

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

یونس نوراللهی^{*۱}

Noorollahi@ut.ac.ir

حسین یوسفی^۲

علی حسین رضایان^۳

هادی فارابی اصل^۴

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۲۱

چکیده

زمینه و هدف: بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی 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 نحوه اجرای پروژه‌های زمین‌گرمایی و نتایج حاصل گردیده است. هدف از این تحقیق جایگزینی سوخت‌های فسیلی در گرمایش و تامین آبگرم مصرفی ساختمان‌ها با انرژی تجدیدپذیر زمین‌گرمایی برای کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌باشد.

روش بررسی: این تحقیق به بررسی اقدامات اولیه انجام شده جهت استفاده مستقیم از انرژی زمین‌گرمایی پرداخته و در ادامه با استفاده از GIS و اطلس زمین‌گرمایی ایران، شهرهای واقع در حوزه‌های زمین‌گرمایی 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 شهرهای یادشده پرداخته و در نهایت ملاحظات اقتصادی و زیست‌محیطی حاصل از جایگزینی سیستم گرمایشی متعارف با انرژی زمین‌گرمایی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

نتایج و یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که در صورت بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی با کاربری گرمایش ساختمان‌ها و فضاهای خانگی، تجاری و عمومی در شهرهای واقع در حوزه‌های زمین‌گرمایی 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* (مسئول مکاتبات)

۲- استادیار گروه 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 گاز طبیعی 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 کیلووات ساعت 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 ارزان تر 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).

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

Younes Noorollahi^{*1}

Noorollahi@ut.ac.ir

Hossein Yousefi²

Ali Hossein Rezayan³

Hadi Farabi Asl⁴

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 m³lit 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

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^۲
- کاربردهای کشاورزی^۳
- کاربردهای صنعتی^۴
- استحمام و آب درمانی^۵
- ذوب برف و یخ^۶
- پمپ حرارتی زمین گرمایی^۷

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 ساختمان‌ها 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 ساختمان‌ها 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 بی‌آلایش از نظر محیط زیست است، کاربرد آن در بسیاری از کشورها رو به افزایش می‌باشد. مطابق شکل ۲، حدود ۱۴٪ از

زمین منبع عظیمی از انرژی حرارتی است که این حرارت به طریق‌های متفاوتی از جمله فوران‌های آتشفشانی، آب‌های موجود در سیستم‌های زمین گرمایی و یا به واسطه خاصیت رسانایی^۱ 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. هنگامی که 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).

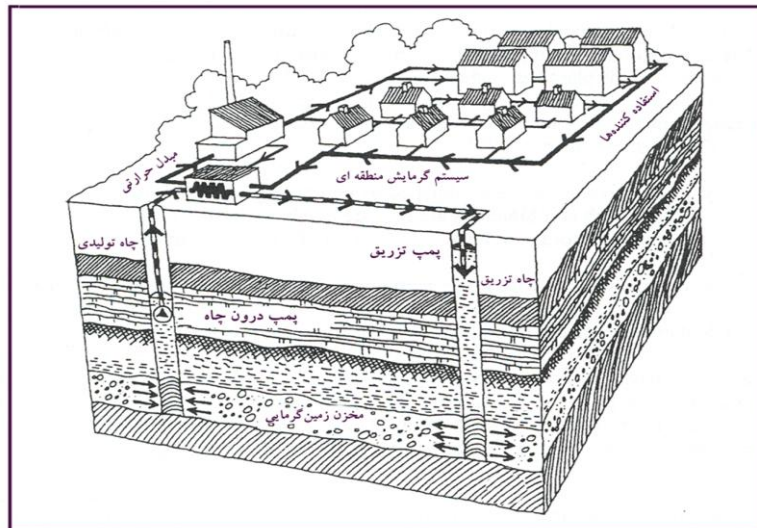
- تولید برق (استفاده غیرمستقیم از انرژی حرارتی)
- استفاده مستقیم از انرژی حرارتی

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

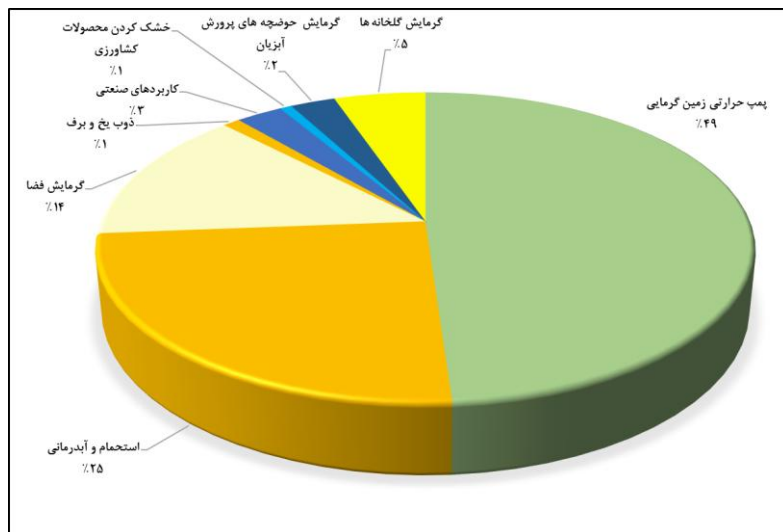
- 2- District heating
- 3- Agricultural applications
- 4- Industrial applications
- 5- Bathing and balneology
- 6- Snow and ice melting
- 7- Geothermal heat pump

- 1- Heat Flow

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



شکل ۱ - تأمین گرمایش ساختمان‌ها 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)

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 ارائه شده است.

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 انرژی‌های تجدیدپذیر مثل باد و خورشید) استفاده از آن از

جدول ۱- میزان بهره برداری از انرژی زمین گرمایی در ۱۵ کشور 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	$2/09 \times 10^{10}$	۱۵/۶
امریکا	$1/57 \times 10^{10}$	۵۱
سوئد	$1/25 \times 10^{10}$	۱۳۸۰
ترکیه	$1/02 \times 10^{10}$	۱۴۳
ژاپن	$0/71 \times 10^{10}$	۵۶
نروژ	$0/70 \times 10^{10}$	۱۴۰۰
ایسلند	$0/67 \times 10^{10}$	۲۱۰۰۰
فرانسه	$0/359 \times 10^{10}$	۵۴۰
آلمان	$0/354 \times 10^{10}$	۴۳/۳
هلند	$0/29 \times 10^{10}$	۱۸۱
ایتالیا	$0/276 \times 10^{10}$	۴۷/۵
مجارستان	$0/271 \times 10^{10}$	۲۶۸
نیوزلند	$0/26 \times 10^{10}$	۴۴۰
کانادا	$0/24 \times 10^{10}$	۷۱۰
سوئیس	$0/21 \times 10^{10}$	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 می‌گردد 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 ناحیه پتانسیل دار دیگر نیز معرفی شد.

در سال ۲۰۰۷ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ انتخاب سایت‌های پتانسیل دار انرژی زمین گرمایی توسط محققان ایرانی دانشگاه کیوشو ژاپن انجام یافته و ۱۸ منطقه 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)

در سیلان 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).

انتخاب گردیده بود، از سال ۱۹۹۵ مطالعات امکان‌سنجی 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



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

Figure 3- Geothermal potential map of Iran (8)

جغرافیای ایران نمودیم که نتیجه حاصل در جدول ۲ نشان داده شده است. برای نصب و راه اندازی سیستم‌های گرمایش زمین گرمایی بایستی امکان‌سنجی لازم انجام پذیرد. از مهم‌ترین عوامل موثر و قابل ذکر در این امکان‌سنجی می‌توان به امکان‌سنجی فنی انتقال سیال از مخزن زمین گرمایی تا محل مصرف

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

سیال اشاره نمود. بنابراین در این بخش، هر کدام 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، اسکوه، 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، نظنز
مرکزی	محلات	۱۳۶۴۸	محلات، دلیجان
زنجان	زنجان	۳۲۸۵	زنجان، آب بر
همدان	اوج	۴۲۸۳	اسداباد، 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

متوسط جهانی آن حدود ۲۵ کیلومتر می‌باشد. لذا با این دیدگاه در بین شهرستان‌های نزدیک به حوزه‌های زمین گرمایی، شهرهای واقع در شعاع حداکثر ۲۵ کیلومتری از حوزه‌های زمین گرمایی انتخاب شدند که نتایج در جدول ۲ ارایه شده است. به منظور افزایش دقت در انتخاب شهرها و مناطق مستعد از نقشه‌های تهیه شده در محیط GIS استفاده شده است.

فاصله منبع زمین گرمایی از بازار بالقوه مصرف، پارامتر بسیار مهمی در رابطه با توجیه فنی و اقتصادی استفاده از این سیستم گرمایشی به‌شمار می‌آید. شعاع اقتصادی انتقال یعنی حداکثر فاصله اقتصادی بین حوزه زمین گرمایی و بازار مصرف که اساساً تحت تأثیر یک رشته از پارامترهای هزینه‌ای قرار دارد. بنابراین می‌توان دریافت که بعد فاصله نقش بسیار مهمی در بالا/پایین بردن هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه و جاری خواهد داشت. در حال حاضر طولانی‌ترین خط لوله از منبع زمین گرمایی تا محل استفاده به طول ۶۰ کیلومتر در کشور ایسلند و

۲-۲- برآورد انرژی مصرفی سالیانه جامعه هدف

با مراجعه به ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷ مصرف 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 ۱۳۸۷ جهت 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 زمین‌گرمایی

در بخش خانگی، تجاری و عمومی (۹)

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

استان	شهرهای واقع در مناطق زمین‌گرمایی	نفت سفید	نفت گاز	نفت کوره	گاز طبیعی	
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	
	بستان‌آباد	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	
	نظنز	۲۲۸۵	۱۳۲۹	۴۴۶	۴۰	
مرکزی	محلان	۴۰۶۶	۲۴۲۷	۲۰۸۷	۲۷	
	دلیجان	۳۶۶۷	۲۱۸۹	۱۸۸۲	۲۵	
زنجان	زنجان	۵۹۴۶۱	۱۰۵۷۰	۴۵۹۹	۲۱۸	
	آب‌بر	۹۰۶	۱۶۱	۷۰	۳	

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

۲-۳- ملاحظات اقتصادی

این مقدار صرفه جویی به خصوص در ذخیره سازی گاز طبیعی در نقاط پرمصرف به منظور پیک سایه 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).

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.

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)

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

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

مورد مطالعه دارد. از جمله عوامل موثر می‌توان عمق مخزن، شرایط زمین‌شناسی، دمای مخزن و ویژگی‌های 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

۳- هزینه‌های احداث سیستم گرمایش شهری از طریق

انرژی زمین‌گرمایی در شهر سرعین

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

الف) چاه‌های زمین‌گرمایی

- 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 دیگر بسته 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 سرمایه‌گذاری در میدان‌های زمین‌گرمایی وابستگی شدیدی به شرایط و ویژگی‌های مخزن و میدان زمین‌گرمایی

دارد. ارتفاع متوسط شهر از سطح دریا ۱۶۵۰ متر می‌باشد. طبق سرشماری انجام یافته در سال ۱۳۹۰ جمعیت شهری سرعین برابر ۴۴۴۰ نفر اعلام شده است. میزان مصرف گاز طبیعی در این شهر 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

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 زمین گرمایی در شهر سرعین (۹)

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

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

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 - فسیلی، دی اکسید کربن بسیار کمتری به محیط اطراف تخلیه می‌کنند و چنانچه از سیالات دما - 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.

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.

۳- بازده سیستم گرمایش شهری زمین گرمایی

برآورد بازده و عملکرد سیستم‌های تامین انرژی به منظور کمینه کردن تلفات سیستم و بیشینه کردن صرفه جویی انرژی و در نهایت بیشینه کردن صرفه مالی اجرای پروژه حایز اهمیت است.

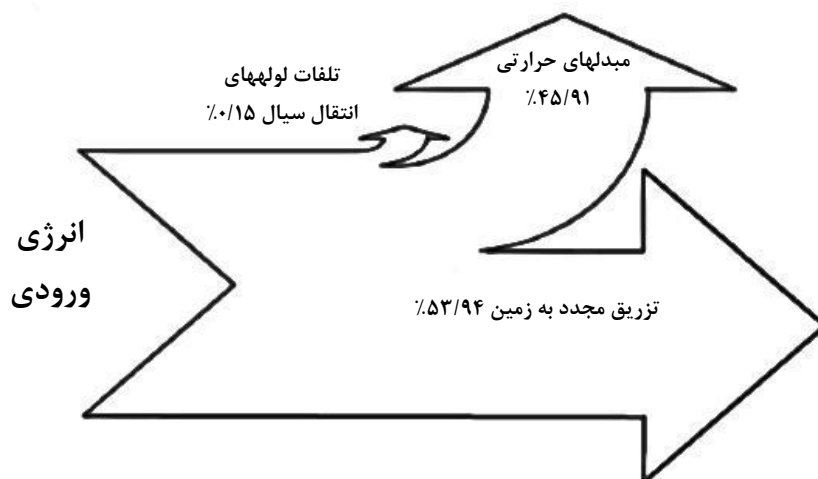
به طور کلی، بازدهی انرژی سیستم، به صورت نسبت انرژی کل خروجی به انرژی کل ورودی تعریف می‌شود. عموماً از انرژی خروجی با نام انرژی مفید هم یاد می‌شود.

$$\eta = \frac{E_{output}}{E_{input}} \quad (1)$$

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 زمین گرمایی به نحوی طراحی و عایق بندی 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 شکل ۴، 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 زمین گرمایی 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:

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

- مطابق استانداردهای موجود، طولانی‌ترین خط لوله از منبع

• 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، ص ۱۴۲.
۲. شفق‌اصل، 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.

مستقیم از انرژی زمین گرمایی وجود دارد که در صورت بهره‌برداری 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 بهره‌برداری از این انرژی سالیانه ۷۲۵.۷۲۹.۹۹۴ دلار از طریق صادرات حامل‌های 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 ۲۹۳۰.۳۹.۹۷۵ 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 سرمایه‌گذاری بر روی پروژه‌های زمین گرمایی خصوصاً سیستم‌های متمرکز شهری از طریق ارائه نتایج حاصل از انجام چنین تحقیقاتی و بیان تفاوت‌های انرژی زمین گرمایی با سایر انرژی‌های متعارف میسر خواهد بود.

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 Dincer, 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.
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 زیست محیطی جهت جایگزینی سیستم گرمایش یک منطقه مسکونی از گاز شهری به انرژی زمین گرمایی، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات (۱۳۹۱).
۱۰. نوراللهی، یونس و فرجی، محمد علی، پتانسیل سنجی جایگزینی گرمایش شهری متعارف با منابع انرژی زمین گرمایی در ایران، اولین کنفرانس بین المللی انرژی پاک. (۱۳۸۹).
۱۱. سایت شرکت ملی گاز ایران www.nigc.ir تاریخ دسترسی ۱۳۸۹/۰۷.
۱۲. دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۹

