درمانگاه

Rize- Ayder، 55 درجه سانتی‌گراد سیستم گرمایش منطقه‌ای Hatay- Kumlu، گرمایش کف، 37 درجه

سانتی‌گراد سیستم گرمایش منطقه‌ای Samsun- Havza، 54 درجه سانتی‌گراد

علاوه بر این در شهر Haymana، گرمایش یک مسجد توسط آبداغ 54 درجه سانتی‌گراد و به کمک سیستم گرمایش کف تامین می‌شود.

## تاسیسات حرارتی و کاربردهای درمانی

ترکیه یکی از معدود کشورهایی است که در آن، انواع مختلف جاذبه‌های گردشگری نظیر دریا، آفتاب تابان، آثار تاریخی و چشمه‌های آب گرم و خواص درمانی آنها به طور همزمان وجود دارد. مهمترین امتیاز عوامل فوق از یک سو افزایش انواع و تعداد گردشگران و از سوی دیگر افزایش زمان فصل گردشگری و بازدید از کشور به سراسر سال است. زیرا بدون در نظر گرفتن جاذبه‌های زمین‌گرمایی، زمان بازدید از ترکیه به 4 الی 5 ماهی محدود می‌شود که در آن شرایط دریا، آفتاب و جاذبه‌های تاریخی مناسب‌تر از بقیه اوقات سال است. بنابراین عوامل مذکور به همراه چشمه‌های آب گرم، مزایای اقتصادی فراوانی برای مناطق فوق بوجود خواهند آورد.

برخی از شهرهایی که در آنها دریا و جاذبه‌های زمین‌گرمایی توأم وجود دارند عبارتند از: Datca, Kusadasi, Bodrum و Erdemit شهرهای فوق در ساحل دریاهای اژه و مدیترانه واقع شده‌اند. در منطقه Cesme (در حومه شهر ازمیر) آبداغ خروجی از چشمه‌های آبگرم به هتلهای اطراف منتقل شده و از آن جهت درمان بیماریها استفاده می‌شود. طبق شواهد موجود این ابتکار بسیار موفقیت‌آمیز بوده است.

بر اساس برآوردهای بعمل آمده، میزان آبداغ (با درجه حرارت تقریبی 40 درجه سانتی‌گراد) قابل استخراج جهت کاربردهای درمانی در کشور ترکیه حدود 50/000 لیتر بر ثانیه است. با این حجم آبداغ می‌توان روزانه از حدود 8 میلیون نفر گردشگر در استخرهای شنا و سایر تاسیسات درمانی پذیرایی کرد. طبق آمارها سالیانه حدود 7 میلیون گردشگر داخلی و 10/000 گردشگر خارجی از امکانات درمانی کشور ترکیه بازدید می‌کنند.

در سال 2001، مراکز درمانی 44 (Bolu-Karacasu) درجه سانتی‌گراد و 56 (Cavundur) درجه سانتی‌گراد)

آغاز بکار کردند. از سوی دیگر در منطقه Balikesir Pamukcu نیز تاسیسات درمانی Balpas (شامل

ساختمان اصلی و خط انتقال لوله آبداغ) احداث و راه‌اندازی شده است. آبداغ تاسیسات درمانی مذکور توسط

دو چاه تولیدی تامین می‌شود. درجه حرارت و دبی چاههای یاد شده به ترتیب 67 درجه سانتی‌گراد و 40 l/s

است. البته آبداغ خروجی از چاهها علاوه بر درمان بیماریها، گرمایش فضای درمانگاهها را نیز تامین می‌کند.

بر اساس برنامه راهبردی تهیه شده، در سال 2020 باید تعداد گردشگران زمین‌گرمایی داخلی ترکیه به حدود 30 میلیون نفر و گردشگران خارجی به یک میلیون نفر در سال افزایش یابد.

## گرمایش گلخانه‌ای

ظرفیت گرمایش گلخانه‌ها در ترکیه به 145 MWt افزایش یافته است. بویژه پس از آنکه 190/000 مترمربع گلخانه زمین‌گرمایی در منطقه Dikili (حومه شهر ازمیر) و سایر نواحی احداث شد. مشخصات گلخانه‌های زمین‌گرمایی ترکیه در جدول (2) ارائه شده است.

## تولید برق

تولید برق از انرژی زمین‌گرمایی مقرون به صرفه است زیرا در مقایسه با نیروگاههای حرارتی و برق‌آبی، دارای هزینه‌های نصب و بهره‌برداری نسبتاً کمتری است. در حال حاضر در ترکیه حدود 10 میدان زمین‌گرمایی حرارت بالا که توانایی تولید برق با استفاده از سیکل‌های تبخیر آبی و یا دو مداره را دارند شناخته شده است. میدانهای زمین‌گرمایی مذکور عبارتند از:

میدان زمین‌گرمایی

242 Denizli- Kizildere (درجه سانتی‌گراد) میدان زمین‌گرمایی

232 Aydin- Germencik-Omerbeyli (درجه سانتی‌گراد) میدان زمین‌گرمایی

182 Manisa- Salihli-Gobekli (درجه سانتی‌گراد) میدان زمین‌گرمایی

1174 Canakkale- Tuzla (درجه سانتی‌گراد) میدان زمین‌گرمایی

171 Aydin Salavth (درجه سانتی‌گراد) میدان زمین‌گرمایی

162 Kutahya- Simav (درجه سانتی‌گراد) میدان زمین‌گرمایی

150 Manisa- Salihli- Caferbey (درجه سانتی‌گراد) میدان زمین‌گرمایی

153 Izmir- Seferihesar (درجه سانتی‌گراد) میدان زمین‌گرمایی

142 Izmir- Balcova (درجه سانتی‌گراد) میدان زمین‌گرمایی

142 Aydin- Yilmazkoy (درجه سانتی‌گراد)

طبق برآوردهای انجام شده، میدان زمین‌گرمایی Aydin-Germencik قابلیت تولید 100 Mwe برق را دارد. در حال حاضر صرفاً یک نیروگاه زمین‌گرمایی فعال در منطقه Kizildere وجود دارد. پیش‌بینی می‌شود که در آینده بسیار نزدیک، یک نیروگاه زمین‌گرمایی در منطقه Germencik (در نزدیکی میدان زمین‌گرمایی Aydin-Germencik) احداث شود.

### نیروگاه زمین گرمایی Kizildere

این نیروگاه دارای سیکل تبخیر آبی یک مرحله‌ای است. بدین ترتیب که مخلوط آبداغ و بخار با درجه حرارت 150 درجه و 15 بار فشار سر چاه به دو قسمت بخار خشک و آبداغ در درجه حرارت 147 درجه سانتی‌گراد و 3/5 بار تبدیل می‌شود. بخار خشک به سمت توربین هدایت شده و ژنراتور و یک کمپرسور را به گردش در می‌آورد.

در سال 2002 با حفر یک چاه جدید که درجه حرارت انتهای آن 242 درجه سانتیگراد بود و انتقال سیال خروجی از آن به نیروگاه، ظرفیت نیروگاه Kizildere از 90 GWh به 108 GWh افزایش یافت. حدود 25٪ آبداغ تولید شده در جداکننده‌ها مجدداً به درون زمین تزریق می‌شود.

### نیروگاه زمین گرمایی Germencik

طبق برنامه ریزی‌های انجام شده، یک نیروگاه زمین گرمایی 25 مگاواتی در منطقه زمین گرمایی Germencik احداث خواهد شد. برای تامین سیال نیروگاه مذکور، تعداد 5 حلقه چاه تولیدی و 3 حلقه چاه تزریقی حفر خواهد شد. مقدار کل سیال خروجی از چاه‌ها و درجه حرارت آن نیز به ترتیب حدود 1434 t/h و 210 درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

### استخراج مواد معدنی

همانگونه که در بخش مقدمه عنوان شد در مجتمع تولید CO<sub>2</sub> مجاور نیروگاه Kizildere، سالانه 120/000 تن CO<sub>2</sub> مایع و یخ خشک تولید می‌شود.

### سایر موارد

تاکنون گزارشهای امکان‌سنجی طرحهای گرمایش منطقه‌ای شهرهای Salihli (از توابع شهر Manisa)، Aliage (از توابع شهر ازمیر)، Erdemit (از توابع شهر Balikesir) و Sivas تهیه شده است. همچنین گزارشهای پیش امکان‌سنجی طرحهای گرمایش منطقه‌ای نواحی Denizli - Saraykoy و Bursa آماده شده است. در ادامه به چند نمونه از طرحهای گرمایش منطقه‌ای اشاره می‌شود.

### پروژه گرمایش منطقه‌ای Salihli

پس از حفر 3 حلقه چاه تولیدی در منطقه زمین‌گرمایی Kursunlu در سال 1992، کارشناسان تصمیم گرفتند که از آبداغ خروجی از چاهها جهت تامین گرمایش منازل شهر Salihli استفاده کنند. سیستمهای زمین‌گرمایی منطقه Salihli شامل سیستم گرمایش منطقه‌ای، پمپهای حرارتی زمین‌گرمایی، درمانگاههای آب درمانی، گلخانه‌ها و کارگاههای تولید رزین است. در حال حاضر در منطقه Salihli از مجموع سیستمهای فوق، درمانگاه آب درمانی و سیستم گرمایش منطقه‌ای راه‌اندازی شده است.

میدان زمین‌گرمایی مربوطه نیز در فاصله 3 الی 4 کیلومتری از شهر واقع شده است. ضمناً موقعیت جغرافیایی میدان مذکور به نحوی است که از نظر ارتفاع سطح زمین، حدود 100 متر بالاتر از شهر قرار دارد. سیال زمین‌گرمایی نخست به سمت ایستگاه پمپاژ که تقریباً در مرکز شهر واقع شده است، هدایت شده و پس از تزریق مجدد، دوباره به میدان زمین‌گرمایی منتقل می‌شود.

در ایستگاه پمپاژ تعدادی مبدل حرارتی و پمپ به ظرفیت حرارتی MWt28 وجود دارد که به دلیل مدولار بودن، قابلیت توسعه نیز دارند. هر مدول (واحد) دارای ظرفیت MWt14 است.

در فصل زمستان سالهای 2003 و 2004، گرمایش 3000 خانه به کمک انرژی زمین‌گرمایی تامین شد. بر اساس برنامه‌ریزیهای انجام شده، نصب و راه‌اندازی سیستم در سایر بخشهای شهر Salihli نیز در آینده ادامه خواهد یافت. مبلغ کل سرمایه‌گذاری انجام شده در سیستم گرمایش منطقه‌ای Salihli، 35 میلیون دلار است که زمان برگشت آن 7/4 سال است.

### پروژه گرمایش منطقه‌ای Erdemit

در این پروژه، گرمایش 7500 منزل توسط سیال زمین‌گرمایی تامین خواهد شد. میزان انرژی زمین‌گرمایی مورد استفاده در این پروژه، معادل انرژی حاصل از سوختن 17318 تن نفت در سال است. از سوی دیگر به دلیل عدم استفاده از سوختهای فسیلی در حین بهره‌برداری از این پروژه، معادل 53586 تن گاز CO2 به جو زمین وارد نخواهد شد. بر اساس مندرجات گزارش امکان‌سنجی پروژه فوق، توصیه شده است که از سیال زمین‌گرمایی علاوه بر تامین گرمایش منازل، جهت گرم کردن فضای گلخانه‌ها نیز استفاده شود. گلخانه‌های مورد بحث متعاقباً در منطقه احداث خواهند شد و بدیهی است که بهره‌برداری از آنها موجب رونق اقتصادی منطقه مذکور خواهد شد.

مبلغ کل سرمایه بکار رفته در پروژه Erdemit 5/8 میلیون دلار و زمان برگشت آن، 8 سال است. سیال مورد نیاز این سیستم گرمایشی توسط دو حلقه چاه تولیدی (با درجه حرارت 60-62 درجه سانتی گراد و دبی 1101 l/s) تامین می شود. سیال خروجی از سیستم نیز از طریق یک چاه تزریقی مجدداً بدرون مخزن زمین گرمایی منتقل می شود.

فاصله بین میدان زمین گرمایی و مرکز شهر، 3/5 کیلومتر است. مقدار افت حرارت در لوله های انتقال سیال با دبی موجود 0/5 درجه سانتی گراد برای مسافت فوق است. البته پس از افزایش دبی جریان، افت حرارت در لوله ها از مقدار فوق الذکر، کمتر خواهد شد. بر اساس اطلاعات موجود، جهت تامین سیال مورد نیاز پروژه در منطقه، یک چاه دیگر نیز با عمق حدود 500 متر حفر شده است.

### پروژه گرمایش منطقه ای Aliaga

در این پروژه، گرمایش 7500 منزل مسکونی و 300/000 مترمربع گلخانه در نظر گرفته شده است. کل انرژی حرارتی مورد نیاز برای گرم کردن فضاهای فوق، 56650 Kwh است که 45900 Kwh آن از طریق انرژی زمین گرمایی و 10750 Kwh آن از طریق سوخت های فسیلی تامین خواهد شد. با استفاده از انرژی زمین گرمایی در این پروژه، از یک سو معادل 11215 تن در سال در مصرف سوخت های فسیلی صرفه جویی شده و از سوی دیگر، سالیانه از انتشار 36132 تن گاز CO<sub>2</sub> (به دلیل عدم استفاده از سوخت های فسیلی) در جو زمین جلوگیری می شود. میدان زمین گرمایی تامین کننده آبداغ مورد نیاز پروژه، در فاصله 4 کیلومتری از شهر واقع شده است. مقدار کل سرمایه احداث پروژه گرمایش منطقه ای Aliaga، 11 میلیون دلار و دوره برگشت آن 7 سال است.

### پروژه گرمایش منطقه ای Sivas- Sicakcermik

هدف اصلی از اجرای پروژه فوق، تامین گرمایش 7300 خانه، تصفیه آبداغ زمین گرمایی و تبدیل آن به آب قابل شرب، آبیاری زمین های کشاورزی و تامین آب مورد نیاز ایستگاه های آتش نشانی از رودخانه Yildiz و جمع آوری و تصفیه آبداغ خروجی از تاسیسات پروژه است. کل انرژی حرارتی مورد نیاز برای راه اندازی سیستم های فوق 97700 Kwt است که 71000 Kwt آن از انرژی زمین گرمایی و 26700 Kwt آن از طریق سوخت های فسیلی تامین خواهد شد. با استفاده از انرژی زمین گرمایی در این پروژه، معادل 30261 تن در سال در مصرف سوخت های فسیلی صرفه جویی شده و همچنین

سالیانه از انتشار 73569 تن گاز CO<sub>2</sub> در جو زمین جلوگیری خواهد شد. مقدار کل سرمایه احداث پروژه زمین گرمایی Sivas-Sicakcermik، 13 میلیون دلار و دوره برگشت آن 7 سال است. البته لازم به ذکر آنکه علاوه بر پروژه‌های فوق‌الذکر، در آینده پروژه‌های مشابهی نیز جهت استفاده از میادین زمین گرمایی اطراف شهرهای Afyon, Aydin, Nevsehir, Yozgat, Usak, Eskisehir, Mugla و طراحی و احداث خواهد شد.

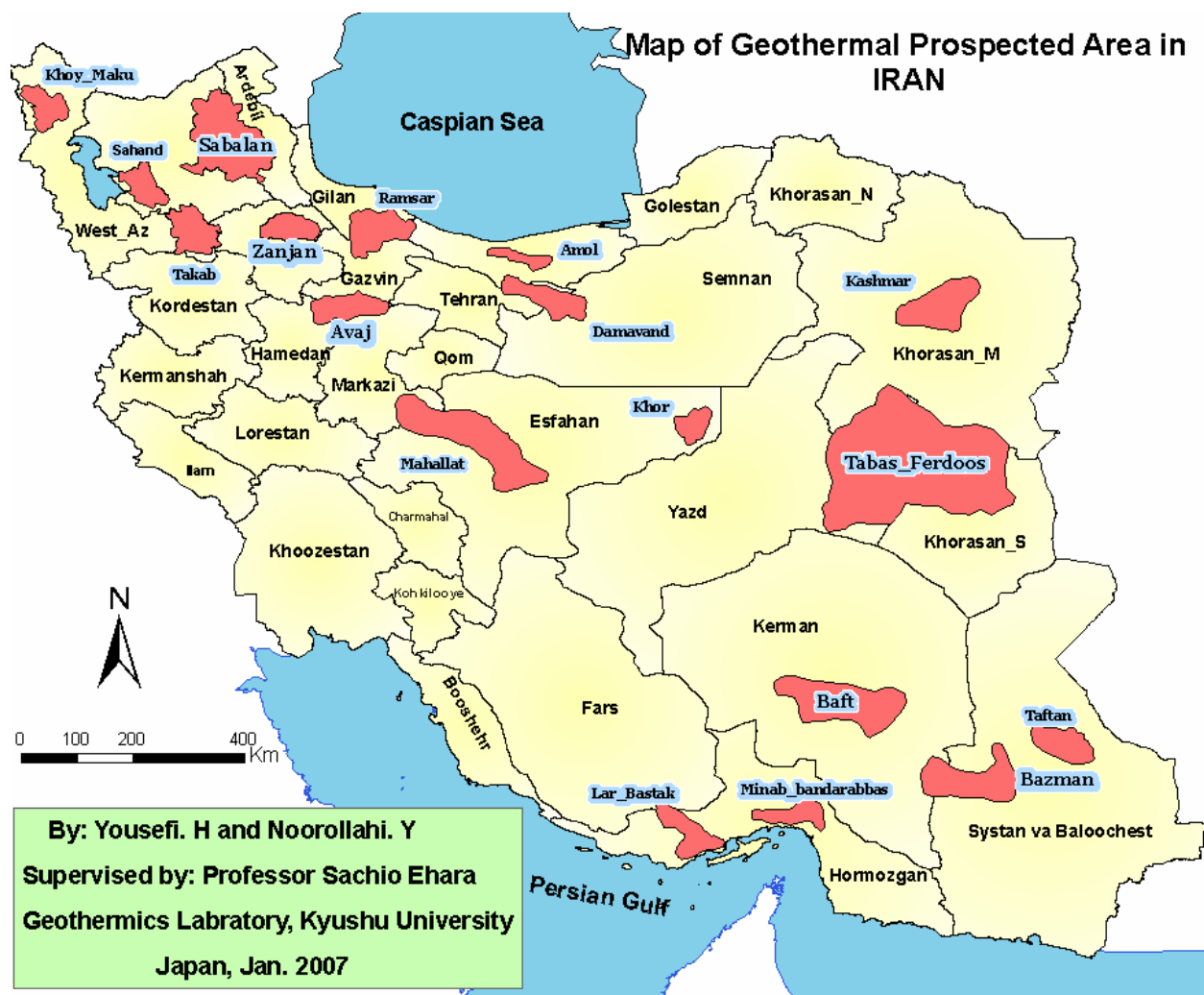
- طی دوره چهارساله 2000 الی 2004 کاربردهای مستقیم و تولید برق از انرژی زمین گرمایی در ترکیه به ترتیب 31٪ و 21٪ رشد داشته است.

- با استفاده از ظرفیت حرارتی کلیه منابع زمین گرمایی ترکیه (Mwt31500) در بخش های مختلف گرمایش منازل، گلخانه‌ها و سایر تاسیسات حرارتی، درمان بیماریها، تولید مواد و کاربردهای صنعتی، سالانه حدود 20 میلیارد دلار به درآمد این کشور افزوده خواهد شد.

- چنانچه پتانسیل انرژی زمین گرمایی ترکیه به طور کامل مورد استفاده قرار گیرد، در آن صورت 5٪ انرژی برق و 30٪ انرژی حرارتی مورد نیاز این کشور از طریق منابع زمین گرمایی تامین خواهد شد. با تلفیق مقادیر فوق، مشخص می‌شود که انرژی زمین گرمایی قادر است 14٪ انرژی (برق و حرارت) مورد نیاز ترکیه را تامین کند.

- طبق برنامه‌ریزیهای بعمل آمده، باید در سال 2020، تعداد گردشگران زمین گرمایی داخلی و خارجی ترکیه، به ترتیب به 30 و 1 میلیون نفر افزایش یابد. بدین ترتیب با این تعداد گردشگر، گردش مالی صنعت گردشگری زمین گرمایی ترکیه به 17 میلیارد دلار در سال خواهد رسید که رقم قابل توجهی است. البته از این مقدار، 15 میلیارد دلار مربوط به گردشگران داخلی و 2 میلیارد دلار مربوط به گردشگران خارجی خواهد بود.

- طبق پیش‌بینی‌های بعمل آمده، در آینده، سهم مصرف‌کننده در تامین هزینه‌های احداث سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای زمین گرمایی 50 الی 60٪ خواهد بود. بدین معنی که مصرف‌کننده برای تامین گرمایش هر 100 مترمربع منزل خود، 1250 تا 1850 دلار پرداخت خواهد کرد. مصرف‌کننده، مبلغ فوق را یا مستقیماً به شهرداریها می‌پردازد و یا به شرکتهایی که مشترکاً وسط فرمانداریها و شهرداریها تشکیل خواهد شد، پرداخت می‌کند. در واقع هزینه مذکور، صرف اتصال منازل به شبکه گرمایش منطقه‌ای می‌شود.



### انرژی زمین گرمایی در ایران:

انرژی زمین گرمایی با توجه به ظرفیت سنجیهای صورت گرفته در ایران یکی از مناسبترین انرژیهای تجدیدپذیر قابل جایگزینی برای سوختهای فسیلی در کشور است.

براساس مطالعات دفتر انرژی زمین گرمایی سازمان انرژیهای نو ایران منطقه مشکین شهر بهترین نقطه برای استفاده از ظرفیت انرژی زمین گرمایی در کشور است به طوری که مهمترین هدف این دفتر، ساخت و راهاندازی نیروگاه زمین گرمایی به ظرفیت اسمی ۱۰۰ مگاوات در این منطقه است.

بررسی مطالعات موجود و برنامه‌ریزی برای نصب و راهاندازی نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر از سوی گروه نیروگاهی دفتر انرژی زمین گرمایی از سال ۷۴ آغاز شد.

فعالیت های اجرایی این طرح در قالب فاز اکتشافی شامل مطالعات ژئوفیزیک، ژئوشیمی و زمین شناسی با همکاری مهندسان مشاور نیوزلندی (KML) با هدف احداث نخستین نیروگاه زمین گرمایی در ایران از سال ۷۷ شروع و با تعیین نقاط حفاریهای اکتشافی مطالعه در فاز اکتشافی در سال ۷۸ به پایان رسید.

عملیات حفاری نخستین چاههای اکتشافی زمین گرمایی این طرح از سوی پیمانکار حفاری (شرکت حفاری ایران) و با نظارت کارشناسان شرکت نیوزلندی SKM صورت گرفت.

بر اساس مطالعات گروه نیروگاهی دفتر انرژی زمین گرمایی، نخستین چاه اکتشافی زمین گرمایی مشکین شهر به صورت عمودی با عمق سه هزار و ۲۰۰ متر و دمایی بالغ بر ۲۵۰ درجه سانتیگراد حفر شده است.

چاه اکتشافی دوم به صورت انحرافی به عمق سه هزار و ۱۷۷ متر حفر شد که دمای انتهای چاه ۱۴۰ درجه سانتیگراد است و پس از آن چاه اکتشافی سوم به صورت انحرافی و به عمق دو هزار و ۲۶۵ متر و با دمای ۲۱۱ درجه سانتیگراد حفاری شد.

پس از پایان حفاری چاه های اکتشافی هم‌اکنون تجهیزات فلزی آزمایش چاه بر روی چاه اکتشافی اول نصب شده است و دفتر انرژی زمین گرمایی همراه با مشاور نیوزلندی در حال بهره‌برداری از این چاه و نتایج به دست آمده در حال بررسی است.

توسعه کاربرد منابع انرژی زمین گرمایی به صورت غیرنیروگاهی در مناطق مستعد ایران نیز از اولویتهای راهبردی گروه غیر نیروگاهی این دفتر در استفاده بیش از پیش از نیروی خفته در بطن زمین است.

فعالیت این گروه بر طراحی و برنامه‌ریزی انواع کاربردهای مستقیم از جریان سیال زمین گرمایی متمرکز است به طوری که گلخانه های زمین گرمایی، استخراج، ذوب برف در معابر، حوضچه‌های پرورش ماهی، گرمایش فضا و مصارف صنعتی از انواع این کاربردها هستند.

یکی از مهمترین اهداف این گروه اجرای پروژههای نمونه در نقاط مختلف برای بررسی اثرات اولیه اجرای چنین طرحهایی در کشور است.

همچنین اجرای پروژه پمپ حرارتی در شهر تبریز که فازهای اولیه آن نصب شده و به پایان رسیده و دوره آزمایشات مربوطه در حال انجام است از دیگر برنامه‌های در دست اجرای گروه غیر نیروگاهی دفتر انرژی زمین گرمایی است.

گروه اکتشاف و ظرفیت سنجی دفتر انرژی زمین گرمایی نیز فعالیتهای مشتمل بر ظرفیت سنجی و تحلیل کاربردی مطالعات انجام شده در مناطق مختلف ایران و انجام فاز تکمیلی اکتشافات ژئوفیزیک، ژئوشیمی و زمین شناسی مناطقی از ایران که دارای ظرفیت مناسب هستند را برعهده دارد.

این گروه در مشکینشهر بررسی و مطالعه نتایج حاصل از حفر چاههای اکتشافی منطقه سبلان برای دستیابی به ظرفیت مخزن بازبینی در دست اجرا دارند.

توجه روزافزون متولیان امر انرژی به ضرورت بهره‌برداری از منابع انرژی های نو و احداث نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر گامهای اساسی در توسعه منابع زمین گرمایی در کشور است.

اجرای پروژههای نمونه برای استفاده غیر نیروگاهی و ایجاد دانش فنی لازم برای اجرای طرحهای فناوری و جایگزینی این انرژی پاک، چشمانداز فردایی بدون آلایندههای زیست محیطی در بخش تولید انرژی را ترسیم میکند.

صدها چشمه آب گرم و سابقه آتشفشانی و زلزله خیز بودن ایران نیز این نکته را تایید میکند. به هر حال زمین سنانان عقیده دارند که ایران دارای منابع عظیم انرژی زمین گرمایی است که می توان آنرا به مدار چشمگیری برق تبدیل کند.

دماوند ، سبلان، خوی ماکو و سهند برای بهره برداری زمین گرمایی مناسب تشخیص داده شده اند. در منطقه سبلان دمای چشمه های آب گرم در عمق در عمق بسیار کمی به 200 درجه سانتی گراد می رسد. تقریباً 260000 کیلومتر مربع (در شمال غربی ایران) منطقه زمین گرمایی وجود دارد.

### اکتشافات انجام شده:

/منطقه سبلان : شامل نواحی سرعین، مشکین شهر و برجلو به مساحت 1550 کیلومتر مربع، پتانسیل این منطقه از جهان برابر با  $10^{18} * 45$  ژول و جریان حرارتی آن روی زمین بالغ بر 157000 مگاوات ساعت است. حرارت چشمه های گرم این منطقه 50-83 و حرارت مخازن زمین گرمایی 150-240 درجه سانتیگراد است. /منطقه ماکو خوی، دمای چشمه های آبگرم این منطقه از 30 50 درجه سانتیگراد و دمای مخازن انرژی زمین گرمایی این منطقه 240 - 160 درجه سانتیگراد است. همچنین ذخیره حرارتی مخازن آن  $10^{18} * 45$  ژول است.

/ منطقه سهند : دمای چشمه های آبگرم این منطقه 30 40 درجه سانتیگراد و دمای مخازن زمین گرمایی آن در حدود 160 درجه سانتیگراد است .ذخیره حرارتی این مخازن Q 23 است.

/ منطقه دماوند :درجه حرارت مخازن دماوند در حدود 150<sup>0</sup> است.

### مناطق مستعد برای اکتشافات مقدماتی:

/ منطقه تفتان و بزمان دمای آب چشمه های این منطقه تا 40 درجه سانتیگراد گزارش شده

/منطقه کرمان

/منطقه مشهد

/منطقه طبس .دمای چشمه های آب گرم این منطقه بالاتر از 35 درجه گزارش شده

/منطقه شیراز .دمای چشمه های آب گرم ایم منطقه (برازجان) بالاتر از 40 درجه گزارش شده

/منطقه مرکزی ایران . مطالعات زمین شناسی در این منطقه انجام شده و منطقه مستعد بهره بردای از انرژی زمین گرمایی شناخته شده است.

| Geothermal Area    | Providence             | Area (Km <sup>2</sup> ) |
|--------------------|------------------------|-------------------------|
| Sabalan            | Ardebil                | 13037                   |
| Damavand           | Tehran                 | 4648                    |
| Khoy_Maku          | Azerbaijan garbi       | 3257                    |
| Sahand             | Azerbaijan shargi      | 3174                    |
| Bazman             | Systan va baloochestan | 8356                    |
| Taftan             | Systan va baloochestan | 4310                    |
| Tabas_Ferdoos      | Khorasan Jonoobi       | 46628                   |
| Khor               | Esfahan                | 2334                    |
| Tekab_Hashtrood    | Azerbaijan garbi       | 4639                    |
| Mahallat_Esfahan   | Esfahan_Markazi        | 13648                   |
| Zanja              | Zanja                  | 3285                    |
| Avaj               | Hamadan                | 4283                    |
| Kashmar            | Khorasan Markaz        | 7107                    |
| Ramsar             | Gilan                  | 5532                    |
| Amol               | Mazandaran             | 1697                    |
| Baft               | Kerman                 | 11525                   |
| Minab_Bandar abbas | Hormozgan              | 3191                    |
| Lar_Bastak         | Hormozgan              | 4191                    |

| نیروگاه زمین گرمایی | نیروگاه بخاری                       | واحد             |                                                 |
|---------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------|
| 25                  | 30                                  | سل               | عمر نیروگاه                                     |
| 10                  | ---                                 | سل               | عمر چاه                                         |
| 85                  | 70                                  | درصد             | قابلیت دسترسی                                   |
| ---                 | 38                                  | درصد             | بازدهی                                          |
| 5                   | 5                                   | درصد             | مصرف داخلی                                      |
| 1362                | 343                                 | \$/KWH           | هزینه سرمایه گذاری نیروگاه                      |
| 461                 | ---                                 | \$/KWH           | هزینه سرمایه گذاری چاه                          |
| 11400               | 11400                               | RIALS/KW         | هزینه ثابت تعمیرات و نگهداری سالیانه            |
| 04/0                | 04/0                                | C/KWH            | بخش ارزی هزینه متغیر تعمیرات و نگهداری سالیانه  |
| 8/0                 | 8/0                                 | RIALS/KWH        | بخش ریالی هزینه متغیر تعمیرات و نگهداری سالیانه |
| -----               | گاز طبیعی (8 ماه)<br>وماروت (4 ماه) | ---              | نوع سوخت                                        |
| ---                 | 9                                   | C/M <sup>3</sup> | قیمت صادراتی گاز طبیعی                          |
| -----               | 773/5                               | C/M <sup>3</sup> | قیمت وارداتی گاز طبیعی بانضمام هزینه انتقال     |
| ---                 | 785/9                               | C/LITER          | قیمت صادراتی نفت کوره                           |
| 6,8                 | 6,8                                 | درصد             | نرخ بهره                                        |
| ---                 | 9925                                | KCAL/LITER       | ارزش حرارتی سوخت نفت کوره                       |

### تصفیه آبهای گرم

آب های گرم یا بخار متصاعد شده از اعماق زمین مقادیری مواد شیمیایی و املاح معدنی به همراه خود دارند که باید این مواد را قبل از استفاده از آب گرم یا بخار جدا کرد. به عنوان مثال: بخار طبیعی، مقادیری از گازهای مختلف از جمله گاز خطرناک  $H_2S$  با خود دارد (جدول ۸) که جهت جلوگیری از خوردگی ناشی از وجود این گاز و گازهای خطرناک دیگر و همچنین گرفتن ذرات شن و ماسه همراه بخار، لازم است عملیاتی روی آن صورت پذیرد.

جدول ۸- درصد ترکیب بخار طبیعی از چند ناحیه مختلف [۲]

| The Geysers<br>U.S.A | Larderello<br>Italy | Matsukawa<br>Japan | Wairakei New<br>Zealand | Cerro Prieto<br>Mexico | مواد تشکیل<br>دهنده (g/Kg) |
|----------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| ۹۹۵/۹                | ۹۵۳/۲               | ۹۸۶/۳              | ۹۹۷/۵                   | ۹۸۴/۳                  | $H_2O$                     |
| ۳/۳                  | ۴۵/۲                | ۱۲/۴               | ۲/۳                     | ۱۴/۱                   | $CO_2$                     |
| ۰/۲                  | ۰/۸                 | ۱/۲                | ۰/۱                     | ۱/۵                    | $H_2S$                     |
| ۰/۲                  | ۰/۲                 |                    | ۰/۱                     |                        | $NH_3$                     |
| ۰/۲                  | ۰/۳                 |                    |                         |                        | $CH_4+H_2$                 |
| ۰/۲                  | ۰/۳                 | ۰/۱                | ۰/۱                     |                        | Others                     |

خوشبختانه به علت دمای بالا، گازهای مختلف به راحتی از محیط بخار یا حتی آبگرم بیرون می روند و خطرات جدی برای محیط به دنبال ندارند. منتهی بخش شدن این گازها بویژه  $H_2S$ ، لازم است که مقدار این گاز تحت کنترل قرارگیرد. یکی از این راهها، استفاده از روش Stertford [۱] جهت تبدیل  $H_2S$  به گوگرد خالص و تجاری است که با این روش حدود ۹۴٪ از  $H_2S$  تبدیل میشود. از طرف دیگر اگر از آنها به عنوان خوراک بویلر ها استفاده شوند باید غلظت مواد جامد حل شده در آنها به حد معینی برسد.

### بهبود با طرح سیستم حلقه بسته زمین عمیق نسل مگا:

مهندسین سنتی نیروی زمین گرمائی معتقد اند که بهترین مکان برای توسعه نیروی زمین گرمائی مکانی است که سنگ های گرم در نزدیکی سطح زمین یافت می شوند استدلال آنها مبنی بر دسترسی آسان تر به منبع گرما منجر به سازه های پایین تر و هزینه های تجهیزات استخراجی می شود با وجود این مزیت سنگ های گرم موجود در سطح زمین دارای میزان معینی از گرمای ذخیره شده هستند و با خارج شدن گرما ذخیره مجدد گرما نیازمند زمان و تلاش بیشتری از آنچه است که از نظر اقتصادی امکان پذیر باشد از این رو این نیروگاه ها عموماً با هدف

تولید 20 تا 30 ساله طراحی شده و سپس از دور خارج می شوند یک سرمایه گذاری یک نسله زمانی ممکن است که با عمق کمتری مواجه باشیم نسل بعدی نیروگاه های زمین گرمائی سنگ های گرم در عمق 30000 فوت یا بیشتر در زیر سطح زمین را استخراج خواهند کرد و از ذخیره کننده حرارتی عظیم تری بهره خواهند برد که به سرعت بارگیری می شود و انرژی حرارتی لازم برای صد ها سال در مقابل 2 تا 3 نسل در طرح های زمین گرمائی سنتی را ذخیره می کند

این طراحی نسل مگا ایجاد کننده امکان وجود نیروگاه های زمین گرمائی بزرگتری است که مقادیر بسیار بیشتری از نیرو را برای مدت زمان طولانی تری تولید می کنند عمق بیشتر برابر است با بهره بیشتر برای رسیدن به این طرز فکر سرمایه گذاری های جدید ما اساسا باید طرز فکر خود را در مورد نیروگاه های زمین گرمائی تغییر دهیم سیستم های مرسوم معمولا سیستم های حلقه باز هستند آب را به داخل زمین پمپ می کنند و در آنجا به شکاف ها وارد شده و به درون زمین می رود و دوباره به حلقه بر می گردد مشکل این طرح این است که هر چه پایین تر میروید سنگ ها متراکم تر می شوند و شکاف ها کوچکتر بنابراین به انرژی بیشتری برای پمپ کردن آب بیشتر به درون حلقه نیاز است علاوه بر این آلاینده های سطح بطور بالقوه می تواند به سطح آب وارد شده و باعث بروز مشکلات زیست محیطی شوند سیستم حلقه بسته زمین عمیق نسل مگا خصوصا تحت تایید آمریکای شرقی است و ذخایر بی پایانی از انرژی گرمائی را استخراج خواهد کرد که عملا در زمان نیاز شارژ مجدد خواهد شد یک گودال حفر شده مرکزی می تواند جایگزین چندین سوراخ حفاری شده باشد و اثرات نیروگاه بر روی سطح زمین را کاهش دهد که باید هزینه های نگهداری را از طریق کاهش میزان نقاط تجهیزات کم کند با استفاده از یک حلقه بسته مرکزی به مراتب به انرژی کمتری برای پمپاژ آب به زمین نیاز دارید در نتیجه هزینه های عملیاتی را کاهش داده اید. تغییرات نیروگاههای و چاههای ذکر شده در فوق همگی قابل تطبیق با مخزن مشکین شهر میباشند و میتوان این گونه روشهای نوین را به جای روشهای سنتی در حال اجرا نمود. این در حالی است که هزینه راه اندازی و ست اپ برای سیستم های حلقه باز بسیار پایین تر است اما عمر کوتاه نتایج را در سود کوتاه مدت محدود میکند. در مقال ساخت و ساز بالای سیستم مدار بسته زمین میتواند در طی سالها بیشتری استخراج نماید در نتیجه این امر باعث ایجاد سود دهی دراز مدت میشود.

این تغییرات در تفکر به خاطر افزایش سوددهی که همان افزایش تولید برق است سرچشمه میگیرد. این درحالی است که قیمت نفت به شدت رو به افزایش است و ایران میتواند سهم زیادی از سود نفت و گاز خود را حفظ نماید. این وضعیت در شرایطی است که آلودگی در شهر های بزرگ ایران بسیار خطر ناک و در مرز خطر است .

هر روش دارای معایب و مزایای خود است ساخت و ساز اولیه و هزینه های راه اندازی برای سیستم های حلقه باز بسیار پایین تر است اما عمر کوتاه نسبی آن نتایج را در سود کوتاه مدت محدود می کند در مقابل هزینه ساخت و ساز بالای سیستم مدار بسته زمین عمیق نسل مگا را می توان در طول سال های بیشتری از استخراج نیرو پرداخت کرد و در نتیجه این امر باعث ایجاد سود دهی در دراز مدت است.

این ها همه از این واقعیت سر چشمه می گیرد که جامعه در حال رشد ما و هم در سراسر جهان روزانه در خواست های بیشتری از شبکه برق دارند و ذخایر محدود به نفت به سرعت در حال تحلیل رفتن اند و محیط زیست را تحت تاثیر می گذارند سیستم های حلقه بسته زمین عمیق نسل مگا نه تنها بخشی از یک منبع نسل جدیدی از توان هستند بلکه کاهش چشمگیری در گاز های گلخانه ای در نیروی اولیه بار در مقایسه با نیروگاه های سوخت فسیلی ایجاد می کنند.

### اثرات زیست محیطی استفاده از انرژی زمین گرمایی و راههای کاهش اثرات:

محیط زیست کره زمین در سالهای 1960 میلادی نسبت به امروز بسیار سالمتر بوده است.

متأسفانه با پیشرفت سریع علوم و تکنولوژی، بشر توجهی به عواقب آلاینده های حاصل از پیشرفت صنایع به ویژه تولید کننده های انرژی نکرده است. در این راستا می توان انرژی زمین گرمایی را نسبت به سایر انرژی ها کم آلاینده تر دانست. انرژی زمین گرمایی امروزه یکی از تمیزترین انرژی های مورد استفاده در جهان است. استفاده از این منبع انرژی با انتشار اتمسفری کم، دارای اثرات سودمندی بر محیط زیست می باشد. به حقیقت باید قبول کرد که تا به امروز انرژی شناخته نشده است که کاربرد مستقیم و غیرمستقیم آن به این میزان دارای آلودگی زیست محیطی ناچیزی باشد. در اینجا می خواهیم معایب مختلف انرژی زمین گرمایی را مورد بحث قرار دهیم گرمای زمین گرمایی از اعماق سطح زمین استخراج می شود و این نقطه ضعف اصلی در مورد پیدا کردن محل مناسب ساخت نیروگاه است برخی دیگر از عوامل تصمیم گیری که ممکن است یک سازنده برای ساخت یک نوع متفاوت از نیروگاه انرژی تجدید پذیر در یک مکان مختلف از جمله یک توربین بادی را متقاعد کند وجود دارد بنابراین ما به وضوح بیان کرده ایم که معایب اصلی ساختن یک نیروگاه زمین گرمایی به مرحله اکتشاف بر می گردد در طول اکتشاف محققان یک بررسی زمین ( که ممکن است چندین سال طول بکشد تا کامل شود ) انجام داده و سپس داده های خود را به شرکت طرف قرار داد بررسی ارائه می دهند بسیاری از شرکت هایی که

تحقیقات را سفارش می دهند اغلب ناراضی هستند چرا که غالباً زمین هائی که مورد علاقه آنها بوده است نمی تواند میزبان یک نیروگاه زمین گرمائی باشد به منظور استخراج گرما باید برخی از نقاط داغ در داخل پوسته خاکی را پیدا کنیم این نقاط در اطراف آتشفشان ها و خطوط گسل متداول هستند اما چه کسی می خواهد نیروگاه انرژی زمین گرمائی خود را در کنار آتشفشان بسازد؟

بعضی از نقاط زمین ممکن است دارای میزان کافی از سنگ های داغ برای تامین آب داغ مورد نیاز نیروگاه باشند اما اگر این منطق در نقاط خشن زمین ( در نزدیکی قطب ها یا بالای کوه ها ) واقع شده باشند چه؟ برخی نقاط بسیار خوب و اثبات شده در نیوزلند ، ایسلند ، نروژ و سوئد قرار دارند سوالاتی که معمولاً در طول یک نظر سنجی پرسیده می شوند عبارتند از اینکه آیا سنگ به اندازه کافی برای سوراخ کردن نرم است ؟ آیا سنگ ها در اعماق پایین حاوی حرارت کافی هستند؟ آیا این گرما می تواند مقدار قابل توجهی از زمان پایدار باشد؟ آیا محیط برای نیروگاه مناسب است؟

اگر پاسخ این سوالات بر پایه مثبت است بررسی عمیق تری در پیش رو خواهد بود یکی دیگر از نقص های بزرگ استخراج انرژی زمین گرمائی این است که در بسیاری از موارد یک سایت که خوشبختانه بخار استخراج کرده و آن را به انرژی زمین گرمائی تبدیل می کرده است ممکن است ناگهان دچار توقف تولید بخار شود این امر ممکن است رخ دهد و در بعضی موارد برای مدت زمان 10 سال ادامه داشته باشد

توسعه دهندگان این سایت ها باید دقیق و آگاه باشند که در برخی موارد گاز های مضر می تواند از عمق زمین از طریق سوراخ های حفر شده توسط سازنده خارج شوند نیروگاه باید بتواند هر گونه نشست گاز را اداره کند اما دفع گاز می تواند امنیت را به خطر بیندازد

البته همانگونه که اشاره شد بهره برداری از انرژی زمین گرمایی نیز از آلودگیهای زیست محیطی مبرا نیست ولی میزان این آلودگیها نسبت به منابع انرژی دیگر بسیار ناچیز است. میزان اثرات مخرب زیست محیطی تولید نیرو از انرژی زمین گرمایی وابسته به حجم و مقدار بهره برداری از سیال موجود در مخزن است. شرایط و مقررات زیست محیطی براساس قوانین موجود در هر کشور تفسیر می گردد لذا دایرکنندگان نیروگاه های زمین گرمایی موظف به رعایت قوانین کشور خود می باشند. در برخی کشورها رعایت دستورالعمل های زیست محیطی بسیار جدی است و راه گزینی برای سرمایه گذاران وجود ندارد. سازمانهای تولید انرژی قبل از هر اقدامی باید تغییرات زیست محیطی را به دقت مورد ارزیابی قرار دهند و قوانین مربوط به آن را بطور کامل رعایت نمایند. به طوری که گفته شد در برخی کشورها بی توجهی به مسائل زیست محیطی موجب توقف کامل پروژه از سوی مسئولین شده است. در هر پروژه زمین گرمایی حفاریهای اکتشافی و توسعه ای از قبیل حفر چاه های کم ژرفا برای

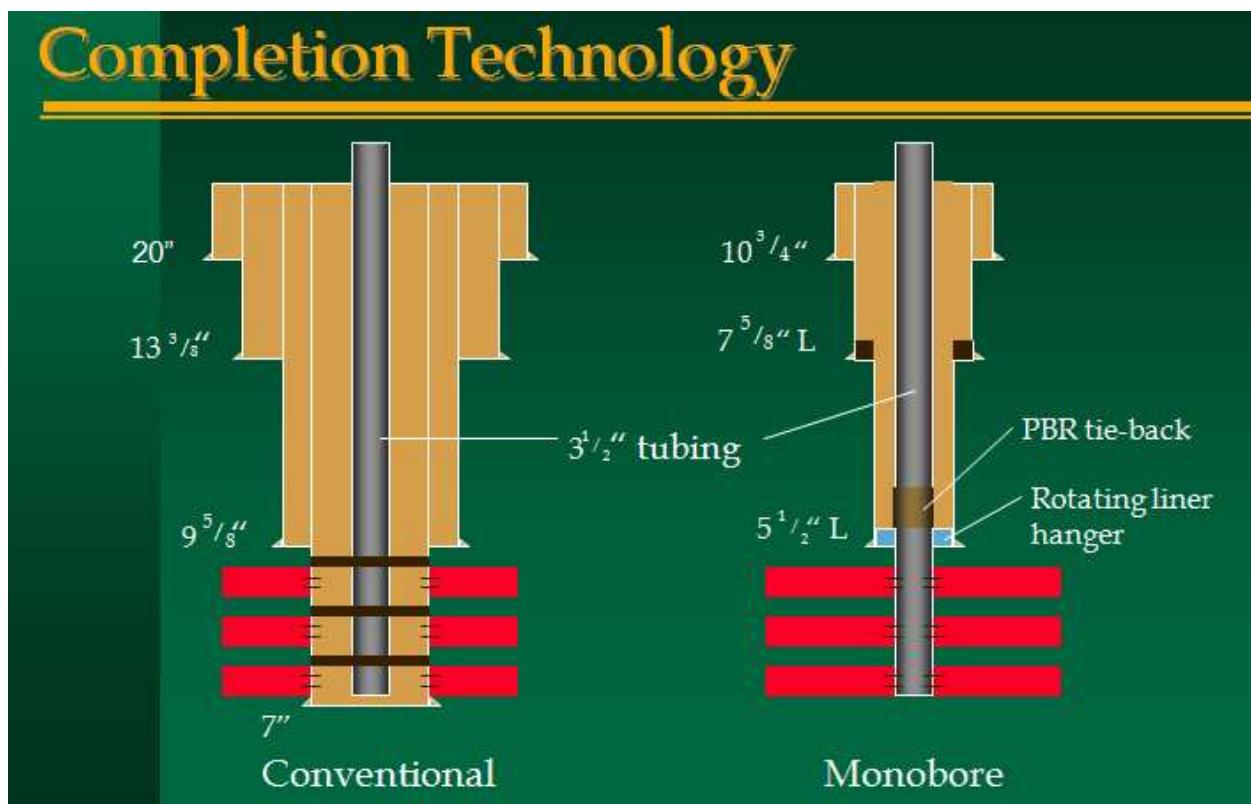
اندازه‌گیری شیب حرارتی و یا حفاری چاه‌های عمیق، موجب اندکی آلودگی در محیط می‌گردد. نصب و برقراری دکل‌های حفاری و دسترسی به آنها مستلزم تسطیح راه، ساخت سکوه‌های حفاری، انبار، محل سکونت کارکنان و غیره می‌باشد و لازم است در تسطیح راه‌ها امکان حمل تجهیزات سنگین با تریلرهای بزرگ را در نظر گرفت. جهت نصب دکل‌های متحرک مستقر بر روی تراکهای کوچک (که قادر به حفاری چاه‌های 300 تا 700 متری می‌باشند) محلی در حدود 300 تا 500 مترمربع زمین مورد نیاز است. برای حفاریهای عمیق بالاتر از 2000 متر نیاز به محلی به مساحت 1200 تا 1500 متر مربع می‌باشد. در عملیات تسطیح، آماده سازی محل و اصلاح پستی و بلندها توجه به حفظ طبیعت موجود و سلامت گیاهان و جانوران موجود الزامی است. در مواردی که حفاری چاه مواجه با سفره‌های آبی شود لازم است در آن لایه لوله جداری گذاشته شود تا از نفوذ مواد گل حفاری به آبهای زیرزمینی جلوگیری شود. در صورت فوران چاه زمین‌گرمایی آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی دور از انتظار نیست لذا نصب فورانگیر در حفاریهای زمین گرمایی الزامی است. در طول زمان حفاری و زمان آزمایش چاه ممکن است گازهای ناخوشایند و بدبو به هوا پخش گردد که لازم است اقدامات لازم در خصوص کاهش میزان این گازها صورت گیرد. مواد گل حفاری ترکیبی از بنتونیت و سایر مواد افزودنی زیان بخش برای محیط زیست می‌باشند، لذا پس از اتمام کار باید گل حفاری از سیال جداسازی شده و دو باره به مصرف برسد. اما مواد جامد (گل حفاری) و خرده سنگ‌های خارج شده از چاه باید در چاله مخصوصی جمع‌آوری شود.

احداث خط لوله، انتقال سیال زمین گرمایی، ساخت نیروگاهها و محلهای مصرف با تغییراتی که در پستی و بلندی سطح زمین ایجاد میکنند موجب از بین رفتن درختان و گیاه‌های طبیعی شده و به محیط وحش نیز آسیب می‌رسانند. نیروگاه و تأسیسات زمین گرمایی باعث تغییر منظره محیط میشود، چنانکه در لاردلو ایتالیا شبکه‌های لوله‌کشی از چاهها به نیروگاهها کاملاً در نمای محل اثر کرده و بالاخره منظره نیروگاه و برج خنک کننده آن منظره ویژه‌ای بوجود آورده که بازدیدکنندگان و جهانگردان را به طرف خود جلب می‌کند. با آغاز کار نیروگاه، مسائل زیست محیطی دیگری نیز ظاهر میشوند. سیالهای زمین گرمایی بطور معمول حامل گازهایی از قبیل دی اکسید کربن ( $CO_2$ )، سولفید هیدروژن ( $H_2S$ )، متان ( $CH_4$ ) و برخی مواد محلول هستند که معمولاً در دماهای بالا غلظت آنها بیشتر می‌شود. کلرورسدیم ( $NaCl$ )، بُر ( $B$ )، آرسنیک ( $As$ ) و جیوه ( $Hg$ ) از مواد آلاینده‌ای هستند که به همراه سیالهای زمین گرمایی به محیط زیست وارد می‌شوند. در عوض در برخی از آبهای زمین گرمایی مانند سیالات زمین گرمایی مصرفی در گرمایش منازل کشور ایسلند غلظت مواد محلول آنقدر ناچیز است که هیچگونه آلودگی زیست محیطی ایجاد نمی‌کند و بصورت مستقیم به مصرف می‌رسد [7]. تخلیه آبهای هرز

زمین گرمایی به محیط نیز یکی از مسائل مهم آلودگی محیط زیست است. سیالهای زمین گرمایی حامل مواد شیمیایی مثل بُر، فلوراید، آرسنیک نیز باید تصفیه شده و دوباره به مخزن تزریق شود. سیالهای کم دما که برای مصارف مستقیم استفاده می‌شوند اکثراً از نظر زیست محیطی چندان آلاینده نبوده و تخلیه آن در محیط آلودگی چندان ایجاد نمی‌کنند. برخی از این سیالها را پس از سرد کردن می‌توان در آبهای سطحی تخلیه کرد. استخراج حجم زیادی از سیال ممکن است باعث فرونشستن زمین شود. پایین رفتن تدریجی زمین یک حادثه ناگهانی و خطر آفرین نیست بلکه یک عارضه تدریجی و ملایم است که در یک محل بطور یکنواخت ظاهر می‌شود. برای جلوگیری از این عارضه می‌توان سیال زمین گرمایی را پس از استفاده دو باره به مخزن مربوطه تزریق کرد تا میزان فرونشست به حداقل ممکن کاهش پیدا کند. تولید انرژی از منابع زمین گرمایی نسبت به تولید نیرو از سوختهای فسیلی آثار زیانبار ناچیزی در محیط زیست بوجود می‌آورد اما به دلیل اهمیت فوق‌العاده مسایل زیست محیطی و توجه جهانی به این پدیده، بررسی اثرات زیست محیطی ناچیز نیز حائز اهمیت است. عوامل زیادی در میزان آلودگیهای زیست محیطی توسعه منابع زمین گرمایی مهم هستند که از آن جمله می‌توان ویژگیهای مخزن و سیال زمین گرمایی، نوع بهره‌برداری از منابع، وسعت تأسیسات نصب شده و ویژگیهای محیطی محل اجرای پروژه اشاره کرد. هر پروژه با توجه به شرایط و خصوصیات خود مسایل و راه‌حل‌های خاص خود را دارد اما بطور عمومی برای کاهش آثار و عواقب زیست محیطی این گونه پروژه‌ها لازم است اقدامات زیر به انجام برسد. - سیستم تأسیسات و نحوه بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی باید طوری طراحی شود که حداکثر بازدهی را دارا باشد. زیرا بالا بودن بازدهی سیستم، میزان مصرف سیال را کاهش داده و در نتیجه میزان آلودگیهای زیست محیطی نیز به حداقل خواهد رسید. - برای کاهش آلودگیهای شیمیایی و حرارتی منابع آبهای سطحی لازم است سیالهای زاید خروجی از سیستم نیروگاه و تأسیسات حرارتی بوسیله چاه‌های مخصوص مجدداً در مخزن تزریق گردد. چگونگی تزریق هرز آبهای زمین گرمایی باید تحت نظارت متخصصین مربوطه و مهندسین مخزن انجام شود تا موجب آلودگی سفره‌های آبهای شیرین زیرزمینی و سرد شدن زود هنگام مخزن زمین گرمایی نشود. به عبارت دیگر تزریق باید در عمق و محلی باشد که باعث تغذیه مخزن شده و عمر مخزن زمین گرمایی را افزایش دهد و علاوه بر این از فرونشست زمین در محدوده میدان مورد بهره‌برداری نیز جلوگیری کند. - در صورت وجود گازهای آلوده کننده محیط زیست در سیال خروجی مانند گاز سولفید هیدروژن، آمونیاک و متان می‌بایستی با استفاده از روشهای شیمیایی مناسب نسبت به خارج کردن این گازها از سیستم اقدام نمود. بطور معمول با فرایندهای شیمیایی این گازها را به مواد دیگری تبدیل نموده و از سیال جدا میکنند. با این عمل از انتشار گازهای آلاینده در محیط زیست جلوگیری می‌شود.

انجام فعالتهای مختلف عمرانی مانند ساخت سکوه‌های حفاری، جاده‌های دسترسی، مسیر لوله‌های انتقال سیال و تأسیسات نیروگاه باعث تخریب خاک سطحی و جامعه گیاهی منطقه می‌شود. لازم است پس از اتمام فعالیتها نسبت به ترمیم محل‌های تخریب و باز رویانی گیاهان از بین رفته اقدام شود.

پیشنهاد اجرای حفاری SLIMHOLE :



یکی از بهترین راهکارهای اقتصادی برای استخراج و پمپاژ مایعات و گاز به صرفه جویانه ترین حالت توسعه یافته است. در بین حفاری از نظر ابعاد به نسبت نقيه حفاری ها و ابزار و ادوات لوله گذاری کوچک تر است . این حفاری اسلیم هول بشدت هزینه های حفاری را کاهش میدهد. این حفاریها خمچنین اجازه میدهد که محیط زیست حفاظت گردد.

انواع دریل های SLIM HOLE:

1. shallow rotary

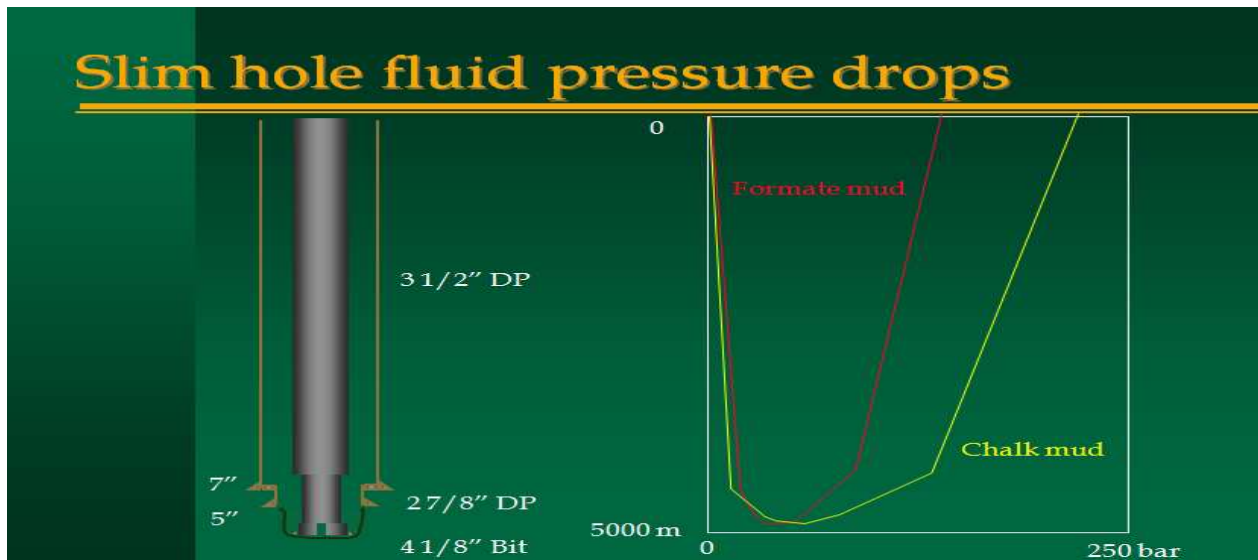
2. continuous coing

downsized conventional.3

combination.4

small horizontal sidetracks.5

coiled tubing drilling.6



## آلودگیهای احتمالی انرژی زمین گرمایی:

بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی نیز از آلودگیهای زیست محیطی مبرا نیست ولی میزان این آلودگیها نسبت به منابع انرژی دیگر بسیار ناچیز است. میزان اثرات مخرب زیست محیطی تولید نیرو از انرژی زمین گرمایی وابسته به حجم و مقدار بهره‌برداری از سیال موجود در مخزن است. [شرایط و مقررات زیست محیطی براساس قوانین موجود در هر کشور تفسیر می‌گردد لذا دایرکنندگان نیروگاه‌های زمین گرمایی موظف به رعایت قوانین کشور خود می‌باشند. در برخی کشورها رعایت دستورالعمل‌های زیست محیطی بسیار جدی است و راه‌گزینی برای سرمایه‌گذاران وجود ندارد. سازمانهای تولید انرژی قبل از هر اقدامی باید تغییرات زیست محیطی را به دقت مورد ارزیابی قرار دهند و قوانین مربوط به آن را بطور کامل رعایت نمایند. به‌طوری که گفته شد در برخی کشورها بی توجهی به مسائل زیست محیطی موجب توقف کامل پروژه از سوی مسئولین شده است. در هر پروژه زمین گرمایی حفاریهای اکتشافی و توسعه‌ای از قبیل حفر چاه‌های کم ژرفا برای اندازه‌گیری شیب حرارتی و یا حفاری چاه‌های عمیق، موجب اندکی آلودگی در محیط می‌گردد. نصب و برقراری دکل‌های حفاری و دسترسی به آنها مستلزم تسطیح راه، ساخت سکوهای حفاری، انبار، محل سکونت کارکنان و غیره می‌باشد و لازم است در تسطیح راه‌ها امکان حمل تجهیزات سنگین با تریلرهای بزرگ را در نظر گرفت. جهت نصب دکل‌های متحرک مستقر بر روی تراکهای کوچک (که قادر به حفاری چاه‌های 300 تا 700 متری می‌باشند) محلی در حدود 300 تا 500 مترمربع زمین مورد نیاز است. برای حفاریهای عمیق بالاتر از 2000 متر نیاز به محلی به مساحت 1200 تا 1500 متر مربع می‌باشد. در عملیات تسطیح، آماده سازی محل و اصلاح پستی و بلنداها توجه به حفظ طبیعت موجود و سلامت گیاهان و جانوران موجود الزامی است. در مواردی که حفاری چاه مواجه با سفره‌های آبی شود لازم است در آن لایه لوله جداری گذاشته شود تا از نفوذ مواد گل حفاری به آبهای زیرزمینی جلوگیری شود. در صورت فوران چاه زمین گرمایی آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی دور از انتظار نیست لذا نصب فورانگیر در حفاریهای زمین گرمایی الزامی است. در طول زمان حفاری و زمان آزمایش چاه ممکن است گازهای ناخوشایند و بدبو به هوا پخش گردد که لازم است اقدامات لازم در خصوص کاهش میزان این گازها صورت گیرد. مواد گل حفاری ترکیبی از بتونیت و سایر مواد افزودنی زیان بخش برای محیط زیست می‌باشند، لذا پس از اتمام کار باید گل حفاری از سیال جداسازی شده و دو باره به مصرف برسد. اما مواد جامد (گل حفاری) و خرده سنگ‌های خارج شده از چاه باید در چاله مخصوصی جمع‌آوری شود.

. تولید انرژی از منابع زمین گرمایی نسبت به تولید نیرو از سوختهای فسیلی آثار زیانبار ناچیزی در محیط زیست بوجود می آورد اما به دلیل اهمیت فوق العاده مسایل زیست محیطی و توجه جهانی به این پدیده، بررسی اثرات زیست محیطی ناچیز نیز حائز اهمیت است. عوامل زیادی در میزان آلودگیهای زیست محیطی توسعه منابع زمین گرمایی مهم هستند که از آن جمله می توان ویژگیهای مخزن و سیال زمین گرمایی، نوع بهره برداری از منابع، وسعت تأسیسات نصب شده و ویژگیهای محیطی محل اجرای پروژه اشاره کرد. هر پروژه با توجه به شرایط و خصوصیات خود مسایل و راه حل های خاص خود را دارد اما بطور عمومی برای کاهش آثار و عواقب زیست محیطی این گونه پروژه ها لازم است اقدامات زیر به انجام برسد. - سیستم تأسیسات و نحوه بهره برداری از انرژی زمین گرمایی باید طوری طراحی شود که حداکثر بازدهی را دارا باشد.

زیرا بالا بودن بازدهی سیستم، میزان مصرف سیال را کاهش داده و در نتیجه میزان آلودگیهای زیست محیطی نیز به حداقل خواهد رسید. - برای کاهش آلودگیهای شیمیایی و حرارتی منابع آبهای سطحی لازم است سیالهای زاید خروجی از سیستم نیروگاه و تأسیسات حرارتی بوسیله چاه های مخصوص مجدداً در مخزن تزریق گردد. چگونگی تزریق هرز آبهای زمین گرمایی باید تحت نظارت متخصصین مربوطه و مهندسین مخزن انجام شود تا موجب آلودگی سفره های آبهای شیرین زیرزمینی و سرد شدن زود هنگام مخزن زمین گرمایی نشود. به عبارت دیگر تزریق باید در عمق و محلی باشد که باعث تغذیه مخزن شده و عمر مخزن زمین گرمایی را افزایش دهد و علاوه بر این از فرونشست زمین در محدوده میدان مورد بهره برداری نیز جلوگیری کند. - در صورت وجود گازهای آلوده کننده محیط زیست در سیال خروجی مانند گاز سولفید هیدروژن، آمونیاک و متان می بایستی با استفاده از روشهای شیمیایی مناسب نسبت به خارج کردن این گازها از سیستم اقدام نمود. بطور معمول با فرآیندهای شیمیایی این گازها را به مواد دیگری تبدیل نموده و از سیال جدا میکنند. با این عمل از انتشار گازهای آلاینده در محیط زیست جلوگیری می شود.

انجام فعالتهای مختلف عمرانی مانند ساخت سکوهای حفاری، جاده های دسترسی، مسیر لوله های انتقال سیال و تأسیسات نیروگاه باعث تخریب خاک سطحی و جامعه گیاهی منطقه می شود. لازم است پس از اتمام فعالیتها نسبت به ترمیم محلهای تخریب و باز رویانی گیاهان از بین رفته اقدام شود.