اقتصاد انرژی
شماره ۱۲۶ و ۱۲۵ - فروردین و اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

بررسی جنبه‌های فنی- اقتصادی تولید برق زمین‌گرمایی

مطالعه موردی: نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر

علی طاهری فرد[1] -مرضیه شهاب[2]

چکیده

انرژی زمین گرمایی، انرژی تجدیدپذیری است که از گرمای گدازه‌ها و تخریب مواد رادیواکتیو موجود در اعماق زمین بدست می آید. این انرژی در چهار گروه اصلی گدازه‌های آتشفشانی، هیدروترمال، تخته سنگ‌های داغ و خشک و لایه‌های تحت فشار طبقه‌بندی می‌شود. چنانچه درجهٔ حرارت منابع هیدروترمال به اندازه کافی بالا باشد، آنگاه از این منابع جهت تولید برق استفاده می‌شود. نوع نیروگاه زمین‌گرمایی متناسب با دمای سیال خروجی است. در کشور ما نصب اولین نیروگاه زمین گرمایی در سال ۱۳۷۴ در ناحیهٔ مشکین شهر آغاز گردید. نوع نیروگاه زمین گرمایی با توجه به دمای سیال، از نوع تبخیر آنی دو مرحله‌ای پیشنهاد شده است.در این مقاله هزینه‌های ثابت و عملیاتی تولید برق زمین‌گرمایی مشکین‌شهر برای سه سناریوی کمترین، میانگین و بیشترین هزینه در بخش بالادستی و نیروگاهی محاسبه می‌شود.

مقدمه

انرژی زمین گرمایی، انرژی تجدیدپذیری است که از گرمای گدازه‌ها و تخریب مواد رادیواکتیو موجود در اعماق زمین بدست می‌آید. مهمترین منبع تولید حرارت، مواد رادیواکتیو همچون اورانیوم ۲۳۵، اورانیوم ۲۳۸ و توریم است. علاوه بر منابع مذکور، فعالیت‌های آذرین درونی و آتشفشان‌ها نیز نقش مهمی در تولید حرارت دارند. حرارت داخل زمین از طریق چرخش عمقی آبهای زیرزمینی به سطح زمین آورده می‌شود. در بعضی از نقاط، این حرارت به صورت چشمه‌های طبیعی آب یا بخار داغ به سطح زمین می‌آید که از زمان قبل از تاریخ مورد استفاده بشر در امر استحمام و پخت و پز بوده است. همچنین با حفر چاه‌هایی بر روی مخازن زمین گرمایی می‌توان از این گرما جهت تأمین حرارت استخرها، منازل، گلخانه، پرورش ماهی و برق استفاده کرد.

انرژی زمین گرمایی در واقع یک انرژی تجدیدپذیر نیست، بلکه مانند نفت و گاز استخراج می‌شود و میزان بازیافت نهایی آن به حجم تخلخل، نفوذپذیری، سابقه تاریخی مخزن و

اقتصاد انرژی
شماره ۱۲۶ و ۱۲۵ - فروردین و اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

تکنولوژی‌های بازیافت موجود وابسته است. تزریق مجدد آب، جهت تجدیدپذیری این انرژی ضروری است. برای مثال توان میدان گایزر[3] آمریکا به دلیل عدم تزریق کافی آب، از ۱۸۷۵ مگاوات در سال ۱۹۹۰ به ۱۱۳۷ مگاوات در سال ۲۰۰۵ کاهش یافته است. باتوجه به گستردگی این انرژی، اکنون مشکل محدود بودن آن مطرح نیست، بلکه مسئله تکنولوژی‌هایی است که بتواند این انرژی را به شکل اقتصادی استخراج کند.(کاتچر[4]، ۲۰۰۰:ص۴)

در بخش اول این مقاله انواع انرژی‌های زمین‌گرمایی و کاربرد آن به اختصار بیان می‌شود. در بخش اول وضعیت جهانی تولید برق زمین‌گرمایی و انواع نیروگاه‌های زمین‌گرمایی شرح داده می‌شود. در بخش بعدی، مراحل فنی ـ اقتصادی تولید برق زمین‌گرمایی بیان می‌شود و مقایسه‌ای میان نیروگاه‌های فسیلی و زمین‌گرمایی صورت می‌گیرد. در بخش پایانی هزینهٔ تولید هر کیلو وات ساعت برق زمین‌گرمایی برای نیروگاه مشکین‌شهر برآورد می‌شود.

۱- انواع انرژی‌های زمین گرمایی

انواع انرژی زمین گرمایی[5] عبارتند ازهیدروترمال[6]، تخته سنگ‌های داغ و خشک[7] ، گدازه‌های آتشفشانی[8] ، لایه‌های تحت‌فشار[9] . این انرژی‌ها اگرچه دارای مشخصات متفاوتند، اما همگی بالقوه توانایی تولید برق را دارند.

۱-۱- منابع هیدروترمال

آن بخش از آب اقیانوس‌ها یا باران که به داخل زمین نفوذ می‌کند و پس از گرم شدن به صورت آب یا بخار داغ درون شکاف‌ها یا خلل و فرج سنگ‌های متخلخل قرار می‌گیرد را منبع هیدروترمال گویند. درجه حرارت این منابع بین ۱۰۰c تا ۳۵۰ c است.

۲- ۱- منابع لایه‌های تحت فشار

منابع لایه‌های تحت فشار، سفره‌های آب داغ زیرزمینی هستند که در عمق حدود ۳ تا ۱۰ کیلومتری سطح زمین، تحت فشار بالا در حدود ۱۳۵ بار، در لایه‌های رسوبی حبس شده‌اند. دمای این منابع بین ۹۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد برآورد شده است، اما بندرت این دما از c۱۷۰ بالاتر می‌رود.

لایه‌های تحت فشار به طور بالقوه بسیار خوش آتیه هستند، چرا که از این ذخایر ۳ نوع انرژی می‌توان استخراج کرد:

۱- انرژی هیدرولیک[10] ناشی از فشار بالای حبس شده (۱۳۵ بار)

۲- انرژی حرارتی از سیالات گرم شده (۹۰ c-۲۰۰ c)

۳- انرژی شیمیایی ناشی از سوزاندن گاز متان جهت گرمایش یا تولید برق

۳- ۱- سنگ‌های خشک و داغ

این منابع سنگ‌های سختی هستند که توسط مواد مذاب احاطه شده‌اند و حاوی مقدار بسیار جزئی آب می‌باشند. سنگ‌های خشک و داغ در عمل تمام ناشدنی هستند و درعمق در حدود ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متری قراردارند. آنها نفوذناپذیرند و دمایی بین ۱۵۰ تا ۲۹۰ درجه سانتیگراد دارند. سنگ‌های خشک و داغ ۸۵درصد انرژی در دسترس زمین گرمایی را تشکیل می‌دهند.

۴- ۱- گدازه‌ها

گدازه‌ها سنگ‌های مذابی هستند که درجهٔ حرارتشان بین ۷۰۰ c تا ۱۲۰۰ c است. محفظه‌های حاوی گدازه‌ها پتانسیل انرژی فوق العاده‌ای دارند و تقریباً وسیعترین منابع زمین گرمایی را تشکیل می‌دهند، اما به ندرت در نزدیکی سطح زمین یافت می‌شوند و معمولاً در عمق ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری قرار دارند. تکنولوژی حفاری در گدازه‌ها به دلیل دمای بالا، بسیارپیچیده و پر هزینه است.

۲- تولید برق از انرژی زمین گرمایی

چنانچه درجهٔ حرارت منبع حرارتی بالا باشد، ترجیحاً از این منبع جهت تولید برق استفاده می‌شود. انرژی الکتریکی بدست آمده از این طریق را می‌توان وارد شبکه مصرف کرد یا به طور محلی برای فرایندهای صنعتی استفاده کرد. عمر مفید نیروگاه‌های زمین‌گرمایی بین ۲۵-۳۰ سال می‌باشد.

نیروگاه زمین گرمایی، باید در نزدیکی میدان باشد. چون انتقال سیال زمین گرما به دور دست باعث اتلاف انرژی این سیالات می‌شود و تقریباً غیرممکن است.این نیروگاه‌های بایستی جهت تولید بار پایه مورد استفاده قرار گیرند زیرا چاه‌های تولیدی چند ساعت بعد از شروع به کار به نرخ تولید مطلوب می‌رسند و

جدول (۱): ظرفیت نیروگاهی برق زمین گرمایی نصب شده تا سال ۲۰۰۵ به تفکیک نوع نیروگاه

نوع نیروگاه	ظرفیت نصب شده(مگاوات)
بخار مستقیم	۲۵۴۵
تبخیر آنی یک مرحله‌ای	۳۲۹۴
تبخیر آنی ۲ مرحله‌ای	۲۲۹۳
سیکل دو مداره/هیبریدی/سایر	۸۰۱

کیفیت سیال خروجی، مرغوب می‌گردد. بنابراین وارد مدار کردن این نیروگاه‌ها بسیار زمان‌بر است.

نیروگاه‌های زمین گرمایی از نظر تئوری توان کار ۲۴ ساعته را دارد و دچار قطع و وصل‌های نوبتی نیست و فقط در فصل زمستان ضریب نیروگاه مقداری تغییر می‌کند. در نمونه‌های عملی فاکتور ظرفیت[11] نیروگاه‌های زمین گرمایی بین حدود ۸۵درصد تا ۹۵درصد بوده است. مسائلی چون نوسان نرخ خروجی چاه‌ها و تعمیرات و نگهداری نیروگاه باعث تغییرات ضریب دسترسی می‌گردد.(لاوکین[12]، ۲۰۰۴:ص۱۹)

ساخت اولین نیروگاه انرژی زمین گرمایی بخار مستقیم در سال ۱۹۰۴ در لاردرلو ایتالیا شروع شد، این نیروگاه ۲۵۰ کیلوواتی در سال ۱۹۱۳به اتمام رسید و از سال ۱۹۱۴ برق رسانی به شهرهای اطراف را آغاز کرد. اولین نیروگاه برق زمین گرمایی با استفاده از آب داغ، در سال ۱۹۵۸ بصورت تجاری راه‌اندازی شد. نخستین نیروگاه سیکل ۲ مداره در پنسیلوانیا در سال ۱۹۶۷ با خروجی ۶۸۰ کیلووات، شروع به فعالیت کرد. (لاند[13]، ۲۰۰۴:ص۱۴)

ظرفیت برق انرژی زمین گرمایی نصب شده در جهان از ۳۹۰۰ مگاوات در سال ۱۹۸۰ به ۸۹۳۳ مگاوات در سال ۲۰۰۵ افزایش یافته است. بیشترین ظرفیت برق زمین‌گرمایی در کشورهای آمریکا، فیلیپین، مکزیک اندونزی و ژاپن به ترتیب به میزان ۲۲۶۹، ۱۹۸۳، ۹۵۳، ۷۹۷ و ۵۵۵ مگاوات نصب شده است (برتانی[14]،۲۰۰۶:ص۶۸۰).

ظرفیت‌های برق انرژی زمین گرمایی نصب شده در سال ۲۰۰۵به تفکیک نوع نیروگاه در جدول شماره (۱) نشان داده شده است.

۱-۲- انواع نیروگاه‌های برق زمین گرمایی

روش‌های مختلفی جهت تبدیل انرژی گرمایی منابع

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

هیدروترمال به الکتریسیته وجود دارند که از آن جمله می‌توان سیستم‌های بخار خشک، تبخیر آنی، سیکل دو مداره، جریان کلی و هیبریدی را نام برد.

۱-۱-۲- نیروگاه‌های بخار خشک [۱۵]

نیروگاه‌های بخار مستقیم، جهت تولید برق از مخازن تحت بخار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این نیروگاه‌ها پس از استخراج بخار از چاه، ذرات جامد همراه بخار از آن جدا شده و بخار تصفیه شده، مستقیماً توسط لوله به داخل توربین فرستاده می‌شود. محدودهٔ کاری این نیروگاه‌ها از ۳۵ تا ۱۲۰ مگاوات است. واحدهای کوچکتر ۲۰-۱۵ مگاواتی این نیروگاه‌ها نیز در ایتالیا مرسوم است.(گومز[۱۶]، ۱۹۹۵:ص۳۲۵)

نیروگاه‌های بخار خشک بر۳ نوع اند:

الف- نیروگاه‌های بخار بدون مایع ساز

دراین نیروگاه‌ها، بخار خشک، پس از عبور از توربین به محیط فرستاده می‌شود. بازده این نیروگاه‌ها بسیار پایین است.

ب- نیروگاه‌هایی که فقط گازهای مایع نشدنی را به محیط پس می‌دهند[۱۷]

در این نیروگاه‌ها، بخار پس ازعبور از توربین وارد اجکتورهایی می‌شود تا گازهای مایع نشدنی آن جدا گردد، سپس بخار خروجی وارد کندانسور شده و مایع حاصل به زمین تزریق می‌گردد. این روش راندمان نیروگاه را افزایش می‌دهد، اما هزینه را بالا می‌برد.

لازم به ذکر است گازهای مایع نشدنی شامل دی‌اکسیدگوگرد، متان، اکسیدکربن و نیتروژن است.

ج- نیروگاه‌های با بخارکننده‌های سطحی[۱۸]

بخارخروجی از مخزن، ابتدا مایع می‌شود، سپس از اجکتور عبور می‌کند تا گازهای مایع ناشدنی آن جدا گردد و سپس به بخارکنندهٔ سطحی می‌رود و دوباره بخار شده و به توربین فرستاده می‌شود. سپس بخار دوباره مایع شده و به مخزن تزریق می‌شود. در حالتی که میزان گازهای مایع نشدنی در سیال خروجی بسیار بالاست، این روش کارایی بیشتری از روش فوق دارد. اجکتور [۱۹] (پرتاب کننده) جهت جداسازی گازهای مایع نشدنی در نیروگاه‌ها نصب می‌شود. هرچه حجم گازهای مایع نشدنی نسبت به حجم سیال بیشتر باشد، اجکتورهای بیشتری برای جداسازی گازهای مایع نشدنی سیال لازم است. مهمترین آسیب نیروگاه‌های بخار مستقیم، فرسایش لوله‌ها و توربین، به علت سولفید هیدروژن موجود در بخار است.

۲-۱-۲- نیروگاه‌های تبخیر آنی

چرخه‌هایی که برای تولید برق از مخازن تحت مایع[۲۰] به اندازهٔ کافی داغ (بالای ۱۶۰ °c) استفاده می‌کنند عموماً بسیار پیچیده می‌باشند. این سیکل‌ها باید به‌گونه‌ای باشند که بتوانند بخش‌های زیادی از مایع خروجی از چاه را تبدیل به بخار کنند. این روش در بسیاری از نقاط دنیا اقتصادی بوده و عموماً برای نیروگاه‌های با ظرفیت ۱۰ تا ۵۵ مگاوات بسط داده شده است. این نیروگاه‌ها بر ۳ نوع است:

الف- سیستم‌های تک مرحله‌ای تبخیرآنی[۲۱]

در این روش سیالات داغ درون زمین در یک مخزن با فشار پایین وارد می‌شوند و این کاهش فشار باعث تبدیل سیال به بخار می‌شود. سپس بخار از توربین عبور کرده و ژنراتور را به چرخش درآورده و تولید برق می‌کند. مایع خروجی از توربین دوباره به مخزن تزریق می‌شود.

ب- سیستم‌های ۲ مرحله‌ای تبخیرآنی[۲۲]

در این روش سیال داغ باقی مانده از سیستم‌های تک مرحله‌ای تبخیرآنی در منبع دیگری دوباره منبسط می‌شود و بخار حاصل به توربین منتقل می‌شود و مایع خروجی دوباره به میدان تزریق می‌شود. کارایی این نیروگاه‌ها از تک مرحله‌ای بیشتر است.

۳-۱-۲- نیروگاه‌های سیکل دو مداره[۲۳]

این نیروگاه‌ها بیشتر برای مخازن تحت مایعی مناسب می‌باشد که دمایشان آن قدر بالا نیست که بتوان از آنها در سیکل‌های تبخیر آنی استفاده کرد.

به کمک این نیروگاه‌ها می‌توان حرارت باقی مانده در سیال نیروگاه‌های تبخیر آنی را نیز بازیافت نمود. همچنین این نیروگاه‌ها برای مخازن آب شور که بدلیل تشکیل رسوبات سخت نمی‌توانند در نیروگاه‌های بخار آنی استفاده شوند، مفید می‌باشند.

از این نیروگاه‌ها در مورد مایعات ژئوترمالی که مملو از گازهای غیرقابل کندانس می‌باشند نیز می‌توان استفاده کرد. در

جدول(۲): هزینه‌های بالادستی توسعه میدان

هزینه هر واحد (دلار)	واحد	نوع هزینه
۱۰۰-۳۰۰	کیلووات	اکتشافات سطحی
۱۵۰۰-۲۵۰۰	متر	حفاری
۴۵۰۰۰-۷۰۰۰۰ میدان‌های تحت بخار ۸۰۰۰۰-۱۵۰۰۰۰ میدان‌های تحت مایع	چاه	آزمایش چاه
۲۰۰۰۰۰-۲۷۰۰۰۰میدان‌های تحت بخار ۳۰۰۰۰۰-۴۸۰۰۰۰ میدان‌های تحت‌مایع	چاه	سیستم‌های جمع آوری سرچاهی
۷۰-۱۷۰ میدان‌های تحت بخار ۳۵۰-۸۵۰ میدان‌های تحت مایع	متر	باز تزریق سیال به میدان

این نوع نیروگاه‌ها سیال داغ گرفته شده از زمین که دارای دمای ۹۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد است، توسط پمپ‌هایی تحت فشار نگه داشته می‌شود.

سپس به داخل یک مبدّل حرارتی فرستاده می‌شود تا در اثر تبادل حرارت با سیال عامل (معمولاً بوتان) تبخیر شود سپس سیال عامل بخار شده پس از عبور از توربین و چرخش ژنراتور و تولید برق، منبسط و سپس مایع شده و برای تکرار سیکل مجدد به مبدل حرارتی فرستاده می‌شود. پسماند سیالات نیز به زمین تزریق می‌گردد.

در این سیستم‌ها به علت عدم وجود بخار مایع برای خنک‌سازی نیروگاه باید از سیستم‌های خارجی آب سردکن و هوا سردکن استفاده شود. تولید برق به وسیلهٔ سیکل ۲ مداره اولین پیشنهاد برای منابع سنگ داغ و خشک نیز می‌باشد.

۴-۱-۲- نیروگاه جریان کلی[۲۴]

در این نوع نیروگاه‌ها مخلوط بخار و آب داغ به داخل یک سیستم دورانی مبدل انرژی هدایت می‌شود و انرژی جنبشی سیستم، توسط یک مولد برق، به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

۵-۱-۲- نیروگاه‌های هیبریدی زمین گرمایی[۲۵]

این نیروگاه‌ها در میدان‌های با دمای زیر $100^{\circ}C$ مورد استفاده قرار می‌گیرد و دو کاربرد عمده دارد:

۱- گرم کردن هوای عرضه شده به کوره‌ها(جهت اکسایش سوخت)

۲- پیش گرم کردن آب برای تغذیه نیروگاه‌ها

۶-۱-۲- نیروگاه‌های سنگ‌های خشک و داغ[۲۶]

برای استفاده از حرارت سنگ‌های خشک و داغ، چاه‌هایی در این میادین حفر و آب کافی در این چاه‌ها تزریق می‌شود. سپس از طریق ترک‌های حاصل از انفجار یا روش‌های هیدرولیکی، سیستم تبادل حرارتی بزرگی ایجاد و آب داغ یا بخار استخراجی، در نیروگاه‌های زمین گرمایی بکار گرفته می‌شود.

۲-۲- مقایسه نیروگاه‌های زمین گرمایی با نیروگاه‌های فسیلی

در این قسمت مهمترین تفاوت‌های نیروگاه‌های زمین‌گرمایی و سیکل ترکیبی به اختصار بیان می‌شود:

۱- مقیاس کوچک‌تر نیروگاه‌های زمین گرمایی نسبت به نیروگاه‌های فسیلی

۲- جریان بخار بیشتر برای هر کیلو وات ساعت برق.

در نیروگاه‌های زمین گرمایی دما و فشار بخار کمتر از نیروگاه‌های مرسوم و فشار کندانسور بیشتر از نیروگاه‌های بخار متداول است از این رو این نیروگاه‌ها دارای راندمان کمتری هستند.

جدول (۳): دبی سیال مورد نیاز جهت تولید هر کیلووات ساعت برق(کیلوگرم هر کیلوواتساعت)

دمای مخزن (سانتیگراد)			
نوع نیروگاه	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰
بخار مستقیم(بدون مایع ساز)	-	-	۱۰ تا ۲۰
بخار مستقیم (با مایع ساز)	-	-	۶ تا ۹
تبخیر آنی یک مرحله ای	۱۵۰	۸۰	۵۰
تبخیر آنی ۲ مرحله ای	۱۳۰	۶۰	۳۰
سیکل دو مداره	۱۴۰	۷۰	-

جدول (۴): هزینه‌های سرمایه‌ای بالادستی توسعهٔ میدان زمین‌گرمایی مشکین‌شهر (دلار)

	سناریو حداقلی هزینه	سناریو میانگین	سنا ریو حداکثری هزینه
*هزینه اکتشاف(هر کیلووات)	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
*هزینه هر متر حفاری	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰
*هزینه تست چاه	۱۰۰۰۰۰	۱۲۵۰۰۰	۱۵۰۰۰۰
*هزینه سر چاهی	۴۰۰۰۰۰	۴۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰
دمای مخزن(سانتی‌گراد)	۱۳۰	۱۹۰	۲۵۰
توان چاه(وات)	۶/۱	۳/۹	۱/۸
تعداد چاه	۹	۱۴/۱	۳۰/۵
هزینه سرمایه‌ای بخش بالادستی	۴۵۰۰۰۰۰۰	۹۲۰۵۰۰۰۰	۲۴۴۵۰۰۰۰۰

۳- قطر لوله‌های بخار در نیروگاه‌های زمین گرمایی از نیروگاه‌های فسیلی بیشتر است.

۴- ناخالصی‌های موجود در بخار ورودی به نیروگاه‌های زمین گرمایی بیشتر از نیروگاه‌های مرسوم است.

۳- نیروگاه ۵۵ مگاواتی زمین گرمایی مشکین شهر

در سال ۱۳۷۴ مطالعات و بررسی‌های مربوط به پروژهٔ نصب نیروگاه یک صد مگاواتی زمین گرمایی در ناحیه مشکین شهر توسط معاونت امور انرژی وزارت نیرو آغاز گردید. عملیات اجرایی فاز اکتشافی تکمیلی آن مشتمل بر مطالعات ژئوفیزیک و ژئوشیمی و زمین‌شناسی از سال ۱۳۷۷ با همکاری مهندسین مشاور نیوزیلندی KML آغاز گردید که در سال ۱۳۷۸ خاتمه یافت.

پس از مطالعات ژئوفیزیک سه نقطه برای حفر چاه‌های اکتشافی به فاصلهٔ تقریباً ۱/۵ کیلومتر از یکدیگر تعیین شد. طبق ارزیابی‌های صورت گرفته دما در عمق مخزن مشکین‌شهر بین ۱۳۰ تا ۲۵۰ درجهٔ سانتیگراد است.

حفر سه چاه عمیق در سال ۲۰۰۲ زمینه را برای گسترش انرژی زمین گرمایی در این منطقه مهیا کرد. پس از حفر اولین چاه با عمق ۳۲۰۰ متر و مشاهدهٔ دما و دبی مطلوب آن، حفر دو چاه دیگر، در برنامه قرار گرفت. عمق چاه‌های مذکور به ترتیب ۳۱۷۰ متر و ۲۲۰۰ متر است. (فتوحی، ۲۰۰۰:ص۱۸۴)

چاه اول با دبی سیال ۵۰ کیلوگرم بر ثانیه و دمای ۱۵۰درجهٔ سانتیگراد، توانی معادل ۵ مگاوات و چاه دوم با دبی تقریبی سیال ۲۰کیلوگرم بر ثانیه و دمای ۱۵۰ درجه، توانی معادل ۲مگاوات دارد. و چاه سوم به سیال زمین گرما نرسید.

در اولین اقدام سازمان انرژی‌های نو در نظر دارد، یک نیروگاه ۵۵ مگاواتی نصب کند. برای این منظور باتوجه به دمای سیال، نیروگاه زمین گرمایی تبخیرآنی ۲ مرحله‌ای پیشنهاد شده است که بخار مورد نیاز این نیروگاه، با حفر ۲۰ حلقه چاه در منطقه‌ای به مساحت ۵ کیلومترمربع تأمین خواهد شد. (ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۴،ص۳۰۷)

۱-۳- هزینه‌های اقتصادی مراحل مختلف تولید برق نیروگاه ۵۵ مگاواتی زمین گرمایی مشکین شهر

هزینه‌های اقتصادی مراحل مختلف نیروگاه برق زمین‌گرما در این مقاله در سه بخش هزینه‌های بالادستی توسعهٔ میدان، هزینهٔ سرمایه‌ای نیروگاه زمین گرمایی و هزینهٔ عملیات و نگهداری میدان و نیروگاه بررسی می‌شود.

۱-۱-۳- هزینه‌های سرمایه‌ای بالادستی توسعهٔ میدان

جدول (۵): هزینه نیروگاه‌های زمین‌گرمایی(دلار هر کیلووات)

هزینه برحسب کیلووات	نوع نیروگاه
نیروگاه بخار مستقیم (بدون مایع ساز)	۷۵۰-۱۳۰۰
نیروگاه بخار مستقیم (با مایع ساز)	۱۱۰۰-۱۷۰۰
نیروگاه تبخیر آنی	۱۱۶۲-۲۵۰۰
نیروگاه سیکل دو مداره	۱۷۰۰-۲۷۰۰

اقتصاد انرژی
شماره ۱۲۶ و ۱۲۵ - فروردین و اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

زمین‌گرمایی مشکین‌شهر

اولین مرحله برای تولید برق زمین‌گرمایی، اکتشاف و توسعه میدان زمین‌گرما است. عمده هزینه‌های این بخش شامل هزینه اکتشافات سطحی و تحقیق و جستجو، هزینه حفاری، هزینه آزمایش چاه‌ها، هزینه سیستم‌های جمع آوری سرچاهی و هزینه باز تزریق سیال است. این هزینه‌ها به تفکیک در جدول شماره(۲) ارائه شده است.

مهمترین عامل تأثیرگذار بر هزینه‌های توسعهٔ میدان، هزینه‌های مربوط به حفاری است. هزینهٔ حفاری برای میدان‌های تحت آب و تحت بخار تقریباً برابر است و بین ۱۵۰۰ دلار تا ۲۵۰۰ دلار برای هر متر حفاری تغییر می‌کند. در این بخش نرخ موفقیت ((k وتعداد چاه‌های مورد نیاز، از عوامل مهم در محاسبهٔ هزینه است نرخ موفقیت عبارت است از نسبت چاه‌های موفق به کل چاه‌ها. این نرخ بین ۵۰درصد تا درصد۷۵ می‌باشد. برای محاسبه تعداد چاه‌های مورد نیاز ابتدا باید توان خروجی هر چاه را بدست آورد. توان خروجی هر چاه با توجه به دما و دبی سیال خروجی تغییر می‌کند. دمای سیال مهمترین عامل افزایش مقدار بخار لازم برای تولید هر کیلووات ساعت برق است. مثلاً با کاهش دما از c ۲۵۰ به c۱۵۰ دبی بخار مورد نیاز از ۶ تا ۹ کیلوگرم برای هر کیلووات ساعت به ۱۲۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم برای هر کیلووات ساعت می‌رسد. .(دیپو[۲۷]،۲۰۰۵) اطلاعات بیشتر در جدول (۳) ارائه شده است.

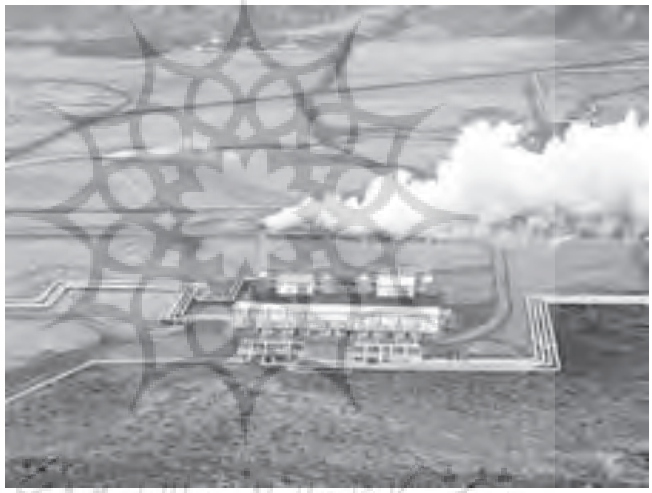
ما در این مقاله برای برآورد توان هر چاه از فرمول زیر را به کار می‌بریم که هنس[۲۸] در سال ۲۰۰۵ برای ارزیابی منابع زمین گرمایی آمریکا استفاده کرده است.

$$\text{توان چاه} = \frac{\text{دمای مخزن (فارنهایت)}}{۵۰} - ۳/۵$$

نرخ موفقیت حفاری برای این میدان در حدود ۰/۷۵ در نظر گرفته شده است. دمای میدان مشکین شهر در لایه‌های مختلف مخزن بین ۱۳۰ تا ۲۵۰ درجهٔ سانتیگراد است. بنابراین توان چاه‌های توسعه‌ای این میدان در بخش‌های مختلف از ۶/۱ تا ۱/۸ وات تغییر می‌کند و برای تأمین بخار این نیروگاه به حداقل نه و حداکثر ۳۰ چاه نیاز است. بنابراین هزینه‌های بالادستی توسعهٔ میدان زمین‌گرمایی مشکین‌شهر به طور میانگین در حدود ۹۲ میلیون دلار است که با توجه به شرایط میدان ممکن است تا بیش از ۲۴۰ میلیون دلار افزایش یابد. نتایج تفصیلی در جدول (۴) ارائه شده است.

۲-۱-۳- هزینه سرمایه‌ای نیروگاه زمین گرمایی مشکین‌شهر

طراحی نیروگاه زمین گرمایی متناسب با شرایط میدان از پیچیده‌ترین مراحل تولید برق زمین‌گرمایی است. نیروگاه زمین گرمایی باید به گونه‌ای انتخاب شود که علاوه بر بیشترین کارایی، کمترین هزینهٔ ساخت و نگهداری را داشته باشد. هزینهٔ ساخت نیروگاه‌های زمین گرمایی بسته به تکنولوژی نیروگاه و مقیاس آن متفاوت است (جدول (۵)).



هزینهٔ سرمایه‌ای نیروگاه تبخیر آنی دربازهٔ ۱۱۶۰ دلار تا ۲۵۰۰ دلار برای هر کیلووات قرار دارد. بنابراین هزینهٔ ساخت نیروگاه ۵۵ مگاواتی زمین‌گرمایی مشکین شهر بطور میانگین حدود ۹۶ میلیون دلار است . اطلاعات تفصیلی در جدول (۶) به تفصیل ارائه شده است.

۳-۱-۳- هزینهٔ عملیات و نگهداری میدان و نیروگاه مشکین شهر

هزینهٔ متغیر عملیات و نگهداری این نیروگاه‌ها بسیار ناچیز است و عمده هزینهٔ عملیات و نگهداری نیروگاه‌های زمین‌گرمایی به صورت درصدی ثابت از سرمایه‌گذاری اولیه است. این هزینه‌ها شامل هزینهٔ نیروی کار، هزینهٔ مواد مورد استفاده در نیروگاه از جمله مواد شیمیایی برای سولفورزدایی، هزینهٔ مصارف داخلی نیروگاه از حامل‌های انرژی، هزینهٔ تعویض بعضی از بخش‌های نیروگاه و هزینهٔ حفر چاه‌های جدید به منظور حفظ دبی سیال خروجی می‌باشند.

هرینه این بخش بین۳ تا ۸ درصد کل سرمایه‌گذاری است.[۲۹] بر این اساس هزینهٔ عملیات و نگهداری نیروگاه و میدان زمین گرمایی مشکین شهر سالانه در حدود ۱۰ میلیون دلار است. (جدول (۷))

جدول (۶): برآورد هزینه ثابت نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر(دلار)

	سناریو حداقلی هزینه	سناریو میانگین	سنا ریو حداکثری هزینه
*هزینه نیروگاهی(هر کیلووات)	۱۱۶۲	۱۷۵۰	۲۵۰۰
هزینه‌سرمایه‌ای بخش نیروگاهی	۶۳۹۱۰۰۰۰	۹۶۲۵۰۰۰۰	۱۳۷۵۰۰۰۰۰

جدول (۷): برآورد هزینه عملیات و نگهداری نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر(دلار در سال)

	سناریو حداقلی هزینه	سناریو میانگین	سنا ریو حداکثری هزینه
نرخ عملیات ونگهداری	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۸
هزینه O&M بخش بالادستی	۳۶۰۰۰۰۰	۴۶۰۲۵۰۰	۷۳۳۵۰۰۰
هزینه O&Mبخش نیروگاهی	۴۱۱۲۵۰۰	۴۸۱۲۵۰۰	۵۱۱۲۸۰۰
هزینه کل عملیات و نگهداری	۷۷۱۲۵۰۰	۹۴۱۵۰۰۰	۱۲۴۴۷۸۰۰

جدول (۸): هزینه هر کیلووات ساعت برق تولیدی نیروگاه۵۵ مگاواتی زمین گرمایی مشکین شهر(سنت بر کیلووات ساعت)

	حداقل هزینه	سناریو میانگین	حداکثری هزینه
هزینه سرمایه‌ای بخش بالادستی	۱/۳	۲/۵	۸
هزینه O&M بخش بالا دستی	۰/۳۳	۱/۲	۲/۳
هزینه سرمایه‌ای بخش نیروگاهی	۲/۱	۲/۲	۳/۳
هزینهO&Mبخش نیروگاهی	۰/۶۳	۱/۱	۲/۶
هزینه کل	۴/۳	۷	۱۶/۲

۷- نتیجه گیری:

چنانچه درجهٔ حرارت منبع حرارتی بالا باشد، از این منبع می‌توان جهت تولید برق استفاده کرد. روش‌های مختلفی جهت تبدیل انرژی گرمایی منابع هیدروترمال به الکتریسیته وجود دارند که از آن جمله می‌توان سیستم‌های بخار خشک، تبخیر آنی، سیکل دو مداره، جریان کلی و هیبریدی را نام برد.

هزینهٔ تولید برق زمین‌گرمایی از نظر فنی به دمای مخزن، دبی سیال خروجی، توان چاه‌ها و نوع نیروگاه و از جهت اقتصادی به هزینهٔ توسعهٔ میدان به ویژه هزینهٔ حفاری و هزینهٔ نصب، تعمیر و نگهداری نیروگاه زمین‌گرمایی بستگی دارد.

در کشور ما نصب اولین نیروگاه ۵۵ مگاواتی زمین گرمایی در سال ۱۳۷۴ در ناحیهٔ مشکین شهر آغاز گردید. نوع نیروگاه زمین گرمایی با توجه به دمای سیال، از نوع تبخیر آنی پیشنهاد شده است.

بر اساس نتایج این مقاله، هزینه تولید هر کیلووات ساعت برق نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر، در سه سناریوی حداقل هزینه، میانگین و حداکثر هزینه به ترتیب در حدود ۴/۳ سنت ، ۷ سنت و ۱۶/۲ سنت برآورد می‌شود. در این برآورد عمر مفید نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین شهر ۳۰ سال، ضریب ظرفیت آن بین ۸۵ تا ۹۵ درصد و نرخ تنزیل سرمایه ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است.

در طرح اولیه که در سال ۱۳۸۱ توسط سازمان انرژی‌های نو ارائه شد برای تولید ۶۰ مگاوات برق، ۱۲ حلقه چاه تولیدی پیش‌بینی شده بود. اما در طرح جدید ۲۰ حلقه چاه تولیدی برای تولید ۵۵ مگاوات برق پیشنهاد شده است.

با توجه به نتایج این مقاله، هزینهٔ تولید برق برای طرح اولیه به طور میانگین حدود ۶/۵ سنت هر کیلووات‌ساعت و برای طرح جدید به طور میانگین حدود ۸/۵ سنت هر کیلووات‌ساعت برآورد می‌شود.

با توجه به نتایج این مطالعه، هزینه تولید هر کیلووات ساعت برق زمین‌گرمایی با نااطمینانی بسیاری همراه می‌باشد و سرمایه‌گذاری در زمینه نیروگاه‌های زمین‌گرمایی بسیار پر مخاطره است و حمایت‌های جدی دولت را می‌طلبد.

منابع

ال باسبی، ربکا. صنعت گاز به زبان غیر فنی. مترجم: علیرضا یونسی. تهران: مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، ۱۹۹۰

پابلوس. گومز ، منابع انرژی‌های تجدید پذیرنوین، احمد کهربابیان، تهران: وزارت نیرو دفتر امور انرژی‌های نو، ۱۹۹۵

دفتر برنامه‌ریزی انرژی وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۱، زمستان ۱۳۸۲

دفتر برنامه‌ریزی کلان امور برق و انرژی وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۴ ، زمستان ۱۳۸۵

دفتر امور انرژی‌های نو وزارت نیرو، کتاب انرژی زمین گرمایی، ۱۳۸۴

Chambers, Ann. Renewable energy in nontechnical language, PennWell, ۲۰۰۴

Charls, F. Kutscher, «The Status and Future of Geothermal Electric Power», Presented at the American Solar Energy Society Conference, June ۱۶-۲۱, ۲۰۰۰

DiPippo, Ronald. Geothermal power plant Principles, Applications and Case Studies. Elsevier ۲۰۰۵.

El-Wakil. PowerPlant Technology. McGraw-Hill Book Company ۱۹۸۴.

Fotouhi Manuchehr ,. Noorollahi Updated Geothermal Activities in Iran Proceedings World Kyushu - Tohoku, Japan, ۲۰۰۰ Geothermal Congress (May ۲۸ - June ۱۰, ۲۰۰۰): ۱۸۳-۱۸۵

Georardo Hiriart, Juan, I. Andauls.» Strategies and Economics of Geothermal Power Development in Mexico,» Proceeding World Geothermal Congress, Japan, May ۲۰۰۰.

Hance, Factors Affecting Costs of Geothermal Power Development, Geothermal Energy Association, August ۲۰۰۵

Johansson, Thomas. Kelly, Henry. Renewable energy Sources for Fuels and Electricity. Earthscan Inc ۱۹۹۳.

Lovekin, Jim. «Geothermal Resources available to California Markets». San Francisco Public Utilities Commission. ۱, ۲ September ۲۰۰۴.

Lund, W. John «۱۰۰ Years of Geothermal Power Production», GHC BULLETIN, September ۲۰۰۴.

Rao and Parulakar. Energy technology, Non Conventional, Renewable and Conventional. Khanna Publisher. New Delhi ۲۰۰۰

Ruggero Bertani.» World geothermal power generation in the period ۲۰۰۱-۲۰۰۵«, Geothermic, Volume ۳۴, no ۶, (December ۲۰۰۵): ۶۵۱-۶۹۰.

Spangar Pierce, William. Economics of the Energy Industrials. Praeger Publishers. New York ۱۹۹۶.

Yousefi Hossein, Noorollahi۱ Younes. «Monitoring of Surface and Ground Water Quality in Geothermal Exploration Drilling of Meshkinshahr». Proceedings World Geothermal Congress Antalya, Turkey, ۲۴-۲۹ April ۲۰۰۰

www.geocities.com/pemnq/geothermalscan

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد
taherifard ۱۳۶۱@ yahoo.com
۲ - کارشناس مهندس شیمی صنایع گاز

3 -Geysers
4 -Kutscher
5 -Geothermal Energy
6 -Hydrothermal
7 - Hot Dry Rock
8 - Magma
9 - Geopresseured brines
10 - Hydraulic
11 - Availability Factor
12 - Lovekin
13 - Lund
14 - Bertani
15 - Dry Steam Power Plant
16 - Gomez
17 - Non condensable gas exhausting to atmosphere
18 - Dry steam turbine with upstream reboiler
19 - Ejector
20 -Water-Dominated
21 - single flash
22 -Double Flash
23 - Binary Cycle Power Plant
24 - Total Flow Geothermal
25 - Hybrid Power Plant
26 -HDR Power Plant
27 - DiPippo
28 -Hance
29- www.geocities.com/pemnq/geothermalscan

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی