

بررسی میزان کاهش انتشار CO₂ در صورت بهره گیری از سیستم گرمایش و سرمایش پمپ حرارتی زمین گرمایی (مطالعه موردی ساختمان پست برق وردآورد)

سعید شایامهر^۱

مجید عباس پور^{۲*}

abbpor@sharif.edu

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: بهره گیری از سیستم های پمپ حرارتی زمین گرمایی جهت تامین سرمایش و گرمایش ضمن امکان اثرگذاری مطلوب بر پیک سایی مصرف برق در فصل گرم، تاثیر قابل توجهی بر کاهش تولید گازهای گلخانه ای دارد. مطالعه حاضر به بررسی میزان کاهش دی اکسید کربن در یک نمونه پروژه مطالعاتی در ساختمان پست برق وردآورد که سیستم های پمپ حرارتی با منبع هوایی و بخاری برقی با سیستم های پمپ حرارتی با منبع زمینی جایگزین شده اند می پردازد.

روش بررسی: در این مطالعه، ابتدا ضریب عملکرد سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی با دیتابرداری محاسبه شده و سپس تحلیل مصرف بار سرمایش و گرمایش و میزان تولید CO₂ از طریق مدل سازی انجام پذیرفته است.

یافته ها: نتایج حاکی از آن است که استفاده از سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی در ساختمان مورد مطالعه منجر به کاهش انتشار CO₂ به میزان ۶۳ درصد در فاز گرمایش، ۲۹ درصد در فاز سرمایش و ۵۴ درصد در کل سال شده است. میزان صرفه جویی با لحاظ کردن مصرف پمپ سیرکولاتور کویل زمینی ۴۱ درصد می باشد.

بحث و نتیجه گیری: اجرای سیستم های پمپ حرارتی با کویل زمینی در ساختمان های پست های برق کشور ضمن اینکه فرصت مناسبی برای اجرای راهکار های صرفه جویی انرژی در بدنه وزارت نیرو تلقی می شود، زمینه توسعه راهکار های کاهش آلاینده های زیست محیطی را توسط متولیان انرژی فراهم می آورد. ساختمان پست های برق با توجه به عدم امکان استفاده از گاز به عنوان سوخت، گزینه مناسبی به منظور توسعه این دست پروژه ها تلقی می شوند.

واژه های کلیدی: پمپ حرارتی زمین گرمایی، کاهش آلاینده های زیست محیطی، دی اکسید کربن، گازهای گلخانه ای، ساختمان پست برق.

۱- گروه مهندسی انرژی و اقتصاد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

۲- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

Study of CO₂ Emission Reduction in Case of Utilizing Ground-Source Heat Pump System (Vardavard Substation Building as a Case Study)

Saeed Shayamehr¹

Madjid Abbaspour² *

abbpor@sharif.edu

Date of Acceptance: March 6, 2022

Date of Submission: February 6, 2021

Abstract

Background and Objective: While the use of geothermal heat pump systems to provide cooling and heating can have a positive effect on the peak shaving of electricity in the hot season, the widespread use of it has a significant impact on reducing greenhouse gas emissions. The present study investigates the extent of carbon dioxide emissions in a case study project - Vardavard power substation building - in which air-source heat pump systems and electric heaters are replaced by ground-source heat pump systems.

Material and Methodology: In this study, first geothermal heat pump system coefficient of performance is calculated by data logging and then the analysis of cooling and heating load consumption and CO₂ emission is carried out through modeling.

Findings: The results show that the use of geothermal heat pump system in the case study building has reduced CO₂ emissions by 63% in the heating phase, 29% in the cooling phase and 54% in the whole year. The saving rate considering the consumption of the ground coil circulation pump is 41%.

Discussion and Conclusion: While Implementation of ground source heat pumps in the substation buildings throughout the country is considered a good opportunity to apply energy saving solutions in the body of the Ministry of Energy, it provides the basis for the development of solutions to reduce environmental pollutants by energy authorities. Substation buildings are considered a suitable option for the development of such projects due to the fact that using gas as fuel is prohibited in substations.

Keywords: Geothermal heat pump, Reduction of environmental pollutants, Carbon dioxide, Greenhouse gases, Power substation building.

1- Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- School of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran. *(Corresponding Author)

مقدمه

ایران به عنوان یکی از کشورهای در حال توسعه سالانه با افزایش تقاضای مصرف انرژی مواجه است. تجربه سال‌های اخیر ثابت کرده است که نرخ افزایش دیماندر انرژی همواره بیش از نرخ توسعه منابع انرژی جدید بوده است. در چنین شرایطی چند مولفه اساسی می‌بایست در دستور کار قرار بگیرد.

- توسعه و بهره‌گیری روش‌های کاهش مصرف انرژی به خصوص در حوزه ساختمان و صنعت
- ایجاد تنوع در سبد تامین انرژی کشور با بهره‌گیری از ظرفیت‌های طبیعی و به طور خاص منابع تجدیدپذیر که پتانسیل بسیار بالایی در سطح کشور دارند.
- تعریف پروژه‌های پایلوت در زمینه سیستم‌های صرفه‌جو و نوین
- ایجاد مکانیزم مشوق‌های مالی برای توسعه منابع نوین انرژی به خصوص انرژی‌های پاک

تقریباً ۴۵ درصد مصرف انرژی در سطح کشور مربوط به ساختمان و بیش از نیمی از این عدد به تاسیسات برودتی و حرارتی اختصاص دارد. بنابراین مصرف انرژی تاسیسات برودتی و حرارتی و ارتقاء راندمان تجهیزات و سیستم‌های مربوط به آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

یکی از راه‌های ارتقاء راندمان سیستم‌های تاسیسات مکانیک ساختمان، بهره‌گیری از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر است که ضمن ایجاد امکان بهره‌وری بیشتر، محاسن دیگری نیز همچون کاهش آلاینده‌های زیست محیطی، متنوع‌سازی سبد تامین انرژی مورد نیاز و در نتیجه آن افزایش امنیت انرژی در بخش ساختمان را به همراه دارد. وابستگی بیش از حد به منابع فسیلی در این بخش، به خصوص برای تامین گرمایش با بهره‌گیری از گاز طبیعی با محدودیت‌های فراوان همراه است؛ به طوریکه افت فشار خط لوله گاز طبیعی در فصل سرد در موارد متعدد باعث عدم امکان تامین سوخت مورد نیاز سیستم‌های گرمایشی ساختمان‌های غرب و شمال غرب کشور شده است. لذا، به لحاظ

بکارگیری اصول پدافند غیر عامل، بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر به صورت محلی از اهمیت دوچندان برخوردار است.

سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی با بهره‌گیری از اختلاف دمای سطح زمین و عمق زمین توسط مبدل زمینی تا حد زیادی از مصرف انرژی سیکل تراکمی می‌کاهد که با توجه به اینکه این قابلیت تفاوت دمایی سطح و عمق زمین در تمامی نقاط یافت می‌شود، در صورت امکان احداث کوئل زمینی و در اختیارداشتن فضای کافی برای اینکار، گزینه مناسبی جهت ارتقاء راندمان سیستم‌های تراکمی محسوب می‌شود.

این افزایش راندمان به میزان قابل توجهی می‌تواند در مدیریت انرژی برق در ساعات اوج مصرف راهگشا باشد. دولت طی سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به امر افزایش ظرفیت نیروگاه‌ها به منظور مقابله با رشد روز افزون نیاز مصرف برق در سطح کشور داشته است.

مطابق بند «ت» ماده ۴۸ قانون برنامه پنج ساله ششم دولت مکلف است از طریق وزارت نیرو و به واسطه سرمایه‌گذاری مؤسسات عمومی غیردولتی، تعاونی و خصوصی اعم از داخلی و خارجی و یا منابع داخلی شرکت‌های تابعه یا به صورت روش‌های متداول سرمایه‌گذاری از جمله ساخت، بهره‌برداری و تصرف (BOO) و همچنین ساخت، بهره‌برداری و انتقال^۲ (BOT)، ۲۵ هزار مگاوات به توان تولید برق کشور در طول اجرای این برنامه، از ابتدای سال ۱۳۹۶ تا پایان سال ۱۴۰۰، اضافه کند. (۱) این میزان حدوداً معادل ۳۵ درصد کل ظرفیت نیروگاه‌های موجود کشور می‌باشد. این میزان از نیاز با توجه به افزایش مصرف انرژی به خصوص در شرایط اوج بار پیش بینی شده است. نمودارها همچنین نشان می‌دهند که نرخ افزایش مصرف برق از نرخ افزایش تولید برق در حال پیشی گرفتن است و به زودی علی‌رغم افزایش ظرفیت نیروگاه‌ها، تامین انرژی الکتریکی در سطح کشور به یک بحران تبدیل خواهد شد (۲). در چنین شرایطی، اصلاح الگوی مصرف مطابق اصل ۴۴ قانون اساسی و بهینه‌سازی تجهیزات مصرف‌کننده انرژی به ساختن نیروگاه

های جدید اولویت دارد. سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی، ضمن افزایش بهره وری، ماهیتا راندمان بسیار بالایی در شرایط پیک بار برق دارد و می تواند، در صورت بهره گیری به صورت گسترده در سطح کشور، نقش بسزایی در پیک سازی مصرف برق داشته باشد.

مطابق ترازنامه انرژی در سال ۹۶ (که در سال ۹۸ چاپ شده و آخرین نسخه موجود می باشد) در پایان سال ۹۶ در مجموع ۲۲/۲ میلیون مصرف کننده گاز در کشور وجود داشته است که ۱/۱ میلیون مصرف کننده در این سال به جمع مصرف کنندگان کشور اضافه شده اند.

در سال مذکور مصرف برق در بخش خانگی ۳۲/۷ درصد از کل فروش برق وزارت نیرو بوده است. سرانه مصرف برق به ازای هر مشترک خانگی در سال ۹۶ حدود ۲۹۶۸ کیلووات ساعت است که نسبت به سال قبل ۳/۹ درصد افزایش را نشان می دهد. این امر نشان می دهد که علاوه بر افزایش تعداد مشترکین بخش خانگی، مصرف برق و به تبع آن سرانه مصرف هر مشترک خانگی نیز افزایش یافته است. (3)

بنابراین همانطور که ملاحظه می شود، مصرف انرژی در دو بخش گاز و برق در مجموع سیر صعودی داشته است. بر همین مبنا، همانطور که قبلا مطرح شد، دولت طی برنامه پنج ساله ششم تصمیم به افزایش ۲۵،۰۰۰ مگاواتی ظرفیت تولید برق کشور داشته است. این عدد در مورد برنامه پنجم توسعه هم ۲۵،۰۰۰ مگاوات بوده است که مشخصا کمتر از یک سوم این میزان طی سال های ۹۱ تا ۹۵ محقق شده است.

در چنین شرایطی اما، بحث استفاده صحیح و بهینه انرژی کمک شایانی به اصلاح نمودار مصرف خواهد کرد. موضوعی که ابعاد گسترده ای داشته و تا حد زیادی به اقتصاد انرژی، امکانات و تجهیزات در دسترس و فرهنگ مصرف بر میگردد. متأسفانه یارانه سنگین حوزه انرژی برق و ارقام بسیار پایین قیمت تمام شده برای مصرف کننده، توجیه پذیری موضوع صرفه جویی انرژی و پروژه های مرتبط با آن را با چالشی جدی مواجه می کند. ضمن اینکه به جهت هزینه های پایین پرداختی توسط مشترکین، مردم

بر خود اجباری نمی بینند تا موضوع بهینه سازی مصرف انرژی را جدی بگیرند. با توجه به مستندات وزارت نیرو و مندرجات تراز نامه انرژی، متوسط قیمت برق برای مصرف کننده در سال ۹۶ تقریبا ۶۸ تومان بوده است. این عدد، علی رغم افزایش محدود طی سال های ۹۶ تا ۹۹، به جهت افت ارزش ریال، در واقعیت در مقیاس دلاری و در مقایسه با کشورهای دیگر کاهش نیز داشته است.

در چنین شرایطی، پروژه های صرفه جویی انرژی می بایست از درون متولیان انرژی یعنی وزارت نفت و نیرو آغاز شود. به عبارت دیگر، معرفی سیستم های صرفه جوی انرژی در حوزه هایی همانند سرمایش و گرمایش که بیشترین مصرف انرژی را به نسبت در بر میگیرند، می بایست در درون بدنه وزارت خانه مطالعه و پروژه های نمونه اجرا شود و در نتیجه بررسی فنی - اقتصادی خروجی ها، مشوق های مالی لازم طی زمان مناسب و پس از انجام پروژه های پایلوت تعریف و در طیف مردم عادی اقتصادی شود و طرفدارهای خود را بیابد.

از طرف دیگر، باید در نظر داشت که موضوع آلاینده های زیست محیطی و تعهدات بین المللی نیز در میان مدت موضوع جدی کشورمان خواهد بود و با توجه به توافقنامه پاریس و COP21¹ ایران به صورت داوطلبانه پذیرفته است که میزان انتشار گازهای گلخانه ای در سطح کشور را کاهش دهد. (4) مشخصا آنطور که انتظار می رود، عدم تامین این خواسته در میان مدت با جرایم بین المللی و چالش های عدیده همراه خواهد بود. در بحث انتشار گازهای گلخانه ای، مجموع ردیف خانگی، تجاری، عمومی به همراه نیروگاهی عدد چشمگیری می باشد که بخش عمده ای از آن به موضوع تامین سرمایش و گرمایش ساختمان ها بر می گردد. به عبارت دیگر، صرفه جویی در حوزه گرمایش و سرمایش، تاثیر مستقیم بر نیروگاه های تولید برق خواهد داشت. در واقع برقی که تولید نشود، میزان ساعت کارکرد نیروگاه های در حال کار را کاهش داده، از احداث نیروگاه های بیشتر جلوگیری کرده و طبیعتا به تبع آن سوخت کمتری در نیروگاه ها مصرف می شود.

1- The Paris Climate Conference is officially known as the "21st Conference of the Parties (COP21)"

تامین سرمایش و گرمایش با صرفه جویی قابل توجه می‌باشد. انجام مطالعات اولیه و پروژه پایلوت کمک می‌کند پروژه مذکور در سطح کشور و در قالب پکیج‌های متفاوت برای ساختمان‌های دولتی و غیر دولتی طرح ریزی و پیاده‌سازی گردد.

سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی

پمپ حرارتی زمین گرمایی غالباً یک سیستم مبتنی بر سیکل تراکمی می‌باشد که از زمین به عنوان چشمه حرارتی استفاده می‌کند. این سیستم‌ها قابلیت تولید حرارت و برودت را در قالب یک دستگاه همانند دستگاه‌های اسپلیت دارا می‌باشند. تفاوت عمده سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی با کولر گازی و اسپلیت، کوپل بودن کندانسور سیکل تراکمی با کوئل زمینی در تابستان، و کوپل بودن اواپراتور سیکل تراکمی با کوئل زمینی در زمستان می‌باشد. به عبارت دیگر، با توجه به اینکه دمای عمق زمین تقریباً برابر با میانگین بیشینه و کمینه دمای سطح زمین در سال می‌باشد، عمق زمین در تابستان نسبت به دمای هوای آزاد خنک و در زمستان گرم محسوب می‌شود. اضافه شدن سیکل کمکی کوئل زمینی، راندمان سیکل تراکمی را به طرز چشمگیری افزایش می‌دهد. در حال حاضر، همانطور که گفته شد، این سیستم‌ها به ازای یک واحد انرژی برق، ۴ الی ۶ واحد انرژی حرارتی یا برودتی تولید می‌کنند و به اصطلاح دارای ضریب عملکرد ۴ الی ۶ هستند که بازه بسیار مطلوبی تلقی می‌شود. (5) افزایش راندمان سیکل تراکمی به معنی کاهش مصرف برق، صرفه جویی انرژی و به تبع آن کاهش آلاینده‌های زیست محیطی از محل تولید برق فسیلی می‌باشد.

تاکنون مطالعات زیادی در خصوص میزان اثر بخشی سیستم‌های پمپ حرارتی با کوئل زمینی بر کاهش گازهای گلخانه‌ای و به خصوص دی اکسید کربن در دنیا انجام شده است.

بایر و همکاران (6) در مقاله مروری خود که با محوریت اثر سیستم‌های زمین گرمایی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در اروپا تهیه شده نشان دادند که برای مثال برای کشور سوئد، کاهش تولید و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی تا ۳۵٪ از این طریق امکانپذیر است. تعداد سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی در سال ۲۰۱۱، مطابق این تحقیق، بیش از یک میلیون

در چنین شرایطی استفاده از راهکارهای کاهش مصرف انرژی در بخش تامین سرمایش و گرمایش میتواند با رعایت روند و الگوی پیشنهاد شده بالا نتیجه چشمگیری در بهبود مصرف انرژی و کاهش گازهای گلخانه‌ای داشته باشد.

با توجه به اینکه ساختمان‌های پست‌های برق کشور در حال حاضر به سبب محدودیت‌های داخل پست بعضاً از سیستم‌های تامین برودت و حرارت با راندمان پایین استفاده می‌کنند، این ساختمان‌ها گزینه مناسبی برای پیاده‌سازی سیستم‌های تاسیساتی با مصرف انرژی پایین تلقی می‌شوند. با توجه به اینکه امکان ورود خط لوله گاز به داخل پست‌های برق، به جهت مسائل امنیتی، وجود ندارد، تامین انرژی، به خصوص انرژی حرارتی ساختمان در داخل پست‌ها با چالشی جدی همراه است. در حال حاضر، بسیاری از این ساختمان‌ها توسط هیترهای برقی گرم می‌شوند که ضریب عملکرد آن‌ها در حدود ۱ می‌باشد. به عبارت دیگر، به ازای هر واحد انرژی الکتریکی ورودی، همان مقدار حرارت تولید می‌کند. این در حالیست که ضریب عملکرد متوسط سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی در فصل سرد، در حدود ۴ الی ۶ است. این عدد حتی تفاوت چشمگیری با سیستم‌های پمپ حرارتی هوا به هوا با ضریب عملکرد در حدود ۲٫۵ دارد. لذا اجرای پروژه‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی در پست‌ها با توجه به کاهش مصرف قابل توجه ایجاد شده، حتی با قیمت‌های کنونی می‌تواند توجیه پذیر و اقتصادی باشد. مزیت دیگر پست‌های برق، تملک آن‌ها توسط وزارت نیرو و تسهیل پیاده‌سازی دوره آزمون و خطا و انجام مطالعات پایلوت در این بخش را به همراه خواهد داشت. آمار نشان می‌دهد تعداد کثیری پست برق با ساختمان‌های نسبتاً کوچک و زمین کافی در محوطه آن جهت احداث کوئل زمینی در سطح کشور وجود دارد که حداقل نیمی از آنها در اقلیم سرد واقع شده‌اند. در سال ۱۳۱۷،۹۵ پست ۶۳ و ۶۶ کیلو ولتی، ۴۹۷ پست ۱۳۲ کیلو ولتی، ۲۸۸ پست ۲۳۰ کیلو ولتی و ۱۲۰ پست ۴۰۰ کیلو ولتی در کشور وجود داشته است. (2) ساختمان این پست‌ها بعضاً به جهت داشتن پرسنل ۲۴ ساعته، می‌بایست در زمان لازم گرم و سرد شوند. بنابراین پست‌های برق بازار هدف مناسبی برای توسعه سیستم نوبن

عدد در اروپا بوده است که نشان دهنده سیاست توسعه فراگیر سیستم های پمپ حرارتی زمین گرمایی در اروپا می باشد. این در حالیست که پروژه های مشابه اجرا شده در ایران انگشت شمار و بعضا بسیار کوچک هستند. بلام و همکاران (7) در مطالعه ای که بر روی کشور آلمان داشتند نشان دادند که با بهره گیری از سیستم های پمپ حرارتی با کوئل زمینی امکان صرفه جویی در میزان انتشار دی اکسید کربن از ۳۵ تا ۷۲ درصد با در نظر گرفتن نوع برق مصرفی میسر می باشد.

بر اساس آنچه که در مطالعات ویسر (8) آمده است، میزان انتشار دی اکسید کربن به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی از نیروگاه های گازی، عددی بین ۳۶۰ تا ۵۷۰ گرم می باشد. این مقدار برای نیروگاه های زغال سنگ ۸۰۰ الی ۱۰۰۰ گرم در نظر گرفته شده است. اعداد مذکور بیانگر طیف وسیع اثر گذاری کاهش مصرف برق بر انتشار دی اکسید کربن دارد. گنجی و همکاران (9) در مطالعه ای که در توکیو ژاپن انجام دادند، نشان دادند که نصب سیستم های تراکمی با منبع زمینی تا ۵۴٪ نسبت به سیستم های تراکمی با منبع هوایی، کاهش CO₂ را به همراه داشته است. گوین و همکاران (10) نیز در مطالعه خود کاهش چشمگیر انتشار CO₂ را در صورت بهره گیری از سیستم های پمپ حرارتی زمین گرمایی در مقایسه با سیستم های رایج غیر تجدیدپذیر نشان دادند.

گرگوریوس و همکاران (11) بر روی مقایسه بهترین سناریوهای پیاده سازی سیستم های پمپ حرارتی زمین گرمایی با در نظر گرفتن هزینه و میزان انتشار آلاینده های زیست محیطی به صورت همزمان کار کردند. نتایج این مطالعه که در هفت شهر کشور استرالیا انجام پذیرفته دلالت بر این دارد که سیستم های ترکیبی با کمترین هزینه الزاما همیشه سیستم های با کمترین میزان آلاینده های زیست محیطی نیستند و به همین جهت همیشه نمی توان با نگاهی تک بعدی تنها یک پارامتر، مثلا میزان انتشار گاز های گلخانه ای را به حداقل مقدار رساند. گاجوسکی و همکاران (12) میزان دی اکسید کربن تولیدی برای سیستم های مختلف تامین گرمایش شامل بویلر معمولی، بویلر چگالشی، پمپ حرارتی زمین گرمایی و پمپ حرارتی با منبع آبی در منطقه ای در کشور لهستان مطالعه کردند. نتیجه این مطالعات حاکی از

این بود که پمپ حرارتی با منبع آبی کمترین میزان انتشار دی اکسید کربن را دارد. علی رغم اینکه پمپ حرارتی با کوئل زمینی کمترین میزان انتشار CO₂ را نداشته است، به لحاظ میزان هزینه جاری بهره برداری، از بهترین گزینه ها محسوب می شود. کروونس و همکاران (13) کلیه آلاینده های زیست محیطی تولید شده برای یک سیستم مشخص پمپ حرارتی زمین گرمایی را مورد بررسی قرار دادند. در نتیجه انجام مطالعاتی مبتنی بر چرخه عمر سیستم، ۷۳ درصد آلاینده ها مربوط به اسیدی شدن و تنها ۱۴ درصد مربوط به گازهای گلخانه ای بوده است که در این میان سهم دی اکسید کربن ناچیز بدست آمده است. لیتجن و همکاران (14) با بررسی اثر منبع تولید برق مورد نیاز سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی و با توجه به این نکته که درصد تجدیدپذیر بودن منبع تولید انرژی برق می تواند خود عاملی موثر بر کاهش آلاینده های زیست محیطی باشد، مطالعه ای را انجام دادند. نتیجه مطالعه نشان داد که با فرض تامین ۱۹٪ برق مورد نیاز سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی از طریق سلول های فوتوولتاییک و استفاده از باتری به منظور رساندن این میزان تا ۵۰٪، می توان تا ۸۰٪ از میزان دی اکسید کربن تولیدی در یک چرخه عمر ۳۰ ساله کاست.

این مطالعه نیز به بررسی نمونه پروژه مطالعاتی در ساختمان پست برق وردآورد به لحاظ کاهش انتشار CO₂ در صورت بهره گیری از سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی می پردازد.

روش بررسی

با توجه به مطالب از پیش مطرح شده، فرایند انتخاب ساختمان برای پیاده سازی پروژه پایلوت انجام و ساختمان پست برق وردآورد به عنوان محل اجرای پروژه نمونه انتخاب گردید. ساختمان پست وردآورد که پیشتر با مشکلات عدیده ای جهت تامین سرمایش و گرمایش مواجه بوده است با مساحت کف تقریبی ۱۴۰۰ متر مربع در منطقه وردآورد - حد فاصل تهران و کرج- قرار گرفته است. در این ساختمان قبلا تعداد ۲۲ عدد کولرگازی جهت تامین سرمایش در تابستان و ۲۴ عدد بخاری برقی جهت تامین گرمایش در زمستان مورد استفاده قرار می گرفت که جوابگوی نیاز سرمایشی و گرمایشی ساختمان نبود.

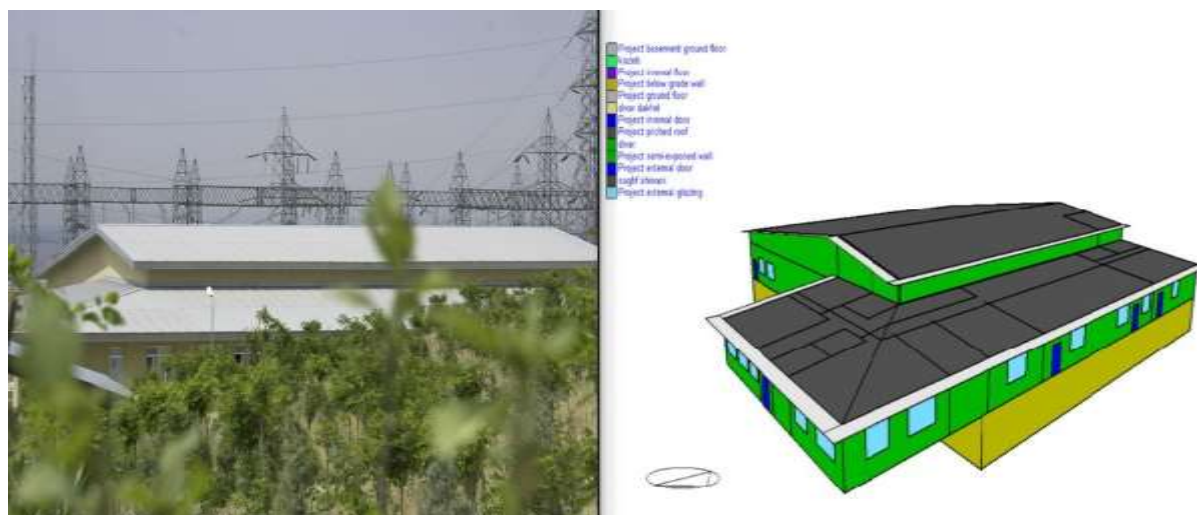
شده از دستگاه های پمپ حرارتی زمین گرمایی نصب شده در پروژه مورد بررسی قرار می گیرد. این اطلاعات شامل دیتاهای دمایی شامل هوای ورودی و هوای خروجی از دستگاه های پمپ حرارتی و دمای ورود و خروج سیال به دستگاه می باشد.

همچنین مصرف برق دستگاه اندازه گیری می شود. از اطلاعات بدست آمده در بازه مشخص زمانی ضریب عملکرد فصلی محاسبه می شود. با توجه به یکسان بودن ظرفیت دستگاه ها، اندازه گیری حرارت منتقل شده یا دریافت شده از زمین با اندازه گیری درجه حرارت سیال در هنگام ورود به و خروج از زمین و برداشت برق مصرفی از تابلوی اصلی نیز امکان محاسبه ضریب عملکرد فصلی میسر می باشد. عدد ضریب عملکرد فصلی بدست آمده در فصل سرد و گرم برای مدل سازی نرم افزاری و استخراج میزان مصرف انرژی جهت تامین گرمایش و سرمایش در کل سال مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین مدل سازی عملکرد سیستم با تجهیزات تامین سرمایش و گرمایش قبلی تهیه و نتایج استخراج می شود. در مرحله بعدی، میزان کاهش مصرف انرژی جهت تامین سرمایش و گرمایش با مقایسه نتایج و نمودارهای دو مدل سازی انجام شده مورد ارزیابی و محاسبه قرار می گیرد. در نهایت، از نتایج حاصل شده به منظور بهره گیری و رسم نمودارهای تولید و انتشار CO₂ در دو حالت استفاده شده است.

ساختمان مدل سازی شده در شکل ۱ نمایش داده شده است. ورودی های مدل شامل اطلاعات اقلیمی به صورت ساعتی برای محل پروژه و ضریب انتقال حرارت برای جداره ها، سقف، کف و نورگذرها و جزئیات مصارف و زمانبندی آنها می باشد. شکل شماره ۲ فرایند نصب سنسورهای دیتابرداری را نمایش می دهد. از برداشت های انجام شده ضریب عملکرد دستگاه های پمپ حرارتی زمین گرمایی در دو فصل گرم و سرد بدست آمده است.

سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی طی یک فرایند طولانی مدت شامل انجام مطالعات امکانسنجی، طراحی، تامین اعتبار برای اجرا، مناقصه و اجرای پروژه طی سال های ۸۹ الی ۹۶ در ساختمان پست برق وردآورد برای سالن اصلی به مترائ تقریبی ۱۰۲۰ متر مربع اجرا گردید. فرایند طراحی و نظارت بر اجرا توسط نویسنده و در قالب دپارتمان انرژی های تجدیدپذیر شرکت مهندسين مشاور آتک انجام شده است. لکن، این مقاله، به جزییات فنی طراحی نخواهد پرداخت. اما، به جهت آشنایی با فرایند انجام دیتابرداری و شبیه سازی های انجام شده به منظور استخراج میزان انرژی مصرفی سالیانه و به تبع آن محاسبه میزان کاهش تولید CO₂، روند انجام مطالعات ذیلا شرح داده می شود و در نهایت نتایج مربوط به مدل سازی در خصوص میزان تولید CO₂ در دو حالت قبل و بعد از نصب سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی ارائه می شود.

ابتدا تحلیل اقلیم و جمع آوری اطلاعات آب و هوایی با استفاده از نرم افزارهای مربوطه و مراجعه به دیتاهای سازمان هواشناسی انجام می شود. عمده ترین کاربرد این دیتاها، امکان تهیه فایل اقلیمی انرژی پلاس (epw) برای استفاده در تحلیل بار ساعتی می باشد. فایل اقلیمی تهیه شده به عنوان ورودی نرم افزار Design Builder برای تحلیل انرژی مورد استفاده قرار می گیرد. مدل سه بعدی ساختمان با تعریف مشخصه های ضریب انتقال حرارت جداره ها، نورگذرها، کف و سقف در این نرم افزار تهیه و تحلیل بار و مقایسه عملکرد سیستم سرمایش و گرمایش در دو حالت سیستم زمین گرمایی و سیستم تاسیساتی سابق مورد بررسی و تحلیل قرار می گیرد. این نرم افزار تحت کد انرژی پلاس عمل می کند. محاسبات بار در نرم افزار HAP(Carrier) به عنوان مدل کالیبره به منظور صحت سنجی اعداد مدل سه بعدی مورد استفاده قرار می گیرد. در ادامه اطلاعات برداشت



شکل ۱- مدل سازی نرم افزاری ساختمان پست برق وردآورد

Figure 1. Software modelling of the Vardavard electrical substation building



شکل ۲- نصب سنسور جهت دیتابرداری از دستگاه های پمپ حرارتی زمین گرمایی ساختمان پست برق وردآورد

Figure 2. Installation of sensors for data collection from geothermal heat pump system of the Vardavard electrical substation building

یافته ها

نیز از قبل در دست بوده است. اعداد بدست آمده به عنوان ورودی مدل سازی مصرف انرژی ساختمان پروژه مورد استفاده واقع شد.

پس از انجام فرایند داده برداری از دستگاه های پمپ حرارتی زمین گرمایی در دو فصل گرم و سرد، ضریب عملکرد سیستم مطابق جدول ۱ حاصل گردید. ضریب عملکرد سیستم پیشین

شده است. اختلاف میزان انتشار CO₂ در فاز سرمایش برای سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی و سیستم کولر گازی قبلی در مقایسه با سیستم گرمایش کمتر می باشد. چراکه هم بار گرمایش نسبت به سرمایش در پروژه نمونه غالب بوده است و هم سیستم قبلی برای تامین سرمایش وضعیت بهتری به لحاظ ضریب عملکرد داشته است.

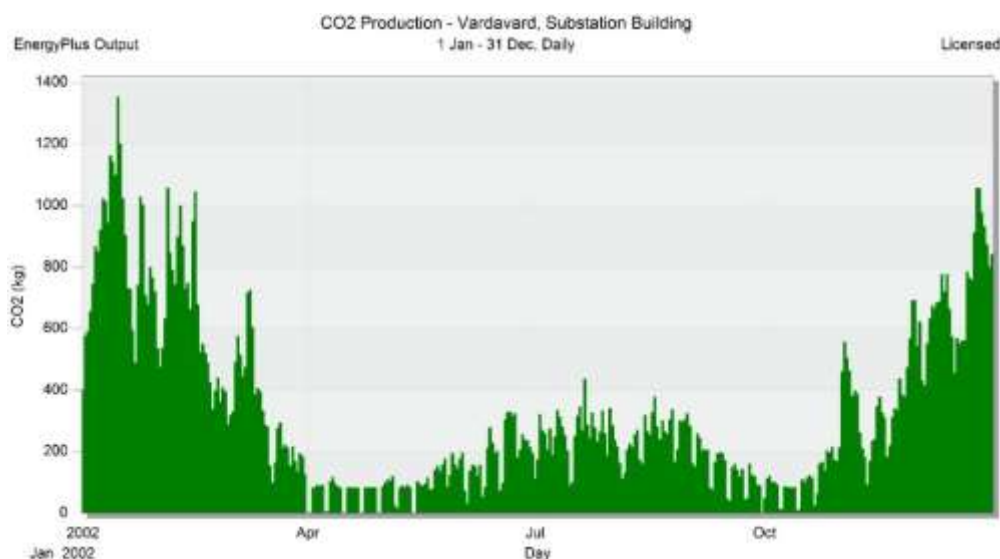
ضمن ارائه میزان انتشار سالیانه CO₂ در جدول ۲ به تفکیک فاز سرمایش و گرمایش، جدول شماره ۳ درصد کاهش تولید CO₂ را در فصل گرم و سرد و کل سال نشان می دهد. همانطور که مشخص است، استفاده از سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی در پروژه ساختمان پست برق وردآورد منجر به کاهش انتشار CO₂ به میزان ۶۳ درصد در فاز گرمایش، ۲۹ درصد در فاز سرمایش و ۵۴ درصد در کل سال شده است. این مقدار با لحاظ کردن مصرف پمپ سیرکولاتور به ۴۱ درصد تقلیل می یابد.

از خروجی های مدل سازی انجام پذیرفته، نمودارهای مربوط به انتشار CO₂ در دو حالت قبل و بعد از نصب سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی طی شکل های ۳ تا ۶ ارائه شده است. شکل ۳ میزان انتشار CO₂ قبل از نصب سیستم زمین گرمایی را به صورت ساعتی نشان می دهد. همانطور که مشخص است، بیشترین میزان انتشار مربوط به فصول سرد بوده که با توجه به غالب بودن بار حرارتی ساختمان در فصل سرد و استفاده از سیستم تامین حرارت با راندمان بسیار پایین کاملاً منطقی می باشد. این میزان همانطور که در شکل ۴ مشخص است، پس از نصب سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی به میزان قابل توجهی کاهش داشته است. شکل ۵ و ۶ میزان انتشار CO₂ را قبل و بعد از نصب سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی به صورت ماهیانه نمایش می دهد. با توجه به اینکه دمای شرایط خارج در فصول میانی به میزان قابل توجهی به دمای شرایط آسایش نزدیک است، میزان کارکرد دستگاه ها و به تبع آن میزان انتشار CO₂ حداقل

جدول ۱- ضریب عملکرد بدست آمده از خروجی های دیتابرداری

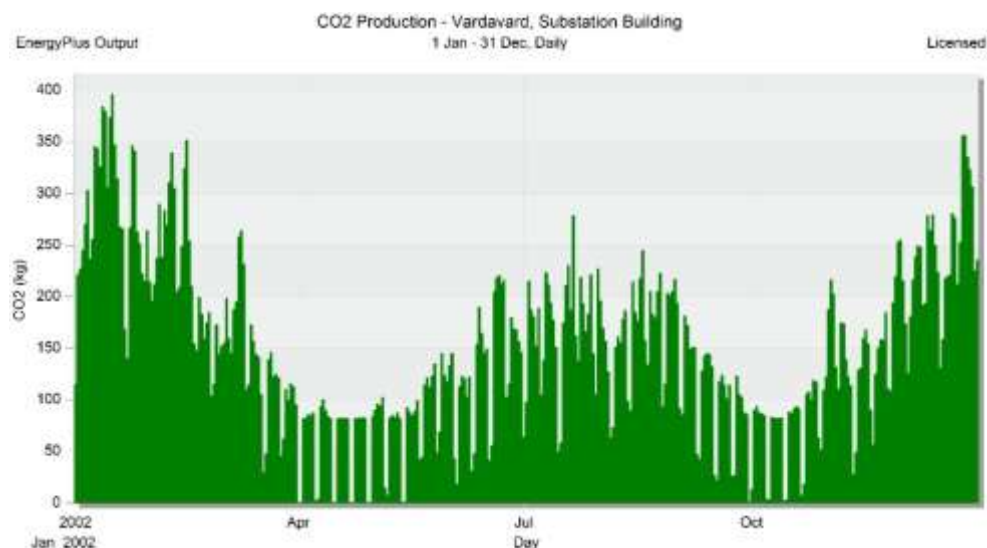
Table 1. Coefficient of performance (COP) obtained from the data collection outputs

فاز سرمایش (کیلوگرم)	فاز گرمایش (کیلوگرم)	
۲/۱	۱	سیستم کولرگازی و هیتر برقی
۴/۶۷	۴/۸	سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی



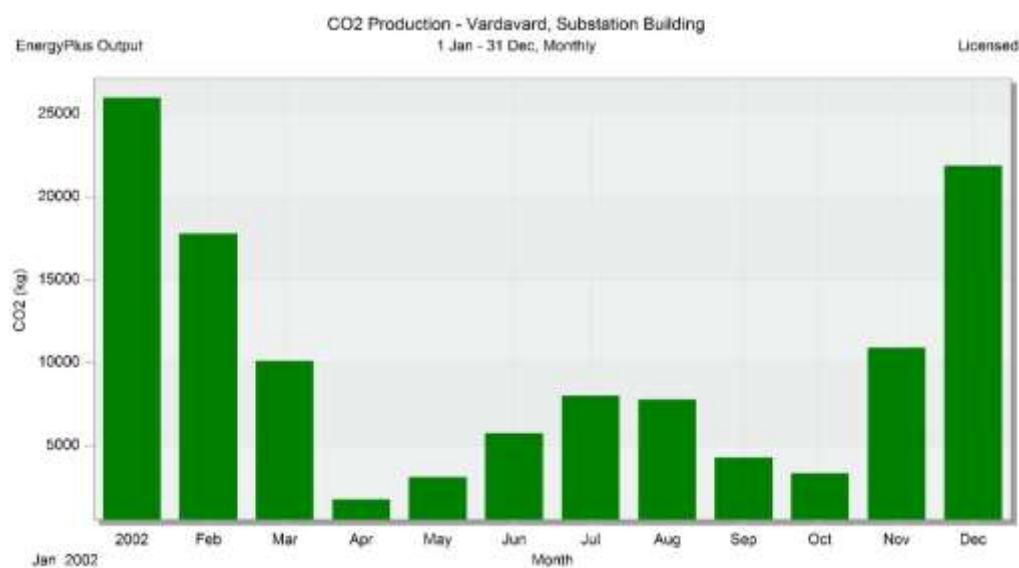
شکل ۳ - نمودار ساعتی میزان انتشار CO₂ در ساختمان پست برق وردآورد قبل از نصب سیستم زمین گرمایی

Figure 3. Hourly chart of CO₂ emissions in the Vardavard electrical building before the installation of the geothermal system



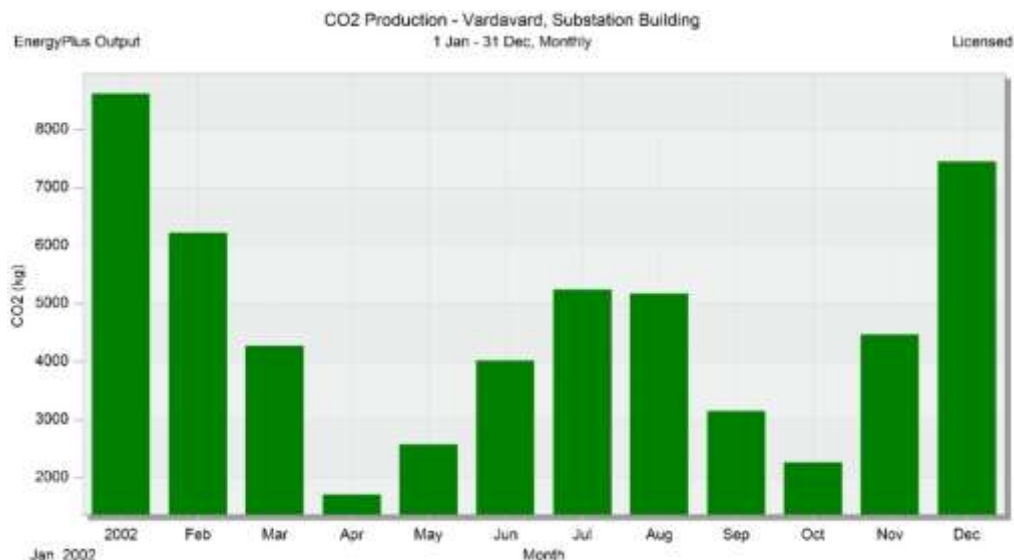
شکل ۴ - نمودار ساعته میزان انتشار CO₂ در ساختمان پست برق وردآورد بعد از نصب سیستم زمین گرمایی

Figure 4. Hourly chart of CO₂ emissions in the Vardavard electrical building after the installation of the geothermal system



شکل ۵ - نمودار ماهانه میزان انتشار CO₂ در ساختمان پست برق وردآورد قبل از نصب سیستم زمین گرمایی

Figure 5. Monthly chart of CO₂ emissions in the Vardavard electrical building before the installation of the geothermal system



شکل ۶ - نمودار ماهانه میزان انتشار CO₂ در ساختمان پست برق وردآورد بعد از نصب سیستم زمین گرمایی

Figure 6. Monthly chart of CO₂ emissions in the Vardavard electrical building after the installation of the geothermal system

جدول ۲ - مقایسه میزان انتشار سالانه CO₂ در ساختمان پست برق وردآورد قبل و بعد از نصب سیستم زمین گرمایی

Table 2. Comparison of annual CO₂ emissions in the Vardavard electrical building before and after the installation of the geothermal system

سالیانه (کیلوگرم)	فاز گرمایش (کیلوگرم)	فاز سرمایش (کیلوگرم)	
۱۲۰۵۸۰	۸۹۹۵۸/۷۵	۳۰۶۲۱/۲۵	سیستم کولرگازی و هیتر برقی
۵۵۱۱۸/۶۳	۳۳۲۷۴/۸۴	۲۱۸۴۳/۷۹	سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی

جدول ۳ - درصد میزان صرفه جویی انتشار سالانه CO₂ به تفکیک سرمایش و گرمایش

Table 3. Percentage of annual CO₂ emission savings separated by cooling and heating

سالیانه با لحاظ نمودن پمپ سیرکولاتور (درصد)	سالیانه (درصد)	گرمایش (درصد)	سرمایش (درصد)
۴۱	۵۴	۶۳	۲۹

بحث و نتیجه گیری

می‌تواند تا حد زیادی راهگشای رفع موانع انجام این دست از پروژه‌ها به صورت فراگیر باشد.

به منظور اقتصادی شدن پروژه‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی، بهتر است ساختمان‌های انتخابی که در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک هستند در اولویت قرار بگیرند. در این نوع آب و هوا در ایران ضمن اینکه هر دو فاز سرمایش و گرمایش دستگاه‌ها بکار گرفته می‌شود، بالانس مناسبی میان میزان دفع و جذب حرارت

انجام مطالعات بر روی پروژه پایلوت ساختمان پست برق وردآورد نشان داد که در صورت نصب سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی، امکان کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به میزان ۴۱ درصد در ساختمان نمونه مورد بررسی می‌باشد. در کنار موضوع صرفه جویی مصرف انرژی، شاید راهکار هایی همچون اجرای سیستم‌های تجدیدپذیر با کویل زمینی بتواند در کاهش آلودگی کلان شهر ها موثر باشد. نتایج بدست آمده از پروژه‌های پایلوت

- affairs, energy balance sheet 2017. (In Persian)
4. COP 21 Paris France Sustainable Innovation [Internet]. [cited 2020 Dec 29]. Available from: <http://www.cop21paris.org/>
 5. Kavanaugh S. Geothermal Heating and Cooling. 2014. 26–34 p. Available from: <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
 6. Bayer P, Saner D, Bolay S, Rybach L, Blum P. Greenhouse gas emission savings of ground source heat pump systems in Europe: A review. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2012;16(2):1256–67. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.027>
 7. Blum P, Campillo G, Münch W, Kölbl T. CO2 savings of ground source heat pump systems - A regional analysis. *Renew Energy*. 2010;35(1):122–7.
 8. Weisser D. A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. *Energy*. 2007;32(9):1543–59.
 9. Genchi Y, Kikegawa Y, Inaba A. CO2 payback-time assessment of a regional-scale heating and cooling system using a ground source heat-pump in a high energy-consumption area in Tokyo. *Appl Energy*. 2002;71(3):147–60.
 10. Nguyen H V., Law YLE, Zhou X, Walsh PR, Leong WH, Dworkin SB. A techno-economic analysis of heat-pump entering fluid temperatures, and CO2 emissions for hybrid ground-source heat pump systems. *Geothermics* [Internet]. 2016; 61:24–34. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geothermics.2016.01.013>
 11. Aditya GR, Narsilio GA.

از زمین صورت می پذیرد و در نتیجه زمین مورد استفاده به عنوان منبع تجدیدپذیر، شرایط ایده آل خود را تا سال ها حفظ خواهد نمود. بهره گیری از این دستگاه ها در هر دو فاز سرمایش و گرمایش، بازگشت سرمایه اولیه را نیز تسریع می نماید.

پایاده سازی این دست پروژه ها در ساختمان های پست های برق کشور ضمن اینکه فرصت مناسبی برای اجرای راهکار های صرفه-جویی انرژی در بدنه وزارت نیرو تلقی می شود، زمینه تدوین روش ها و راهکار های کاهش آلاینده های زیست محیطی را توسط متولیان انرژی فراهم می آورد. توسعه و گسترش این پروژه ها، به شناسایی گلوگاه های موجود و کاهش هزینه های اجرای سیستم های دوستدار محیط زیست کمک می کند.

جمع بندی

اجرا و نهادینه کردن سیستم های نوین مستلزم صرف زمان و انرژی زیادی است. اگر در شرایطی باشیم که هنوز اجبار بکارگیری راهکارهای جدید تحمیل نشده باشد، پایاده سازی و تجربه این روش ها می تواند با هزینه کمتری در کشور صورت پذیرد. واقعیت امر این است که موضوع انرژی هم در حوزه صرفه جویی و هم تولید در کنار کاهش آلاینده های زیست محیطی روز به روز به اهمیت آن افزوده می شود. این مطالعه در راستای معرفی سیستم های پمپ حرارتی زمین گرمایی به عنوان یک راهکار مفید جهت کاهش انتشار CO₂ انجام شد. امید است با انجام مطالعات این چنینی، امکان توسعه و گسترش سیستم های نوین در سطح کشور بیش از پیش میسر گردد.

تشکر و قدردانی

از شرکت مهندسين مشاور آتک و شرکت برق منطقه ای تهران که در اجرا و به ثمر رسیدن پروژه و زمینه سازی بستر انجام این تحقیق نقش داشته اند، کمال سپاسگزاری را دارد.

References

1. Sixed five-year development plan law, Article 48 (1396). (In Persian)
2. Tavanir – Iran power generation, transmission and distribution management company. (In Persian)
3. Deputy for electricity and energy

- 65:1–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geothermics.2016.08.005>
14. Litjens GBMA, Worrell E, van Sark WGJHM. Lowering greenhouse gas emissions in the built environment by combining ground source heat pumps, photovoltaics and battery storage. *Energy Build* [Internet]. 2018;180:51–71. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.026>
- Environmental assessment of hybrid ground source heat pump systems. *Geothermics*. 2020;87(April).
12. Gajewski A, Gładyszewska-Fiedoruk K, Krawczyk DA. Carbon dioxide emissions during air, ground, or groundwater heat pump performance in Białystok. *Sustain*. 2019;11(18).
13. Koroneos CJ, Nanaki EA. Environmental impact assessment of a ground source heat pump system in Greece. *Geothermics* [Internet]. 2017;