علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم، شماره چهار، زمستان ۹۵

امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی جایگزینی گرمایش شهری متعارف با انرژی زمین گرمایی در ایران

یونس نوراللهی [1*]

Noorollahi@ut.ac.ir

حسین یوسفی [2]

علی حسین رضایان [3]

هادی فارابی اصل [4]

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۲۱ **تاریخ پذیرش:۹۳/۱۲/۲۳**

چکیده

زمینه و هدف: بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی برای گرمایش محیطی و منطقه‌ای، یکی از مناسب‌ترین و متداول‌ترین روش‌های استفاده مستقیم از حرارت زمین است که چندین دهه تجربه در مناطق وسیعی از جهان، باعث کسب اطلاعات مفیدی از نحوهٔ اجرای پروژه‌های زمین گرمایی و نتایج حاصل گردیده است. هدف از این تحقیق جایگزینی سوختهای فسیلی در گرمایش و تامین آبگرم مصرفی ساختمان ها با انرژی تجدیدپذیر زمین گرمایی برای کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی می‌باشد.

روش بررسی: این تحقیق به بررسی اقدامات اولیه انجام شده جهت استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی پرداخته و در ادامه با استفاده از GIS و اطلس زمین گرمایی ایران، شهرهای واقع در حوزه‌های زمین گرمایی را مورد شناسایی قرار می‌دهد. سپس با بررسی میزان مصرف ۴ حامل اصلی انرژی (نفت سفید، نفت کوره، نفت گاز و گاز طبیعی) در بخش خانگی، تجاری و عمومی جهت مصارف گرمایشی در شهر های یادشده پرداخته و در نهایت ملاحظات اقتصادی و زیست محیطی حاصل از جایگزینی سیستم گرمایشی متعارف با انرژی زمین گرمایی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

نتایج و یافته ها: نتایج نشان می‌دهد که در صورت بهره برداری از انرژی زمین گرمایی با کاربری گرمایش ساختمان ها و فضاهای خانگی، تجاری و عمومی در شهرهای واقع در حوزه‌های زمین گرمایی سالانه در مصرف بیش از ۳۷۸ میلیون لیتر نفت سفید، ۱۵۰ میلیون لیتر

۱- دانشیار گروه مهندسی انرژی‌های نو و محط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران،- ایران *(مسوول مکاتبات)

۲- استادیارگروه مهندسی انرژی‌های نو و محط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران،- ایران

۳- استادیار گروه مهندسی علوم زیستی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران،- ایران

۴- دانشجوی دکتری مهندسی منابع انرژی، دانشگاه آکیتا، ژاپن

نفت گاز، ۶۴ میلیون لیتر نفت کوره و ۱۳۷۰ میلیون مترمکعب گازطبیعی صرفه خواهد شد که می‌تواند برای صادرات اختصاص یافته و بیش از ۷۲۵ میلیون دلار در سال عاید کشور نماید. برآورد هزینه احداث سیستم متمرکز گرمایش برای شهر سرعین نشان می‌دهد که مجموع هزینه‌ها ۳/۲ میلیارد تومان و هزینه تامین هر کیلووات‌ساعت انرژی حرارتی ۱۰۷ تومان است. دوره بازگشت سرمایه برای این پروژه نیز برابر ۳/۵ سال برآورد شده است. استفاده از سیستم گرمایش متمرکز شهر کشور می‌تواند نه تنها بعنوان یک روش گرمایش قابل اطمینان مطرح باشد بلکه از نظر اقتصادی هم ارزان‌تر و آلودگی‌های زیست محیطی بسیار کم‌تری وارد محیط زیست می‌کند.

واژه‌های کلیدی: انرژی زمین گرمایی، استفاده مستقیم، برآورد اقتصادی، صرفه‌ی زیست‌محیطی، سیستم متمرکز شهری، شهر سرعین،سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS).

J.Env. Sci. Tech., Vol 18, No.1, winter 2017

Technical, Economical and Environmental Feasibility Study of Urban Heating System Replaced with Geothermal Energy in IRAN

Younes Noorollahi[*1]
Noorollahi@ut.ac.ir
Hossein Yousefi[2]
Ali Hossein Rezayan[3]
Hadi Farabi Asl[4]

Abstract

Background and Objective: The exploitation of geothermal energy for environmental and regional heating is one of the most appropriate and the most common methods of direct use of the earth heat. Having decades of experience in vast regions of the world has provided useful information on how to execute geothermal projects and the obtained findings.

Methods: This study has investigated the primary conducted measures to use geothermal energy directly. Then, using GIS and Iran's geothermal atlas, it identifies cities located in geothermal areas. Afterwards, it has investigated the consumption of the main four energy carriers (Kerosene, crude, gas oil, and natural gas) in domestic, business, and public sections for heating use in the above said cities and finally, it evaluates the economic and environmental considerations obtained from heating system replacement fitting the geothermal energy.

Findings: The results show that the exploitation of geothermal energy to heat buildings and domestic, business, and public spaces in cities located in geothermal areas will consume annually more than 378 million lit of Kerosene, 159 million lit gas oil, 64 million lit of fuel oil, and 1,370 million m^3lit of natural gas which can be allocated to the exports and more than 725 million dollars can be accrued annually to the country. Calculations related to the cost of establishing the urban heating concentrated system has been conducted for Sarein and it was shown that the related amount almost costs 3.2 milliard toman and the amount of providing heating energy in each Kwh costs 107 toman. The return period of the capital in the current study has been estimated 3.5 (three and a half year). The decline level of fluid temperature passing through the transferor pipes and the output of the aforementioned system (considering reinjection into the earth and the heating loss of the fluid transferor pipes) have been estimated 3 centigrade and 46 percent, respectively.

Keywords: Geothermal Energy, Direct Use, Economical and Environmental Estimate, Geographical Information System (GIS), Sarein City.

1- Associated Professor, Department of Renewable Energy, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, IRAN * *(Corresponding author).*
2- Assistant Professor, Department of Renewable Energy, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, IRAN
3- Assistant Professor, Department of Life Science Engineering, Faculty of New Sciences & Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran
4- PhD student, Dep. of International Energy Resources Engineering, Akita University, Akita, Japan

مقدمه

زمین منبع عظیمی از انرژی حرارتی است که این حرارت به طریقه‌های متفاوتی از جمله فوران‌های آتشفشانی، آب‌های موجود در سیستم‌های زمین‌گرمایی و یا به واسطه خاصیت رسانایی[1] از بخش‌های درونی به سطح زمین هدایت می‌شود. انرژی حرارتی موجود در زیر پوسته زمین، انرژی زمین گرمایی نامیده می‌شود(۱).

حرارت به طور مداوم از هسته زمین به خارج آن جریان می‌یابد و به لایه‌های سنگی در سطوح بالاتر منتقل می‌گردد. هنگامی‌که حرارت و فشار کافی وجود داشته باشد برخی از سنگ‌ها ذوب شده و تشکیل مواد مذاب را می‌دهند. در اکثر موارد، مواد مذاب در زیر پوسته زمین باقی مانده و سبب گرم کردن سنگ‌ها و آب‌های جوی نفوذی اطراف خود گاهی تا ۳۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود. بخش اعظم این آب‌ها در داخل شکاف‌ها و فضاهای خالی موجود در سنگ‌های متخلخل پوسته محبوس شده و ذخیره‌ای طبیعی از آب داغ را فراهم می‌آورد که منبع زمین گرمایی یا سیستم زمین گرمایی نام دارد که امروزه بشر قادر است با استحصال این آب‌های گرم زیرزمینی از آن‌ها بهره برداری نماید.کاربردهای انرژی زمین گرمایی به طور کلی به دو بخش عمده طبقه بندی می‌گردد(۲).

- تولید برق (استفاده غیرمستقیم از انرژی حرارتی)
- استفاده مستقیم از انرژی حرارتی

استفاده حرارتی از انرژی زمین گرمایی به معنای بهره‌برداری از انرژی حرارتی درون زمین است. در این حالت، انرژی زمین گرمایی به انرژی الکتریکی تبدیل نمی‌شود، بلکه به صورت مستقیم از انرژی حرارتی آن استفاده می‌گردد. به طور کلی مخازن زمین گرمایی که دمای آن‌ها کم‌تر از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد است برای تبدیل به انرژی الکتریکی دارای توجیه اقتصادی بالایی نیستند(۳). لذا این گونه مخازن زمین گرمایی جهت بهره‌گیری مستقیم از انرژی حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند و به طور کلی، درجه حرارت سیال زمین گرمایی مورد نیاز برای استفاده حرارتی به مراتب کم‌تر از میزان مورد نیاز برای تولید الکتریسته می‌باشد، ولی نرخ استحصال حرارت در این حالت به مراتب بیش‌تر از تولید الکتریسته است (۴).

به طور کلی استفاده‌های مستقیم از انرژی زمین گرمایی را می‌توان در چند گروه طبقه بندی کرد که در هر گروه کاربردهای مختلفی وجود دارد که با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی، جغرافیایی و اکولوژیکی هر منطقه در موارد خاصی قابل استفاده می‌باشد:

- تأمین گرمایش منطقه‌ای[2]
- کاربردهای کشاورزی[3]
- کاربردهای صنعتی[4]
- استحمام و آب درمانی[5]
- ذوب برف و یخ[6]
- پمپ حرارتی زمین گرمایی[7]

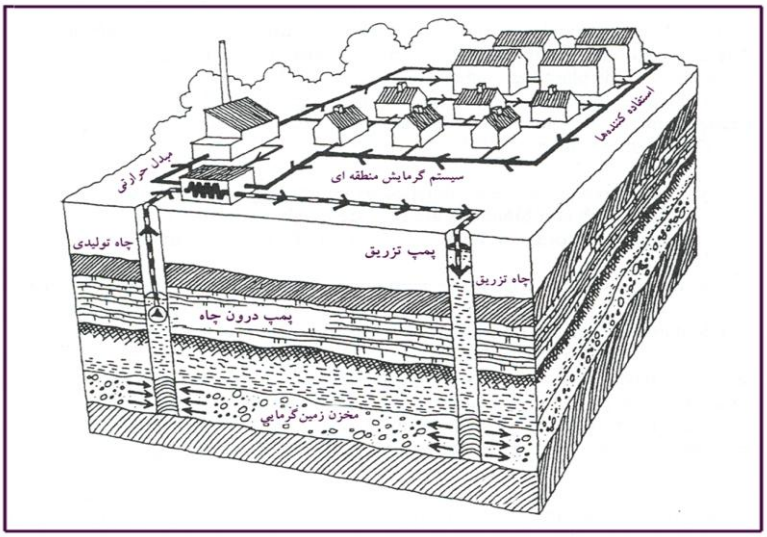
استفاده‌های گرمایشی از منابع آب‌های داغ زیر زمینی پس از جاذبه‌های گردشگری و آب‌درمانی سنتی، قدیمی ترین و رایج‌ترین نوع استفاده از این منابع است. تأمین گرمایش ساختمان ها به صورت مستقل و منفرد و یا به طور محلی و منطقه‌ای انجام می‌گیرد. به این صورت که آب گرم مورد نیاز با دمایی حدود ۶۰ درجه سانتی‌گراد یا بیش‌تر جهت تأمین حرارت یک سیستم گرمایش منطقه‌ای از یک یا چند چاه حفر شده در یک مخزن زمین گرمایی تأمین می‌گردد. آب‌های زمین گرمایی از درون یک مبدل حرارتی عبور نموده و از این طریق حرارت آن‌ها به آب شهری و در نهایت به ساختمان ها منتقل می‌گردد(۵ و ۶). آب زمین گرمایی پس از عبور از داخل مبدل مجدداً به درون مخزن زمین گرمایی تزریق می‌گردد. (شکل ۱).

از آن جا که این روش تأمین حرارت، روش اقتصادی و بی آلایش از نظر محیط زیست است ،کاربرد آن در بسیاری از کشورها رو به افزایش می‌باشد. مطابق شکل ۲، حدود ۱۴٪ از

1- Heat Flow

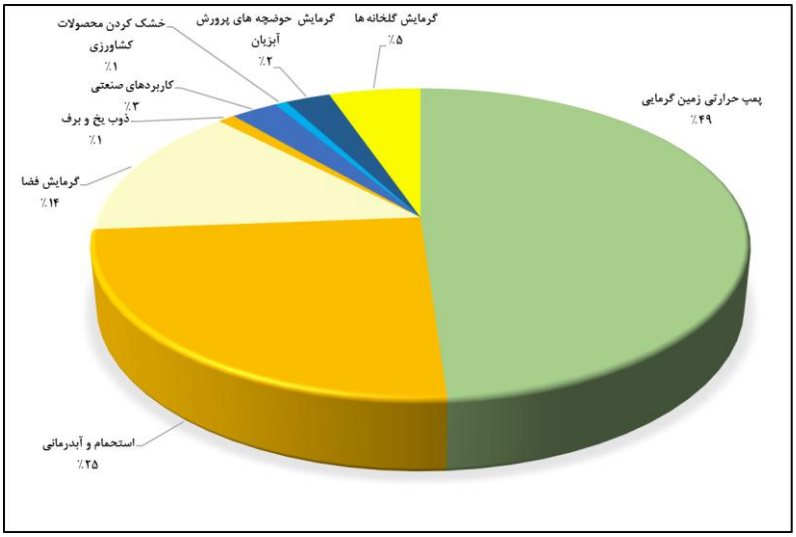
2- District heating
3- Agricultural applications
4- Industrial applications
5- Bathing and balneology
6- Snow and ice melting
7- Geothermal heat pump

کل انرژی تولید شده زمین گرمایی برای کاربرد مستقیم مربوط به گرمایش منطقه‌ای ساختمان‌ها است.



شکل ۱ - تأمین گرمایش ساختمان ها به صورت محلی و منطقه‌ای (۱)

Figure 1- Geothermal district heating system (1)



شکل ۲- استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی در دنیا در سال ۲۰۱۰ (۷)

Figure 2- World geothermal direct use 2010 (7)

استفاده حرارتی از انرژی زمین گرمایی در حال حاضر در بسیاری از کشورهای دنیا در حال بهره برداری می‌باشد و حتی توانایی تامین انرژی حرارتی در کشورهای سردسیر از جمله کشور ایسلند را نیز دارد. با عنایت به دایمی بودن و عدم وابستگی این منبع انرژی به شرایط آب و هوایی (مانند بسیاری از انرژی های تجدیدپذیر مثل باد و خورشید) استفاده از آن از قابلیت اطمینان بسیار بالایی برخوردار است. در جدول ۱ میزان بهره برداری ۱۵ کشور اول دنیا در کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی به همراه نرخ سرانه استفاده (مصارف حرارتی) در سال ۲۰۱۰ ارایه شده است.

جدول ۱- میزان بهره برداری از انرژی زمین گرمایی در ۱۵کشور اول دنیا به همراه نرخ سرانه استفاده (۷)

Table 1- Geothermal energy utilization capacity and per capita in top 15 countries(7)

کشور	kWh/year	سرانه استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی kWh/yr.Capita
چین	۲/۰۹×۱۰^{۱۰}	۱۵/۶
امریکا	۱/۵۷×۱۰^{۱۰}	۵۱
سوئد	۱/۲۵×۱۰^{۱۰}	۱۳۸۰
ترکیه	۱/۰۲×۱۰^{۱۰}	۱۴۳
ژاپن	۰/۷۱×۱۰^{۱۰}	۵۶
نروژ	۰/۷۰×۱۰^{۱۰}	۱۴۰۰
ایسلند	۰/۶۷×۱۰^{۱۰}	۲۱۰۰۰
فرانسه	۰/۳۵۹×۱۰^{۱۰}	۵۴۰
آلمان	۰/۳۵۴×۱۰^{۱۰}	۴۳/۳
هلند	۰/۲۹×۱۰^{۱۰}	۱۸۱
ایتالیا	۰/۲۷۶×۱۰^{۱۰}	۴۷/۵
مجارستان	۰/۲۷۱×۱۰^{۱۰}	۲۶۸
نیوزلند	۰/۲۶×۱۰^{۱۰}	۴۴۰
کانادا	۰/۲۴×۱۰^{۱۰}	۷۱۰
سوئیس	۰/۲۱×۱۰^{۱۰}	۲۷۰

منابع انرژی زمین گرمایی در ایران

از سالیان بسیار دور ایرانیان از منابع آب‌های گرم برای استحمام و آب‌درمانی استفاده می‌کردند. اما علاقه مندی به استفاده صنعتی از انرژی زمین گرمایی در ایران بر می گردد به زمانی که کارشناس سازمان ملل متحد «جیمز مک نیت» در دسامبر سال ۱۹۷۴ به ایران سفر کرد. در سال ۱۹۷۵ قراردادی بین ایران و ایتالیا به منظور پژوهش و اکتشاف انرژی زمین گرمایی در بخش شمال غرب کشور منعقد گردید. در سال ۱۹۸۳ نتیجه پژوهش منجر به معرفی ۴ منطقه پتانسیل دار انرژی زمین گرمایی در شمال غرب کشور گردید. این ۴ منطقه شامل: سبلان، دماوند، خوی- ماکو و سهند می‌باشد (۵).

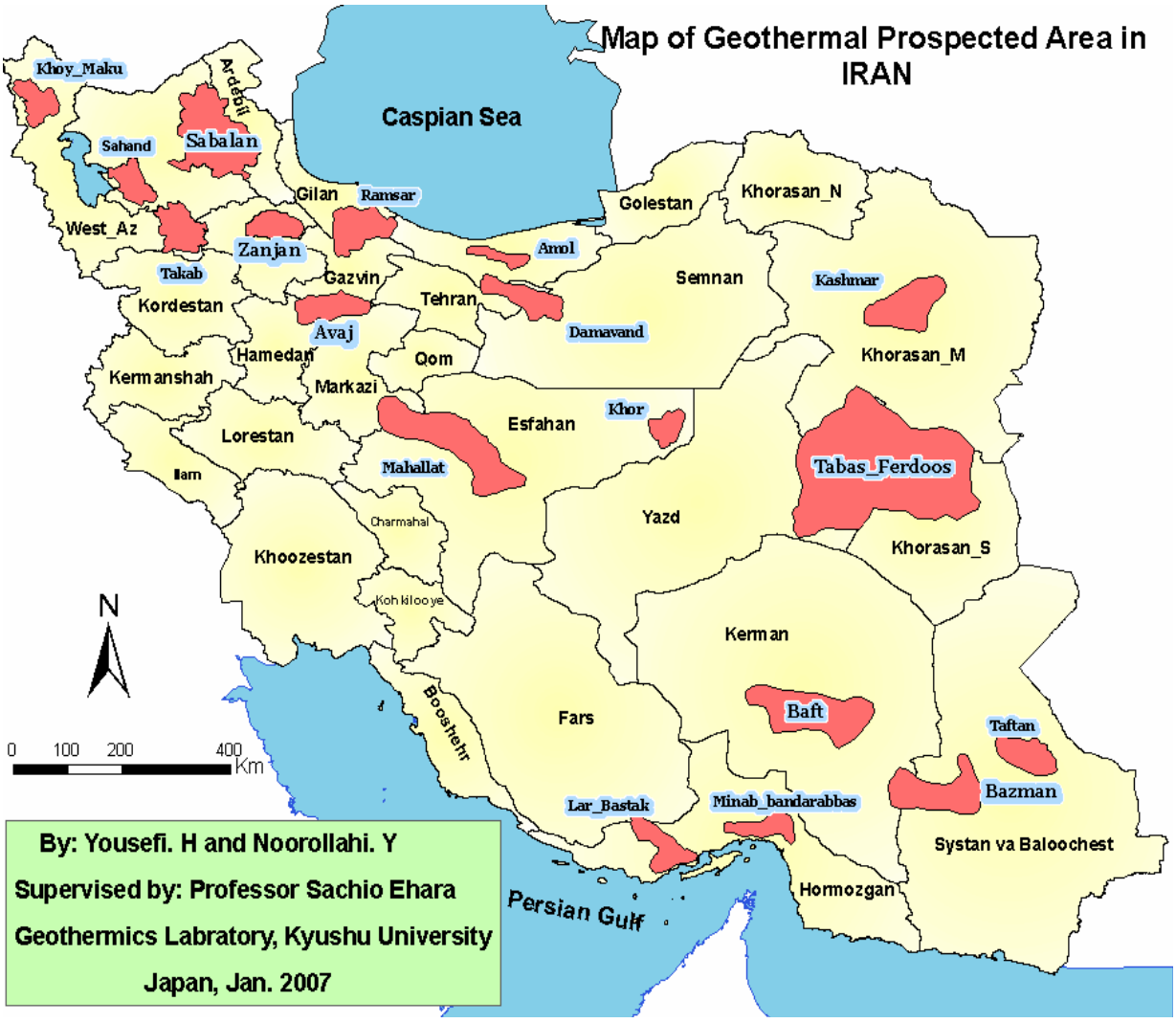
از سال ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۹ سازمان انرژی‌های نو ایران عهده دار پروژه اکتشاف منابع انرژی زمین گرمایی در سراسر کشور گردید و طی این پروژه بیش از ۱۰ ناحیهٔ پتانسیل دار دیگر نیز معرفی شد.

در سال ۲۰۰۷ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] انتخاب سایت‌های پتانسیل دار انرژی زمین گرمایی توسط محققان ایرانی دانشگاه کیوشو ژاپن انجام یافته و ۱۸منطقه پتانسیل دار معرفی شد که ۸/۸ ٪ از مساحت ایران را شامل می‌شود که به عنوان مناطق احتمالی وجود انرژی زمین گرمایی شناخته شدند(۸).

با توجه به این‌که حوزه سبلان با بیش‌ترین احتمال وجود انرژی زمین گرمایی به عنوان نخستین ناحیه، جهت بررسی دقیق‌تر برای حفاری‌های اکتشافی و ارزیابی ظرفیت مخازن

1- Geographical Information System (GIS)

انتخاب گردیده بود، از سال ۱۹۹۵ مطالعات امکان سنجی و اکتشافات سطحی در این منطقه انجام یافته و پنج ناحیه امید بخش تعریف گردید. به منظور بررسی شرایط زمین شناسی زیر سطحی و ارزیابی و شبیه سازی مخازن در بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ سه حلقه چاه عمیق اکتشافی حفر شد. نتیجه شبیه سازی مخزن منجر به تعریف پروژه احداث نیروگاه ۵۵ مگاواتی در سبلان به عنوان اولین نیروگاه زمین گرمایی در کشور گردید. ۱۸ منطقه‌ای که به عنوان مکان‌های مناسب جهت استخراج انرژی زمین گرمایی شناسایی شده در جدول ۲ نشان داده شده است و نقشه مناطق پتانسیل دار نیز در شکل ۳ نشان داده شده است(۸).



شکل ۳- نقشه مناطق پتانسیل دار انرژی زمین گرمایی ایران (۸)

Figure 3- Geothermal potential map of Iran (8)

۲- شناسایی و انتخاب شهرهای مناسب

به منظور شناسایی شهرهای مجاور در مناطق پتانسیل دار زمین گرمایی اقدام به مقایسه جایگاه مناطق زمین گرمایی (با استفاده از اطلس انرژی زمین گرمایی ایران (۸)) با اطلس جغرافیای ایران نمودیم که نتیجه حاصل در جدول ۲ نشان داده شده است. برای نصب و راه اندازی سیستم‌های گرمایش زمین گرمایی بایستی امکان سنجی لازم انجام پذیرد. از مهم‌ترین عوامل موثر و قابل ذکر در این امکان سنجی می‌توان به امکان سنجی فنی انتقال سیال از مخزن زمین گرمایی تا محل مصرف

سـیال اشـاره نمـود. بنـابراین در ایـن بخـش، هـر کـدام از محدوده‌های مهم برای استفاده از انرژی زمین گرمایی بررسی و نتایج ارایه می‌شود.

جدول ۲ – لیست جایگاه شهرها با اطلس انرژی زمین گرمایی ایران (۹).

Table 2- The list of cities in each geothermal prospected areas (9)

استان	نام منطقه زمین گرمایی	مساحت منطقه زمین گرمایی (Km^2)	شهرهای واقع در مناطق زمین گرمایی
اردبیل	سبلان	۱۳۰۳۷	مشکین شهر، سرعین
تهران	دماوند	۴۶۴۸	دماوند، فیروزکوه
آذربایجان غربی	خوی_ماکو	۳۲۵۷	خوی، چالدران
آذربایجان شرقی	تکاب _ هشترود	۴۶۳۹	تکاب، چاراویماق
	سهند	۳۱۷۴	آذرشهر، اهر، اسکو، سراب، مراغه، بناب، کلیبر، هریس، بستان آباد
سیستان و بلوچستان	بزمان	۸۳۵۶	بزمان
	تفتان	۴۳۱۰	خاش
خراسان جنوبی	طبس-فردوس	۴۶۶۲۸	بیرجند، سربیشه، خوسف
اصفهان	خور	۲۳۳۴	میمه، نطنز
مرکزی	محلات	۱۳۶۴۸	محلات، دلیجان
زنجان	زنجان	۳۲۸۵	زنجان، آب بر
همدان	آوج	۴۲۸۳	اسدآباد، رزن
خراسان مرکزی	کاشمر	۷۱۰۷	کاشمر، تربت حیدریه، فردوس
گیلان	رامسر	۵۵۳۲	رامسر
مازندران	آمل	۱۶۹۷	آمل
کرمان	بافت	۱۱۵۲۵	بافت، بم، جیرفت
هرمزگان	میناب _ بندعباس	۳۱۹۱	بندر لنگه، میناب، بندر عباس،رودان، ده بارز
	لار_بستک	۴۱۹۱	بستک

۲-۱- فاصله از بازار بالقوه مصرف

فاصله منبع زمین گرمایی از بازار بالقوه مصـرف، پـارامتر بسـیار مهمی در رابطه با توجیه فنی و اقتصادی استفاده از این سیستم گرمایشی به‌شمار می‌آید. شعاع اقتصادی انتقال یعنـی حـداکثر فاصله اقتصادی بین حـوزه زمـین گرمـایی و بـازار مصـرف کـه اساساً تحت تأثیر یک رشته از پارامترهـای هزینـه‌ای قـرار دارد. بنابراین می‌توان دریافت که بعد فاصله نقـش بسـیار مهمـی در بالا/پایین بردن هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه و جاری خواهـد داشت. در حال حاضر طولانی‌تـرین خـط لولـه از منبـع زمـین گرمایی تا محل استفاده به طول ۶۰ کیلومتر در کشور ایسلند و متوسط جهانی آن حدود ۲۵ کیلـومتر مـی‌باشـد. لـذا بـا ایـن دیدگاه در بین شهرسـتان‌هـای نزدیـک بـه حـوزه‌هـای زمـین گرمـایی، شـهرهای واقـع در شـعاع حـداکثر ۲۵ کیلـومتری از حوزه‌های زمین گرمایی انتخاب شـدند کـه نتـایج در جـدول ۲ ارایه شده است. به منظور افـزایش دقـت در انتخـاب شـهرها و مناطق مستعد از نقشه‌های تهیه شده در محیط GIS اسـتفاده شده است.

۲-۲- برآورد انرژی مصرفی سالیانه جامعه هدف

با مراجعه به ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷مصرف کل ۴ حامل انرژی (نفت سفید، نفت کوره، نفت گاز و گاز طبیعی) در بخش خانگی، تجاری، عمومی به تفکیک شهرهای منتخب (جدول ۲) در سال ۱۳۸۷جهت مصارف گرمایشی تعیین گردید(۱۰). در ستون مربوط به مصرف بخش‌های خانگی، تجاری و عمومی، مقدار مصرف واقعی گاز طبیعی بر حسب میلیون متر مکعب با کسر ۷٪ از مصرف مرتبط با پخت و پز درج گردیده است.

جدول ۳- مصرف واقعی گرمایشی توسط حامل‌های انرژی شهرهای واقع در حوزه زمین گرمایی در بخش خانگی، تجاری و عمومی (۹)

Table 3- Fuel consumption in residential sector in each prospected cities (9)

استان	شهرهای واقع در مناطق زمین گرمایی	نفت سفید	نفت گاز	نفت کوره	گاز طبیعی
		بخش خانگی تجاری عمومی (هزار لیتر)			خانگی تجاری عمومی (میلیون متر مکعب)
اردبیل	مشکین شهر	۹۱۷۲	۶۳۷	۱۳۴	۳۸
	سرعین	۶۷۰	۴۶	۹	۲
تهران	دماوند	۱۱۱۹	۱۶۶۷	۳۷۲	۳۴
	فیروزکوه	۴۸۵	۷۲۳	۱۶۱	۱۴
آذربایجان غربی	خوی	۶۲۴۴۰	۱۲۴۸۹	۳۴۳۲	۱۰۴
	چالدران	۱۵۶۶۵	۳۱۳۳	۸۶۱	۲۶
	شاهین دژ	۱۱۹۵۰	۲۳۹۰	۶۵۷	۲۰
	تکاب	۱۵۲۶۹	۳۰۵۴	۸۳۹	۲۵
آذربایجان شرقی	آذرشهر	۳۳۳۹	۱۶۹۶	۲۳۲	۳۱
	اهر	۷۸۵۴	۳۹۸۹	۵۴۷	۷۲
	اسکو	۱۴۷۷	۷۵۰	۱۰۳	۱۳
	سراب	۳۸۵۰	۱۹۵۶	۲۶۸	۳۵
	مراغه	۱۳۴۰۴	۶۸۰۹	۹۳۵	۱۲۴
	بناب	۶۸۹۷	۳۵۰۳	۴۸۱	۶۴
	کلیبر	۸۲۶	۴۲۰	۵۷	۷
	هریس	۸۷۱	۴۴۲	۶۰	۸
	بستان آباد	۱۵۱۹	۷۷۱	۱۰۵	۱۴
	چاراویماق	۱۶۸۵	۸۵۶	۱۱۷	۱۵
سیستان و بلوچستان	خاش	۶۲۶۱	۳۲۲۵	۱۰۲۳	۰
خراسان جنوبی	بیرجند	۶۳۷۴۹	۱۴۷۹۲	۲۶۲۱۸	۲
	سربیشه	۲۴۸۰	۵۷۵	۱۶۸	۰/۱
	خوسف	۱۶۴۲	۳۸۱	۱۱۱	۰/۰۶
اصفهان	میمه	۱۰۴۶	۶۰۸	۲۰۴	۱۸
	نطنز	۲۲۸۵	۱۳۲۹	۴۴۶	۴۰
مرکزی	محلات	۴۰۶۶	۲۴۲۷	۲۰۸۷	۲۷
	دلیجان	۳۶۶۷	۲۱۸۹	۱۸۸۲	۲۵
زنجان	زنجان	۵۹۴۶۱	۱۰۵۷۰	۴۵۹۹	۲۱۸
	آب بر	۹۰۶	۱۶۱	۷۰	۳

همدان	اسدآباد	۶۰۵۵	۸۹۰	۳۷۸	۳۹
	رزن	۱۳۴۴	۱۹۷	۸۴	۸
خراسان رضوی	کاشمر	۸۲۶۹	۱۳۲۳	۱۷۴۰	۴۷
	تربت حیدریه	۱۲۱۰۷	۱۹۳۷	۲۵۴۸	۶۸
	فردوس	۲۳۷۴	۳۸۰	۴۹۹	۱۳
گیلان	رامسر	۱۸۵۲	۲۱۶	۷	۸
مازندران	آمل	۲۶۶۴	۱۹۴۱	۲۶۱	۱۵۷
کرمان	بافت	۵۲۸۴	۹۶۶	۲۲۳۲	۹
	بم	۱۱۱۴۳	۲۰۳۸	۴۷۰۸	۱۹
	جیرفت	۱۴۳۴۵	۲۶۲۳	۶۰۶۰	۲۵
هرمزگان	بندر لنگه	۳۷۲	۲۴۱۷	۲	۰
	میناب	۸۰۳	۵۲۱۹	۵	۰
	بندر عباس	۵۴۰۶	۳۵۱۱۷	۳۳	۰
	رودان	۱۴۵۴	۹۴۴۸	۹	۰
	ده بارز	۴۵۲	۲۹۴۲	۲	۰
	بستک	۱۳۲	۸۶۱	۰/۸	۰
جمع کل مصرف		۳۷۸.۱۱۱	۱۵۰.۱۰۳	۶۴.۷۴۶	۱۳۷۰

۲-۳- ملاحظات اقتصادی

مطابق جدول ۳ با بهره گیری از انرژی زمین گرمایی در مصارف گرمایشی در ۴۴ شهر مندرج در جدول ۳ که به عنوان شهرهای مستعد انرژی زمین گرمایی شناخته شده‌اند، سالانه ۳۷۸/۱۱۱ هزار لیتر نفت سفید، ۱۵۰/۱۰۳ هزار لیتر نفت گاز، ۶۴/۷۴۶ هزار لیتر نفت کوره و ۱/۳۷۰ میلیون متر مکعب گاز طبیعی در بخش خانگی تجاری و عمومی صرفه جویی خواهد شد و امکان صادرات حامل‌های فوق فراهم گردیده و در نتیجه مقدار درآمد حاصل از صادرات برای کشور مطابق جدول ۴ خواهد بود.

این مقدار صرفه جویی به خصوص در ذخیره سازی گاز طبیعی در نقاط پرمصرف به منظور پیک سایی و مصرف گاز طبیعی در فصل سرما حایز اهمیت است. با علم بر این که هر بشکه نفت صادراتی معادل ۱۵۸/۹۱ لیتر می‌باشد، محاسبات ارزش صادرات برای حامل‌های نفت سفید، نفت گاز، نفت کوره بر اساس نرخ صادرات نفت خام ایران هر بشکه ۹۷ دلار انجام یافته است. همچنین بر اساس نرخ گاز طبیعی صادراتی به ترکیه در سال ۲۰۱۰ (۳۰۰ ریال به ازای هر متر مکعب) ارزش صادرات گاز طبیعی محاسبه گردیده است (۱۱).

جدول ۴- میزان درآمد ارزی حاصل از صادرات حامل‌های انرژی صرفه جویی شده در اثر جایگزینی سیستم گرمایش شهری با انرژی زمین گرمایی (۹)

Table 4- Revenue of natural gas export by utilization of geothermal energy (9)

نوع حامل انرژی (بخش خانگی تجاری عمومی)	جمع کل مصرف در شهرهای واقع در حوزه زمین گرمایی	قیمت واحد	ارزش صادرات (دلار)
نفت سفید (هزار لیتر)	۳۷۸/۱۱۱	قیمت یک بشکه نفت خام صادراتی در زمان مطالعه ۹۷ دلار	۲۹۴.۳۷۴.۸۷۶
نفت گاز (هزار لیتر)	۱۵۰/۱۰۳		

نفت کوره (هزار لیتر)	۶۴/۷۴۶		
گاز طبیعی (میلیون مترمکعب)	۱/۳۷۰	قیمت هر متر مکعب گاز طبیعی صادراتی ۳۰۰۰ ریال	۴۳.۱۳۵.۵۱۱۸
جمع کل			۷۲۵.۷۲۹.۹۹۴

۳- هزینه های احداث سیستم گرمایش شهری از طریق انرژی زمین‌گرمایی در شهر سرعین

برای احداث سیستم گرمایش متمرکز شهری از طریق انرژی زمین گرمایی مطالعات و اقدامات اجرایی گوناگونی باید صورت پذیرد که زمینه‌های اصلی سرمایه‌گذاری جهت احداث سیستم-های گرمایشی ژئوترمال را به شرح زیرمی‌توان بیان نمود:

الف) چاه‌های زمین گرمایی

- اکتشاف
- حفاری
- واحد پمپاژ
- حقوق بهره‌برداری
- اجاره یا خرید زمین

ب) خط لوله اصلی انتقال

- واحد پمپاژ
- مخازن ذخیره

ج) شبکه توزیع

- واحد مبدل حرارتی
- واحد پمپاژ
- کنترل اتوماتیک
- کنتور برای تعیین میزان فروش

میزان هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه از مکانی به مکان دیگربسته به میزان دسترسی به منابع انرژی ژئوترمال، عمق منبع، دمای سیال، فاصله از منبع تا بازار مصرف و نرخ تراکم جمعیت بسیار متغیر است.

میزان سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز در دنیا

میزان سرمایه گذاری در میدان‌های زمین گرمایی وابستگی شدیدی به شرایط و ویژگی‌های مخزن و میدان زمین گرمایی مورد مطالعه دارد. از جمله عوامل موثر می‌توان عمق مخزن، شرایط زمین شناسی، دمای مخزن و ویژگی های شیمیایی مخزن را نام برد. سرمایه‌گذاری انجام یافته جهت تولید هر کیلووات‌ساعت انرژی حرارتی (جهت گرمایش منطقه‌ای) به همراه زمان برگشت سرمایه‌گذاری در برخی از کشورهای پتانسیل‌دار انرژی زمین‌گرمایی تا سال ۲۰۱۰ مطابق جدول ۵ است.

جدول ۵- سرمایه‌گذاری انجام یافته جهت تولید هر کیلووات‌ساعت انرژی حرارتی (گرمایش منطقه‌ای) (۹)

Table 5 -Investment for production of 1kWh geothermal thermal energy (9)

کشور	هزینه سرمایه‌گذاری برای تولید هر کیلووات‌ساعت انرژی حرارتی (۱۰۰ دلار)	زمان برگشت سرمایه (سال)
چین	۶/۸	۲/۱
یونان	۸/۵	۲/۹
سوئد	۶/۹	۳/۱
ترکیه	۸	۳
ژاپن	۷	۴/۱
نروژ	۹	۳/۹
ایسلند	۶/۳	۲/۴
سوئیس	۸	۴/۱
هلند	۸	۳/۶
مجارستان	۱۰	۳
نیوزلند	۷/۵	۲/۱
فرانسه	۷/۳	۲

شهر سرعین از نظر موقعیت جغرافیایی ۴۸/۵ درجه طول شرقی و ۳۸/۵ درجه عرض شمالی واقع شده و دارای مساحتی در حدود ۴۰۰ هکتار، در ۲۸ کیلومتری غرب شهر اردبیل قرار

دارد. ارتفاع متوسط شهر از سطح دریا ۱۶۵۰ متر می‌باشد. طبق سرشماری انجام یافتته در سال ۱۳۹۰ جمعیت شهری سرعین برابر ۴۴۴۰ نفر اعلام شده است. میزان مصرف گاز طبیعی در این شهر که که صرف گرمایش خانگی، تجاری و عمومی شده است (صرف‌نظر از مصارف پخت و پز) برابر ۲/۸ میلیون مترمکعب در سال است. در این مطالعه سعی می‌شود این میزان انرژی با استفاده از انرژی زمین گرمایی تامین گردد.

مطابق بررسی های انجام یافته توان حرارتی مورد نیاز شهر سرعین برای تامین گرمایش ساختمان ها برابر ۳۴۰۰ کیلووات یا ۲۹.۷۸۴.۰۰۰ کیلووات‌ساعت در سال است. بنابراین هزینه سرمایه‌گذاری برای تولید یک کیلووات‌ساعت انرژی حرارتی در سرعین برابر ۱۰۷ تومان تخمین زده می‌شود. در محاسبات انجام یافته در این مقاله نشان داده شده که هزینه بازگشت سرمایه نیز برابر ۳/۵ سال است. در جدول ۶ هزینه کل پروژه احداث سیستم گرمایش متمرکز شهری در شهر سرعین (به عنوان نمونه) آورده شده است.

جدول ۶ – هزینه کل پروژه سیستم گرمایش متمرکز شهری با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی در شهر سرعین (۹)

Table 6- Total investment for geothermal district heating system in Sarein city (9)

هزینه ثابت (هزار تومان)								هزینه جاری (هزارتومان)		هزینه کل (هزارتومان)
هزینه خرید مبدل حرارتی	هزینه سالانه تعمیر و نگه‌داری مبدل حرارتی	هزینه خرید پمپ و موتور الکتریکی	هزینه سالانه تعمیر و نگه‌داری پمپ و موتور الکتریکی	هزینه شبکه توزیع و انتقال	هزینه حفاری	هزینه انرژی مصرفی مبدل حرارتی	هزینه انرژی مصرفی پمپ و موتور الکتریکی			
۱۰۵.۰۰۰	۲.۲۰۰	۹۵.۰۰۰	۴۵۰	۱.۸۸۴.۷۹۴	۹۵۱.۰۰۰	۹۷.۷۴۰	۶۲.۱۰۰			۳.۱۹۸.۲۸۴
۳.۰۳۸.۴۴۴						۱۵۹.۸۴۰				

۲-۴- ملاحظات زیست محیطی

انرژی زمین گرمایی نسبتاً عاری از آلودگی های زیست محیطی است. حتی نیروگاه‌های برق زمین گرمایی که از بخار آب با دمای بالا استفاده می‌کنند، در مقایسه با نیروگاه‌های سوخت ـ فسیلی، دی اکسید کربن بسیار کم‌تری به محیط اطراف تخلیه می‌کنند و چنانچه از سیالات دما ـ پایین استفاده شود، (مصارف سیستم گرمایش مستقیم) همین انتشارات گازی اندک نیز وجود نخواهد داشت. اثرات زیست محیطی مصرف حامل‌های انرژی در در بخش خانگی، تجاری و عمومی در سال ۱۳۸۹ در جداول ۷ نشان داده شده است. همانطور که در جدول دیده می‌شود عمده‌ترین آلاینده زیست محیطی حاصل از سوختن آن ها گاز دی اکسید کربن می‌باشد که نفت سفید هنوز بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص داده است.

جدول ۷- میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش خانگی، تجاری و عمومی (بر حسب تن) (۱۲)

Table 7- Air pollution emission from residential sector (in Tons) (12)

نوع سوخت	مقدار مصرف سوخت	NO_X	SO_2	SO_3	CO	SPM	CO_2	CH_4	N_2O
نفت سفید	(هزار لیتر) ۳۷۸.۱۱۱	۱۹۴	۹۳۴	-	۳۰۳	-	۱.۰۱۴.۳۶۱	۴۲	۸
نفت گاز	(هزار لیتر) ۱۵۰.۱۰۳	۷۶۴	۲۳۹۹	۳۰	۳۰	۱۵۲	۴۳۰.۵۸۷	۱۷	۳
نفت کوره	(هزار لیتر) ۶۴.۷۴۶	۶۵۱	۳۰۵۸	۴۶	۰/۲۵	۶۵	۲۱۰.۴۲۱	۸	۲
گاز طبیعی	(میلیون متر مکعب)۱۳۷۰	۳.۰۶۸	۱۲	-	۴۱۱	۲۹۳	۳۲۱.۶۷۷	۵۷	۶

۲-۵- هزینه‌های خارجی

هزینه‌های خارجی تخریب محیط زیست در اثر انتشار آلاینده های هوا در کشور در سال ۱۳۸۹ برای هر کدام از آلاینده ها به تفکیک در جدول ۸ تعیین شده است. این هزینه‌ها بر اساس مطالعات انجام یافته توسط بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ایران محاسبه شده و در این‌گونه مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول ۷ میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش خانگی، تجاری و عمومی (بر حسب تن) در ۴۴ شهر واقع در حوزه زمین گرمایی در ازای مصرف حامل‌های انرژی متعارف در سال ۱۳۸۹ارایه گردیده است.

با عنایت به میزان تولید گازهای آلاینده در جدول ۷ و هزینه های مربوط در جدول ۸ میزان هزینه‌های خارجی ناشی از مصرف حامل‌های انرژی در بخش خانگی، تجاری و عمومی در سال ۱۳۸۹ برای ۴۴ شهر واقع در حوزه های زمین گرمایی محاسبه و در جدول ۹ ارایه شده است.

بر اساس مطالعه فوق می‌توان گفت درصورتی‌که این ۴۴ شهری که امکان بهره برداری از انرژی زمین گرمایی را دارند، از این موهبت الهی استفاده نمایند، در مجموع ۷۲۵.۷۲۹.۹۹۴ دلار درآمد یا عایدی و برابر با ۲۹۳.۰۳۹.۹۷۵ میلیارد ریال هزینه های مثبت اجتماعی و زیست محیطی نصیب کشور خواهد شد.

جدول ۸- هزینه‌های خارجی انتشار گاز آلاینده/ گلخانه‌ای (هزار ریال بر تن) (۱۲)

Table 8- External cost of emission (1000 IRR/ton) (12)

نوع گاز	NO_X	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4
مقدار هزینه	۴۸۰۰	۱۴۶۰۰	۱۵۰۰	۳۴۴۰۰	۸۰	۱۶۸۰

جدول ۹- هزینه‌های خارجی بخش خانگی تجاری عمومی ناشی از مصرف حامل‌های انرژی (میلیارد ریال)(۹)

Table 9- External cost of emission from residential sector of Iran (10^9 IRR) (9)

نوع گاز	NO_X	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4	جمع (میلیارد ریال)
نفت سفید	۹۳۴.۷۵۲	۱۳.۶۴۸.۰۸۰	۴۵.۵۷۰۰	-	۸۱.۱۴۸.۸۹۲	۷۱.۱۸۱	۹۲.۲۵۸.۶۰۵
نفت گاز	۳.۶۶۷.۲۰۰	۳۵.۰۲۸.۳۲۰	۴۵.۸۵۵	۵.۲۵۷.۳۵۲	۳۴.۴۴۷.۰۱۶	۲۹.۲۶۵	۷۸.۴۷۵.۰۰۸
نفت کوره	۳.۱۲۷.۸۲۴	۴۴.۶۵۲.۶۴۰	۳۷۵	۲.۲۴۱.۸۴۸	۱۶.۸۳۳.۶۸۸	۱۳.۶۰۸	۶۶.۸۶۹.۹۸۳
گاز طبیعی	۱۴.۷۲۹.۲۸۰	۱۷۹.۱۴۲	۶۱۶.۸۰۰	۱۰.۰۸۰.۵۷۶	۲۵.۷۳۴.۲۳۲	۹۶.۳۴۸	۵۱.۴۳۶.۳۷۸
جمع کل							۲۹۳.۰۳۹.۹۷۵

۳- بازده سیستم گرمایش شهری زمین‌گرمایی

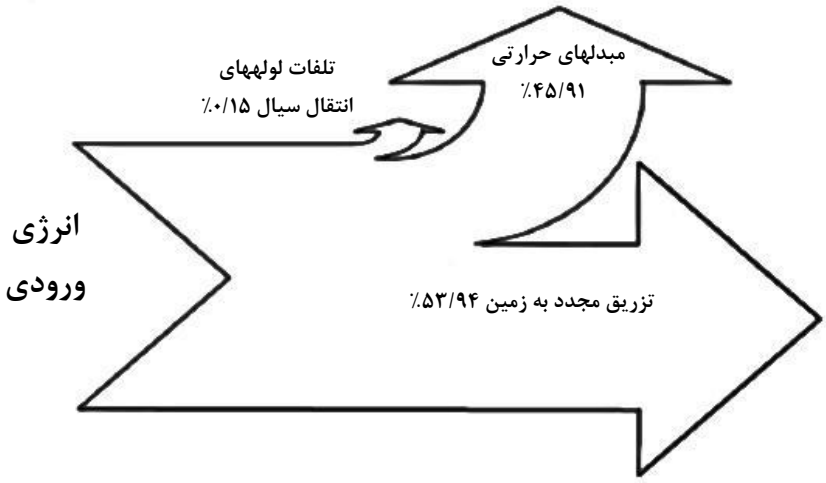
برآورد بازده و عملکرد سیستم‌های تامین انرژی به منظور کمینه‌کردن تلفات سیستم و بیشینه‌کردن صرفه‌جویی انرژی و در نهایت بیشینه‌کردن صرفه مالی اجرای پروژه حایز اهمیت است.

به طور کلی، بازدهی انرژی سیستم، به صورت نسبت انرژی کل خروجی به انرژی کل ورودی تعریف می‌شود. عموما از انرژی خروجی با نام انرژی مفید هم یاد می‌شود.

$$\eta = \frac{E_{output}}{E_{input}} \qquad (۱)$$

در سیستم گرمایش زمین گرمایی ، انرژی ورودی برابر با آنتالپی موجود در آب گرم خارج شده از زمین است. انرژی مفید (انرژی خروجی) برابر با انرژی تحویل داده شده به منازل (جهت گرمایش) است. برای محاسبه بازده سیستم، باید تلفات مربوط به افت دما در لوله‌ها و همچنین آنتالپی آبی که دوباره به زمین تزریق می‌شود در نظر گرفته شود (۱۴)

لوله‌های سیستم گرمایش زمین‌گرمایی به نحوی طراحی و عایق‌بندی می‌شوند که کم‌ترین تلفات حرارتی را در طول مسیر داشته باشند. افت دمایی حدود ۳ درجه سانتی‌گراد برای رساندن سیال از مخزن به مبدل‌های حرارتی قابل قبول است (۱۳). در شکل۴، جریان انرژی در سیستم‌های گرمایش زمین گرمایی نشان داده شده است. در این شکل مشخص است که تنها ۰/۱۵٪ از انرژی ورودی در لوله‌ها تلف می‌شود. ۵۳/۹۴ ٪انرژی ورودی نیز دوباره به زمین تزریق می‌شود. بنابراین بازده انرژی سیستم گرمایش زمین‌گرمایی ۴۵/۹۱ ٪برآورد می‌گردد (۱۶).



شکل ۴ - نمودار جریان انرژی در سیستم گرمایش ژئوترمال

Figure 4- Energy flow diagram for geothermal district heating system

نتیجه‌گیری

بررسی و شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی در ایران، نخستین گام از این تحقیق محسوب می‌شود. شناسایی استان‌ها و شهرهای واقع در حوزه‌های زمین گرمایی از طریق بررسی پارامتر اساسی شعاع اقتصادی (فاصله از بازار پتانسیل مصرف) انجام گرفت. مهم‌ترین نتایج حاصل از انجام این تحقیق به شرح ذیل می‌باشد :

- مطابق استانداردهای موجود، طولانی‌ترین خط لوله از منبع زمین گرمایی تا محل استفاده ۶۰ کیلومتر و متوسط آن ۲۵ کیلومتر می‌باشد. با بررسی‌های به عمل آمده، حدود ۴۴ شهر در محدوده زمین گرمایی (تا شعاع ۲۵ کیلومتری از حوزه‌های زمین گرمایی) واقع شده‌اند .
- با توجه به این که ۷٪ از انرژی مصرف شده در ساختمان‌ها صرف پخت‌وپز می‌شود، بنابراین امکان تأمین ۹۳٪ از نیازهای حرارتی (گرمایشی و تامین آبگرم) توسط استفاده

مستقیم از انرژی زمین گرمایی وجود دارد که در صورت بهره برداری از این انرژی، می‌توان مقادیر زیادی از حامل‌های انرژی (نفت سفید، نفت کوره، نفت گاز و گاز طبیعی) را که به منظور گرمایش بخش خانگی، تجاری و عمومی مورد مصرف قرار می‌گیرد ذخیره نمود و در بسیاری از موارد اقدام به صادرات آن‌ها نمود. در بررسی به عمل آمده در ۴۴ شهر واقع در حوزه انرژی زمین گرمایی، در صورت بهره برداری از این انرژی سالیانه ۷۲۵.۷۲۹.۹۹۴ دلار از طریق صادرات حامل های انرژی عاید کشور خواهد شد که معادل ۹.۴۲۵.۰۶۴ بشکه نفت خام می‌باشد و باعث رشد فزاینده‌ای در اقتصاد کشور خواهد بود.

- با عنایت به تجدید پذیر بودن انرژی زمین گرمایی و عدم تولید آلودگی زیست محیطی و با توجه به نگرانی‌های روز افزون نسبت به آلاینده‌های زیست محیطی موجود و تلاش برای کاهش این آلودگی‌ها استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی در قالب سیستم متمرکز شهری نمود بیش‌تری پیدا می‌کند.
- هزینه‌های خارجی ناشی از مصرف حامل‌های انرژی در ۴۴ شهر مورد مطالعه، به طور میانگین بالغ بر ۲۹۳.۰۳۹.۹۷۵ میلیارد ریال می‌باشد که در صورت استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی این رقم به مقدار قابل توجهی کاهش خواهد یافت .
- با توسعه اقتصادی و رشد جمعیت، تقاضای کشور جهت استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی (خصوصاً گاز شهری) با شیب تندی رو به افزایش است. استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی در قالب سیستم متمرکز شهری می‌تواند نگرانی موجود در خصوص به اتمام رسیدن ذخایر انرژی به ویژه گاز طبیعی را کاهش دهد.
- در نهایت تغییر دیدگاه‌های مسوولان جهت سرمایه گذاری بر روی پروژه‌های زمین گرمایی خصوصاً سیستم‌های متمرکز شهری از طریق ارایه نتایج حاصل از انجام چنین تحقیقاتی و بیان تفاوت‌های انرژی زمین گرمایی با سایر انرژی‌های متعارف میسر خواهد بود.
- همچنین برگزاری برنامه‌های آموزشی که در آن به بیان دیدگاه‌ها و نتایج حاصل از اجرای تحقیقات انجام یافته (در خصوص سیستم‌های متمرکز شهری ژئوترمال) بپردازد بستر مناسبی برای برنامه ریزی کلان در راستای این‌گونه پروژه‌ها فراهم خواهد ساخت .

منابع

۱. نوراللهی، یونس و فتوحی، منوچهر، «اصول و مبانی انرژی زمین گرمایی»، چاپ اول، انتشارات میعاد، ۱۳۸۱، ص۱۴۲.

۲. شفقی‌اصل، سیدکریم و جلایر، منصور، بررسی انرژی زمین‌گرمایی مشکین‌شهر اردبیل در تولید برق، چهارمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، (۱۳۸۴)

۳. علیزاده، مجید و خلجی، مجید. استفاده از منابع ژئوترمال جنوب سبلان (بوشلی) برای بهینه‌سازی سیستم گرمایش خانه‌ها در شهر اردبیل-شمالغرب ایران، سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان. (۱۳۸۲)

۴. پرخیال، سهیل، عبدالمحمدی، علی و کهربائیان، احمد، «انرژی زمین گرمایی»، چاپ اول، انتشارات وزارت نیرو، ۱۳۸۲، ص ۱۶۷.

۵. رضوی، سید اسماعیل، حسین‌پورآزاد، حسین. طراحی سیستم گرمایش ساختمان‌ها با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی، چهارمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان (۱۳۸۴).

۶. محمدی، راضیه و ناصری، مریم، انرژی ژئوترمال با تاکید بر وضعیت پترولوژیکی و ژئوترمال منطقه خوی-ماکو در ایران، دومین همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط‌زیست، (۱۳۸۵).

7. John W. Lund, Derek H. Freeston, Tonya L. Boyd., Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review, Proceedings World Geothermal Congress 2010.

8. Yosefi, H. Sachio, E. Noorollahi, Y., Geothermal potential site selection using GIS in IRAN', Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 22-24, 2007

۹. فرجی، محمد علی، طراحی و محاسبات فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی جهت جایگزینی سیستم گرمایش یک منطقه مسکونی از گاز شهری به انرژی زمین‌گرمایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات (۱۳۹۱).

۱۰. نوراللهی، یونس و فرجی، محمدعلی، پتانسیل‌سنجی جایگزینی گرمایش شهری متعارف با منابع انرژی زمین‌گرمایی در ایران، اولین کنفرانس بین‌المللی انرژی پاک. (۱۳۸۹)،

۱۱. سایت شرکت ملی گاز ایران www.nigc.ir تاریخ دسترسی۱۳۸۹/۰۷.

۱۲. دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۹

13. Einar Gunnlaugsson, Hreinn Frimannson, Gunnar A. Sverrisson, District Heating In Reykjavik – 70 Years Experience, Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan. (2000).

14. Leyla Ozgenera, Arif Hepbaslib, Ibrahim Dincerc, Energy and exergy analysis of geothermal district heating systems: an application, Building and Environment 40, (2005), 1309–1322.

15. Haiyan Lei and Pall Valdimarsson., Simulation of District Heating System in Tianjin, China, Geothermal Training Programme, Orkustofnun, Grensásvegur 9, IS-108 Reykjavík, Iceland. (2010).

16. Leyla Ozgener, Arif Hepbasli, Ibrahim Dincer, Energy and exergy analysis of the Gonen geothermal district heating system, Turkey, Geothermics 34, (2005), pp: 632–645.