



امکانسنجی بهره‌گیری از پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی در ساختمان‌های شهر شیراز

مریم پروین^۱، حسین یوسفی^{۲*}، یونس نوراللهی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

* صندوق پستی تهران، ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱، Hosseinyousefi@ut.ac.ir

چکیده

با توجه به کاهش سوخت‌های فسیلی و مشکلات زیست محیطی و انتشار آلاینده‌های ناشی از آن، توجه جوامع مختلف به انرژی‌های تجدیدپذیر جلب شد. در بین انرژی‌های تجدیدپذیر انرژی قابل استحصال از گرمای زیر زمین به دلیل پتانسیل دائمی، هزینه عملیاتی پایین و بازده بالا، مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفت. امروزه یکی از منابع استفاده از این انرژی، پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی هستند که به واسطه‌ی انرژی برق با زمین تبادل حرارت انجام می‌دهند و توانایی تامین نیاز بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌ها را دارا هستند. این امر باعث کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، کاهش هزینه‌های زیست محیطی و همچنین هزینه‌هایی که دولت به عنوان یارانه پرداختی به شهروندان می‌پردازد، می‌گردد. در این مقاله با در نظر گرفتن ساختمان‌های در حال ساخت در سال ۹۴ در شهر شیراز، به جایگزین کردن پمپ حرارتی زمین گرمایی با سیستم معمولی پرداخته شده است. گاز طبیعی وظیفه تامین بار سرمایش و گرمایش را در سیستم موجود بر عهده دارد. بدین ترتیب مشاهده می‌شود سالانه میزان ۲۵۹۹۷۲۳۶ متر مکعب گاز طبیعی صرفه جویی شده که با صادرات آن حدوداً ۸/۷ میلیون دلار سود حاصل کشور می‌شود و همچنین از انتشار ۲۰۸/۵ هزار تن آلاینده به محیط زیست جلوگیری می‌شود. همچنین مشاهده شد در صورت حمایت ۳۰ درصدی دولت در پرداخت هزینه‌های پمپ‌های حرارتی به صورت سوپساید به شهروندان، بازگشت سرمایه دولت منطقی و به ۵ سال خواهد رسید.

کلیدواژه‌گان: پمپ حرارتی، انرژی زمین گرمایی، گاز طبیعی، شهر شیراز



Feasibility Study of Geothermal Heat Pump Utilization in Shiraz Buildings

Maryam Parvin¹, Hossein Yousefi^{2*}, Younes Noorolahi²

1- M.Sc. Student, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

* P.O.B. 1439957131, Tehran, Iran, Hosseinyousefi@ut.ac.ir

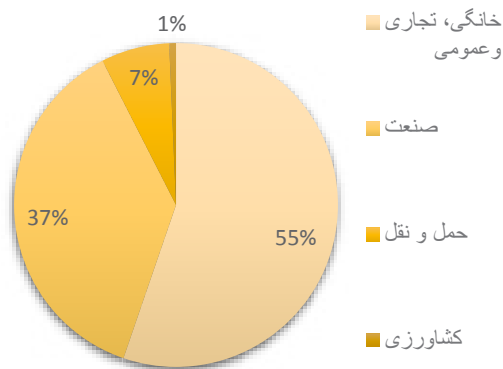
Received: 16 December 2018 Accepted: 16 February 2019

Abstract

Recently, renewable energies have attracted attentions among different societies due to the reduction of fossil fuels resources and environmental problems. Geothermal energy has taken a particular consideration due to its permanent potential, as well as low operating costs and high efficiency. Nowadays, one of the most useful applications of geothermal energy is the geothermal heat pumps that use electricity to provide the cooling and heating demand of buildings. This system reduces the fossil fuel consumption, decrease external costs and government subsidies on fossil fuels. In this paper, Shiraz under construction building in 2015 is considered to evaluate the replacement of geothermal heat pumps with conventional systems. The result showed that by this method, annually 25'997'236 m³ of natural gas is saved, and approximately 8.7 million dollars is obtained by exportation, as well as the release of 208.5 thousand tons of pollutants to the environment is prevented. It was also observed that if the government allocates citizens 30 percent of heat pump costs as a subsidy, the government capital will return in 5 years.

Keywords: Heat pump, Geothermal energy, Natural gas, Shiraz city

۱- مقدمه



شکل ۲ مصرف گاز طبیعی به تفکیک بخش های مختلف

شهر شیراز با ۱۷۸۱۷۰۷ نفر جمعیت یکی از پرجمعیت ترین شهرهای ایران محسوب می شود و تامین انرژی مصرفی این شهر یکی از وظایف دولت می باشد. سرانه مصرف گاز طبیعی در این شهر در بخش خانگی، تجاری و عمومی ۶۱۳ متر مکعب گاز طبیعی در سال است. این میزان گاز طبیعی به دلیل یارانه های پرداختی توسط دولت، هزینه ی بالایی برای دولت دارد و از سوی دیگر مشکلات زیست محیطی را برای کشور ایجاد می کند. (۶)

در این مقاله بارهای سرمایشی و گرمایشی ساختمان های ساخته شده در شهر شیراز در سال ۹۴ را توسط پمپ های حرارتی زمین گرمایی تامین می شود. انتظار می رود میزان قابل توجهی گاز طبیعی و همچنین انتشار ناشی از آن، طی این جایگزینی کاهش یابد.

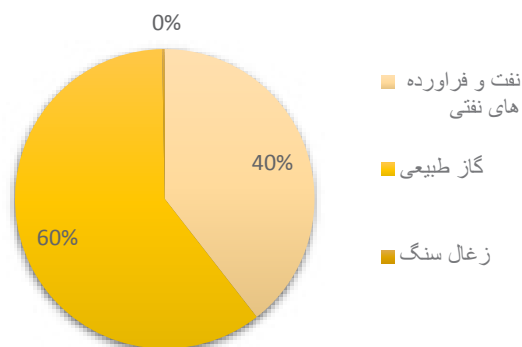
۲- مواد و روش ها

با توجه به منحنی تغییرات دمایی هوا و زمین (شکل ۳) مشاهده می شود هر چه عمق زمین بیشتر شود میزان تغییرات دما کمتر خواهد شد. به طوری که در عمق ۳ تا ۴ متری از سطح زمین تغییرات دما بسیار ناچیز است. از این رو می توان زمین را به عنوان منبع خوبی برای تامین گرمایش و سرمایش ساختمان ها در نظر گرفت. (۷)

به دلیل کاهش سوخت های فسیلی و مشکلات زیست محیطی ناشی از آن، امروزه انرژی های تجدیدپذیر مورد توجه سیاست گذاران انرژی قرار گرفته است. انرژی های تجدید پذیر می تواند برای مصارف مختلف مانند شیرین کردن آب، گرمایش و تولید برق مورد استفاده قرار گیرند. یکی از در دسترس ترین انرژی های تجدید پذیر، انرژی زمین گرمایی می باشد چرا که ۴۶٪ از انرژی خورشیدی توسط زمین جذب می شود که زمین را به یک منبع فراوان انرژی تبدیل کرده است (۱). این انرژی می تواند به عنوان منبع گرما در پمپ های حرارتی استفاده شود که این امر باعث کاهش هزینه و همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه ای می گردد.

تکنولوژی پمپ حرارتی از سال ۱۸۵۲ میلادی زمانی که لرد کلونین اولین بار این مفهوم را توسعه داد، معرفی شد و در دهه ۱۹۴۰، رابرت وبر این مفهوم را با استفاده از زمین به عنوان منبع گرما تغییر داد. (۲) پمپ های حرارتی با منبع زمین یا سیستم های پمپ حرارتی زمین گرمایی در دهه های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ به محبوبیت رسیدند. در دهه ۱۹۷۰ به دلیل کمبود نفت، بسیاری از انرژی های تجدید پذیر، از جمله پمپ حرارتی زمین گرمایی، مورد توجه قرار گرفتند. (۳) امروزه ۵۰۰۰۰۰ سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی برای گرمایش و سرمایش در ایالات متحده و کانادا و ۴۰۰۰۰۰ از این سیستم در اروپا مورد استفاده قرار می گیرند. (۴)

ایران به دلیل دارا بودن منابع انرژی همچون نفت و گاز طبیعی و همچنین پایین بودن قیمت آن ها میزان مصرف سوخت فسیلی بالایی دارد. به گونه ای که در سال ۹۴ سهم سوخت های فسیلی در تامین برق کشور ۹۵ درصد بوده است. شکل ۱ میزان کل مصرف نهایی سوخت های فسیلی در ایران در سال ۹۴ را بر حسب میلیون بشکه معادل نفت خام را نشان می دهد. (۵)



شکل ۱ میزان کلی مصرف نهایی سوخت های فسیلی

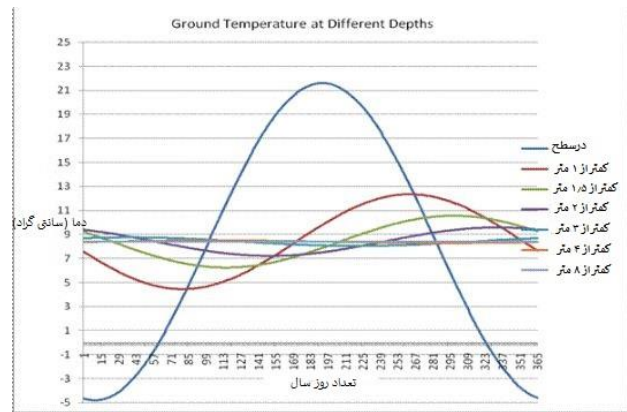
با توجه به شکل ۱ بیشترین سوخت مصرفی مربوط به گاز طبیعی است که میزان آن ۷۰۷ میلیون بشکه معادل نفت خام می باشد. این میزان گاز طبیعی به صورت شکل ۲ در بخش های مختلف تفکیک می شود. که نشان می دهد ۵۶ درصد از گاز طبیعی مصرفی سال ۹۴ کشور در بخش خانگی، تجاری و عمومی مصرف می شود که سهم قابل توجهی از کل مصرف گاز طبیعی را به خود اختصاص داده است. (۵)



شکل ۴ کویل عمودی



شکل ۵ کویل افقی



شکل ۳ منحنی تغییرات دمایی هوا و زمین

شهر شیراز یکی از شهرهای بزرگ ایران است که وسعت این شهر ۱۲۶۸ کیلومتر مربع می‌باشد. طبق گزارشات مرکز آمار ایران مساحت زیر بنای ساختمان‌هایی که در سال ۹۴ مجوز ساخت گرفتند برابر با ۲۵۸۸۲۸۹ متر مربع می‌باشد. با توجه به گزارشات مرکز آمار شیراز تعداد ساختمان‌های ساخته شده در این سال ۲۷۲۵ عدد است که معادل با ۱۹۹۰۶ تعداد واحد آپارتمانی می‌باشد. در این پژوهش ساکنین هر واحد ساختمانی ۳ نفر در نظر گرفته می‌شود(۶).

طبق ترازنامه انرژی سال ۹۴ سرانه مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی، تجاری و عمومی در ایران برابر با ۶۱۳ متر مکعب گاز طبیعی می‌باشد.

از آنجا که ۷۱ درصد انرژی ساختمان صرف تامین نیازهای سرمایشی و گرمایشی می‌شود(۱۲)، بنابراین میزان صرفه جویی سالانه در یک واحد ساختمان برابر است با:

$$3 \times 613 \times 0.71 = 1306 \text{ (متر مکعب)}$$

در صورتی که برای تمامی ساختمان‌های در حال گرفتن مجوز در شهر شیراز به سیستم پمپ حرارتی مجهز گردد سالانه میزان

$$1306 \times 19906 = 25997236 \text{ (متر مکعب)}$$

گاز طبیعی صرفه جویی می‌گردد.

با توجه به این که ارزش حرارتی هر متر مکعب گاز طبیعی ایران برابر با ۸۹۰۵ کیلو کالری می‌باشد، در این صورت سالانه ۲۶۹ میلیون کیلووات‌ساعت انرژی توسط پمپ‌های حرارتی تامین می‌گردد.

در صورتی که این میزان گاز طبیعی به جای مصرف خانگی که برای دولت هزینه‌ای برابر با ۰.۱۲۵ سنت به ازای هر متر مکعب دارد به کشور ترکیه صادر شود و به ازای هر متر مکعب ۰.۳۵ سنت به فروش برسد میزان ۸۷۷۴۰۶۷ دلار سود به همراه دارد.

$$(\$ 8774067) = (0.35 - 0.125) \times 25997236$$

تکنولوژی پمپ‌های زمین گرمایی به این صورت است که این پمپ به واسطه‌ی انرژی برق با زمین تبادل حرارت انجام داده تا بتواند بار سرمایشی و گرمایشی و آب گرم خانگی را تامین کند به گونه‌ای که گرما از عمق زمین استخراج می‌شود و توسط سیال درون لوله به ساختمان منتقل شده و به عنوان منبع تامین گرما در زمستان استفاده می‌شود یا در تابستان هوای گرم داخل ساختمان از طریق این پمپ به زمین منتقل شده و زمین به عنوان منبع گرمای آن کار می‌رود.(۸و۹)

در پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی منبع گرما می‌تواند آب‌های زیرزمینی، زمین و آب‌های سطحی باشد.

به طور کلی این سیستم توسط ASHRAE به ۳ دسته تقسیم بندی می‌شود:(۱۰)

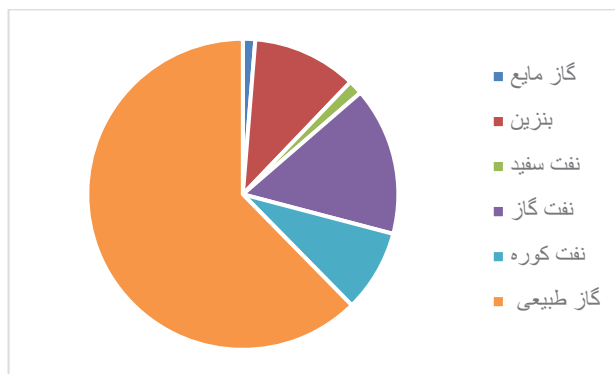
۱. پمپ‌های حرارتی آب زیرزمینی (GWHP)
۲. پمپ‌های حرارتی آب سطحی (SWHP)
۳. پمپ‌های حرارتی متصل به زمین (GCHP)

به طور کلی پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی دارای ۲ قسمت اصلی می‌باشد که شامل پمپ حرارتی که در داخل ساختمان است و مدار لوله کشی که در خارج ساختمان قرار دارد. این مدار لوله کشی می‌تواند یک سیکل باز یا یک سیکل بسته باشد. بدین صورت که در سیکل باز تبادل حرارت با یک منبع بزرگ آب و دما ثابت مانند آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد اما در پمپ‌های حرارتی با سیکل بسته تبادل حرارتی با زمین و یک حلقه‌ی لوله کشی شده در زمین به نام کویل زمینی انجام می‌گیرد. کویل زمینی می‌تواند به صورت عمودی(شکل ۴) یا افقی(شکل ۵) قرار گیرد.(۱۱)



۳- تجزیه و تحلیل زیست محیطی

یکی از مشکلات اساسی سوخت‌های فسیلی، تولید گازهای آلاینده به خصوص کربن دی اکسید است. شکل ۶ سهم سوخت های فسیلی در انتشار گاز کربن دی اکسید در سال ۹۴ را نشان می‌دهد.



شکل ۶ سهم سوخت های فسیلی در انتشار CO2

جدول ۲ میزان کاهش هزینه های زیست محیطی به واسطه استفاده GSHP (۱۳)

میزان کاهش هزینه های زیست محیطی (\$)	هزینه خارجی آلاینده معادل تخریب زیست محیطی (\$/تن)	گاز آلاینده
۵۹۰۴۵۳	۲,۸۶	CO ₂
۵۰۸۹۵	۱۲۲۸,۵۷	SPM
۱۰۰۰۱	۵۳,۵۷	CO
۵۴۵۲۰۹	۵۲۱,۴۳	SO ₂
۳۲۳	۶۰	CH ₄
۱۳۳۴۵۶	۱۷۱,۴۳	NO _x

هزینه اضافی ناشی از جلوگیری از انتشار گازهای آلاینده (CO₂، SPM، CO، SO₂، CH₄ و NO_x) در جدول ۲ نمایش داده شده است. شکل ۶ میزان کاهش لگاریتمی آلاینده‌ها بر حسب تن به واسطه استفاده از پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی نشان داده شده است. با در نظر گرفتن میزان سود سالانه دولت، ناشی از فروش گاز طبیعی و عدم تولید آلاینده‌ها، بر اساس دلار برابر است با:

$$۱۳۳۰۳۳۶ + ۸۷۷۴۰۶۷ = ۱۰۱۰۴۴۰۳$$

در ادامه به بررسی نحوه حمایت دولت از مردم برای اجرای جایگزین کردن پمپ حرارتی پرداخته می‌شود.

در ابتدا با بررسی سناریویی مطابق بر عدم حمایت دولت از شهروندان در اجرای این طرح و بررسی مدت زمان بازگشت سرمایه پرداخته می‌شود و پس از آن به اجرای این طرح با حمایت دولت به گونه ای که درصدهای مختلفی از این حمایت، به صورت سوبسید در اختیار شهروندان قرار بگیرد و روند بازگشت سرمایه بررسی شود.

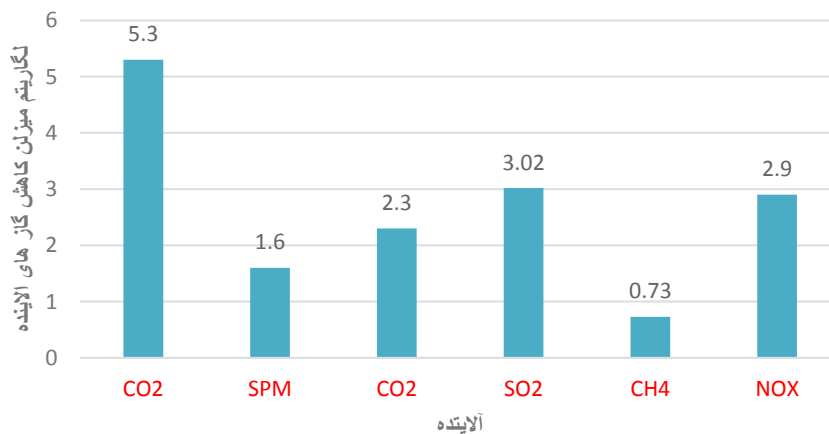
با توجه به این که حداکثر بار سرمایشی مورد نیاز یک واحد ساختمانی به مساحت ۱۰۰ متر در شهر شیراز برابر با ۴۰۰۰۰ (btu/h) که معادل با ۳.۴ تن تبرید می‌باشد و حداکثر بار گرمایشی مورد نیاز این واحد ۳۰۰۰۰ (btu/h) معادل ۲.۵ تن تبرید می‌باشد. بنابراین در هر سال حداکثر بار مورد نیاز یک ساختمان ۳.۴ تن تبرید می‌باشد.

با وجود این که گاز طبیعی در مقابل سایر سوخت های فسیلی آلودگی کمتری را ایجاد می‌کند سوخت پاکي به شمار می‌رود، اما در ایران ۶۱ درصد از آلودگی ناشی از تولید کربن دی اکسید مربوط به گاز طبیعی است. (۵)

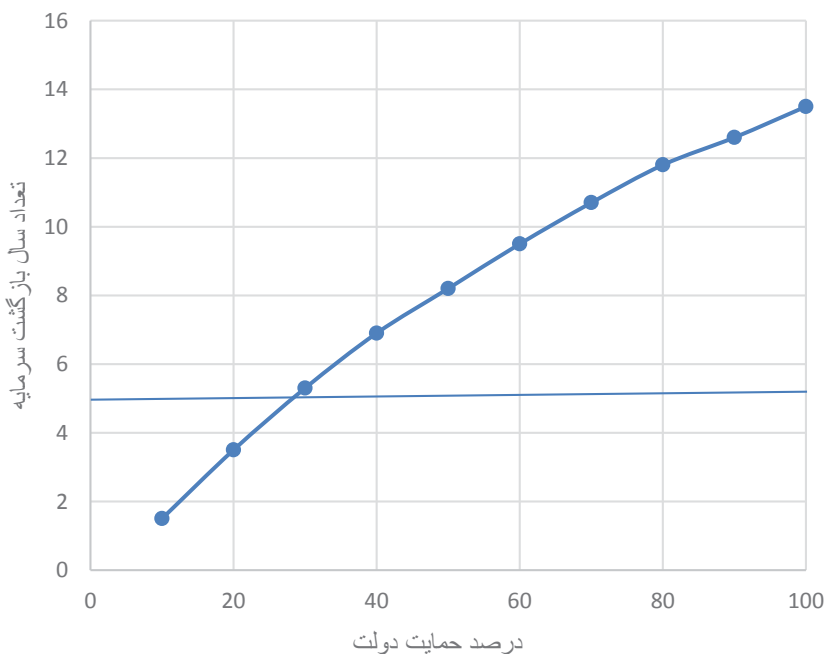
بنابراین مشاهده می‌شود با جایگزینی پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی علاوه بر صرفه جویی میزان قابل توجهی گاز طبیعی، میزان به‌سزایی از کربن دی اکسید نیز کاهش می‌یابد.

جدول ۱ میزان کاهش انتشار گازهای آلاینده به واسطه استفاده از GSHP (۱۳)

گاز آلاینده	شاخص انتشار گازهای آلاینده (گرم به ازای کیلو وات ساعت)	مقدار کاهش گاز های آلاینده به واسطه استفاده از پمپ های حرارتی(تن)
CO ₂	۷۶۷,۴۸	۲۰۶۴۵۲,۱۲
SPM	۰,۱۵۴	۴۱,۴۳
CO	۰,۶۹۴	۱۸۶,۶۹
SO ₂	۳,۸۸۷	۱۰۴۵,۶
CH ₄	۰,۰۲	۵,۳۸
NO _x	۷۹۳,۱۲۹	۷۷۸,۴۹



شکل ۷ میزان کاهش لگاریتمی آلاینده‌ها ناشی از جایگزینی پمپ حرارتی در شیراز



شکل ۸ تاثیر حمایت دولت بر بازگشت سرمایه

در اینجا با انجام محاسبات اقتصادی برای جایگزینی پمپ حرارتی زمین گرمایی با سیستم معمولی با در نظر گرفتن درصدهای مختلفی از حمایت دولت نسبت به این طرح بازگشت سرمایه محاسبه شده است.

شکل ۸ تعداد سال‌های بازگشت سرمایه با درصدهای مختلفی از حمایت دولت را نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن زمان بازگشت سرمایه منطقی و برابر ۵ سال، دولت می‌بایست ۳۰ درصد از هزینه‌ی پمپ‌های حرارتی را به سورت سوپسید در اختیار مردم قرار دهد. حال در صورت حمایت ۳۰ درصدی دولت از این طرح با توجه به

از آنجا که هزینه نصب پمپ حرارتی زمین گرمایی به ازای هر تن تبرید به طور متوسط برابر با ۳۹۰۰ دلار می‌باشد. بنابراین هزینه نصب پمپ حرارتی برای یک ساختمان دارای ۸ واحد برابر است با

$$8 \times 3.4 \times 3900 = 106080$$

می‌باشد. طبق گزارشات بانک مرکزی در ایران در سال ۹۴ نرخ تورم برابر با ۱۱٫۹ درصد و همچنین ارزش نقدینگی در محاسبات ۲۱ درصد (برابر با سود سپرده بلند مدت بانکی در سال ۹۴) فرض می‌گردد.



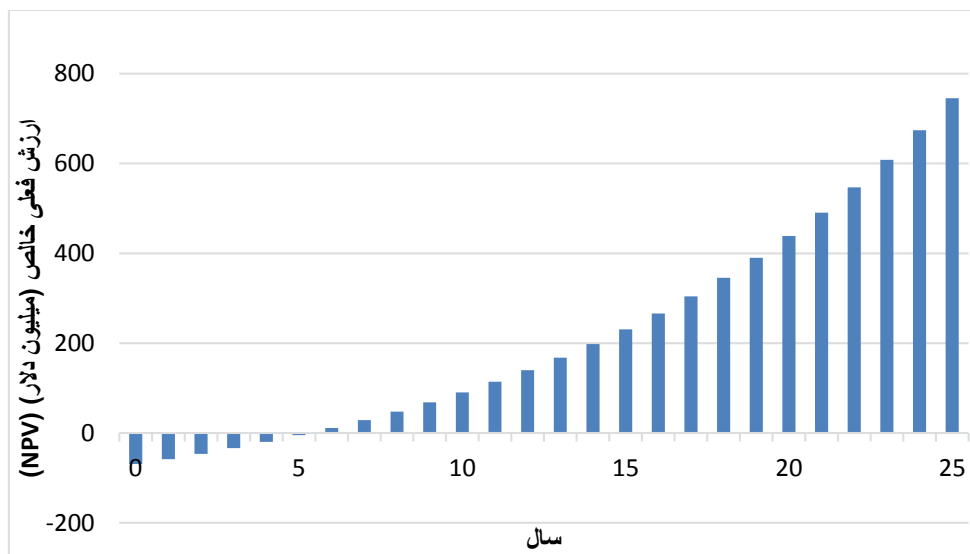
در این مقاله به بررسی تاثیر جایگزینی پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی با سیستم معمولی و گاز طبیعی پرداخته شد. با توجه به این مقاله چنانچه تمامی ساختمان‌های ساخته شده در سال ۹۴ مجهز به سیستم پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی شوند سالانه میزان ۲۵۹۹۷۲۳۶ متر مکعب گاز طبیعی صرفه-جویی می‌شود و صادرات این میزان گاز طبیعی ۸۷۷۴۰۶۷ دلار سود برای کشور به همراه دارد. از طرفی از ورود ۲۰۸,۵ هزار تن آلاینده به محیط زیست جلوگیری می‌شود. با حمایت ۳۰ درصدی دولت مدت زمان بازگشت سرمایه این پروژه به ۵ سال خواهد رسید.

شکل ۹ میزان ارزش فعلی خالص سرمایه پس از ۲۵ سال برابر با ۷۴۵ میلیون دلار می‌شود.

۴- نتایج

هدف این مقاله آشنایی با پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی و امکان سنجی آن برای کاهش مصرف گاز طبیعی و همچنین کاهش گازهای آلاینده می‌باشد.

کشور ایران پتانسیل‌های مناسبی برای استفاده از انرژی‌های نو دارد و می‌تواند مقدار قابل توجهی از انرژی مورد نیاز خود را از این طریق تامین کند. از طرف دیگر ایران قادر به صادرات گاز طبیعی به کشور های نظیر ترکیه و عراق است.



شکل ۹ میزان ارزش فعلی سرمایه در هر سال

۲. Lund J, Sanner B, Rybach L, Curtis R, Hellström G (2004) Geothermal (ground-source) heat pumps, a world overview. *GHC Bull* 25 (3): 1-10
۳. Bloomquist RG (1999) Geothermal heat pumps: four plus decades of experience. *GHC Bulletin* 20 (4): 13-18
۴. Manitoba Budget Papers (2004) Geothermal heat pumps and energy efficiency. www.gov.mb.ca/iedm/invest/busfacts/economy/ec_thermal.html
۵. ترانزنامه انرژی <http://isn.moe.gov.ir>
۶. salnameh.sci.org.ir
۷. Kavanaugh Steve, Kevin Rafferty, 2014, *Geothermal Heating and Cooling Design of Ground – Source Heat Pump System*, ASHRAE, Atlanta.)
۸. *Using Ground-Source Heat Pump Systems for Heating/Cooling of Buildings*
۹. *Underground Mine Water for Heating and Cooling using Geothermal Heat Pump Systems*
۱۰. *ASHRAE Handbook, HVAC Applications*. Atlanta, USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2015.
۱۱. *Experimental Performance Comparison between Different Shallow Ground Heat Exchangers*, World Geothermal Congress, 2015
۱۲. *Monitoring of building heating and cooling systems based on geothermal heat pump in Galicia (Spain)*. M. Iglesias1,
۱۳. Yousefi1, H., Noorollahi, Y., Abedi, S., Panahian, K., MirAbadi, A. H., Abedi, S.: *Economic and Environmental Feasibility Study of Greenhouse Heating and Cooling using Geothermal Heat Pump in Northwest Iran*, Proceedings,

مراجع

۱. *Natural Resources Canada Residential Earth Energy Systems: A Buyer's Guide*, NRCAN's Renewable and Electrical Energy Division (REED), ISBN 0-662-30980-4, Cat. No, Ottawa, ON, Canada, 2002, 48 pp



World Geothermal Congress, Melbourne, Australia, April, (2015).

۱۴. Ground Source Heat Pump Carbon Emissions and Ground-Source Heat Pump Systems for Heating and Cooling of Buildings: A Review

