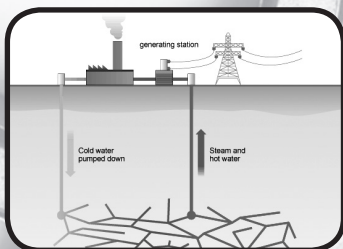
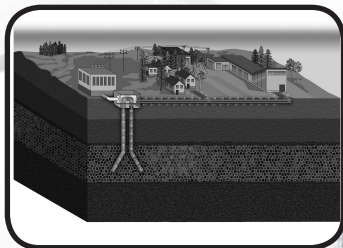
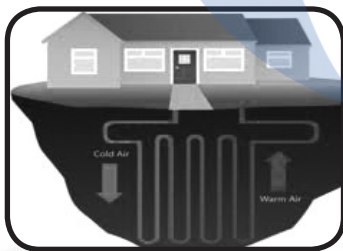


انرژی زمین گرمایی چیست؟

نویسندگان: ماری دیکسون، ماریو فانلی



۱- مقدمه

گرما شکلی از انرژی است و انرژی زمین گرمایی از نظر لغوی به معنای گرمای موجود درون زمین است که در اثر پدیده‌های زمین‌شناسی در کل کره زمین به وجود می‌آید. انرژی زمین گرمایی نشان‌دهنده بخشی از گرمای زمین است که انسان می‌تواند آن را بازیافت و یا استخراج نماید.

۲- تاریخچه زمین گرمایی

حضور آتشفشان، چشمه‌های آب گرم و دیگر پدیده‌های گرمایی باعث می‌شوند که بخش‌هایی از درون زمین گرم شوند. با این حال در دوره‌های بین قرون شانزدهم و هفدهم، زمانی که اولین حفاری‌های انسان به چند صد متر پایین‌تر از سطح زمین رسید، با استفاده از حس‌گرهای ساده فیزیکی دریافتند که دمای زمین با عمق افزایش می‌یابد.

نخستین اندازه‌گیری دما با استفاده از دماسنج در سال ۱۷۴۰ توسط جنسان در یک معدن در نزدیکی بلفورت فرانسه (بوفون، ۱۷۷۸) انجام گرفت. در سال ۱۸۷۰ روش‌های علمی مدرن مورد استفاده قرار گرفت تا بتوان تغییرات گرمای زمین (Bullard 1965) را مورد مطالعه قرار داد. اما تا قرن بیستم هنوز روش‌های مطالعه مناسبی نبود تا آن که با کشف تابش فرابنفش انسان توانست به‌طور کامل پدیده‌ای به‌عنوان تعادل گرمایی و تاریخچه گرمای کره زمین را درک کند. تمام الگوهای گرمایی مدرن از زمین، در واقع به‌صورت گرما در اثر فروپاشی رادیواکتیو با عمر طولانی و با

از زمین برابر با $10^{12} \text{ W} \times 10/3$ می‌باشد.

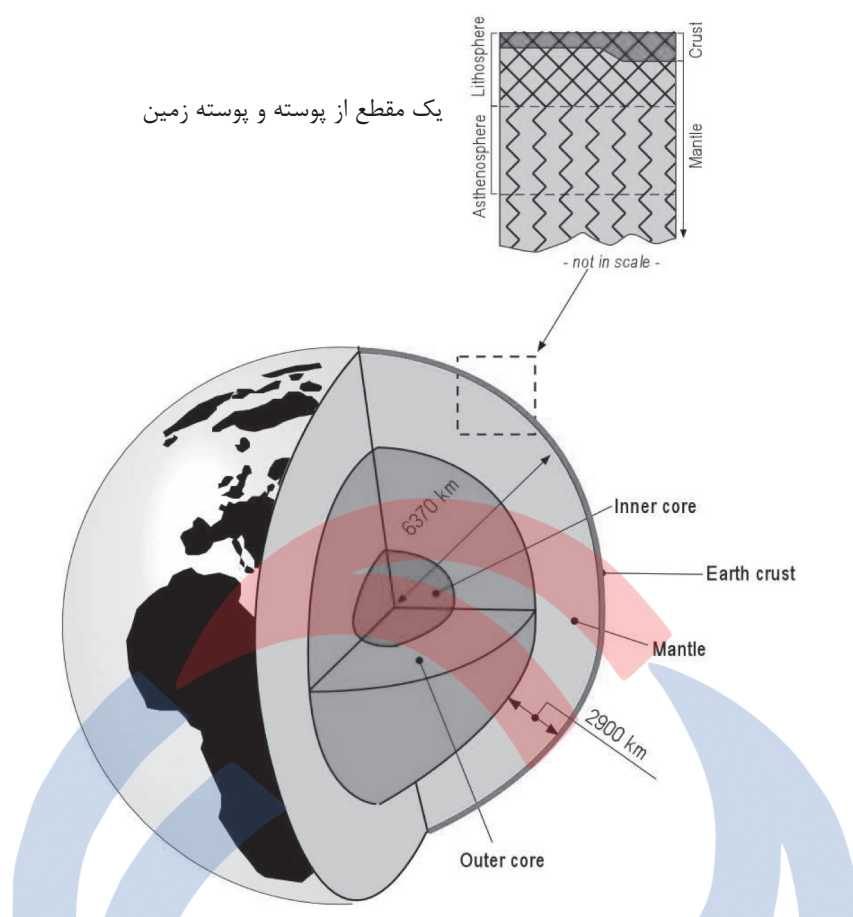
در برآوردهای اخیر که بر اساس تعداد بیشتری از داده‌ها به‌دست آمده است، کل جریان گرما از زمین در حدود ۶ درصد بالاتر از رقم ارائه شده توسط Stacey و Loper در سال ۱۹۸۸ است. باین‌حال، فرایند خنک شدن زمین باز هم بسیار کند است. درجه حرارتی پوسته طی سال‌ها که در حدود سه میلیارد سال تخمین زده شده است، در حدود ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است که این موضوع نشان می‌دهد که در حدود ۴۰۰۰ درجه سانتی‌گراد در پایه آن باقی مانده است. تحقیقات انجام شده توسط Armstead در سال ۱۹۸۳ بیان‌کننده آن است که کل محتوای گرمایی زمین علاوه بر میزان گرمای متوسط تخمین زده شده در بالا ۱۵ درجه سانتی‌گراد نیز تخمین زده شده است که در حدود $10^{24} \text{ MJ} \times 12/6$ از سطح زمین و در حدود $10^{21} \text{ MJ} \times 5/4$ از پوسته زمین است.

باین‌حال تا به امروز بهره‌برداری از این انرژی محدود به

تولید ایزوتوپ‌های اورانیوم (U235، U238)، توریم (Th 232) و پتاسیم (K40)، که در زمین حاضر هستند (Lubimova 1968) ایجاد می‌شوند. علاوه بر گرمای تولید شده توسط پرتوها، در نسبت‌های نامشخص منابع بالقوه دیگری برای تولید گرما به‌عنوان یک منبع تولید انرژی بسیار کهن از صفحه یک پارچه سیاره‌ای وجود دارند. نظریه‌های کامل و دقیقی در مورد این رفتار تا سال ۱۹۸۰ در دسترس نبودند و در این زمان هیچگونه تعادلی بین گرمای ایجاد شده در داخل زمین و گرمای داده شده به فضا از زمین وجود نداشت و این موضوع از دیدگاه نظری با حالتی که سیاره زمین به آرامی خنک می‌شود، برابر است. در رابطه با ایجاد و رسیدن به نظریه مربوطه، کل جریان گرمای ناشی از همرفت و تابش در زمین اندازه‌گیری شده که این مقدار برابر با $10^{13} \text{ W} \times 42$ می‌باشد. از این مقدار حدود $10^{13} \text{ W} \times 8$ از پوسته تولید می‌شود، در صورتی که پوسته در حدود ۲ درصد از حجم کل کره زمین را تشکیل می‌دهد؛ درحالی‌که این مقدار غنی از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو می‌باشد، در حدود $10^{13} \text{ W} \times 32/3$ از گوشت زمین تشکیل می‌شود که در حدود ۸۲ درصد از حجم کل زمین را تشکیل می‌دهد و $10^{13} \text{ W} \times 1/7$ از هسته زمین به وجود می‌آید که ۱۶ درصد از حجم زمین است و هیچگونه ایزوتوپ رادیواکتیوی در خود ندارد (رجوع کنید به شکل ۱ که طرح داخلی ساختار زمین را نشان می‌دهد). از آنجا که گرمای ناشی از تابش پوسته در حدود $10^{13} \text{ W} \times 22$ تخمین زده شده است، نرخ خنک شدن این بخش



یک مقطع از پوسته و پوسته زمین



شکل ۱: پوسته زمین، پوسته و هسته

تبخیر به جای سوزاندن چوب از جنگل‌ها دست پیدا کرد تا مانع از نابودی سریع آنها شود (شکل ۲).

بهره‌برداری از بخار طبیعی برای انرژی مکانیکی از همان زمان آغاز شد. در ابتدا استفاده از بخار آب زمین‌گرمایی برای بالا بردن درجه حرارت مایعات و تبدیل آن به گاز و سپس در پمپ‌های رفت و برگشتی و گریز از مرکز که همه آنها در حفاری و استخراج برای تولید اسید بوریک مورد استفاده قرار گرفت.

بین سال‌های ۱۹۱۰ و ۱۹۴۰ بخار کم فشار گازی در بخشی از توسکانی برای گرم کردن ساختمان‌های صنعتی و مسکونی و گلخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. کشورهای دیگر نیز توسعه و گسترش منابع زمین‌گرمایی خود را در مقیاس صنعتی را آغاز کردند. در سال ۱۸۹۲ اولین سامانه گرمایش زمین‌گرمایی در منطقه بویزی، آیداهو (ایالات متحده آمریکا) آغاز به کار کرد. در سال ۱۹۲۸ ایسلند، یکی دیگر از پیشگامان در استفاده از انرژی زمین‌گرمایی، بهره‌برداری از مایعات زمین‌گرمایی که عمدتاً آب گرم بود برای مقاصد گرمایشی داخلی و خانگی آغاز کرد.

مطابق با شکل ۳ در سال ۱۹۰۴ اولین تلاش برای تولید برق با استفاده از بخار آب زمین‌گرمایی صورت گرفت که باز هم در

مناطق است که شرایط زمین‌شناسی امکان استفاده از آن را بدهد. یکی از این شرایط وجود یک حامل انرژی است که معمولاً این حامل آب در فاز مایع یا بخار است که از آن برای انتقال گرما از مناطق عمیق داغ به مناطق نزدیک سطح می‌باشد، در نتیجه برای دسترسی به منابع زمین‌گرمایی بایستی از فناوری‌های خاصی استفاده کرد.

در بسیاری از جنبه‌های زندگی، پژوهش‌های عملی نتایج قابل قبولی نسبت به بخش‌های نظری ایجاد می‌کنند که بخش زمین‌گرمایی یک مثال خوب از این موضوع است. در اوایل قرن نوزدهم بود که توانستند از سیالات زمین که منفجر شده بودند انرژی استخراج کنند؛ یک کارخانه صنعتی برای استخراج در محله‌ای در ایتالیا (در منطقه‌ای که در حال حاضر به‌عنوان Larderello شناخته می‌شود) تأسیس شد تا بتوان اسیدبوریک را از آب‌های گرم به طور طبیعی و یا از قسمت‌های کم‌عمق زمین استخراج کرد. اسیدبوریک را از تبخیر آب‌بوریک در دیگ‌های بخار آهن به‌دست می‌آورند که سوخت این دیگ‌ها را از چوب‌های جنگل‌های نزدیک تأمین می‌کردند. در سال ۱۸۲۷ فرانچسکو Larderello، بنیان‌گذار این صنعت، به ایجاد یک سامانه برای استفاده از گرما از مایعات بوریک در فرایند

کرد که به دنبال آن در سال ۱۹۵۹ در مکزیک، در سال ۱۹۶۰ در ایالات متحده آمریکا و در طی سالیان آینده در بسیاری از کشورها این نیروگاه‌ها گسترش پیدا کردند.

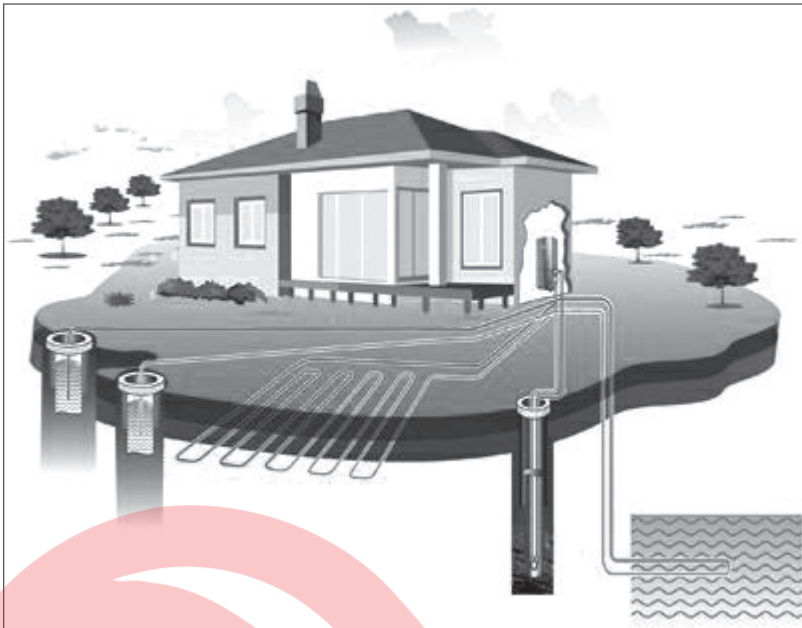
۳- وضعیت کنونی استفاده از

انرژی زمین گرمایی

پس از جنگ جهانی دوم، بسیاری از کشورها به لحاظ اقتصادی به استفاده از انرژی زمین گرمایی روی آوردند، همچنین از لحاظ این که این انرژی وارداتی نبوده و حتی در برخی موارد تنها منبع انرژی در دسترس در مناطق خاصی محسوب می‌شد بنابراین استفاده از آن به شدت گسترش یافت.

جدول ۱ نشان‌دهنده کشورهای استفاده‌کننده از انرژی زمین گرمایی برای تولید برق است. همچنین در این جدول ظرفیت تولید برق از انرژی زمین گرمایی نشان داده شده است. این جدول بیان‌کننده رشد افزایش تولید در طی سالیان ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۳ میلادی و میزان کل انرژی در پایان سال است.

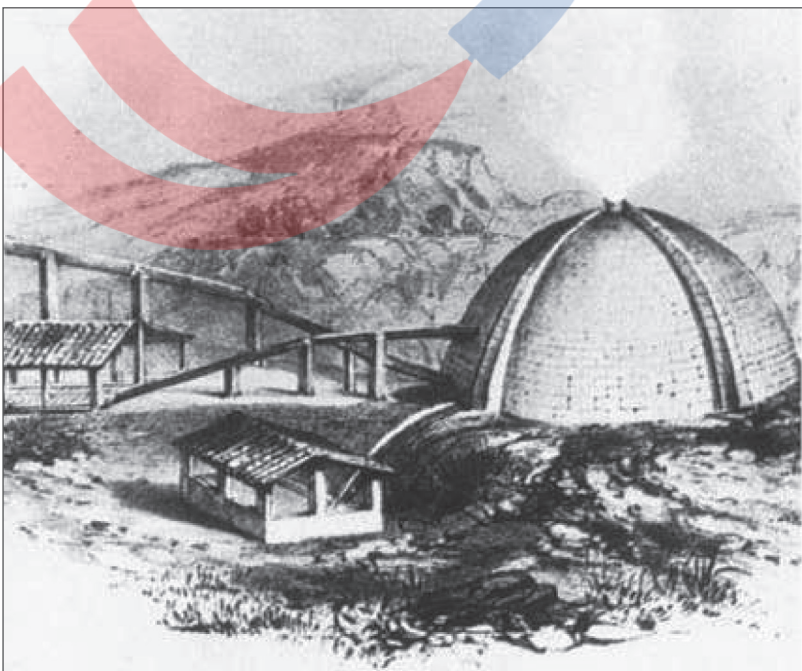
استفاده از انرژی زمین گرمایی در کشورهای در حال توسعه، روند رو به رشد زیادی در طول سالیان داشته است. در پنج سال اول بین سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۷۹ ظرفیت تولید الکتریکی از این انرژی در این کشورها از ۷۵ تا ۴۶۲ MWe افزایش یافته و در دوره پنج ساله دوم تا سال ۱۹۸۴ این رقم به ۱۴۹۵ MWe رسیده است که نشان‌دهنده میزان افزایش در طول این دو دوره به میزان ۵۰۰ درصد و ۲۲۳ درصد است. در شانزده سال بعد، از ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰، افزایش بیشتر استفاده از انرژی زمین گرمایی وجود داشت که تقریباً ۱۵۰ درصد می‌باشد. انرژی زمین گرمایی در برخی مناطق نقش نسبتاً قابل توجهی



منطقه Larderello بود (شکل ۳).

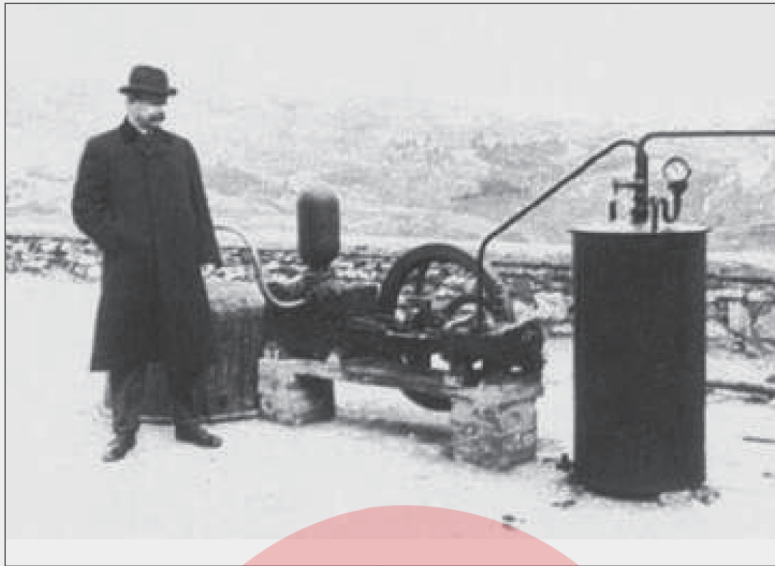
موفقیت این آزمایش نشانه روشنی از ارزش صنعتی انرژی زمین گرمایی بود و به آغاز بهره‌برداری از این انرژی و توسعه آن به میزان قابل توجهی از آن پس تأکید داشت. تولید برق در Larderello یک موفقیت تجاری محسوب می‌شد. تا سال ۱۹۴۲، ظرفیت انرژی تولیدی از قسمت زمین گرمایی به مقدار ۱۲۷۶۵۰ کیلووات رسید و از آن پس کشورهای بسیاری همانند تجربه ایتالیا را پی گیری و انجام دادند.

چاه‌های زمین گرمایی برای اولین بار در ژاپن در منطقه‌ای به نام Beppu حفر گردید که در پی آن در سال ۱۹۲۱ در قسمت‌های مختلفی همانند کالیفرنیا ایالات متحده آمریکا این کار صورت گرفت. در سال ۱۹۵۸ اولین نیروگاه زمین گرمایی در نیوزیلند شروع به کار



شکل ۲: مرداب پوشیده شده مورد استفاده در نیمه اول قرن ۱۹ در منطقه Larderello ایتالیا، برای

جمع‌آوری آب‌های گرم بوریکی و استخراج اسیدبوریکی از آن



شکل ۳: موتور در Larderello در سال ۱۹۰۴ در اولین تجربه در تولید انرژی الکتریکی از بخار

زمین گرمایی، همراه با مخترع آن Prince Piero Ginori Conti

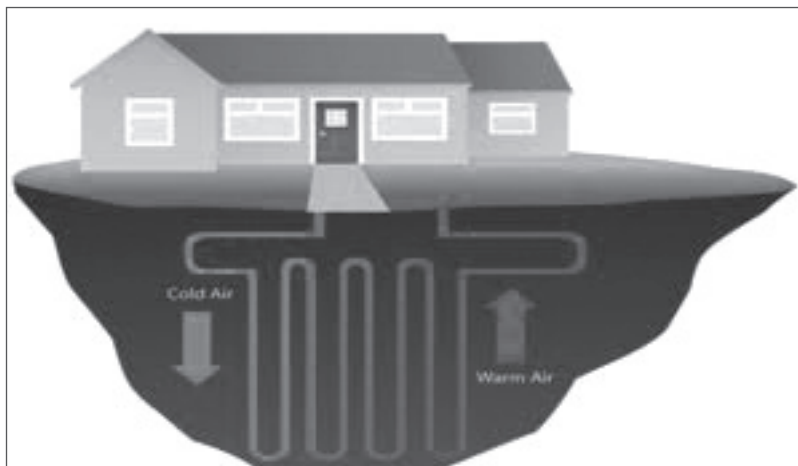
در توازن انرژی ایفا می‌کند، به‌طوری‌که به‌عنوان مثال در سال ۲۰۰۱، انرژی الکتریکی تولید شده از منابع زمین گرمایی ۲۷ درصد از کل برق تولید شده در فیلیپین، ۱۲/۴ درصد در کنیا، ۱۱/۴ درصد در کاستاریکا، و ۴/۳ درصد در السالوادور بود.

جدول ۲ میزان استفاده از انرژی زمین گرمایی در برنامه‌های کاربردی غیر الکتریکی را نشان می‌دهد که در سراسر جهان برای سال ۲۰۰۰ ظرفیت نصب شده (۱۵۱۴۵ MWt) و استفاده از انرژی (۱۹۰۶۹۹ TJ) در سال می‌باشد. در طول سال، ۵۸ کشور به‌طور مستقیم گزارش استفاده از انرژی را داده‌اند.

شایع‌ترین استفاده غیر الکتریکی در سراسر جهان (از لحاظ ظرفیت نصب شده) در مورد پمپ‌های گرمایشی بوده است که این میزان در حدود ۳۴/۸ درصد بوده و به دنبال آن شستشو ۲۶/۲ درصد، گرمایش داخلی ۲۱/۶۲ درصد، گلخانه‌ها ۸/۲۲ درصد، پرورش آبزیان ۳/۹۳ درصد و فرآیندهای صنعتی ۳/۱۳ درصد بوده است.

۴- ماهیت منابع زمین گرمایی؛ ایجاد گرما در زمین

گرادیان زمین گرمایی بیانگر افزایش درجه حرارت با عمق در پوسته زمین است.



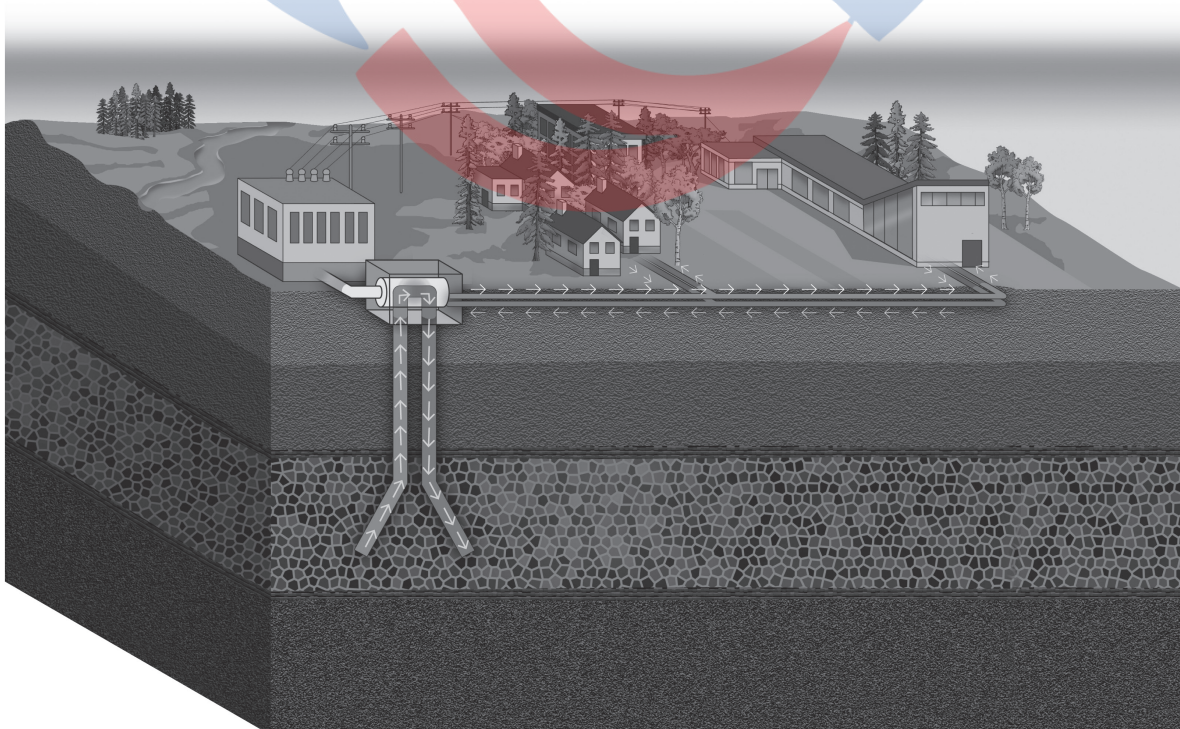
برای مثال با حفاری با فناوری مدرن برای رسیدن به عمق بیشتر نشان‌دهنده این موضوع است. در ۱۰۰۰۰ متر، شیب زمین گرمایی به‌طور متوسط حدود ۳-۲/۵ درجه سانتی‌گراد به ازای هر ۱۰ متر است. برای مثال اگر درجه حرارت در چند متر اول در زیر سطح زمین که به‌طور متوسط درجه حرارت سالانه هوای خارجی ۱۵ سانتی‌گراد باشد، پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که درجه حرارت در ۲۰۰۰ متر عمق حدود ۶۵ تا ۷۵ درجه سانتی‌گراد است و به همین ترتیب در ۳۰۰۰ متر عمق درجه حرارت ۹۰ تا ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد است. با این حال، میزان گرادیان زمین گرمایی بستگی به شرایط متفاوت زمین نیز دارد، به‌طوری‌که در مناطقی که در آن در قسمت‌های عمیق زمین دستخوش تغییراتی از قبیل غرق شدن سریع و یا اینکه زمین توسط رسوبات جوان پر شده باشد، گرادیان زمین گرمایی ممکن است کمتر از ۱ درجه سانتی‌گراد در هر ۱۰۰ متر باشد. همچنین ممکن است که این گرادیان در مناطقی دیگر در حدود ده برابر حالت میانگین آن باشد.

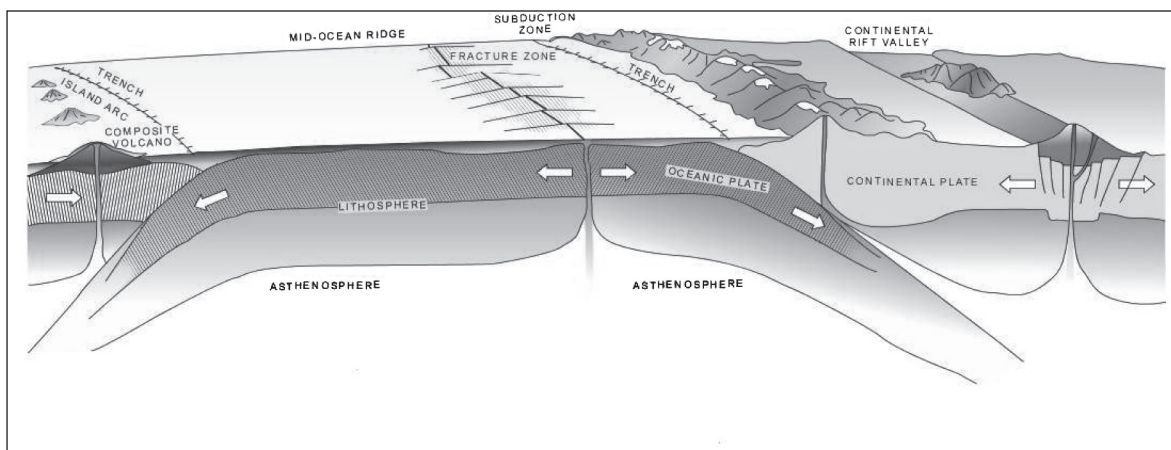
حدود ۳۴۷۰ کیلومتر شعاع دارد (شکل ۱). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پوسته، پوسته و هسته متفاوت از سطح زمین نسبت به مرکز آن بسیار متفاوت است. خارجی‌ترین پوسته زمین که به‌عنوان لیتوسفر شناخته شده است، از پوسته و در لایه فوقانی آن از پوسته ساخته شده است که ضخامت آن بین ۸۰ کیلومتر در مناطق اقیانوسی تا ۲۰۰ کیلومتر در مناطق قاره‌ای متغیر است. لیتوسفر رفتار و عملکردی شبیه به یک بدن سفت و سخت را دارد. در زیر لیتوسفر منطقه‌ای به‌عنوان استنوسفر شناخته شده است که در حدود ۳۰۰-۲۰۰ کیلومتر ضخامت با سختی کمتر و رفتار بیشتر پلاستیک می‌باشد. به عبارت دیگر در مقیاس زمین‌شناسی که در آن زمان در میلیون‌ها سال معنی دارد، اندازه‌گیری رفتار این بخش از زمین بسیار شبیه به رفتار یک سیال در فرآیندهای خاص است.

به دلیل تفاوت در درجه حرارت بین بخش‌های مختلف از استنوسفر، حرکات همرفتی و احتمالاً حرکات سلول‌های همرفتی در ده‌ها میلیون سال پیش اتفاق افتاده و باعث شکل‌گیری آن شده است. حرکت بسیار آرام این قسمت که در حدود چند سانتی‌متر در سال است ناشی از گرمای به وجود آمده، در اثر فروپاشی عناصر رادیواکتیو می‌باشد که این گرمای از عمیق‌ترین نقاط زمین به بالا حرکت می‌کند. حجم عظیمی از سنگ‌های داغ در قسمت‌های عمیق باعث متراکم و سبک‌تر شدن مواد اطراف خود و راندن آن‌ها به بالا و حرکت آنها به سمت سطح زمین می‌شود، در حالی که مناطق سردتر و چگال‌تر و سنگین‌تر در نزدیکی سطح تمایل به نشست دارند، این پدیده به‌طور مداوم اتفاق می‌افتد، به‌طوری‌که

تفاوت در درجه حرارت بین مناطق عمیق داغ‌تر و مناطق کم عمق سردتر، یک جریان هادی گرما ایجاد می‌کند که تمایل به ایجاد شرایط یکنواخت و تعادل در گرما را داراست، هر چند که در عمل بر اثر پدیده‌های طبیعی این وضعیت اتفاق نمی‌افتد. میانگین جریان گرما از قاره‌ها و اقیانوس‌ها ۶۵ و 101 mWm^{-2} می‌باشد که در حالت کلی این میزان برابر 87 mWm^{-2} می‌باشد. این مقادیر براساس اندازه‌گیری‌هایی به تعداد ۲۴۷۷۴ در ۲۰ تا ۲۰۱ سایت و در حدود ۶۲ درصد از سطح زمین به‌دست آمده است. تخمین‌زننده‌های تجربی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، جریان گرما را در مناطق بدون اندازه‌گیری برآورد می‌کنند. دانشگاه داکوتای شمالی در حال حاضر ارائه داده‌ها و دسترسی به آنها را از طریق اینترنت برای به‌روزرسانی پایگاه داده جریان گرما در مناطق اقیانوسی و قاره‌ای ایجاد کرده است.

همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش عمق دما نیز افزایش پیدا می‌کند که این پدیده در آتشفشان‌ها، چشمه‌های آب گرم و غیره نیز وجود دارد و یک مفهوم کلی ملموس از گرما در داخل زمین است، اما گرمای به‌وجود آمده در مناطقی دیگری قابل تشخیص توسط انسان نیستند و در حالت کلی این پدیده‌ها به‌صورت منابع زمین‌گرمایی تعریف می‌شوند. در ادامه سعی می‌شود که برای توصیف این پدیده‌ها در حالت کلی از نظریه تکتونیک صفحات به شکل ساده، و ارتباط آن را با منابع زمین‌گرمایی استفاده کنیم. سیاره ما متشکل از یک پوسته است که ضخامت آن در مناطق قاره‌ای حدود ۶۵-۲۰ کیلومتر و در مناطق اقیانوسی حدود ۶-۵ کیلومتر است. پوسته تقریباً ۲۹۰۰ کیلومتر ضخامت دارد و هسته



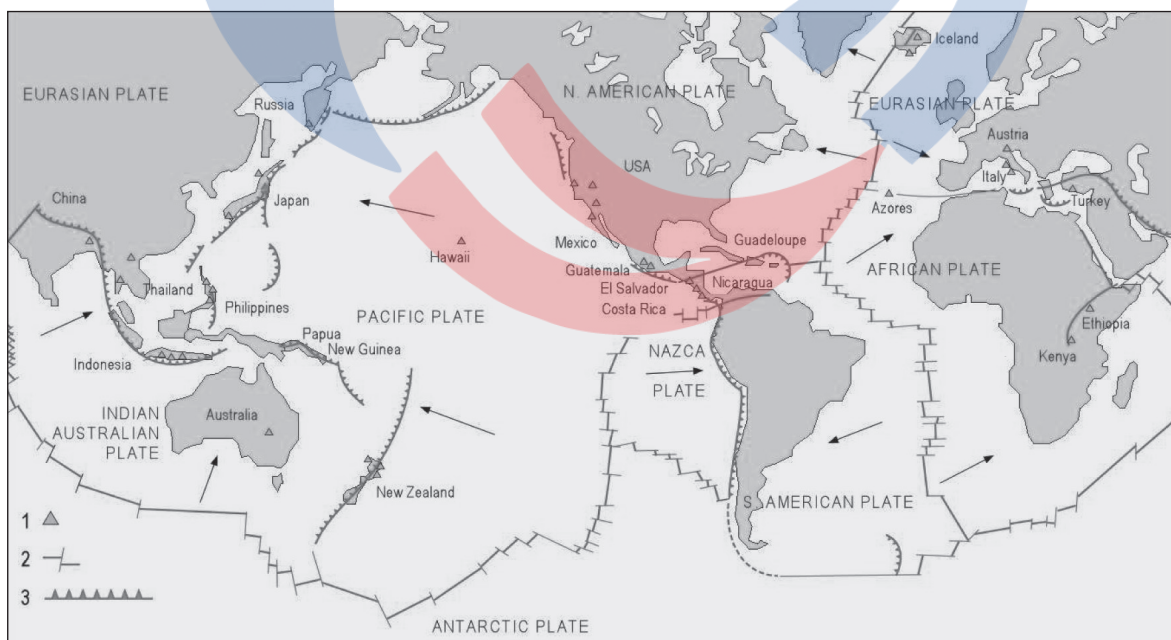


شکل ۴: یک شکل کلی از فرایندهای تکتونیک صفحات

که از استنوسفر به بالا می‌آیند می‌توانند به سطح نزدیک شده و در تماس با آب دریا به شکل جامد در بیایند و پوسته جدید اقیانوسی را تشکیل دهند. بسیاری از موادی که به سمت بالا حرکت می‌کنند عموماً از استنوسفر هستند با این حال، دو نوع از مواد وجود دارند که در جهت خلاف لیتوسفر در زیر آن حرکت می‌کنند. این پدیده پیوسته باعث ایجاد پوسته جدید می‌شود. کشش این دو شاخه در جهت مخالف موجب شده است تا بستر اقیانوس در هر دو طرف کشیده شده و برآمدگی‌های از هم جدا با شیب چند سانتی‌متر در سال از بین بروند. در نتیجه منطقه تخت اقیانوس (لیتوسفر اقیانوسی) تمایل به افزایش دارد. در برآمدگی‌ها

بسیار شبیه به حالتی است که برای آب جوش در یک قابلمه یا کتری اتفاق می‌افتد.

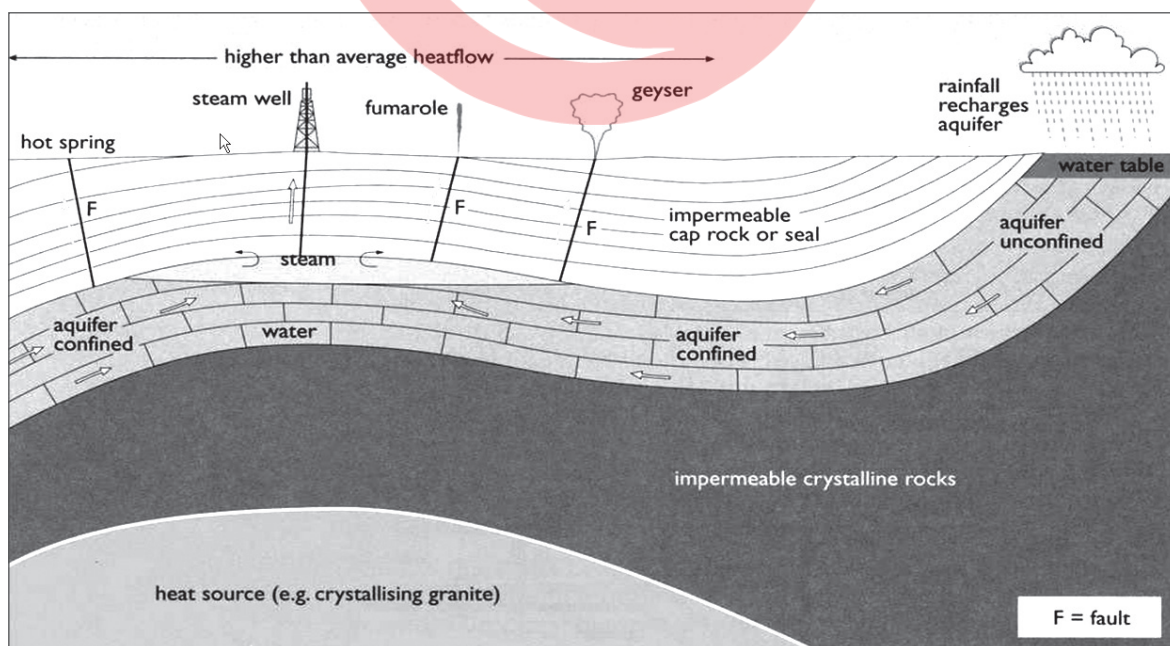
در مناطقی که در آن لیتوسفر نازک‌تر است و به‌خصوص در مناطق اقیانوسی، لیتوسفر رو به بالا هل داده شده و مواد مذاب که از استنوسفر شکسته به‌صورت صعودی به بالا حرکت کرده و باعث ایجاد برآمدگی‌هایی می‌شود. این سازوکار ایجاد شده در بعضی مناطق اقیانوسی، به‌طور مثال آزورس ایسلند باعث ایجاد برآمدگی در حدود ۶۰۰۰۰ کیلومتر شده است و یا حتی می‌توانند یک حرکت خزشی در مناطقی ایجاد کند که از جمله می‌توان به دریای سرخ اشاره کرد. مقدار نسبتاً کمی از سنگ‌های مذاب



شکل ۵: الگوی جهانی صفحات، برآمدگی‌های اقیانوسی، شیارهای اقیانوسی، قسمت فروانش، و قسمت‌های زمین گرمایی است. فلش‌ها جهت حرکت صفحات نسبت به مناطق فروانش را نشان می‌دهد. (۱) قسمت‌های زمین گرمایی برای تولید برق. (۲) برآمدگی‌های اواسط اقیانوسی که تبدیل گسل را قطع کرده‌اند (شیارهای عرضی بلند). (۳) قسمت‌های فروانش، قسمت‌هایی که صفحات نسبت به یکدیگر چین می‌خورند و در قسمت استنوسفر مذاب می‌شوند.

جدول ۱: ظرفیت نصب شده تولیدی انرژی زمین‌گرمایی در سراسر جهان از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰

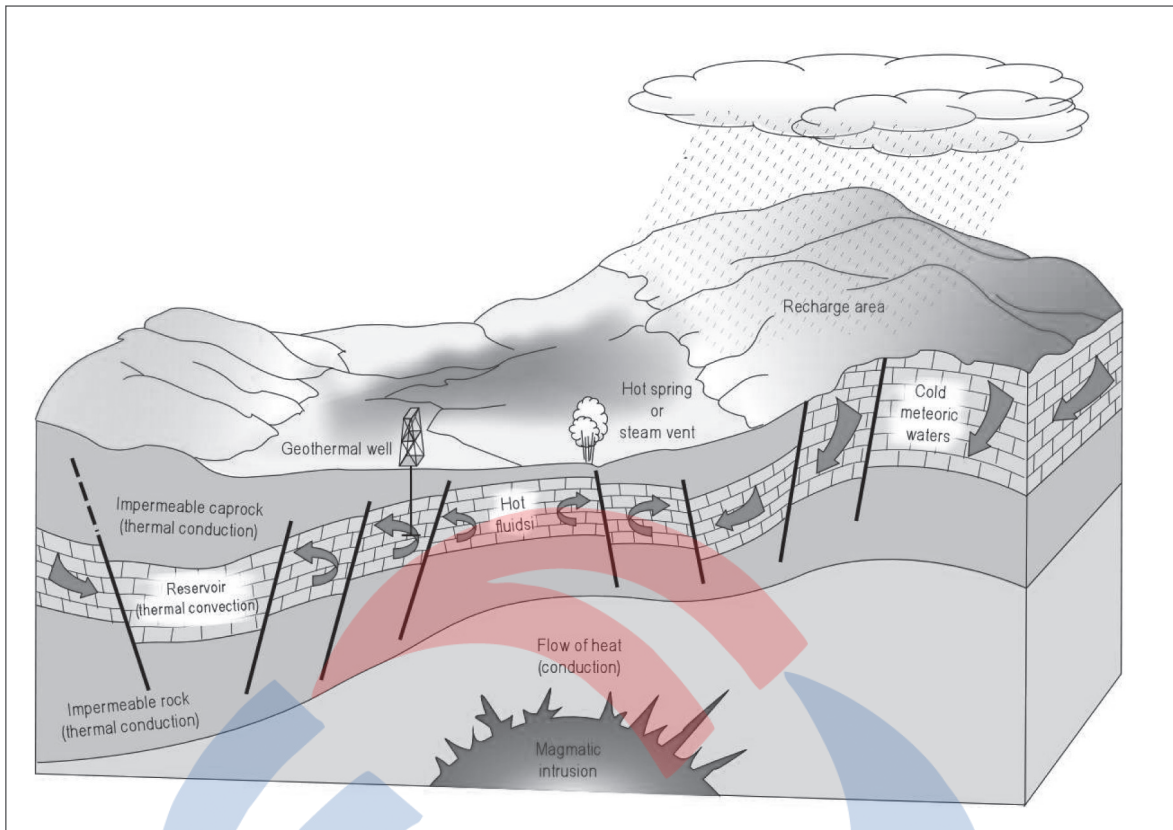
Country	1995 (MW _e)	2000 (MW _e)	1995-2000 (increase in MW _e)	% increase (1995-2000)	2003 (MW _e)
Argentina	0.67	-	-	-	-
Australia	0.15	0.15	-	-	0.15
Austria	-	-	-	-	1.25
China	28.78	29.17	0.39	1.35	28.18
Costa Rica	55	142.5	87.5	159	162.5
El Salvador	105	161	56	53.3	161
Ethiopia	-	7	7	-	7
France	4.2	4.2	-	-	15
Germany	-	-	-	-	0.23
Guatemala	-	33.4	33.4	-	29
Iceland	50	170	120	240	200
Indonesia	309.75	589.5	279.75	90.3	807
Italy	631.7	785	153.3	24.3	790.5
Japan	413.7	546.9	133.2	32.2	560.9
Kenya	45	45	-	-	121
Mexico	753	755	2	0.3	953
New Zealand	286	437	151	52.8	421.3
Nicaragua	70	70	-	-	77.5
Papua New Guinea	-	-	-	-	6
Philippines	1227	1909	682	55.8	1931
Portugal	5	16	11	220	16
Russia	11	23	12	109	73
Thailand	0.3	0.3	-	-	0.3
Turkey	20.4	20.4	-	-	20.4
USA	2816.7	2228	-	-	2020
Total	6833.35	7972.5	1728.54	16.7	8402.21



جدول ۲: میزان استفاده غیر الکتریکی از انرژی زمین گرمایی در سال ۲۰۰۰

Country	Power (MW _e)	Energy (TJ/yr)
Algeria	100	1586
Argentina	25.7	449
Armenia	1	15
Australia	34.4	351
Austria	255.3	1609
Belgium	3.9	107
Bulgaria	107.2	1637
Canada	377.6	1023
Caribbean Islands	0.1	1
Chile	0.4	7
China	2282	37 908
Colombia	13.3	266
Croatia	113.9	555
Czech Republic	12.5	128
Denmark	7.4	75
Egypt	1	15
Finland	80.5	484
France	326	4895
Georgia	250	6307
Germany	397	1568
Greece	57.1	385
Guatemala	4.2	117
Honduras	0.7	17
Hungary	472.7	4086
Iceland	1469	20170
India	80	2517
Indonesia	2.3	43
Israel	63.3	1713
Italy	325.8	3774
Japan	1167	26933
Jordan	153.3	1540
Kenya	1.3	10
Korea	35.8	753
Lithuania	21	599
Macedonia	81.2	510
Mexico	164.2	3919
Nepal	1.1	22
Netherlands	10.8	57
New Zealand	307.9	7081
Norway	6	32
Peru	2.4	49
Philippines	1	25
Poland	68.5	275
Portugal	5.5	35
Romania	152.4	2871
Russia	308.2	6144
Serbia	80	2375
Slovak Republic	132.3	2118
Slovenia	42	705
Sweden	377	4128
Switzerland	547.3	2386
Thailand	0.7	15
Tunisia	23.1	201
Turkey	820	15756
United Kingdom	2.9	21
USA*	3766	20302
Venezuela	0.7	14
Yemen	1	15
Total	15145	190699

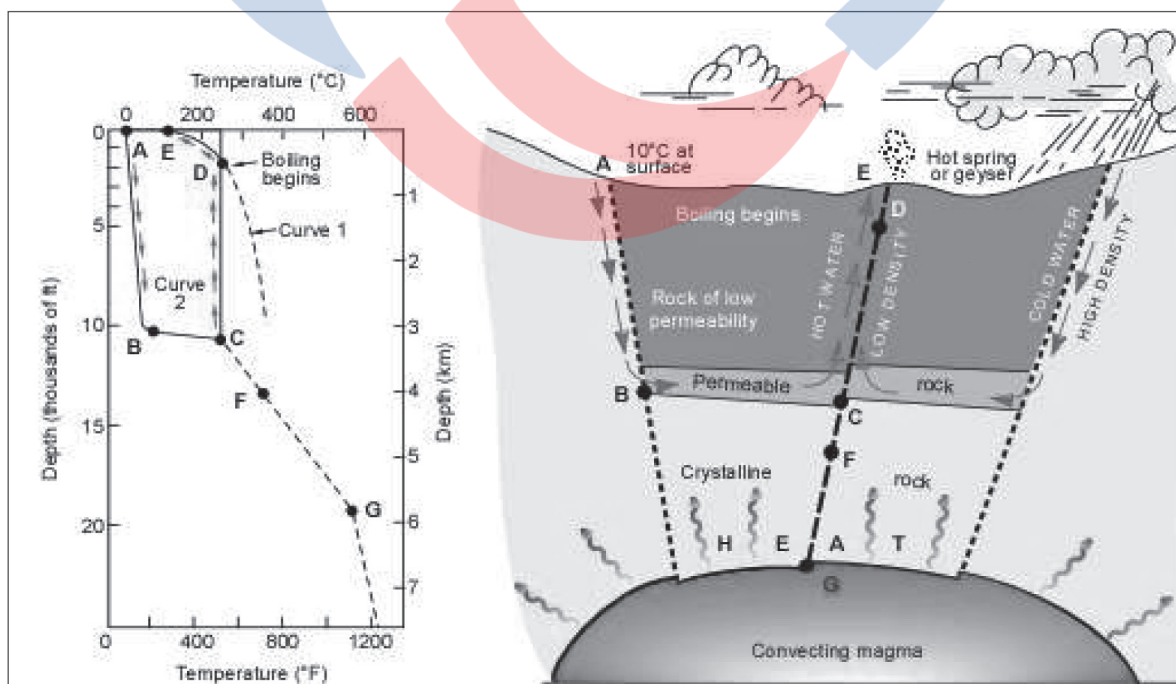




شکل ۶: یک طرح کلی از یک سامانه زمین گرمایی آرمانی

لیتوسفر جدید در امتداد برآمدگی‌ها و گسترش قسمت تخت اقیانوس‌ها، بایستی در قسمت‌های دیگر از لیتوسفر توسط انقباض و جمع‌شدگی از سطح کلی کاسته شود. این در واقع همان اتفاقی است که به گسترش در امتداد حاشیه غربی اقیانوس آرام و سواحل

ترک‌های عمود عظیمی ایجاد می‌شود که در برخی موارد چند هزار کیلومتر طول دارند که نام آنها تبدیل گسل می‌باشد. این پدیده منجر به یک نتیجه‌گیری ساده می‌شود که ظاهراً در اثر افزایش در سطح زمین با گذشت زمان و شکل‌گیری

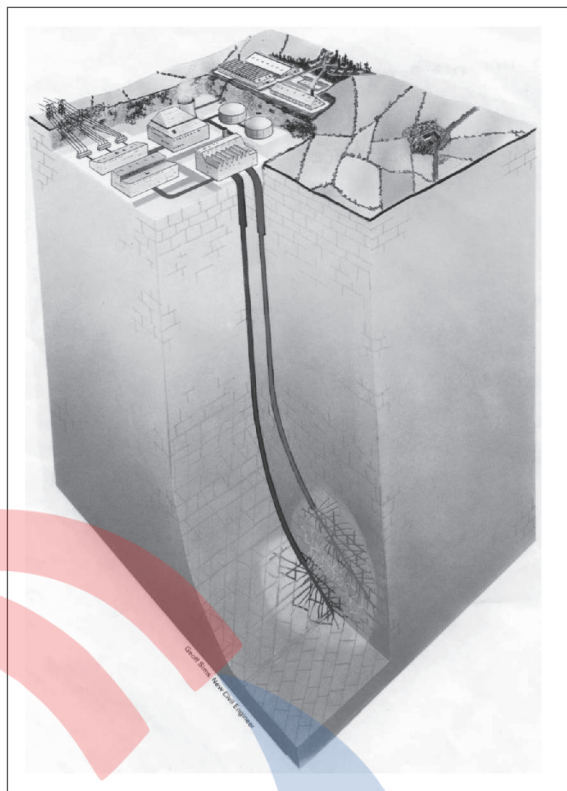


شکل ۷: طرحی از سامانه زمین گرمایی. منحنی ۱ مرجع برای نقطه جوش آب خالص. منحنی ۲ مشخصات دما در امتداد مسیر گردش به طور معمول از شارژ مجدد در نقطه A و تخلیه در نقطه E.

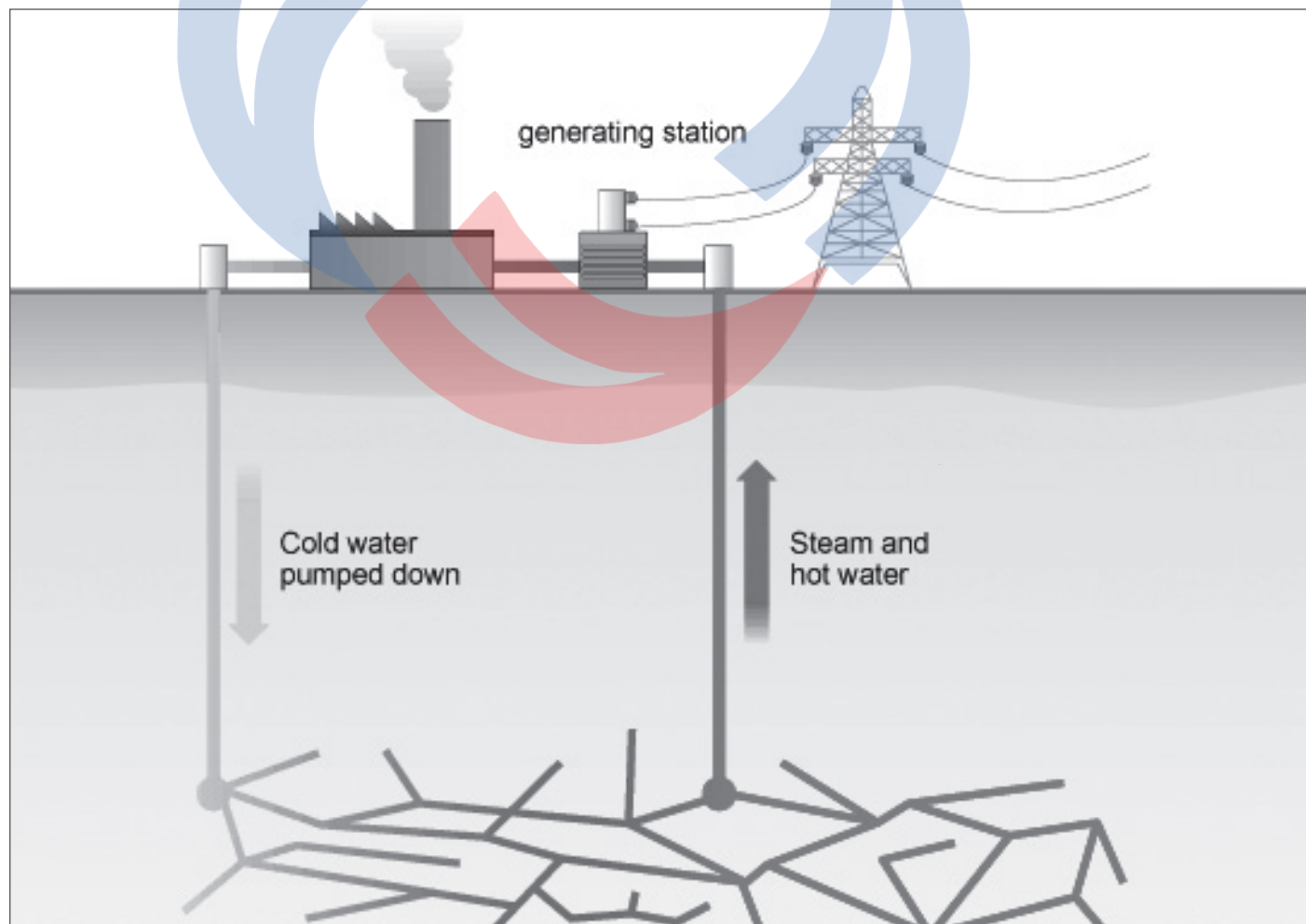
غربی آمریکای جنوبی منجر شده است. در مناطق فرورانش، لیتوسفر رو به پایین چین می‌خورد، فرو ریختن لیتوسفر مجاور باعث سقوط آن به مناطق بسیار گرم و عمیق می‌شود که در پوسته زمین هضم شده و چرخه دوباره آغاز می‌شود. بخشی از مواد لیتوسفر مجدداً به حالت مذاب تبدیل شده و ممکن است دوباره به سطح برگشته و باعث ترک‌هایی در پوسته شوند. به عنوان یک نتیجه قوس ماگمایی با آتشفشان‌های متعدد در مقابل برآمدگی‌ها تشکیل یکسری شیارهای موازی داده است. شیارها در اقیانوس واقع شده‌اند که به‌طور مثال در غرب اقیانوس آرام، این قوس ماگمایی از زنجیره‌ای از جزایر آتشفشانی تشکیل شده است که در آن شیارها در امتداد حاشیه قاره شامل زنجیره‌ای از کوه‌ها با آتشفشان‌های متعددی مانند آند به‌وجود می‌آیند. شکل ۴ نشان‌دهنده همین مطلب است.

پخش شدن برآمدگی‌ها و تبدیل گسل‌ها و مناطق فرورانش باعث تشکیل یک شبکه گسترده شده است که سیاره ما را به شش بخش عظیم و چندین مناطق دیگر کوچک‌تر که به آنها صفحات نیز گفته می‌شود تقسیم کرده است (شکل ۵).

تنش‌های عظیم تولید شده توسط قسمت گرمای زمین باعث



شکل ۸: طرح کلی از سامانه Hot Dry Rock

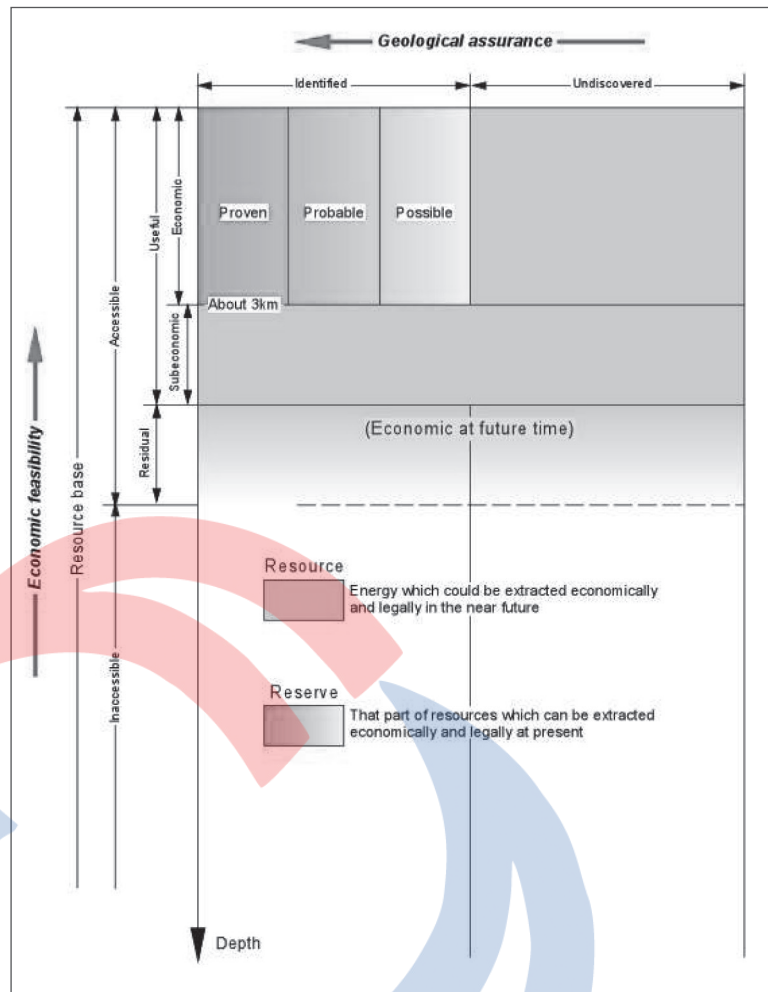


رانش صفحات به آرامی در مقابل یکدیگر و تغییر موقعیت به طور مستمر با عدم تقارن را ایجاد می کند.

حاشیه های صفحات شبیه به ترک های ضعیف و متراکم پوسته است که در حالت ارتعاشی بسیار شدیدی می باشد و این حالت در اثر تعداد زیادی آتشفشان و به خاطر بالا آمدن مواد مذاب به سطح زمین به وجود آمده است. همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، مهم ترین مناطق زمین گرمایی در اطراف حاشیه صفحات قرار گرفته است.

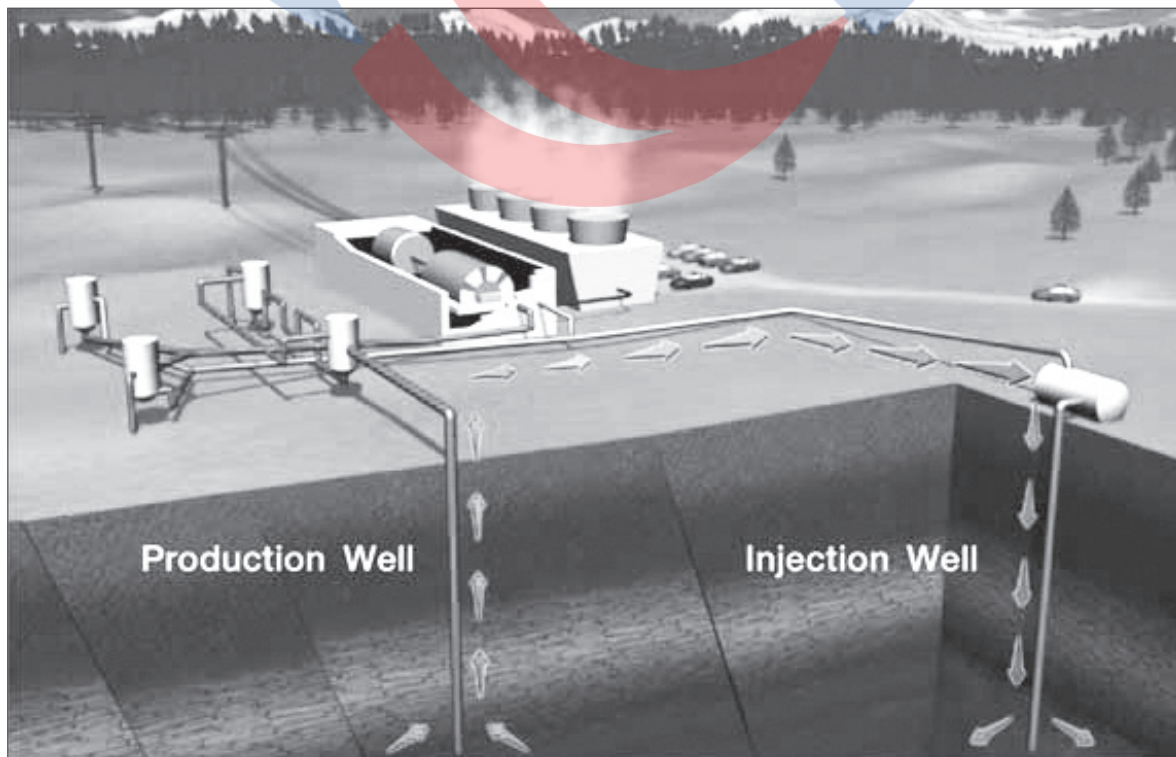
۵- سامانه های زمین گرمایی

سامانه های زمین گرمایی در مناطق با شیب طبیعی یا کمی بالاتر از گرادیان زمین گرمایی طبیعی و به خصوص در مناطق حاشیه صفحات که در آن شیب زمین گرمایی به میزان قابل توجهی بالاتر از مقدار متوسط آن می باشد، یافت می شود. در حالت اول مشخصه سامانه دماهای پایین که حتی به دمای بالاتر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد در عمق های اقتصادی نمی رسند و در



شکل ۹: نمودار نشان دهنده انواع مختلف منابع زمین گرمایی است. (Muffler and Cataldi, 1978)

محور عمودی نمایش دهنده توجیه اقتصادی حفاری است و محور افقی نشان دهنده درجه اطمینان از زمین شناسی است



	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Low enthalpy resources	< 90	<125	<100	≤ 50	≤ 90
Intermediate enthalpy resources	90-150	125-225	100-200	-	-
High enthalpy resources	>150	>225	>200	>150	>190

Source: (a) Muffler and Cataldi (1978).
 (b) Hochstein (1990).
 (c) Benderitter and Cormy (1990).
 (d) Nicholson (1993).
 (e) Axelsson and Gunnlaugsson (2000)

مورد دوم درجه حرارت می‌تواند طیف گسترده‌ای از پایین به بالا را پوشش دهد و حتی در بعضی موارد به بیش از ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

۶- سامانه زمین‌گرمایی چیست و در چنین سامانه‌ای

چه اتفاقی می‌افتد؟

می‌توان به طور خلاصه طبق نظریه Hochstein در سال ۱۹۹۰ سامانه را بدین شکل توصیف کرد که آب در پوسته فوقانی زمین که در یک فضای محدود است، عملیات انتقال گرما از منبع گرما به قسمتی که گرما در آن پایین‌تر است را انجام می‌دهد که معمولاً سطح آزاد دارای گرمای کمتری است. سامانه زمین‌گرمایی از سه عنصر اصلی تشکیل شده؛ منبع گرما، مخزن و سیال که حامل انتقال گرما است. منبع گرما می‌تواند دارای دمای بسیار زیادی باشد (بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد) که در اثر نفوذ ماگمایی به وجود می‌آید که می‌تواند در اعماق نسبتاً کم (۵ الی ۱۰ کیلومتر) نیز اتفاق بیفتد و یا همان‌طور که پیشتر توضیح داده شده، در سامانه‌های کم‌دما این اتفاق با افزایش عمق ایجاد شود. مخزن آن نیز در بین صخره‌های قابل نفوذ و تراوا است که سیال در آنها چرخش می‌کند.

این مخزن معمولاً توسط سنگ‌های غیر قابل نفوذ احاطه شده است که به قسمت‌های سطحی متصل است که از طریق آن می‌تواند مقداری آب جایگزین سیالاتی شود که به طرق مختلف از قبیل فرار سیال از طریق چشمه‌ها از چرخه خارج می‌شوند. سیال اصلی در چرخه زمین‌گرمایی، آب است که این سیال بسته به شرایط فشار و دما می‌تواند در دو حالت فاز مایع یا بخار باشند. این آب اغلب دارای مواد شیمیایی و گازهای مختلف مانند H_2S ، CO_2 و غیره در خود می‌باشد. شکل ۶ نمایش ساده‌ای از یک سامانه آرمانی زمین‌گرمایی است.

سازوکار عمده همه سامانه‌های زمین‌گرمایی همرفت مایعات

جریان همرفت به دلیل گرمای زمین و سپس نیروی جاذبه در گردش ایجاد می‌شود. در واقع گرمای ناشی از زمین موجب ایجاد گردش می‌شود و تنها انرژی آن می‌باشد. سیال با چگالی و تراکم کمتر و دمای بالاتر به سمت بالا حرکت کرده و سیال با چگالی بیشتر و دمای کمتر که از حاشیه‌ها می‌آید جای آن را می‌گیرد.

جریان همرفت به‌طور طبیعی تمایل به افزایش دمای هوا در قسمت بالای سامانه و کاهش درجه حرارت در قسمت پایین سامانه دارد. مدل در نظر گرفته یک حالت کاملاً ساده اما شبیه‌سازی یک مدل خوب از یک سامانه زمین‌گرمایی واقعی است. استفاده از این انرژی نیاز به مهارت در بسیاری از رشته‌ها و تجربه گسترده دارد، به‌ویژه هنگامی که در ارتباط با سامانه‌های با درجه حرارت بالا قرار بگیریم. سامانه‌های زمین‌گرمایی در طبیعت در اثر ترکیبی از حالت‌های مختلف زمین‌شناسی و فیزیکی و شیمیایی اتفاق می‌افتد و در نتیجه تعداد بسیار مختلفی از این سامانه وجود دارد.

از تمام عناصر یک سامانه زمین‌گرمایی، منبع گرما، تنها قسمتی است به‌طور طبیعی وجود دارد. فراهم کردن شرایط مطلوب دو عنصر دیگر می‌تواند به‌طور مصنوعی ایجاد شود. به‌عنوان مثال، سیال در سامانه زمین‌گرمایی می‌تواند از مخزن به توربین نیروگاه برق استخراج شده و سپس لازم است دوباره به مخزن از طریق چاه‌های تزریق خاص برگشته شود. در این حالت تغذیه طبیعی مخزن توسط تغذیه مصنوعی انجام می‌شود. برای سالیان متمادی است که این روش یک حالت مؤثر را نیز به وجود آورده است تا اثرات تخریبی محیط‌زیست کاهش پیدا کند.

تغذیه مصنوعی از طریق چاه‌های تزریق همچنین می‌تواند برای تجدید مجدد منابع زمین‌گرمایی مفید واقع شود. به‌عنوان مثال، در آتشفشانی در کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا که یکی از

می‌باشد که این انرژی غالباً گرمای ذخیره شده بین سطح زمین و عمق پوسته می‌باشد و در واقع این منبع انرژی بایستی در دسترس و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد و در طی زمان کمی این انرژی قابل تجدید باشد (کمتر از ۱۰۰ سال). این طبقه‌بندی به عنوان یک منبع انرژی اقتصادی معرفی می‌شود.

شکل ۹ در حالت گرافیکی شرایط و روند استفاده از منابع زمین گرمایی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود تا ارتفاع ۳ کیلومتر به عنوان یک منبع انرژی قابل استفاده اقتصادی است و بیشتر از آن به عنوان منابع آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یکی از معیارهای مهم برای طبقه‌بندی منابع زمین گرمایی، آنتالپی سیال است که به عنوان یک عامل انتقال گرما از سنگ‌های داغ عمیق به سطح عمل می‌کنند. آنتالپی در واقع کم و بیش متناسب با دما و بیان‌کننده گرما (انرژی گرمایی) محتوای سیالات است. منابع زمین گرمایی بر اساس آنتالپی آنها به سه حالت کم، متوسط و بالا تقسیم می‌شود که در واقع معیار اصلی سنجش آن بر اساس میزان انرژی سیالات است. جدول ۳ گزارش طبقه‌بندی

بزرگ‌ترین منابع زمین گرمایی در جهان به شمار می‌رود، به دلیل فقدان سیالات انتقالی کاهش چشمگیر در تولید انرژی به وجود آمد. اولین پروژه از این نوع، آفشان‌های جنوب شرقی آمریکا بود که در سال ۱۹۹۷ از بازیافت پساب استفاده شد و به طول ۴۸ کیلومتر آن را انتقال داده تا به میدان زمین گرمایی برسد. این پروژه تا به حال کمک شایانی به فعال شدن دوباره تعدادی از نیروگاه‌های برق که به دلیل فقدان سیالات متروک شده بود، نمود. در سامانه دوم، پروژه آفشان‌های سانتارزا بود که منجر به انتقال ۵/۴۱ میلیون لیتر در روز سیال از پساب آب از فاضلاب منطقه‌ای و شهرهای دیگر که از طریق یک خط لوله ۶۶ کیلومتری به میدان زمین گرمایی منتقل می‌گردد، انجام شد.

در یک حالت دیگر که موسوم به Hot Dry Rock (HDR) است که برای اولین بار در لوس آلاموس، نیومکزیکو، ایالات متحده آمریکا، در سال ۱۹۷۰ تجربه شد، هر دو سیال و مخزن به شکل مصنوعی بوجود آمدند. آب با فشار بالا از طریق چاه‌های مصنوعی به مناطق داغ تزریق شدند که در نتیجه آن صخره‌ها فشرده شده و شکست هیدرولیکی مصنوعی ایجاد شد. آب در قسمت‌های شکست مصنوعی نفوذ کرده و باعث خارج شدن گرما از کناره‌های سنگ‌ها می‌شود که به عنوان یک مخزن طبیعی عمل می‌کند.

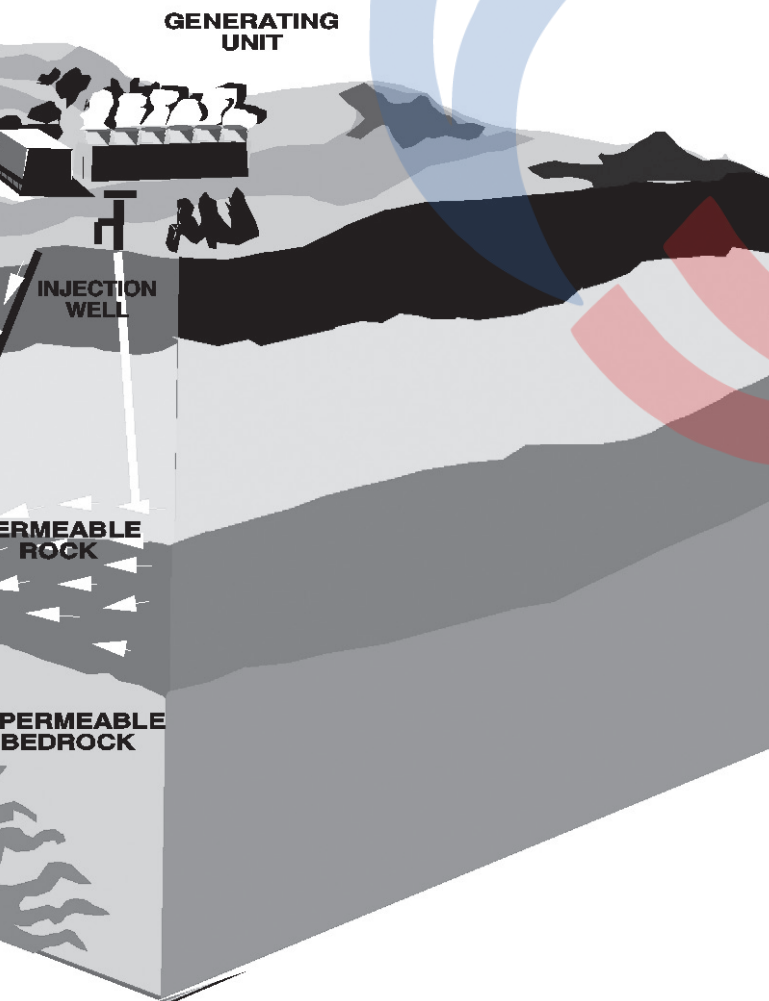
بعد از این مخزن توسط چاه دوم برای استخراج آب گرم نفوذ شده سوراخ می‌شود. بنابراین، این سامانه دارای سه قسمت بوده که شامل (۱) گمانه برای شکست هیدرولیکی است که از طریق آن آب سرد تزریق می‌شود، (۲) مخزن مصنوعی و (۳) گمانه مورد استفاده برای استخراج آب گرم. کل سامانه، با استفاده از سطح آن می‌تواند یک حلقه بسته را تشکیل دهد. (شکل ۸)

پروژه لوس آلاموس به عنوان یک حالت پیشرو برای پروژه‌های مشابه در استرالیا، فرانسه، آلمان، ژاپن و بریتانیا بود. پس از یک دوره نسبی کوتاه این پروژه‌ها وارد فاز جدیدی شد که در این حالت در مرحله اول به دنبال سنگ‌های عمیقی بودند که در آنها درجه خاصی از ترک طبیعی موجود بود و سپس توسط فناوری با توجه به شرایط زمین‌شناسی، عملیات گمانه‌زنی انجام می‌شد. بیشترین تحقیقات در زمینه HDR در ژاپن و در قسمت‌هایی از اروپا در آلزاس (فرانسه) انجام شد.

۷- تعریف و طبقه‌بندی منابع زمین گرمایی

هیچ استاندارد بین‌المللی در زمینه استفاده از منابع زمین گرمایی در دنیا وجود ندارد. موارد زیر برخی از رایج‌ترین تعاریف و طبقه‌بندی در این رشته است.

بر طبق نظریه Muffler and Cataldi در سال ۱۹۷۸ زمانی که در مورد زمین گرمایی صحبت می‌شود منظور انرژی قابل دسترس

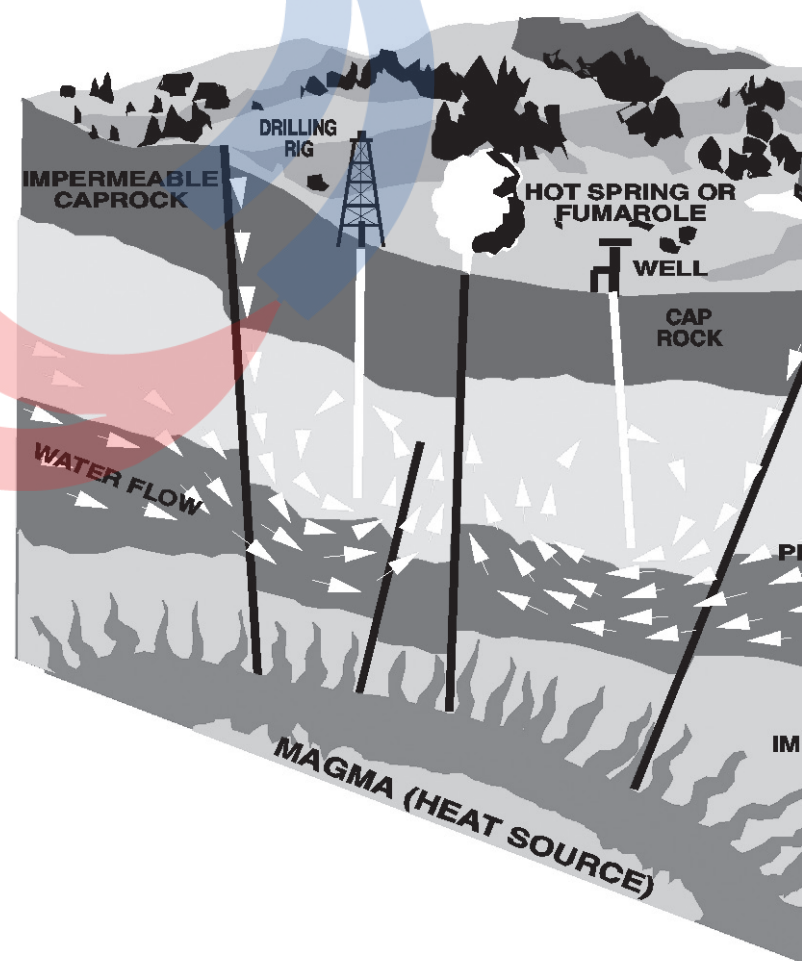


پیشنهاد شده توسط تعدادی از محققان است.

غالباً بایستی در مباحث زمین‌گرمایی تفاوت بین آب و سیالات دیگر و یا حتی سیال در فاز مایع یا گاز قائل بود. در سامانه آبی، آب به‌عنوان یک سیال با فشار کنترل شده به‌صورت پیوسته در حالت مایع عمل می‌کند. البته در این حالت مقداری بخارهای گسسته نیز وجود دارند. این سامانه‌های زمین‌گرمایی که درجه حرارتی بین ۱۲۵ تا ۲۲۵ درجه سانتی‌گراد دارند، طیف وسیعی از سامانه‌های زمین‌گرمایی را در دنیا تشکیل می‌دهند. بسته به شرایط دما و فشار، آنها می‌توانند آب گرم، آب و مخلوط بخار، بخار مرطوب و در برخی موارد، بخار خشک را تولید کنند. در سامانه‌هایی که بخار آب مایع حاکم است آب مایع و بخار به‌طور معمول در مخزن وجود دارند که بخار به‌عنوان کنترل پیوستگی عمل می‌کند. سامانه‌های زمین‌گرمایی از این نوع، از بهترین نوع و شناخته‌شده‌ترین آن در Larderello در ایتالیا و آلفشان‌های کالیفرنیا هستند و سامانه‌های با درجه حرارت بالا به‌شمار می‌روند. آنها به‌طور طبیعی بخار خشک را به حالت بخار فوق گرم تبدیل می‌کنند.

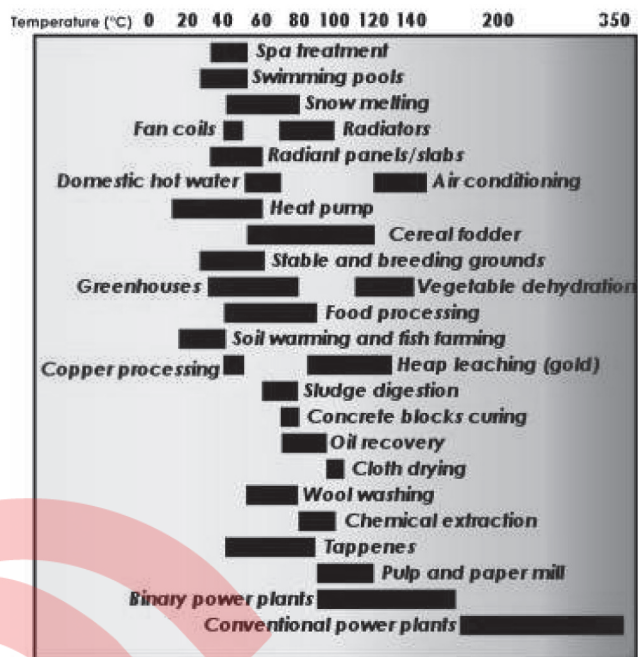
واژگانی از قبیل شرایط مرطوب، خشک و بخار فوق گرم، که غالباً توسط زمین‌شناسان استفاده می‌شود، نیاز به برخی توضیحات برای خوانندگانی دارد که پس زمینه مهندسی ندارند. برای اینکه این موضوع بسیار ساده شود، می‌توان به عنوان مثال یک قابلمه پر از آب مایع که در آن فشار را می‌توان در حدود یک اتمسفر (۱۰۱/۳ کیلو پاسکال) نگهداری کرد را فرض کرد. اگر ما گرمادهی آب را ادامه دهیم، آب به نقطه جوش خود رسیده و شروع به جوشیدن می‌کند که این مقدار در فشار یک اتمسفر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است و در این حالت از مایع به گاز (بخار) تغییر فاز می‌دهد. در همین شرایط خاص کتری هر دو حالت فازی یعنی مایع و بخار را در خود دارد. بخار همراه با مایع وجود دارد و چون در حالت تعادل ترمودینامیکی هستیم آن بخار مرطوب است. اگر ما همچنان به گرم کردن کتری و حفظ فشار ۱ اتمسفر ادامه دهیم، مایع به‌طور کامل تبدیل به بخار شده و کتری فقط حاوی بخار است. این همان چیزی است که به آن بخار خشک گفته می‌شود. مخلوطی از هر دو بخار مرطوب و خشک بخار "اشباع شده" نامیده می‌شود. در نهایت با افزایش دما مثلاً در حدود ۱۲۰ سانتی‌گراد و نگه داشتن فشار ۱ اتمسفر بخار فوق گرم ایجاد می‌شود که در این حالت به‌طور مثال ۲۰ درجه سانتی‌گراد که بالاتر از زمان بخار شدن آب است تولید بخار فوق داغ را می‌کند. در دما و فشارهای دیگر نیز این پدیده در زیر زمین اتفاق می‌افتد که این حالت یک چرخه طبیعی است.

دیگر تقسیم‌بندی سامانه‌های زمین‌گرمایی بر اساس حالت تعادل آن در منبع آنها است که با توجه به گردش سیال و سازوکار انتقال گرما به‌وجود می‌آید. در سامانه‌های پویا، مخزن به‌طور مستمر توسط آب که گرم شده تغذیه شده و پس از آن می‌تواند از طریق نشست مخزن از قسمت‌های تراوای مخزن و یا انتقال به سطح تخلیه شود. گرما در این سامانه از طریق سامانه انتقال گرما (همرفت) و گردش سیال منتقل می‌شود. این بخش شامل دمای بالا (بیشتر از ۱۵۰ °C) و دمای پایین (کمتر از ۱۵۰ °C) می‌شود. در سامانه‌های ایستا که به آن سامانه‌های راکد و یا ذخیره‌سازی گفته می‌شود، مخزن مجدداً تغذیه نشده و گرما فقط توسط هدایت منتقل می‌شود. این بخش تنها شامل سامانه‌های کم دما و کم فشار می‌باشد. این سامانه‌ها معمولاً در زمین‌هایی که خاصیت رسوبی دارند دیده می‌شوند، مانند خلیج مکزیک، ایالات متحده آمریکا در عمق ۷-۳ کیلومتر (geopressured systems). این سامانه‌ها از سنگ‌های نفوذپذیر رسوبی شامل انتقال کم در داخل غشاهای نفوذناپذیر حاوی آب داغ تحت فشار که در لحظه‌ای از تنش‌یابی رسوبات به دام افتاده و در آن باقی مانده، تشکیل شده است. فشار آب گرم در این حالت تا حد زیادی بیش از فشار هیدروایستا است. مخازن در این حالت نیز حاوی مقادیر قابل توجهی از متان هستند.



گرم در همان مقیاس زمانی تولید می‌شود. این طبقه‌بندی توجیهی از انرژی زمین‌گرمایی به‌عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر است. در موارد دیگر همانند سنگ‌های داغ، و برخی از آب‌های داغ در حوضه رسوبی، قابلیت شارژ مجدد انرژی فقط از طریق هدایت گرمایی انجام می‌شود و با توجه به نرخ آهسته آن این منابع نیز به منابع محدود انرژی در نظر گرفته می‌شود (Stefansson 2000).

همچنین این منابع به‌عنوان منابع پایدار در مصرف شناخته می‌شوند که این موضوع بستگی به مقدار اصلی آن و سرعت تولید مجدد و نرخ مصرف دارد. اصطلاح توسعه پایدار که توسط کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد که این انرژی پاسخگوی نیازهای نسل حاضر بدون به خطر انداختن نیازهای نسل‌های آینده است.



شکل ۱۰: نمودار نشان دادن استفاده از سیالات زمین‌گرمایی (مشتق شده از

Lindal 1973)

۸- اکتشاف و اهداف از آن

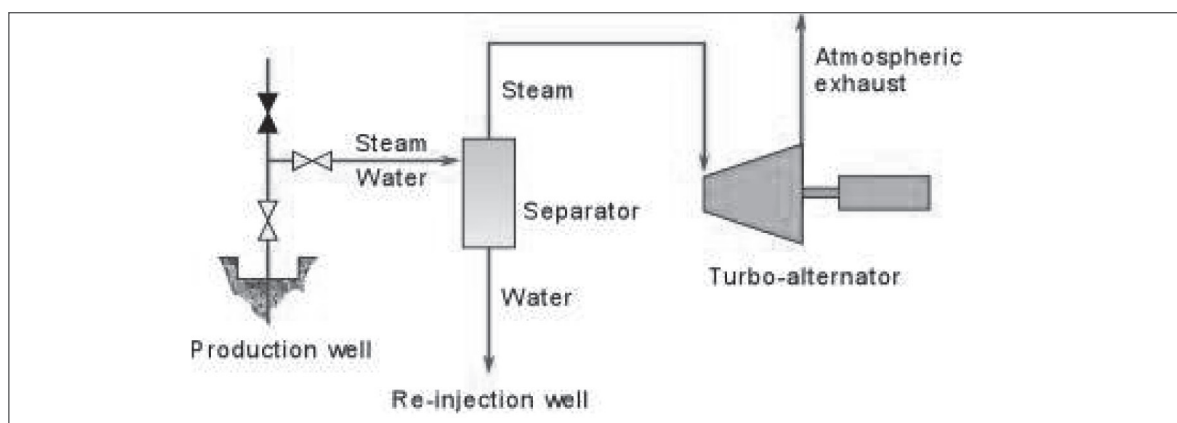
طبق نظریه Lumb 1981 هدف از اکتشاف زمین‌گرمایی عبارت است از:

- ۱- شناسایی پدیده‌های زمین‌گرمایی
- ۲- مشخص کردن موقعیت‌های مفید برای تولید انرژی زمین‌گرمایی
- ۳- برآورد اندازه منابع
- ۴- تعیین کردن نوع میدان زمین‌گرمایی
- ۵- تعیین محل مناطق دقیق مولد
- ۶- تعیین کردن چاه‌هایی برای تخلیه گرما موجود در سیالات که در حلقه زمین‌گرمایی مورد استفاده قرار می‌گیرند
- ۷- تفسیر داده‌های اولیه

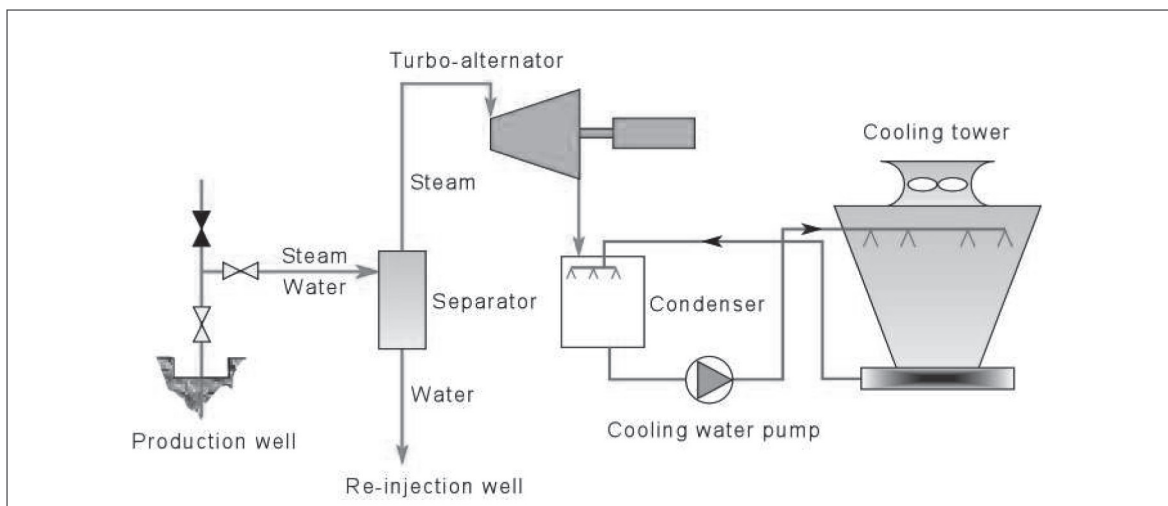
این‌گونه سامانه‌ها می‌توانند انرژی گرمای و هیدرولیکی (آب گرم تحت فشار) و گاز متان تولید کنند. بررسی این منابع به گسترده انجام شده است، اما تاکنون بهره‌برداری صنعتی از آن صورت نگرفته است.

منابع زمین‌گرمایی معمولاً بر اساس مباحث جغرافیایی هستند که زمینه فعالیت‌های زمین‌گرمایی در سطح زمین را نشان می‌دهند. در موارد بدون فعالیت در سطح این اصطلاح ممکن است به منظور نشان دادن منطقه در سطح مربوط به مخزن زمین‌گرمایی در زیر آن مورد استفاده قرار گیرد. (Axelsson و Gunnlaugsson 2000).

در استفاده از منابع زمین‌گرمایی مهم‌ترین خصوصیات تجدیدپذیری آن است. مهم‌ترین عامل استفاده از این منابع مدت زمان تغذیه و شارژ مجدد منابع است. در بهره‌برداری از سامانه‌های طبیعی زمین‌گرمایی، انرژی تغذیه مجدد آن توسط گرما و حرکت افقی آب



شکل ۱۱: الگویی از خروجی جوی در یک کارخانه زمین‌گرمایی. جریان سیال زمین‌گرمایی با رنگ قرمز نشان داده شده است



شکل ۱۲: طرحی از یک واحد تغلیظ‌کننده. جریان سیال در دمای بالا با رنگ قرمز و آب خنک‌کننده به رنگ آبی نشان داده شده است

شمار نمی‌آیند. در مقابل، استفاده از فناوری‌هایی در اکتشاف نفت می‌تواند تبدیل به ابزار آرمانی در جستجو برای گرمای طبیعی باشند.

۸- تعیین کردن ارزش‌های بهره‌برداری نسبت به پارامترهای سازگار با محیط‌زیست

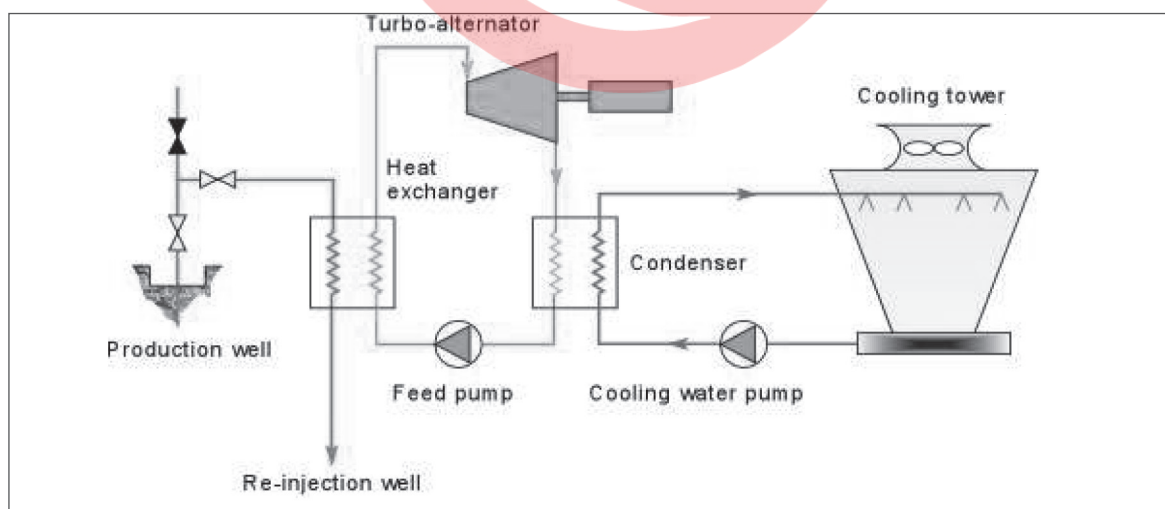
۹- مشخص کردن ویژگی‌های منطقه که ممکن است در توسعه میدان مشکل‌آفرین شود

۹- روش‌های اکتشافی

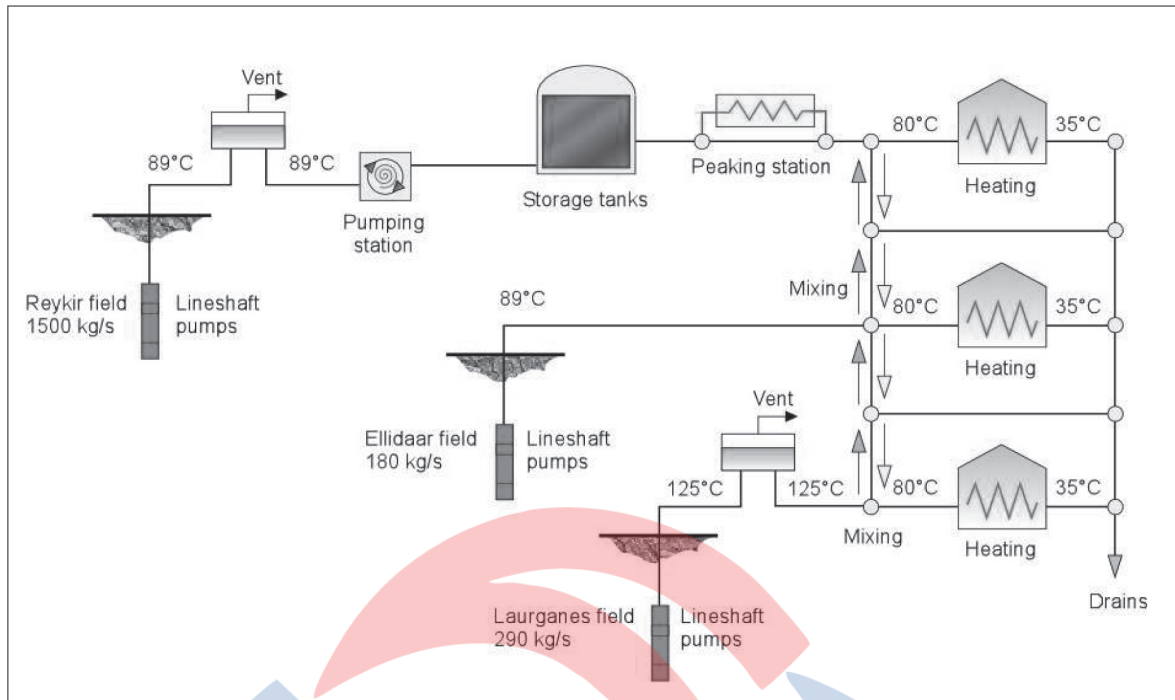
مطالعات زمین‌شناسی نقطه شروع هر برنامه اکتشاف است و اساس اولیه آنها شناسایی محل و وسعت مناطق و در ادامه تحقیق در جزئیات بیشتر و معرفی مناسب‌ترین روش‌های اکتشاف برای این مناطق است. مطالعات زمین‌شناسی نقش مهمی را در تمام مراحل بعدی از تحقیقات زمین‌گرایی، تا مکان از گمانه‌های اکتشافی و تولید است. آنها همچنین اطلاعات زمینه را برای تفسیر اطلاعات به دست آمده با سایر روش‌های اکتشاف و در نهایت برای ساخت یک مدل واقعی از این سامانه زمین‌گرمایی و ارزیابی پتانسیل از منابع را فراهم خواهد کرد. اطلاعات به دست آمده از

هر کدام از اهمیت فوق خود به تعدادی از عوامل بستگی دارد، که اکثر آنها به منابع خود گره خورده است. این عوامل عبارتند از استفاده از پیش‌بینی، فناوری در دسترس، اقتصاد، وضعیت مکان و زمان.

تعداد زیادی از روش‌ها و فناوری‌ها برای رسیدن به این اهداف در دسترس هستند. بسیاری از این روش‌ها قبلاً به طور گسترده‌ای در بخش دیگری از پژوهش تجربه گردیده‌اند. فناوری‌ها و روش‌هایی در استخراج مواد معدنی و اکتشاف نفت یا گاز به اثبات رسیده‌اند که می‌تواند در این سامانه نیز مورد استفاده قرار گیرد. ولی با این حال لزوماً بهترین راه‌حل در اکتشافات زمین‌گرمایی به



شکل ۱۳: طرح کلی یک نیروگاه برق زمین‌گرمایی دوتایی. جریان سیال زمین‌گرمایی به رنگ قرمز، سیال ثانویه به رنگ سبز و آب خنک‌کننده به رنگ آبی نمایش داده شده است

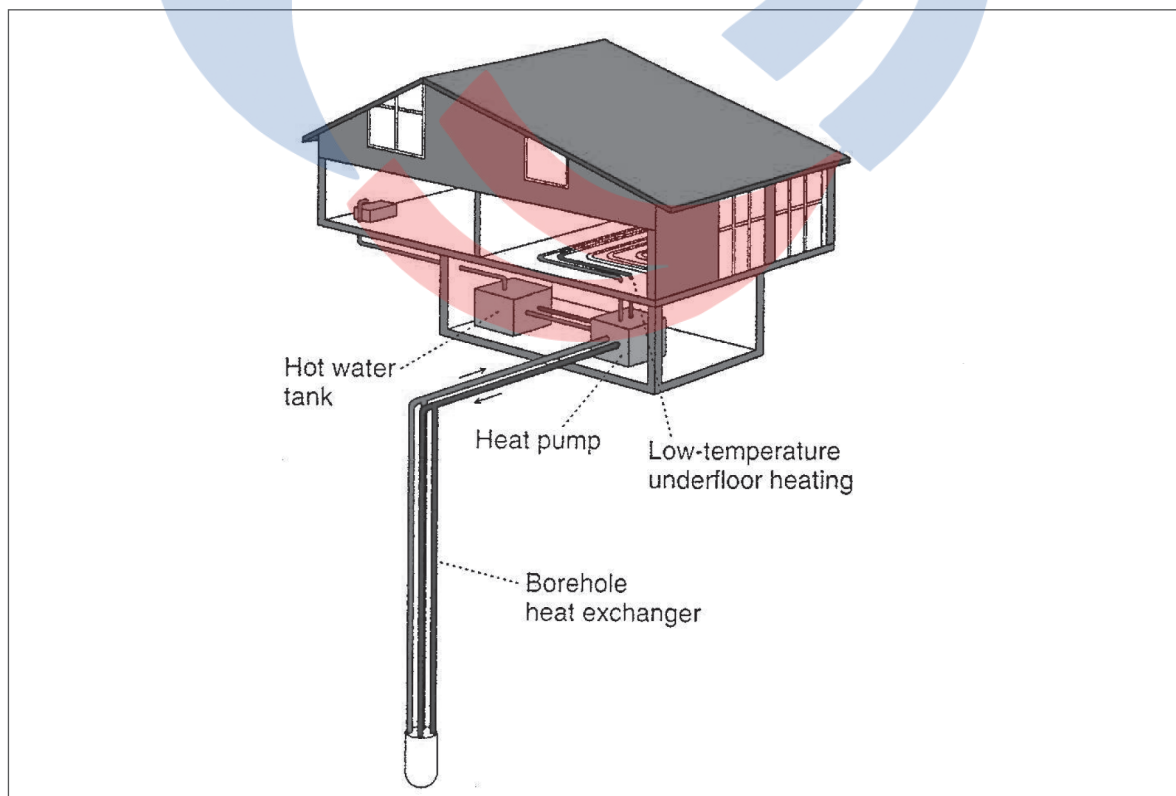


شکل ۱۴: نمودار جریان ساده از سامانه گرمای مرکزی زمین گرمایی (از Gudmundsson, 1988)

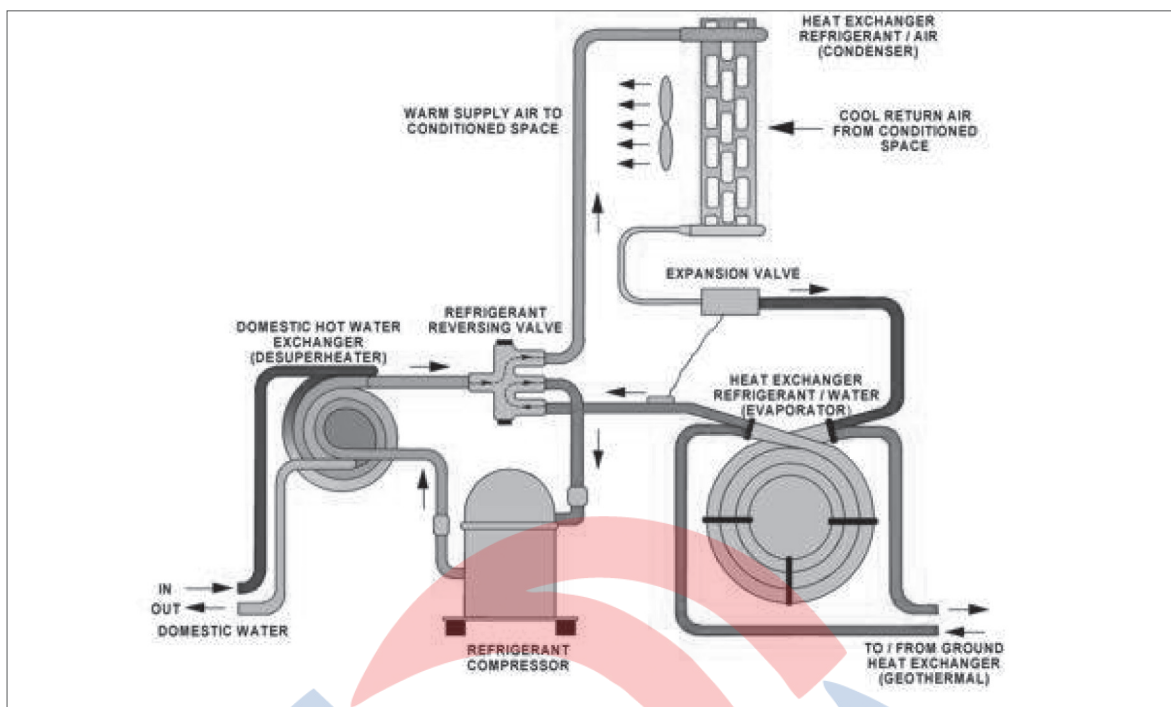
چه نوعی است، برآورد درجه حرارت حداقل در عمق، برآورد همگن از عرضه سیال، استنباط ویژگی‌های شیمیایی سیال عمیق، و تعیین سیال برای تغذیه مجدد مخزن به شمار می‌رود. اطلاعات ارزشمند نیز می‌تواند بر روی نوعی از مشکلات خاص نیز به کار

مطالعات زمین‌شناسی نیز ممکن است در مرحله تولید استفاده شود.

بررسی‌های ژئوشیمیایی (از جمله ژئوشیمی ایزوتوپ) ابزار مفیدی برای تعیین مواردی از قبیل این که سامانه زمین گرمایی



شکل ۱۵: برنامه معمول سامانه به همراه سامانه پمپ گرمایشی (از Sanner, 2003).

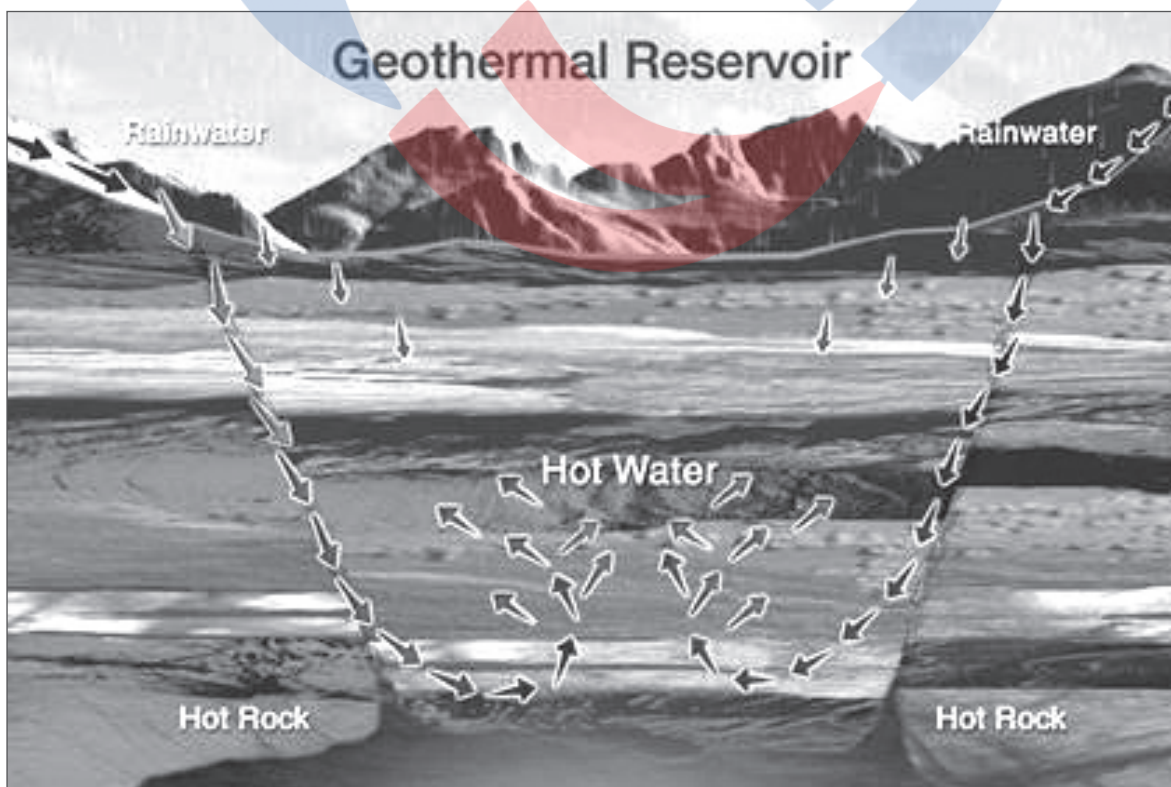


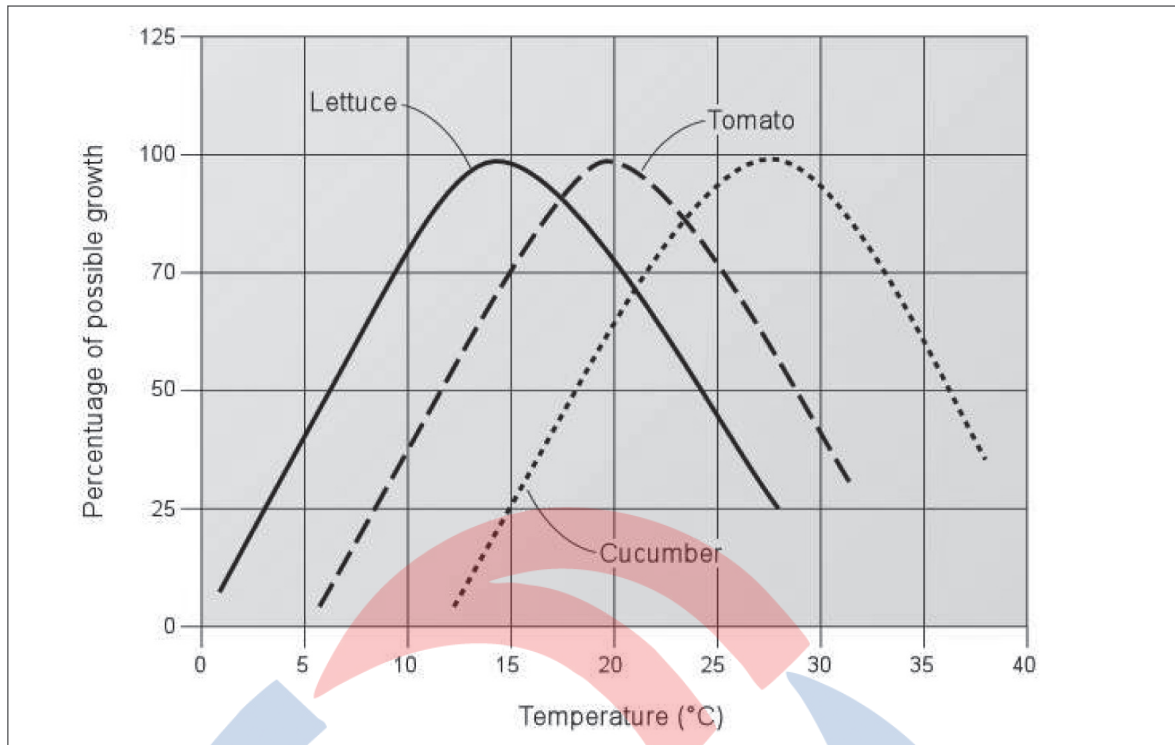
شکل ۱۶: طرح کلی از یک پمپ گرمایشی در حالت گرمایش سامانه

می‌کند، هزینه‌های آن در مقایسه با دیگر روش‌های پیچیده‌تر مانند بررسی‌های ژئوفیزیک نسبتاً پایین‌تر است.

بررسی‌های ژئوفیزیک در اصل به طور غیر مستقیم پارامترهای فیزیکی تشکلهای عمیق زمین‌شناسی در نزدیکی سطح و یا اعماق نزدیک به سطح مشخص می‌کند. این پارامترهای فیزیکی عبارتند از :

رودکه می‌توان به گونه‌های زیر اشاره کرد: بهره‌برداری نیروگاه، تغییرات در ترکیب سیال، خوردگی و پوسیدگی لوله‌ها و تأسیسات نیروگاه، اثرات زیست‌محیطی و چگونگی مبارزه با حالت‌های فوق. بررسی ژئوشیمیایی شامل نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل شیمیایی آب و گاز موجود در منابع زمین گرمایی است. همان‌طور که بررسی ژئوشیمیایی داده‌های مفید برای برنامه‌ریزی اکتشاف را فراهم



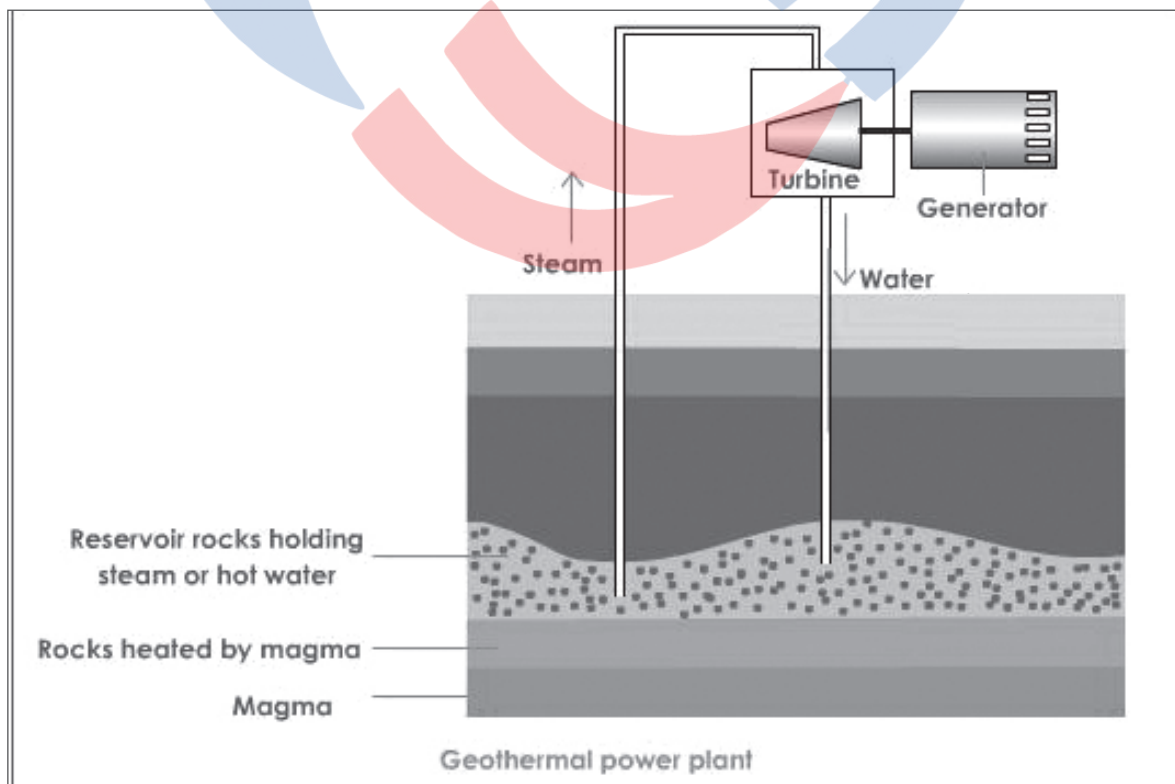


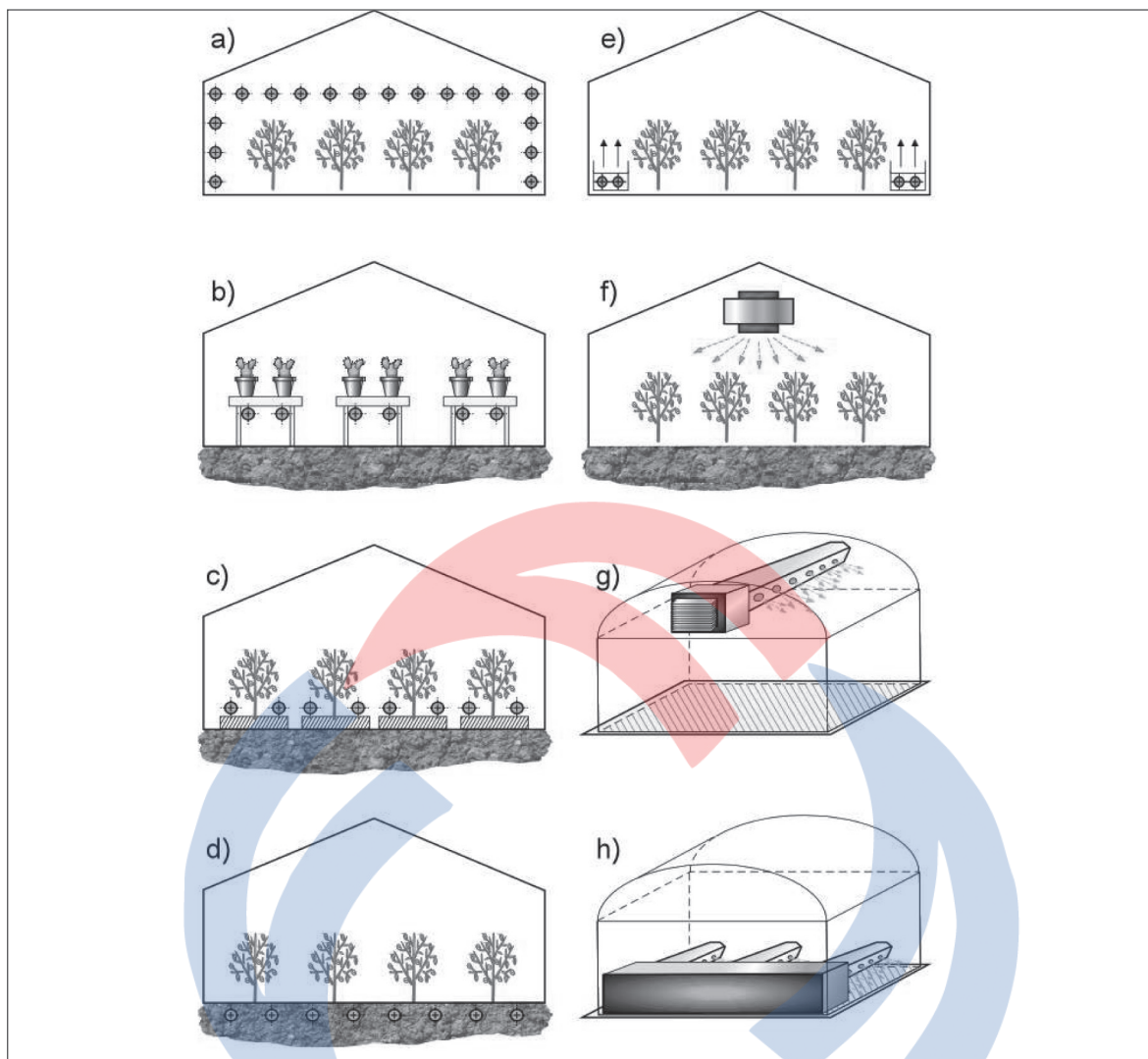
شکل ۱۷: منحنی رشد برای برخی از محصولات کشاورزی. (از Beall و سامونلز، ۱۹۷۱)

برخی از این فناوری‌ها از قبیل لرزه‌نگاری و بررسی گرانش

به طور سنتی در استخراج نفت مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد شکل، اندازه، عمق و دیگر ویژگی‌های مهم از ساختارهای عمیق زمین‌شناسی را مشخص کند که می‌تواند شامل یک مخزن زمین‌گرمایی شود، اما نمی‌تواند

- درجه حرارت
- رسانایی الکتریکی (روش‌های الکتریکی و الکترومغناطیسی)
- سرعت انتشار امواج الاستیک (لرزه‌نگاری)
- چگالی (بررسی گرانش)
- حساسیت مغناطیسی

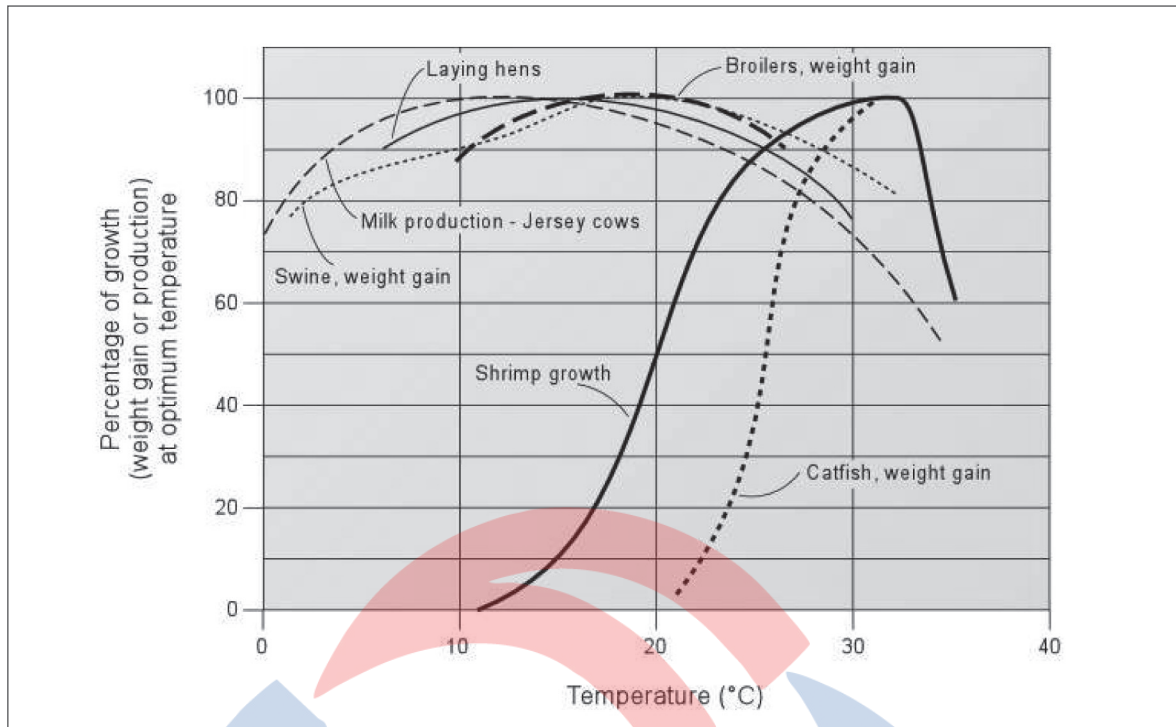




شکل ۱۸: سامانه‌های گرمایی مختلف در گلخانه‌های زمین‌گرمایی. تأسیسات گرمایشی با جریان هوای طبیعی (همرفت طبیعی): (a) گرما دادن لوله‌های هوایی، (b) گرم کردن سکوها تعبیه شده، (c) قرار دادن لوله‌های گرمایشی برای گرم کردن هوایی (d) تأسیسات گرم کردن خاک با همرفت هوای اجباری (همرفت اجباری): (e) قرارگیری موازی گرمایشی (f) دمیده هوایی، (g) موقعیت مجرای بالا (H) موقعیت مجرای پایین.

اطلاعاتی در مورد ساختار سیال که هدف اصلی پژوهش را بدهد. بنابراین بایستی از روش‌های مناسب‌تر برای دانستن جزئیات در مراحل نهایی اکتشاف استفاده کرد که باید، قبل از حفاری چاه‌های اکتشافی باشد. اطلاعات در رابطه با موجودیت سیالات زمین‌گرمایی در ساختارهای زمین‌شناسی را می‌توان با استفاده از پژوهش‌های الکتریکی و الکترومغناطیسی که حساسیت بیشتری نسبت به موارد دیگر دارند به دست آورد. در یک روش از این دست امواج الکترومغناطیسی تولید شده توسط سلول‌های خورشیدی مورد استفاده قرار داده شده است تا بتوان طیف وسیعی از اطلاعات را به دست آورد. مزیت اصلی این روش تعریف ساختارهای عمیق‌تر زمین نسبت به روش‌های دیگر است. در روش نسبتاً جدیدی که به نام CSAMT می‌باشد از امواج مصنوعی به جای امواج طبیعی الکترومغناطیسی استفاده می‌شود. در این روش عمق نفوذ

کم‌تر است، اما سریع‌تر، ارزان‌تر و جزئیات به مراتب بیشتر نسبت به روش MT کلاسیک ایجاد می‌کند. فناوری‌های گرمایی (اندازه‌گیری دما، تعیین شیب زمین‌گرمایی و جریان گرمازمینی) اغلب می‌تواند تقریب خوبی از درجه حرارت در بالای مخزن را فراهم کند. حفاری چاه‌های اکتشافی مرحله نهایی هر برنامه اکتشاف زمین‌گرمایی است و تنها به منظور تعیین ویژگی‌های واقعی از مخزن زمین‌گرمایی و در نتیجه ارزیابی پتانسیل آن می‌باشد. داده‌های ارائه شده توسط چاه‌های اکتشافی باید قادر به تأیید تمام فرضیه‌ها و مدل‌های شفاف از نتایج اکتشافات سطحی و تأییدکننده این که مخزن حاوی سیال به اندازه کافی است تا این که استفاده‌ای که برای آن در نظر گرفته شده است را ممکن سازد. مکان چاه اکتشافی در



شکل ۱۹: اثر درجه حرارت بر رشد و تولید غذای حیوانات (از Beall و ساموئلز، ۱۹۷۱).

نتیجه یک عملیات بسیار ظریف است.

کاهش قابل توجهی در هزینه‌های کار شود. برنامه اکتشاف شامل سه مرحله گام‌به‌گام شناسایی، پیش امکان اجرایی و امکان اجرا می‌باشد. در طول هر یک از این فازها به تدریج می‌توانیم مناطقی حذف کرده و بر روی قسمت‌های محتمل‌تر تمرکز کنیم.

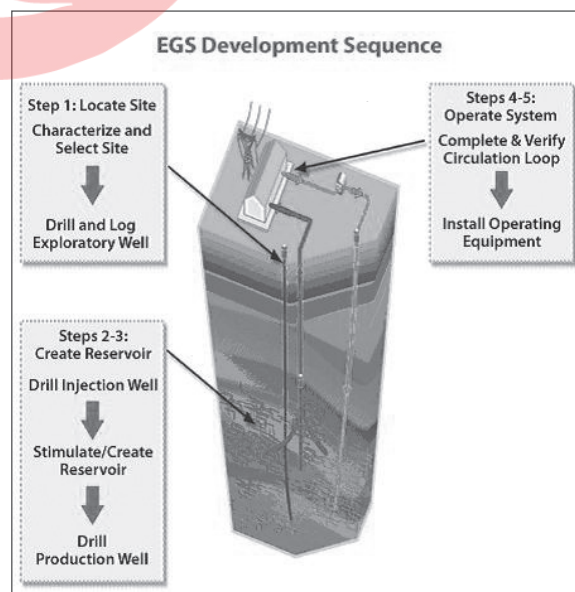
۱۰- برنامه اکتشاف

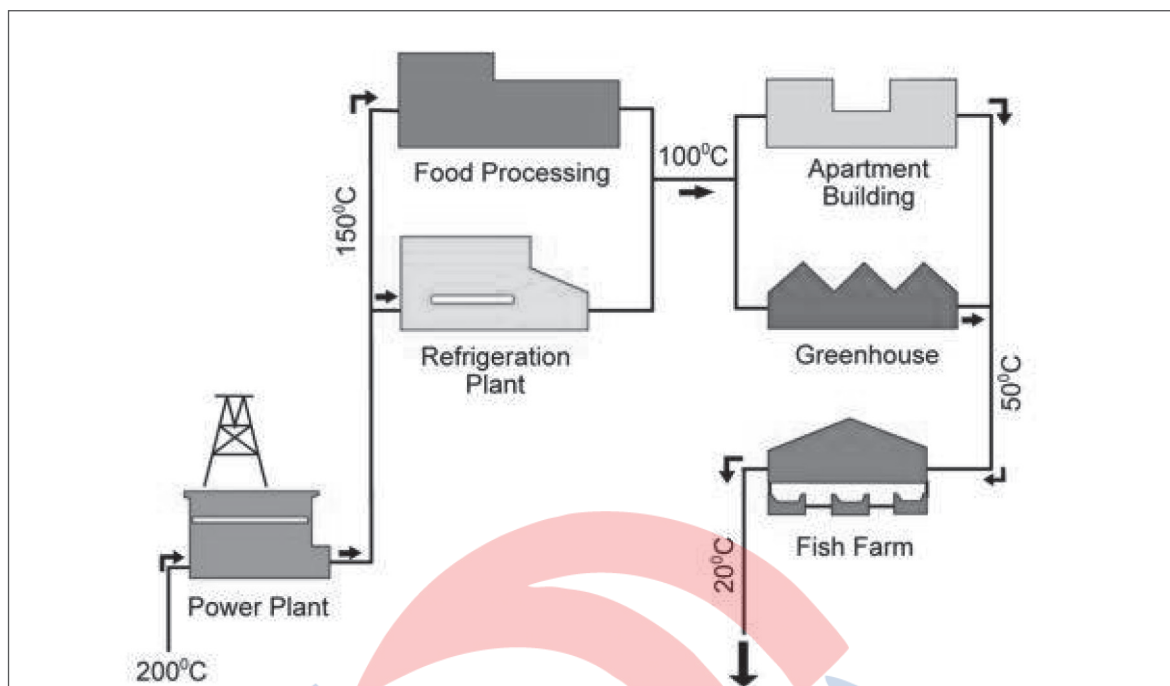
قبل از طراحی یک برنامه اکتشاف زمین‌گرایی باید تمام موارد زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی داده شود و با هرگونه اطلاعات در دسترس از مطالعات قبلی بر روی آب، مواد معدنی و منابع نفت در منطقه مورد مطالعه و مناطق مجاور، جمع‌آوری یکپارچه گردد. این اطلاعات اغلب نقش مهمی در تعریف اهداف برنامه اکتشاف زمین‌گرایی و می‌تواند منجر به

۱۱- استفاده از منابع زمین‌گرایی

تولید انرژی الکتریسیته یکی از مهم‌ترین شکل‌های استفاده از منابع زمین‌گرایی با درجه حرارت بالا (بیشتر از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. منابع درجه حرارت متوسط به پایین (کمتر از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد) به انواع مختلفی از کاربردهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمودار Lindal نشان‌دهنده استفاده‌های احتمالی سیالات زمین‌گرایی در دماهای مختلف را نشان می‌دهد. (شکل ۱۰ به دست آمده از نمودار Lindal اولیه- علاوه بر تولید برق از چرخه سیالات در دمای زیر ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ندرت و در شرایط بسیار خاص مثلاً در کاربرد پمپ گرمایی استفاده می‌شود). نمودار Lindal بر دو جنبه استفاده از منابع زمین‌گرایی تأکیدی ویژه داشتند.

(الف) ترکیب کردن قابلیت‌های استفاده از منابع ممکن زمین‌گرایی که قابلیت اجرایی آن را بالا می‌برد. (ب) درجه حرارت منابع که ممکن است استفاده‌های احتمالی آن را محدود کند.





شکل ۲۰: استفاده‌های انرژی زمین‌گرمایی در سامانه آبرسانی

۱۲- تولید الکتریسیته

تولید الکتریسیته به طور عمده در توربین بخار معمولی و نیروگاه‌های دوتایی صورت می‌گیرد که بسته به ویژگی‌های منابع زمین‌گرمایی است.

توربین‌های بخار متعارف نیاز به سیالات در دمای حداقل ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد با خروجی‌های اتمسفر (فشار به عقب) و یا متراکم هستند. توربین‌های خروجی اتمسفری بسیار ساده‌تر و ارزان‌تر هستند. بخار به طور مستقیم از چاه‌های بخار خشک یا پس از جدایی، از چاه‌های مرطوب از طریق یک توربین منتقل شده و به اتمسفر (شکل ۱۱) وارد می‌شود.

در این حالت و با استفاده از مصرف بخار (با همان فشار ورودی) به ازای هر کیلووات ساعت تولید تقریباً به میزان دو برابر تغلیظ صورت می‌گیرد. با این حال، خروجی‌های توربین‌های جوی به عنوان یک منبع انرژی در مورد عرضه‌های کوچک و برای

تولید برق از چاه‌های آزمون در زمینه توسعه بسیار مفید هستند. آنها حتی نیز زمانی که بخار گاز به تراکم بالا نرسیده است نیز بسیار مفید هستند. (کمتر از ۱۲ درصد وزن). این نوع دستگاه در اندازه‌های کوچک است که معمولاً با قابلیت تولید ۵-۲/۵ MWe در دسترس هستند. واحدهای متراکم‌کننده به عنوان یک تجهیزات کمکی در نظر گرفته می‌شوند و بسیار پیچیده‌تر از واحدهای خروجی جوی هستند و در هنگام ساخت و نصب، مشکلاتی از لحاظ زمانی نیز ایجاد می‌کنند.

مصرف بخار نیز در واحدهای متراکم حدود نیمی از مصرف آن در واحدهای خروجی جوی است. این واحدها معمولاً دارای ظرفیتی بین ۵۵ تا ۶۰ MWe را دارند، ولی اخیراً واحدهایی با ظرفیت ۱۱۰ MWe نیز ساخته و نصب شده است (شکل ۱۲).

تولید برق از سیالات با دمای پایین تا متوسط زمین‌گرمایی و از آب‌های تلف شده با گرمای بالا و با سامانه جدا کردن، تحولی جدید در تولید یک روش به نام مایعات دوتایی را ایجاد کرد.

جدول ۴: انرژی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای تولید انرژی برق از منابع تجدیدپذیر (از 2001.Fridleifsson)

	Current energy cost US¢/kWh	Potential future energy cost US¢/kWh	Turnkey investment cost US\$/kW
Biomass	5 - 15	4 - 10	900 - 3000
Geothermal	2 - 10	1 - 8	800 - 3000
Wind	5 - 13	3 - 10	1100 - 1700
Solar (photovoltaic)	25 - 125	5 - 25	5000 - 10 000
Solar (thermal electricity)	12 - 18	4 - 10	3000 - 4000
Tidal	8 - 15	8 - 15	1700 - 2500

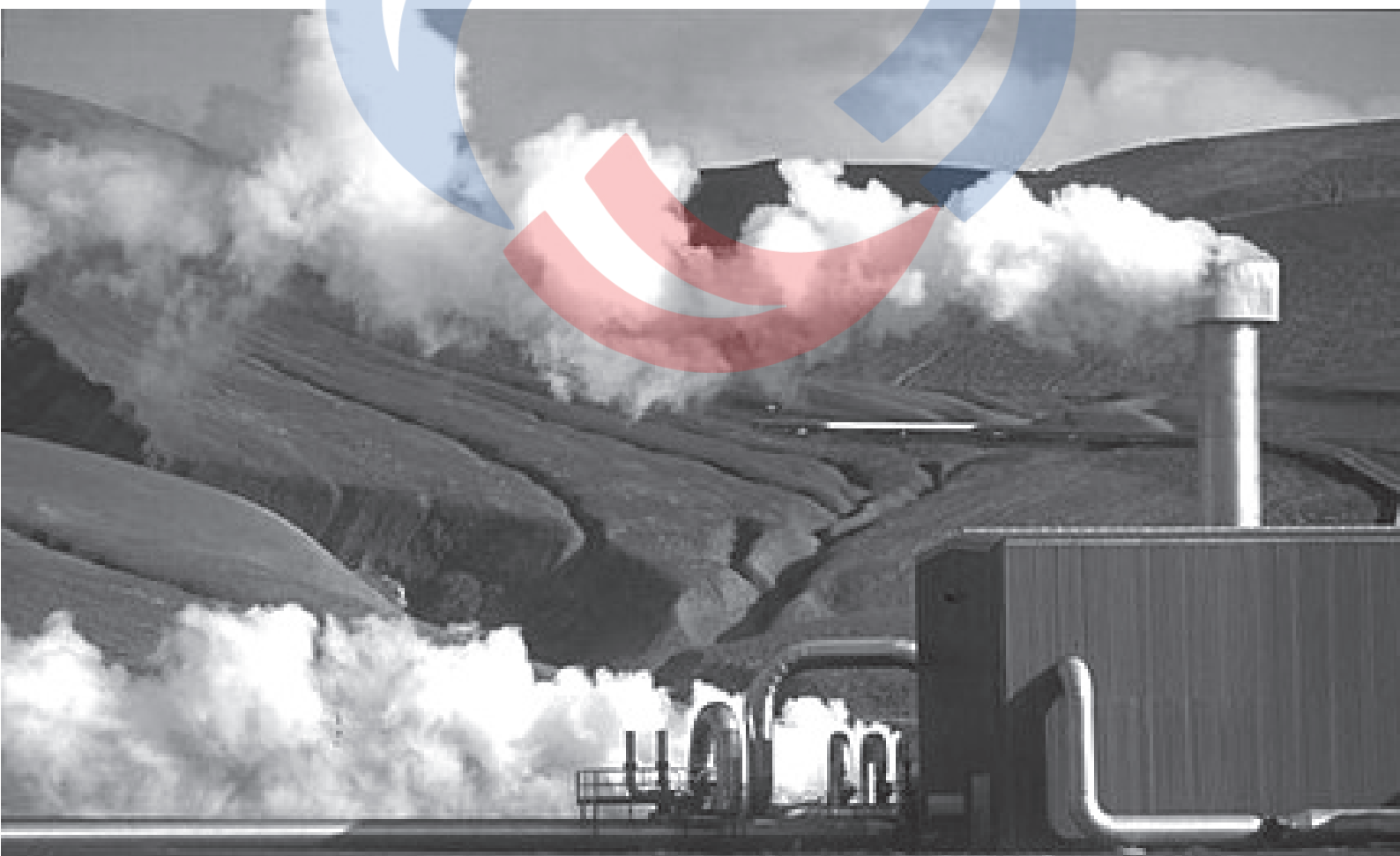
	Current energy cost US¢/kWh	Potential future energy cost US¢/kWh	Turnkey investment cost US\$/kW
Biomass (including ethanol)	1 - 5	1 - 5	250 - 750
Geothermal	0.5 - 5	0.5 - 5	200 - 2000
Wind	5 - 13	3 - 10	1100 - 1700
Solar heat low temperature	3 - 20	2 - 10	500 - 1700

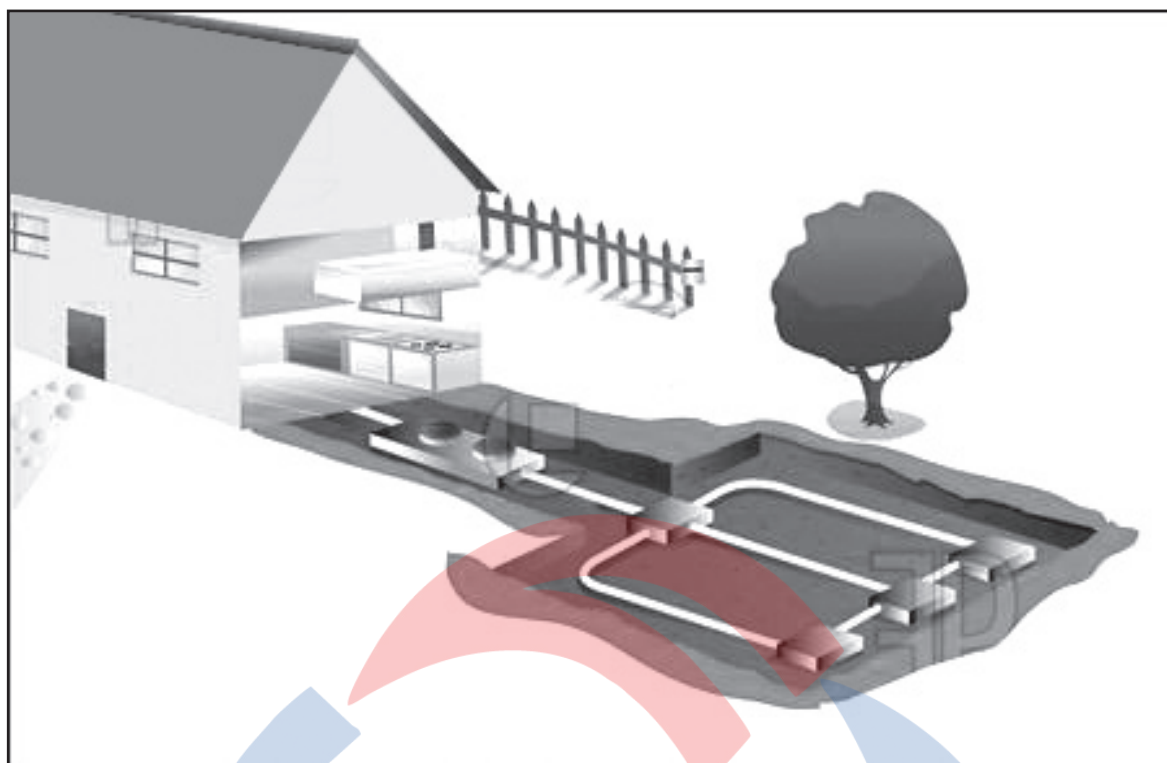
پایداری گرمای سیال آلی و حد پایین دما به عوامل فنی و اقتصادی بستگی دارد. پایین‌تر از دمای یاد شده نیازمند مبدل‌های گرمایی با اندازه کوچک است که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیستند. جدای از دمای کم یا متوسط درجه حرارت سیالات زمین گرمایی و سیالات زائد در این سامانه، سامانه‌های دوتایی نیز می‌توانند در زمینه‌هایی که بایستی از جریان سیال زمین گرمایی اجتناب شوند، بسیار کارآمد باشند. در این مورد از پمپ پایین می‌توان برای نگه داشتن مایعات در حالت مایع تحت فشار استفاده کرد و انرژی را می‌توان از سیال استخراج نمود.

سامانه‌های باینری معمولاً در واحدهای کوچک مدولار با ظرفیت چند صد کیلووات ساخته می‌شوند. این واحدها پس از آن می‌توانند برای ایجاد ظرفیت‌های بالا تا چند ده مگاوات با یکدیگر

سامانه دوتایی بدین شکل است که از یک سیال ثانویه که معمولاً یک مایع آلی (به‌طور معمول N-پنتان) است استفاده می‌شود که نقطه جوش پایین و فشار بخار بالا در دمای پایین را داشته باشد، در مقایسه با زمانی که به بخار تبدیل می‌شود. سیال ثانویه به طریق چرخه Rankine متعارف (ORC) عمل می‌کند. سیال زمین گرمایی، گرمای خود را به سیال ثانویه از طریق مبدل‌های گرمایی انتقال می‌دهد و سپس سیال گرم شده و به بخار تبدیل می‌شود، سپس به سمت توربین‌ها انتقال داده شده و در آنجا مجدداً سرد و تغلیظ شده و چرخه تکرار می‌شود (شکل ۱۳).

با انتخاب مناسب مایعات ثانویه سامانه‌های دوتایی را می‌توان با استفاده از مایعات زمین گرمایی در محدوده دمای ۸۵-۱۷۰ استفاده کرد. حد بالایی درجه سانتی‌گراد این سامانه بستگی به





ORC زمین گرمایی می باشد، اما از نظر طراحی پیچیده تر است. همچنین نیروگاه های کوچک قابل حمل نیز وجود داشته که برای مناطقی مورد استفاده قرار می گیرد که کاهش خطر حفاری چاه های جدید را به دنبال دارد اما آنچه مهم تر است، تأمین انرژی مورد نیاز برای مناطق دور افتاده است. استاندارد زندگی بسیاری از جوامع، به طور قابل توجهی به وضعیت تأمین انرژی آن منطقه بستگی دارد. تأمین انرژی الکتریکی ظاهراً یکی از مسائل پیش پا افتاده است، اما در عین حال مسائل مهمی از قبیل پمپاژ آب برای آبیاری، انجماد میوه و سبزیجات برای حفاظت طولانی را ممکن می سازد.

تسهیلات این نیروگاه های قابل حمل برای مناطقی که

مرتبط شوند. هزینه های آنها بستگی به مواردی از قبیل دمای سیال زمین گرمایی تولید شده، اندازه توربین، مبدل های گرمایی و سامانه های خنک کننده دارد. اندازه کل نیروگاه تأثیر اندکی بر روی هزینه تمام شده دارد و همچنین می توان با ارتباط و یا سری کردن قسمت های مدولار ظرفیت های زیادی را تولید کرد.

یک سامانه دوتایی جدید نیز در سال ۱۹۹۰ طراحی و به اجرا درآمد که در آن از مخلوط آب و آمونیاک به عنوان سیال استفاده شد. در این سامانه سیال در شرایط فوق داغ قرار گرفته و به توربین فشار بالا وارد می شود و سپس قبل از ورود به توربین کم فشار مجدداً گرما داده می شود. این چرخه به نام چرخه Kalina مشهور است. چرخه Kalina کارآمدتر نسبت به چرخه موجود

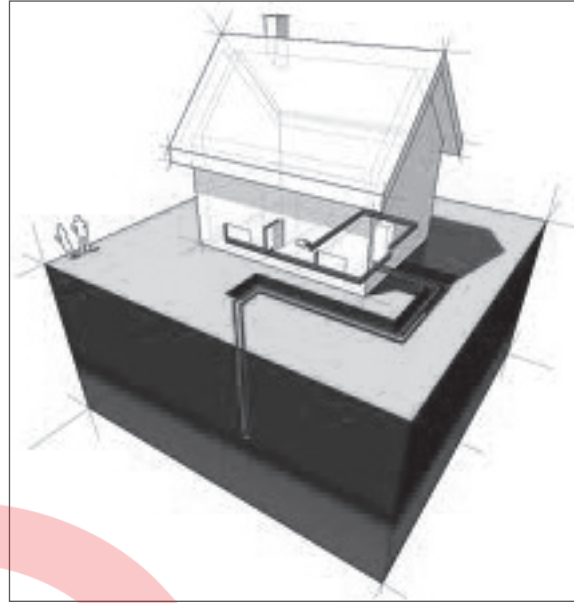
جدول ۶: احتمال و شدت تأثیر مخرب بر محیط زیست در پروژه های مستقیم

Impact	Probability of occurring	Severity of consequences
Air quality pollution	L	M
Surface water pollution	M	M
Underground pollution	L	M
Land subsidence	L	L to M
High noise levels	H	L to M
Well blow-outs	L	L to M
Conflicts with cultural and archaeological features	L to M	M to H
Social-economic problems	L	L
Chemical or thermal pollution	L	M to H
Solid waste disposal	M	M to H

L = کم، M = متوسط، H = بالاترین

از مصرف انرژی کل در سال ۲۰۰۰). به دلیل خصوصیات منطقه‌ای و گرمایشی در ایسلند، پیشرفت‌های بزرگی در زمینه تولید گرمای زمین‌گرمایی تا پایان سال ۱۹۹۹ (شکل ۱۴) به دست آمده است که حدود ۱۲۰۰ MW رسیده، اما این روش نیز به‌طور گسترده‌ای در کشورهای اروپای شرقی و همچنین در ایالات متحده، چین، ژاپن، فرانسه و... گسترش یافته است.

سرد شدن فضا یک گزینه عملی است که می‌توان از آن برای تطبیق ماشین‌های جذب در استفاده از انرژی زمین‌گرمایی استفاده کرد. این فناوری بسیار شناخته شده می‌باشد و به سهولت در بازار در دسترس است. چرخه جذب بدین شکل است که طی فرایندی از گرما به جای برق به‌عنوان منبع انرژی استفاده می‌شود. اثر سردسازی توسط دو سیال در این سامانه اعمال می‌شود، بدین‌شکل که سردساز در این سامانه به گردش در می‌آید و سپس تبخیر شده و در نهایت متراکم می‌شود و یک سیال ثانویه به‌عنوان جاذب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مواردی که درجه هوا بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد می‌باشد (اصولاً به درجه هوا و شرایط محیطی بستگی دارد) چرخه با استفاده از لیتیوم بروماید به‌عنوان جاذب و آب به‌عنوان سردساز انجام می‌شود و در مواردی که دما

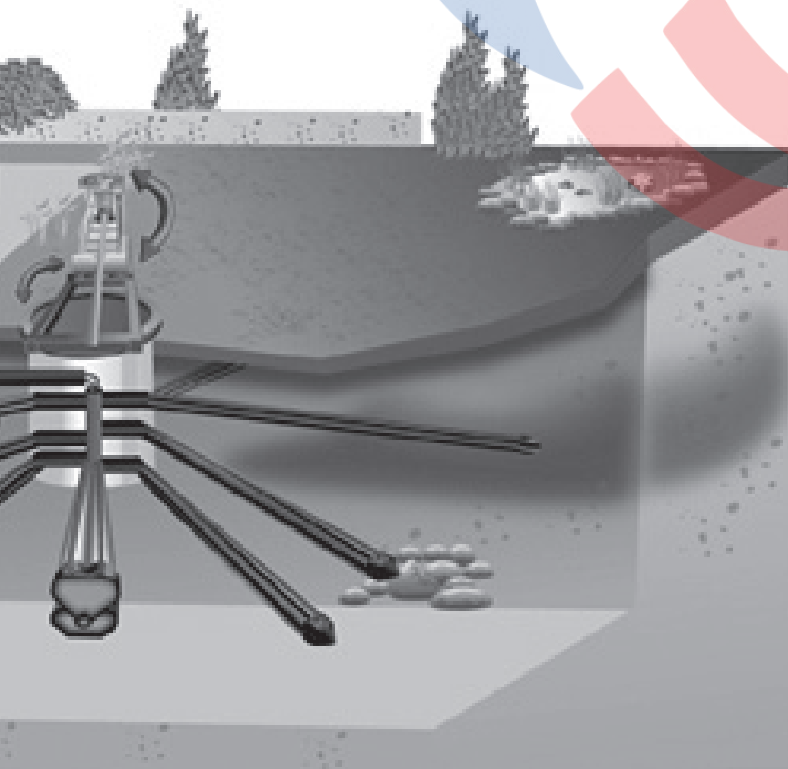


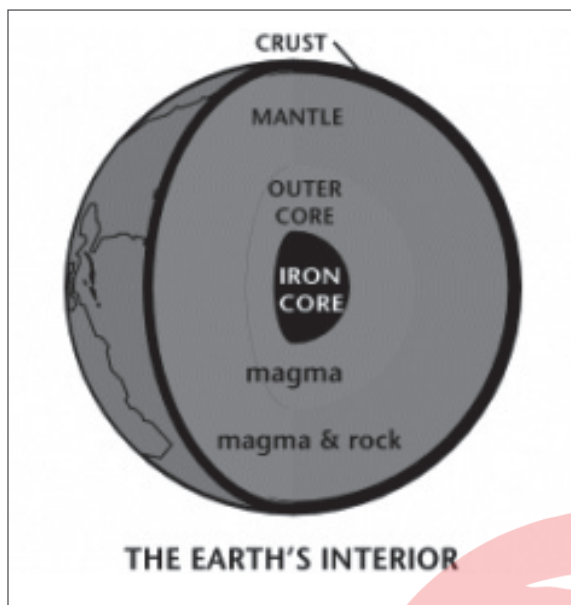
امکان دسترسی به سوخت‌های معمولی را ندارند بسیار مهم و سرنوشت‌ساز است. همچنین برای جوامعی که اتصال آن‌ها به شبکه برق ملی بیش از حد گران است، این موضوع قابل اهمیت است؛ حتی با وجود این که خطوط انتقال ولتاژ بالا در مجاورت آنها نیز وجود داشته باشد. هزینه‌ها در خدمت به این جوامع کوچک بسیار گران است، زیرا که در این سامانه ترانسفورماتورهای نیاز است تا بتوان از خطوط برق ولتاژ بالا را برای این‌گونه مناطق استفاده کرد. این هزینه جهت بهره‌برداری از برق خطوط ولتاژ بالا در حدود ۶۷۵/۰۰۰ دلار آمریکا است و ساده‌ترین شکل توزیع برق محلی با استفاده از قطب‌های چوبی، هزینه‌های حداقل ۲۰/۰۰۰ دلار آمریکا در هر کیلومتر (سال ۱۹۹۴ دلار آمریکا) را در بر دارد. در صورتی که در مقایسه با آن هزینه سرمایه برای یک سامانه زمین‌گرمایی بدون در نظر گرفتن هزینه‌های حفاری در حدود ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ دلار به ازای هر کیلوولت انرژی می‌باشد (سال ۱۹۹۸ دلار آمریکا).

تقاضا برای ظرفیت الکتریکی برای هر نفر در سایت‌های خارج از شبکه از ۰/۲ کیلووات در مناطق محروم تا ۱ کیلووات یا بالاتر در مناطق توسعه یافته متغیر است، به‌طوری که ۱۰۰ کیلوولت می‌تواند ۱۰۰ تا ۵۰۰ نفر را تأمین کند و ۱۰۰۰ کیلوولت تا ۵۰۰۰ نفر را تأمین می‌کند (Entingh سال ۱۹۹۴).

۱۳- استفاده‌های مستقیم از گرما

استفاده از گرمای مستقیم یکی از قدیمی‌ترین، متنوع‌ترین و نیز شایع‌ترین شکل استفاده از انرژی زمین‌گرمایی است (جدول ۲). استفاده از این منبع انرژی در برنامه‌های کشاورزی، پرورش ماهی و برخی از کاربردهای صنعتی بسیار شایع است، اما گسترده‌ترین استفاده در سامانه‌های پمپ‌های گرمایشی می‌باشد (۱۲/۵ درصد





می‌شود، این است که تعدادی از آنها می‌توانند به شکل برگشت پذیر عمل کنند، بدین معنا که می‌توانند در گرم کردن و یا خنک شدن فضا تأثیر بگذارند و هر دو کار را انجام دهند.

در برنامه‌های کشاورزی سیالات زمین‌گرمایی از دو قسمت استفاده در زمین‌های باز کشاورزی و گرمایش گلخانه‌ای تشکیل شده است. در زمین‌های باز می‌توان توسط آب گرم آبیاری کرد و یا اینکه خاک منطقه را گرم کرد. بزرگ‌ترین اشکال در آبیاری با آب گرم این است که قسمت‌های مختلف زمین در این حالت درجه حرارت متفاوتی پیدا می‌کنند که در این حالت مقداری زیادی آب به قسمت‌هایی که از نظر دمایی پایین‌تر است می‌روند که باعث صدمه به گیاه می‌شود. یکی از راه‌حل‌های ممکن برای این مشکل ایجاد یک سامانه آبیاری زیرسطحی همراه با دستگاه گرم‌کننده خاک به همراه یک سری خطوط لوله‌ای است. گرما دادن خاک توسط خطوط لوله مدفون در آن بدون سامانه آبیاری می‌تواند خاصیت هدایت گرمای خاک را به دلیل افت رطوبت در اطراف لوله‌ها و به دنبال آن عایق گرمای ایجاد شده، کاهش دهد. به نظر می‌رسد بهترین راه‌حل در این سامانه ترکیب گرمای خاک و آبیاری باشد. ترکیب شیمیایی آب‌های زمین‌گرمایی مورد استفاده در آبیاری بایستی حتماً کنترل شود تا اثرات مضر بر روی گیاهان نداشته باشد.

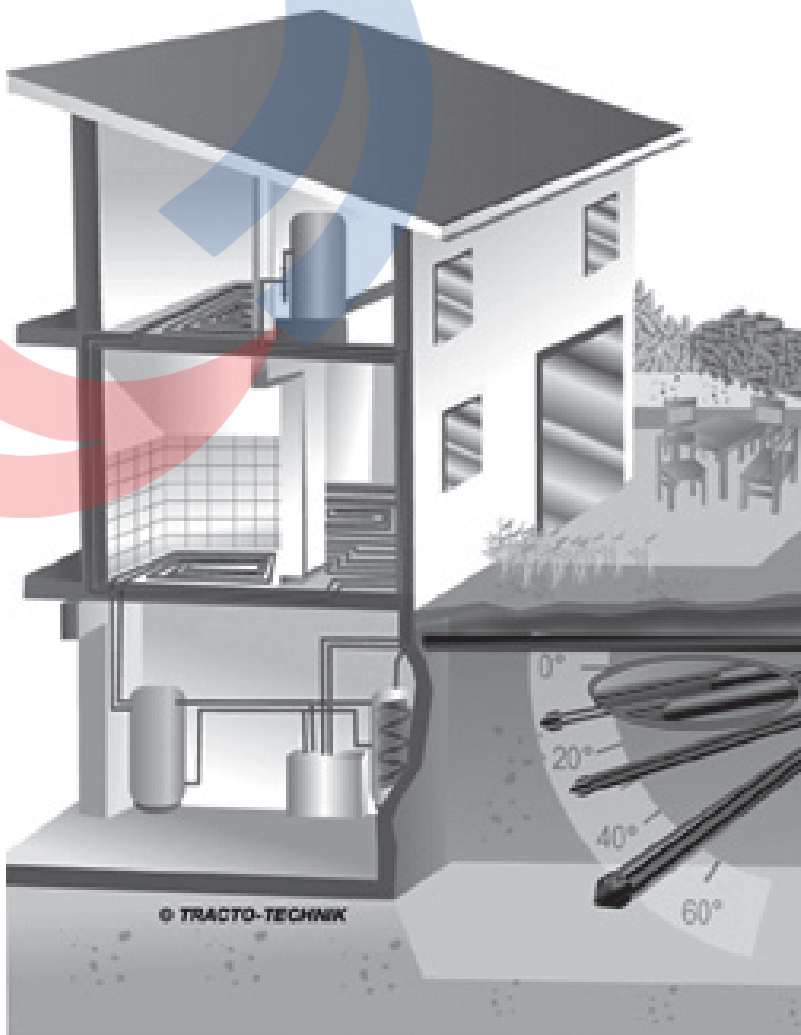
مهم‌ترین فواید کنترل درجه حرارت در زمین‌های کشاورزی باز عبارتند از:

- ۱- مانع از هر گونه آسیب بر اثر درجه حرارت کم محیط‌زیست می‌شود
- ۲- باعث گسترش فصل رشد، رشد گیاه و افزایش بهره‌وری می‌شود

شرایط فضای زمین‌گرمایی از نظر سرمایش و گرمایش به نحو قابل ملاحظه‌ای از سال ۱۹۸۰ گسترش یافت که دلیل آن استفاده گسترده از پمپ گرمایشی است. سامانه‌های مختلف پمپ‌های حرارتی موجود به ما اجازه استخراج و استفاده از گرما در دمای پایین، از جمله زمین و سفره‌های آب‌های کم عمق، استخرها و غیره (Sanner, 2001) را می‌دهد (برای مثال نگاه کنید به شکل ۱۵).

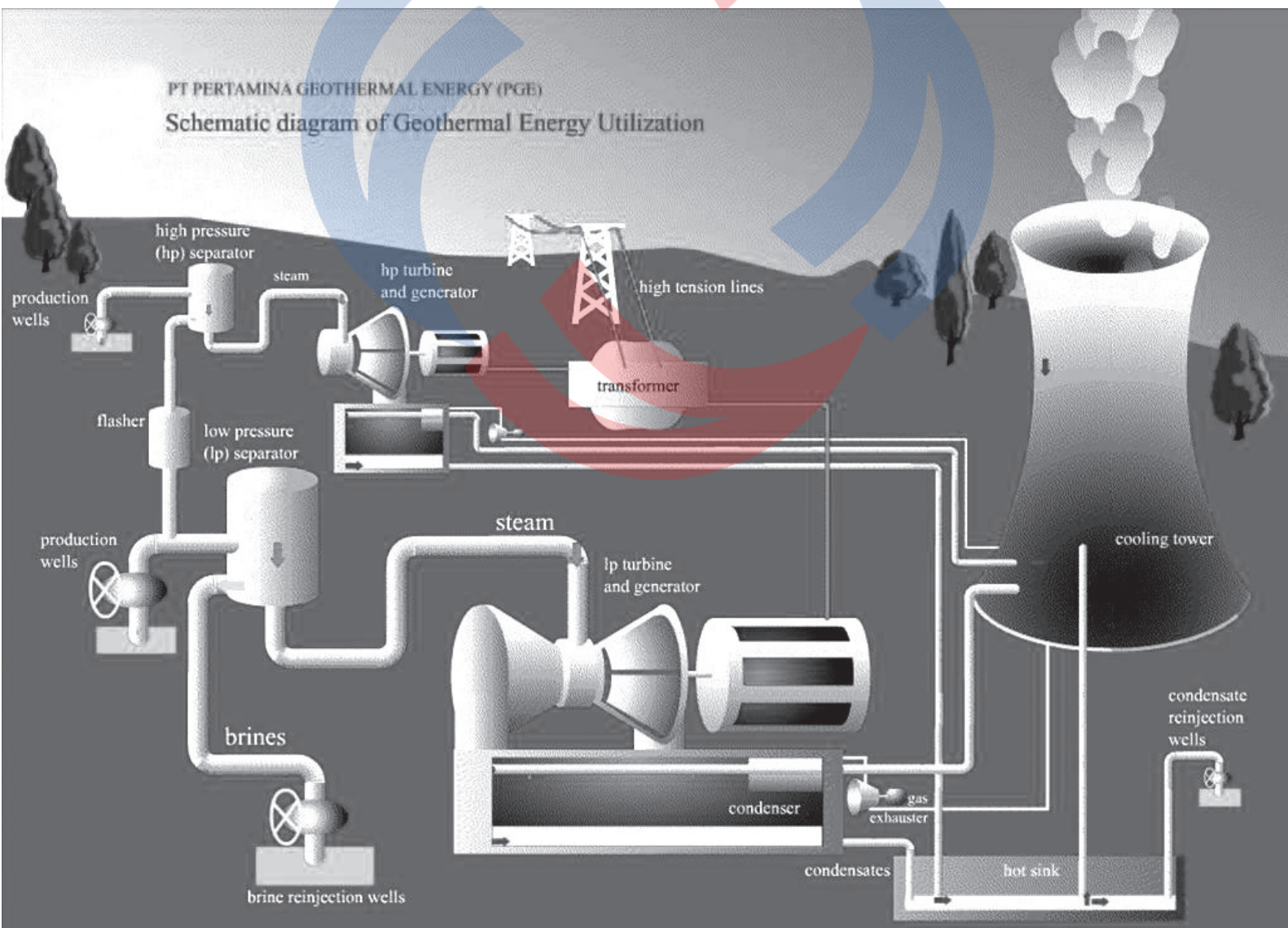
همان‌طور که در حال حاضر می‌دانیم، پمپ‌های گرمایشی وسیله‌ای هستند که حرکت گرما در خلاف جهتی که بایستی به طور طبیعی طی کند را منجر می‌شود، یعنی از یک فضای سرد به یک منطقه گرم‌تر. پمپ‌های گرمایشی به‌طور مؤثر چیزی بیش از یک واحد سردسازی (1997 Rafferty) نیستند، به‌طوری‌که هر دستگاه سردسازی (کولر، یخچال، فریزر و غیره) گرما را از فضای خنک‌تر (برای خنک نگه داشتن آن) حرکت داده و آن را در منطقه‌ای با دمای بالاتر تخلیه می‌کند. تنها تفاوت بین یک سردساز و پمپ گرمایشی در تأثیر دلخواه آن است که سرما برای یک سردساز و گرما برای یک پمپ گرمایشی است.

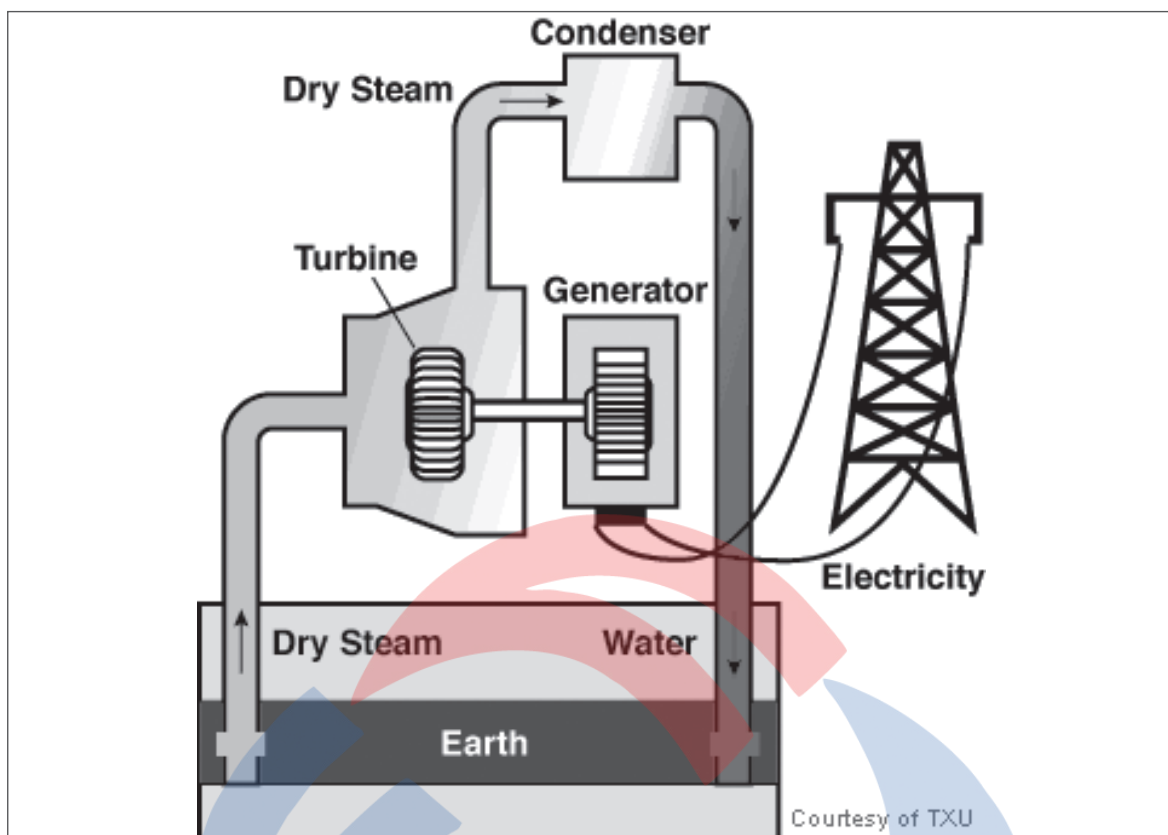
دومین عامل مهمی که باعث تفاوت بین پمپ‌های گرمایشی



جدول ۷: منابع زمین گرمایی بالقوه در سراسر جهان (IGA, 2001).

	High-temperature resources suitable for electricity generation		Low-temperature resources suitable for direct use in million TJ/yr of heat (lower limit)
	Conventional technology in TWh/yr of electricity	Conventional and binary technology in TWh/yr of electricity	
Europe	1830	3700	> 370
Asia	2970	5900	> 320
Africa	1220	2400	> 240
North America	1330	2700	> 120
Latin America	2800	5600	> 240
Oceania	1050	2100	> 110
World potential	11 200	22 400	> 1400





۳- باعث سم‌زدایی و استریلیزه کردن خاک می‌شود (Barbier و Fanelli، ۱۹۹۷).

رایج‌ترین کاربرد انرژی زمین‌گرمایی در بخش کشاورزی استفاده از آن در گرمایش گلخانه‌ای می‌باشد که در یک مقیاس بزرگ در بسیاری از کشورهای توسعه یافته به کار گرفته شده است. کشت سبزیجات و گل‌های خارج از فصل در آب و هوای غیر طبیعی هم‌اکنون می‌تواند با استفاده از این فناوری به‌طور گسترده‌ای انجام شود. راه‌حل‌های مختلف برای دستیابی به شرایط رشد مطلوب، بر اساس درجه حرارت رشد بهینه هر بوته (شکل ۱۷) در دسترس هستند که البته به موارد دیگری از قبیل مقدار نور، غلظت CO_2 در محیط گلخانه‌ای، رطوبت خاک و هوا و حرکت هوا در آن محیط بستگی دارد.

دیوارهای گلخانه می‌توانند از جنس‌های مختلفی از قبیل شیشه یا فایبرگلاس و موارد دیگر ساخته شوند. صفحه‌های شیشه‌ای شفاف‌تر از پلاستیک هستند و اجازه عبور نور به مراتب بیشتر از حالت‌های دیگر خواهد داد، اما در حالت مقایسه عایق گرمای کمتر، مقاومت در برابر شوک کمتر و سنگین‌تر و گران‌تر از صفحه‌های پلاستیکی است. ساده‌ترین گلخانه‌ها از فیلم‌های پلاستیکی تک لایه ساخته شده است، اما به تازگی برخی از گلخانه‌ها با دو لایه فیلم از هم جدا شده توسط یک لایه هوا در بین آنها ساخته شده‌اند. این سامانه باعث کاهش از دست رفتن گرما از طریق دیوار در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد می‌شود و در نتیجه تا حد زیادی افزایش بهره‌وری کلی گلخانه را سبب می‌شود. گرمایش گلخانه‌ای را می‌توان با گردش اجباری هوا در مبدل‌های گرمایی، گردش آب داغ در لوله‌ها یا مجراهای واقع در داخل یا روی زمین، واحدهای پره‌دار واقع در امتداد دیوارها و یا زیر سکوهای خاص و یا ترکیبی از روش‌ها (شکل ۱۸) انجام داد. بهره‌برداری از گرمای زمین‌گرمایی در گرمایش گلخانه‌ای به اندازه قابل ملاحظه‌ای می‌تواند هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهد که در برخی موارد در حدود ۳۵ درصد از هزینه‌ها را کاهش می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۱۹ دیده می‌شود، می‌توان گفت که درجه حرارت طبیعی محیط زندگی حیوانات و یا آبزیان می‌تواند تأثیر بسزایی بر کیفیت و کمیت از تولیدات همانند محصولات کشاورزی بگذارد.

۱۴- ملاحظات اقتصادی

عناصری که در هر برآورد هزینه در نظر گرفته می‌شوند، در تولیدات انرژی زمین‌گرمایی متعدد و پیچیده‌تر نسبت به انواع دیگر انرژی‌ها است. در زیر تعدادی از مواردی که بایستی در این نوع انرژی در نظر گرفته شوند عبارت است از:

و محل استفاده باید تا حد امکان نزدیک در نظر گرفته شوند.

- می توان صرفه جویی های محسوسی با ادغام کردن سامانه ها با یکدیگر به دست آورد. برای مثال ترکیب فضای گرمایش و سرمایش و یا استفاده از سامانه های آبخاری که با کل استفاده کنندگان سامانه به طور سری متصل است (شکل ۲۰).

همان طور که در جدول دیده می شود هزینه تولید انرژی برق از منابع زمین گرمایی جزء منابع کم هزینه است البته به شرطی که بتوان بین قسمت های مختلف سامانه تعامل خوبی ایجاد کرد.

نتایج قبل را می توان در تمام موارد استفاده از انرژی زمین گرمایی در هر شرایط محلی به کار گرفت. داده های WEA در جداول ۴ و ۵ که مقایسه ای بین هزینه های انرژی زمین گرمایی را با دیگر اشکال انرژی تجدیدپذیر مشخص می کند.

۱۵- منابع آلودگی

در اکثر موارد میزان استفاده از انرژی های زمین گرمایی بر محیط زیست تأثیر می گذارد و متناسب با مقیاس بهره برداری باعث آلودگی زمین می شود (Lunis و Breckenridge, 1991). جدول ۶ خلاصه ای از احتمال و شدت نسبی اثرات استفاده از پروژه زمین گرمایی بر محیط زیست است.

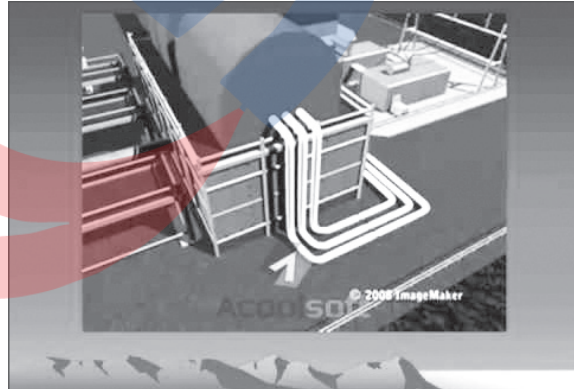
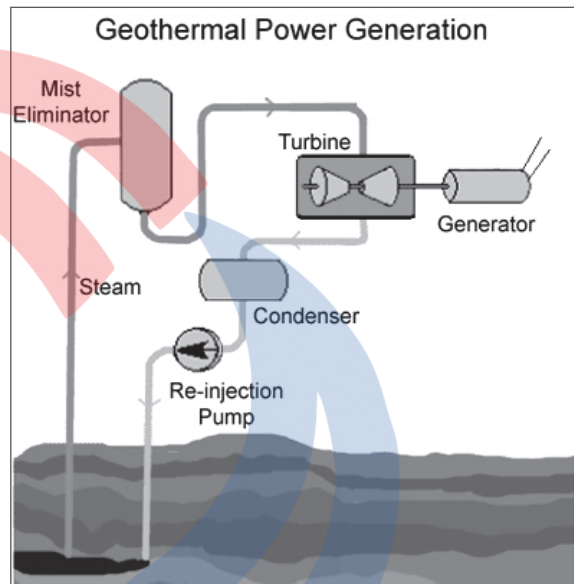
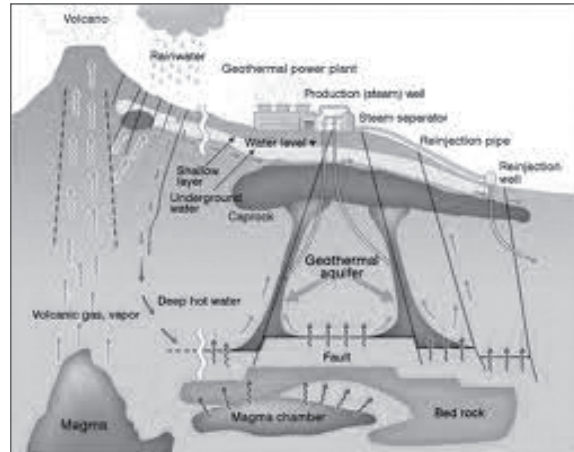
استخراج مقادیر زیادی از مایعات از مخازن زمین گرمایی ممکن است منجر به پدیده فرونشست شود، یعنی غرق شدن تدریجی سطح زمین که یک پدیده غیر قابل برگشت است. این موضوع می تواند به عنوان یک فرایند آهسته پیش رفته و منطقه زیادی را دربرگیرد.

استخراج و یا تزریق مجدد مایعات زمین گرمایی ممکن است سبب بروز رویدادهای لرزه ای در مناطق خاصی شوند. بنابراین در هنگام استخراج حتماً بایستی توسط تجهیزات خاصی این رویدادها کنترل شوند.

۱۶- نگاهی به منابع حال و آینده

انرژی گرمای موجود در منابع زیر زمینی مقادیر بسیار زیادی را دارا می باشد. گروهی از کارشناسان طبق جدول ۷ پتانسیل زمین گرمایی از هر قاره از لحاظ منابع در قسمت های دمایی بالا و پایین تخمین زده اند.

در صورت بهره برداری صحیح، انرژی زمین گرمایی قطعاً می تواند نقش مهمی در تعادل انرژی در برخی از کشورها را ایفا کند. در شرایط معینی، حتی مقیاس کوچک از منابع زمین گرمایی قادر به حل مشکلات متعدد محلی و بالا بردن استانداردهای زندگی جوامع کوچک است.



- سامانه منابع زمین گرمایی متشکل از چاه های زمین گرمایی، خطوط لوله حمل مایعات زمین گرمایی، نیروگاه بهره برداری و در اغلب موارد یک سامانه تزریق مجدد می باشد.

- مایعات زمین گرمایی را می توان در طول فواصل نسبتاً طولانی در خطوط لوله های گرمای عایق بندی شده انتقال داد. در شرایط آرمانی، خط لوله می تواند تا حدود ۶۰ کیلومتر طول داشته باشد. با این حال خطوط لوله، تجهیزات جانبی مورد نیاز (پمپ ها، شیر آلات و غیره) و نگهداری آنها، همه بسیار گران هستند و درصد زیادی از هزینه ها به این قسمت وابسته هستند. بنابراین فاصله بین منابع