چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علـوم زمیـــن
The 42nd National
Geosciences Congress
www.geoconf.ir

بررسی منشاء کاربرد و اثرات انرژی زمین گرمایی و شناسایی منابع آن

محمد شجاعی باغینی[1]، فاطمه هاشمی نژاد[2]

[1]فوق لیسانس زمین شناسی نفت دانشگاه شهید بهشتی، تهران m.shojaei9990@gmail.com

[2] دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه شهید باهنر، کرمان fatemehhasheminejad6170@gmail.com

چکیده

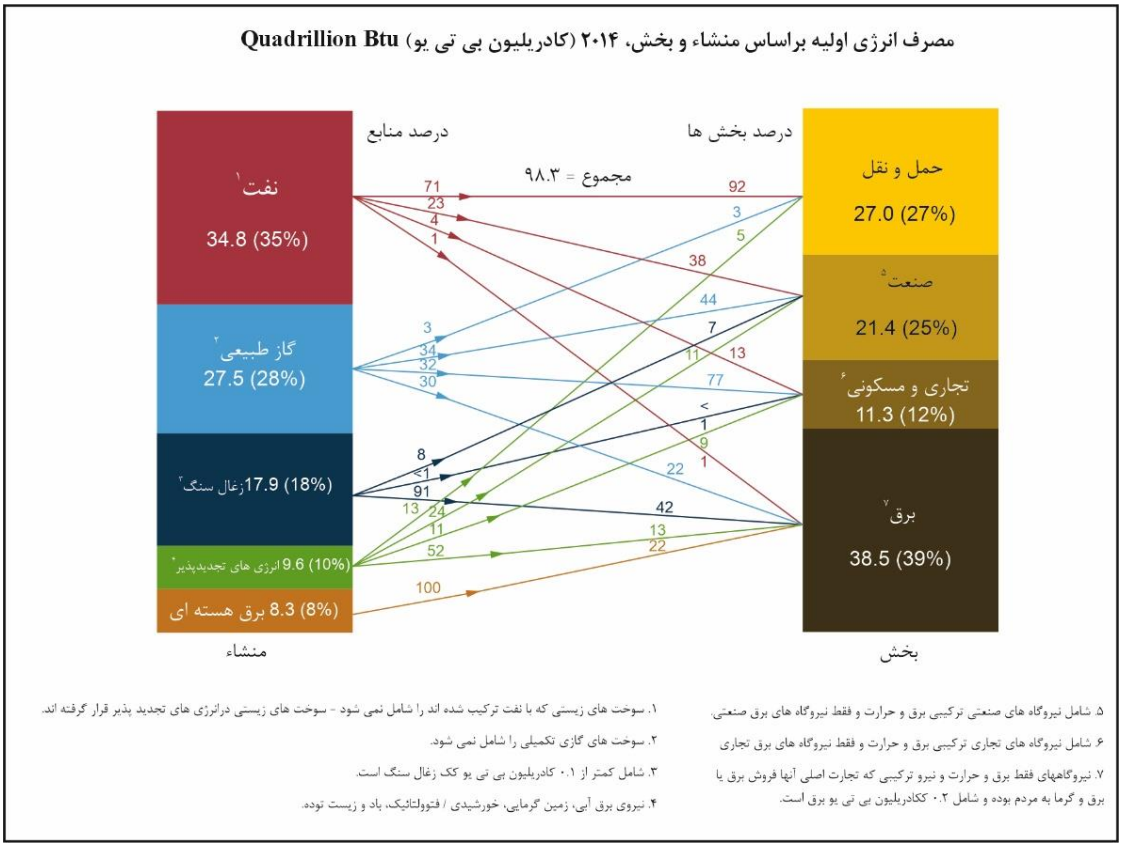
تامین نیاز امروز و آینده بشر به انرژی همواره مورد تحقیق و بررسی محققان قرار داشته است، انرژی های محدود تجدید ناپذیر مانند نفت، گاز و انرژی های فسیلی رو به اتمام و فزونی تقاضای انرژی می‌تواند باعث ایجاد مشکل در آینده‌ای نه چندان دور برای بشریت شود، چرا که منابع نفت و گاز تا یک و منابع زغال سنگ تا دو قرن دیگر پایان می‌یابند. یکی از منبع های بسیار عظیمی که می‌تواند جایگزین انرژی های تجدید ناپذیر شده و نیاز بشر به انرژی را تامین کند انرژی زمین گرمایی می‌باشد. این انرژی سومین نوع انرژی های نو بوده که مطالعات آن برای تامین انرژی جهان رو به پیشرفت است. در این مسیر اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک جهت شناسایی منابع زمین گرمایی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و در مطالعات شناسایی و اکتشاف مقدماتی و تکمیلی جهت بررسی محدوده و ویژگی های منبع مورد استفاده قرار می‌گیرند، از این رو شناخت این اطلاعات امری ضروری بوده که در این مقاله به قسمتی از آن ها اشاره گردیده است. استفاده از انرژی زمین گرمایی صرفا فاقد آلودگی نیست و در کنار کاربرد های بسیار، ورود اندک آلاینده به صورت های متفاوت در محیط و ایجاد اختلال های آب و هوایی جزء آلودگی های زیست محیطی این انرژی بوده که یکی از راه های مقابله با این موضوع، استفاده از دی اکسید کربن فوق بحرانی در زمان استخراج انرژی زمین گرمایی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

انرژی زمین گرمایی، اکتشاف، منشاء انرژی زمین گرمایی، دی اکسید کربن فوق بحرانی، استخراج

۱. مقدمه

درحال حاضر سوخت های فسیلی زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی متداول ترین منابع مورد استفاده بشر می‌باشند (شکل ۱). البته نقطه ضعف استفاده مداوم یا تکیه بر سوخت‌های فسیلی، مشارکت پیوسته آنها از گازهای گلخانه‌ای جو بوده که در حال حاضر توسط اکثر دانشمندان به عنوان تسریع کننده تغییرات آب و هوایی در نظر گرفته می‌شود [4].



شکل۱. مصرف انرژی اولیه بر اساس منشاء و بخش در سال ۲۰۱۴. برق بزرگترین مصرف کننده انرژی و سوزاندن زغال سنگ بزرگترین منشاء انرژی (۴۲٪) مورد استفاده در تولید برق می‌باشد[5] .

۲. تاریخچه

گذشتگان از داغ بودن برخی از نقاط درونی زمین از طریق وجود کوه های آتشفشانی مطلع بوده‌اند. زمانی که سطح زمین در میان قرن های شانزده و هفده تا عمق چند صد متری حفاری گردید، این شناخت به حداکثر میزان خود رسید و مفهوم افزایش دما با افزایش عمق درک گردید [1]. حرارت منشاء گرفته از ماگما یا مواد مذاب که از طریق یک سیال (آب داغ، بخار یا هردو) به سطح زمین می‌رسد، باعث ایجاد انرژی زمین گرمایی می‌شود. این انرژی در ایتالیا به عنوان یک منبع برق در سال ۱۹۰۴ مورد استفاده قرار گرفت و پس از آن نیروگاه های زمین گرمایی در زلاندنو و گایزرز به ترتیب در سال های ۱۹۵۸ و ۱۹۶۰ مورد بهره‌برداری قرار گرفتند [2]. حفر اولین چاه های زمین گرمایی در ژاپن و آمریکا در سال های ۱۹۱۹ و ۱۹۲۱ صورت گرفت. فراهم‌سازی حرارت مورد نیاز منازل از طریق استخراج سیالات زمین گرمایی توسط کشور ایسلند در سال ۱۹۲۸ انجام شد. در ایران نیز مشخص گردید مناطق دماوند، سبلان، ماکو، سهند و خوی در تحقیقاتی که وزارت نیرو با همکاری ENEL (مهندسین مشاور ایتالیایی) از سال ۱۳۵۴ صورت گرفت، مساعد بهره برداری از انرژی گرمایی در مساحت بیش از ۳۰ هزار کیلومتر می‌باشند.

۳. انواع و تقسیم‌بندی منشاء های انرژی زمین گرمایی

منبع حرارتی، سنگ مخزن، سنگ‌پوش و سیال چهار عامل حیاتی لازم برای تشکیل و تکامل سیستم انرژی زمین گرمایی بوده و در کنارهم قرار گرفتن این عوامل می‌تواند باعث تشکیل یک سیستم انرژی زمین گرمایی گردند. قسمتی از منابع این انرژی که قابل دسترسی بوده و بهره‌برداری از آن صرفه اقتصادی داشته باشد، قسمت مفید منابع قابل دسترسی انرژی زمین گرمایی نام دارد. منابع موجه اقتصادی به قسمتی از منابع مفید انرژی زمین گرمایی گفته می‌شود که منابعی با سطوح معین تشکیل می‌دهند. منشاء تحت فشار، منشاء بخار خشک، منشاء سنگ های خشک داغ، مواد مذاب و منشاء آب داغ یا هیدروترمال گروههای اصلی منشاء های انرژی زمین گرمایی می‌باشند[3]. در منشاء تحت فشار که در لایه های بین صخره های اعماق زمین وجود دارد، دما به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. این منشاء حاوی گاز متان محلول و آب شور بوده که به درجه اشباع رسیده است. این نوع منشاء از سوختن گاز متان محلول می‌تواند در کنار انرژی حرارتی و هیدرولیکی، انرژی شیمیایی نیز تولید کند. منشاء های بخار خشک که به عنوان کمیاب‌ترین منشاء های انرژی زمین گرمایی شناخته می‌شود، درجه حرارت خیلی بالایی داشته و از آن بخار خشک و آب با درجه بالا استحصال می‌گردد. داشتن فیزیک سخت، عمق و درجه حرارت زیاد از ویژگی های منشاء سنگ های خشک داغ می‌باشد. مواد مذاب منشاء عظیمی از انرژی زمین گرمایی به شمار می‌روند که درجه حرارت آن تا ۲ هزار درجه سانتی‌گراد می‌رسد، اما متاسفانه به دلیل وجود محدودیت این منشاء در حال حاضر استفاده‌ای ندارند. آب هایی که در عمق زمین داغ شده و سپس به سطح زمین راه پیدا می‌کنند منشاء هیدروترمال داشته و در مصارف گرمایشی و تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرند. این منشاء براساس دمای مخزن به سه گروه کمتر از ۱۰۰، بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ و بالای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد تقسیم می‌شود که گروه دوم و سوم برای تولید برق کاربرد دارند. نوع سیال و دما، دو مقیاس برای تقسیم‌بندی منشاء انرژی زمین گرمایی می‌باشند. بخار غالب، حاوی آب داغ و دوفازی انواع سیال می‌باشد و حرارت اولیه منشاء ، اصلی‌ترین عامل این تقسیم‌بندی بوده به طوری که بیشترین انرژی منتقل شده به سنگ مخزن و آب های جوی فرورونده در منشاء بخارغالب صورت گرفته و در مخزن زمین گرمایی باعث ایجاد بخار آب می‌گردد. همچنین حرارت پایین، متوسط و بالا نیز تقسیم‌بندی منشاء براساس دما می‌باشد. این دما توسط پژوهشگران به صورت متفاوت بیان شده است که به طور میانگین حرارت پایین، متوسط و بالا به ترتیب کمتر از ۱۱۵، ۱۱۵-۱۹۰ و بالای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشند[6].

۴. نشانه های انرژی زمین گرمایی

وجود مواردی مانند آب فشان ها، چشمه های آب گرم، گل فشان، مناطق دگرسان شده، کوه های آتشفشانی فعال و یا بخار و فشار گاز می‌تواند بیانگر وجود انرژی زمین گرمایی باشند که با توجه به نوع نشانه، نوع منشاء می‌تواند متعارف (Conventional)، پنهان (Hidden) و یا بی‌نشان (Blind) باشد. نشانه های دارای سیال و بدون سیال به ترتیب بیانگر منشاء متعارف و پنهان بوده و درصورت نبود هیچ نشانه‌ای، منشاء از نوع بی نشان می‌باشد[7]. نبود نشانه های انرژی زمین گرمایی دارای عوامل مختلفی از جمله ساختار تکتونیکی ناحیه، عمق زیاد سطح ایستابی، انتقال سیال زمین گرمایی به آب اقیانوس یا دریا، بارش های فراوان و سنگ پوش ضخیم لایه می‌باشد[8].

۱.۴. پدیده های زمین شناسی جهت بررسی نشانه ها

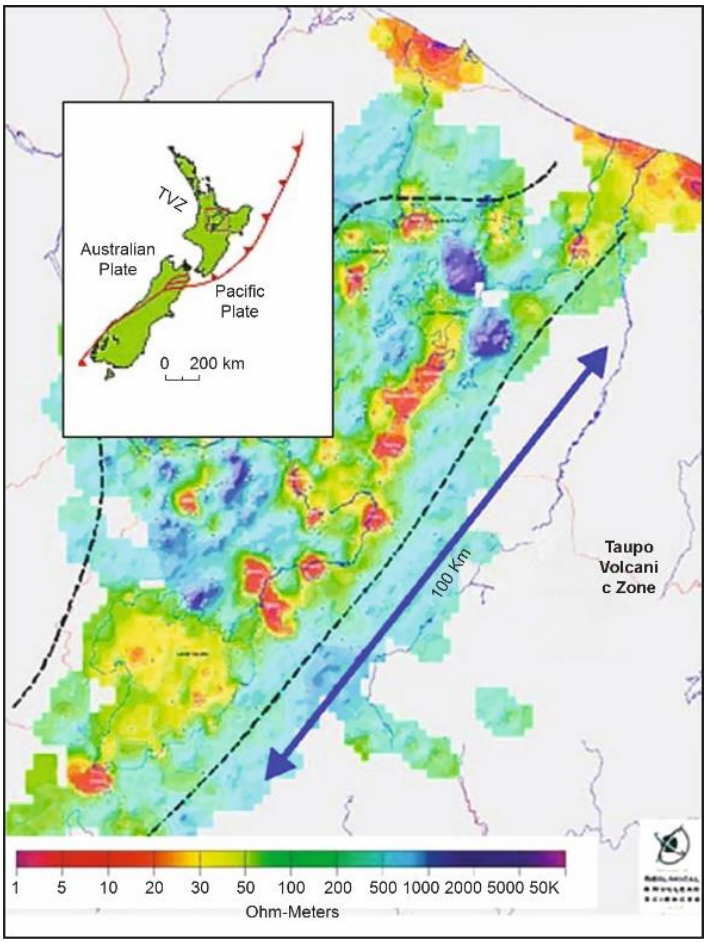
یکی از اصلی ترین پدیده های زمین شناسی مرتبط با انرژی زمین گرمایی، گسل ها می‌باشد که نقش حائز اهمیتی در ایجاد این انرژی دارند. به عبارت دیگر می‌توان گفت که اصلی ترین راه انتقال انرژی گرمایی اعماق زمین به سطح، گسل ها هستند. جهت مطالعه گسل ها ابتدا باید سن فعالیت آن ها مورد بررسی قرار گرفته و سپس میزان لغزش و بازشدگی (Dilation) آن‌ها مورد مطالعه قرار گیرد. انجام این مطالعات نیاز به دانش کافی در مورد وضعیت زمین ساختاری، تنش های تکتونیکی و زون

های شکستگی می‌باشد[9]. همچنین نفوذپذیری سازند ها و حضور رسوبات تراورتن-سیلیس موارد دیگری است که باید در این خصوص مورد بررسی قرار گیرند[10].

۵. اکتشاف سیستم های زمین گرمایی

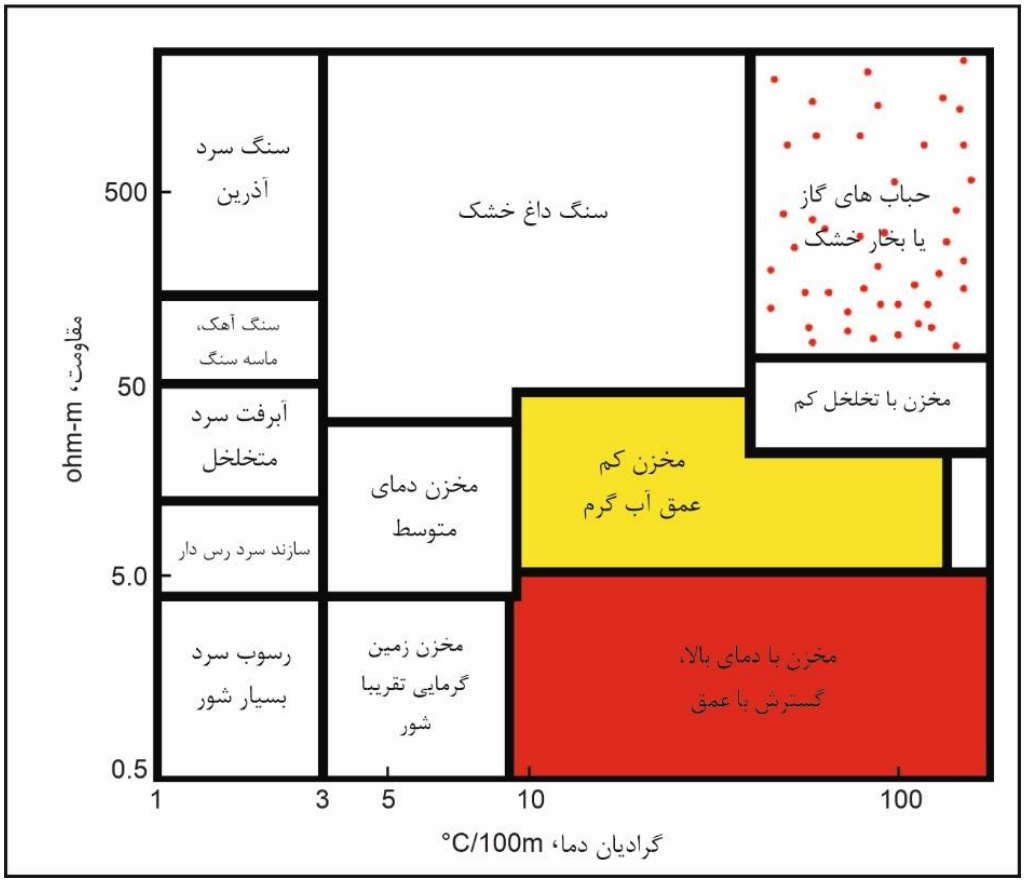
۱.۵. مقاومت الکتریکی و زمین مغناطیس و کشف منابع زمین گرمایی

به طورکلی سنگ ها معمولا مقاومت بالایی دارند و به بیان دیگر، خاصیت رسانایی کمی از خود نشان می‌دهند. با این وجود رس های موجود در مخازن زمین گرمایی رسانای خوبی برای جریان الکتریکی بوده و آب گرم موجود در این مخان با داشتن بار الکتریکی به بالا بردن این رسانایی کمک کرده و در نتیجه باعث کاهش مقاومت می‌گردد. می‌توان از این رفتار در کشف منابع زمین گرمایی استفاده نمود. شکل۱ مطالعات مقاومت الکتریکی در نیوزلند را نشان می‌دهد که موفق به کشف بیش ۱۶ سیستم زمین گرمایی گردیده است. همچنین این مطالعه در نوادا انجام گردیده و یک زون سنگی اندکی مذاب در عمق ۱۵ تا ۲۰ کیلومتری تشخیص داده شد. البته باید به این موضوع توجه کرد که اطمینان تفسیر داده های زمین مغناطیس برای اعماق زیر ۵ کیلومتر، بیشتر می‌باشد.



شکل۱. نقشه مقاومت منطقه آتشفشانی Taupo در نیوزلند. رنگ های گرم مناطق رسانا (کم مقاومت) و رنگ های سرد بیانگر مناطقی با مقاومت بالاتر در خارج از سیستم‌های زمین گرمایی می‌باشد[11].

مقاومت مخازن دارای بخار زمین گرمایی به دلیل ضعیف بودن خاصیت رسانایی گاز برخلاف مخازن دارای سیال، بسیار بالا می‌باشد. از این رو وجود ناهنجاری مقاومت بالا می‌تواند بیانگر حضور مخزن بخار در عمق باشد. تفسیر نشانه های مقاومت به صورت تابعی از گرادیان دما در شکل ۲ نشان داده شده است.

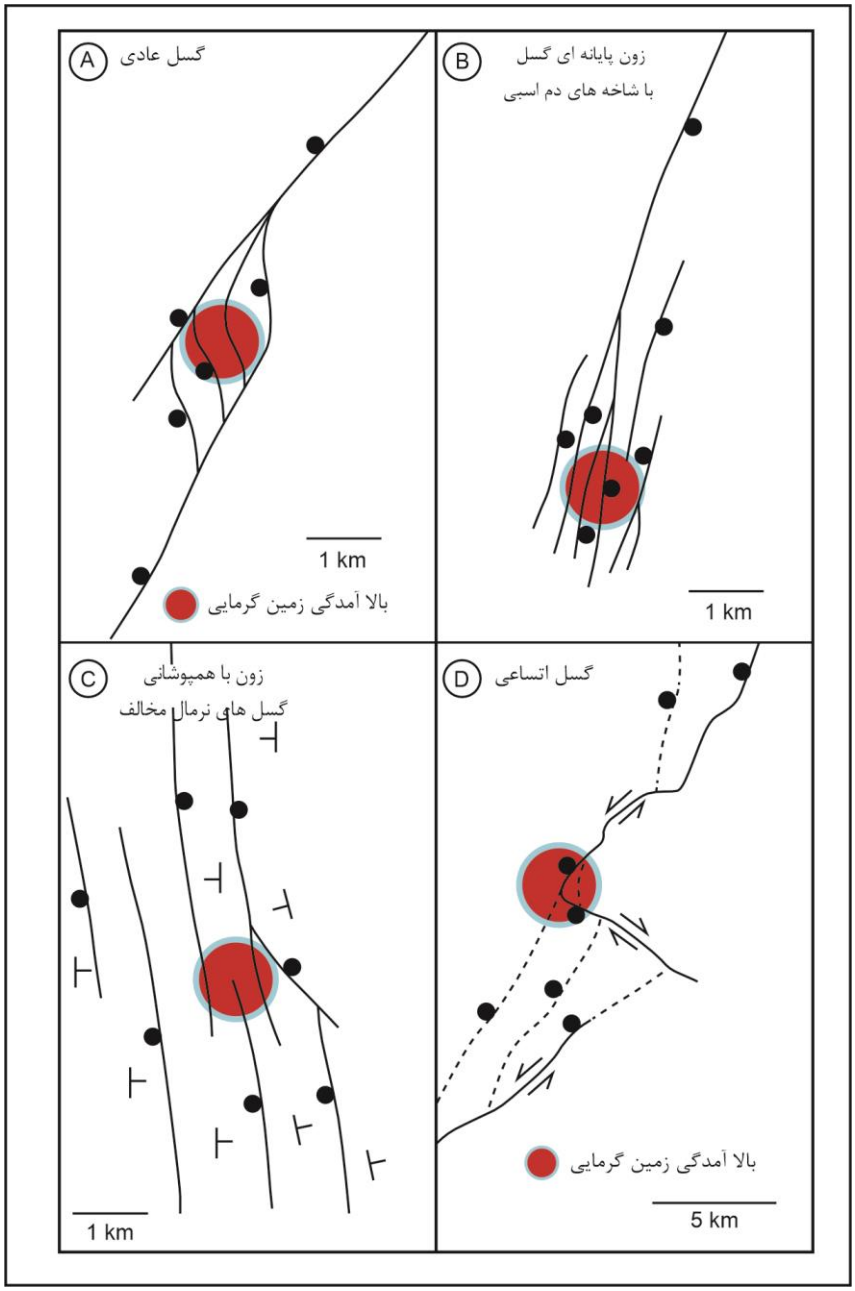


شکل۲. ماتریکس مقاومت در مقابل گرادیان دما و تفسیر احتمالی نوع مخزن[12].

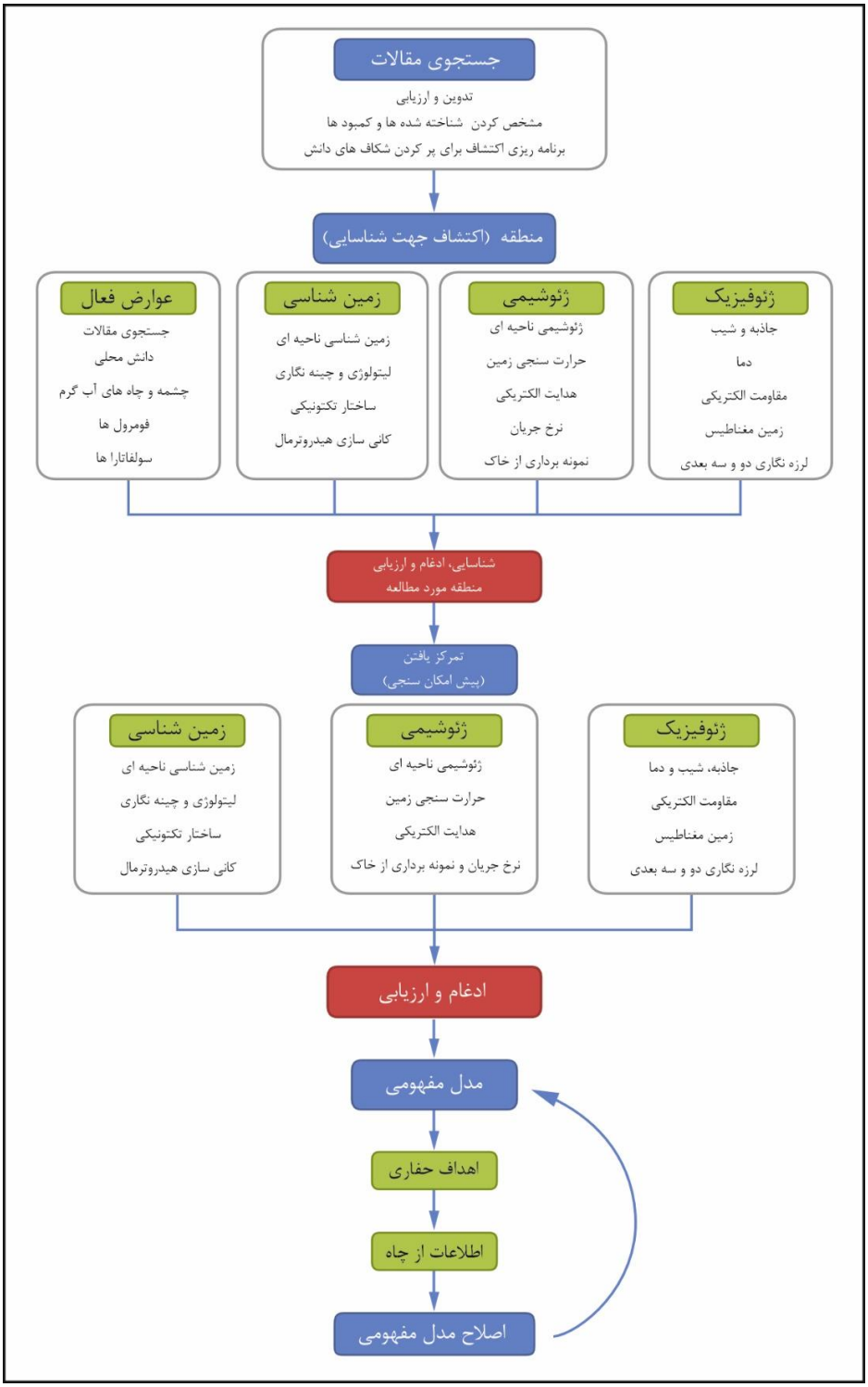
۲.۵. تجزیه و تحلیل ساختاری

بررسی محیط ساختاری گسل ها برای ارزیابی پتانسیل زمین گرمایی امری مهم است زیرا اکثر مخازن زمین گرمایی جهت دوام اقتصادی، به نفوذپذیری های ثانویه و شکستگی ها نیاز دارند. این موضوع توسط دانشگاه نوادا در دهه های گذشته مورد بررسی قرار گرفته است[13]. این مطالعه برروی توصیف محیط ساختاری سیستم های زمین گرمایی حوضه بزرگ (Great Basin) در غرب ایالت متحده آمریکا انجام شده است اما نتایج آن برای همه سیستم های زمین گرمایی در سراسر زمین قابل استفاده می‌باشد، چرا که از ۶ نوع اصلی محیط ساختاری، ۴ مورد از آن ها ۸۵ درصد سیستم های زمین گرمایی این حوضه را تشکیل می‌دهند[14] (شکل۳). نتیجه شگفت انگیز این مطالعه رخ دادن تنها ۳ درصد از ۴۰۰ سیستم زمین گرمایی مورد مطالعه در امتداد بخش های میانی گسل های نرمال اصلی بود. از این رو می‌توان گفت احتمالا به دلیل محدود شدن جریان سیال توسط حضور رس، مناطقی که بیشترین جابجایی گسل را دارند لزوما گزینه مناسبی برای سیستم های زمین گرمایی نمی‌باشند. از طرف دیگر این گسل های اصلی هر چند صد تا چند هزار سال یک بار جهت آزاد کردن تنش حرکت دارند و در

بین این فواصل زمانی گسل با رسوبات پر می‌شود، اما درمورد گسل های کوچکتر مسیر های سیال زمین گرمایی برای گردش باز می‌باشند، چرا که زلزله های پرشماری در این مناطق با شدت کم رخ می‌دهند که از پر شدن شکستگی ها توسط رسوبات جلوگیری می‌کنند. به طورکلی، کشف و توسعه منابع زمین گرمایی به یک رویکرد منظم نیاز دارد که در یک نمودار گردشی به آن پرداخته شده است (شکل ۴). با استفاده از انواع داده می‌توان مراحل اکتشاف را طی نمود و جهت توسعه یک مدل مفهومی مورد استفاده قرار داد.



شکل۳. چهار محیط ساختاری اصلی سیستم های زمین گرمایی: (A) گسل عادی، (B) زون پایانه‌ای گسل با شاخه های دم اسبی، (C) زونی که با همپوشانی گسل های نرمال مخالف مشخص می‌گردد، (D) گسل اتساعی. دایره قرمز بیانگر مناطق اصلی زمین گرمایی و بالا آمدگی در نواحی با تراکم گسل، شکستگی و نفوذپذیری زیاد[15].



شکل۴. نمودار گردشی مراحل اکتشاف [16]

۶. کاربرد انرژی زمین گرمایی

استفاده از انرژی زمین گرمایی می‌تواند به صورت مستقیم و یا با تبدیل به انرژی الکتریکی باشد، به طوری که نیروی لازم جهت چرخاندن ژنراتور توربین برای تولید انرژی الکتریسیته توسط بخار و آب داغ خارج شده از مخزن های زمین گرمایی تامین می‌گردد. انرژی زمین گرمایی حرارت پایین (تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد) صرفه اقتصادی برای تبدیل به انرژی الکتریکی نداشته و از انرژی آن ها به صورت مستقیم استفاده می‌گردد. همچنین استفاده مستقیم از این انرژی نسبت به نیروگاه های انرژی زمین گرمایی دارای آلایندگی بسیار کمتری می‌باشد. منابع زمین گرمایی با درجه پایین تر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد برای امر گرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. این استفاده دارای آلودگی زیست محیطی ناچیز است، به طوری که آب داغ بعد از فراهم سازی حرارت مورد نیاز دوباره به داخل مخزن زمین گرمایی تزریق می‌گردد. همچنین از این انرژی جهت ذوب برف و پیشگیری از یخزدگی خیابان ها با لوله تعبیه شده در زیر زمین استفاده می‌شود.

۷. اثرات به کارگیری انرژی زمین گرمایی

برتری های نیروگاه های انرژی گرمایی نسبت به دیگر نیروگاه های رایج مشهود است. مواد معدنی حل نشده و نمک که ممکن است با سیالات انرژی زمین گرمایی همراه باشد عمدتا در کنار سیال اضافی مجددا تزریق و به قسمت های عمیق چاه وارد می‌شود. افزایش عمر مخازن یکی از نتایج بازیافت آب چاه انرژی زمین گرمایی توسط تزریق دوباره آب استحصال شده در چاه می‌باشد. عدم وجود آلایندگی آب یا هوا در سیستم های دوگانه از مزیت های دیگر این انرژی می‌باشد. البته باید به این نکته نیز اشاره نمود که مقدار بخار اضافی در سیستم های بخار انبساط آنی به محیط تخلیه می‌گردد که این موضوع با غالب شدن تدریجی سیستم های دوگانه به راحتی قابل حل می‌باشد. همچنین لجن و مواد جامدی که به صورت محصول جانبی در نیروگاه های انرژی زمین گرمایی تولید می‌شوند نیز برای تولید روی و گوگرد کاربرد دارد که این مورد نیز نشان‌دهنده تهی بودن این انرژی از آلایندگی می‌باشد[17]. به طور کلی ذرات جامد و گازی که در اثر فعالیت نیروگاه های انرژی زمین گرمایی ایجاد می‌شوند شامل دی اکسید کربن، نیتروژن، هیدروژن، آمونیاک، سولفید هیدروژن، مقدار اندکی هلیوم، بر، رادون، جیوه و هیدروکربن هایی مانند اتان و متان بوده [1] که از بین موارد ذکرشده، پراهمیت ترین گاز های آلاینده هیدروژن و دی اکسید کربن می‌باشند[18]. گاز دی اکسید کربن برروی گرمایش جهانی تاثیرگذار بوده و دارای اثر گلخانه‌ای می‌باشد. رابطه غلظت این گاز تا PPM ۲۰۰۰۰ در بیشتر میدان های زمین گرمایی و حداکثر میزان مجاز آن در هوا (۱۵۰۰۰PPM) بررسی آن را حائز اهمیت می‌سازد[19].

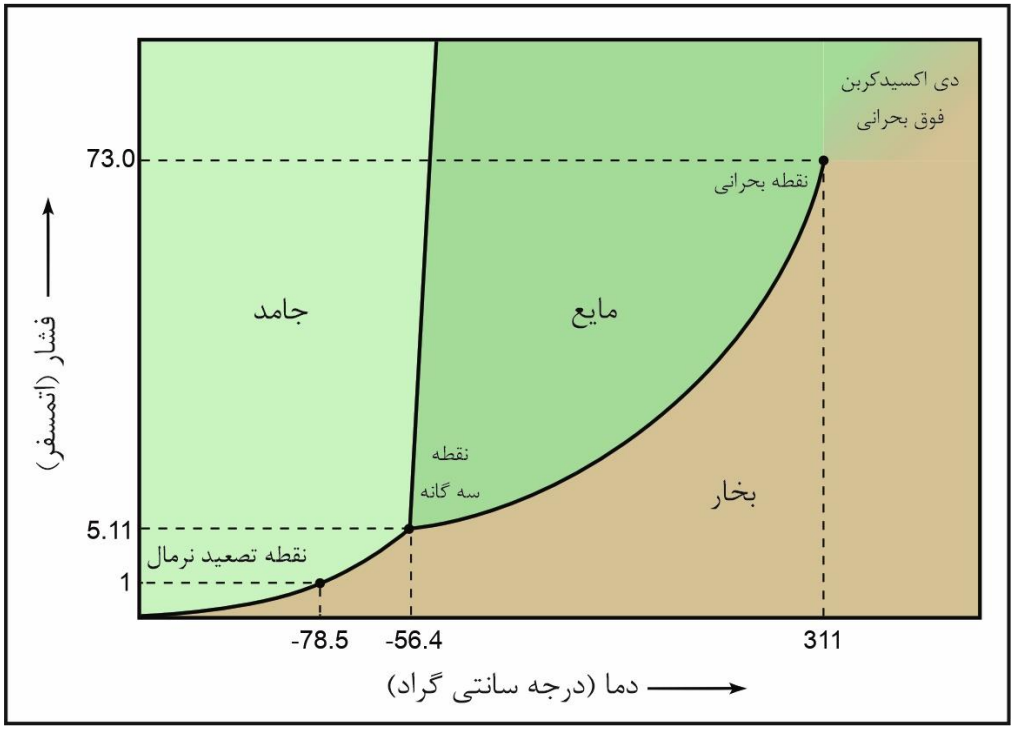
۸. دی اکسید کربن فوق بحرانی در استخراج انرژی زمین گرمایی

دی اکسید کربن فوق بحرانی ($ScCO_2$) یک فاز سیال مانند بوده که بالاتر از نقطه بحرانی دما و فشار، جایی که فاز های مایع و گاز به صورت مجزا وجود ندارند قرار گرفته است (شکل ۵). نقطه بحرانی CO2 در فشار ۷۵ بار (۷۳ اتمسفر) و دمای ۳۱ درجه سانتی گراد قرار دارد. یک سیال فوق بحرانی توانایی دارد در میان جامدات مشابه گاز حرکت کرده و اجزایی شبیه به مایع را حل کند. از دی اکسید کربن فوق بحرانی جهت تحریک شکستگی ها و انتقال انرژی گرمایی، به جای آب تزریق شده و تحت فشار استفاده می‌شود. استفاده از دی‌اکسید کربن برای استخراج انرژی گرمایی از سنگ های داغ دارای مزیت هایی بوده که عبارت‌اند از :

۱.اختلاف زیاد در چگالی چاه بین $ScCO_2$ تزریق شده سرد (g/cc ۰.۹۶ گرم) و $ScCO_2$ تولید شده گرم (g/cc ۰.۳۹ گرم) منجر به نیروی شناوری زیادی جهت گردش سیالات از طریق مخزن زمین گرمایی شده و نیاز به پمپاژ و مصرف برق به طور قابل توجه‌ای کاهش می‌یابد.

۲.از آنجایی که $ScCO_2$ یک حلال یونی نمی‌باشد، توانایی آن در انحلال و انتقال انواع کانی به شدت کاهش یافته و باعث کاهش مشکلات پوسته پوسته شدن (فرسایش) کانی سطحی و پایین بودن نفوذپذیری مخزن به دلیل ته نشست انواع کانی های حمل شده در فاز آبی داغ می‌شود.

۳.به عنوان قسمتی از توسعه انرژی زمین گرمایی، جداسازی دی اکسید کربن جذب شده از نیروگاه های سوخت فسیلی باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و اختلال های آب و هوایی می‌گردد[20]،[21] ،[22].



شکل۵. نمودار فاز برای دی اکسید کربن، محدوده فشار و دما برای شرایط فوق بحرانی که در آن دی اکسید کربن خواص گاز و مایع دارد نشان داده شده است.

"منابع"

[1] نیکجو، عبدالحسین و همکاران، ۱۳۸۵. راهبرد استفاده از انرژی زمین گرمایی و کاهش مصرف سوخت های فسیلی در کشور، اولین مقاله کنفرانس بین المللی مدیریت و برنامه ریزی انرژی، تهران، خرداد.

[2] حسینی، یوسف و همکاران، ۱۳۸۲. ارزیابی اثرات زیست محیطی نیروگاه گرمایی مشکین شهر، چهارمین همایش ملی انرژی، تهران.

[3] تاج آبادی‌پور، مهرداد، جلالی فر، حسین، ۱۳۹۲. بررسی کاربرد های انرژی زمین گرمایی و راه های دستیابی آن، اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران.

[4] Stocker, T.F., Dahe, Q., Plattner, G.-K. et al., 2013. Technical summary. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Stocker, T.F. et al., Eds.), pp. 33–115. New York: Cambridge University Press .

[5] EIA., 2014. Primary Energy Consumption by Source and Sector. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration .

[6] Lienau , P.J.and Lunis , B.c., 1978. Geothermal Direct Use Engineering and Design Guide book, Oregon Institute of Technology (OIT) ,445 pp) (Muffler, L.J.P. and Cataldi, R. Methods for Regional Assessment of Geothermal Resources.

[7] Forson, C., Faulds, J.E., and Wannamaker, 2014. Prospecting for a Blind System Utilizing Geologic and Data, Seven Troughs Range, Northwestern Nevada, Geothermal Resource Transactions, Vol. 38.

[8] Axelsson, G., Björnsson, G., Egilson, Th., Flóvenz, O.G., Gautason, B., Hauksdóttir, S., Ólafsson, M., Smárason, O.B., and Sæmundsson, K., 2005. Nature and Properties of Recently Discovered Hidden Low-Temperature Geothermal Reservoirs in Iceland, Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey.

[9] Faulds, J.E., Hinz, N.H., Coolbaugh, M.F., Ramelli, A.R., Glen, J.M., Ayling, B.F., Wannamaker, Ph.E., Deoreo, S., Siler, D.L., and Craig, J.W., 2019. "Vectoring into Potential Blind Geothermal Systems in the Granite Springs Valley Area, Western Nevada: Application of the Play Fairway Analysis at Multiple Scales", PROCEEDINGS, 44th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California.

[10] Nouraliee, J., and Ebrahimi, D., 2021. Study on the Role of Shemshak Formation in Creation of some Geothermal Resources in Iran, Proceedings World Geothermal Congress, Reykjavik, Iceland.

[11] Bibby, H.M., Risk, G.F., Caldwell, T.G., and Bennie. S.L., 2005. Misinterpretation of electrical resistivity data in geothermal prospecting; a case study from the Taupo volcanic zone. In: Proceedings of World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, April 24–29.

[12] DiPippo, R., 2012. Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies, and Environmental Impacts, 3rd ed. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann.

[13] Cashman, P.H., Faulds, J.E., and Hinz, N.H. 2012. Regional variations in structural controls on geothermal systems in the Great Basin. Geothermal Resources Council Transactions, 36: 25–30.

[14] Faulds, J.E., Hinz, N.H., Dering, G.M., and Silier, D.L., 2013. The hybrid model the most accommodating structural setting for geothermal power generation in the Great Basin, Western USA. Geothermal Resources Council Transactions, 37: 3–10.

[15] Faulds, J.E., Hinz, N.H., Dering, G.M., and Silier, D.L., 2013. The hybrid model the most accommodating structural setting for geothermal power generation in the Great Basin, Western USA. Geothermal Resources Council Transactions, 37: 3–10.

[16] GeothermEx, Inc., and Harvey, C., 2013. Geothermal Exploration Best Practices: A Guide to Resource Data Collection, Analysis, and Presentation for Geothermal Projects. Bochum, Germany: IGA Service GmbH. This is an excellent reference for your library on the topic of geothermal exploration. This publication also discusses the financial aspects and risk, which are good to be aware of. Sections 3.4 to 3.11 and Appendixes A1.1 to A1.4 and A2.1 to A2.4 are most relevant to the information presented in this chapter.

[17] R, Bertani., 2006. world geothermal power generation 2001-2005, GRC BULLETIN journal, 89-111.

[18] D, Alessio, G.J., and Hartley, R., 1978. EPA pollution control guidance for the geothermal industry, Geothermal Resource Concil Trans. 2,pp. 133-136.

[19] Webster, J.G., 1995. Chemical impacts of geothermal development. In: Brown, K.L. (convenor), Environmental aspects of geothermal development, World Geothermal Congress, IGA pre-congress course, Pisa, Italy, May 1995, 79-95.

[20] Brown, D.W., 2000. A hot dry rock geothermal energy concept utilizing supercritical CO2 instead of water. In: Proceedings of the 25th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, CA, January 24–26 .

[21] Pruess, K., 2006. Enhanced geothermal systems (EGS) using CO2 as working fluid a novel approach for generating renewable energy with simultaneous sequestration of carbon. Geothermics, 35(4): 351–367.

[22] Pruess, K., 2007. On production behavior of enhanced geothermal systems with CO2 as a working fluid. Energy Conversion and Management, 49: 1446–1454.