

امکان سنجی فنی - اقتصادی و زیست محیطی استفاده از پمپهای حرارتی

زمین گرمایی

فریده عتابی^{*۱}

far-atabi@jamejam.net

سیده محمدرضا هیبتی^۲

ستاره مهرخو^۳

تاریخ پذیرش: ۸۸/۵/۱۵

تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۱۵

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به منابع رو به اتمام سوخت های فسیلی و انتشار فراوان آلاینده های زیست محیطی از این منابع، استفاده از انرژی های پاک همچون انرژی زمین گرمایی مورد توجه قرار گرفته است. پمپ های حرارتی زمین با مصرف برق در کمپرسور، جهت تأمین بار حرارتی و تأمین آب گرم مصرفی می توانند گرما را از زمین به داخل ساختمان منتقل نمایند.

روش بررسی: در این تحقیق با انجام محاسبات تهویه مطبوع، بار حرارتی مورد نیاز برای یک نمونه ساختمان ۴ طبقه ۱۲ واحدی واقع در شرق تهران با زیر بنای هر طبقه ۵۶۵ متر مربع به طور جداگانه محاسبه شده و با توجه به ویژگی های حرارتی خاک و دمای میانگین سالیانه منطقه مورد نظر، پمپ حرارتی زمین گرمایی مناسب انتخاب گردید. سپس با توجه به هزینه اولیه خرید، نصب و راه اندازی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی و مصرف برق آن، با نرم افزار Proform مقرون به صرفه بودن جایگزینی این سیستم با سیستم قبلی تأمین کننده بار حرارتی ساختمان (بویلر)، بر اساس قیمت اعتبار کربن در بازارهای جهانی، سناریو سازی شده و مورد ارزیابی فنی - اقتصادی و زیست محیطی قرار گرفته است.

یافته ها: باتوجه به نتایج حاصل، در صورت استفاده از پمپ های حرارتی زمین گرمایی، انتشار کل آلاینده هادرطول انجام پروژه (۱۰ سال)، به میزان ۳۷۵۹ تن معادل CO₂ کاهش یافته و همچنین ۶۷ هزار گیگاژول در مصرف سوخت گاز طبیعی صرفه جویی می گردد.
بحث و نتیجه گیری: باتوجه به مشخصات خاک، شرایط آب و هوایی و شرایط زمین محل استقرار ساختمان، می توان از سیستم GSHP به جای بویلر استفاده شود. این امر موجب کاهش قابل توجه در مصرف انرژی الکتریکی و کوتاه شدن زمان بازگشت سرمایه می گردد.

کلمات کلیدی: انرژی زمین گرمایی، پمپ حرارتی، اعتبار کربن، امکان سنجی فنی - اقتصادی - زیست محیطی

۱- استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی* (مسئول مکاتبات)

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پردیس

۳- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

مقدمه

محیط اطراف ما منابع انرژی بسیار بزرگ و ارزانی را در اختیارمان می‌گذارد. یکی از این منابع، انرژی زمین‌گرمایی است و یکی از راه‌های بهره‌برداری از این منبع انرژی، پمپ حرارتی زمین‌گرمایی است. این وسیله که برای گرمایش، سرمایش و تأمین آب گرم مصرفی ساختمان‌های مسکونی، تجاری و اداری مورد استفاده قرار می‌گیرد، با زمین تبادل گرما می‌کند. دمای زمین، به عنوان چشمه یا چاه گرمایی، در مقایسه با سیستم‌های تهویه مطبوع هوایی، در طول سال تقریباً ثابت و به دمای مطلوب محیط تهویه شده نزدیک تر است. به همین دلیل، این سیستم‌ها در مقایسه با بسیاری سیستم‌های دیگر، بازدهی بیش تری دارند و انرژی کم تری مصرف می‌کنند (۱). مزایای اصلی این سیستم‌ها عبارتند از مصرف کم تر انرژی، طرح ساده‌تر، نیاز کم تر به تعمیر و نگهداری، و نداشتن آلاینده‌گی. معایب آن‌ها هم مربوط به بالا بودن هزینه سرمایه‌گذاری اولیه نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع، کمبود طراحان متخصص، و کمبود پیمان‌کاران باتجربه برای نصب و راه‌اندازی این سیستم‌ها هستند. بخش مهمی از هزینه سرمایه‌گذاری در پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی مربوط به مبدل حرارتی زمینی است. این بخش شامل هزینه حفاری و پر کردن کانال زمینی، پمپ سیرکولاتور، سیال ضدیخ (در مناطق سردسیر)، لوله‌های پلی اتیلنی و نصب آنها می‌باشد. بررسی‌های اقتصادی نشان می‌دهند که گرچه سرعت بازگشت سرمایه پروژه‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی کم است، اما برای استفاده در دوره ۵ تا ۷ سال توجیه اقتصادی دارند (۲).

در سال ۱۹۱۲ برای نخستین بار ایده استفاده از زمین به عنوان منبع گرما مطرح شد و نخستین پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی در اواسط دهه ۱۹۴۰ در آمریکا و انگلستان نصب شدند (۳). بنابراین، استفاده از این پمپ‌ها در دنیا دارای سابقه طولانی مدت است. اما به کارگیری آنها در ایران روشی نوین است. در واقع، با توجه به رشد مصرف انرژی و افزایش قیمت برق در سال‌های اخیر، مطالعات فنی و اقتصادی و امکان‌سنجی استفاده از این سیستم‌ها در ایران آغاز شده، به طوری که در

حال حاضر، این سیستم در پنج شهر اهواز، بندرعباس، رشت، طالقان و مشکین‌شهر نصب شده است و توسط سیستم یاد شده در حالت سرمایشی ۵۰٪ و در حالت گرمایشی ۷۰٪ مصرف برق کاهش داده شده است. پیش‌بینی می‌شود که در سال‌های آینده، این سیستم‌ها جایگاه مناسبی بین سیستم‌های تهویه مطبوع در کشورمان به دست آورند. در طی دو دهه اخیر مطالعات بسیاری در زمینه طراحی و مدل‌سازی (۴-۷)، تست و ارزیابی کارایی (۸-۱۲)، و مقایسه و امکان‌سنجی فنی - اقتصادی (۱۳-۱۷) پمپ‌های گرمایی ژئوترمال انجام یافته است. اسن^۱ (۱۳) یک سیستم پمپ حرارتی زمینی با مبدل افقی را برای استفاده گرمایشی در منطقه‌ای در شرق ترکیه از لحاظ فنی و اقتصادی ارزیابی کرده است. او تحلیل اقتصادی مفصلی ارائه داده و زمان بازگشت سرمایه سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را با شش روش گرمایش دیگر (مقاومت الکتریکی، مازوت، گاز مایع، زغال سنگ، نفت، و گاز طبیعی) مقایسه کرده و به این نتیجه رسیده است که در این حالت، سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی از لحاظ اقتصادی از پنج روش گرمایشی اول بهتر است، اما جایگزین اقتصادی مناسبی برای سیستم گرمایش با استفاده از گاز طبیعی نیست. هیلی^۲ (۱۴) استفاده از پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را در آب و هوای سرد از لحاظ فنی و اقتصادی امکان‌سنجی کرده است. او تأثیر پارامترهای مختلف سیستم را بر کارایی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی با استفاده از یک مدل رایانه‌ای بررسی کرده و نیز یک ارزیابی اقتصادی قیاسی به منظور امکان‌سنجی استفاده از پمپ حرارتی زمین‌گرمایی به جای سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی دیگر انجام داده است. نتایج او نشان داده‌اند که پمپ حرارتی زمین‌گرمایی از لحاظ اقتصادی از سیستم‌های دیگر بهتر است و پارامترهای مختلف این سیستم تأثیر به‌سزایی بر کارایی آن دارند. پتیت^۳ قابلیت اقتصادی پمپ گرمایی ژئوترمال با مبدل

۱- Esen

۲- Healy

۳- Petit

مبدل زمینی این گونه سیستم‌ها متشکل از شبکه‌ای از لوله‌های پلی‌اتیلنی است که برای تأمین تبادل گرمای مورد نیاز در آب فرو برده شده است. این سیستم‌ها گرمادایی را با کارایی بیش تری نسبت به گرمزایی انجام می‌دهند، بنابراین استفاده از آن‌ها در مناطق گرمسیر متداول‌تر است. البته ساختمان بایستی در نزدیکی منابع آب مناسب قرار داشته باشد.

۳- سیستم‌های حلقه‌بسته یا پمپ‌های حرارتی متصل به زمین (GCHP)

در این سیستم‌ها، مبدل حرارتی زمینی متشکل از شبکه‌ای از لوله‌های پلی‌اتیلنی به صورت افقی در یک ترانشه یا به طور عمودی در یک چاه قرار می‌گیرد و سیال حامل گرما در آنها به گردش در می‌آید و حرارت را از زمین به پمپ حرارتی (یا بالعکس) منتقل می‌کند. در این حالت، سیال حامل گرما توسط دیواره مبدل حرارتی از خاک، سنگ یا آب زیرزمین جدا شده که آن را تبدیل به یک سیستم بسته می‌نماید. هزینه نصب این گونه سیستم‌ها از انواع دیگر آن بالاتر است، اما در اکثر مکان‌ها و برای سیستم‌هایی با ظرفیت‌های مختلف قابل استفاده هستند. در میان سیستم‌های حلقه بسته، مبدل‌های زمینی عمودی به دلیل نفوذ در عمق بیش تر زمین و تماس با خاک زمین در عمق زیادتر که دمای نسبتاً ثابتی در طول سال دارد، کارایی بیش تری دارند و برای نصب آن‌ها، مساحت کمتری از سطح زمین مورد نیاز است. در مقابل، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه آن‌ها بیشتر از مبدل‌های افقی می‌باشد. نمای سه نوع مختلف از لوله گذاری سیستم پمپ حرارتی حلقه‌بسته (عمودی، افقی، و ماریج) در شکل ۱ مشاهده می‌شود (۱۷).

زمینی عمودی (۱۵) و مبدل زمینی افقی (۱۶) را با سیستم‌های تهویه مطبوع هوایی در آفریقای جنوبی مقایسه کرده است. او هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و عمق بهینه چاه‌های مبدل زمینی را محاسبه کرده است. همچنین، ظرفیت‌های گرمایشی و سرمایشی ماهیانه و ضریب عملکرد را به منظور تعیین هزینه‌های عملکردی ارزیابی کرده است. سرانجام زمان بازگشت سرمایه، ارزش فعلی خالص، و سرعت بازگشت داخلی را به دست آورده و نتیجه گرفته است که استفاده از پمپ حرارتی زمین گرمایی با هر دو مبدل زمینی عمودی و افقی، ارزان‌تر و اقتصادی‌تر از سیستم تهویه مطبوع هوایی است.

در بیش تر مقالات یاد شده، نصب پمپ حرارتی زمین گرمایی از دیدگاه اقتصادی و در برخی از آنها از دیدگاه‌های فنی و اقتصادی بررسی شده است، اما از جنبه زیست‌محیطی مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین در هیچ یک از مقالات یاد شده اعتبار کربن در محاسبات مربوط به امکان‌سنجی اقتصادی در نظر گرفته نشده است.

سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی، بسته به این که از زمین، آب زیرزمینی یا آب سطحی به عنوان چشمه یا چاه گرمایی استفاده کنند، به سه نوع حلقه‌بسته^۱ (GCHP)، حلقه باز^۲ (GWHP) و حلقه دریاچه‌ای^۳ (SWHP) تقسیم می‌شوند (۱۷).

۱- سیستم‌های حلقه‌باز یا پمپ‌های حرارتی با منبع آب زمینی (GWHP)

در این سیستم‌ها، آب برگرفته از منابع آب زمینی (آب‌های سطحی و سفره‌های زیرزمینی) به عنوان سیال حامل گرما، مستقیماً به پمپ حرارتی ارسال می‌گردد و پس از تبادل حرارتی با پمپ حرارتی، مجدداً به زمین برگردانده می‌شود.

۲- سیستم‌های پمپ‌های حرارتی با منبع آب سطحی (SWHP)

۱ - Ground Coupled Heat Pump

۲ - Ground Water Heat Pump

۳ - Surface Water Heat Pump



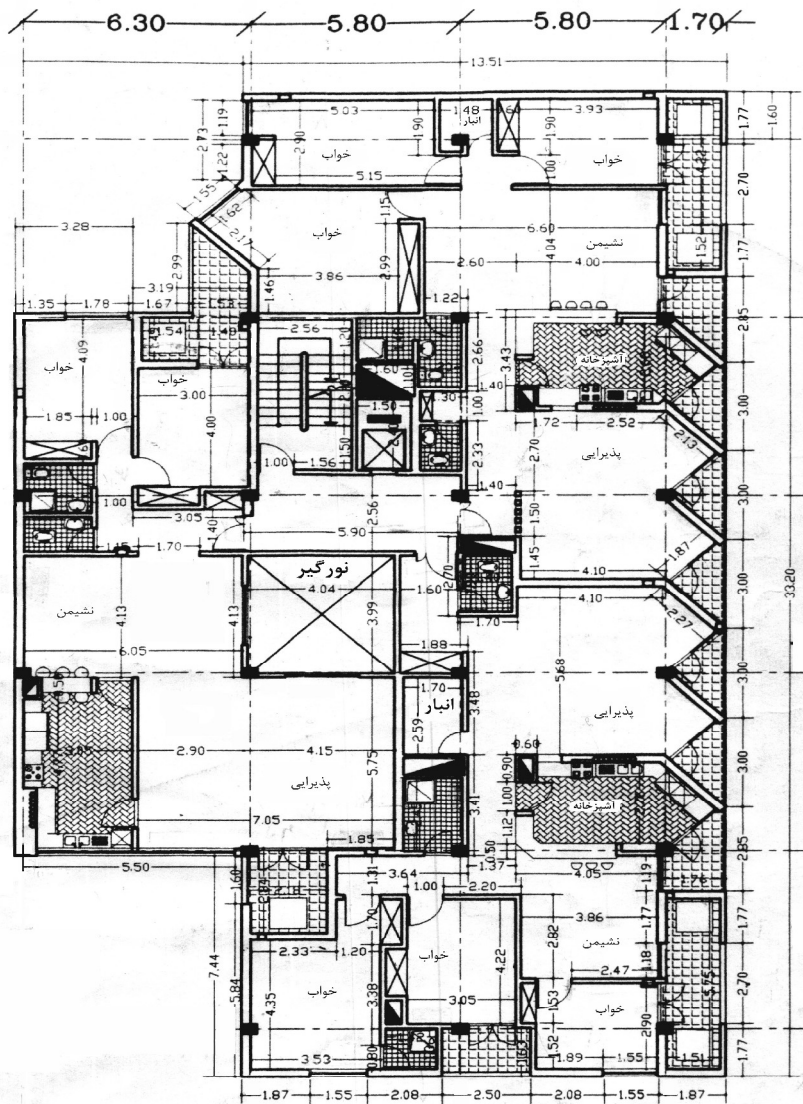
شکل ۱ - سیستم‌های پمپ حرارتی حلقه‌بسته یا پمپ‌های حرارتی متصل به زمین (GCHP) (۱۷)

مواد و روش‌ها

حفظ حریم همسایگان، همچنین نفوذ به اعماق بیش تری از زمین و دستیابی به درجه حرارت ثابت در طول سال می باشد. سپس با در نظر گرفتن اعتبار کربن در بازار جهانی، ضمن تعریف سه سناریوی مختلف، سیستم GSHP موردنظر با سیستم قبلی (بویلر) توسط نرم افزار Proform از سه دیدگاه فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

در شکل ۲، نمایی از نقشه کل ساختمان مورد مطالعه و در جدول ۱ مشخصات سیستم حرارتی ساختمان در وضعیت موجود، مشاهده می گردد.

در این تحقیق ساختمان مورد مطالعه، یک آپارتمان مسکونی ۱۲ واحدی واقع در شرق تهران با تعداد طبقات ۴ و زیربنای ۵۶۵ مترمربع می باشد. محاسبات تهویه مطبوع برای به دست آوردن بار حرارتی ساختمان انجام یافته است و با توجه به بار حرارتی مورد نیاز، موقعیت جغرافیایی، مشخصات خاک و شرایط آب و هوایی منطقه موردنظر، به منظور تامین گرمایش ساختمان در زمستان و تامین آب گرم مصرفی، به جای بویلر از یک سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی بامبدل زمینی عمودی (GSHP) استفاده گردیده است که انتخاب نوع سیستم عمودی، به دلیل محدودیت زمین و عدم دسترسی به زمین کافی و در نتیجه



جنوبی

شکل ۲- نمایی از نقشه کل ساختمان مورد مطالعه

جدول ۱ - مشخصات سیستم حرارتی ساختمان مورد مطالعه در وضعیت موجود (بویلر)

نوع سیستم	بازده	نوع سوخت مصرفی	مصرف سالیانه گاز طبیعی
بویلر	۷۵٪	گاز طبیعی	۱۶۷۵ GJ/Y

مسکونی مورد نظر، برخی اطلاعات و مشخصات مورد نیاز است که در جدول ۲ به آنها اشاره شده است.

جهت جایگزین نمودن سیستم GSHP به جای سیستم بویلر موجود به منظور تامین گرمایش مورد نیاز در داخل ساختمان

جدول ۲- مشخصات و اطلاعات مورد نیاز جهت انتخاب پمپ حرارتی ژئوترمال برای ساختمان مورد نظر

۲۲۰kW	بارحرارتی	٪۷۵	بازده آیزنتروپیک کمپرسور
۱۸۴/۴kW	باربرودتی	٪۸۰	بازده الکتریکی کمپرسور
۲۸۸۰h/y	کل زمان کارکرد در حالت گرمایش	٪۸۰	بازده پمپ
۱۳۵۰ h/y	زمان کارکرد سیستم با بار کامل	٪۸۰	بازده موتور پمپ
۱۰ سال	طول عمر سیستم	۰/۰۳۱۸m	قطر داخلی لوله درونی کندانسور
٪۱۰	نرخ بهره	۰/۰۳۴۸m	قطر خارجی لوله درونی کندانسور
۴/۲W/(m°C)	ضریب هدایت گرمایی خاک	۰/۳۹۸kW/(m°C)	ضریب هدایت گرمایی لوله کندانسور
۱۶°C	دمای زمین	۰/۰۳۱۸m	قطر داخلی لوله درونی اواپراتور
۱۲W/(m°C)	ضریب کلی انتقال گرما در خاک	۰/۰۳۴۸m	قطر خارجی لوله درونی اواپراتور
۰/۳۹۸kW/(m°C)	ضریب هدایت گرمایی لوله اواپراتور	۰/۳۹۷۹W/(m°C)	ضریب هدایت گرمایی لوله مبدل حرارتی

سیستم GSHP با مبدل زمینی عمودی بامشخصات ارایه شده در جدول ۳ جهت تامین گرمایش و آب گرم مورد نیاز ساختمان مورد مطالعه، انتخاب گردید.

با توجه به اطلاعات موجود در جدول ۲ و مشخصات ارایه شده توسط کمپانی های سازنده انواع پمپ های حرارتی ژئوترمال (۱۸)، و با استفاده از روابط ارایه شده در مرجع شماره ۵،

جدول ۳- مشخصات فنی و هزینه های سیستم GSHP انتخابی در ساختمان مورد مطالعه

۳۹kW	توان مصرفی کمپرسور	۹۰۰۰ متر	طول لوله مبدل عمودی
۵/۵ kW	توان مصرفی پمپ	پلی اتیلن	جنس لوله
۱۱۱/۸ متر	عمق چاه	۰/۱۱۷۵	ضریب بازگشت سرمایه
۴/۹۴	ضریب عملکرد	۳۰۳۱۹۵۶۳۰ ریال	*هزینه سرمایه گذاری اولیه
		۶۰MWh/y	مصرف انرژی الکتریسیته

*هزینه سرمایه گذاری اولیه شامل: هزینه پمپ+هزینه کمپرسور+هزینه اواپراتور+هزینه کندانسور+هزینه حفاری+هزینه لوله گذاری+هزینه مبدل زمینی عمودی+هزینه نصب و راه اندازی می باشد.

عنوان اطلاعات ورودی، به نرم افزار Proform داده می‌شود. این اطلاعات شامل بخش فنی و بخش اقتصادی طرح می‌باشد که در جداول ۴ و ۵ به اختصار ارائه گردیده است.

بررسی فنی - اقتصادی وزیست محیطی سیستم GSHP
به منظور بررسی امکان سنجی فنی اقتصادی و زیست محیطی سیستم GSHP انتخابی در ساختمان مورد مطالعه، اطلاعاتی در مورد سیستم قدیم (بویلر) و سیستم جدید (GSHP) به

جدول ۴- اطلاعات فنی ورودی به نرم افزار Proform

میزان مصرف انرژی سیستم قدیم (بویلر)	نوع سوخت مصرفی توسط بویلر	بازده بویلر	میزان مصرف انرژی سیستم جدید (GSHP)	طول عمر GSHP (سال)	ضریب عملکرد GSHP	ظرفیت GSHP (kW)	دوره استهلاک (سال)
۴۶۵/۲ MWh/y	گاز طبیعی	٪۷۵	۶۰ MWh/y	۱۰	۴/۹۵	۲۲۰	۱۰

جدول ۵- اطلاعات مالی و اقتصادی ورودی به نرم افزار Proform

هزینه هر کیلووات ساعت برق (ریال)	***هزینه هر واحد مصرف گاز طبیعی (Rial/Gj)	نرخ رشد سالیانه قیمت گاز طبیعی	نرخ رشد سالیانه قیمت برق	*نرخ تورم	هزینه سرمایه گذاری اولیه سیستم GSHP (ریال)	نرخ مالیات بر درآمد	نرخ تنزیل
۱۲۴/۶۷	۲۹۲۸/۹	٪۵/۶	٪۲/۱	٪۲۰/۲	۳۰۳۱۹۵۶۳۰	٪۱۵	٪۱۶

*نرخ تورم سالیانه بر مبنای گزارش بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، مدیریت کل آمارهای اقتصادی فادره آمار اقتصادی، دایره شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی در اردیبهشت سال ۱۳۸۸ (۱۹)

**طبق ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۶، هریک مترمکعب گاز طبیعی ۰۳۷۲۶ GJ / و قیمت گاز طبیعی (خانگی) ۱۱۱/۳ Rials/m^۳ (۲۰)

در ادامه به منظور دستیابی به نتایج بهتر، براساس ارزش اعتبار کاهش هرتن دی اکسید کربن^۱ در بازارهای جهانی، سه سناریوی A, B, C مطابق اطلاعات جدول (۶) توسط نرم افزار Proform مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

جدول ۶- سناریوسازی براساس ارزش اعتبارکاهش CO_۲ در سازمان بانک جهانی

سناریو	ارزش اعتبارکاهش هر تن CO _۲	نرخ رشد قیمت (%)	مالیات بردرآمد فروش اعتبارکاهش هر تن CO _۲ (%)
سناریوی A	۱۰\$/ton CO _۲	۱۵	۰
سناریوی B	۱۵\$/ton CO _۲	۱۵	۰
سناریوی C	۲۰\$/ton CO _۲	۲۰	۰

همان گونه که در جدول ۶ مشاهده می گردد، ارزش اعتبار کاهش هر تن CO_۲ در سناریوی A معادل ۱۰ دلار، سناریوی B ۱۵ دلار و سناریوی C معادل ۲۰ دلار در نظر گرفته شده است، لیکن در سناریوی A درصد رشد قیمت آن معادل ۱۵٪، در سناریوی B معادل ۱۵٪ و در سناریوی C معادل ۲۰٪ در نظر گرفته شده است.

یافته ها

درآمد ناشی از فروش ارزش اعتبارکاهش CO_۲، باتوجه به استانداردهای مطرح شده در کنوانسیون های تغییر اقلیم و تجارت کربن، میزان مالیات صفر درصد در نظر گرفته شده است.

نتایج بررسی فنی

در طول مدت انجام کل پروژه، درازای مصرف ۱۰ یژ / ۶۰۱ MWh برق، ۶۷۰۰۰ GJ سوخت فسیلی از نوع گاز طبیعی کاهش یافته است، که این امر ناشی از به کارگیری فناوری GSHP به جای استفاده از بویلر می باشد. در جدول ۷، میزان مصرف برق و کاهش در میزان مصرف سوخت در اثر استفاده از GSHP به صورت سالیانه و در طول انجام کل پروژه (۱۰ سال)، رایه گردیده است.

در صورتی که هیچ گونه اقدامی جهت فروش اعتبارکاهش کربن صورت نگیرد، مورد یاد شده نیز مورد مقایسه با سناریوهای قبلی (A,B,C) قرار می گیرد. در این نرم افزار کلیه محاسبات بصورت دینامیکی مورد ارزیابی قرار می گیرد، لذا ارزش هزینه های مختلف انرژی براساس پول رایج، نرخ ارز و نرخ تنزیل برآورد خواهد شد. بنابراین نرخ تنزیل در این نرم افزار، با توجه به آمار ترازنامه سال ۱۳۸۶ معادل ۱۶٪، در نظر گرفته شده است. همچنین نرخ مالیات بردرآمد ۱۵٪ برای سوخت در نظر گرفته شده است که این مالیات در صورت حساب قبض پرداختی مالکان ساختمان پرداخت می شود، اما برای

در صورتی که هیچ گونه اقدامی جهت فروش اعتبارکاهش کربن صورت نگیرد، مورد یاد شده نیز مورد مقایسه با سناریوهای قبلی (A,B,C) قرار می گیرد. در این نرم افزار کلیه محاسبات بصورت دینامیکی مورد ارزیابی قرار می گیرد، لذا ارزش هزینه های مختلف انرژی براساس پول رایج، نرخ ارز و نرخ تنزیل برآورد خواهد شد. بنابراین نرخ تنزیل در این نرم افزار، با توجه به آمار ترازنامه سال ۱۳۸۶ معادل ۱۶٪، در نظر گرفته شده است. همچنین نرخ مالیات بردرآمد ۱۵٪ برای سوخت در نظر گرفته شده است که این مالیات در صورت حساب قبض پرداختی مالکان ساختمان پرداخت می شود، اما برای

جدول ۷- میزان مصرف برق و کاهش در میزان مصرف سوخت توسط GSHP طی انجام پروژه

میزان کاهش مصرف گاز طبیعی (GJ۰۰۰)	میزان مصرف برق در GSHP (MWh)	میانگین سالیانه
۷	۶۰/۰۵۳	
۶۷	۶۰۱	کل پروژه

۲- نتایج بررسی اقتصادی

پارامترهای مهم اقتصادی براساس سناریوهای مختلف برای ساختمان مورد مطالعه، مقایسه گردیده اند:

لازم به ذکر است، در صورتی که نرخ بازگشت داخلی (IRR) از نرخ تنزیل بزرگ تر باشد، اقدامات جایگزینی پمپ حرارتی

در نظر گرفتن مالیات انجام گرفته است. نتایج مالی برای سه سناریوی یاد شده به شرح جدول ۸ می باشد.

زمین گرمایی به جای سیستم گرمایش قدیمی در طول مدت زمان اجرای پروژه یاد شده مقرون به صرفه می باشد. مقایسه سناریوهای مذکور به دوروش بادر نظر گرفتن مالیات وبدون

جدول ۸- آنالیز مالی سناریوهای مختلف C,B,A

پس از مالیات		قبل از مالیات			سناریو
نرخ بازگشت داخلی (IRR) (%)	ارزش سودخالص کنونی (NPV) (US \$)	نرخ بازگشت داخلی (IRR) (%)	ارزش سودخالص کنونی (NPV) (دلار آمریکا)	زمان بازگشت سرمایه (سال)	
۲۵/۸۸	۱۵۰۰۰	۲۷/۴۵	۱۷۰۰۰	۳/۹	A ارزش اعتبار کاهش هرتن CO ₂ ، ۱۰ دلار با رشد قیمت ۱۵٪
۳۴/۶۶	۳۰۰۰۰	۳۶/۱۱	۳۳۰۰۰	۳/۱	B ارزش اعتبار کاهش هرتن CO ₂ ، ۱۵ دلار با رشد قیمت ۱۵٪
۴۶/۳۸	۵۹۰۰۰	۴۷/۶۶	۶۲۰۰۰	۲/۶	C ارزش اعتبار کاهش ۲۰ دلار CO ₂ هرتن با رشد قیمت ۲۰٪
منفی	-۱۶۰۰۰	۲/۷۴	-۱۴۰۰۰	۸/۸	بدون فروش ارزش CO ₂ اعتبار کاهش هرتن

است. (بزرگ تر از نرخ تنزیل ۱۲٪ می باشد) بنابراین این سناریو مقرون به صرفه است.

سناریوی B: در این سناریو، قیمت فروش اعتبار کاهش هرتن CO₂ معادل ۱۵ دلار با افزایش قیمت ۱۵٪ در سال در نظر گرفته می شود. در حالت بدون در نظر گرفتن مالیات، زمان بازگشت سرمایه ۳/۱ سال، میزان ارزش سودخالص کنونی ۳۳۰۰۰ دلار و میزان نرخ بازگشت داخلی ۳۶/۱۱٪ می باشد. پس از اعمال مالیات، میزان ارزش سود خالص کنونی ۳۰۰۰۰ دلار و نرخ بازگشت داخلی ۳۴/۶۶٪ است. باتوجه به عدد نرخ بازگشت داخلی که هم در سناریوی A و هم در سناریوی B بزرگ تر از نرخ تنزیل ۱۲٪ می باشد، بنابراین هر دو سناریو مقرون به صرفه هستند.

بحث و نتیجه گیری

با انجام آنالیز مالی سناریوهای مختلف، نتایج ذیل حاصل می گردد:

سناریوی A: در حالت بدون در نظر گرفتن مالیات، دوره بازگشت سرمایه ۳/۹ سال، میزان ارزش سودخالص کنونی معادل ۱۷۰۰۰ دلار و میزان نرخ بازگشت داخلی ۲۷/۴۵٪ می باشد. و پس از اعمال مالیات، ارزش کنونی سود معادل ۱۵۰۰۰ دلار و میزان نرخ بازگشت داخلی، ۲۵/۸۸٪ می گردد. در این سناریو، هزینه سرمایه گذاری اولیه در مدت زمان ۳/۹ سال برمی گردد و سود ناشی از فروش ارزش اعتبار کاهش CO₂ و همچنین سود ناشی از کاهش میزان مصرف انرژی در طی ۱۰ سال ۱۷۰۰۰ دلار می باشد، و از آن جا که میزان نرخ بازگشت داخلی ۲۷/۴۵٪

C بیش تر و پروژه مقرون به صرفه تر خواهد بود. در صورتی که از سازوکارهای یاد شده استفاده نشود، ارزش سودخالص کنونی (NPV) ناشی از اجرای پروژه منفی و به هیچ وجه در ایران با توجه به هزینه های غیر واقعی انرژی و همچنین هزینه سرمایه گذاری بالای خرید، نصب و راه اندازی GSHP در محل مذکور توجه اقتصادی ندارد، لذا به کارگیری سازوکار تجارت کربن یکی از اقدامات مهم جهت به کارگیری از منابع تجدید شونده انرژی و تجهیزات نوین در کشور است که با توجه به این که ایران در آذر ۱۳۸۴ به پروتکل کیوتو پیوسته است می توان با استفاده از کمک های مالی کشورهای عضو این پروتکل از مزایای فروش اعتبار کربن در جهان بهره مفید برد. برای آن که در تحلیل نتایج مالی و اقتصادی، سودآوری ناشی از فروش ارزش اعتبار کاهش CO_2 و سودآوری ناشی از کاهش مصرف انرژی از یکدیگر مجزا شوند، در جدول ۹، اطلاعات مالی کربن و میزان سود خالص کنونی در هر یک از سه سناریو، به طور مجزا مورد بررسی قرار گرفته است. میزان سود خالص کنونی پروژه به ترتیب در سناریوهای A, B, C به ترتیب ۳۱۰۰۰ دلار، ۴۷۰۰۰ دلار و ۷۶۰۰۰ دلاری باشد که این ارقام در حالت قبل از اعمال کردن مالیات بردرآمد و پس از اعمال مالیات بردرآمد تغییری ننموده و ثابت باقی مانده اند، در نتیجه مشخص می شود درازای فروش اعتبارات کربن (کاهش آلودگی برحسب تن معادل CO_2) هیچ گونه مالیاتی پرداخت نشده است.

سناریوی C: در این سناریو، ارزش اعتبار کاهش هرتن CO_2 معادل ۲۰ دلار با رشد قیمت ۲۰٪ در سال در نظر گرفته می شود. در حالت بدون در نظر گرفتن مالیات، زمان بازگشت سرمایه ۲/۶ سال، میزان ارزش سود خالص کنونی ۶۲۰۰۰ دلار و میزان نرخ بازگشت داخلی معادل ۴۷/۶۶٪ در نظر گرفته می شود. پس از اعمال مالیات، میزان سودخالص کنونی ۱۲۱۰۰۰ دلار و نرخ بازگشت داخلی ۸۶/۷۰ درصد می باشد. همان گونه که مشاهده می گردد، میزان سود کنونی در حالت دوم (پس از اعمال مالیات) کم تر از حالت اول بوده و میزان نرخ بازگشت داخلی در هر دو حالت بیش از ۱۲٪ است، که نشان دهنده مقرون به صرفه بودن پروژه در مورد این سناریو نیز می باشد. در ادامه این سه سناریو، در آخرین سطر جدول ۸ موردی با عنوان بدون فروش ارزش اعتبار کاهش CO_2 مشاهده می شود که با توجه به منفی بودن ارزش سودخالص (US\$ ۱۴۰۰۰) بدون در نظر گرفتن سود ناشی از فروش کربن این پروژه به هیچ وجه مقرون به صرفه نخواهد بود. هدف از انجام این پروژه، سودآوری براساس کاهش میزان مصرف انرژی سوخت فسیلی و فروش این میزان کاهش آلودگی براساس مکانیزم تجارت کربن است، بنابراین می بایست این کاهش آلودگی براساس سازو کار تجارت کربن در یکی از سناریوهای A, B, C باشد که سناریوی C مقرون به صرفه تر از سایر سناریوها می باشد، زیرا میزان نرخ بازگشت داخلی (IRR) آن از همه بزرگ تر است. در نتیجه نرخ بهره ناشی از اجرای پروژه مذکور با در نظر گرفتن سناریوی

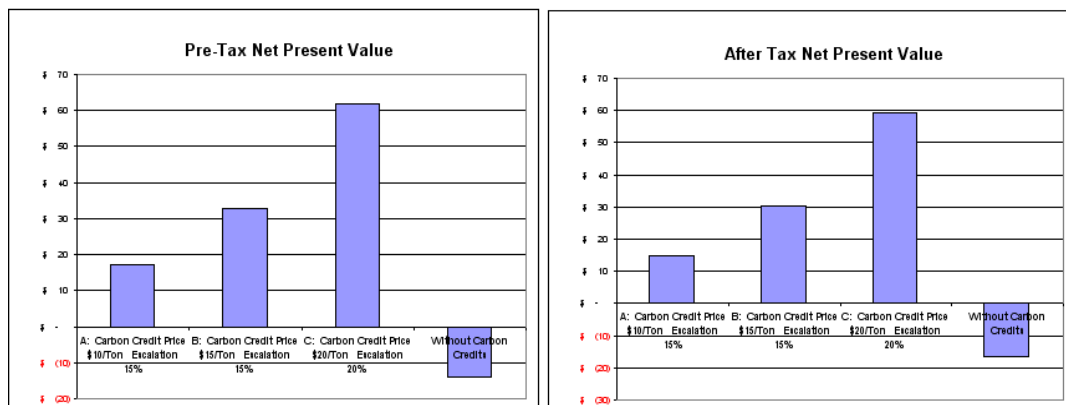
جدول ۹- مقایسه سناریوهای A, B, C از لحاظ میزان سودخالص کنونی در دو حالت قبل و پس از مالیات بر درآمد ناشی از فروش ارزش اعتبار کاهش CO₂

سناریو	قبل از مالیات بر درآمد فروش ارزش اعتبار کاهش CO ₂ میزان سودخالص کنونی (US \$)	پس از مالیات بر درآمد فروش ارزش اعتبار کاهش CO ₂ میزان سودخالص کنونی (US \$)
سناریوی A ارزش اعتبار کاهش CO ₂ : ۱۰ دلار در تن رشد قیمت ۱۵٪	۳۱۰۰۰	۳۱۰۰۰
سناریوی B ارزش اعتبار کاهش CO ₂ : ۱۵ دلار در تن رشد قیمت ۱۵٪	۴۷۰۰۰	۴۷۰۰۰
سناریوی C ارزش اعتبار کاهش CO ₂ : ۲۰ دلار در تن رشد قیمت ۲۰٪	۷۶۰۰۰	۷۶۰۰۰

مقایسه میزان سودخالص کنونی در سناریوهای مختلف

یکدیگر مقایسه شده اند. باتوجه به نمودار ۱، سناریوی C در مقایسه با سناریوهای دیگر از سودآوری بالاتری برخوردار است.

سودخالص کنونی در کلیه سناریوهای یاد شده به صورت نمودارهای ستونی طی ۱۰ سال طول عمر GSHP با



شکل ۳- مقایسه سناریوهای مختلف از نظر میزان سودخالص کنونی در حالت قبل و

بعد از اعمال مالیات با استفاده از نرم افزار Proform

مشخص شده است. به طوری که اگر در سال اول (سال صفر) ۳۰۰۰۰ دلار برای انجام پروژه سرمایه گذاری شود، در سال

باتوجه به جدول ۱۰، میزان درآمد حاصل از فروش ارزش اعتبار کاهش CO₂ در سه سناریوی یاد شده، به صورت سالانه

میزان سودآوری سالانه (Cash Flow) در جدول یاد شده با یکدیگر مقایسه شده اند. در واقع مجموع سودهای سالانه به دست آمده در طی ۱۰ سال طول عمر کارآمد GSHP، همان میزان سودخالص کنونی به دست آمده در سناریوهای یاد شده می باشد.

بعد(سال یک)، در سناریوی A ۷۰۰۰ دلار، در سناریوی B ۹۰۰۰ دلار و در سناریوی C ۱۰۰۰۰ دلار سود حاصل می شود در حالی که بدون فروش مالیات کربن تنها ۳۰۰۰ دلار در سال سود به دست می آید که در نهایت اجرای پروژه توجیه اقتصادی نداشته و مقرون به صرفه نخواهد بود. به همین ترتیب در سالهای آتی نیز در طول مدت زمان انجام پروژه (۱۰ سال)

جدول ۱۰- میزان سود سالانه ناشی از فروش ارزش اعتبار کاهش CO₂

در طی ۱۰ سال با استفاده از نرم افزار Proform

میزان سود سالانه (US\$۰۰۰)				
طول عمر پروژه GSHP	بدون فروش ارزش اعتبار کاهش CO ₂	بافروش ارزش اعتبار کاهش CO ₂ (سناریوی A)	بافروش ارزش اعتبار کاهش CO ₂ (سناریوی B)	بافروش ارزش اعتبار کاهش CO ₂ (سناریوی C)
سال ۰	-۳۰	-۳۰	-۳۰	-۳۰
سال ۱	۳	۷	۹	۱۰
سال ۲	۳	۷	۱۰	۱۲
سال ۳	۳	۸	۱۱	۱۴
سال ۴	۳	۹	۱۲	۱۶
سال ۵	۳	۱۰	۱۳	۱۹
سال ۶	۴	۱۱	۱۵	۲۲
سال ۷	۵	۱۲	۱۷	۲۶
سال ۸	۵	۱۴	۱۹	۳۱
سال ۹	۵	۱۶	۲۱	۳۶
سال ۱۰	۶	۱۷	۲۴	۴۳

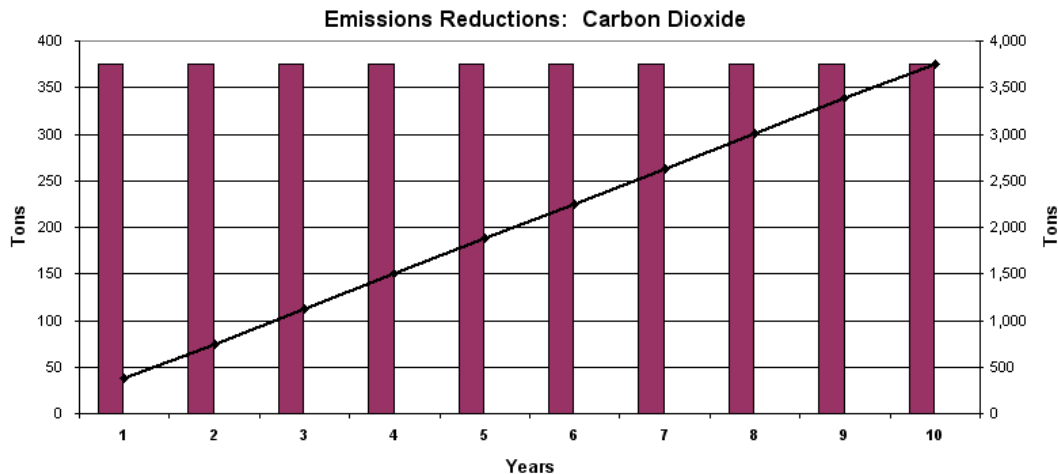
بررسی اقتصادی - زیست محیطی

ای، ۳۷۵۹ تن معادل CO₂ کاهش می یابد. در جدول ۱۱ میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه ای به صورت سالانه و در طول انجام کل پروژه نشان داده شده است.

نتایج اجرای نرم افزار نشان می دهد که با توجه به حذف مصرف سوخت گاز طبیعی در ساختمان مورد نظر، ۶۵۸ تن در هر سال CO₂ و در مجموع کل پروژه، میزان انتشار کل گازهای گلخانه

جدول ۱۱- میزان متوسط سالیانه و مجموع گازهای گلخانه ای

کل پروژه (Tone)	میانگین سالیانه (Tone)	نوع گاز گلخانه ای
۳۷۵۹	۳۷۶	CO ₂
۰	۰	SO _x
۰	۰	NO _x
۰	۰	ذرات
۰	۰	متان
۳۷۵۹	۳۷۶	کل گازهای گلخانه ای معادل CO ₂

شکل ۴- میزان کاهش انتشار CO₂ طی سال های مختلف طول عمر پروژه

زمین گرمایی بهینه انتخاب گردید. در نهایت، با استفاده از نرم افزار Proform و با در نظر گرفتن اعتبار کربن در بازار جهانی، ضمن تعریف سه سناریوی مختلف، پمپ حرارتی زمین گرمایی مورد نظر با سیستم قبلی (بویلر) از سه دیدگاه فنی، اقتصادی و زیست محیطی مقایسه گردید.

باتوجه به این که GSHP مورد نظر در این پروژه برای تامین بار حرارتی (۲۲۰ kW) برای یک مجتمع مسکونی ۴ طبقه ۱۲ واحدی با زیربنای ۵۶۵ m² واقع در شرق تهران به کار می رود و از ضریب عملکرد بالایی (۴/۹۴) برخوردار می باشد، فقط به میزان ۴۴/۴۸ کیلووات انرژی برق استفاده می کند و بقیه میزان

باتوجه به نمودار ۴، میزان کاهش انتشار CO₂ با گذشت زمان بیشتری می شود و هر سال که از آغاز کار سیستم می گذرد، میزان بیشتری از CO₂ کاهش می یابد.

در مقاله حاضر، یک مجتمع مسکونی ۴ طبقه ۱۲ واحدی با زیربنای ۵۶۵ m² واقع در شرق تهران در نظر گرفته شده که سیستم پمپ حرارتی ژئوترمال از نوع مبدل زمینی عمودی جایگزین سیستم قدیم (بویلر) در این ساختمان گردیده است. به منظور به دست آوردن بار حرارتی ساختمان محاسبات تهویه مطبوع انجام یافته شده است. سپس با توجه به بار حرارتی ساختمان و ویژگی های زمین منطقه مورد نظر، پمپ حرارتی

خانگی و تجاری نام برد. این امر موجب کاهش قابل توجه در مصرف انرژی الکتریکی و کوتاه شدن زمان بازگشت سرمایه می گردد.

سپاس گزاری

این تحقیق با حمایت مالی شرکت بهینه سازی مصرف سوخت انجام یافته است که بدین وسیله مراتب قدردانی و سپاس نویسندگان این مقاله از هیئت مدیره، مدیرعامل و ریاست پژوهش شرکت بهینه سازی مصرف سوخت ابراز می گردد. همچنین نویسندگان مقاله از راهنمایی های ارزنده آقای مهندس علی کناری مشاور صنعت در این پروژه، تقدیر و تشکر می نمایند.

منابع

1. RETScreen International, ۲۰۰۵, "Ground source heat pump project analysis", Minister of Natural Resources, Canada.
2. McQuay Air Conditioning Application Guide, ۲۰۰۲, "Geothermal heat pump design manual", United States,.
3. Kavanaugh S. P., Rafferty K., ۱۹۹۷ "Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings", ASHRAE Inc., Atlanta.
4. Nagano K., Katsura T., Takeda S., ۲۰۰۶, "Development of a design and performance prediction tool for the ground source heat pump system", Applied Thermal Engineering, Vol. ۲۶, ۱۵۷۸-۱۵۹۲.
5. Sanaye S., Niroomand B., ۲۰۰۹, "Thermal economic modeling & optimization of vertical ground coupled heat pump", Energy Conversion & Management, Vol. ۵۰, ۱۱۳۶-۱۱۴۷.

انرژی مورد نیاز خود را که معادل ۱۷۵/۲۷ کیلووات است، از ظرفیت حرارتی زمین تامین می کند. به عبارتی سهم مصرف انرژی زمین گرمایی در تامین بار حرارتی مورد نیاز ساختمان ۸۷٪ و سهم مصرف برق در تامین گرمایش ۱۳٪ کل انرژی مورد نیاز می باشد. در واقع ۲۳۶۶۱۴/۵ کیلووات ساعت در سال در مصرف انرژی صرفه جویی می شود.

نتایج حاصل از اجرای نرم افزار Proform نشان می دهند در صورتیکه استفاده از سیستم GSHP عمودی با سیستم بویلر جایگزین شود، سرمایه گذاری اولیه (۳۰۰۰۰ دلار) نه تنها سود آور نخواهد بود، بلکه به علت واقعی نبودن قیمت انرژی های سوخت فسیلی در کشور توجیه اقتصادی ندارد. در این پروژه برای اصلاح معیار اجرای پروژه به کارگیری از فناوری جدید پمپ حرارتی ژئوترمال در تولید حرارت مورد نیاز به جای سیستم های قدیمی بویلر از مکانیزم فروش اعتبار کربن در بازار های جهانی کشورهای عضو پروتکل کیوتو با در نظر گرفتن عضویت ایران در این پروتکل استفاده شده و این اعتبار در ۳ سناریو به کمک پارامتر نرخ بازگشت داخلی (IRR) مورد تحلیل و ارزیابی اقتصادی قرار گرفته و لذا با انتخاب IRR بیش تر، سناریوی C به عنوان سناریوی برتر انتخاب گردید. بنابراین مقرون به صرفه بودن پروژه مورد نظر توجیه اقتصادی قابل قبولی را پیدا نمود که در نهایت با وجود ۳۰,۰۰۰ دلار سرمایه گذاری اولیه در اجرای پروژه یاد شده میزان سود مالی طی ۱۰ سال ۶۲,۰۰۰ دلار برآورد گردیده است. بنابراین توصیه می شود با توجه به مشخصات خاک، شرایط آب و هوایی و شرایط زمین محل استقرار ساختمان، از سیستم GSHP به جای بویلر استفاده شود تا بدین ترتیب حدود ۶۷,۰۰۰ گیگاژول نیز در مصرف سوخت گاز طبیعی صرفه جویی گردد. همچنین طی طول عمر پروژه، با گذشت زمان، میزان انتشار CO₂ کاهش چشم گیری یافته، به طوری که طی ۱۰ سال طول عمر پروژه، در مجموع ۳۷۵۹ تن معادل CO₂ از میزان کل گازهای گلخانه ای حذف گردیده است.

از پمپ های حرارتی زمین گرمایی می توان به عنوان یکی از روشهای کاهش مصرف سوخت و هزینه مصرف انرژی در مصارف

- source heat pump system for a heating season in eastern Turkey", *Energy Conversion and Management*, Vol. ۴۷, ۱۲۸۱-۱۲۹۷.
۱۴. Healy P. F., Ugursal V. I., ۱۹۹۷, "Performance and economic feasibility of ground source heat pumps in cold climate", *International Journal of Energy Research*, Vol. ۲۱, ۸۵۷-۸۷۰.
۱۵. Petit P. J., Meyer J. P., ۱۹۹۸, "Economic potential of vertical ground-source heat pumps compared to air-source air conditioners in South Africa", *Energy*, Vol. ۲۳, ۱۳۷- ۱۴۳.
۱۶. Petit P. J., Meyer J. P., ۱۹۹۷, "A techno-economic analytical comparison of the performance of air-source and horizontal ground source air-conditioners in South Africa", *International Journal of Energy Research*, Vol. ۲۱, ۱۰۱۱-۱۰۲۱.
۱۷. De Swardt C. A., Meyer J. P. ۲۰۰۱, "A performance comparison between an air-source and a ground-source reversible heat pump", *International Journal of Energy Research*, Vol. ۲۵, ۸۹۹-۹۱۰.
۱۸. http://www.fhp-mfg.com/aecinfo/1/company/09/09/81/company_1.html
۱۹. نرخ تورم سالیانه بر مبنای گزارش بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، مدیریت کل آمارهای اقتصادی دایره آمار اقتصادی، دایره شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی در اردیبهشت سال ۱۳۸۸
۲۰. وزارت نیرو- معاونت امور انرژی، ۱۳۸۶، ترازنامه انرژی، سازمان بهره وری انرژی ایران
۶. Zhao Y., Shigang Z., Xun L., ۲۰۰۳, "Cost-effective optimal design of groundwater source heat pumps", *Applied Thermal Engineering*, Vol. ۲۳, ۱۵۹۵-۱۶۰۳.
۷. Hepbasli, A., ۲۰۰۵ "Thermodynamic analysis of a ground-source heat pump system for district heating", *International Journal of Energy Research*, Vol. ۲۹, ۶۷۱-۶۸۷.
۸. Inalli M., Esen H., ۲۰۰۸ "Performance prediction of a ground-coupled heat pump system using artificial neural networks", *International Journal of Energy Research*, Vol. ۳۵, ۱۹۴۰-۱۹۴۸.
۹. Hepbasli A., Akdemir O., Hancioglu E., ۲۰۰۷, "Performance evaluation of a vertical ground source heat pump system", *Energy conversion & management*, Vol. ۴۴, ۵۲۷-۵۴۸.
۱۰. Ozgener O., Hepbasli A., Ozgener L., March ۲۰۰۷, "A Parametric study on the exergoeconomic assessment of a vertical ground-coupled (geothermal) heat pump system", *Building and Environment*, Vol. ۴۲, ۱۵۰۳-۱۵۰۹.
۱۱. Sunner B., Karytsas C., Mendrinis D., Rybach L., ۲۰۰۵ "Current status of ground source heat pumps & underground thermal storage in Europe", *Geothermics*, Vol. ۳۲, ۵۷۹-۵۸۸.
۱۲. Inalli M., Esen H., ۲۰۰۴ "Experimental thermal performance evaluation of a horizontal ground-source heat pump system", *Applied Thermal Engineering*, Vol. ۲۴, ۲۲۱۹- ۲۲۳۲.
۱۳. Esen H., Inalli M., Esen M., ۲۰۰۶, "Technoeconomic appraisal of a ground

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.