انرژی زمین‌گرمایی
کاربردها و مزیت‌های آن در ایران

ترجمه و تالیف:
دکتر محمدمهدی حسین‌زاده* راحله افشار**

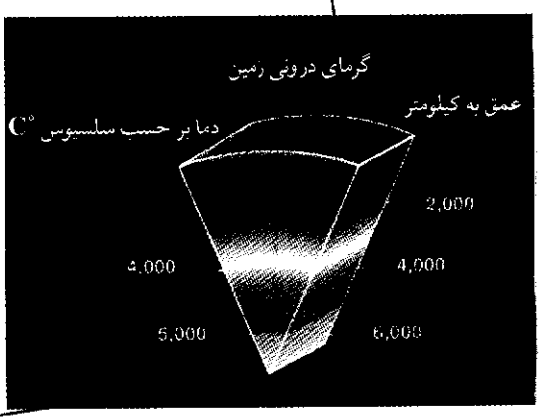
منشأ این گرما در پوسته و جبه‌ی زمین، به طور عمده تجزیه‌ی مواد رادیواکتیو است. در طول عمر زمین، این گرمای درونی به طور آرام تولید شده و در درون زمین محفوظ و محبوس مانده است. همین امر موجب شده است که منبع انرژی مهمی فراهم شود و امروزه به عنوان انرژی نامحدودی در مقیاس انسانی مورد توجه قرار گیرد.

از طرف دیگر، نظریه‌های موجود درخصوص تکامل زمین نیز شواهدی برای توضیح وجود گرما در داخل زمین هستند. مطالعات نشان می‌دهد که زمین در زمان پیدایش (حدود ۴/۵ میلیارد سال قبل) حالت مذاب داشته، تدریجاً سرد شده و بخش خارجی آن به جریت جامد درآمده است. اما بخش‌های داخلی آن، به دلیل کندی از دست دادن گرما، حالت مذاب خود را حفظ کرده و دارای درجه‌ی حرارت بالایی است و می‌تواند منبع گرمایی درونی پوسته باشد که از هسته به طرف خارج منتقل می‌شود (شکل ۲).

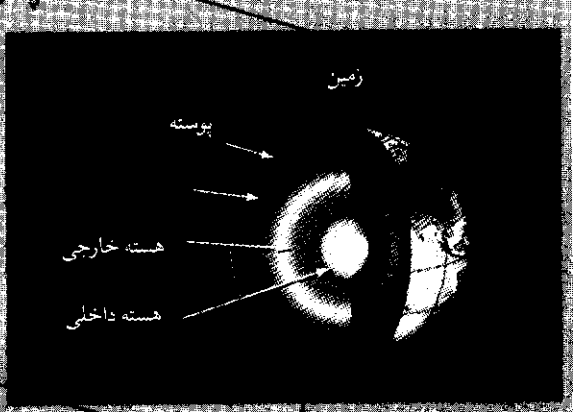
مقدمه

ژئوترمال[1] از کلمه‌ی یونانی «ژئو» به معنی زمین، و «ترمال» به معنی گرما و گرمایی گرفته شده است. بنابراین، انرژی ژئوترمال به معنای «انرژی زمین گرمایی» یا انرژی با منشأ درونی زمین است. این انرژی، به شکل گرمای محسوس، از بخش درونی زمین منشأ می‌گیرد واین انرژی در سنگ‌ها و آب‌های موجود در شکاف‌ها و منافذ داخل سنگ در پوسته‌ی زمین وجود دارد. مشاهدات به عمل آمده از معادن عمیق و چاه‌های حفاری شده نشان می‌دهد که درجه‌ی حرارت سنگ‌ها به طور پیوسته با عمق زمین افزایش می‌یابد؛ هر چند نرخ افزایش درجه‌ی حرارت ثابت نیست. با این روند، درجه‌ی حرارت در قسمت بالایی جبه به مقادیر بالایی می‌رسد و سنگ‌ها در این قسمت به نقطه‌ی ذوب خود نزدیک می‌شوند (شکل ۱).

شکل ۱. درجه‌ی حرارت در اعماق متفاوت زمین برحسب سانتی گراد



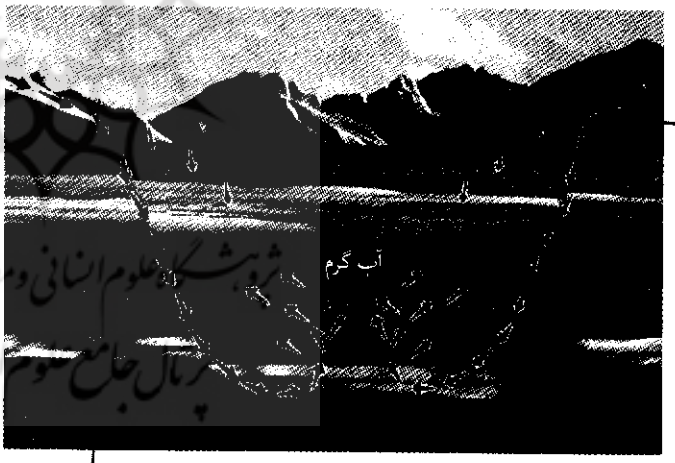
شکل ۲. برش عرضی زمین و نمایش پوسته، جبه و



چگونگی انتقال گرمای زمین به سطح زمین

گرما از هسته‌ی زمین به طور پیوسته به طرف خارج حرکت می‌کند. این جریان از طریق انتقال و هدایت گرمایی، گرما را به لایه‌های سنگی مجاور (جبه) می‌رساند. وقتی درجه‌ی حرارت و فشار به اندازه‌ی کافی بالا باشد، بعضی از سنگ‌های جبه ذوب می‌شوند و ماگما به وجود می‌آید. سپس به دلیل سبکی و تراکم کم‌تر نسبت به سنگ‌های مجاور، ماگما به طرف بالا منتقل می‌شود و گرما را در جریان حرکت، به طرف پوسته‌ی زمین حمل می‌کند.

گاهی اوقات، ماگمای داغ به سطح زمین می‌رسد و گدازه را به وجود می‌آورد. اما بیش‌تر اوقات، ماگما در زیر سطح زمین باقی می‌ماند و سنگ‌ها و آب‌های مجاور را گرم می‌کند. این آب‌ها بیش‌تر منشأ سطحی دارند و حاصل آب بارانی هستند که به اعماق زمین نفوذ کرده است (شکل ۳). بعضی از این آب‌های داغ از طریق گسل‌ها و شکست‌های زمین به طرف بالا حرکت می‌کنند و به سطح زمین می‌رسند که به عنوان چشمه‌های آب گرم و آبفشان شناخته می‌شوند. اما بیش‌تر این آب‌ها در اعماق زمین، در شکاف‌ها و سنگ‌های متخلخل محبوس می‌مانند و منابع زمین‌گرما را به وجود می‌آورند (شکل ۳).



شکل ۳. سازوکار نفوذ باران و تشکیل مخازن زمین گرمایی

مکان‌های مناسب برای بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی

مناطق دارای چشمه‌های آب گرم و آبفشان‌ها، اولین مناطقی هستند که در آن‌ها انرژی زمین گرمایی مورد بهره‌برداری قرار گرفته و توسعه یافته است. در حال حاضر، تقریباً تمام نیروی الکتریسیته حاصل از انرژی زمین گرمایی از چنین مکان‌هایی به دست می‌آید. در بعضی از مناطق، تزریق ماگما به درون پوسته‌ی زمین، به اندازه‌ی کافی جدید و هنوز خیلی داغ است. در این نواحی، درجه‌ی حرارت سنگ ممکن است به ۳۰۰ درجه‌ی سانتی گراد برسد و مقادیر عظیمی انرژی گرمایی فراهم کند. بنابراین، انرژی زمین گرمایی در مکان‌هایی که فرایندهای زمین‌شناسی اجازه داده‌اند ماگما تا نزدیکی سطح زمین بالا بیاید، یا به صورت گدازه جریان یابد، می‌تواند تشکیل شود. ماگما نیز در سه منطقه می‌تواند به سطح زمین نزدیک شود (شکل ۴):

شکل ۴. مراکز بالا آمدن ماگما و مخازن زمین گرمایی دا
شناخته شده در جهان

۱. محل برخورد صفحات قاره‌ای و اقیانوسی (فرورانش)؛ مثلاً حلقه‌ی آتش دور اقیانوس آرام.

۲. مراکز گسترش؛ محلی که صفحات قاره‌ای از هم دور می‌شوند، نظیر ایسلند و دره‌ی کافتی[۲] آفریقا.

۳. نقاط داغ زمین؛ نقاطی که ماگما را پیوسته از جبه به طرف سطح زمین می‌فرستند و ردیفی از آتشفشان را تشکیل می‌دهند. نظیر هاوایی.

کاربرد انرژی زمین گرمایی

از زمان‌های دور، مردم از آب زمین گرمایی که آزادانه در سطح زمین به صورت چشمه‌های گرم جاری بودند، استفاده کرده‌اند. رومی‌ها برای مثال از این آب برای درمان امراض پوستی و چشمی بهره می‌گرفتند. در «پمپئی» برای گرم کردن خانه‌ها از آن استفاده می‌شد. بومی‌های آمریکا نیز از آب زمین گرمایی برای پختن و مصارف دارویی بهره می‌گرفتند. امروزه، با حفر چاه به درون مخازن زمین گرمایی، و مهار آب داغ و بخار، از آن برای تولید نیروی الکتریسیته در نیروگاه زمین گرمایی و یا مصارف دیگر بهره‌برداری می‌کنند.

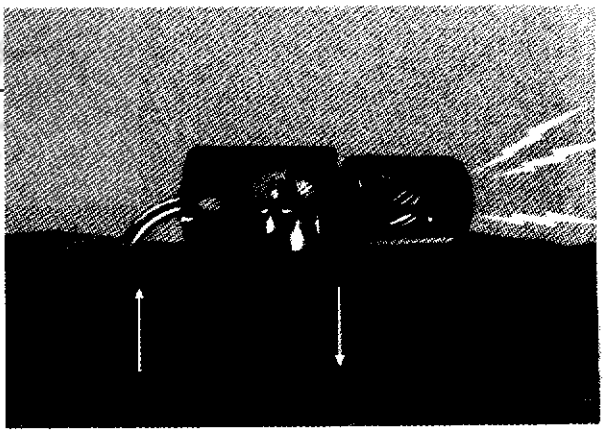
در نیروگاه زمین گرمایی، آب داغ و بخار خارج شده از مخازن زمین گرمایی، نیروی لازم برای چرخاندن ژنراتور توربین را فراهم می‌آورد و انرژی الکتریسیته تولید می‌کند. آب مورد استفاده، از طریق چاه‌های تزریق به مخزن برگشت داده می‌شود تا دوباره گرم شود و در عین حال، فشار مخزن حفظ، و تولید آب داغ و بخار

شکل ۵ . سازوکار بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی برای تولید الکتریسیته

تقویت شود و ثابت باقی بماند (شکل ۵).

سه نوع نیروگاه زمین‌گرمایی برای تولید برق وجود دارد:

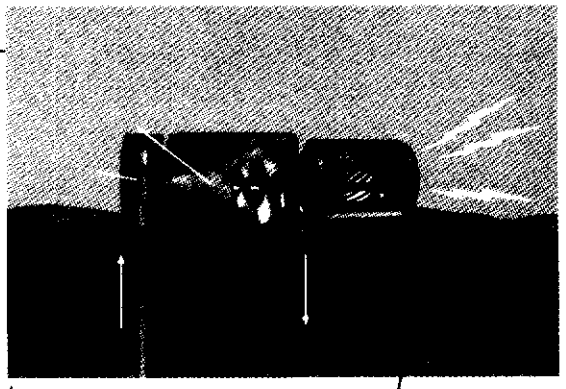
۱ . **نیروگاه خشک**: این نیروگاه روی مخازن ژئوترمالی که بخار خشک با آب خیلی کم تولید می‌کنند، ساخته می‌شوند. در این روش، بخار از طریق لوله به طرف نیروگاه هدایت می‌شود و نیروی لازم برای چرخاندن ژنراتور توربین را فراهم می‌کند. این گونه مخازن با بخار خشک کمیاب است. بزرگ‌ترین میدان بخار خشک در دنیا، آب گرم جیزرز[3] 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



شکل ۶ . نیروگاه تولید الکتریسیته با بخار خشک

انرژی جایگزین محسوب می‌شود (شکل ۶).

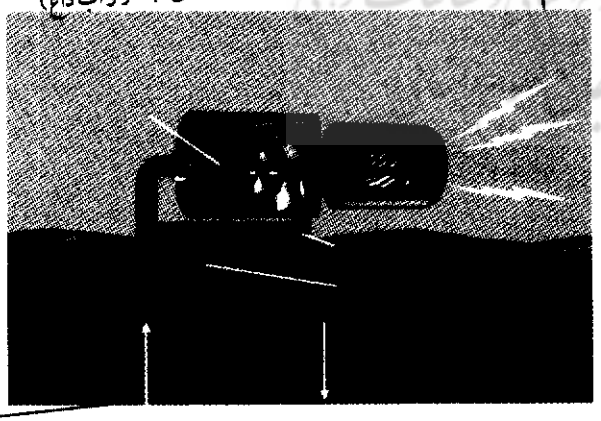
۲ . **نیروگاه بخار حاصل از آب داغ**[4]: این نوع نیروگاه روی مخازن دارای آب داغ احداث می‌شود. در این مخازن با حفر چاه، آب داغ به سطح می‌آید و به دلیل آزاد شدن از فشار مخازن، بخشی از آن به بخار تبدیل می‌شود. این بخار برای چرخاندن توربین به کار می‌رود. چنین نیروگاه‌هایی عمومیت بیش‌تری دارند، زیرا بیش‌تر مخازن زمین گرمایی حاوی آب داغ هستند. فناوری مزبور برای اولین بار در نیوزیلند به کار گرفته شد (شکل ۷).



شکل ۷ . نیروگاه تولید الکتریسیته با بخار حاصل از آب داغ

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[5] می‌دهد که نسبت به آب در درجه حرارت پائین‌تری می‌جوشد. مایع دوم درنتیجه‌ی 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 اندازه‌ی کافی گرم نیستند که بخار با فشار تولید کنند، به کار می‌رود (شکل ۸).

شکل ۸ . نیروگاه تولید الکتریسیته با روش ترکیبی (بخار و آب داغ)



مزایای استفاده از انرژی زمین‌گرمایی برای تولید الکتریسیته

۱ . **تمیز بودن**: در این روش همانند نیروگاه بادی و خورشیدی، نیازی به سوخت نیست، بنابراین سوخت‌های فسیلی حفظ می‌شوند و هیچ گونه 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 درنتیجه‌ی بدی هوا، بلایای طبیعی و یا تنش‌های سیاسی را ندارد.

۴. **تجدیدپذیری و دائمی بودن**.

۵. **صرفه‌جویی ارزی**: هزینه‌ای برای ورود سوخت از کشور خارج نمی‌شود و نگرانی‌های ناشی ازافزایش هزینه‌ی سوخت وجود نخواهد داشت.

۶. **کمک به رشد کشورهای در حال توسعه**: نصب آن در مکان‌های دورافتاده می‌تواند، استاندارد و کیفیت زندگی را با آوردن نیروی برق بالا ببرد.

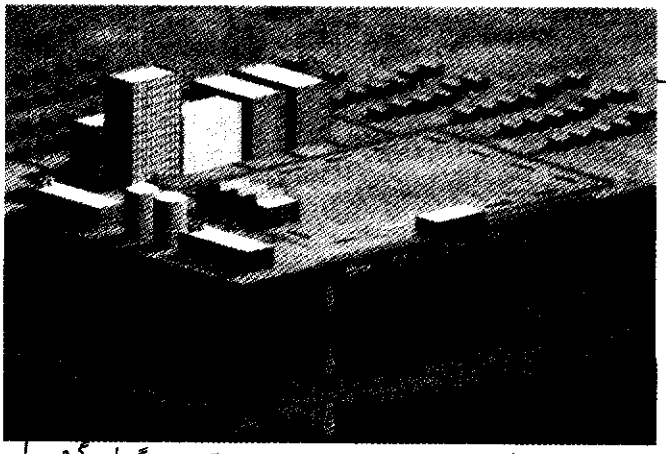
با توجه به فوایدی که برشمردیم، انرژی زمین‌گرمایی به رشد کشورهای در حال توسعه بدون آلودگی کمک می‌کند.

مصارف دیگر انرژی زمین‌گرمایی

آب زمین‌گرمایی در سرتاسر دنیا، حتی زمانی که به اندازه‌ی کافی برای تولید برق داغ نیست، مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب‌های زمین‌گرمایی 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 زمین‌گرمایی را از طریق یک مبدل گرمایی پمپ می‌کنند و گرما را به آب شهری انتقال می‌دهند و آب شهری گرم شده، از طریق لوله‌کشی به ساختمان‌های شهر منتقل می‌شود. در داخل ساختمان‌ها نیز، یک مبدل گرمایی دیگر گرما را به سیستم گرمایی ساختمان‌ها منتقل می‌کند (شکل ۹).



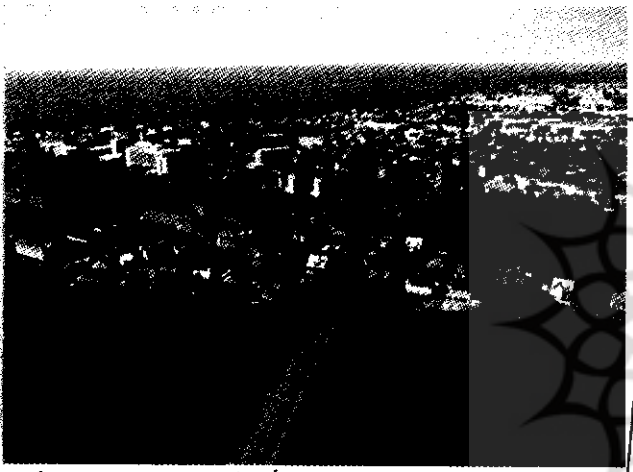
شکل ۹. گرم کردن داخل ساختمان‌های شهری از طریق آب زمین‌گرمایی گرم

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 (آبزی‌پروری).

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 تأمین گرمای شهر مذکور به کار می‌رود، ریکیاویک به یکی از تمیزترین شهرهای دنیا تبدیل شده است؛ درصورتی که قبل از آن بسیار آلوده بود (شکل ۱۰ ـ الف و ب).



شکل ۱۰. شهر ریکیاویک، قبل و بعد از تأمین گرمای شهر با انرژی زمین‌گرمایی

الف

ب

موارد مصرف دیگری نیز از گرمای زمین‌گرمایی وجود دارد. برای مثال، در «کلامث فالز»[۶] در اورگن آمریکا، زیر جاده‌ها و پیاده‌روها آب ژئوترمال لوله‌کشی می‌شود، تا از یخ زدن آن‌ها در شرایط هوای یخبندان جلوگیری شود. در نیومکزیکو، ردیفی از لوله‌ها که زیر خاک دفن شده‌اند، آب زمین‌گرمایی را انتقال

می‌دهند تا گل‌ها و سبزیجات پرورش یابند. با این شیوه، اطمینان حاصل می‌شود که زمین یخ نمی‌زند. به علاوه، فصل رویش طولانی‌تر می‌شود و روی هم رفته، محصولات کشاورزی سریع‌تر رشد می‌کنند و بدون استفاده از گلخانه محافظت می‌شوند.

کشورهایی که در حال حاضر از مخازن زمین گرمایی برای تولید الکتریسیته استفاده می‌کنند، عبارتند از: آمریکا، نیوزیلند، ایسلند، مکزیک، فیلیپین، اندونزی و ژاپن. استفاده از این انرژی در بسیاری از کشورها در حال گسترش است. راه‌حل استفاده‌ی بیش‌تر از انرژی زمین گرمایی، افزایش آگاهی عمومی وتقویت فناوری‌های مرتبط با زمین گرمایی است.

انرژی زمین‌گرمایی در ایران

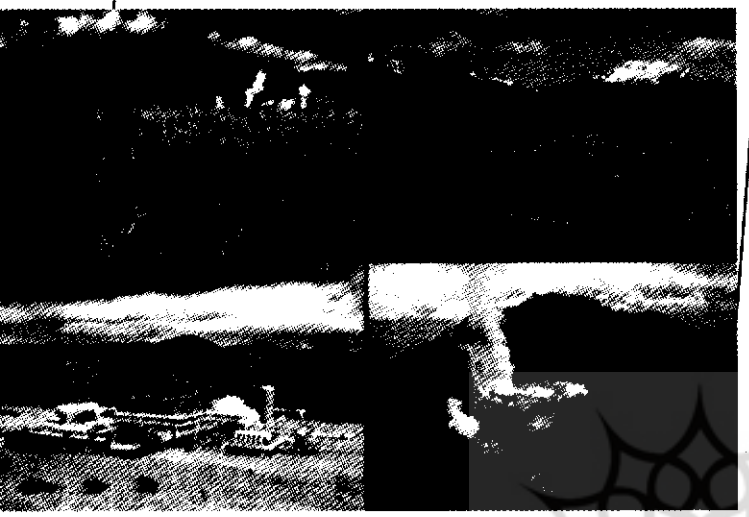
رشد روزافزون جمعیت، توسعه‌ی شهری و نیز اقتصاد انرژی در کشور ما، تولید ۹۰ هزار مگاوات برق در سال ۲۰۲۰ را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. در حدود ۹۸ درصد ظرفیت تولید فعلی نیروگاه‌های برق کشور به کاربرد سوخت‌های فسیلی متکی است. حال آن که محدودیت منابع سوخت فسیلی، رشد مصرف داخلی و نبود منابع کافی برای صادرات از یک سو، و موازین و معیارهای زیست‌محیطی توسعه‌ی پایدار از سوی دیگر، کاربرد انرژی‌های تجدیدشونده در بستر تولید را اجتناب‌ناپذیر ساخته است.

به رغم پتانسیل‌های بسیار مناسب به منظور کاربرد انرژی زمین گرمایی، به دلیل نبود سیاستگذاری‌های کلان در زمینه‌ی به کارگیری انرژی تجدیدپذیر، و فقدان فناوری مناسب درخصوص حفاری عمیق، مهندسی مخازن، ساخت و نیز بهره‌برداری از نیروگاه‌های زمین گرمایی، و بالاخره، وجود رقیب سرسخت 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 تک‌محصولی، تحولی اساسی در سیاست دولت مبتنی بر کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در حال شکل‌گیری است و دوایر متعددی با محوریت مرکز انرژی‌های نو در وزارت نیرو، سازمان انرژی اتمی و نیز سازمان زمین شناسی، به عنوان متولی تهیه داده‌های پایه در حال کار روی موضوع مذکور هستند.

هم‌گام با سیاست «مرکز انرژی‌های نو» وزارت نیرو برای جذب سرمایه‌گذاری خارجی در سال ۱۳۷۵، گروهی متشکل از کارشناسان ایرانی و فیلیپینی مبادرت به برداشت‌های تفصیلی زمین‌شناسی، هیدروژئوشیمیایی و ژئوفیزیک در ناحیه‌ی «دره قطور» کردند. همچنین 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 شده‌ی نیروگاهی، به نظر می‌رسد بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور تغییر در سبد انرژی، اجتناب‌ناپذیر باشد. به کارگیری انرژی زمین گرمایی حداقل در نواحی شمال غربی کشور می‌تواند، به



عنوان گزینه‌ای به منظور تغییر کاربری سوخت‌های فسیلی مطرح شود 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 شده‌ی نیروگاهی کشور صرفاً ۲۲ هزار مگاوات افزایش یافته است (سازمان زمین‌شناسی ایران).

* استادیار گروه جغرافیای مؤسسه آموزش عالی طبرستان ـ چالوس
** دبیر جغرافیای شهرستان نوشهر

زیرنویس

۱. درس دهم از کتاب جغرافیا ۲ دردوره‌ی متوسطه، در بخش مربوط به توان‌های محیطی نواحی قطبی، به انرژی گرمایی درون زمین اشاره دارد و با ترسیم شکل، می‌کوشد استفاده از این انرژی را به طور مختصر تشریح کند. در ضمن از شهری در ایسلند نام برده است که از این انرژی بهره می‌گیرد.

2. Geothermal
3. Rift
4. Geysers
5. Flash
6. Klamath falls

منابع

1. Pickerinc. Kevin T. Global environmental issues. Routledge. 1995.
2. Strahler. Alan. Introducing Physical Geography. John wiley & Sons. Inc. Third Edition. 2003.
3. WWW. Geothermal. marin. org (yahoo).
4. WWW. Ngdir. ir. Geothermal (yahoo).
5. WWW. Geothermal Resources Council (yahoo).