

انرژی زمین گرمایی و کاربردهای آن

احمد رزاقی^۱

چکیده

در این مقاله انرژی زمین گرمایی به عنوان یکی از انرژی های نو و تجدید پذیر مورد بررسی قرار میگیرد. انرژی های نو از آن جهت اهمیت دارند که جایگزین خوبی برای سوخت های فسیلی می باشند. سوخت های فسیلی باعث آلودگی های زیست محیطی و آلودگی های آب و هوایی شده اند و همچنین تجدید ناپذیر می باشند. ازدیاد جمعیت و نیاز روز افزون بشر به انرژی از دیگر عوامل روی آوردن بشر به انرژی های نو و تجدید پذیر است.

در این مقاله به بیان منشأ انرژی زمین گرمایی و کاربردهای مستقیم و غیر مستقیم آن پرداخته شده است. انرژی زمین گرمایی به صورت مستقیم در استخراج های آب گرم، مراکز گلخانه ای، گرمایش منازل، ذوب برف و پیشگیری از یخبندان و پمپ حرارتی و به صورت غیر مستقیم در نیروگاه های تولید برق استفاده می شود. در این مقاله کشور ایسلند که به عنوان یکی از موفق ترین کشورها در استفاده از انرژی های نو است معرفی می شود، و مناطقی از ایران که می توان از انرژی زمین گرمایی استفاده کرد معرفی می شود. در نهایت یک جمع بندی در مورد انرژی های جایگزین سوخت های فسیلی (انرژی های نو و تجدید پذیر) و جایگاه آن در ایران و جهان و مزایای استفاده از این سوخت ها بیان شده است.

واژگان کلیدی: انرژی زمین گرمایی، انرژی های نو، کاربردهای انرژی زمین گرمایی در ایران، انرژی های جایگزین سوخت های فسیلی.

۱. بخش فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی دانشگاه علوم پایه زنجان، پست الکترونیک: a_razzaghi@iasbs.ac.ir

مقدمه

از آغاز دوره صنعتی به این سو، جمعیت جهان از چند صد میلیون نفر به هفت میلیارد نفر رسیده است. الگوی زندگی ساده و مقتصدانه انسان دو بیست سال پیش به الگوی زندگی جاه طلبانه و مسرفانه انسان سده بیست و یکم تغییر یافته است [۱ و ۲].

افزایش جمعیت از یک سو و افزایش رفاه اجتماعی از سوی دیگر نیازمند انرژی است. نیاز روز افزون به انرژی باعث شده انسان بیش از پیش به استفاده از سوخت های فسیلی (زغال سنگ، نفت و گاز) روی آورد. ولی محدودیت استفاده از سوخت های فسیلی به خاطر تجدیدنپذیر بودن آن ها و نیز آلودگی هایی که به وجود آورده اند؛ مانند گرم شدن زمین و آب شدن یخ ها و به هم خوردن اکوسیستم طبیعی کره زمین؛ باعث محدودتر شدن استفاده از این منابع انرژی شده است. همچنین نفت و مشتقات آن از سرمایه های ارزشمند ملی و حیاتی کشورهاست. مصرف نابهینه از آنها به دور از خرد است [۳ و ۴].

به همین خاطر استفاده از منابع انرژی جایگزین که نامحدود باشند و کمترین آلودگی را به وجود آورند، مورد توجه پژوهشگران و متفکران قرار گرفته است. این منابع که در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته و پیشرفت های چشم گیری در دسترسی به آن ها بدست آمده، انرژی های نو و تجدید پذیر نامیده می شوند.

به طور عمده انرژی های نو و تجدید پذیر را در چهار بخش دسته بندی می کنند:

- انرژی خورشید
- انرژی باد، آب و امواج
- انرژی زمین گرمایی

• فن آوری هیدروژن، پیل سوختی و زیست توده

در حال حاضر از میان انرژی های تجدید پذیر، انرژی آب برای تولید برق کم هزینه ترین و انرژی خورشیدی پرهزینه ترین است. استفاده از هر کدام از این انرژی ها بسته به منابع و امکانات محیطی است. در کشور ما ایران با توجه به ویژگی های جغرافیایی و آب و هوایی از اکثر انرژی های نو و تجدید پذیر می توان بهره برداری کرد. یکی از این انرژی ها انرژی زمین گرمایی می باشد. در مناطق زلزله خیز و جاهایی که رشته کوه های جوان دارند، می توان بهترین و بزرگ ترین منابع زمین گرمایی را پیدا کرد. در زیر نحوه بهره برداری از انرژی زمین گرمایی و مناطق مساعد برای آن را به اجمال بررسی می کنیم [۵ و ۶].

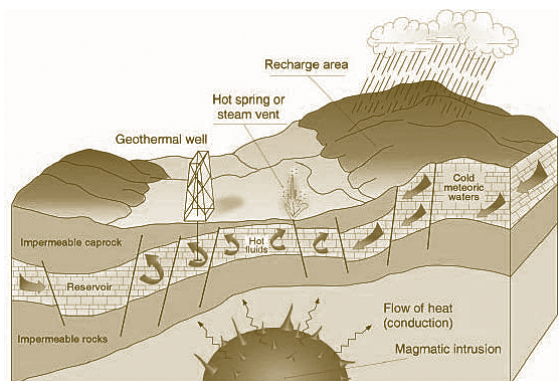
انرژی زمین گرمایی

منبع انرژی زمین گرمایی، حرارت طبیعی زمین است که از مواد مذاب یا ماگما نشأت می گیرد. این انرژی در اثر تجزیه رادیو اکتیو ایزوتوپ پتاسیم و عناصر دیگری که در پوسته زمین پراکنده اند و همچنین به خاطر فشار زیاد حاصل از نیروی وزن ایجاد می شود. به تجربه معلوم شده است هر چه به ژرفای زمین افزوده شود، دما افزایش می یابد. تقریباً به ازای هر ۱۰۰ متر عمق حدود ۳ درجه به دمای زمین اضافه می شود. به طوری که درجه حرارت در لایه های پایینی پوسته زمین حدود ۱۳۰۰ درجه و در هسته مرکزی زمین حدود ۵۰۰۰ درجه است [۷].

در برخی مناطق از پوسته زمین که شرایط مساعدی دارد، می توان به دماهای بالا دست یافته و از این انرژی استفاده کرد. طبق برآوردهای انجام شده انرژی ذخیره شده در پوسته زمین تا عمق ۳۰۰۰ متر، ۴۳×۱۰^{۲۴} ژول می باشد. ۸۵ درصد از این انرژی در دمای کمتر از ۱۰۰ درجه است (انرژی مصرفی جهان در سال ۱۹۸۷ برابر $۰/۳ \times ۱۰^{۲۱}$ ژول بود که ۴۰ درصد از آن دارای دمایی کمتر از ۱۰۰ درجه بود) [۸ و ۹].

بیرون کشیدن گرما به طور مستقیم از کره زمین امکان پذیر نیست. برای این کار باید سیال انتقال دهنده ای وجود داشته باشد تا گرما را از زیر زمین به سطح زمین انتقال دهد. در ضمن این گرما باید به سطح زمین نزدیک باشد. معمولاً مناطقی که در آن آتشفشان یا زمین لرزه مستمر وجود دارد، چنین خصوصیتی دارند. حرارت زیر زمین توسط یک سیال انتقال دهنده که می تواند بخار یا آب داغ و یا هر دو باشد، به سطح زمین انتقال می یابد.

بهره برداری از انرژی زمین گرمایی به طور ساده در شکل ۱ آورده شده است. آب حاصل از بارندگی پس از نفوذ به سفره های زیرزمینی و جاری شدن به مناطقی که انرژی زمین گرمایی نزدیک سطح زمین است، انرژی گرمایی زمین را دریافت می کند. چگالی این آب پس از گرم شدن کاهش یافته و فشار آن افزایش می یابد و به صورت آب گرم یا بخار آب از منافذی که بر روی پوسته زمین وجود دارد، مسیر خود را به سطح زمین پیدا می کند. این ها همان چشمه های آب گرمی هستند که در مناطق خاصی از سطح زمین مشاهده می کنیم. در این مناطق می توان با حفر چاه هایی با عمق ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتر بخار آبی که دمای آن تا حد ۶۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد بالا رفته است را به صورت صنعتی از داخل زمین بیرون کشید و از انرژی گرمایی آن استفاده کرد.



شکل ۱: طرح ساده از یک سیستم زمین گرمایی ایده آل [۱۰].

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود برای رسیدن به انرژی زمین گرمایی، محیط باید دارای شرایط زمین شناختی ویژه ای باشد، و در هر مکانی نمی توان به انرژی زمین گرمایی دست یافت. برخی از ویژگی های این مناطق به شرح زیر است:

۱. آب به میزان کافی در این مناطق وجود داشته باشد.
۲. در نزدیکی آب های نفوذ کرده به سفره های زیر زمینی انرژی زمین گرمایی وجود داشته باشد.

سهیم برق آبی، ۵/۵٪ زیست توده، ۱/۶٪ زمین گرمایی، ۰/۶٪ باد و ۰/۰۵٪ مربوط به انرژی خورشید است. از بین کشورهایی که بهترین بهره برداری را از انرژی زمین گرمایی دارند، می توان ایسلند را نام برد. کشور ایسلند حدود ۵۳٪ انرژی مورد نیاز خود را از انرژی زمین گرمایی، ۱۷٪ توسط برق آبی، ۳٪ توسط زغال سنگ و ۲۷٪ توسط سوخت فسیلی تأمین می کند که در واقع سوخت فسیلی تنها برای تأمین سوخت اتومبیل ها، کشتی ها و هواپیماها استفاده می شود [۱۳].

در ایران نیز از دیرباز انرژی زمین گرمایی شناخته شده، و به صورت چشمه های آب گرم و آب های معدنی برای مصارف درمانی و استحمام مورد استفاده قرار می گرفته است. کشور ایران در کمربند آتشفشانی زمین قرار گرفته و به همین سبب آثار و نشانه های بارز این انرژی در آتشفشان های خاموش سبلان، سهند، دماوند، تفتان و بزمان وجود دارد. با بررسی شیمیایی سنگ های آتشفشانی و همچنین بودن چشمه های آب گرم در حوالی کوه سبلان می توان پی به وجود یک مخزن ماگمایی نسبتاً سطحی در زیر کوه سبلان برد. هم چنین برای تعیین سن آن ها می توان از سن سنجی ایزوتوپی بهره گرفت. بنابراین جمع آوری اطلاعات و ارزیابی منطقه از نظر زیست محیطی و زمین شناسی جنوب شهر مشکین شهر توسط سازمان بهره وری انرژی ایران در سال ۱۳۷۹ شروع شد و اولین نیروگاه زمین گرمایی کشور در مشکین شهر در سال ۱۳۸۵ در دامنه سبلان به بهره برداری رسید. [۱۶ و ۱۵ و ۱۴].

از انرژی زمین گرمایی به دو صورت استفاده می شود:

۱. استفاده مستقیم یا تولید حرارت مانند تأسیسات حرارتی، پرورش آبزیان و ...
۲. استفاده غیر مستقیم یا تولید برق

استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی

۱- استخرهای آب گرم

در این روش آبگرم خارج شده از زمین را در استخرها و مراکز جذب گردشگری مورد استفاده قرار می دهند. به طور معمول آب گرم خودبخود از زمین خارج می شود. در حال حاضر قریب به ۶۵ کشور جهان از چشمه های آب گرم و تأسیسات تفریحی زمین گرمایی استفاده می کنند، به طور مثال ژاپنی ها با بهره گیری از بیش از ۲۲۰۰ کانون تفریحی مرتبط با چشمه های آبگرم سالانه قریب به ۱۰۰ میلیون مهمان و گردشگر را پذیرا هستند. ایران نیز جزو کشورهای استفاده کننده از این چشمه ها است. با توجه به موقعیت زمین شناسی ایران می توان در مناطق مختلفی از این روش استفاده کرد. از مهمترین مناطق کشور می توان به:

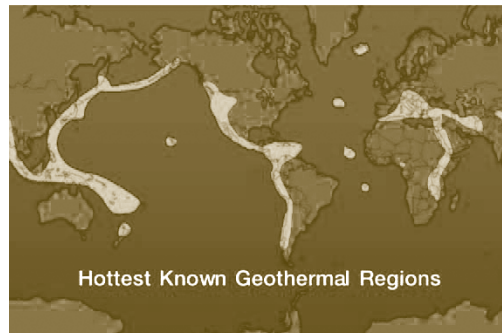
منطقه تفتان (بزمان)، منطقه نایند، منطقه بیرجند (فردوسی)، منطقه تکاب (هشترود)، منطقه خور (نبا بانک)، منطقه اصفهان (محلات)، منطقه رامسر، منطقه بندر عباس (میناب)، منطقه بوشهر (کازرون)، منطقه لار (بستک)، منطقه دامنه سهند (سرعین و ...) اشاره کرد.

در استفاده از این روش علاوه بر مزیت های اقتصادی و جذب گردشگر می توان به مصارف آب درمانی برای درمان بیماری های دستگاه گوارش، ناراحتی های عصبی، مشکلات پوستی و درد مفاصل نیز اشاره کرد.

۳. منافذ مناسبی بر روی پوسته زمین برای خروج آب های گرم باشد. شکل ۲ مناطقی از ایران که دارای ویژگی های زمین شناختی مناسبی برای رسیدن به این انرژی هستند را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود در مناطق وسیعی می توان از این انرژی پاک استفاده کرد.



شکل ۲: مناطقی از ایران که انتظار داریم بتوانیم از انرژی زمین گرمایی بهره برداری کنیم [۱۱].



شکل ۳: مناطقی از کره زمین که در آن مناطق انرژی زمین گرمایی در نزدیکی سطح زمین قابل بهره برداری می باشد [۱۲].

قرن ها پیش از انرژی زمین گرمایی به شیوه های مختلف استفاده می شد. به طوری که رومیان قدیم از آن برای حمام کردن استفاده می کردند. در سال ۱۹۰۴ در ایتالیا برای اولین بار از انرژی زمین گرمایی برای تولید برق به صورت تجاری استفاده شد. سپس در سال ۱۹۵۸ نیروگاه زمین گرمایی وایراکی در زلاندنو و به دنبال آن در دهه ۱۹۶۰ نیروگاهی در گایزرز واقع در ایالت کالیفرنیا آمریکا ساخته شد. امروزه انرژی زمین گرمایی سومین نوع از انرژی های نو می باشد که در دنیا جهت تولید برق مورد استفاده قرار می گیرد.

۹۲٪ از انرژی برق تولید شده در جهان از انرژی های نو مربوط به

تر می کند، و وقتی بدانیم ۷۰ درصد از گاز طبیعی مصرفی کشور (که به طور متوسط ۵۰۰ میلیون متر مکعب در روز می باشد) به گرمایش ساختمان اختصاص می یابد اهمیت این امر بیشتر می شود [۱۸ و ۱۹].

۴- ذوب برف و پیشگیری از یخبندان

سیستم ذوب برف زمین گرمایی متشکل از لوله هایی است که به صورت شبکه ای در معابر و نقاط حادثه خیز جاده ها و پل ها جاسازی شده اند. در این شبکه سیالی را که با انرژی زمین گرمایی گرم می شود، به داخل لوله ها می فرستند تا برف ها را ذوب کند.



شکل ۴: نمایی از روش ذوب برف و پیشگیری از یخبندان معابر توسط انرژی زمین گرمایی [۲۰].

زدودن یا ذوب کردن برف و یخ انباشته بر باند فرودگاه ها، بزرگراه ها و پل ها در زمستان یکی از موضوعات اساسی در طرح افزایش ایمنی راه ها و نقل و انتقالات است. ساده ترین راه برای این کار استفاده از مواد شیمیایی (نمک) و دستگاه های برف روب مکانیکی است. نمک (کلرید سدیم) با آب و یخ ترکیب شده و دمای ذوب آن را کاهش می دهد. البته در مواردی که دمای سطح از منفی ۹ درجه سانتیگراد کمتر باشد استفاده از نمک بی فایده خواهد بود. عیب استفاده از نمک، واکنش خوردگی نمک با فولادهای تقویت کننده ی پل و حتی سازه های فولادی پل (در دراز مدت) است از طرف دیگر استفاده از مواد شیمیایی نظیر نمک، به محیط زیست و پوشش گیاهی و جریان های آب آسیب می رساند. روش دیگر مبارزه با برف، یعنی استفاده از ماشین آلات برف روب، ممکن است به سطوح آسیب رسانده و هزینه های گزافی را برای تعمیر آنها تحمیل کند. در حال حاضر استفاده از برف روب ها تنها راه مبارزه با برف در شرایط بحرانی است. با توجه به این نکات در نظر گرفتن سیستم ذوب برفی که هزینه های کمتری داشته و خسارت وارده بر جاده ها و پل ها را کم کند، ضروری به نظر می رسد. [۲۱ و ۲۲].

۵- پمپ حرارتی

بطور کلی مخازن زمین گرمایی که دمای آنها کمتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد است، برای تبدیل به انرژی الکتریکی دارای توجیه اقتصادی نیست. لذا این گونه مخازن زمین گرمایی جهت بهره گیری مستقیم از انرژی حرارتی و تأمین سرمایش و گرمایش ساختمان ها در فصول مختلف استفاده می شود. عملکرد پمپ-های حرارتی همانند کولرهای گازی

البته در استفاده از آب های گرم باید توجه کرد که این آب ها املاح زیادی با خود دارند و حتی ممکن است همراه با آن برخی از گازها از چاه بیرون بیایند، گاز هایی که حتی ممکن است سمی باشند. در جدول (۱) املاح موجود در برخی از این آب ها آورده شده و مقدار آن با مقدار استاندارد مقایسه شده است. افزایش غلظت این مواد معدنی از یک حد مجاز زیان آور می باشد که در این صورت این آب ها باید تصفیه شده و بعد مورد استفاده قرار گیرند. [۱۶ و ۱۷].

Li	B	AS	Hg	H ₂ S	NH ₄ ⁺	
-/۰۰۳	-/۰۱	-/۰۰۲	-/۰۰۰۰۴	>dl	-/۰۰۴	آب تازه
۲۱۵	۳۹۰	۱۲	-/۰۰۶	۱۶	۲۸۶	آب چاههای عمیق
-	۱۹	۲/۳	-/۰۰۰۰۵	-/۱۶	۱۲۷	دریای سائو (ایالات متحده)
۱۴	۳۰	۴/۷	-/۰۰۰۰۲	۱/۷	-/۲۰	مکزیک
-	-	-	-	-	-	زلاندنو
-	۱۶	-/۰۱۹	-/۰۰۵	۵۴۰	۷۰۰	بخار آب (S) با گازهای چگالی ناپذیر (neg)
-	-	-	-	۲۲۲	۵۲	گیسوز (امریکا) (S)
-	-	-	-	-	-	گیسوز (امریکا) (neg)
-	-	-	-/۰۰۴	-	-	سروپیتوم (S)
-	-	-	-	۲۵۰	۱۹۰	سروپیتوم (neg)
-	۰/۲۳	-	-/۰۰۲	۵۲	۴	وآرآکی (S)
-	-/۰۵۲	-	-	۴۰۰	۷/۵	وآرآکی (neg)

جدول ۱: غلظت مواد آلاینده در برخی گازها و مایعات جاری انرژی گرمایی و مقایسه آن با مقادیر استاندارد. [۱۸].

۲- مراکز گلخانه ای

در سال های اخیر استفاده از روش گلخانه برای کشت محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. در استفاده از گلخانه ها محصولات کشاورزی از سرما در امان بوده و با توجه به قابل کنترل بودن محیط کشاورزی آفات گیاهی نیز کمتر به محصولات آسیب می رسانند. به خصوص در مناطق کوهستانی که در هوای آزاد فصل های سرد هیچ محصولی به عمل نمی آید، با استفاده از گلخانه ها می توان کشاورزی کرده و محصول به عمل آورد. یکی از موانع استفاده از گلخانه ها سیستم گرمایش گلخانه می باشد. استفاده از سوخت های فسیلی در سیستم گرمایش گلخانه ها هزینه زیادی در بر دارد، همچنین ایجاد دمای پایدار در گلخانه به وسیله سیستم گرمایش سنتی کار مشکلی می باشد. به همین دلیل بسیاری به استفاده از انرژی زمین گرمایی روی آورده اند. استفاده از انرژی زمین گرمایی در سیستم گرمایش گلخانه ای علاوه بر کاهش دادن هزینه های استفاده از سوخت های فسیلی دمای پایدار را نیز در گلخانه ایجاد می کند، همچنین از آلودگی های زیست محیطی که به خاطر استفاده این سوخت ها ایجاد می شود جلوگیری می کند.

۳- گرمایش منازل

به کمک لوله کشی و انتقال آب های گرمی که از زمین بیرون می آیند، این آب های گرم را می توان به مناطق مسکونی منتقل کرد و مانند سیستم های شوفاژ موجود در منازل از حرارت این آب های گرم جهت گرم کردن محیط استفاده نمود. برای گرمایش منازل، آب های گرم زمینی باید حرارتی در حدود ۵۰ الی ۱۰۰ درجه سانتیگراد داشته باشند. همانطور که گفته شد ۸۵ درصد انرژی گرمایی قابل استحصال نیز دمای کمتر از ۱۰۰ درجه را دارد و این موضوع اهمیت استفاده از این سیستم را پررنگ

به طور ساده می توان گفت که نیروگاه های زمین گرمایی به دو دسته تقسیم می شوند:

۱- نیروگاه زمین گرمایی با سیال دو فاز بخار و مایع

معمولا سیالی که به شکل دو فاز مایع و بخار می باشد، از چاه های زمین گرمایی خارج می شود. هر چه تعداد این چاه ها بیشتر باشد میزان مایع و بخار خارج شده از آن ها و متناسب با آن میزان تولید برق نیز بیشتر می شود. این سیال در مخزن جدا کننده بخار از مایع جمع آوری شده و سپس فاز بخار از مایع جدا می شود. بخار جدا شده وارد توربین شده و باعث چرخش پره های توربین می شود.

۲- نیروگاه زمین گرمایی با سیال تک فاز

در این نوع نیروگاه ها نیاز به مخزن جدا کننده نمی باشد. زیرا آب گرم وارد مبدل حرارتی شده و حرارت خود را به سیال عامل دیگری که معمولا ایزوپنتان می باشد و نقطه جوش پایین تری نسبت به آب دارد منتقل می کند، در این فرآیند ایزوپنتان به بخار تبدیل شده و به توربین منتقل می شود.

تقدیر و تشکر

از استاد دکتر یوسف ثبوتی که با ارائه رهنمودهای با ارزش درنگارش این مقاله راهنمایم بودند، صمیمانه تشکر می کنم.

است؛ با این تفاوت که مصرف برق آنها بسته به نوع سیستم از ۳۰ تا ۷۰ درصد کمتر از کولرهای گازی و سایر سیستم های سرمایشی و گرمایشی رایج است.

سیستم سرمایش پمپ حرارتی به این صورت است که هوای گرم اتاق از طریق فن مکنده وارد دستگاه شده و پس از عبور از کویل سرد به داخل اتاق دمیده می شود. در این فرآیند گرما به سیال سرد منتقل شده و توسط یک مبدل دو لوله ای به آب داخل کویل زمینی (لوله های پلی اتیلنی نصب شده در داخل زمین) منتقل می شود.

به گزارش سازمان انرژی های نو ایران در کشور ۵ پمپ حرارتی زمین گرمایی در مناطق مشکین شهر، طالقان، رشت، اهواز و بندرعباس جهت تأمین سرمایش و گرمایش محیط نصب شده است. نتایج حاصل نشان دهنده این است که این سیستم ها در فاز گرمایش بین ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ وات و در فاز سرمایش بین ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ وات برق مصرف نموده اند که در بخش سرمایش در مقایسه با یک کولر گازی حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد کاهش مصرف برق داشته است. [۲۳ و ۲۴].

استفاده غیر مستقیم از انرژی زمین گرمایی

در استفاده غیر مستقیم، انرژی زمین گرمایی در نیروگاه های زمین گرمایی تبدیل به انرژی الکتریسیته می شود و بعد انرژی تولید شده وارد شبکه سراسری برق شده و مورد استفاده قرار می گیرد [۲۵ و ۲۶].

منابع و مآخذ

- othermal Industry»: Three Decades of Growth, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. Vol 14. pp. 443–455.
- [16] Iceland. N and Noorollahi, Y. Barnett, P.(2005). «Application of GIS and Remote Sensing in Exploration and Environmental Management of NÁMAF-JALL Geothermal Area» . United Nations University, MSc thesis.
- [17] Barbier, E. (1997). «Natyre and Technology of Gothermal Energy : a Review» Int. Journal of Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol. Nos ½, March /June.
- [18] شرکت ملی نفت ایران، شرکت بهینه سازی مصرف سوخت. [/http://www.ifco.ir](http://www.ifco.ir)
- [19] وزارت نیرو، سازمان انرژی های نو ایران (سانا) [/http://suna.ir](http://suna.ir)
- [20] S. J. Rees and J. D. Splitter and X. Xiao(2002). «Transient Analysis of Snow-Melting System Performance». ASHRAE Transactions.
- [21] J. W. Tester(2006). The Future of Geothermal Energy, Impact of Enhanced Geothermal Systems (Egs) on the United States in the 21st Century: An Assessment. pp. 1–33. ISBN 0-615-13438-6.
- [22] برخیال. س، عسگری، ا.، شیرزادی، م. (۱۳۸۶). «آنالیز عددی سیستم ذوب برف زمین گرمایی یک پل نمونه»، فصل نامه علمی پژوهشی شریف، شماره چهارم، ص ۱۹۳–۱۸۷.
- [23] Erkan , K. Holdmann, G. Benoit. W ,Blackwell ,D.(2008). «Understanding the Chena Hot flopë Springs, Alaska, Geothermal System Using Temperature and Pressure Data», Geothermics. Vol 37 (6). pp. 565–585.
- [24] Hanova, J. Dowlatabadi, H.(2007). «Strategic GHG Reduction through the Use of Ground Source Heat Pump Technology, Environmental Research Letters 2: 044001, Bibcode2007ERL.....2d4001H, doi:10.1088/1748-9326/2/4/044001.
- [25] R. Bertani and I. Thain(2002). Geothermal Power Generating Plant CO2 Emission Survey. IGA News (International Geothermal Association).
- [26] M. Wakil(1985). Power plant technology. 2nd Edition., McGraw
- [۱] ثبوتی، ی (۱۳۹۰). «اقلیم و تغییرات آن در سده های بیستم و بیست و یکم»، مجله نشاء علم؛ شماره دوم، ص ۵–۱۵.
- [۲] ثبوتی، ی (۱۳۹۰). «زمین گرم»، انتشارات گیتاشناسی تهران.
- [3] B. Fridleifsson, Ingvar and R. Bertani and E. Huenges and L. Rybach(2008). «The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change», Luebeck, Germany, pp. 59–80.
- [4] E. William Glassley(2010). «Geothermal Energy: Renewable Energy and the Environment», CRC Press.
- [۵] شیخ احمدی، الف، زرگرزاده، م و ابراهیمی (۱۳۸۳). «فرصتی برای بهره گیری از انرژی های نو»، واحد تهران جنوب دانشکده فنی مهندسی گرو برق قدرت، فصل ۲۰۸.
- [۶] یوسفی، ح، نوراللهی، ی و سهراب تیکا (۱۳۸۲). «ارزیابی اثرات زیست محیطی نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر (EIA)»، چهارمین کنفرانس ملی انرژی. اسفند ۱۳۸۲ تهران – ایران ص ۲۱۰ – ۲۱۹.
- [۷] م. ک. مجید؛ «انرژی زمین گرمایی، وقتی اجاق زمین گرم است»؛ (www.IrPDF.com)
- [۸] بر اساس اطلاعات اداره تحقیقات زمین در استان Niedersachsische آلمان در سال ۱۹۹۷.
- [9] K. S. Sanyal and W. J. Morrow and J. S. Butler(2010). «Cost of Electricity from Enhanced Geothermal Systems». Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California.
- [10] D.L Turcotte and G. Schubert,(2002). «Geodynamics», Cambridge, England, UK: Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-66624-4.
- [11] Fotouh. M,(2000). «Geothermal Energy in Iran», Geothermal, Volume 29.
- [۱۲] از انرژی های نو چه می دانید، گزارش دوم، سازمان انرژی های نو در ایران
- [13] A. Ragnarsson(2010). «Geothermal Development in Iceland 2000-2004», Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey. pp. 01-17.
- [14] R. Cataldi(1993). «Review of Historiographic Aspects of Geothermal Energy in the Mediterranean and Mesoamerican areas Prior to the Modern Age , Geo-Heat Centre Quarterly Bulletin. pp. 13–16.
- [15] L. McLarty and J.M. Reed(1992). «The U.S. Ge-