انرژی زمین گرمایی چیست؟

دیکسون وفائلی
ترجمهٔ رضا ملکی

آموزشی

مقدمه

گرما نوعی انرژی است و انرژی زمین گرمایی در لغت به معنای گرمای موجود در درون زمین است که باعث وقوع پدیده‌های زمین‌شناختی در مقیاس سیاره‌ای می‌شود. امروزه غالباً واژهٔ انرژی زمین گرمایی به بخشی از گرمای زمین گفته می‌شود که انسان می‌تواند آن را استخراج و از آن بهره‌برداری کند.

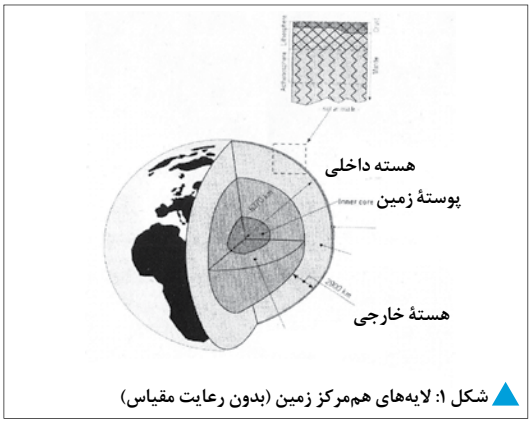
کلیدواژه‌ها: زمین گرمایی، مواد پرتوزا، لایه‌های زمین

۱-۱. تاریخچهٔ انرژی زمین گرمایی

وجود آتشفشان، چشمه‌های آب گرم و دیگر پدیده‌های گرمایی بی‌شک گذشتگان ما را از این حقیقت آگاه ساخته بوده که بخش‌های خاصی از اعماق زمین داغ است. با این حال تا قرن‌های شانزدهم و هفدهم اطلاعات چندانی در این زمینه وجود نداشت، تا اینکه اولین معادن تا عمق چند صد متری سطح زمین حفر شد و انسان براساس درک فیزیکی ساده‌ای فهمید که دمای زمین با عمق آن افزایش می‌یابد.

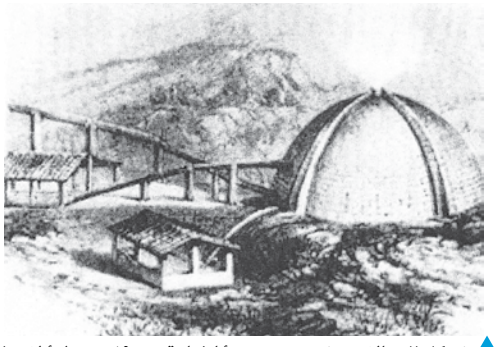
احتمالاً نخستین اندازه‌گیری‌ها به‌وسیلهٔ دماسنج را دوجنسان[۱] در سال ۱۷۴۰ در معدنی نزدیک بلفورت[۲] در فرانسه انجام داد. در سال ۱۸۷۰ از روش‌های علمی پیشرفته‌ای برای مطالعهٔ رفتار گرمایی زمین استفاده می‌شد، اما تا ورود به قرن بیستم و پی بردن به نقش مهم گرمای پرتوزاد (تابش ناشی از واپاشی مواد پرتوزا)، راز پدیده‌هایی همچون توازن گرمایی و تاریخچهٔ گرمایی زمین درک نشد. تمام مدل‌های پیشرفتهٔ گرمای زمین براساس گرمای تولید شده در اثر واپاشی ایزوتوپ‌های پرتوزای اورانیم (U^{235},U^{238})، توریم (Th^{232}) و پتاسیم (K^{40}) با عمر طولانی - که در اعماق زمین یافت می‌شوند - پایه‌ریزی شده است. اما هیچ فرضیهٔ قابل قبولی که به‌طور واقع‌گرایانه براساس مدل‌های موجود طرح‌ریزی شده باشد، وجود نداشت، تا اینکه در دههٔ ۱۹۸۰ میلادی پژوهشگران دریافتند هیچ تعادلی بین گرمای تولید شده از واپاشی مواد پرتوزا در اعماق زمین و گرمای منتشر شده از سطح آن به محیط اطراف برقرار نیست و کرهٔ زمین به آهستگی در حال سرد شدن است. در سال ۱۹۸۸ میلادی در یک ایده برای پدیده‌ها و میزان درگیری آن‌ها استیسی[۳] و لوپر[۴] محاسباتی انجام دادند که براساس آن کل جریان گرمای خروجی از زمین (رسانش، همرفت و تابش) 42×10^{12} W برآورد شده است. از این مقدار 8×10^{12} W از پوسته[۵] که فقط ۲ درصد از کل حجم زمین را تشکیل می‌دهد، اما دارای مقادیر فراوانی از ایزوتوپ‌های پرتوزاست، خارج می‌شود؛ $32/3\times10^{12}$ W از لایهٔ میانی[۶] که ۸۲ درصد از کل حجم زمین را تشکیل می‌دهد خارج می‌شود؛ و $1/7\times10^{12}$ W نیز از هسته[۷] که ۱۶ درصد از کل حجم زمین را اشغال کرده و حاوی ایزوتوپ‌های پرتوزا نیست، خارج می‌شود. شکل ۱، طرح ساده‌ای از ساختار درونی زمین را نشان می‌دهد.

چون گرمای ناشی از واپاشی مواد پرتوزا در لایهٔ میانی زمین در حدود 22×10^{12} W برآورد شده است، لذا آهنگ سرد شدن این بخش از زمین $10/3\times10^{12}$ وات است. در برآوردهای اخیر که بر مبنای تعداد بیشتری از داده‌ها صورت گرفته است، کل جریان (دبی) گرمایی زمین تقریباً ۶ درصد بیشتر از رقم ارائه شده توسط استیسی و لوپر در سال ۱۹۸۸ است. در هر حال فرایند سرد شدن لایهٔ میانی زمین هنوز بسیار آهسته صورت می‌گیرد، به‌گونه‌ای که دمای لایهٔ میانی در طول سه میلیارد سال گذشته بیشتر از ۳۵۰ °C ۳۰۰- کاهش نیافته و اکنون دمای نواحی مرکزی آن در حدود ۴۰۰۰ °C است. با این فرض که میانگین دمای سطح زمین را ۱۵ °C در نظر بگیریم، کل گرمای موجود در زمین، به میزان $12/6\times10^{24}$ MJ خواهد بود و سهم پوسته از این مقدار $5/4\times10^{21}$ MJ است. بنابراین می‌توان مشاهده کرد که انرژی گرمایی زمین بسیار زیاد است، اما تنها بخش کوچکی از آن می‌تواند توسط بشر مورد بهره‌برداری قرار گیرد. تاکنون بهره‌برداری انسان از این انرژی محدود به مناطقی بوده است که شرایط زمین‌شناسی آن این اجازه را به شارهٔ عامل (آب در حالت مایع یا بخار) می‌داده تا گرما را از لایه‌های داغ در اعماق به سطح زمین یا نزدیکی‌های آن انتقال دهد و بدین‌ترتیب منابع زمین گرمایی را به وجود آورد. به هر حال روش‌های جدید در آینده‌ای نزدیک می‌تواند چشم‌انداز جدیدی را در این بخش به روی پژوهشگران بگشاید.



▲ شکل ۱: لایه‌های هم‌مرکز زمین (بدون رعایت مقیاس)

در بسیاری از حوزه‌های زندگی، کاربردهای عملی مقدم بر پژوهش‌های علمی و پیشرفت‌های فناورانه است؛ یک مثال خوب در این مورد بخش زمین گرمایی است. در اوایل قرن نوزدهم، استخراج شاره‌های زمین گرمایی با هدف بهره‌برداری از محتوای انرژی آن‌ها صورت می‌گرفت. در آن زمان یک کارخانهٔ شیمیایی در کشور ایتالیا در ناحیه‌ای که هم اینک لاردرلو[8] نامیده می‌شود، راه‌اندازی شد تا با استفاده از آب‌های بوره‌ای داغی که به‌طور طبیعی یا از طریق حفاری چاه‌های کم‌عمق به بیرون جریان می‌یافتند، اسید بوریک تولید کند. با تبخیر آب‌های بوریکی در دیگ بخارهای آهنی که گرمای مورد نیاز خود را از طریق سوزاندن چوب درختان جنگل‌های مجاور تأمین می‌کردند، اسید بوریک تولید می‌شد. در سال ۱۸۲۷ فرانچسکو لاردرل[9]، بنیانگذار این صنعت، دستگاهی را طراحی کرد که در آن به‌جای سوزاندن چوب درختان جنگل‌ها که به‌سرعت رو به نابودی می‌رفتند، از گرمای موجود در شاره‌های بوریک برای گرمایش دیگ‌های بخار استفاده می‌کرد. (شکل ۲)



شکل ۲: «تالاب پوشیده» در نیمهٔ اول از قرن ۱۹ در منطقهٔ لاردرلو، ایتالیا که از آن برای گردآوری آب‌های گرم بوریک و استخراج اسیدبوریک استفاده می‌شد.

استخراج بخار طبیعی آب با هدف بهره‌برداری از انرژی مکانیکی آن در همان زمان آغاز شد. از بخار آب زمین گرمایی برای بالا بردن مایعات در بالابرهای گازی قدیمی و بعدها در پمپ‌های رفت و برگشتی و گریز از مرکز و جرثقیل‌هایی استفاده می‌شد که به نوعی با عملیات حفاری در ارتباط بودند یا در صنایع محلی تولید اسید بوریک کاربرد داشتند.

بین سال‌های ۱۹۱۰ و ۱۹۴۰ بخار کم‌فشار در این بخش از توسکانی[10] به‌منظور گرم کردن ساختمان‌ها و گلخانه‌های صنعتی و مسکونی مورد استفاده قرار گرفت. کشورهای دیگر نیز شروع به توسعهٔ منابع زمین گرمایی خود در مقیاس صنعتی کردند. در سال ۱۸۹۲ اولین دستگاه زمین گرمایی منطقه‌ای گرمای عملیات خود را در بویز[11]، آیداهو[12] (ایالات متحده آمریکا) آغاز کرد. در سال ۱۹۲۸، ایسلند، یکی دیگر از پیشگامان در استفاده از انرژی زمین گرمایی، نیز شروع به بهره‌برداری از مایعات زمین گرمایی خود (عمدتاً آب‌های گرم) برای مقاصد داخلی گرمایشی نمود.

اولین تلاش برای تولید برق از بخار آب زمین گرمایی در سال ۱۹۰۴ میلادی نیز در منطقهٔ لاردرلو انجام پذیرفت. موفقیت این آزمایش ارزش صنعتی انرژی زمین گرمایی را به خوبی نشان داد و آغاز یک شکل از بهره‌برداری بود که به‌طور قابل توجهی از آن زمان به بعد به‌منظور توسعه مورد استفاده قرار گرفت. تولید برق در «لاردرلو» یک موفقیت تجاری بود. تا سال ۱۹۴۲ ظرفیت برق زمین گرمایی نصب شده به ۱۲۷۶۵۰ KW رسیده بود. دستگاه نمونه‌ای که در کشور ایتالیا راه‌اندازی شد، به‌سرعت توسط کشورهای دیگر الگوبرداری شد. نخستین چاه‌های زمین گرمایی در سال ۱۹۱۹ در «بپو[13]» ژاپن و در ادامه در سال ۱۹۲۱ در «کالیفرنیا» (ایالات متحدهٔ آمریکا) حفر شدند. در سال ۱۹۵۸ بهره‌برداری از یک نیروگاه زمین گرمایی کوچک در نیوزیلند آغاز شد، و یک نیروگاه دیگر در سال ۱۹۵۹ در مکزیکو شروع به‌کار کرد. در سال ۱۹۶۰ نیز در ایالات متحدهٔ آمریکا و به‌دنبال آن در بسیاری از کشورهای دیگر، در سال‌های پس از آن.

۱-۲. وضعیت کنونی بهره‌برداری از منابع زمین گرمایی

پس از جنگ جهانی دوم، با این تصور که انرژی زمین گرمایی از نظر اقتصادی قادر به رقابت با سایر انواع انرژی است، توجه بسیاری از کشورها به این انرژی معطوف شد. وارداتی نبود و در برخی موارد، تنها منبع انرژی در دسترس محلی بود.

اسامی برخی کشورها که از انرژی زمین گرمایی برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می‌کنند، در جدول ۱ آمده است که نشان‌دهندهٔ ظرفیت نصب شدهٔ برق زمین گرمایی در سال ۱۹۹۵ (۶۸۳۳ MW)، در سال ۲۰۰۰ (۷۹۷۲ MW) و افزایش آن بین سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۰ میلادی است. همچنین جدولی مشابه، کل ظرفیت نصب شده تا سال ۲۰۰۳ (۸۴۰۲ MW) را نمایش می‌دهد. قدرت زمین گرمایی نصب شده در کشورهای در حال توسعه در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۰ از کل سهم جهانی به ترتیب برابر با ۳۸ درصد و ۴۷ درصد ارائه شده است. استفاده از انرژی زمین گرمایی در کشورهای در حال توسعه یک روند جالب توجه در طول سال را به نمایش گذاشته است. در پنج سال بین سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۷۹ ظرفیت نصب شدهٔ برق زمین گرمایی در این کشورها از ۷۵ تا ۴۶۲ MW افزایش یافته است. در پایان دورهٔ پنج ساله بعدی (۱۹۸۴) این رقم به ۱۴۹۵ MW رسید که نشان‌دهنده میزان افزایش ۵۰۰ درصد و ۲۲۳ درصد در طی این دو دوره است. در شانزده سال بعدی، از ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰، تقریباً بیش از ۱۵۰ درصد افزایش وجود دارد. انرژی زمین گرمایی نقش نسبتاً قابل توجهی بازی در توازن انرژی برخی از مناطق بازی می‌کند؛ به‌عنوان مثال در سال ۲۰۰۱ انرژی الکتریکی تولید شده از منابع زمین گرمایی نشان‌دهنده ۲۷ درصد از کل برق تولیدی در فیلیپین، ۱۲/۴ درصد در کنیا، ۱۱/۴ درصد در کوستاریکا و ۴/۳ درصد در السالوادور است.

با توجه به مصارف غیرالکتریکی انرژی زمین گرمایی، جدول ۲ ظرفیت نصب شده (۱۵۱۴۵ MW) و مصرف انرژی (TJ/year ۱۹۰۶۹۹) در سراسر جهان را برای سال ۲۰۰۰ ارائه می‌دهد. در آن سال ۵۸ کشور گزارش کردند که نوع استفاده‌شان

مســـتقیم است در حالی‌که در سال ۱۹۹۵ این رقم ۲۸ و در سال ۱۹۸۵، ۲۴ بوده است. تعداد کشورهایی که دارای استفادهٔ مستقیم هستند به احتمال بسیار زیاد از آن زمان به بعد افزایش یافته است، همان‌گونه که کل ظرفیت نصب شـــده و مصرف انرژی افزایش یافته است.

رایج‌ترین اســـتفاده‌های غیرالکتریکی در جهان (برحسب ظرفیت نصب شـــده) عبارت‌اند از: پمپ‌های گرمایی (۳۴/۸۰ درصـــد) اســـتحمام (۲۶/۲۰ درصد) گرمایش فضـــا (۲۱/۶۲ درصـــد) خانه‌های ســـبز (۸/۲۲ درصد) آبزی پـــروری (۳/۹۳ درصد) و فرایندهای صنعتی (۳/۱۳درصد).

جدول۱. ظرفیت نصب شدهٔ تولید انرژی زمین‌گرمایی در سطح جهان از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ (Hutler, ۲۰۰۱) و در پایان سال ۲۰۰۳

کشور	سال ۱۹۹۵ MW	سال ۲۰۰۰ MW	سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ افزایش بر MW	سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ افزایش بر حسب درصد	سال ۲۰۰۳ MW
آرژانتین	۰/۶۷	–	–	–	–
استرالیا	۰/۱۵	۰/۱۵	–	–	۰/۱۵
اتریش	–	–	–	–	۰/۲۵
چین	۲۸/۷۸	۲۹/۱۷	۰/۳۹	۱/۳۵	۲۸/۱۸
...	...	...	...	...	...
تایلند	۰/۳	۰/۳	–	–	۰/۳
ترکیه	۲۰/۴	۲۰/۴	–	–	۲۰/۴
آمریکا	۲۸۱۶/۷	۲۲۲۸	–	–	۲۰۲۰
جمع	۶۸۳۳/۳۵	۷۹۷۲/۵	۱۷۲۸/۵۴	۱۶/۷	۸۴۰۲/۲۱

جدول ۲. استفاده‌های غیرالکتریکی انرژی زمین گرمایی در جهان (۲۰۰۰): توان گرمایی نصب شده (MW) و استفاده از انرژی (TJ/year). منبع: Lund and Freeston (۲۰۰۱)

کشور	توان MW	انرژی TJ/year
الجزایر	۱۰۰	۱۵۸۶
آرژانتین	۲۵/۷	۴۴۹
ارمنستان	۱	۱۵
استرالیا	۳۴/۴	۳۵۱
اتریش	۲۵۵/۳	۱۶۰۹
بلژیک	۳/۹	۱۰۷
بلغارستان	۱۰۷/۲	۱۶۳۷
کانادا	۳۷۷/۶	۱۰۲۳
جزایر کارائیب	۰/۱	۱
شیلی	۰/۴	۷
چین	۲۲۸۲	۳۷۹۰۸
کلمبیا	۱۳/۳	۲۶۶
کرواسی	۱۱۳/۹	۵۵۵
جمهوری چک	۱۲/۵	۱۲۸
دانمارک	۷/۴	۷۵
مصر	۱	۱۵
فنلاند	۸۰/۵	۴۸۴
فرانسه	۳۲۶	۴۸۹۵
گرجستان	۲۵۰	۶۳۰۷

آلمان	۳۹۷	۱۵۶۸
یونان	۵۷/۱	۳۸۵
گواتمالا	۴/۲	۱۱۷
هندوراس	۰/۷	۱۷
مجارستان	۴۷۲/۷	۴۰۸۶
ایسلند	۱۴۶۹	۲۰۱۷۰
هندوستان	۸۰	۲۵۱۷
اندونزی	۲/۳	۴۳
فلسطین (رژیم اشغالگر صهیونیستی)	۶۳/۳	۱۷۱۳
ایتالیا	۳۲۵/۸	۳۷۷۴
ژاپن	۱۱۶۷	۲۶۹۳۳
اردن	۱۵۳/۳	۱۵۴۰
کنیا	۱/۳	۱۰
کره	۳۵/۸	۷۵۳
لیتوانی	۲۱	۵۹۹
مقدونیه	۸۱/۲	۵۱۰
مکزیک	۱۶۴/۲	۳۹۱۹
نپال	۱/۱	۲۲
هلند	۱۰/۸	۵۷
نیوزیلند	۳۰۷/۹	۷۰۸۱

نروژ	۶	۳۲
پرو	۲/۴	۴۹
فیلیپین	۱	۲۵
لهستان	۶۸/۵	۲۷۵
پرتغال	۵/۵	۳۵
رومانی	۱۵۲/۴	۲۸۷۱
روسیه	۳۰۸/۲	۶۱۴۴
صربستان	۸۰	۲۳۷۵
جمهوری اسلواکی	۱۳۲/۳	۲۱۱۸
اسلوونی	۴۲	۷۰۵
سوئد	۳۷۷	۴۱۲۸
سوئیس	۵۴۷/۳	۲۳۵۶
تایلند	۰/۷	۱۵
تونس	۲۳/۱	۲۰۱
ترکیه	۸۲۰	۱۵۷۵۶
انگلستان	۲/۹	۲۱
ایالات متحده آمریکا	۳۷۶۶	۲۰۳۰۲
ونزوئلا	۰/۷	۱۴
یمن	۱	۱۵
جمع	۱۵۱۴۵	۱۹۰۶۹۹

پی‌نوشت‌ها

1. De Gensanne
2. Belfort
3. Stacey
4. Loper
5. Crust
6. Mantle
7. Core
8. Larderello
9. Francesco Larderel
10. Tuscany
11. Boise
12. Idaho
13. Beppu