انرژی ژئوترمال (زمین گرمایی) بعنوان انرژی جایگزین و تجدید پذیر در سبد انرژی

حسین صرامی (عضو هئیت علمی گروه جغرافیا دانشگاه اصفهان)
حمید نظری پور (دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی)

چکیده
انرژی ژئوترمال(Geothermal) یا به عبارتی انرژی زمین‌گرمایی، حرارت استحصال شده از زمین می‌باشد که در داخل زمین بر اثر تجزیه رادیو ایزوتپها (عناصر ناپایدار مانند اورانیوم، توریوم، پتاسیم و...)بوجود می‌آید.
درجه حرارت داخل زمین به ازای هر ۱۰۰ متر عمق حدود ۳ درجه سانتی گراد افزایش می‌یابد. افزایش دمای زمین متناسب با افزایش عمق آن، همچنین وجود آتشفشان‌ها، آبفشان‌ها، چشمه‌های داغ وغیره، نشانه‌های ملموس و آشکاری از وجود گرما در داخل زمین هستند. با این حال سیستم‌های ژئوترمال را در مناطقی می‌توان یافت که گرادیان ژئوترمال (نرخ تغییرات دمای اعماق زمین) در حد میانگین یا اندکی بزرگتر از آن باشد.
هدف از این پژوهش معرفی بیشتر انرژی زمین گرمایی (انرژی ذخیره شده در زمین) و استفاده از آن به عنوان یک انرژی نو و قابل جایگزین با سوخت‌های فسیلی (نفت، گاز و...) می باشد. این مقاله جنبه توصیفی- تحلیلی داشته واطلاعات آن به روش اسنادی (کتابخانه‌ای) تهیه شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهدکه این انرژی مفید و تقریباً بدون آلودگی محیطزیست در صورت بهره‌برداری صحیح، باتوجه به کاربردهای متنوع آن، می‌تواند نقش مهمی را در موازنه انرژی بسیاری از کشورها ایفا کند.

کلید واژه‌ها : انرژی، ژئوترمال، زمین گرمایی، آتشفشان، آبفشان، انرژی جایگزین، انرژی تجدید پذیر

مقدمه

زمین دارای شعاعی تقریبا برابر۶۴۰۰ کیلومتر است، که آن به سه قسمت شامل هسته زمین (۳۴۰۰کیلومتر) گوشته زمین (۲۹۰۰کیلومتر) و پوسته زمین (قاره‌ای کمتراز ۱۰۰کیلومتر، اقیانوسی کمتر از ۱۰کیلومتر) تقسیم می‌گردد. براساس مطالعات زمین لرزه‌ای اغلب متخصصان ژئو فیزیک بر این باورند که هسته زمین از آهن به شکل مذاب و با فشار و دمای زیاد و دارای جریان و گوشته زمین از سیلیکات تشکیل شده است. (کامیار :۱۳۸۲ :۱۰)

تغییرات حوزه مغناطیسی و دیگر وقایع مانند تکتونیک صفحات و آتشفشان‌ها در پوسته زمین می‌تواند به وسیله جریان موجود در هسته زمین گیرند. تجزیه ایزوتوپ‌ها ی رادیواکتیوی مانند پتاسیم ۴۰، اورانیم ۲۳۸و۲۳۵و توریم ۲۳۲ علت اصلی این جریان هستند. وجود گرمای اولیه در دمای زمین سهیم است وبه هنگام بوجود آمدن زمین بوسیله انقباض مواد، انرژی گرمائی تولید شده و در درون زمین حبس گردیده است. دمای درون زمین بیش از ۵۰۰۰ سانتی گراد درجه تخمین زده می‌شود. کنوکسیون دمایی موجود در گوشته زمین بوسیله سنگ‌های که بر اثر فشار و دمای بالا به حالت خمیر در آمده‌اند، انجام می‌گیرد. گرما در خیلی موارد تعیین‌کننده رفتارهای فیزیکی ما بین مواد در درون زمین می‌باشد.

انرژی زمین گرمایی۱ (ژئو ترمیک) و بهره‌برداری از آن همانند دیگر انرژی‌های تجدید پذیر (خورشیدی وبادی)جزء انرژی‌های بکار گرفته نشده و به عبارتی دیگر انرژی خوابیده در کشورمان هستند که بایستی بیدار گردیده واز آن در کنار انواع دیگر انرژی (فسیلی وغیره) بهره‌برداری شود. مخازن ژئوترمیکی قبل از هر چیزی در مناطق یا کشورهای وجود دارند که زمین آنها دارای فعالیت آتشفشانی است. (مانند آمریکا، ایتالیا، ایسلند و..) که این عامل خود سبب بوجود آمدن گسل‌ها و انبوه شدن لایه‌ها و در نتیجه مخازن آب‌های گرم می‌شوند. از طرفی دیگر استفاده از ژئوترمیک در جاها و مواقعی کاملاً مفید می‌باشد که سازند گرم زمین در اعماق خیلی کم وجود داشته باشند. (کامیار :۱۳۸۲ :۲۸).

در قسمت‌های که سنگ‌های پرکامپرین وجود دارد، جریان گرما به طور غیر عادی کم است. در مقابل مناطقی که دارای تکتونیک فعال یا آتشفشان‌های جوان هستند جریان گرمایی بالایی دارد. این وضعیت در حاشیه صفحات بزرگ تکتونیک معتبر است. در دهه‌های گذشته اندازه‌گیری‌های بسیاری برای جریان گرما در اعماق دریاها صورت گرفته است. چگالی جریان گرما در مناطقی که کوه‌های جوان تشکیل می‌شوند بیشتر می‌باشد که با افزایش سن واحدهای تکتونیکی کاهش می‌یابد. در مناطقی که گوشته زمین برآمدگی دارد یا آب‌های گرم زیرزمینی بالا می‌آیند جریان گرمای بیشتری را سبب می‌شوند (کامیار :۱۳۸۲ :۱۱).

برای آینده‌ای دور، فکر و اندیشه استفاده از کل انرژی تمام نشدنی زمین‌گرمایی از اعتبار خاصی برخوردار خواهد بود.در حال حاضر برای بهره‌برداری واستفاده کامل از این انرژی لازم است کارهای زیادی صورت گیرد. هم اکنون برای تولید برق و گرم کردن ساختمان‌ها در ژاپن، آلاسکا، ایسلند و دیگر کشورها از انرژی ژئوترمیکی استفاده می‌شود. در این راستا می‌توان آب‌ها وحمام‌های آب گرم محلی را نیز ذکر کرد. براساس تصاویر ماهواره (ERIS[1]) برداشت شده توسط آمریکا در سال ۱۹۷۲میلادی، کشور ایران در کل جهان از لحاظ پتانسیل زمین گرمایی شاخص بوده و دارای دریاچه‌های زیرزمینی آب گرم و مخازن ژئوترمیکی فراوان می‌باشد. ولی شناسایی مناطق دارای پتانسیل و بهره‌برداری از آن و حتی علم استفاده از این انرژی در کشورمان هنوز در مراحل ابتدایی است. بهره‌برداری و قابل استفاده کردن انرژی زمین‌گرمائی سبب کاهش مصرف دیگر انرژی‌های موجود می‌شود. با توجه به نکات جالب اقتصادی در بهره‌برداری از این امکاناتی که گرمائی درون زمین به ما ارائه می‌دهد، نکات زیست‌محیطی مفیدی مانند کاهش دی اکسید کربن (CO_2) را نیز به همراه دارد. سوزاندن ذغال، نفت، گاز و زباله برای تولید انرژی خطر جدی برای محیط‌زیست محسوب می‌شود و تغییرات ناشی از آنها در اتمسفر وجود زندگی را به خطر می اندازد.

در دهه‌های اخیر، استحصال انرژی زمین‌گرمایی از منابع آن بعنوان یکی از گزینه‌های جدی و موثر برای حل توامان مشکل انرژی ومعضلات زیست محیطی ناشی از آن مطرح گردیده است. (پرخیال ودیگران :۱۳۸۲: پیشگفتار).

تعریف انرژی ژئو ترمیک (زمین گرمائی)

حرارت، شکل خاصی از انرژی است و انرژی ژئوترمال در لغت به معنای حرارت موجود در داخل زمین است که باعث وقوع پدیده‌های زمین‌شناسی در یک مقیاس سیاره‌ای می‌شود. با اینحال، امروزه غالبا واژه ژئوترمال به آن بخش از حرارت زمین اطلاق می‌شود که بشر می‌تواند یا خواهد توانست آن را مورد استخراج و بهره‌برداری قرار دهد. به عبارتی دیگر انرژی ذخیره شده در زیرزمین که به شکل گرما موجود است، ژئوترمیک نامیده می‌شود. این انرژی در هسته زمین بوجود آمده و بوسیله جریان گرما به طرف پوسته زمین بالا آمده و حرکت می‌کند. تجزیه ایزوتوپ‌های رادیو اکتیوی درپوسته زمین باعث افزایش این گرما در آنجا می‌شود. افزایش روز افزون نیاز به انرژی وکاستن وابستگی از انرژی‌های فسیلی موجود مانند نفت و گاز در سه دهه اخیر سبب شد با استفاده از انرژی‌های دیگری همچون زمین گرمائی، خورشیدی، بادی و...به عنوان انرژی جایگزین در نظر قرار گیرند. در جهت تحقق این هدف انرژی زمین گرمایی زمان شکوفایی وجایگاه اصلی خود را حداقل در کشورهای پیشرفته وغیر نفتی پیدا کرد. (کامیار، ۱۳۸۲ :۴).

استفاده از انرژی‌های نو در کشورهای جهان به دلایلی از جمله زوال‌ناپذیر بودن و تجدیدپذیری این نوع انرژی‌ها برخلاف انرژی‌های حاصل از سوخت‌های فسیلی، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و همچنین وجود پتانسیل‌ها و استعدادهای بالای منابع انرژی‌های نو از قبیل تابش مستقیم و طولانی اشعه خورشید وجود باد نسبتا مداوم و با سرعت بالا و منابع انرژی زمین‌گرمائی در برخی از کشورها، مورد توجه خاص برنامه‌ریزان و فرهیختگان فنی، اقتصادی و سیاسی قرار گرفته است. (ثقفی :۱۳۸۲ : ۳۸۹).

همچنین با رشد نگرانی‌ها درباره اثرهای ترکیبات سوخت‌های فسیلی به روی سلامتی و محیط و وابستگی و توزیع نابرابر منابع نفت وگاز در جهان و اینکه بسیاری از منابع ثروت در نواحی حساس محیطی یا ناپایدار سیاسی قرار گرفته‌اند نیاز به شناخت انرژی‌های دیگر را توجیه می‌کند. (www.uneptie.org/energy) هرچند بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور تغییر درسبد انرژی اجتناب‌ناپذیر است اما علیرغم پتانسیل‌های بسیار مناسب به منظور کاربرد انرژی ژئوترمال، به واسطه سه دلیل نبود سیاست گذاری‌های کلان در زمینه بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر، فقدان تکنولوژی مناسب در خصوص حفاری‌های عمیق، مهندسی مخازن، ساخت و نیز بهره‌برداری از نیروگاه‌های ژئوترمال و بالاخره وجود رقیب سر سخت منابع ارزان سوخت‌های فسیلی، بهره‌برداری از پتانسیل‌های مزبور کماکان جدی گرفته نشده است (ثقفی :۱۳۸۲: ۳۸۹).

توزیع جهانی انرژی زمین گرمایی

قدیمی‌ترین مثال برای این نوع تولید انرژی زمین‌گرمایی شهر لادرلو۱ درتوسکان، ایتالیا را می‌توان نام برد. در آنجا حتی رومی‌ها حمام‌های طبیعی آب گرم با درصد بالایی از گوگرد ساخته بودند. در

قرن هجدهم میلادی منابعی برای تولید بور B^2 بکار گرفته شدند. در سال ۱۹۰٤میلادی از بخار زمین‌گرمایی برای نخستین بار برق تولید شد. اغلب برای اهداف گرمایی، انرژی زمین گرمایی می‌تواند به طور مستقیم مورد استفاده قرار گیرد. در کل جهان نیروگاه‌های زمین‌گرمایی با توان بیش از ۱۱۰۰۰مگاوات وجود دارد، که حدود ۳۲ درصد از این مقدار در اروپا می‌باشد. (FREESTON D. H.۱۹۹۰:۱۸۸).

با توجه به اینکه ۸۵درصد از ذخایر انرژی زمین‌گرمایی دارای دمای کمتر از ۱۰۰درجه سانتی‌گراد بوده و ٤۰ درصد از مصرف جهانی انرژی نیاز به دمای کمتر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد دارد و آن برای انرژی زمین‌گرمایی بکار می‌رود. این قسمت از انرژی زمین‌گرمایی با توانی برابر ٤ مگاوات مطابق است.

اما کمتر از ۲در صد از کل مصرف جهانی انرژی توسط انرژی زمین‌گرمایی تهیه می‌گردد. برای تولید برق از گرمای زمین در حال حاضر نیروگاه‌هایی با توان بیش از ۵۸۰۰ مگاوات در دنیا نصب شده‌اند. (کامیار :۱۳۸۲ :٤۰). در پنج سال اخیر سهم آن سالانه حدود ۱۰درصد افزایش یافته است. تولیدکننده‌های اصلی این نوع انرژی کشورهای امریکا، فیلیپین، مکزیک، ایسلندوپرتقال هستند.

جدول شماره (۱): بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی (سال ۱۹۹۰قدرت وتوان بر حسب مگاوات)

منبع: (کامیار :۱۳۸۲ :٤۱)

روش‌های اکتشاف

مطالعات زمین‌شناسی وهیدرولوژیکی، نقطه آغاز هر برنامه اکتشاف بشمار می‌روند. کارکرد اصلی آنها تعیین موقعیت مکانی و تخمین وسعت مناطقی است که ارزش تحقیقات بیشتر را دارا می‌باشند تا بدین وسیله بهترین روش‌های اکتشاف را برای این نواحی معرفی کنند. مطالعات زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی، نقش مهمی را در تمامی مراحل آتی اکتشاف ژئوترمال و به‌ویژه مکانیابی چاه‌های اکتشاف و تولید ایفا می‌کنند. آنها همچنین اطلاعات مناسبی راجع به سوابق اکولوژیکی منطقه در اختیار ما قرار می‌دهندکه برای تفسیر و پردازش داده‌های حاصل از سایر روش‌های اکتشاف ونهایتا ترسیم مدلی واقعی از سیستم ژئوترمال وتخمین پتانسیل منبع، مورد استفاده قرار می‌گیرند (سهیل پرخیال ودیگران :۱۳۸۲ : ۲۵).

پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی (شامل تعیین خواص شیمیایی ایزوتوپ‌ها) ابزار مفیدی هستند برای تعیین نوع سیستم ژئوترمال به لحاظ تعلق به سیستم‌های آب – غالب یا بخار – غالب، تخمین حداقل دمایی که در یک عمق معین می‌توان انتظار دستیابی به آن را داشت، سنجش میزان یکنواختی آب موجود، تعیین خواص شیمیایی سیالات ژئوترمال و همچنین تدارک منبعی برای تزریق مجدد آنها (پس از مصرف) به اعماق زمین. (سهیل پرخیال ودیگران :۲۷– ۲٦).

همچنین می‌توان اطلاعات ذیقیمتی راجع به معظلاتی که در حین بهره‌برداری از منبع پدیدار می‌شوند (ازقبیل خوردگی وجرم گرفتگی لوله‌ها و سایر تجهیزات سیستم و همچنین پیامدهای ناگوار زیست‌محیطی) و راه‌های پیشگیری از آنها بدست آورد. پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی شامل نمونه‌گیری و تجزیه شیمیایی و یا ایزوتوپی آب و گاز خروجی از مظاهر ژئوترمال (چشمه‌های آب داغ، بخار فشان‌ها۱ و غیره) یا چاه‌های موجود درحوزه مطالعاتی است و حتی‌الامکان باید روش‌های ژئوشیمیایی را پیش از سایر پرهزینه‌تر مورد استفاده قرار دارد.

پی‌جویی‌های ژئوفیزیکی با هدف دستیابی غیرمستقیم به مقادیر پارامترهای فیزیکی اعماق زمین از روی خصوصیات ظاهری سطح زمین یا لایه‌های عمقی نزدیک به آن انجام می‌پذیرند. این پارامترهای فیزیکی شامل (پی‌جویی‌های حرارتی)، ضریب هدایت الکتریکی (روش‌های الکتریکی، الکترومغناطیسی و مگنتوتلوریک۲)، سرعت انتشار امواج الاستیک (پی‌جویی‌های لرزه‌ای)، دانسیته (پی‌جویی گرانشی) و ضریب قابلیت مغناطیسی (پی جویی‌های مغناطیسی) می‌باشند.

اطلاعات مربوط به وجود یا عدم وجود سیال ژئوترمال درساختار اعماق زمین را می‌توان از طریق پی‌جویی‌های الکتریکی و الکترومغناطیسی که در مقایسه با سایر روش‌ها به وجود سیال و تغییرات دمای ناشی از آنها حساس‌ترند، بدست آورد. این دو روش با نتایج قانع کننده‌ای همراه بوده و کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. روش‌های حرارتی (شامل سنجش دمای زمین، گرادیان ژئوترمال و تعیین نرخ جریان حرارتی غشاء زمین)غالباً می‌توانند تقریب خوبی از دمای بخش فوقانی مخزن در اختیار ما قرار دهند. هزینه تمامی روش‌های ژئوفیزیکی درحد بسیار بالایی قرار دارد. حفر چاه‌های اکتشاف، آخرین مرحله از مراحل متعدد هر برنامه اکتشاف ژئوترمال و تنها راه تعیین خصوصیات واقعی مخزن و در نتیجه تخمین پتانسیل آن به شمار می‌رود.

سیستم‌های ژئوترمال

سیستم‌های ژئوترمال را در مناطقی می‌توان یافت که گرادیان ژئوترمال (نرخ تغییرات دمای اعماق زمین) درحد میانگین یا اندکی بزرگتر از آن باشد. به‌ویژه در نواحی مجاور مرزهای بین صفحات که گرادیان ژئوترمال آنها بطور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از مقدار میانگین است. هر سیستم ژئوترمال از سه جزء اصلی تشکیل می‌شود: منبع حرارتی، مخزن و سیال عاملی که حرارت را انتقال می‌دهد. منبع حرارتی۳ می‌تواند یک توده ماگمایی بسیار داغ (بیشتراز ٦۰۰سانتی‌گراد)که تا نزدیکی سطح زمین (۵ – ۱۰) کیلومتر نفوذ کرده، یا همانطور که در برخی از سیستم‌های دما–پایین مشاهده می‌شود، منبع حرارتی می‌تواند از دمای طبیعی اعماق زمین برخوردار باشد. مخزن به توده انبوهی از سنگ‌های داغ و رطوبت‌پذیر اطلاق می‌شودکه سیالات ژئوترمال با جابجایی مداوم درلایه‌های آنها حرارت را استخراج می‌کنند. سیال ژئوترمال، آب است (در اکثر موارد آب حاصل از نزولات جوی) که بسته به شرایط دما و فشار می‌تواند بصورت مایع یا بخار باشد. این آب معمولا حاوی مواد شیمیایی و گازهای نظیر۲ CO وH_2S و غیره می‌باشد. ازمیان تمامی اجزاء یک سیتم ژئوترمال، منبع حرارتی، تنها جزیی است که باید حتما طبیعی باشد. درصورت وجود شرایط مساعد دو جزء دیگر می‌توانند غیرطبیعی باشند.

سیستم‌های ژئوترمال با تنوع وسیعی از خصوصیات زمین‌شناسی، فیزیکی و شیمیای در طبیعت یافت می‌شوند و از همین رو انواع مختلفی از سیستم‌ها را در سراسر جهان می‌توان از یکدیگر تفکیک کرد. اما اساساً سه نوع سیستم ژئوترمال وجود دارد:

سیستم‌های بخار غالب، سیستم‌های آب گرم غالب وسیستم‌های

خشک (سنگ داغ)که در پاراگراف‌های زیرین مورد بحث قرار خواهند گرفت.

سیستم‌های بخار غالب

درسیستم‌های بخار غالب، چاه‌ها اساساً بخار خشک تولید می‌کنند، که بعد از خارج نمودن خاک و سایر مواد زیر، مستقیماً جهت تولید نیروی الکتریسته به توربین‌ها فرستاده می‌شود.سیستم‌های بخار غالب عموما دارای آب‌های زیر زمینی عمیق بوده که توسط مواد لایه زیرین گرم می‌شود، و منطقه فوقانی به صورت فاز بخار است. (وایت ۱۹۷۳).

سیستم‌های بخار غالب جهت بهره‌برداری از راحت‌ترین سیستم‌هاست، ولی از نایاب‌ترین سیستم‌های ژئوترمال نیز هستند. از سیستم مهم بزرگ‌ترین آن‌ها در جهان در ژیسرز، در حدود ۱٤۰ کیلومتری شمال سان فرانسیسکو، کالیفرنیا واقع است. بازده چاه‌ها به تدریج تنزل می‌نماید و به ایجاد چاه‌های بیشتری احتیاج پیدا می‌شود. به علت افت گرما در سیستم‌های انتقال، بخار را نمی‌توان به بیش از ۲ یا ۳کیلومتر حمل نمود.

این عمل ایجاب می‌کند که کارخانه‌های تولیدکننده برق کوچکی به جای یک کارخانه مرکزی بزرگ در سراسر منطقه ایجاد شود. (لطفی صدیق :۱۳۷٤ :٤٦٤)

بعد از اینکه بخار در داخل توربین‌ها انبساط حاصل نمود در حدود ۷۵درصد آن به صورت بخار به آتمسفر بر می‌گردد که شامل تبخیر از برهای خنک‌کننده نیز می‌شود (براون، ۱۹۷۳). ۲۵ درصد باقی‌مانده تبدیل به مایع شده و توسط چاه‌های تزریق به ذخایرژئوترمال برگردانده می‌شود. دلیل این تزریق دو چیز است: طولانی نمودن عمر مفید ذخیره و جلوگیری از آلودگی رودخانه‌های نزدیک که بخار تبدیل یافته به مایع، دارای محلول آمونیاک و بر با غلظت زیاد باید به آن تخلیه شود.

سیستم‌های آب گرم غالب

سیستم‌های مایع غالب خیلی فراوان‌تر از سیستم‌های بخار غالب هستند. مخزن ژئوترمال در سیستم‌های مایع غالب آب داغ بدست می‌دهد، که هنگام رسیدن به سطح زمین تبدیل به بخار می‌شود. قسمتی از آب که به بخار تبدیل می‌شود به فشار اولیه سیاله و فشار گسیختگی در سر چاه بستگی دارد (وایت، ۱۹۷۳).

سیستم‌های خشک (سنگ داغ)

مهمترین منبع انرژی زمین‌گرمایی، سنگ‌های خشک داغ هستند. سسیتم خشک (سنگ داغ) مناطق ژئوترمال هستند که در آنجا گرما در سنگ‌های خشک ذخیره شده بدون این که آب یا مایع دیگر گرما را به سطح زمین انتقال دهد. سیستم‌های خشک شامل بیشترین مقدار گرمای ذخیره شده در پوسته زمین تا عمق ۱۰کیلومتر می‌باشد. با در نظر گرفتن این که غالب مناطق ژئوترمال از نوع خشک می‌باشند، استفاده از انرژی ژئوترمال سیستم‌های خشک بستگی به تکنولوژی دارد که هنوز احتیاج به توسعه دارد. این پیشرفت عمدتاً برای ایجاد یک و منطقه قابل نفوذ در مواد داغ، انتقال گرما به وسیله گردش دادن آب از میان این منطقه و تولید نیرو با سیکل توربین بخار می‌باشد. با استفاده از دو چاه حفاری شده در کنار هم که آب سرد در یک چاه تزریق می‌گردد و بر اثر تماس با سنگ‌های خشک داغ در عمق، داغ شده و به صورت مایع یا بخار از چاه دیکر بوسیله تلمبه استخراج می‌شود.

Kenforschung sanlage juellich، ۱۹۷۷

کاربردهای ژئوترمال

انرژی ژئوترمال به صورت مستقیم و غیرمستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد که بستگی به دمای منابع ژئوترمال دارد (www.uneptie.org/energy). رایج‌ترین معیار برای دسته بندی منابع ژئوترمال، معیاری است که بر اساس انتالپی سیالات ژئوترمال، که عامل اصلی انتقال حرارت از سنگ‌های داغ موجود در اعماق زمین به سطح آن قلمداد می‌شوند، پایه‌ریزی می‌گردد. انتالپی را در حالت کلی می‌توان با دما متناسب پنداشت. (پرخیال و دیگران :۱۳۸۲ : ۲۱).

منابع ژئوترمال برحسب معیارهای مختلف به سه نوع: دمای پایین (کمتر از ۹۰درجه سانتی‌گراد)، دمای متوسط (بین ۹۰ تا ۱۵۰ سانتی‌گراد) و دمای زیاد (بیش از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد) تقسیم می‌شوند. منابع با دمای زیاد معمولا به شکل غیرمستقیم در حرکت توربین‌ها وایجاد برق یا در پمپ‌های حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نواحی آتشفشانی پیدا می‌شوند. منابع ژئوترمال با دمای متوسط و کم که در بیشتر نواحی جهان پیدا می‌شود می‌تواند مستقیماً در دامنه حرارتی ۱۵۰- ۳۵ درجه سانتیگراد در گرمایش ساختمانها، گلخانه‌ها، تجهیزات آبزی‌پروری و تهیه حرارت فرایندهای صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. در زیر به طور خلاصه به توضیح هر یک از کاربردهای غیر مستقیم و مستقیم این انرژی پرداخته می‌شود.

تولید برق

تولید برق، مهمترین شکل بهره‌برداری از منابع ژئوترمال دما- بالا (بیشتر از ۱۵۰درجه سانتی‌گراد) بشمار می‌رود. تولید برق اساساً بسته به نوع ویژگی‌های منابع ژئوترمال، در توربین‌های رایج بخار و نیروگاه‌های دوسیاله انجام می پذیرد. نخستین تلاش‌ها برای تولید برق از بخار

جدول (۲): ظرفیت تولید برق ژئوترمال در مقایسه با کل ظرفیت نصب شده نیروگاهی برای برخی از کشورهای در حال توسعه (سال ۱۹۹۰) (برحسب مگاوات).

کشور	کل ظرفیت نصب شده نیروگاهی	ظرفیت نصب برق ژئوترمال	در صد برق ژئوترمال به کل ظرفیت نصب شده
فیلیپین	۶۸۶۹	۸۹۱	۱۳
السالوادور	۷۴۰	۹۵	۱۲/۸
نیکاراگوئه	۳۹۵	۳۵	۸/۹
کنیا	۷۲۳	۴۵	۶/۲
مکزیک	۲۹۲۷۴	۷۰۰	۲/۴
اندونزی	۱۱۴۸۰	۱۴۳	۱/۲

منبع (پرخیال:۱۳۸۲ :۸).

بیش از ۱٦۰ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۵ رسیده است.

٤ – سهم گاز طبیعی در سبد انرژی مصرفی داخل کشور نیز از ۵۷ درصد فراتر رفته و هنوز پتانسیل قابل توجهی برای افزایش بیشتر این سهم و جایگزینی فرآورده‌های نفتی با گاز طبیعی وجود دارد.

۵ – امروزه نه تنها گاز همراه نفت سهم قابل توجهی در تأمین گاز مصرفی مورد نیاز کشور ندارد بلکه برعکس بخش بالادستی نفت می‌رود که خود به یک متقاضی گاز از حوزه‌های مستقل گازی تبدیل شود. به این معنا که باتوجه به نیازهای حوزه‌های نفتی به تزریق حجم عظیمی از گاز برای حفظ و افزایش ضریب بازیافت نفت تزریق مجدد معادل کل گازهای همراه نفت برای این منظور کفایت نخواهد نمود و لازم است که بخشی از گاز تولیدی حوزه‌های مستقل گازی نیز به مخازن نفتی تزریق گردد.

٦ – در سطح بین‌المللی هم تحولات مهمی در زمینه گاز رخ داده و نیز در حال رخ دادن است. بر اساس اغلب پیش بینی های ارائه شده، طی دهه‌های آتی بیشترین نرخ رشد تقاضا برای حامل های انرژی مربوط به گاز طبیعی خواهد بود و ایران نیز قصد دارد که به هرحال به یک صادرکننده مهم گاز طبیعی تبدیل شود و ما قبلا نقش محوری ایران در ژئوپلتیک گاز را در سرمقاله شماره ۸٦ اقتصاد انرژی در آذر ماه ۱۳۸۵ مورد بررسی قراردادیم و بدون شک ایفای چنین نقشی مستلزم یک سازمان متناسب و کارآمد است. در آن مقاله توضیح دادیم که:" به میزانی که جهان از نفت خام به گاز طبیعی تغییر جهت دهد به همان نسبت ژئوپولتیک نفت کم رنگ تر و ژئوپولتیک گاز پر رنگ تر خواهد شد " و به تناسب آن ساختار جهانی نفوذ و سلطه نیز تغییر خواهد نمود و اشاره کردیم که "در ژئوپولتیک گاز، کشور ایران نیز نقش تعیین‌کننده و کلیدی را بر عهده دارد ".

نیاز به یکپارچگی در بخش گاز

آنچه ذکر شد نشان می‌دهد که از زمان تأسیس شرکت ملی گاز ایران تا کنون تحولات عظیم و ماهوی در صنعت گاز کشور رخ داده و بسیاری از فرضیات و همچنین اهداف و ماموریت ها تغییر نموده است و شرکتی که قرار بوده یک محصول جانبی را مدیریت کند اینک مسئولیت یک محصول اصلی و راهبردی را عهده دار گردیده است و لذا بنظر می‌رسد که ساختار و سازمان نیز باید متناسبا مورد تجدید نظر قرار گیرد.

بنظر می‌رسد که بخش گاز کشور باید به سوی یک انسجام و یکپارچگی حرکت کند و چنین یکپارچگی می‌تواند بسیاری از مشکلات این بخش را سامان داده و مرتفع نماید.

اتفاقا ضرورت یکپارچگی در بخش گاز بسیار بیشتر از بخش نفت است. در بخش نفت تجزیه نفت خام به فرآورده‌های متعدد و در احجام کوچکتر و امکان‌پذیری و سهولت ذخیره‌سازی نفت خام و فرآورده های آن، تفکیک و جدائی بخش‌های بالادستی و پائین دستی را به سادگی امکان‌پذیر می‌نماید و با توجه به ذخیره‌سازی نقاط حداکثر و حداقل مصرف به‌عنوان یک معضل مطرح نمی‌شوند. اما در بخش گاز نوعی اتصال و یکپارچگی از قعر چاه تا رگلاتور مصرف‌کننده وجود دارد. علاوه بر این چنانچه بحث ذخیره‌سازی را هم مورد توجه قرار دهیم یکی از شناخته شده‌ترین راه‌های آن ذخیره‌سازی گاز در لایه های زیر زمینی و یا مخازن تخلیه شده گازی است که این نیز به نوبه خود یک فعالیت بالادستی است. لذا مسئله قابل توجه و حائز اهمیت در مطالعه و بازنگری در ساختار، توجه به پیوستگی فرایندهای تولید، انتقال و عرضه گاز طبیعی است. گاز در هیچ جا متوقف نمی شود و تمام فرآیندهای مذکور بدون توقف و بصورت متصل انجام می پذیرد و تجربه نیز نشان میدهد که تفکیک فعالیت ها به دو بخش بالادستی و پائین‌دستی که با طبیعت گاز سازگار نیست، مشکلات و اختلالاتی را در صادرات گاز و عملیات گاز رسانی کشور بوجود آورده است. تا زمانی‌که گاز تحویلی به شرکت ملی گاز عمدتا گاز همراه نفت بود تفکیک بخش‌های بالادستی و پائین دستی و محدود کردن شرکت گاز به بخش پائین دستی اجتناب‌ناپذیر بود اما در شرایط فعلی این تفکیک مشکلات و محدودیت‌های فراوانی را بوجود آورده است. طبیعتاً در این نگاه شرکت ملی صادرات گاز نیز باید زیر مجموعه شرکت ملی گاز قرار گیرد. سیاست‌گذاری و برنامه ریزی یک پارچه در بخش گاز میتواند در انتخاب های دقیق بازارهای صادراتی و حل مشکلات حداکثر و حداقل مصرف و بسیاری از مسائل دیگر نظیر بهینه‌سازی پروژه‌ها و طرح‌ها و سرمایه‌گذاری‌های توسعه‌ای، راه گشا باشد.

اگر سیاست‌های گاز با عینک گازی و نه عینک نفتی مورد ملاحظه قرار گیرد، با پتانسیل عظیمی که در گاز کشور وجود دارد می‌توانیم شاهد تحولات مهمی باشیم.

هم‌اکنون در کشور روسیه، به‌عنوان رقیب مهم گازی ایران، شرکت گازپروم به‌عنوان یک نمونه منسجم مسئولیت کل زنجیره فعالیت‌های گاز را بعهده دارد و با توجه به قدرت صادراتی خود، به‌عنوان یک شرکت مقتدر به بازوی راهبردی سیاست خارجی روسیه تبدیل گردیده است و این درحالی است که روسیه بزرگترین تولیدکننده نفت جهان نیز هست و شرکت‌های دیگری مانند لوک اویل نیز عهده‌دار مخازن نفتی هستند و حتی در مواردی در بهره برداری از مخازن خارج از دایره اصلی خود نیز با یکدیگر رقابت می‌کنند. روسیه اینک به‌عنوان یک کشور سرد سیر و صنعتی و با مخازن نفتی قدیمی، همه نیازهای مصرفی، صنعتی و تزریق گاز به مخازن نفتی را تأمین نموده و در عین حال از جایگاه بالائی در صادرات گاز جهان برخوردار است.

واگذار کردن فعالیت‌های بالادستی حوزه های مستقل گازی به شرکت ملی گاز آثار مثبت دیگری هم دارد. یکی از مهمترین مسائلی که اقتصاد و صنعت و از جمله صنعت نفت کشور ما به آن مبتلاست، انحصار است. به نظر نگارنده انحصار بیش از هر عامل دیگری مانند مالکیت (که مقوله خصوصی‌سازی در حوزه آن مطرح می‌شود)، آفت بهره‌وری و کارائی است. در شرایط انحصار هیچ ملاک مقایسه‌ای وجود ندارد و کارائی مطلوب همان است که انحصارگر ارائه می‌دهد. مقایسه است که ضعف‌ها را آشکار می‌کند و رقابت است که انگیزه ارتقاء بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها برای تداوم بقا را بوجود می‌آورد. خصوصاً در بخش با لادستی صنعت نفت (به مفهوم اعم) که مشمول سیاست‌های ابلاغی اصل ٤٤ قانون اساسی نیز نیست و قرار است در کنترل دولت باقی بماند، تفکیک بخش‌های بالادستی نفت و گاز و سپردن بخش بالادستی گاز به شرکت ملی گاز می‌تواند امکان شکست انحصار و تحقق محیط رقابتی را فراهم آورد.

البته به این نکته نیز باید توجه نمود که شرکت ملی نفت ایران با در اختیار داشتن کل ذخائر ئیدروکربوری کشور در سبد دارائی‌های خود، در رده بندی‌های بین‌المللی مربوطه معمولا در ترازهای بسیار بالا قرار دارد و بعضی نگرانند که با تفکیک مورد بحث، این وضعیت تغییر نماید. بدون شک هیچ ساختاری مطلق نیست و هر تجدید ساختاری فرصت هائی را بوجود خواهد آورد و محدودیت‌هائی را نیز موجب خواهد شد. باید دقیقا بررسی نمود که فرصت‌هائی که پدید می‌آید ارزش بیشتری دارند و یا تحدیدها. شرکت‌های نام‌آور و موفق نفتی و گازی جهان لزوما شرکت‌هائی نبوده‌اند که ذخائر ئیدروکربوری بیشتری داشته‌اند بلکه رده‌بندی‌ها و شاخص‌های دیگری وجود دارند که پراهمیت‌تر تلقی می‌شوند.

در گذشته طبق قانون اساسنامه شرکت ملی نفت ایران حاکمیت برکلیه ذخائر ئیدروکربوری کشور به عهده شرکت مذکور بود و لذا ممکن بود از نظر حقوقی امکان این تفکیک وجود نداشته باشد اما با تأسیس وزارت نفت در دوره بعد از پیروزی انقلاب اسلامی در قانون نفت مصوب سال ۱۳٦۵ مجلس شورای اسلامی این حاکمیت به عهده این وزارت گذاشته شد و اینک پس از سال‌ها تأخیر قرار است اساسنامه‌های شرکت‌های اصلی زیرمجموعه وزارت نفت مورد تجدید نظر قرار گرفته و با قانون مذکور تطبیق یابد و لذا در جریان بازنویسی اساسنامه‌ها (که در دست اقدام است) می‌توان زمینه حقوقی تفکیک مذکور را نیز فراهم نمود.

در هر حال در این نوشتار گرچه ایده روشنی برای یک تحول سازمانی پیشنهاد گردیده است اما هرگز برآن نیستیم که این پیشنهاد بی‌نقص و یگانه است بلکه عمدتاً هدف این است که ضرورت تجدید نظر در ساختارهای قدیمی را متذکر شویم، جایگزین کردن ساختار جدید مسلماً باید با مطالعه همه جانبه و بدور از شتابزدگی باشد.

نتیجه دیگری که به روشنی حاصل می‌گردد این‌است‌که: در فرایند یک تجدید نظر و اصلاحات کلان‌نگر و همه جانبه در صنعت نفت (به مفهوم اعم) باید همه بخش‌ها و زیربخش‌ها را یک‌جا مورد مطالعه قرار داد، چراکه اگر مثلاً اصلاحات پیشنهادی این نوشتار، مورد عنایت قرار گیرد قطعاً تحول چشمگیری نیز در بخش نفت بوجود خواهد آمد.

مدیرمسئول

آب ژئوترمال در سال ۱۹۰٤میلادی در ناحیه‌ای که هم اکنون لاردرلو نامیده می‌شود، انجام پذیرفت. موفقیت این آزمایش، ارزش صنعتی انرژی ژئوترمال را بخوبی نشان داد و این آغازی بود بر روش بهره‌برداری خاصی که قرار بود بعدها بطور قابل توجهی توسعه داده شود. توربین‌های رایج بخار به سیالاتی با حداقل دمای ۱۵۰درجه سانتی‌گراد نیاز دارند و به شکل واحدهای مدولار پیش- ساخته، با خروجی‌های اتمسفری یا کندانس در دسترس می‌باشند. توربین‌های خروجی- اتمسفری۱ ارزانتر و ساده‌تراند و در نقش واحدهای کمکی۲ و پشتیبانی۳ و همچنین در مواردی که جریانات کوچکی از بخار چاه‌های منفرد استخراج می‌شوند و برای تولید برق از چاه‌های آزمایشی در حین توسعه میدان می‌توانند بسیار مفید واقع شوند. (سهیل پرخیال ودیگران :۱۳۸۲ :۳۲- ۳۱).

برق حاصل از انرژی ژئوترمال، نقش مهم و روزافزونی در پویایی اقتصادی کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کند، در این زمینه می‌توان به اطلاعات ارائه شده در جدول (۲) که درصد برق تولیدی از انرژی ژئوترمال به کل ظرفیت نصب شده نیروگاهی در برخی از این کشورها را نشان می‌دهد، اشاره نمود.

در سالیان اخیر واز زمانی که فن آوری سیال ثانویه با پیشرفت قابل ملاحظه ای همراه بوده است، رشد چشمگیری در تولیدبرق از سیالات زئوترمال دما – پایین متوسط وهمچنین پسابهای خروجی از دستگاههای جدا ساز در حوزه‌های ژئوترمال آب – غالب پدیدار گشته است. سیستم‌های دو سیاله همچنین می توانند درجاهایی مورداستفاده قرارگیرند که لازم است ترجیحا از پاشش سیالات ژئوترمال جلوگیری شود.

کاربردهای حرارتی مستقیم

کاربردهای حرارتی مستقیم، یکی از قدیمی ترین، متنوع ترین ومتداولترین روشهای بهره برداری از انرژی ژئوترمال بشمار می‌رود. گرمایش محیطی ومنطقه‌ای، کاربردهای کشاورزی وآبزی پروری جزءشناخته شده ترین وفراگیرترین روش‌های بهره‌برداری بشمار می‌روند.سیستم‌های گرمایش منطقه ای ژئوترمال نیازمندسرمایه‌گذاری‌های هنگفت می باشند.یک عامل تاثیر گذار دربرآوردهزینه اولیه سیستم، دانسیته بار حرارتی است که از تقسیم حرارت مورد نیاز برسطح زیر بنای منطقه حاصل می شود.دانسیته حرارتی بالانمایانگرتوجیه اقتصادی یک پروژه گرمایش منطقه‌ای است. با ترکیب سرمایش وگرمایش در مناطقی که از شرایط آب وهوایی مساعدی برخوردار می باشند، می‌توان به منافع اقتصادی بیشتری دست یافت. (سهیل پرخیال ودیگران :۱۳۸٤ ۳٤).

گرمایش وسرمایش محیطی ومنطقه ای

طی قرون متمادی، استفاده از انرژی ژئوترمال به مواردی همچون استحمام و شستشو خلاصه می‌شد، که در این رابطه می‌توان به حمام‌های باستانی چین و ژاپن و همچنین حمام‌های متعددی که در دوران حکومت امپراطوری روم در سواحل دریای مدیترانه و اروپای غربی دایرگردیدند، اشاره نمود. گرمایش محیطی یکی از موفقیت‌آمیزترین کاربردهای کنونی انرژی به شمار می‌روند. هم اینک بیش از بیست کشور درجهان، انرژی ژئوترمال را برای همین منظور خاص مورد استفاده قرار می‌دهند. از آنجائیکه دمای ایده‌آل این نوع کاربرد خاص در محدوده دماهای پایین (بطور کلی پایین‌تر از ۱۰۰درجه سانتی‌گراد) واقع است، لذا تردیدی نیست که استفاده از انرژی ژئوترمال در این زمینه کاربردی بطور قابل ملاحظه‌ای در سرتاسرجهان گسترش یابد.

آب داغ در محدوده دمایی ۱۲۵- ٦۰درجه سانتی‌گراد برای گرمایش محیط بوسیله رادیاتورهای آب داغ مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از سایر روش‌های گرمایش محیطی نظیر (گرمایش بوسیله صفحات تابان۱)که در آن، لوله‌هایی به روش توکار در کف محوطه یا سقف آن کار گذاشته می‌شوند می‌توان آب‌های ژئوترمال را در محدوده دمایی ٤۰-۳۵ درجه سانتی‌گراد را نیز مورد بهره‌برداری قرار داد. انرژی حرارتی قابل استحصال از چنین آب‌های دما-پایینی طبیعتا بسیار کمتر از آبهای دما-بالا خواهدبود، ضمن اینکه بهره‌برداری از آب‌های ژئوترمال با دمای پایین‌تر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بسیار مشکل است، می‌توان دو روش فوق را بصورت آبشاری (متوالی) با یکدیگر ترکیب نمود. هرچه دمای آب موجود در منبع ژئوترمال بیشتر باشد، ارزش آن منبع نیز بیشتر خواهد بود. معمولاً دمای ٦۰درجه سانتی‌گراد بعنوان حداقل دمای مفید سیال اولیه (سیال ژئوترمال) در کاربردهای گرمایشی در نظر گرفته می‌شود. بازده استحصال انرژی به میزان افت دمای آب از ابتدای مسیر تا انتهای آن بستگی دارد. (پرخیال ودیگران :۱۳۸۲: ۱۱۳-۱۱۱). فاصله منبع ژئوترمال از بازار مصرف، پارامتر بسیار مهمی در رابطه با توجیه فنی و اقتصادی سیستم گرمایشی بشمار می‌رود. مقدار جمعیت و نرخ تراکم آن در هر ناحیه خاصی که قرار است یک سیستم گرمایشی منطقه‌ای راه‌اندازی شود، از جمله ملزوماتی است که باید بدقت ارزیابی شود. نرخ رشد جمعیت (مثلاً برای ۳۰- ۲۰ سال آینده) نیز باید بدقت برآورد گردد. همچنین ویژگی‌های افت حرارتی انواع ساختمانی موجود در منطقه بعلاوه میانگین فضای اشغال شده توسط هر شخص باید مورد ملاحظه وبررسی قرار داده شود.آگاهی کافی در مورد ویژگی‌های ذخیره حرارتی انواع ساختمانها، با توجه به موقعیت مکانی آنها، باید وجود داشته باشد.در این رابطه جنس مصالح ساختمانی یک عامل مهم به شمارمی رود. (پرخیال ودیگران : ۱۳۸۲: ۲۰-۱۱۹).

سرمایش محیطی، گزینه دیگری است که چنانچه امکان سازگاری دادن ماشین‌های جذبی با کاربردهای ژئوترمال وجود داشته باشد، می‌توان به آن صورت عینی و عملی بخشید. تکنولوژی این ماشین‌ها بخوبی شناخته شده است و می‌توان بسهولت در بازار به آنها دسترسی پیداکرد. سیکل جذبی، فرایندی است که در آن بجای الکتریسته از گرما بعنوان منبع انرژی، استفاده می‌شود. عمل تبرید با استفاده از دو سیال انجام می‌پذیرد: یک مبرد که دائماً در سیکل به جریان درمی‌آید، تبخیر می‌شود و کندانس می‌گردد و یک سیال ثانویه یا جاذب.

کاربردهای کشاورزی

کاربردهای کشاورزی سیالات ژئوترمال عبارتند از کشاورزی در زمین‌های روباز و گرمایش گلخانه‌ها آب گرم می‌تواند در کشاورزی روباز برای آبیاری و یا گرمایش خاک مورد استفاده قرار گیرد. بزرگترین مانع در راه استفاده از آب گرم برای آبیاری زمین‌های کشاورزی اینست که برای ایجاد تغییر لازم در دمای خاک به مقدار فراوانی آب در دماهای به حد کفایت پایین نیاز است تا از ایراد خسارات به گیاهانی که سرتاسر زمین‌ها را به اشغال خود در آورده‌اند، جلوگیری شود. بهترین راه حل برای رفع این معضل ترکیب گرمایش خاک و آبیاری است. یکی دیگر از مهمترین معایب استفاده از انرژی ژئوترمال در گلخانه‌ها هزینه‌های سرمایه گذاری نسبتاً هنگفتی است که برای حفر چاه و ساخت سیستم‌های انتقالی و کنترلی، که ممکن است فقط در بخشی از سال مورد استفاده قرارگیرند، لازم است. ترکیب شیمیایی آب‌های ژئوترمال مورد استفاده در فرایند آبیاری باید بدقت تحت نظر قرار گیرند تا از اثرات نامطلوب آن به روی گیاهان

جلوگیری شود. (پرخیال ودیگران : ۱۳۸۲ :۱۹۵).

مزایای اصلی کنترل دما در کشاورزی روباز عبارتند از: الف) پیشگیری از بروز خساراتی که در صورت وقوع افت‌های دمایی شدید، حیات گیاهان را تهدید می‌کند. ب) طولانی شدن فصل رویش، افزایش رشد گیاه ورونق تولید ج) استریلیزه شدن خاک.

با اینحال رایج‌ترین کاربرد انرژی ژئوترمال در بخش کشاورزی به گرمایش گلخانه‌ها اختصاص دارد که از رشد بسیار خوبی در سرتاسر جهان برخورداراست. کشت انواع سبزیجات و گل‌ها، خارج از فصل طبیعی، یا در شرایط آبوهوایی غیرطبیعی، هم اینک با استفاده از تکنولوزی پیشرفته‌ای که کارایی خود را در موارد متعدد به اثبات رسانده است قابل اجرا می‌باشد. بسیاری از کشورهای اروپای و غیر اروپای (جدول۳)، در حال کسب تجربه در این زمینه کاربردی خاص می‌باشند و هم‌اینک با بهره‌برداری قانونمند از منابع انرژی ژئوترمال، اقدام به تولید تجاری و خارج از فصل انواع سبزیجات، گلها ومیوه‌ها می‌نمایند.

(سهیل پرخیال و دیگران:۱۳۸۲ : ۳۷). جدول (۳) :گلخانه‌های ژئوترمال در جهان

منبع: (سهیل پرخیال ودیگران:۱۳۸٤ :۱۸۵)

علاوه بر سبزیجات وگیاهان می‌توان شرایط بهینه رشد حیوانات اهلی و گونه‌های آبزی و کیفیت وکمیت تولید آنها را، تا حد زیادی ارتقاء بخشید. در بسیاری از موارد، آبهای ژئوترمال می‌توانند در ترکیبی از کاربردهای دامپروری، گرمایش گلخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرند..همچنین سیالات داغ ژئوترمال می‌توانند برای پاکیزه نگهداشتن، بهداشتی نمودن و خشک نگه داشتن محل‌های نگهداری حیوانات و ضایعات دور ریز آنها مورد استفاده قرار گیرند. (سهیل پرخیال ودیگران:۱۳۸۲ : ۳۸)

چندین دلایل انتخاب انرژی ژئوترمال برای استفاده در زمینه کشت گلخانه‌ای عبارتند از : ۱- ارتباط مکانی خوبی که بین نواحی تولید محصول گلخانه ای ومخازن انتالپی – پایین وجود دارد.۲- گلخانه‌ها یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان انرژی انتالپی–پایین در بخش کشاورزی هستند.۳- قابلیت رقابت‌پذیری اقتصادی انرژی ژئوترمال برای تأمین نیاز حرارتی گلخانه‌ها در بیشتر مناطق ٤- اهمیت استراتژیک آن دسته از منابع انرژی که ساکنین مناطق خاص می‌توانند از آنها برای رفع احتیاجات غذایی خود استفاده کنند.

بعنوان یک قاعده کلی نمی‌توان مدعی شد که گرمایش گلخانه‌ای، بهترین شکل بهره‌برداری از منابع ژئوترمال بشمار می‌روند. هر ناحیه باید بطور جداگانه مورد ارزیابی و سنجش قرار داده شود، زیرا فاکتورهای مکانی نقش انکارناپذیری را در اتخاذ تصمیمات نهایی ایفا می‌کنند. (سهیل پرخیال ودیگران:۱۳۸۲ :۱۸٦).

آبزی پروری

یکی از رایج‌ترین و سود آورترین کاربردهای مستقیم انرژی ژئوترمال، آبزی‌پروری است. آبزی‌پروری به معنای پرورش ارگانیسم آب شیرین یا آب‌شور در یک محیط کنترل شده با هدف افزایش نرخ تولید می‌باشد. مهمترین گونه‌هایی که معمولا اقدام به پرورش آنها می‌شود عبارتند از آبزیانی نظیر ماهی کپور، گربه ماهی، ماهی خاردارتیلاپیا، ماهی سفید و انواع مار ماهی، قزل‌آلا، سگ‌ماهی، میگو و گونه‌های دیگر (LUND:۱۳۸۵:٦-۸).شکل دیگری از آبزی‌پروری که هم اینک در حال گسترش است و انتظار می‌رودکه در آینده اهمیت بیشتری پیدا کند، پرورش ریز جلبک‌های غنی از پروتئین نظیر اسپرولینا۱ می‌باشد.

استفاده از انرژی ژئوترمال برای پرورش آبزیان براستفاده از انرژی طبیعی خورشید ارجحیت دارد.زیرا ثابت شده است که با استفاده از انرزی ژئوترمال می‌توان ماهی بیشتری را در دوره زمانی کوتاهتری تولید کرد (سهیل پرخیال ودیگران: ۱۳۸۲:۲۲۵). از این رو یک جریان خوب ژئوترمال، بدلیل دمای ثابتش می‌تواند شرایط زیستی طبیعی و معتدلی ایجاد کند. حداکثر مساحتی که می‌تواند برای یک استخر پرورش ماهی در نظر گرفته شود، محدود به حداکثر حرارتی است که می‌توان از طریق منبع بدان دست یافت. برای تعیین نرخ اتلافات حرارتی استخرهای پرورش آبزیان ابتدا لازم است دمایی را که می‌خواهیم آب رادرآن دما ثابت نگه داریم، مشخص نماییم. روش‌های چندی از جمله استفاده از روکش سطحی، حصار کشی برفرازسطح استخر، استفاده از ذخیره حرارتی آب استخر نیز برای کاهش پیک نیاز حرارتی استخر یا حوضچه پرورش آبزیان موجود می‌باشد.

کاربردهای صنعتی

انرژی ژئوترمال می‌تواند به طریق گوناگون در حوزه صنعت مورد استفاده قرار گیرد. روش مرسوم در جهت بهره‌برداری از سیالات ژئوترمال در صنایع پیشنهادی اینست که صنعت مورد نظر را با شرایط خاص این سیالات وفق دهیم. روش دیگر اینست که بالعکس، سیالات ژئوترمال را با صنعت مورد نظر وفق دهیم (سهیل پرخیال ودیگران:۱۳۸۲:۲٤٤). با اینکه انتظار می‌رود در آینده شاهد توسعه روز افزون کاربردهای صنعتی ژئوترمال باشیم، اما هم اینک تعداد کاربردهای فراگیر در سراسر دنیا نسبتا محدود است. با وجود این می‌توان محدوده نسبتا وسیعی از کاربردها شامل فراوری خمیر وکاغذ و خشک کردن الوار در صنایع چوب، خشک کردن محصولات (فراوری یونجه، خشک کردن غلات، خشک کردن سبزی ومیوه، فراوری سیب زمینی، پرورش قارچ)در صنایع غذایی، بازیافت موادشیمیایی، تصفیه فاضلاب و تولید نمک و اسید بوریک در صنایع شیمیایی، فراوری خاک سیلیسی مرغوب و شستشوی توده‌ای خاک با هدف بازیافت فلزات گرانبها در صنایع معدنی را مورد اشاره قرار داد(سهیل پرخیال ودیگران: ۱۳۸۲ :۲۹٦-۲٤۷).

کاربردهای صنعتی معمولاً نیازمند استفاده از بخار آب اشباع یا بخار آب سوپرهیت می‌باشند، در حالی‌که کاربردهای کشاورزی می‌توانند سیالت ژئوترمال با دمای پایین‌تر را مورد استفاده قرار دهند. مزایای حاصل از بکارگیری سیستم‌های گرمایشی ژئوترمال، رفع خطرات احتمالی ناشی از وجود آتش، عدم آلودگی یا دوده‌گیری محصول (بدلیل عدم وجود گازهای حاصل از احتراق در جریان هوا) وخذف سوخت‌های رایج می‌باشد. قدیمی‌ترین کاربرد شناخته شده انرژی ژئوترمال در صنعت در

جدول (٤): احتمال وقوع وشدت تبعات زیست محیطی پروژهای استفاده - مستقیم ژئوترمال

نوع تخریب زیست محیطی	احتمال وقوع	شدت وقوع
آلودگی هوا	کم	متوسط
آلودگی آبهای سطحی	متوسط	متوسط
آلودگی اعماق زمین	کم	متوسط
نشست زمین	کم	کم الی متوسط
آلودگی صوتی	زیاد	کم الی متوسط
آلایندههای خروجی از چاه	کم	کم الی کمتوسط
مغایرت با ویژگیهای فرهنگی وتاریخی جامعه	کم الی متوسط	متوسط الی زیاد
معظلات اجتماعی - اقتصادی	کم	کم
آلودگی شیمیای یا حرارتی	کم	متوسط الی زیاد
تخلیه ضایعات جامد	متوسط	متوسط الی زیاد

منبع: (سهیل پرخیال ودیگران : ۱۳۸۲ :٤۳)

حدود ۱۵۰۰سال پیش از میلاد مسیح برای اهداف درمانی و همچنین برای استخراج فراورده‌های شور رسوب یافته در نزدیکی بخار فشان‌ها در کشور ایتالیا به ثبت رسیده است. شستشوی توده‌های عظیم خاک در یک معدن طلا در ایالت نوادای امریکا (با هدف بازیافت فلزات گرانبها) جدیدترین کاربرد صنعتی ژئوترمال بشمار می‌رود. بزرگترین کاربرد صنعتی ژئوترمال در سطح جهان، یک واحد فراوری خمیر، کاغذ وچوب در کشور زلاندنو، یک واحد فراوری خاک سیلیسی مرغوب در کشور ایسلندویک واحد سبزی خشک کنی در کشور آمریکا می‌باشد. (سهیل پرخیال ودیگران :۱۳۸۲: ۲۵۱-۲۵۰).

تبعات زیست محیطی

در بیشتر موارد، میزان تاثیری که بهره‌برداری از منابع انرژی ژئوترمال به روی محیط زیست می گذارد، باوسعت ابعاد این بهره‌برداری متناسب است. جدول (٤) احتمال وقوع وشدت نسبی تبعات زیست محیطی ناشی از اجرای پروژه‌های استفاده سیستم ژئوترمال را بصورت فهرست وار نشان می‌دهد. هر تغییری در محیط زیست ما باید بدقت مورد ارزیابی و سنجش قرار گیرد و میزان انطباق آن بر قواعد زیست‌محیطی حاکم، که در برخی از کشورها بسیار سختگیرانه ودقیق تنظیم می شوند، معین گردد. زیرا یک تغییر به ظاهر ناچیز می تواندباعث وقوع زنجیره‌ای از حوادث شود که به سختی می توان پیشاپیش، ارزیابی دقیقی از آنها بعمل آورد.

نخستین اثر مشهود زیست‌محیطی واحدهای نیروگاهی یا غیر نیروگاهی ژئوترمال ناشی از عملیات حفاری است. این فعالیت‌ها شکل ظاهری منطقه را تغییر داده و می‌تواند تهدید جدی برای پوشش گیاهی و حیات‌وحش منطقه قلمداد گردد.

مسایل زیست‌محیطی در حین فعالیت واحد بهره‌برداری‌کننده نیز بوجود می آیند.سیالات ژئوترمال (بخار آب یا آب داغ) معمولاً حاوی گازهای نظیر دی‌اکسیدکربن (CO_2)، سولفید هیدروژن (H_2S)و متان (CH_4)، بعلاوه مواد محلولی می باشندکه معمولاً غلظتشان با دما افزایش می‌یابد. بعنوان مثال، کلرید سدیم (NaCl)، بور (B)، ارسینیک (As)وجیوه (Hg)جزو منابع آلودگی بشمار می‌روند، اگر قرار باشد آنها به محیط اطراف تخلیه شوند (سهیل پرخیال ودیگران: ۱۳۸۲ :٤٥).

آلودگی هوا به هنگام تولید برق در نیروگاه‌های متداول می‌تواند بعنوان یک معضل زیست محیطی عمده قلمداد شود. سولفید هیدروژن یکی از آلایندهای اصلی است. حداکثر غلظت مجاز سولفید هیدروژن در هوا، بواسطه بوی نامطبوعش، در حدود ۵ جزء در هر یک میلیارد جزء حجمی هواست و چنانچه غلظت آن حتی اندکی از حد مجاز فراتر رود، تبعات فیزیولوژیکی جبران‌ناپذیری بروز خواهد نمود. (WERES:۱۹۸٤: ٤٤). استخراج مقادیر فراوانی از سیالات ژئوترمال از منابع آبی زیرزمینی می‌تواند باعث وقوع زمین لرزه یا تشدید آن در نواحی خاص شود. با این حال این زمین لرزه‌ها خیلی خفیف می‌باشند و بنظر نمی‌رسد که بهره‌برداری از منابع کوچک ژئوترمال باعث وقوع زمین لرزه‌های شدید شود و تا کنون نیز هرگز چنین اتفاقی نیافتاده است. آلودگی صوتی ناشی از فعالیت واحدهای ژئوترمال را می‌توان در مواردی که واحد به تولید انرژی الکتریکی می‌پردازد، یک معضل زیست محیطی قلمداد نمود. آلودگی صوتی واحدهای حرارتی مستقیم معمولا جزئی و قابل صرفنظر است (سهیل پرخیال ودیگران : ۱۳۸۲ :٤٦). انرژی ژئوترمال نسبتا عاری از مسائل آلودگی است. حتی نیروگاه‌های برق ژئوترمال که از بخار آب دما-بالا استفاده می‌کنند در مقایسه با نیروگاه‌های سوخت فسیلی، دی اکسید کربن کمتری به محیط اطراف تخلیه می‌کنند و چنانچه از سیالات دما-پایین استفاده شود، همین انتشارات گازی اندک را نیز می‌توان مورد چشم پوشی قرار داد. برخی ترکیبات شیمیایی آب ژئوترمال ممکن است نیاز به مشاهده وکنترل دائمی در مواردی داشته باشند که غلظت‌های آنها از محدوده‌های مجاز آلودگی فراتر رفته باشد، اما این محدوده‌ها برای آب ممکن است بسته به نوع کاربرد تا حدودی با یکدیگر متفاوت باشند. بور، بعنوان مثال، برای رشد گیاهان مضر است و باید در کلیه موارد از ورود آن به آب آبیاری جلوگیری کرد. فلزات فرار، نظیر جیوه که برای ارگانیسم‌ها (گونه‌های گیاهی و جانوری) سمی و مضر می‌باشند، همگی غافلگیر کننده‌ترند، زیرا در بافت‌های سلولی بدن جمع می‌شوند و در نتیجه باعث وارد آمدن آسیب‌های جدی در یک مدت زمان کوتاه و افزایش غلظت

اینگونه مواد در زنجیره‌های غذایی می‌شوند.

در موارد حاد، پساب ژئوترمال در یک دمای ٤٠- ۳۵درجه سانتی‌گراد ممکن است ناچارا به درون نهرها، رودها یا دریاچه‌ها تخلیه شود. بسیاری از گونه‌های جانوری وگیاهی نسبت به تغییرات دما حساسند وتغییرات دمایی پایدار به میزان ۱ درجه سانتی‌گراد یا کمتر از آن می‌تواند باعث ایجاد تغییرات شدید در اکوسیستم‌های موجود در آب شود. غالبا از تولیدکنندگان انرژی ژئوترمال خواسته می‌شود تا سیالات مصرفی‌شان را طی یک روش مرکب، مثلاً با پیش (سرد کردن در استخرها، با تزریق مجدد به اعماق ودر برخی موارد با حفر کانال‌های یا ساخت خطوط لوله‌ای که به اقیانوس‌ها منتهی می‌شوند دور بریزند (PIATTI:۱۹۹۲:۵۵۸).

باید در انتخاب مکان‌های گودبرداری، محل حفرچاه و مسیر جاده‌های مواصلاتی دقت کافی را مبذول داشت. و فرسایش خاک وگیاه را که ممکن است باعث ایجاد تغییراتی در اکوسیستم‌های موجود در منطقه شود، باید بدقت تحت نظر قرار داد. بخصوص برای پروژه‌های ژئوترمال، نشست زمین و تکان‌های احتمالی حاصله جزء تبعات مخربی بشمار می‌روند که از اهمیت بیشتری برخوردارند و پروژه‌های ژئوترمال ممکن است باعث ایجاد تغییراتی در چشم‌انداز عمومی منطقه شوند، مثلا باعث ناپدید شدن چشمه‌های آب داغ و پدیدار شدن منافذ خروج بخار شوند، که این امر فارغ از جنبه‌های زیباشناختی موضوع، می‌تواند تاثیرات مخربی بر صنعت توریسم منطقه داشته باشد. (سهیل پرخیال ودیگران :۱۳۸۲ :۱۵۲).

نتیجه گیری

امروزه بسیاری از کشورهای جهان، تلاشی جدی را برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر آغاز نموده‌اند، بطوری‌که جامعه جهانی امیدوار است تا با اتخاذ سیاست‌ها و اقدامات جدی در این زمینه از جانب دولت‌مردان و خبرگان فنی شاهد رشد و گسترش هرچه بیشتر این انرژی‌ها در سرتاسر جهان باشد. انرژی زمین‌گرمایی، یکی ازمنابع عمده انرژی‌های تجدیدپذیر است که جوانب مثبت زیست‌محیطی آن طیف وسیعی از موارد را شامل می‌گردد. انرژی ژئوترمال در صورت بهره‌برداری صحیح می‌تواند نقش مهمی را در موازنه انرژی بسیاری از کشورها ایفا نماید. به‌ویژه منابع کوچک ژئوترمال می‌توانند ما را در رفع معضلات متعدد محلی ورشد استانداردهای زندگی جوامع کوچک و مجزا یاری دهند. (پرخیال ودیگران :۱۳۸۲ :٤۹- ٤۷).

با وجود منافع متعددی که از بهره‌برداری منابع ژئوترمال بدست می‌آید، با اینحال، این فرض که انرژی ژئوترمال می‌تواند تمامی معضلات انرژی ما را برطرف سازد و بهره‌برداری از منابع این انرژی در هر مکان و تحت هر شرایطی با موفقیت همراه خواهد بود، فرض بیهوده و تلقی اشتباهی است.منابع ژئوترمال (یعنی آن بخش از حرارت زمین که توسط بشر قابل استحصال است) برخلاف عقاید رایج تجدیدپذیر نمی‌باشند. بهره‌برداری تقریبا مداوم از این منابع باعث وقوع فرایندهای فیزیکی و شیمیایی خاصی در اعماق زمین می‌شود که در کنار فرایندهای طبیعی موجود باعث تهی شدن منابع خواهند شد.

بهره‌برداری و قابل استفاده کردن انرژی زمین‌گرمایی سبب کاهش مصرف دیگر انرژی‌های موجود می‌شود. با توجه به نکات جالب اقتصادی در بهره‌برداری از امکاناتی که گرمای درون زمین به ما ارائه می‌دهد، نکات زیست‌محیطی مفیدی مانند کاهش دی‌اکسیدکربن را نیز به همراه دارد. (کامیار : ۱۳۸۲ :٤۰).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

۱ - ثقفی، محمود، انرژی‌های تجدید پذیر نوین، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم ۱۳۸۲.

۲ - کامیار، حمید رضا، ژئوترمال، انتشارات شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر)، ۱۳۸۲.

۳ - مری دیکسون، ماریوفانلی، ترجمه پرخیال، سهیل، عبدالمحمدی، علی، کهربابیان، احمد، وزارت نیرو، ۱۳۸۲.

٤ - هرمان باوئر، ترجمه لطفی صدیق، احمد، انتشارات دانشگاه صنعتی سهندتبریز، ۱۳۷٤.

5. BARBIER، E. and FANELLI، M.، Non – electrical uses of geothermal energy، prog. Energy Combustion Sci.، 3، 1977:73–103.

6. CECCARELLI، R.، Aquaculture plants with geothermal energy، in; Direct Application of Geothermal Energy. Guideline and Text – book ، International Summer School، Skopje، 1990، pp.21.1 – 21. 12.

7. KERNFORSCHUNGSANLAGE juellich (1977): Das Hot – Dry – Rock Projiect.

4. LUND، j. W. Agriculture and aquaculture، applications of geothermal energy، Bull. Geo- Heat Center، 9، 1985: 6 – 8.

8. PIATTI، A.، PIEMONTE، C. and SZEGO، E. planning of Geothermal District Heating Syatem، Kluwer Academic Puplishers، Dordrecht، 1992، 308pp.

9. WERES، O. Environmental Protection and the Chemistry of Geothermal Fluids، Lawrence Berkeley Lab. ، Report LBL 14403، California، 1984: 44 pp.

10. WHITE، D. E. 1973.Characteristics of Geothermal Resources. In Geothermal Energy، p. kruger and C. otte (eds)، Stanford University Press Stanford، Cal.، pp.60 – 94.

11. www.uneptie.org/energy.