سال سوم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۵، ص ص ۱- ۶
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
renemag.ir

مقاله
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۹

آنالیز اقتصادی و زیست محیطی جایگزینی سیستم گرمایشی گاز طبیعی با پمپ زمین گرمایی در منطقه ۱۱ تهران

حسین یوسفی[۱*]، سهیل رومی[۲]، ساناز طبسی[۲]، مریم حمله‌دار[۲]

۱- استادیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

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

چکیده

با درنظر گرفتن منابع روبه اتمام سوخت های فسیلی و انتشار فراوان آلاینده های زیست محیطی از این منابع، استفاده از انرژی های پاک و تجدیدپذیر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از این منابع انرژی تجدیدپذیر و درعین حال ساده که می‌تواند همزمان برای تامین گرمایش و سرمایش مورد استفاده قرار گیرد، پمپ حرارتی زمین گرمایی است. استفاده از گاز طبیعی به جز هزینه بالایی که برای دولت به دلیل یارانه‌های پرداختی بر روی گاز طبیعی دارد آلاینده ها و هزینه‌های زیست محیطی زیادی را به کشور تحمیل می کند. در این مقاله با مدل نمودن تعداد ساختمان‌های در حال گرفتن پروانه ساخت در منطقه ۱۱ شهر تهران در سال ۲۰۱۴ به بررسی شرایط جایگزینی پمپ حرارتی به جای سیستم های معمول توسط دولت پرداخته می‌شود. با توجه به نتایج حاصل شده، در صورت استفاده از پمپ های حرارتی زمین گرمایی، سالانه از انتشار بیش از ۱۰۰۵۶۸ تن آلاینده جلوگیری می‌شود و میزان کاهش هزینه های سالانه زیست محیطی ناشی از آلاینده ها ۶۴۱۳۶۴ دلار برآورد شده است. همچنین می‌توان سالیانه میزان ۱۲۹۳۱۳۶۰ متر مکعب گاز طبیعی صرفه‌جویی کرد که با صادرات آن، میزان ۳۲۳۲۸۴۰ دلار سود حاصل کشور می‌شود. در ادامه استراتژی های حمایت دولت ایران برای ترغیب شهروندان به استفاده از این سیستم مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده می شود که در صورت حمایت دولت از شهروندان برای استفاده از پمپ‌های حرارتی، بازگشت سرمایه شهروندان از ۱۸ سال (در صورت عدم حمایت دولت) به کمتر از ۲ سال خواهد رسید.

کلیدواژگان: پمپ زمین گرمایی، گاز طبیعی، آلاینده های محیط زیستی، تهران

Economic and environmental analysis of replacement of natural gas heating system with geothermal heat pump in district 11 of Tehran

Hossein Yousefi[1]*, Soheil Roumi[2], Sanaz Tabasi[2], Maryam Hamlehdar[2]

1- Department of Renewable Energy and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Iran
2-M.S. student, New Sciences and Technologies, University of Tehran, Iran
*P.O.B.1439957131 Tehran, Iran, Hosseinyousefi@ut.ac.ir

Received: 16 May 2016 Accepted: 19 July 2016

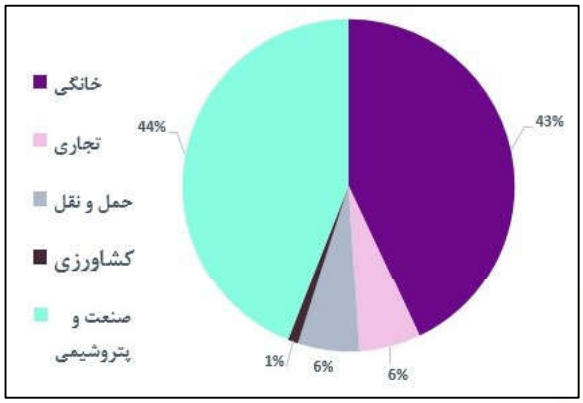
ABSTRACT

Considering the fact that fossil fuels resources with their extreme environmental contaminants are coming to an end, clean and renewable energy utilization is taken into account. One of the simplest renewable energy resources which can also be used for heating and cooling is ground source heat pump (GSHP). Not only natural gas utilization is very costly because of subsidies for Iranian government, but also imposes massive amount of air pollution into the atmosphere and causes external costs as well. In this paper, by modeling the buildings which are having construction permission in district 11 of Tehran city by 2014, the exchange of GSHP's with common systems by government support is studied. The results showed that by using GSHP in each year, more than 100'568 tons of air pollutant is prevented to be spread and the amount of reduced environmental costs due to contaminant is estimated to be 641'364 $. Besides, 12'931'360 cubic meters of natural gas can be saved annually. Regarding to gas exportation price in 2014, 3'232'840 $ profit will be gained from gas exportation. After all, Iranian government strategies to encourage households in order to apply this system are discussed. It is found with government supports for using GSHP's, the rate of return will be changed from 18 years (with no governmental support) to less than 2 years.

Keywords: Geothermal Heat Pump, Natural Gas, Environmental Pollutants, Tehran

۱- مقدمه

ایران یکی از کشورهای در حال توسعه منطقه خاورمیانه می‌باشد که به دلیل دارا بودن منابع زیاد انرژی مانند نفت و گاز طبیعی، توسعه سراسری و ارزان بودن قیمت انرژی، دارای سرانه مصرف انرژی بالایی است. این سرانه در سال۲۰۱۳، ۱/۹۱ تن به ازای نفت خام می باشد که ۶۵٪ بیشتر از میانگین جهانی است[۱]. اگرچه می توان با استفاده از انرژی در بخش های صنعتی کشور باعث رشد اقتصادی و توسعه ایران شد، قسمت عمده ای از مصرف انرژی در بخش‌های کم بازده مصرف می‌گردد که موجب افزایش تولید ناخالص ملی نمی شوند. در نمودار زیر بخش های مصرف کننده انرژی در کشور ایران نمایش داده شده است. شکل ۱ نشان می‌دهد که نزدیک به ۴۵ درصد از انرژی مصرفی سال ۲۰۱۲ کشور ایران در بخش‌های خانگی و تجاری مصرف شده است این در حالی است که در کشور ایالات متحده آمریکا میزان مصرف انرژی در بخش‌های خانگی و تجاری کمتر از ۴۰ درصد است[۲].



شکل ۱ بخش های مصرف کننده انرژی در ایران در سال ۲۰۱۲ [۲]

شهر تهران با دارا بودن جمعیتی بالغ بر ۸۵۰۰۰۰۰ پرجمعیت ترین شهر ایران می باشد. تامین انرژی مصرفی شهروندان از وظایف دولت این کشور است و برنامه توسعه فعلی شهر تهران مبتنی بر استفاده از گاز طبیعی در پروژه‌های ساختمانی آتی می‌باشد. سرانه مصرف گاز طبیعی در استان تهران ۱۲۵۷ مترمکعب در سال می‌باشد[۳]. استفاده از گاز طبیعی به جز هزینه بالایی که برای دولت به دلیل یارانه‌های پرداختی بر روی گاز طبیعی دارد آلاینده ها و هزینه‌های زیست محیطی زیادی را به کشور تحمیل می کند.

کشورهای توسعه یافته برای تامین نیاز انرژی خود در بخش ساختمانی از انرژی‌های نو به صورت گسترده استفاده می کنند. یکی از این تکنولوژی‌ها استفاده از پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی است. این تکنولوژی می‌تواند همزمان برای تامین گرمایش و سرمایش مورد استفاده قرار گیرد. برخلاف سایر انرژی‌های تجدیدپذیر، توان حرارتی زمین گرمایی در تمام ساعات روز و در تمامی مناطق جغرافیایی در دسترس است[۴]. این ویژگی پمپ های حرارتی عدم نیاز این تکنولوژی به ذخیره سازهای انرژی را موجب می شود.

در این مقاله با در نظر گرفتن تعداد ساختمانهایی که در حال گرفتن مجوز ساخت در منطقه ۱۱ شهر تهران در سال ۲۰۱۴ هستند به بررسی شرایط جایگزینی پمپ حرارتی به جای سیستم های معمول توسط دولت خواهیم پرداخت. با توجه به عدم تولید آلاینده ها در صورت استفاده از این تکنولوژی انتظار میرود حجم قابل توجهی از میزان آلاینده های ناشی از مصرف گاز ه. همچنین با در نظر گرفتن توانایی صادرات گاز طبیعی صرفه جویی شده میزان سرانه تولید ناخالص داخلی افزایش می‌یابد.

۲- پیشینه تحقیق

نمونه های موفق استفاده از این تکنولوژی در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله موارد موفق می‌توان به پروژه طراحی و اجرا شده بین سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴ در کشورهای جنوب اروپا اشاره نمود که در آن ۸ ساختمان با کاربری های گوناگون برای تامین نیاز سرمایشی و گرمایشی به پمپ های حرارتی مجهز شدند.ضریب عملکرد بین ۵-۳ این پروژه ها نشان از توانایی مناسب این سیستم در تامین نیازهای سرمایشی و گرمایشی دارد[۶-۵]. همچنین در شمال کشور تونس با بررسی نمونه اجرا شده پمپ حرارتی زمین گرمایی مشخص گردید که استفاده از این سیستم می توان راه حلی برای مصرف بالای انرژی در بخش خانگی باشد [۷].

به غیر از بخش خانگی استفاده از سایر مصارف نیز قابل استفاده است. استفاده از این سیستم در یک مرکز نگهداری خوک (Pig house) در طی دوره ۳ هفته ای منجر به کاهش ۷۵۰ KWH الکتریسیته و ۴۰۵.۳۹کیلوگرم CO_2 شده است[۸]. اگرچه پمپ های حرارتی زمین گرمایی به طور مستقیم تولید CO_2 ندارند ولی میزان تولید CO_2 در این سیستم بستگی به نحوه و بازدهی در تولید برق مصرفی آن دارد[۹]. به طور معمول زمان بازگشت سرمایه سیستم های پمپ حرارتی زمین گرمایی در صورتی که هزینه های خارجی در نظر گرفته نشود، بین ۶ تا ۲۰ سال است [۱۰].

در سال ۲۰۱۲ self و همکاران به مقایسه تکنولوژی پمپ حرارتی زمین گرمایی و سیستم های گرمایشی معمولی مانند پمپ حرارتی هوایی ، هیتر های الکتریکی و گازی از لحاظ هزینه ی تولید گرمایش پرداختند و مشخص گردید که در دوره ۲۰ ساله استفاده از تکنولوژی های مختلف پمپ حرارتی از لحاظ اقتصادی به صرفه تر است[۱۱]. برای بهینه نمودن بازگشت سرمایه و عملکرد سیستم های پمپ حرارتی در طول عمر عملیاتی آن، تابع هدف حداقل کردن مصرف انرژی اولیه در نظر گرفته می شود و با در نظر گرفتن پارامترهای طراحی (ظرفیت پمپ حرارتی و ژنراتور، اندازه، تعداد و موقعیت مبدل های حرارتی زمینی، نرخ جریان در حلقه زمینی و سهم بار بین GSHP و سیستم جایگزین استراتژی کنترل) مشخص می گردد [۱۲].

از دیگر توانایی های پمپ های حرارتی توانایی ترکیب شدن با سیستم های فتوولتاییک است. در این ترکیب برق مورد نیاز سیستم پمپ های حرارتی زمین گرمایی از طریق انرژی خورشیدی تامین می شود. اخیرا سیستمی معرفی شد که با استفاده از انرژی خورشیدی و پمپ حرارتی زمین گرمایی با تغییر فاز ماده درون مبدل، گرمای خورشید را در تابستان داخل منبع ذخیره و در زمستان آن را دفع می کند. استفاده ازین تکنولوژی ۲۲/۹ کیلو وات برق ذخیره می‌کند که ۵-۳ ساعت دوام دارد [۱۳].

اخیرا سازمان انرژی های نو ایران (سانا)، در حال اجرای یک پروژه برای نصب ۵ پمپ حرارتی زمین گرمایی در ۵ اقلیم مختلف به منظور تعیین اثرات فنی و اقتصادی آب و هوا در عملکرد پمپ حرارتی زمین گرمایی است. آمار و ارقام نشان می‌دهد که استفاده از پمپ های حرارتی زمین گرمایی، مصرف انرژی را ۷۰ - ۵۰ درصد کاهش می‌دهد [۱۴].

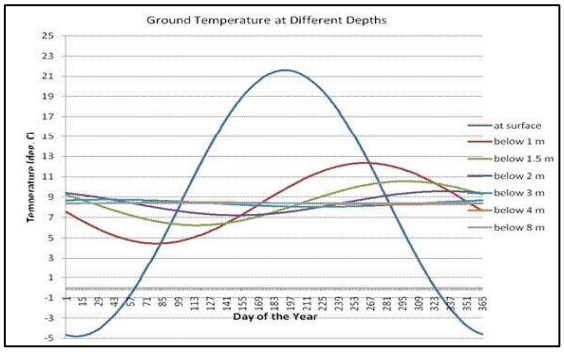
۳-مواد و روشها

پمپ حرارتی زمین‌گرمایی (GSHP) وسیله‌ای است که برای سرمایش و گرمایش ساختمان‌های مسکونی، اداری، محیطهای صنعتی و همچنین تامین آب گرم مصرفی منازل کاربرد دارد. GSHP ها بنابه دلایل متعددی از قبیل تمیز بودن و کمک به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، هزینه تعمیرات و نگه‌داری پایین و کاهش مصرف برق به سرعت در حال رشد هستند.

پمپ گرمایی با منبع زمینی(GSHP) مبدلی است که با استفاده از انرژی برق گرما را از زیر زمین جمع آوری و بواسطه سیال درون لوله های کار گذاشته شده، آن را به ساختمان منتقل می کند. این گرما توسط احتراق ایجاد نمی شود بلکه فقط از محلی به محل دیگر منتقل می شود. در واقع منبع گرمایش آب در این نوع سیستم، انرژی زمین‌گرمایی است که جایگزین سوخت‌های فسیلی در موتورخانه‌های معمولی می شود.

در پمپ های حرارتی زمین گرمایی بر خلاف پمپ های رایج، خاک به عنوان منبع در نظر گرفته میشود. با توجه به این که هوا دارای نوسانات دمایی بیشتری نسبت به خاک است، پمپ های حرارتی هوایی در یک ضریب عملکرد یکسان، برق بیشتری مصرف می‌کنند. همچنین ضریب عملکرد پمپ حرارتی زمین گرمایی بالاتر از پمپ حرارتی با منبع هوایی است و نیز عملکرد کمپرسور پایدار تر است که این موجب افزایش عمر کمپرسور می‌شود.

همانطور که در نمودار زیر مشخص است دمای عمق ۴ متری از سطح زمین در طول سال تقریبا ثابت است که می توان از اختلاف دمای هوا با دمای عمق زمین جهت سرمایش و گرمایش ساختمان ها استفاده نمود.

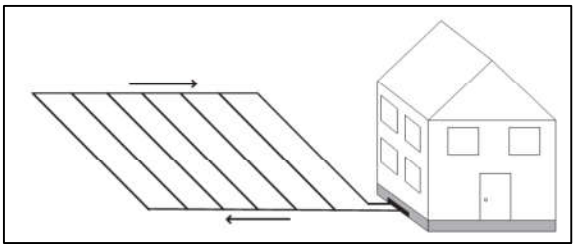


شکل ۲ روند تغییرات دمای عمق های مختلف و مقایسه با دمای سطح زمین[۱۴]

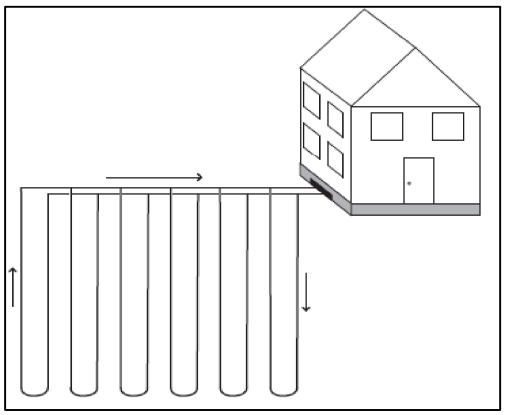
پمپ های حرارتی زمین گرمایی به دو دسته حلقه باز و حلقه بسته تقسیم می‌شوند .در چرخه حلقه بسته، گرما از زمین با استفاده از جریان آب در یک حلقه پیوسته از لوله های خاص دفن شده در زمین، استخراج میشود . در این سیستم، یک حجم ثابت از آب از طریق یک حلقه بسته لوله U شکل در گردش است؛ برتری این مورد نسبت به حالت حلقه باز، استفاده از فقط یک چاه و همچنین عدم نیاز به فیلتر تمیز کننده آب ورودی از درون زمین در قسمت پمپ می‌باشد[۴].

پمپ های زمین گرمایی با توجه به هزینه ها و مساحت منطقه بصورت عمودی و افقی بکار می‌روند. (شکل۳) . Murat Aydın و همکاران بررسی هایی را روی انواع مبدل های پمپ های زمین گرمایی انجام دادند. نتیجه آزمایشات آن ها نشان داد که مبدل های افقی در مقایسه با انواع عمودی هزینه اولیه کمتری دارند و همچنین نصب آنها راحت‌تر است. اشغال فضای زیاد از مشکلات این نوع مبدل است. بطور وسیع مدل های رایج مورد مقایسه قرار گرفته که نشان می‌دهد حالت مارپیچ بهترین شار انتقال گرما را دارد[۱۵].

به دلیل اشغال سطح کمتر و محدودیت در فضای مورد استفاده، سیستم عمودی حلقه بسته برای واحد ساختمانی موردنظر در این مقاله به کار گرفته شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۳ سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی(الف) افقی (ب) عمودی [۱۱]

منطقه ۱۱ یکی از مناطق ۲۲ گانه شهر تهران است که عمدتا دارای بافت تجاری- مسکونی است. وسعت این منطقه۱۲۰۶هکتار می باشد که طبق گزارش مرکز آمار ایران مساحت ساختمان هایی که مجوز ساخت در سال ۲۰۱۳ دریافت کردند برابر با ۲۶۰۶۶۵ متر مربع می باشد. با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۳۶۰ متر مربع برای ساختمان نمونه تعداد ساختمان های معادل برابر ۷۲۴ خواهد بود.

تعداد ساکنین هریک از واحدهای این ساختمان ده واحده ۲ نفر درنظر گرفته می شود. ۷۱٪ از مصرف گاز در بخش خانگی صرف سرمایش و گرمایش می‌شود [۳]. طبق ترازنامه انرژی سال ۲۰۱۲ سرانه مصرف گاز طبیعی در ایران

برابر ۱۲۵۷/۷ متر مکعب می باشد. پس میزان صرفه جویی سالانه گاز طبیعی در ساختمان نمونه برابر است با:

مترمکعب ۱۷۸۶۰=۱۲۵۷/۷×۰/۷۱× ۱۰×۲

در نتیجه در صورتی که تمامی ساختمان های در حال گرفتن مجوز در منطقه ۱۱ به سیستم پمپ حرارتی مجهز گردند سالانه میزان

مترمکعب۱۲۹۳۱۳۶۰= ۱۷۸۶۰ ×۷۲۴

گاز طبیعی صرفه جویی می گردد. با در نظر گرفتن ارزش حرارتی هر متر مکعب گاز طبیعی ایران (۸۶۰۰ کیلوکالری) ، سالانه نزدیک به ۱۳۰ میلیون کیلووات ساعت انرژی توسط پمپ های حرارتی تامین می گردد.

با توجه به قیمت صادرات گاز ایران به ترکیه (۳۵ سنت) در صورتی که میزان گاز صرفه جویی شده سالانه توسط دولت ایران به فروش برسد با یک حساب سرانگشتی به میزان ۳۲۳۲۸۴۰ دلار سود به همراه دارد.

(۱/۰-۳۵/۰)×۱۲۹۳۱۳۶۰ = ۳۲۳۲۸۴۰

۲-۱ تجزیه و تحلیل زیست‌محیطی

یکی از مسائل عمده مربوط به استفاده از سوخت های فسیلی بحث تولید گازهای آلاینده است و یکی از اهداف جایگزینی حامل‌های انرژی تجدیدپذیر کاهش تولید گازهای مذکور بخصوص گاز CO_2 و اثر گلخانه ای آن است[۹].

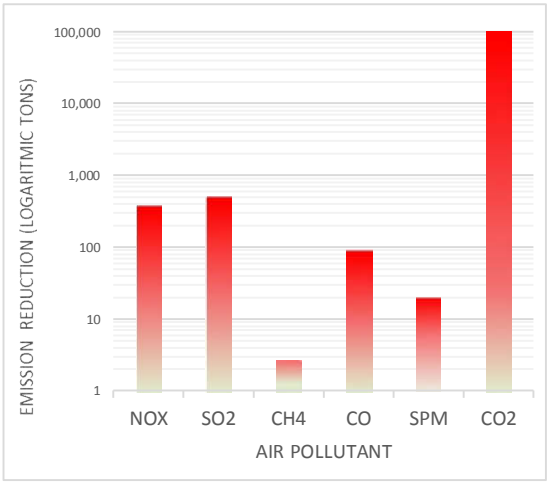
با افزایش رشد اقتصادی همواره صدمات و ضایعاتی متوجه محیطزیست می شود. گازطبیعی در مقایسه با سایر سوخت‌های فسیلی، سوخت پاکی به شمار می‌رود وکمترین مقدار آلودگی را دارا است با این وجود، ۵۰ درصد از انتشار دی اکسید کربن بخش انرژی کشور مربوط به گاز طبیعی است که از نظر مسأله تغیرات اقلیم قابل توجه می‌باشد[۳].

جدول۱ میزان کاهش انتشار گازهای الاینده به واسطه استفاده از GSHP

گازآلاینده	شاخص انتشار گازهای آلاینده (گرم به‌ازای کیلووات ساعت)	مقدار کاهش گازهای آلاینده به واسطه استفاده از پمپ حرارتی (تن)
CO_2	۷۶۷/۴۸	۹۶۵۷۶/۴۱۶
SPM	۰/۱۵۴	۱۹/۶۸۱
CO	۰/۶۹۴	۹۰/۰۴۳
SO_2	۳/۸۸۷	۵۰۴/۳۱۷
CH_4	۰/۰۲	۲/۵۹۵
NO_x	۲/۸۹۴	۳۷۵/۴۸۱
جمع	۷۹۳/۱۲۹	۱۰۰۵۶۸/۸۸۳

منبع: ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۲[۳]

هزینه های اضافی و سود نهایی ناشی از وارد نشدن ۶ آلاینده به محیط زیست که در جدول ۱ نمایش داده شده اند در جدول ۲ آمده است. شکل ۵ کاهش لگاریتمی آلاینده ها بر حسب تن با استفاده از پمپ زمین گرمایی در منطقه ۱۱ را در سال نشان می دهد.



شکل ۵ کاهش لگاریتمی آلاینده ها بر حسب تن با استفاده از پمپ زمین گرمایی در منطقه ۱۱

پس سود سالانه برای دولت ناشی از فروش گاز طبیعی و عدم تولید آلاینده ها بر اساس دلار برابر می شود با

۶۴۱۳۶۴+۳۲۳۲۸۴۰= ۳۸۷۴۲۰۴

در این قسمت به بررسی نحوه حمایت دولت از شهروندان برای اجرایی شدن طرح استفاده از پمپ حرارتی پرداخته می شود . در این حالت ابتدا بررسی می کنیم که اگر بدون حمایت دولت شهروندان از سیستم پمپ حرارتی استفاده کنند بازگشت سرمایه به چه صورت است. در بخش بعدی بررسی می شود. اگر دولت ۵ یا ۱۰ سال از سود ناشی از اجرای این طرح را در ابتدای ساخت ساختمان به صورت سوبسید برای شهروندان در نظر گیرد روند بازگشت سرمایه چگونه است؟

طبق آنچه پیشتر گفته شد، بار حداکثر مورد نیاز ساختمان نمونه ۱۸/۵تن برودتی است. با توجه به اینکه هزینه نصب پمپ حرارتی به طور متوسط برابر ۵۰۰۰ دلار به ازای هر تن برودت می باشد[۱۵] :

۵۰۰۰×۱۸/۵ = ۹۲۵۰۰

مطابق جدول ۳ در صورت استفاده از پمپ حرارتی، هزینه های اولیه مربوطه به تهیه بویلر، دیگ و کندانسور صرفه جویی می شود. درنتیجه هزینه مازاد اولیه استفاده از پمپ حرارتی زمین گرمایی نسبت به سیستم معمولی برابر می‌شود با :

۹۲۵۰۰ - ۲۶۴۰۰ = ۶۶۱۰۰

هزینه هر متر مکعب گاز طبیعی ایران در سال ۲۰۱۵ برای مصرف کنندگان خانگی برابر ۰/۱ دلار بوده است. در صورت استفاده از تکنولوژی پمپ حرارتی سالانه میزان ۱۷۸۶۱ متر مکعب گاز در ساختمان نمونه صرفه جویی می شود. پس در سال اول ۱۷۸۶ دلار صرفه جویی برای ساکنین صورت گرفته است.

جدول۲ میزان کاهش هزینه‌های زیستمحیطی به واسطه استفاده از پمپ حرارتی

میزان کاهش هزینه‌های زیستمحیطی ($)	مقدار کاهش گازهای آلاینده به واسطه استفاده از پمپ حرارتی (تن)	هزینه‌های خارجی آلاینده‌ها معادل تخریب زیست محیطی(تن/$)	گاز آلاینده
۲۸۴۵۰۴/۰۵	۹۹۵۷۶/۴۱۶	۲/۸۶	CO_2
۲۴۵۴۷/۶۹	۱۹/۹۸۱	۱۲۲۸/۵۷	SPM
۴۸۲۳/۷۲	۹۰/۰۴۳	۵۳/۵۷	CO
۲۶۲۹۶۵/۵۱	۵۰۴/۳۱۷	۵۲۱/۴۳	SO_2
۱۵۵/۶۹	۲/۵۹۵	۶۰/۰۰	CH_4
۶۳۶۸/۱۷	۳۷۵/۴۸۱	۱۷۱/۴۳	NO_x
۶۴۱۳۶۴/۸۳	۱۰۰۵۶۸/۸۳۳	۲۰۳۷/۸۶	جمع

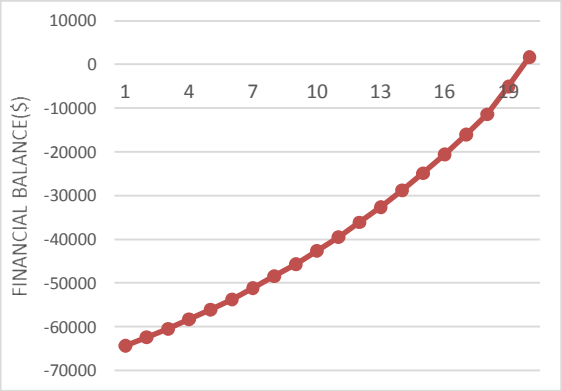
جدول ۳ هزینه تجهیزات

تجهیزات	قیمت (دلار)
بویلر	۲۹۰۰
چیلر	۱۸۰۰۰
کندانسور	۵۵۰۰
مجموع	۲۶۴۰۰

منبع: فهرست بهای تاسیسات مکانیکی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، سال ۱۳۹۴ [۳]

طبق گزارش بانک مرکزی ایران نرخ تورم در سال ۹۲ برابر ۳۳ درصد اعلام شد و ارزش نقدینگی درمحاسبات ۲۰ درصد (برابر حداقل سود سپرده بانکی در سال ۹۳ برای سپرده‌های بلند مدت) فرض گردید.

با انجام دادن محاسبات اقتصادی در صورتی که شهروندان اقدام به جایگزینی پمپ های حرارتی کنند، مشاهده می شود که بازگشت سرمایه برابر ۱۸/۵ سال می گردد و به هیچ وجه اقتصادی نیست و در صورت حمایت نکردن دولت از جایگزینی سیستم های پمپ حرارتی زمین گرمایی، این سیستم توسط شهروندان مورد استفاده قرار نخواهد گرفت. حال به بررسی دو استراتژی حمایتی دولت خواهیم پرداخت. این سیستم های حمایتی می تواند به صورت کاهش تعرفه های مالیاتی برای شرکت های تولیدی پمپ حرارتی باشد تا با هزینه کمتر پمپ ها در اختیار شهروندان قرار گیرد یا به صورت تخفیف در هزینه صدور پروانه در هنگام ساخت در نظر گرفته شود. در استراتژی ۱ دولت ۵ سال از سود ناشی از اجرای این طرح را به عنوان حمایت هزینه می کند و در استراتژی ۲ به میزان ۹ سال سود مورد نظر گرفته می شود.



شکل ۶ تعادل مالی سناریوی اول

با تقسیم میزان سود سالیانه دولت از طرح جایگزینی بر تعداد ساختمان های نمونه، سود سالیانه دولت از مجهز شدن یک ساختمان به سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی بدست می آید.

$$\frac{۳۸۷۴۲۰۴}{۷۲۴} \cong ۵۳۵۱\$$$

در ادامه ارزش حال حاضر این سود دولت با درنظر داشتن تورم و ارزش زمانی پول مورد محاسبه قرار می گیرد. نتایج را در جدول ۴ مشاهده می‌کنید.

جدول ۴ هزینه تجهیزات

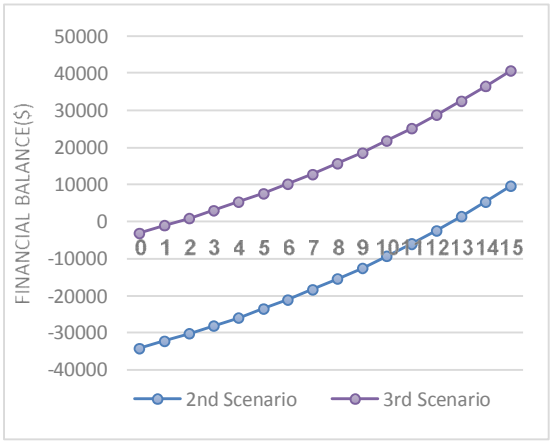
سال	ارزش زمانی ($)	ارزش زمانی تجمعی ($)
۱	۵۳۵۱	۵۳۵۱
۲	۵۶۶۷	۱۱۰۱۸
۳	۶۰۰۳	۱۷۰۲۱
۴	۶۳۵۸	۲۳۳۷۹
۵	۶۷۳۳	۳۰۱۱۲
۶	۷۱۳۲	۳۷۲۴۴
۷	۷۵۵۳	۴۴۷۹۷
۸	۸۰۰۰	۵۲۷۹۷
۹	۸۴۷۳	۶۱۲۷۰

با توجه به جدول فوق سوبسیدی که توسط دولت برای استراتژی ۱ و ۲ در نظر می گیرد به ترتیب برابر ۳۰۱۱۲ و ۶۱۲۷۰ دلار است. پس هزینه اولیه استراتژی ۱ و ۲ به ترتیب برابر می شود با :

$$۶۶۱۰۰ - ۳۰۱۱۲ = ۳۵۹۸۸\$$$

$$۶۶۱۰۰ - ۶۱۲۷۰ = ۴۸۳۰\$$$

با انجام محاسبات اقتصادی و درنظر گرفتن ارزش زمانی سرمایه و تورم مشخص می گردد که بازگشت سرمایه استراتژی اول در ۱۲/۶ سال اتفاق می افتد. حال آنکه بازگشت سرمایه استراتژی دوم در تنها ۱/۶ سال امکانپذیر است.



شکل ۷ تعادل مالی سناریوی دوم و سوم

علت این اختلاف بسیار زیاد در میزان بازگشت سرمایه، زیاد بودن نسبت قیمت صادرات هر متر مکعب گاز (۰/۳۵ دلار) به قیمت مصرف داخلی (۰/۱ دلار) و سوبسید ۷۰ درصدی دولت بر روی گاز طبیعی است که در اختیار مردم قرار می گیرد.

۳-نتایج

از جایی‌که ایران از لحاظ اقلیمی در موقعیت مناسب استفاده از انرژی های نو قرار دارد میتواند بخشی از انرژی مورد نیاز خود را از این طریق تامین کند ، از طرفی کشور ایران به کشورهای همسایه همچون ترکیه و ارمنستان گاز صادر میکند. در این مقاله به بررسی این پرداختیم که چنانچه ساختمان های منطقه ۱۱ شهرداری تهران که در سال ۲۰۱۴ درحال گرفتن مجوز برای ساخت می باشند با حمایت دولت ایران مجهز به سیستم پمپ حرارتی شوند ، میتوان سالیانه میزان ۱۲۹۳۱۳۶۰ متر مکعب گاز طبیعی را صرفه جویی کرد. با در نظر گرفتن قیمت صادرات هر متر مکعب گاز سال ۲۰۱۴ ، میزان ارزی که می توان در طی یک سال آن هم با تامین انرژی ساختمانهای دارای مجوز در منطقه ۱۱ تهران، از انرژیهای تجدید پذیر وارد کشور کرد رقمی برابر با ۳۲۳۲۸۴۰ دلار می باشد. میزان کاهش هزینه‌های سالانه زیست‌محیطی ناشی از آلاینده ها ۶۴۱۳۶۴ دلار برآورد شده است. مشاهده شد که در صورت حمایت دولت از شهروندان برای استفاده از پمپ‌های حرارتی بازگشت سرمایه شهروندان از ۱۸ سال به کمتر از ۲ سال خواهد رسید.

مراجع

[1] *Iran International energy data and analysis* (https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=IRN)

[2] U.S. Energy Information Administration / *Monthly Energy Review* December 2015 (http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/#consumption)

[3] *Iran Energy Balance Sheet*, 2014

[4] S. Porkhial, H. Sheydae, *A Performance Comparison between an Open Source and a Vertical Closed Source Heat Pump System for Residential Heating in the Cold Climate Iran*, *World Geothermal Congress* 2015

[5] D. Mendrinos, C. Karytsas, *Results of EU Project Ground-Med concerning Advanced Ground Source Heat Pump Systems for Heating and Cooling*, *World Geothermal Congress* 2015

[6] I. Sarbu, C. Sebarchievici. *General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings*. *Energy and Buildings*,Vol. 111, pp. 207–217, 2016

[7] N. Naili, M. Hazami, I. Attar, A.Farhat. *Assessment of surface geothermal energy for air conditioning in northern Tunisia: Direct test and deployment of ground source heat pump system*. *Energy and Buildings*, Vol. 111, pp. 207–217, 2016

[8] M. Islam , H. Mun , A. Rubayet , S. Ahmed , K. Park , C. Yang . *Evaluation of a ground source geothermal heat pump to save energy and reduce CO2 and noxious gas emissions in a pig house*. *Energy and Buildings*, Vol. 111, pp. 446–454, 2016

[9] P. Blum, G. Campillo, M. Munch, T. Kolbel. *CO2 savings of ground source heat pump systems – a regional analysis*. *Renewable* Energy, Vol. 35, pp. 122–127, 2010

[10] J. Hanova, H. Dowlatabadi, *Strategic GHG reduction through the use of ground source heat pump technology*, Environ. Res, No. 2, pp. 1–8, 2007

[11] S. Self, B. Reddy, M. Rosen. *Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options*, *Applied Energy*, Vol. 101, pp. 341–348, 2013

[12] P. Conti, W. Grassi, D.Testi, *Proposal of Technical Guidelines for Optimal Design of Ground-Source Heat Pump Systems*, *World Geothermal Congress,* 2015

[13] L. Xin-Guo, Z. Jun, W. Jian, L. Qiang, W. Yi-Ping, J.Yan-Min, *Application and Experiment on Solar-Ground Coupled Heat Pump with Heat Storage*, *World Geothermal Congress*, 2010

[14] S. Porkhail, M. Taghaddosi, *Renewable Energy Organization of Iran(SUNA)*, *World Geothermal Congress*, 2010

[15] M. Aydın, A. Sisman, A. Gultekin, B. Dehghan, *An Experimental Performance Comparison between Different Shallow Ground Heat Exchangers*, *World Geothermal Congress*, 2015

[16] http://www.energyhomes.org/renewabletechnology