انرژی حرارتی زمین[1]

قسمت دوم ـ انواع منابع انرژی و ساختمان آنها

نوشتهٔ

زین‌العابدین نجات (Ph. D.)

سرپرست کارگاههای تعلیماتی دانشکده فنی، رئیس آزمایشگاه ماشینهای حرارتی

چکیده :

پژوهشهای دامنه‌داری در زمینه اکتشاف و بهره‌برداری از انرژی حرارتی بعمل آمده است. در این مقاله سعی شده است انواع مختلف این منابع را تشریح کرده و ساختمان آنها ازنظر زمین شناسی مورد بحث قرارگیرد. سپس مختصری از کاربرد زمین شناسی ـ آبشناسی ـ ژئوفیزیک و ژئوشیمی در اکتشاف این نوع منابع درج شده است.

پژوهشهای فراوانی درگذشته و درحال‌حاضر در زمینه شناسائی مناطق مختلف زمین که دارای انرژی حرارتی هستند در دست اجرا بوده و هست. نتایج این پژوهشها تا حدودی ساختمان منابع انرژی را مشخص کرده و انواع مختلف آنهارا دسته‌بندی نموده است. باتوجه باینکه این منابع که درنقاط مختلف دنیا قرارگرفته‌اند دارای ساختمان متفاوت ازنظر زمین شناسی هستند ولی‌اطلاعات جمع‌آوری شده مشخصات مشترکی را برای این منابع نشان میدهد که از روی‌آن میتوان آنها را به گروههای سه گانه زیر تقسیم نمود:

الف ـ مخازن آبگرم

در این نوع مخازن آبگرمی وجود دارد که درجه حرارت آن بین ۶۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد متغیر است. همانطوریکه قبلاً هم ذکر شد ازاین آبگرم درگرمایش منطقه‌ای ـ گرمخانه‌های کشاورزی و صنایع چوب و غیره استفاده بعمل می‌آید. تغییرات درجه حرارت درقشر زمین و درنقاطی که این مخازن

---

۱ ـ Geothermal Energy

وجود دارند حدود ۳۳ درجه سانتیگراد برای هر کیلومتر است و از روی آن میتوان پیش‌بینی کرد که عمق این مخازن درحدود ۱۸۰۰ تا ۳۰۰۰ متر باشد. در بعضی ازنقاط دنیا نظیر فلات مجارستان این ازدیاد درجه حرارت بین ۵۰ تا ۷۰ درجه و درجنوب فرانسه ۶۰ درجه سانتیگراد برای هر کیلومتر است.

ازنظر زمین شناسی ساختمان این مخازن‌شبیه ساختمان مخازن‌آبسرد و طریقه استفاده ازآنها بطریقه چاههای باز یا چاههای آرتزین [۱] است. این نوع مخازن در اکثر نقاط دنیا وجود دارند و وقتی که حائز شرایط سه گانه قید شده در زیر باشند ازنظر اقتصادی قابل‌بهره‌برداری خواهند بود :

I ـ داشتن درجه حرارت حداقل ۶۰ درجه سانتیگراد درعمق کمتر از دو کیلومتر

II ـ داشتن شار حرارتی حداقل ۲۲ میکروکالری در ثانیه برای هرسانتیمتر مربع سطح که حدود پنجاه درصد از شار حرارتی متوسط زمین درنقاط معمولی بیشتر است.

III ـ داشتن ذخیره کافی آب برای بهره‌برداری

ب ـ مخازن بخار اشباع

این نوع مخازن دارای آبگرمی هستند که درجه حرارت آن از درجه جوش آب در سطح زمین بیشتر میباشد. حداکثر درجه حرارت بدست آمده حدود ۳۸۰ درجه سانتیگراد است که درسروپیرتو [۲] مشاهده شده است. ممکن است تمام حجم مخزن پرآبگرم بوده ویا در بالا قشری از بخار وگازها وجود داشته باشد. ازنظر اقتصادی این‌نوع مخازن مورد توجه بوده و بسیارمعمول میباشند و بعنوان مثال‌میتوان مخازن ویراکی [۳] در زلاندنو و اوتاکه [۴] در ژاپن را نام برد که در تولید برق از آنها استفاده میگردد.

وقتیکه آبگرم این مخازن به‌سطح زمین آورده شوند در اثر تقلیل فشار مقداری از آب‌تبدیل به‌بخار اشباع شده و بنابراین مخلوطی ازآب داغ و بخار اشباع بدست خواهد آمد. نسبت بین بخار اشباع و آب داغ محصول این مخازن متغیر بوده و بستگی به‌آنتالپی‌سیال درعمق چاه و فشار مورد بهره‌برداری درسرچاه حفر شده خواهد داشت. بخار اشباع درکارانداختن توربین بخار جهت تولید برق بکار رفته و ازآب گرم میتوان درکاربردهای دیگر استفاده بعمل آورد.

ج ـ بخار خشک

دراین مخازن بخار خشک با داغی صفر تا پنجاه درجه سانتیگراد و تحت فشار بالای جو بدست میآید. ازاین بخار نیز در راه انداختن دستگاههای مولد نیروی برق استفاده کرده ویا بعنوان منبع انرژی بکار میبرند. ساختمان زمین شناسی این مخازن شبیه مخازن بخار اشباع بوده و مثالهائی ازآن گیزرز [۵] در ایالات متحده آمریکا ـ لاردرلو [۶] در ایتالیا و ماتسوکاوا [۷] در ژاپن‌را میتوان نام برد.

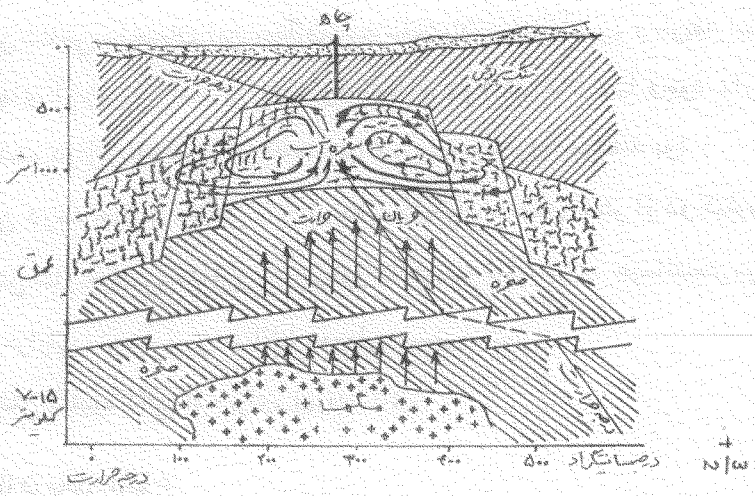
---

۱ - Artesian ۲ - Cerro Pierto ۳ - Wairakei ۴ - Otake

۵ - The ۶ - Larderello ۷ - Matsukawa

مدل یک مخزن بخار

مشخصات اساسی یک مخزن بخار طبیعی درشکل شماره ۱ نشان داده شده است



شکل ۱ ـ مدل یک مخزن بخار

منبع انرژی در این مخازن عبارت از مقداری مواد مذاب داخل زمین است که به‌قشر جامد راه پیدا میکند. این مواد مذاب رامگما [۱] مینامیم. درجه‌حرارت مگما معمولاً بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ درجه‌سانتیگراد تغییرمیکند که از روی مطالعات و پژوهشهای وسیع درنقاطی از زمین که دارای این‌نوع مخازن بخار طبیعی میباشد بدست آمده است. این مخازن اکثراً در نزدیکی و مجاورت مناطق زلزله خیز دنیا قراردارند.

در آتشفشانهای زنده مگما ازطریق یک سیستم گسل [۲] در سنگ‌های قشر جامد زمین به‌سطح زمین میرسد. درسنگ‌های سفت این گسل تولید مجرای عبور برای مگما میکند درحالیکه در سنگ‌های پلاستیکی نظیر خاك رس باریزشی که انجام میگیرد مجرای خروج مگما به‌سطح زمین را مسدود میکند. چون مگما نمیتواند در لایه‌های رسی نفوذ نماید در داخل زمین محبوس شده و منبع انرژی حرارتی میگردد.

محصولات سطحی آتشفشانها نظیر گدازه [۳] بزودی سرد شده وقابل استفاده در بهره‌برداری‌بعنوان منبع انرژی نیست درحالیکه مگما محبوس شده در قشر جامد زمین ممکن است میلیونها سال تولید انرژی حرارتی نماید.

مطالعات فراوان در مورد مبدأ آب این مخازن نشان میدهد که حدود نود درصد این آب ازآبهای سطحی زمین است که ازطریق قشرهای قابل نفوذ به‌اعماق زمین راه پیدا کرده است.

دراین مطالعه از روش ایزوتوپ‌ها استفاده بعمل میآید. فرضیه‌های اولیه قید میکرد که مبدأ این

---

۱ ـ Magma ۲ ـ Fault ۳ ـ Lava

آبها از تقطیر بخار آب و گازهای موجود در مگما است که در اثر کم‌شدن فشار و درجه حرارت بدست میآید که با توجه بمطالب بالا مشاهده شد فقط جزء کوچکی ازاین آب را تشکیل میدهد.

وقتیکه ازاین مخازن آب یا بخار برداشت شود، بوسیله تعادل هیدرولوژیکی تمام یا قسمتی‌ازاین برداشت بوسیله نفوذ آبهای سطحی که‌بداخل مخزن جریان پیدا میکند جبران خواهد شد. در بعضی ازنقاط دنیا مانند لاردرلو[۱] درایتالیا نقاط نفوذ آب به‌مخازن زیرزمینی کاملاً مشخص‌است وگاهی میتوان ازمقدار بارندگی و نفوذ آبهای سطحی مقدار آب تزریق شده به‌مخزن را محاسبه کرد.

چاههای بخار باید حداقل ۲۰ تن درساعت بخار تولید نمایند تا ازنظر اقتصادی استفاده از آن مقرون بصرفه باشد. بعضی‌از چاههای حفرشده که مورد بهره برداری است تا دو برابر یا شاید بیشتر ازاین رقم تولید بخار دارند. مطابق شکل ۱ باید سفره آب[۲] مخزن دارای قابلیت نفوذ زیادی باشد و یک سنگ قابل نفوذ مخزن جهت اینکار ایده‌آل است. درگیزرز[۳] آمریکا این سنگ مخزن از سنگهای گری‌ویک[۴] تشکیل شده است که دارای قابلیت نفوذ زیاد دراثر شکافهای آن است. در لاردرلو[۵] ایتالیا این سنگ کارنباتی بوده و قابلیت نفوذ آن کارستی[۶] است که از حل این سنگها وسیله آب بدست میآید. درحالیکه در ویراکی[۷] زلاندنو از سنگهای آذرین خروجی شکافدار ـ در اوتاکه[۸] ژاپن از خاکسترهای آتشفشانی و در سروپیرتو[۹] از ماسه‌های دلتائی است.

روی‌سفره آبدار را یک سنگ باقابلیت‌نفوذ کم می‌پوشاند که بنام سنگ پوشش[۱۰] نامیده می‌شود. این سنگ‌ها ممکن است از ابتدا بصورت غیرقابل نفوذ بوده ویا دراثراعمال حرارتی‌زمین باین‌صورت درآمده باشند. مثالهائی ازگروه اول را میتوان تشکیلات فلیش[۱۱] در لار در لوورسهای ناحیه دلتای رودخانه در سروپیرتو نام برد و مثالهائی از گروه دوم سنگ‌های پوشش اوتاکه وگیزرز است که در ابتدا قابلیت نفوذ داشته و سپس دراثر تراوش آب یا بخار طبیعی به‌دو طریقه (الف) رسوب املاح فلزی نظیر سیلیسیم (ب) تغییر سنگ و بوجود آمدن کائولن، تبدیل به‌سنگ‌های غیرقابل نفوذ شده‌اند.

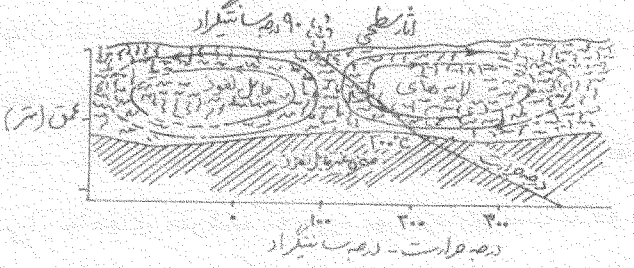
در مخازن آبگرم با درجه حرارت کم این سنگ پوشش وجود نداشته ولی بقیه ساختمان آن مشابه مخازن بخار است. شکل ۲ مدل این نوع مخازن را نشان میدهد. دراین مخازن عمق سفره آب مخزن و درجه حرارت لازم برای انتقال حرارت کافی است و جابجائی طبیعی[۱۲] گرما را از مگما به‌آب در سفره آبدار منتقل خواهد کرد.

در دو نوع مخزن مذکور دربالا آب گرم شده درمجاورت مگما در داخل مخزن بالا آمده وآبسرد

---

۱ - Larderello ۲ - Aquifeo ۳ - The Geyers ٤ - Gray Wake
٥ - Larderello ٦ - Karstic ۷ - Wairakei ۸ - Otake
۹ - Cerro Pierto ۱۰ - Cap Rock ۱۱ - Flysch Formation ۱۲ - Natural Convection

جانشین آن خواهد شد. این عمل باعث انتقال حرارت بطریقه جابجائی طبیعی از منبع انرژی به‌آب داخل سفره آبدار خواهد گردید. فشار هیدرواستاتیکی مخزن درجه حرارت آبرا در داخل مخزن و در نزدیکی نقطه‌جوش ثابت خواهد کرد. این نوع مخازن ممکن درتمام حجم مخزن ازآب پرشده ویا در بالا لایه‌ای



شکل ۲ ـ مدل مخازن آبگرم با درجه حرارت کم

از بخار و گازهای دیگر وجود داشته باشد. وقتیکه چاه حفر شده بمخزن زیر زمینی رسید فشار مخزن کم‌شده و یکی از سه طریقه دیگر بخار در مخزن تولید خواهد شد. باید توجه داشت که این‌امر در مخازنی انجام میگیرد که درجه حرارت آب آنها بیشتر از درجه حرارت جوش آب در فشار جو است.

I ـ آب در داخل چاه می‌جوشد.

II ـ آب در روی دیوارهای چاه و هنگامیکه وارد چاه میگردد بجوش میآید.

III ـ آب در داخل مخزن و در فاصله‌ای دور ازمحل چاه می‌جوشد.

موقعیت جوشیدن آب بستگی به‌درجه حرارت آب وقابلیت نفوذ سفره آب مخزن دارد. درمخازنیکه بخار اشباع تولید مینمایند جوشش آب به‌دوطریقه I و II انجام میگیرد درحالیکه طریقه III منحصراً در چاههائی دیده میشود که بخار داغ تولید می‌نمایند.

لازم بتذکر است که دانشمندان در نحوه تولید بخار داغ در داخل مخازن اتفاق‌نظر ندارند. عده‌ای معتقد هستند که تولید بخار داغ در اثر تغییرات در تقاطع عبور بخار اشباع میباشد و عده‌ای دیگر مبدأ این بخار را از مگما میدانند.

اکتشاف انرژی حرارتی زمین

هدف از اکتشاف انرژی‌حرارتی‌زمین پیدا کردن مخازن زیر زمینی آبگرم وبخاراست که بهره‌برداری ازآنها ازنظر اقتصادی مقرون بصرفه باشد. شناسائی مناطق مورد ازنظر زمین شناسی در مرحله اول کاملاً ضروری‌است. درتعدادی از ممالک که قبلاً ازاین‌نوع انرژی استفاده میکنند ساختمان زمین کاملاً بررسی شده است. دراین کشورها برمبنای اطلاعات جمع‌آوری شده از مخازن مورد بهره‌برداری اکتشافات لازم را

در نقاط دیگر انجام میدهند. در مناطقی از دنیا که هنوز ساختمان زمین کاملاً ازنظر زمین‌شناسی شناخته نیست مطالعه اطلاعات جمع‌آوری شده مخازن موجود راهنمای اولیه خوبی خواهد بود. از چهل و سه منطقه که بکمک حفاری ازنظر انرژی حرارتی زمین قابل بهره‌برداری تشخیص داده شده‌اند ساختمان بیست وهفت منطقه آن مربوط به‌مراکز آتشفشانی کوارترنری[۱] است. در ساختمان یازده منطقه ازاین تعداد آثاراعمال آتشفشانی نظیرتپه های مخروطی‌دهانه آتشفشان ـ شکافهای محیطی‌آن و کلدرا[۲] دیده می‌شوند. ازاین میان میتوان مناطق ماتسوکاوا[۳] و اوتاکه[٤] در ژاپن را نام برد. درجه حرارت آب و بخار دراین نوع مخزن بطورمتوسط ۲۲۰ درجه‌سانتیگراد است. درشانزده منطقه دیگرساختمان‌آنها مربوط به‌تکتونیک[٥] میشود که درجه حرارت آب و بخار مخازن به ۲۵۰ درجه سانتیگراد میرسد. عمق لازم برای بدست آوردن این درجات حرارت قید شده بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر است.

در ده منطقه دیگر از مناطق چهل و سه گانه قید شده دربالا ساختمان آنها ارتباطی به کوارترنری آتشفشانی ندارد و ازاین میان میتوان کزل دره[٦] در ترکیه و لاردرلو[۷] در ایتالیا وگرجستان شوروی را نام برد. دراعماق بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر درجه‌حرارت بدست آمده بین ۸۵ تا ۱۹۵ درجه سانتیگراد است.

شش منطقه دیگر در خارج‌از مناطق تکنوتیک بوده و امثالی ازآن منطقه غرب سیبریه است که در اعماق حدود دو کیلومتری آب گرمی بدرجه‌حرارت ۶۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد بدست میآید. بده آب‌این مخازن در مقایسه با بقیه بسیار زیاد است.

جدول شماره ۱ خلاصه‌ای از اطلاعات جمع‌آوری شده درمورد ساختمان زمین و درجه حرارت آب و بخار مخازن راکه در اعماق بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بدست میآیند نشان میدهد :

جدول شماره ۱

ردیف	ساختمان ازنظر زمین شناسی	درجه حرارت متوسط
۱	دشت با سلسله گسل ها همراه باکواترنری آتشفشانی	۲۵۰
۲	ساختمان آتشفشانی « « « «	۲۲۰
۳	دشت با سلسله گسل درمناطق سنوزوئیک بدون کواترنری آتشفشانی	۱۹۰
٤	منطقه سنوزوئیک بدون کواترنری آتشفشانی	۱۲۰
٥	دشت ته‌نشستی « « «	۸۵
٦	مناطق دشت های مرتفع « « «	

۱ - Quarternary ۲ - Caldera ۳ - Matsukawa ٤ - Otake
٥ - Tectonic ٦ - Kizil Dere ۷ - Larderello

پس از انتخاب ناحیه موردنظر جهت مطالعه نقاط لازم برای حفرچاههای آزمایشی تعیین میگردد. برای این منظور از نشانه های آشکارشده انرژی حرارتی زمین ازقبیل چشمه های آبگرم - چشمه های گل جوشان و محل های خروج بخار طبیعی از شکاف زمین بعنوان راهنما استفاده میگردد. برای یافتن این نشانه ها از روشهای عکسبرداری با اشعه مادون قرمز استفاده میگردد. در ممالکی که امکان پرداخت هزینه های عکس برداری نیست وسیله کاوش شیمی بیشتر بکار میرود.

اطلاعات جمع آوری شده ازاین نشانه ها با اطلاعاتی که ازنقاط مورد بهره برداری بدست آمده است مقایسه شده و مبنای اولیه مطالعه را تشکیل خواهد داد. این اطلاعات شامل :

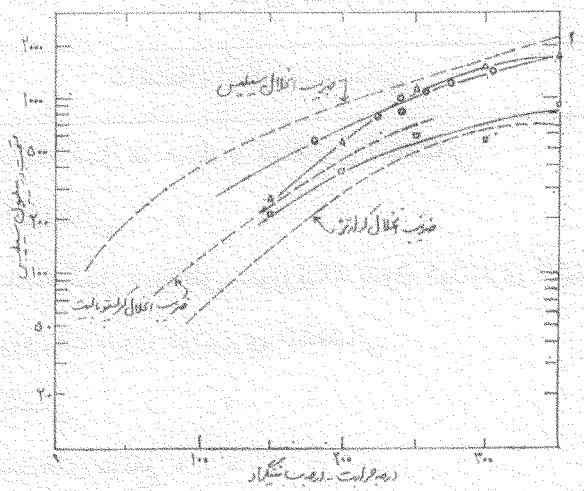
۱ - نوع نشانه : ازقبیل چشمه آب گرم - خروج بخار - چشمه های گل جوشان وخروج گاز کربنیک

۲ - درجه حرارت آب یا بخار در سطح زمین

۳ - مقدار جریان آب یا بخار

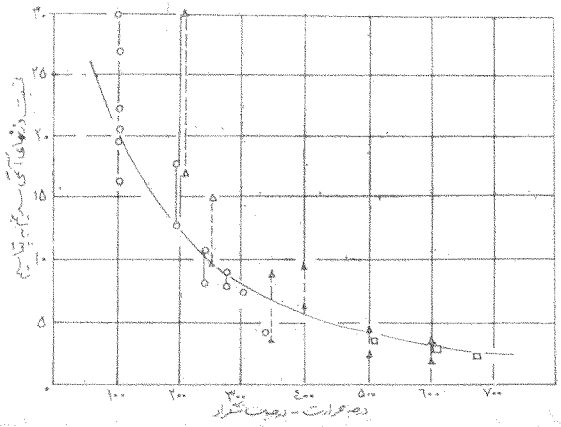
٤ - مواد موجود در آب یا بخار

این اطلاعات جمع آوری شده بطورمستقیم یاغیرمستقیم درمقایسه با اطلاعات نقاط مورد بهره برداری شرایط مخازن و درجه حرارت آب یا بخار آن را بدست میدهد. بعضی اوقات حتی میتوان ظرفیت مخزن را نیز با تقریب خوب تخمین زده و ظرفیت تولید نیروی آن را محاسبه کرد. تعیین مقدار سیلیس یا نسبت وزنی اتمی سدیم به پتاسیم موجود در آب سطحی درجه حرارت مخزن در اعماق زمین را بدست میدهد. الیس[۱] و ماهون[۲] درسال ۱۹۶۷ دومنحنی تغییرات درجه حرارت را منتشر کردند که در اشکال ۳ و ٤ نشان داده شده است.



شکل ۳ : تغییرات درجه حرارت مخازن با مقدار سیلیس موجود درآن

۱ - Ellis ۲ - Mahon



شکل ٤ : تغییرات درجه حرارت مخازن با نسبت وزن اتمی سدیم به‌پتاسیم موجود درآن

آنچه بیان شد خلاصه‌ای از اهمیت اکتشاف بطرق زمین شناسی ـ آبشناسی و ژئوشیمی‌را تشکیل میداد و خوانندگان درصورت علاقه میتوانند این موارد را به‌جزئیات از منابع مراجعه درج شده مطالعه نمایند. در قسمت سوم مقاله کاربرد انرژی حرارتی‌زمین در صنعت‌و کشاورزی مورد بحث قرارخواهد گرفت.

منابع مراجعه

1 - Geothermal Energy : Review of Research and Development Unesco 1973.

2 - Geothermal Energy in Japan : Japan Geothermal Energy Association, 1969.

3 - Geothermal Energy Utilization in Japan : Japan Geothermal Energy Association 1974.