

## کاربردها و مزیت‌های انرژی زمین گرمایی

شهاب متین<sup>۱\*</sup>، مصطفی کریمزاده<sup>۲</sup>، پوریا قصابی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد علوم اقتصادی، دانشکده‌ی علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد.

پست الکترونیکی: [Matin.econ@yahoo.com](mailto:Matin.econ@yahoo.com)

<sup>۲</sup> استادیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، پست الکترونیک:

[karimzadehmostafa@yahoo.com](mailto:karimzadehmostafa@yahoo.com)

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد علوم اقتصادی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد؛

پست الکترونیک: [pterbruk@yahoo.com](mailto:pterbruk@yahoo.com)

### چکیده

گسترش روز افزون انرژی و ارتباط مستقیم آن با توسعه‌ی پایدار از یک سو و رو به زوال بودن سوخت‌های فسیلی و حجم بالای آلودگی ناشی از آن‌ها از سوی دیگر از مسایل مهم جهان امروز می‌باشد. از طرفی انرژی به عنوان یک عامل اولیه در تولید نقشی نظیر نیروی کار و سرمایه دارد و در بخش‌های خانگی و خدماتی، میزان مصرف سرانه‌ی انرژی نشانگر کیفیت زندگی مردم است. وابستگی روز افزون جامعه‌ی بشری به انرژی، یک حقیقت انکارناپذیر است که هرگونه اختلال در تأمین آن، مشکلات عدیده‌ای را در پی دارد. از این رو، لزوم بکارگیری انرژی‌های جدید واضح و روشن است و از میان آن‌ها انرژی زمین گرمایی با داشتن خصوصیات و ویژگی‌های منحصر بفرد نظیر چگالی بالای انرژی، پرننگ تر می‌نماید. در این مقاله به بررسی و معرفی منابع زمین گرمایی، مناطق مستعد و دارای پتانسیل، کاربردها مستقیم و غیر مستقیم و مزیت‌ها در این رابطه می‌پردازیم.

**واژه‌های کلیدی:** انرژی، ایران، زمین گرمایی، کاربردها، مزیت‌ها

## ۱- مقدمه:

کلمه ژئوترمال از کلمه یونانی ژئو به معنی زمین و ترمال به معنی گرما و گرمادی گرفته شده است. بنابر این ژئوترمال انرژی زمین گرمایی یا انرژی منشاء درونی زمین است. منشاء این گرما در پوسته و جبه زمین به طور عمده تجزیه مواد رادیواکتیو است. در طول عمر زمین این گرمای درونی به طور آرام تولید شده و در درون زمین محفوظ و محبوس مانده است. زمین در ۵/۴ میلیارد سال قبل حالت مذاب داشته که تدریجاً سرد شده و بخش خارجی آن به صورت جامد درآمده است ولی بخش داخلی آن به دلیل کندی از دست دادن گرما حالت مذاب خود را حفظ کرده است و دارای درجه حرارت بالاست. این انرژی حرارتی در طول سال قابل بهره‌برداری است. مجموع قدرت اسمی کل نیروگاههای تولید شده برق از این انرژی بیش از ۸۰۰۰ مگاوات می‌باشد. ۶۴ کشور جهان با مجموع ظرفیت نصب شده بیش از ۱۵۰۰۰ مگاوات حرارتی از این منبع انرژی در کاربردهای غیرنیروگاهی استفاده می‌کنند. در نیروگاه زمین گرمایی آب داغ و بخار خارج شده با از م مخازن زمین گرمایی نیروی لازم برای چرخاندن ژنراتور را فراهم می‌آورد و انرژی الکتریسیته تولید می‌کند. آب مورد استفاده از طریق چاه تزریق به مخزن برگشت داده می‌شود تا دوباره گرم شود. سه نوع نیروگاه زمین گرمایی موجود است:

- ۱- نیروگاه بخار خشک- این نیروگاه‌های روی مخازن ژئوترمال که بخار خشک با آب خیلی کم تولید می‌کند ساخته می‌شود.
- ۲- نیروگاه بخار حاصل از آب داغ- این نیروگاه روی مخازن دارای آب داغ احداث می‌گردد در این مخازن با حفر چاه داغ به سطح می‌آید و به دلیل آزاد شدن از فشار مخازن بخشی از آن به بخار تبدیل می‌شود. این بخار برای چرخاندن توربین بکار می‌رود. فناوری مزبور برای اولین بار در نیوزیلند گرفته شده است.
- ۳- نیروگاه ترکیبی تخرار و آب داغ- در این سیستم آب گرم از میان یک مبدل گرمایی می‌گذرد و گرما را به یک مایع دیگر می‌دهد. که نسبت به آن در درجه پایین‌تری می‌جوشد. مایع دوم در نتیجه گرم شدن به بخار تبدیل می‌شود و بره‌های توربین را می‌چرخاند و برق تولید می‌نماید. آب زمین گرمایی دوباره به زمین تزریق می‌شود. این روش برای استفاده از مخازنی که به اندازه کافی گرم نیستند که بخار با فشار تولید کننده به کار می‌رود. بزرگترین واحد این سیستم در دنیا ریکا ویک در ایسلند قرار دارد. بزرگترین واحد این سیستم در دنیا ریکا ویک در ایسلند قرار دارد. از زمانی که این سیستم برای تامین گرمای شهر مذکور به کار می‌رود ریکا ویک به یکی از تمیزترین شهرهای دنیا تبدیل شده است. کشورهایی که در حال حاضر از مخازن زمین گرمایی برای تولید برق استفاده می‌کنند عبارتند از: آمریکا- نیوزیلند- ایسلند- مکزیک- فیلیپین- اندونزی- ژاپن- برخی کشورهای دیگر.

عیب‌های استفاده از انرژی زمین گرمایی آلودگی محیط زیست است زیرا گازهایی که از درون زمین خارج می‌شوند هوا را آلوده می‌کنند. این گازها عبارتند از: متان- دی‌اکسید کربن- نیتروژن و هیدروژن- نیدرید گوگرد- هزینه تولید هر کیلو وات ساعت با استفاده از انرژی ۰/۰۳ تا ۰/۰۳۵ دلار می‌باشد. شاید عجیب باشد بدانید که در عمق چند فوتی زمین دمای زمین تقریباً ثابت است این دما در گرمای شدید تابستان و سرمای سوزان زمستان تغییراتی چندانی نداشته و در عمق چند فوتی سطح زمین در ۱۵-۷ درجه سانتیگراد ثابت می‌باشد. از این موهبت استفاده نموده از بمب‌های حرارتی ژئو ترمال برای گرمایش با سرمایه‌های ساختمانیها استفاده می‌کنند. پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی آب یا سیال مناسب دیگری را در لوله‌هایی که به صورت یک حلقه ممتد بصورت افقی یا عمودی در زیر زمین و در کنار ساختمان دفن شده است در زمین به سیال در حال گردش داخل لوله منتقل می‌شود و گرمایش ساختمان را تأمین می‌کند. در هوای گرم نیز این سیستم گرمای ساختمان را از طریق لوله‌های داخلی جذب می‌نماید و به زمین منتقل می‌کند و از این راه سبب خنک‌تر شدن هوای داخل ساختمان می‌گردد. این سیستم مقدار کمی برق مصرف می‌کند. در ایالات متحده دمای حدود ۳۰۰۰۰۰۰ خانه و مدرسه با استفاده از این سیستم در حد آسایش ساکنان کنترل و تأمین می‌شود. در یک سیستم زمین گرمایی حرارت ذخیره شده در سنگها و مواد مذاب اعماق زمین بواسطه یک سیال حامل به سطح زمین منتقل می‌شود. این سیال عمدتاً نزولات جوی می‌باشد که پس از نفوذ با اعمال زمین و مجاورت با سنگهای داغ حرارت آن‌ها

را جذب نموده و در اثر کاهش چگالی مجدداً بطرف سطح زمین صعود می‌کند و موجب پیدایش مظاهر حرارتی مختلف از جمله چشمه‌های آبگرم- آتش‌فشانها- و گل‌نشان‌ها در نقاط سطح زمین می‌گردد. در کشور ما در اثر تحقیقات معلوم شده که منطقه سبلان- دماوند- خوی و ماکو و سهند به منظور بهره‌برداری از انرژی زمین گرمائی مناسب‌تر می‌باشد منابع زمین گرمائی با دمای بیش از ۱۵۰ درجه سانتیگراد جهت تولید برق اقتصادی‌ترست مخازن زمین گرمائی با دمای بین ۶۵ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد برای برق توجیه اقتصادی ندارد در اینگونه موارد از انرژی حرارتی به طور مستقیم استفاده می‌شود. انرژی ذخیره شده در عمق ۱۱ کیلومتری پوسته زمین معادل ۵۰ هزار برابر کل انرژی بدست آمده از منابع نفت و گاز است که می‌توان از این انرژی بهره گرفت. بیش از ۲۵ کشور جهان از انرژی زمین گرمائی بیش از ۸ هزار مگاوات برق تولید می‌کنند که رقم قابل ملاحظه‌ای است کشور اندونزی ۴۰ درصد منابع انرژی زمین گرمائی جهان ۲۷۱۴۰ مگاوات را در اختیار دارد در ایران پس از مطالعات صورت گرفته عملیات حفر سه حلقه چاه در عمق ۳۰۰۰ متری زمین گرمائی در مشکین شهر صورت گرفته که در سال ۸۳ بهره‌برداری آزمایشی از این چاه آغاز شده است. این چاه توانایی تولید ۸ تا ۱۰ مگا وات برق دارد.

رشد روز افزون جمعیت، توسعه شهری و نیز اقتصاد انرژی در کشور ما، تولید ۹۰ هزار مگاوات برق را در سال ۲۰۲۰، اجتناب ناپذیر ساخته است. در حدود ۹۸ درصد ظرفیت تولید فعلی نیروگاه‌های برق کشور به کاربرد سوخت‌های فسیلی متکی است؛ حال آن که محدودیت منابع سوخت فسیلی، رشد مصرف داخلی و نبود منابع کافی برای صادرات از یک سو و موازین و معیارهای زیست محیطی توسعه پایدار از سوی دیگر، کاربرد انرژی‌های تجدید شونده در بستر تولید را اجتناب ناپذیر ساخته است. به رغم پتانسیل‌های بسیار مناسب به منظور کاربرد انرژی زمین گرمایی، به دلیل نبود سیاستگذاری‌های کلان در زمینه‌ی بکارگیری انرژی تجدیدپذیر، و فقدان فناوری مناسب در خصوص حفاری عمیق، مهندسی مخازن، ساخت و نیز بهره‌برداری از نیروگاه‌های زمین گرمایی، و بالاخره وجود رقیب سرسخت یعنی منابع ارزان سوخت‌های فسیلی بهره‌برداری از پتانسیل‌های مزبور کماکان جدی گرفته نشده است. از سوی دیگر، هم‌گام با سیاست دولت در راستای کاهش وابستگی به اقتصاد تک محصولی، تحولی اساسی در سیاست دولت مبتنی بر کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در حال شکل‌گیری است. و دوایر متعددی با محوریت مرکز انرژی‌های وزارت نیرو برای جذب سرمایه‌گذاری خارجی در سال ۱۳۷۵، باگروهی متشکل از کارشناسان ایرانی و فیلیپینی مبادرت به برداشت‌های تفصیلی زمین‌شناسی، هیدروژئوشیمیایی و ژئوفیزیک کردند. در همین راستا در اوائل سال ۱۳۷۶ هم‌گام با تشکیل گروهی متشکل از کارشناسان نیوزیلندی و ایرانی، بنا شد این گروه، مطالعاتی تفصیلی روی آتشفشان سبلان و پیرامون آن، مشتمل بر منطقه‌ی سرعین انجام دهند. با عنایت به لزوم افزایش ظرفیت نصب شده نیروگاهی، به نظر می‌رسد بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور تغییر در سبد انرژی، اجتناب ناپذیر باشد. بکارگیری انرژی زمین گرمایی حداقل در نواحی شمال غربی کشور می‌تواند به عنوان گزینه‌ای به منظور تغییر کاربری سوخت‌های فسیلی مطرح می‌شود و این نکته وقتی حائز اهمیت مضاعف می‌گردد که توجه داشته باشیم با وجود تمام فعالیت‌های عمرانی صورت پذیرفته در سال‌های پس از انقلاب، ظرفیت نصب شده نیروگاهی کشور صرفاً ۲۲ هزار مگاوات افزایش یافته است.

## ۲- شواهد وجود منابع زمین گرمایی در ایران

موقعیت قرارگیری ایران در مرزهای تکتونیکی از نیروی عظیم نهفته در کالبد ایران حکایت دارد. با توجه به شکل فشار صفحه قاره‌ای عربستان و صفحه اقیانوس هند از سوی دیگر باعث تغییر شکل‌های وسیعی در ایران شده است. منطقه زاگرس چین خورده، و راندگی آن شواهد سطح عظیم این نیروها هستند. قرار گرفتن در کمربند تکتونیکی حاشیه صفحات باعث شده است که گستره ایران از لحاظ زمین ساختاری بسیار فعال باشد. حضور در کمربند آتشفشانی و زلزله، حضور پتانسیل‌های متعدد زمین گرمایی را قطعی مسازد. با رجوع به فعالیت‌های آتشفشانی، ماگماتیسم و مرور شواهد و ظهورهای سطح الارضی چشمه‌های آب گرم و گل‌فشانها و خروج گارها و بررسی زونهای آلتراسیون ناشی از عملکرد آبهای گرم بر این گمان صحه نهاده است.

## ۲- تاریخچه زمین گرمایی

حضور آتشفشان، چشمه‌های آب گرم و دیگر پدیده‌های گرمایی باعث می‌شود که بخش‌های از درون زمین گرم شوند. با این حال در دروه‌های بین قرون شانزدهم و هفدهم، زمانی که اولین حفاری‌های انسان به چند صد متر پایین‌تر از سطح زمین رسید، با استفاده از حس گرهای ساده فیزیکی دریافتند که دمای زمین با عمق افزایش می‌یابد. نخستین اندازه‌گیری دما با استفاده از دما سنج 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 ورش‌های مطالعه مناسبی نبود تا آن که با کشف تابش فرابنفش هنوز ورش‌های مطالعه مناسبی نبود تا آن که با کشف تابش فرابنفش انسان توانست به طور کامل پدیده‌ای به عنوان تعادل زمین گرمایی و تاریخچه گرمای کره زمین را درک کند. تمام الگوهای گرمایی مدرن از زمین، در واقع به صورت گرما در اثر فروپاشی رادیواکتیو با عمر طولانی و با تولید ایزوتوپ‌های اورانیومف توریم و پتاسیم، در زمین حاضر هستند (*Lubimova, 1965*). ایجاد می‌شوند. علاوه بر گرمای تولید شده توسط پرتوزاها، در نسبت‌های نامشخص منابع بالقوه دیگری برای تولید گرما به عنوان 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 تعدلی 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  $42 \times 10^{22}$  می‌باشد. از میان مقدار حدود  $8 \times 10^{22}$  از پوسته تولید می‌شود، در صورتی که پوسته در حدود ۲ درصد از حجم کل کره زمین را تشکیل می‌دهد؛ در حالی که این مقدار غنی از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو می‌باشد، در حدود  $32/3 \times 10^{22}$  از گوشت زمین تشکیل می‌شود، که حدود ۸۲ درصد از حجم کل زمین را تشکیل می‌دهد و  $1/7 \times 10^{22}$  از هسته زمین به وجود می‌آید که ۱۶ درصد از حجم زمین است و هیچگونه ایزوتوپ رادیواکتیوی در خود ندارد. از آنجا که گرمای ناشی از تابش پوسته در حدود  $22 \times 10^{22}$  تخمین زده شده است، نرخ خنک شدن این بخش از زمین برابر با  $10/3 \times 10^{22}$  می‌باشد. در برآوردهای اخیر که بر اساس تعداد بیشتری از داده‌ها به دست آمده است، کل جریان گرما از زمین در حدود ۶ درصد بالاتر از رقم ارائه شده توسط *Loper* و *Stacey* در سال ۱۹۸۸ است. با این حالف فرآیند 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 سانتی‌گراد در پایه آن باقی مانده است. تحقیقات انجام شده توسط *Armstead* در سال ۱۹۸۳ بیان کننده 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  $12/6 \times 10^{24}$  از سطح زمین و در حدود  $5/4 \times 10^{24}$  از پوسته زمین است. با این حال تا به امروز بهره‌برداری از این انرژی محدود به مناطقی است که شرایط زمین شناسی 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 زمین گرمایی بایستی از فناوری‌های خاصی استفاده کرد. در اوایل قرن نوزدهم بود که توانستند از سیالات زمین که منفج شده بودند انرژی استخراج کنند؛ یک کارخانه صنعتی برای استخراج در محله‌ای در ایتالیا تأسیس شد تا بتوان اسیدبوریک را از آب‌های گرم به طور طبیعی و یا از قسمت‌های کم عمق زمین استخراج کرد. اسیدبوریک را از تبخیر آب‌بوریک در دیگ بخار آهن به دست می‌آوردند که سوخت این دیگ‌ها را از چوب‌های جنگل‌های نزدیک تأمین می‌کردند. در سال ۱۸۲۷ فرانچسکو، بنیان‌گذار این صنعت، به ایجاد یک سامانه برای استفاده از گرما از مایعات بوریک در فرآیند تبخیر به جای سوزاندن چوب از جنگل‌هاب دست پیدا کرد تا مانع از نابودی سریع آن شود. بهره‌برداری از بخار طبیعی برای انرژی مکانیکی از همان زمان آغاز شد. در ابتدا استفاده

از بخار طبیعی برای انرژی مکانیکی از همان زمان آغاز شد. در ابتدا استفاده از بخار آب زمین گرمایی برای بالا بردن درجه حرارت مایعات و تبدیل آن به گاز و سپس در پمپ‌ها 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 زمین گرمایی خود را در مقیاس صنعتی را آغاز کردند. در سال ۱۸۹۲ اولین سامانه گرمایش زمین گرمایی در منطقه بویزی، آیداهو (ایالات متحده آمریکا) آغاز به کار کرد. در سال ۱۹۲۸ ایسلند، یکی دیگر از پیشگامان در استفاده از انرژی زمین گرمایی، بهره‌برداری از مایعات زمین گرمایی که عمدتاً آب گرم بود برای مقاصد گرمایشی داخلی و خانگی آغاز کرد. در سال ۱۹۰۴ اولین تلاش برای تولید برق با استفاده از بخار آب زمین گرمایی صورت گرفت که باز هم در منطقه **Larderello** بود. 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 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 پی‌گیری و انجام دادند. چاه‌های زمین گرمایی برای اولین بار در ژاپن در منطقه 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 کرد که به دنبال آن در سال ۱۹۵۹ در مکزیک، در سال ۱۹۶۰ در ایالات متحده آمریکا و در طی سال‌های آینده در بسیاری از کشورها این نیروگاه‌ها گسترش پیدا کردند (۱).

### ۳- نیروگاه‌های زمین گرمایی

مرکز زمین (به عمق تقریبی ۶۴۰۰ کیلومتر) که در حدود ۴۰۰۰ درجه سانتیگراد حرارت دارد، به عنوان یک منبع حرارتی عمل کرده و موجب تشکیل و پیدایش مواد مذاب در اعماق زمین می‌شود. منشأ این گرما در پوسته و جبه زمین به طور عمده تجزیه مواد رادیواکتیو است. به طور میانگین میزان انتشار این حرارت از سطح زمین که فرایندی مستمر است معادل ۸۲ میلی وات در واحد سطح است. بنابراین انرژی زمین گرمایی، همان انرژی حرارتی قابل استحصال از پوسته جامد زمین است. انرژی زمین گرمایی بر خلاف سایر انرژی‌های تجدیدپذیر منشأ یک انرژی پایدار با فاکتور دسترسی ۱۰۰٪ است که به طور شبانه روزی در طول سال قابل بهره‌برداری است. لیکن امروزه به بهره‌گیری از فن‌آوری‌های موجود، تنها بخش کوچکی از این منابع سرشار مهار شده و به طور اقتصادی قابل بهره‌برداری است. از انرژی زمین گرمایی در دو بخش کاربردهای نیروگاهی (غیرمستقیم) و غیرنیروگاهی (مستقیم)، استفاده می‌شود. از کاربردهای غیرنیروگاهی می‌توان از استخرهای آب گرم، مراکز گلخانه‌ای، گرمایش منازل، حوضچه‌های پرورش ماهی و ذوب برف و پیشگیری از یخبندان در معابر نام برد.

### ۴- مکان های مناسب برای بهره برداری از انرژی زمین گرمایی

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

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

- ۲- مراکز گسترش؛ محلی که صفحات قاره ای از هم دور می شوند، نظیر ایسلند و دره ی کافتی آفریقا  
۳- نقاط داغ زمین؛ نقاطی که ماگما را پیوسته از جبه به طرف سطح زمین می فرستند و ردیفی از آتشفشان را تشکیل می دهند.

## ۵- کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی

کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی به معنی بهره برداری بدون واسطه از انرژی حرارتی سیال زمین گرمایی است. در این حالت انرژی زمین گرمایی به انرژی الکتریکی تبدیل نمی شود، بلکه به صورت مستقیم از انرژی حرارتی آن استفاده می شود. مخازن زمین گرمایی که دمای آن ها ۶۵ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد است، برای تبدیل به انرژی الکتریکی دارای توجیه اقتصادی بالایی نیستند؛ لذا اینگونه مخازن زمین گرمایی حرارت پایین نسبت به مخازن حرارت بالا از گستردگی بیشتری برخوردارند. به عنوان مثال در کشور آمریکا بیش از ۱۳۵۰ سیستم زمین گرمایی شناخته شده که ۵ درصد آن ها بیش از ۱۵۰ درجه سانتیگراد و ۸۵ درصد آن ها کمتر از ۹۰ درجه سانتیگراد حرارت دارند. سیالات مخازن حرارت پایین را می توان به دستگاه های حفاری چاه آب مورد استفاده قرار داد. کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی از گذشته های بسیار دور متداول بوده است. شواهد زیادی وجود دارد که نشان می دهد بشر در طول تاریخ از آب داغ یا بخار طبیعی زمین به منظور استحمام، پختن غذا و گرم کردن محل زندگی خود استفاده کرده است. به دلیل گسترده بودن دامنه درجه حرارت سیال زمین گرمایی، کاربردهای آن نیز بسیار متعدد است. نکته بسیار مهم در کاربرد سیال زمین گرمایی، کیفیت شیمیایی آن است. به این معنی که اگر میزان املاح محلول آن کم باشد، بدون کمک گرفتن از مبدل حرارتی می توان مستقیماً آب داغ یا بخار را مورد استفاده قرار داد. در غیر این صورت برای استفاده از سیال باید از مبدل حرارتی کمک گرفت که طبیعتاً بازده سیستم مربوطه پایین تر خواهد بود. به عنوان مثال در ریکیاویک، مرکز کشور ایسلند به دلیل وجود سنگ های آتشفشانی خاص، املاح محلول سیال خروجی از چاه به سیستم های گرمایش منطقه ای هدایت می شود. در حال حاضر حدود ۵۵ کشور جهان از منابع زمین گرمایی به طور مستقیم استفاده می کنند. موارد بهره برداری مستقیم از انرژی زمین گرمایی را می توان به ۶ رده تقسیم بندی کرد که عبارتند از (۶) :

گرمایش ساختمان ها

کشاورزی، دامپروری، کاربرد صنعتی، درمان بیماری ها ، سایر

## ۶- دسته بندی منابع انرژی زمین گرمایی

به طور متوسط درجه حرارت زمین به ازای هر ۱۰۰ متر عمق، سه درجه سانتیگراد افزایش می یابد؛ به این معنا که اگر در عمق دو کیلومتری سطح زمین درجه حرارت حدود ۷۰ درجه سانتیگراد باشد، در عمق ۳۰ کیلومتری درجه حرارت به حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد می رسد، اما در بعضی از مکان های فعالیت های تکتونیکی باعث جاری شدن گدازه های داغ یا مذاب به سمت سطح زمین و تشکیل منابعی با درجه حرارت بالا در سطح قابل دسترس زمین می شود.

بهره برداری و استفاده عملی از این حرارت، مستلزم وجود واسطه ای برای انتقال حرارت به سمت سیستم دریافت کننده حرارت است. این واسطه در واقع همان سیالات زمینی است که به شکل آبگیرهای داغ در داخل صخره های نفوذپذیر به وجود آمده است. این آبگیرها با مخازن آب، میدان های هیدروترمال نامیده می شود. چشمه های هیدروترمال به طور گسترده ولی غیر یکنواخت در سراسر کره زمین پراکنده اند. میدان های زمین گرمایی که دارای آنتالپی بالایی هستند، بیشتر در اطراف کمربندهای کاملاً شناخته شده ای از فعالیت های زیرزمینی قرار گرفته اند که این فعالیت ها اغلب به شکل زلزله، آتشفشان، چشمه های آبگرم، آبفشان های طبیعی و منابع تولید گازهای داغ در نواحی آتشفشانی آشکار می شود. کمربندهای زمین گرمایی با مرزهای تکتونیکی یا صفحات لایه ای همرا هستند و عمدتاً در مناطقی که به تازگی در آنجا فعالیت های آتشفشانی صورت گرفته یا نازک شدگی در سطح زمین رخ داده، مشاهده می شوند.

یکی از کمربندها اطراف اقیانوس آرام است که در برگیرنده نواحی همچون کامچاتکا، ژاپن، فلیپین، اندونزی، پرو آکوادور، آمریکای مرکزی و بخش غربی آمریکای شمالی است. این کمربند از طریق دریای مدیترانه به داخل آسیا نیز کشیده شده است. پوسته‌های داغ در برآمدگی‌های بین اقیانوس (مثل ایسلند و آزور) و شکاف‌های داخل قاره‌ای (مثل شکاف آفریقای شرقی، کنیا و حبشه) نیز به چشم می‌خورد.

منابعی که دارای آنتالپی پایین هستند، از فراوانی و گستردگی بیشتری برخوردارند. این منابع در بسیاری از حوضچه‌های رسوبی و عمیق جهان وجود دارند. از جمله آن‌ها می‌توان به سراسر سواحل خلیجی آمریکا، غرب سیبری و محل‌های خاص واقع در اروپای مرکزی و جنوبی و همچنین در کناره‌های منابع با آنتالپی بالا اشاره کرد. انرژی زمین‌گرمایی معمولاً به چهار دسته تقسیم می‌شود که عبارتند از: هیدروترمال، لایه‌های تحت فشار، تخته سنگ‌های خشک داغ و گذاره‌های آتشفشانی، گرچه مشخصات فیزیکی هر یک از آن‌ها متفاوت است، اما صرفنظر از اقتصادی بودن، به صورت بالقوه توانایی تولید برق را دارند (۳).

## ۷- مزیت‌های کاربرد انرژی زمین‌گرمایی

امروزه تولید انرژی به کمک منابع فسیلی یا نیروگاه‌های هسته‌ای با آلودگی قابل ملاحظه محیط زیست همراه است، ولی انرژی زمین‌گرمایی علاوه بر تجدیدپذیر بودن در مقایسه با سایر منابع تولید انرژی، آلاینده‌گی کمتری دارد و جزء منابع پاک انرژی به شمار می‌رود. میزان آلودگی نیروگاه‌ها یا طرح‌های کاربرد مستقیم زمین‌گرمایی، ارتباط مستقیمی با درجه حرارت بالا نسبت به انواع حرارت پایین، آلودگی بیشتری تولید می‌کنند و همچنین طرح‌های کاربرد مستقیم نیز کمتر از نیروگاه‌های زمین‌گرمایی، محیط زیست را آلوده می‌کنند به طور کلی مزیت‌های انرژی زمین‌گرمایی را می‌توان به دو دسته کلی مزایای زیست‌محیطی و کاربردی تقسیم کرد:

- عدم آلودگی هوا
- تولید  $CO_2$  کم، تولید  $H_2S$  پایین
- عدم آلودگی منابع زیر زمین
- عدم نیاز به زمین وسیع

امروزه بدلیل تزریق سیال خروجی از نیروگاه‌ها و سایر طرح‌های کاربرد مستقیم انرژی زمین‌گرمایی، میزان آلاینده‌گی این قبیل طرح‌ها به حداقل مقدار خود رسیده است.

از مزایای کاربردی می‌توان به:

- صرفه جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی
- طولانی بودن زمان دسترسی
- گسترش موارد کاربرد
- مستقل بودن از شرایط جوی
- امکان تولید برق به وسیله واحدهای قابل حمل

میزان دی‌اکسید گوگرد تولید شده در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی حدود ۸ درصد مقدار تولید شده در نیروگاه‌های فسیلی است. در خصوص دی‌اکسید کربن نیز نیروگاه‌های زمین‌گرمایی در وضعیت بسیار مناسب‌تری نسبت به نیروگاه‌های فسیلی قرار دارند. بدین معنی که مقدار گاز  $CO_2$  تولید شده در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی به ترتیب معادل ۱۵ درصد نیروگاه‌های گاز سوز، ۱۰ درصد نیروگاه‌های نفت‌سوز و ۸ درصد نیروگاه‌های زغال سنگ سوز است (۴، ۵).

## ۸- انواع نیروگاه زمین گرمایی برای تولید برق

۱- نیروگاه خشک: این نیروگاه روی مخازن ژئوترمالی که بخار خشک با آب خیلی کم تولید می‌کنند، ساخته می‌شوند. در این روش، بخار از طریق لوله به طرف نیروگاه هدایت می‌شود و نیروی لازم برای چرخاندن ژنراتور توربین را فراهم می‌کند. این گونه مخازن با بخار خشک کمیاب است. بزرگترین میدان بخار خشک در دنیا، آب گرم جیزرز در ۹۰ مایلی شمال کالیفرنیاست که تولید الکتریسیته در آن، از سال ۱۹۶۲ شروع شده است و امروزه به عنوان یکی از موفق‌ترین پروژه‌های تولید انرژی جایگزین محسوب می‌شود.

۲- نیروگاه بخار حاصل از آب داغ: این نوع نیروگاه روی مخازن دارای آب داغ احداث می‌شود. در این مخازن با حفر چاه، آب داغ به سطح می‌آید و به دلیل آزاد شدن از فشار مخازن، بخشی از آن به بخار تبدیل می‌شود. این بخار برای چرخاندن توربین به کار می‌رود. چنین نیروگاه‌هایی عمومیت بیشتری دارند، زیرا بیشتر مخازن زمین گرمایی حاوی آب داغ هستند. فناوری مزبور برای اولین بار در نیوزیلند به کار گرفته شد.

۳- نیروگاه ترکیبی (بخار و آب داغ): در این سیستم، آب گرم از میان یک مبدل گرمایی می‌گذرد و گرما را به یک مایع دیگر می‌دهد که نسبت به آب در درجه حرارت پائین تری می‌جوشد. مایع دوم در نتیجه گرم شدن به بخار تبدیل می‌شود و پره‌های توربین را می‌چرخاند. سپس متراکم می‌شود و مایع حاصله دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب زمین گرمایی نیز دوباره به درون مخازن تزریق می‌شود. این روش برای استفاده از مخازنی که به اندازه کافی گرم نیستند که بخار با فشار تولید کنند، به کار می‌رود.

## ۹- مزایای استفاده از انرژی گرمایی برای تولید الکتریسیته:

- ۱- تمیز بودن: در این روش همانند نیروگاه بادی و خورشیدی، نیازی به سوخت نیست، بنابراین سوخت‌های فسیلی حفظ می‌شوند و هیچگونه دودی وارد هوا نمی‌شود.
  - ۲- بدون مشکل بودن برای منطقه: فضای کمتری برای احداث نیروگاه نیاز دارد و عوارضی چون ایجاد تونل، چاله‌های روباز، کپه‌های آشغال و یا نشت نفت و روغن را به دنبال ندارد.
  - ۳- قابل اطمینان بودن: نیروگاه می‌تواند در طول سال فعال باشد و به دلیل قرار گرفتن روی منبع سوخت، مشکلات مربوط به قطع نیروی محرکه در نتیجه ی بدی هوا، بلایای طبیعی و یا تنش‌های سیاسی را ندارد.
  - ۴- تجدید پذیری و دائمی بودن
  - ۵- صرفه جویی ارزی: هزینه‌ای برای ورود سوخت از کشور خارج نمی‌شود و نگرانی‌های ناشی از افزایش هزینه‌ی سوخت وجود نخواهد داشت.
  - ۶- کمک به رشد کشورهای در حال توسعه: نصب آن در مکان‌های دور افتاده می‌تواند، استاندارد و کیفیت زندگی را با آوردن نیروی برق بالا ببرد.
- با توجه به فوایدی که برشمردیم، انرژی زمین گرمایی به رشد کشورهای در حال توسعه بدون آلودگی کمک می‌کند. مصارف دیگر انرژی زمین گرمایی:
- آب زمین گرمایی در سرتاسر دنیا، حتی زمانی که به اندازه‌ی کافی برای تولید برق داغ نیست، مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب‌های زمین گرمایی که درجه‌ی حرارت آنها بین ۵۰ تا ۳۰۰ درجه‌ی فارنهایت است، مستقیماً مورد استفاده قرار می‌گیرند که موارد مصرف آنها به شرح زیر است:

- ۱- برای تسکین درد عضلات در چشمه‌های داغ و درمان با آب معدنی (آب درمانی).
- ۲- گرم کردن داخل ساختمان‌های منفرد و حتی منطقه‌ای که مجاور چشمه‌های گرم است. در این روش، سیستم‌های گرم‌کننده، آب زمین گرمایی را از طریق یک مبدل گرمایی پمپ می‌کنند و گرما را به آب شهری انتقال می‌دهند 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 (شکل ۹).

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

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

۵- 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.

انرژی زمین گرمایی در ایران:

رشد روزافزون جمعیت، توسعه ی شهری و نیز اقتصاد انرژی در کشور ما، تولید ۹۰ هزار مگاوات برق در سال ۲۰۲۰ را اجتناب ناپذیر ساخته است. در حدود ۹۸ درصد ظرفیت تولید فعلی نیروگاه های برق کشور به کاربرد سوخت های فسیلی متکی است. حال آن که محدودیت منابع سوخت فسیلی، رشد مصرف داخلی و نبود منابع کافی برای صادرات از یک سو، و موازین و معیارهای زیست محیطی توسعه ی پایدار از سوی دیگر، کاربرد انرژی های تجدیدشونده در بستر تولید را اجتناب ناپذیر ساخته است. به رغم پتانسیل های بسیار مناسب به منظور کاربرد انرژی زمین گرمایی، به دلیل نبود سیاستگذاری های کلان در زمینه ی به کارگیری انرژی تجدیدپذیر، و فقدان فناوری مناسب در خصوص حفاری عمیق، مهندسی مخازن، ساخت و نیز بهره برداری از نیروگاه های زمین گرمایی، و بالاخره وجود رقیب سرسخت منابع ارزان سوخت های فسیلی، بهره برداری از پتانسیل های مزبور کماکان جدی گرفته نشده است.

مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی در کشور

از سوی دیگر، هم گام با سیاست دولت در راستای کاهش وابستگی به اقتصاد تک محصولی، تحولی اساسی در سیاست دولت مبتنی بر کاربرد انرژی های تجدیدپذیر در حال شکل گیری است و دوایر متعددی با محوریت مرکز انرژی های نو در وزارت نیرو، سازمان انرژی اتمی و نیز سازمان زمین شناسی، به عنوان متولی تهیه داده های پایه در حال کار روی موضوع مذکور هستند.

هم گام با سیاست (مرکز انرژی های نو) وزارت نیرو برای جذب سرمایه گذاری خارجی در سال ۱۳۷۵، گروهی متشکل از کارشناسان ایرانی و فیلیپینی مبادرت به برداشت های تفصیلی زمین شناسی، هیدروژئوشیمیایی و ژئوفیزیک در ناحیه ی (دره قطور) کردند. همچنین در اوائل سال ۱۳۷۶، هم گام با تشکیل گروهی متشکل از کارشناسان نیوزیلندی و ایرانی، بنا شد این گروه،

مطالعاتی تفصیلی روی آتشفشان سبلان و پیرامون آن، مشتمل بر منطقه ی (سرعین)، انجام دهند. با عنایت به لزوم افزایش ظرفیت نصب شده ی نیروگاهی، به نظر می رسد بهره برداری از انرژی های تجدیدپذیر به منظور تغییر در سبب انرژی، اجتناب ناپذیر باشد. به کارگیری انرژی زمین گرمایی حداقل در نواحی شمال غربی کشور می تواند، به عنوان گزینه ای به منظور تغییر کاربری سوخت های فسیلی مطرح شود و این نکته وقتی حائز اهمیت مضاعف می گردد که توجه داشته باشیم، با وجود تمام فعالیت های عمرانی صورت پذیرفته در سال های پس از انقلاب، ظرفیت نصب شده ی نیروگاهی کشور صرفاً ۲۲ هزار مگاوات افزایش یافته است (سازمان زمین شناسی ایران).

## ۱۰- نتیجه گیری

بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی، به عنوان یک منبع انرژی بالقوه در اعماق زمین، مستقل از شرایط جوی بوده و قابلیت پاسخگویی به نیاز کنونی و آتی بشر را دارد. امروزه در دنیای استفاده از انرژی زمین گرمایی روند رو به رشدی به خود گرفته است. ایران هم یکی از مناطقی است که دارای پتانسیل‌های فراوان زمین گرمایی می‌باشد. در این مقاله با بیان مشخصات و ویژگی‌های زمین گرمایی، سعی شده کاربرد آن در زمینه تولید برق بیشتر مورد توجه قرار گیرد و نقاط دارای پتانسیل این انرژی در ایران معرفی گردید. انرژی زمین گرمایی علاوه بر تجدیدپذیر بودن در مقایسه با سایر منابع تولید انرژی، آلاینده‌گی کمتری دارد و جزء منابع پاک انرژی به شمار می‌رود. میزان آلودگی نیروگاه‌ها یا طرح‌های کاربرد مستقیم زمین گرمایی، ارتباط مستقیمی با درجه حرارت بالا نسبت به انواع حرارت پایین، آلودگی بیشتری تولید می‌کنند و همچنین طرح‌های کاربرد مستقیم نیز کمتر از نیروگاه‌های زمین گرمایی، محیط زیست را آلوده می‌کنند. کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی به معنی بهره‌برداری بدون واسطه از انرژی حرارتی سیال زمین گرمایی است. در این حالت انرژی زمین گرمایی به انرژی الکتریکی تبدیل نمی‌شود، بلکه به صورت مستقیم از انرژی حرارتی آن استفاده می‌شود. مخازن زمین گرمایی که دمای آن‌ها ۶۵ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد است، برای تبدیل به انرژی الکتریکی دارای توجیه اقتصادی بالایی نیستند؛ لذا اینگونه مخازن زمین گرمایی حرارت پایین نسبت به مخازن حرارت بالا از گستردگی بیشتری برخوردارند.

## ۱۱- فهرست منابع

- ۱- زینت نظری، فاطمه اظهري، الهام یوسفی، مریم قره آغاجی. بررسی انرژی ژئوترمال در ایران، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، ۱۳۸۹.
- ۲- سید کریم شفق‌ی اصل، صدیقه و صوفی راد. هما زارعی بررسی انرژی زمین گرمایی. ششمین همایش ملی دانشجویی مهندسی شیمی ۱۳۸۵.
- 3- Jatoi, Ali, (2006), "Policy for Development of Renewable Energy for Power Generation", Government of Pakistan.
- 4- Shabangu, S., (2002), "On the Promotion of Renewable Energy and Clean Energy.
- 5- Sharifi, Sadeghi & Shavvalpour, (2008), "Learning by doing for Renewable Energy Technologies: Empirical Evidence from Iran", International Center for Climate Governance, Island of San Giorgio Maggiore, Venice, Italy.
- 6- [www.suna.org](http://www.suna.org)