بررسی اثر عمق کارگزاری لوله‌های مبدل حرارتی پمپ‌های زمین‌گرمایی روی هزینه سرمایه‌گذاری

آیدا کریمی دستجرد، فرشاد ترابی، منصور علیزاده و بهمن فرضی

چکیده - سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی (GSHP) یک تکنولوژی با کارایی بالا در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، جهت صرفه‌جویی انرژی در سیستم های تهویه مطبوع است. یکی از مهمترین مسائل پیش روی این سیستم‌ها نحوه کارگزاری مبدل حرارتی زمینی می‌باشد که بخش بزرگی از هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری این سیستم‌ها را شامل می‌شود. در این مقاله اثر عمق کارگزاری لوله روی طول مبدل حرارتی زمینی در یک سیستم پمپ حرارتی زمینی بررسی شده و عمق بهینه برای کارگزاری روی لوله‌ها محاسبه شده است. به منظور ارزیابی هزینه کل در این مقاله با بررسی شرایط منطقه‌ای شمالغرب کشور (شهرستان مرند)، عمق بهینه بر اساس پارامترهای مختلف موثر بدست آمده است.

***واژه‌های کلیدی*- پمپ حرارتی زمین گرمایی، تحلیل اقتصادی، مبدل حرارتی زمینی، عمق کارگذاری بهینه.**

۱ -مقدمه

با افزایش تقاضای انرژی و تقلیل سریع منابع انرژی تجدیدناپذیر، بشر را به یافتن منابع انرژی قابل جایگزین سوق داده است. بطوریکه در طول چند دهه اخیر، تمایل به منابع تجدیدپذیر پر بازده انرژی بیشتر شده و پمپ‌های حرارتی به انتخاب رایجی برای سیستم‌های تهویه مطبوع تبدیل شده‌اند[۱].

پمپ حرارتی زمین گرمایی از زمین به عنوان چشمه حرارتی (در زمستان) و چاه حرارتی (در تابستان) استفاده می‌کند. این طراحی امکان استفاده از دمای متوسط زمین را در افزایش راندمان و کاهش هزینه‌های کاربردی سیستم سرمایش و گرمایش فراهم می‌کند. بر خلاف معنی متصور این سامانه، حرارت قطعاً از مرکز زمین گرفته نمی‌شود، بلکه از انرژی حرارتی خورشیدی که در لایه‌های زمین محبوس شده، حاصل می‌شود. حرارت گرفته شده از زمین، به کمک سیالی نظیر آب‌های زیرزمینی، یا محلول آب و ضدیخ توسط پمپ حرارتی به فضای بسته منتقل می‌شود. در تابستان نیز حرارت از هوای داخل گرفته شده و توسط آب‌های زیرزمینی یا محلول آب و ضدیخ به زمین منتقل می‌گردد.

هیلی و اوگرسال [۲] با استفاده از مدل کامپیوتری، تاثیر پارامترهای مختلف سیستم را روی عملکرد GSHP بررسی کردند و مقایسه‌ای برای ارزیابی اقتصادی ارائه دادند که امکان استفاده از GSHP در سیستم‌های سرمایش و گرمایش و پمپ حرارتی با منبع هوا را ارزیابی می‌کرد. هپباسلی [۳] ارزیابی کارایی یک سیستم پمپ حرارتی با منبع زمینی عمودی را با مبرد R-۲۲ برای گرمایش ارائه داده است. اینالی و ایسن [۱] اثرات پارامترهای عمق کارگذاری مبدل زمینی، نرخ جریان محلول آب و ضدیخ و پساب در عملکرد سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی افقی را در حالت گرمایش بررسی کردند. این گروه در عمق‌های ۱ و ۲ متری متوسط ضریب عملکرد ۲/۶۶ و ۲/۸۱ را حاصل کردند. پتیت و میر [۴] مقایسه اقتصادی بین سیستم پمپ حرارتی با منبع زمینی عمودی و با منبع هوا را انجام دادند. پولات و همکاران [۵] عملکرد سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی حلقه بسته افقی آب به هوا را ارزیابی کردند که شامل تاثیر پارامترهای مختلفی همچو دمای خروجی مبدل زمینی و دمای خارج برای شرایط آب و هوایی زمستانی می‌باشد. فن و همکاران [۶] مطالعات نظری بر عملکرد سیستم ترکیبی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی انجام دادند. اوزگنر [۷] استفاده از پمپ حرارتی زمین‌گرمایی ترکیبی با خورشید و توربین بادی کوچک را برای گرمایش ساختمان‌های مسکونی و کشاورزی مورد بررسی قرار داده است.

در سال‌های اخیر در ایران تحلیل‌های زیادی در زمینه اقتصادی صورت گرفته است. صنایع و همکاران [۸] به بهینه‌سازی ترمواکونومیک GSHP با لوله‌های عمودی پرداختند و اثر برخی پارامترها را روی هزینه کل بررسی کردند. نجات الهی و صیادی

آیدا کریمی دستجرد، دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های انرژی دانشگاه علوم و تحقیقات، تهران، (email: i.karimi@srbiau.ac.ir)
فرشاد ترابی، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، (email: ftorabi@kntu.ac.ir)
منصور علیزاده، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، (email: ma_alizadeh@iust.ac.ir)
بهمن فرضی، دانشجوی دکتری مکانیک دانشگاه علم وصنعت، تهران، (email: bahmanfarzi@iust.ac.ir)

[۹] به بررسی اقتصادی استفاده از هوا و زمین به عنوان دو منبع مختلف برای دفع حرارت پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در حالت گرمایشی استفاده از پمپ‌های حرارتی با منبع زمینی از سایر روش‌های تامین حرارت اقتصادی‌تر است. یاری و همکاران [۱۰] با تبدیل پمپ حرارتی با منبع هوا به پمپ حرارتی زمین‌گرمایی، مدت بازگشت سرمایه ۶ سال را تخمین زدند. منصف راد و جواهرده [۱۱] به تحلیل اگزرژی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی دما پایین برای استفاده در شرایط اقلیمی رامسر پرداختند و مهمترین جزیی که بهبود آن باید مورد توجه قرار بگیرد را کمپرسور معرفی کردند.

بدلیل اینکه بخش اعظمی از انرژی مصرفی در ایران صرف گرمایش و سرمایش خانه می‌شود، یکی از راه‌های کاهش مصرف انرژی استفاده از مبدل حرارتی زمینی می‌باشد. همچنین با استفاده از این سیستم‌ها، از انتشار گازهای گلخانه‌ایی کاسته می شود. بطور متوسط پمپ حرارتی زمین گرمایی، حدود ۴۰٪ کمتر از یک پمپ حرارتی هوایی و ۶۵٪ کمتر از گرم کننده‌های الکتریکی انرژی مصرف می‌کند [۱۲]. در مقابل این مزایا، پمپ‌های حرارتی زمینی، نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه بیشتری (در حدود ۵۰٪-۳۰٪) نسبت به پمپ‌های حرارتی هوایی هستند. بخش مهمی از هزینهٔ سرمایه‌گذاری در پمپ‌های حرارتی زمینی به واسطه مبدل حرارتی زمینی می‌باشد. هزینه‌هایی شامل، هزینه لوله پلی اتیلن، هزینه‌های حفر و پر کردن کانال، پمپ سیرکولاتور و سیال ضدیخ (در مناطق سردسیر) به قیمت پمپ حرارتی می‌افزایند [۱۳]. با این وجود تاکنون تحقیقات چندانی برای یافتن پارامترهای بهینه در کارگزاری این بخش مهم از سیستم پمپ حرارتی زمینی انجام نگرفته است. هدف از انجام این پروژه، بررسی اثر عمق کارگزاری مبدل حرارتی زمینی روی هزینه‌های این سیستم‌ها و یافتن عمق بهینه می‌باشد.

۲ -تشریح مسئله

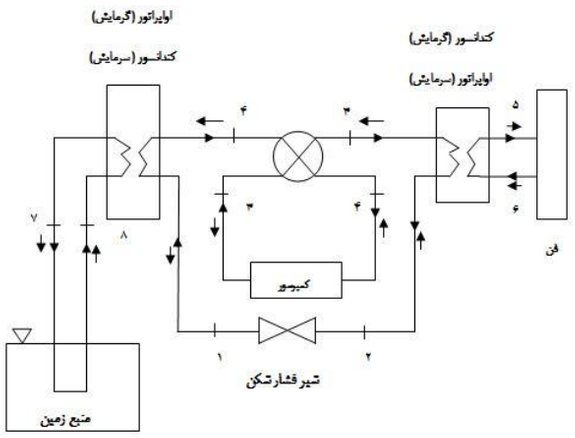
۲-۱ سیستم‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

جهت انتخاب صحیح سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی، پارامترهای مختلفی همچون مشخصات زمین شناسی و نفوذپذیری کافی برای سیستم‌های باز الزامی است. امکان بهره برداری از سطح در دسترس، بنا به نیاز سیستم حلقه بسته افقی و مشخصات گرمایشی و سرمایشی ساختمان از مهمترین مواردی هستند که بایستی مد نظر قرار گیرند. در سیستم‌های زمینی، پمپ حرارتی توسط سیستم لوله‌کشی به زمین متصل می‌شود و باعث تبادل حرارتی با زمین و آب‌های موجود در زیرزمین می‌گردد. این سیستم‌ها به دو دسته، حلقه باز و حلقه بسته تقسیم می‌شوند [۱۲].

سیستم حلقه باز از مزیت آب‌های زیرزمینی برای کارکرد پمپ حرارتی استفاده می‌کند. آب در داخل یک سیستم حلقه بسته به گردش درآورده می‌شود و از طریق تخلیه به محیط به زمین برگردانده می‌شود. این مورد فقط در مناطقی که منبع آب کافی در دسترس است مورد استفاده قرار می‌گیرد و از لحاظ هزینه نسبتاً ارزان است [۱۴].

سیستم‌های حلقه بسته، حرارت را از زمین توسط حلقهٔ پیوسته‌ای از لوله‌های پلاستیکی مخصوص که در زیر خاک قرار دارد، انتقال می‌دهد و سیال عامل (آب و ضدیخ) در لوله‌های تحت فشار دوباره به گردش در می‌آید [۱۲]. این گونه سیستم‌ها معمولاً برای تاسیسات مسکونی استفاده می‌شوند، به‌خصوص برای ساختمان‌های جدیدی که زمین کافی موجود باشد از لحاظ هزینه مناسب‌تر است. در این نوع سیستم‌ها گودال هایی به عمق ۱/۲ تا ۱/۸ متر برای چیدمان خطی و نیز ۴ تا ۵ متر برای Slinky، بسته به نوع طراحی حفر می‌گردد [۱۴].

سیستم‌های عمودی برای ساختمان‌های تجاری و مدارسی که محدودیت زمین در آنها لحاظ می‌شود، بسیار مناسب است [۱۴]. لوله‌ها بسته به شرایط خاک و اندازه سیستم در چاله‌هایی به قطر ۱۵۰ میلیمتر در عمق ۱۸ تا ۶۰ متری زمین قرار می‌گیرند. در بیشتر مواقع هزینه حفاری برای سیستم عمودی گران‌تر از سایر سیستم‌ها می باشد [۱۲].



شکل ۱ـ نمایش شماتیک پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

یک سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی از سه سیکل حلقه بستهٔ زمینی، پمپ حرارتی و فضای سرمایشی و گرمایشی تشکیل شده است. شکل (۱) نمایش شماتیک یک پمپ حرارتی زمین‌گرمایی می‌باشد، در این شکل فلشهای روی مسیر نشانگر گرمایش و

فلشهای خارج از مسیر نشانگر سرمایش هستند. انتقال حرارت توسط سیال عامل آب و ضدیخ (سیکل زمینی) به زمین و توسط مبرد (سیکل پمپ حرارتی) به فضای داخل صورت می‌گیرد.

در طراحی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی، تعیین عمق و طول لوله‌های مبدل حرارتی زمینی از لحاظ اقتصادی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است، زیرا عدم طراحی دقیق منجر به افزایش هزینه اولیه سیستم می‌گردد.

۲-۲ تعیین عمق مبدل حرارتی زمینی

عمق مناسب برای مبدل حرارتی زمینی در هر ناحیه به عوامل متعددی از جمله ضریب پخش گرمای خاک (α)، متوسط دمای سالانه هوا (T_{mean})، دامنه دمای سطح (T_{amp}) در طول سال بستگی دارد. طبق گزارشات گرفته شده از سایت سازمان هواشناسی در طول سال ۱۳۹۰ در شهرستان مرند، کمترین و بیشترین دمای هوا به ترتیب ۱۲- °C و ۳۹ °C گزارش شده است. توزیع دمای عمودی زمین نسبت به عمق را می‌توان بر پایه روش کاسودا [۷] با استفاده از فرمول (۱) مدل کرد:

$$T_{soil(D,tyear)} = T_{mean} - T_{amp} \times \exp\left(-D\sqrt{\frac{\pi}{365\times\alpha}}\right) \times \cos\left(\frac{2\pi}{365}\left(t_{year} - t_{shift} - \frac{D}{2}\sqrt{\frac{365}{\alpha\pi}}\right)\right) \quad (۱)$$

که در آن t_{shift} روزی از سال است که سردترین دما رخ می دهد، t_{year} زمان (روز) و D معرف عمق کارگزاری در زیر زمین است که قرار است در آن دمای خاک به‌دست بیاید. همچنین α ضریب پخش خاک بوده و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \times C_p}. \quad (۲)$$

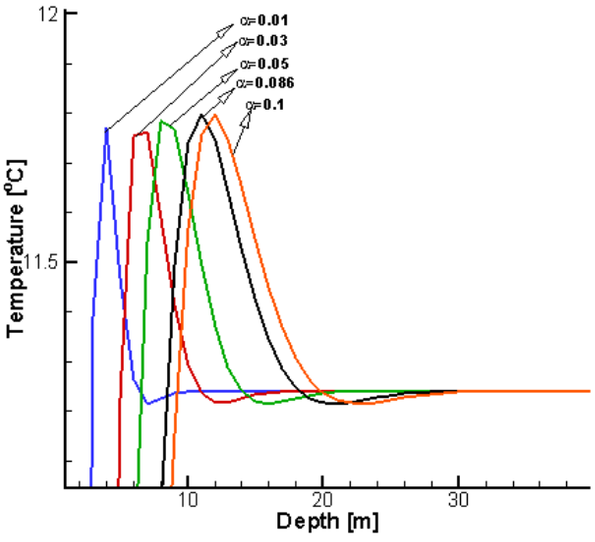
که در آن k ضریب رسانایی خاک، ρ چگالی خاک و C_p ظرفیت گرمای ویژه آن است. این مقادیر شدیداً تابعی از جنس خاک، ترکیب مواد کانی و آلی تشکیل دهنده، جنس و عمق لایه‌های مختلف آن و وجود چشمه‌ها و قنات‌های سطحی آب هستند و برای هر منطقه لازم است تا با استفاده از اطلاعات جغرافیایی و زمین شناسی آن منطقه، این ضریب را به‌دست آورد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک[۱۷]

نوع خاک	k(w/m.k)	ρ C_p(J/m^3.k)
خاک رس و گل	۱/۵	۳×۱۰۶
شن و ماسه	۲	۲×۱۰۶
سنگ همگن	۳/۵	۲×۱۰۶

برای به‌دست آوردن پروفیل دمای عمق خاک با استفاده از رابطه (۱) باید اطلاعات هواشناسی و زمین‌شناسی منطقه در دست باشد. با رجوع به داده‌های هواشناسی که از منطقه به‌دست آمده، مشخص شد که دمای میانگین با توجه به دمای کمینه و بیشینه در شهرستان مرند برابر با ۱۱/۲۴°C است.

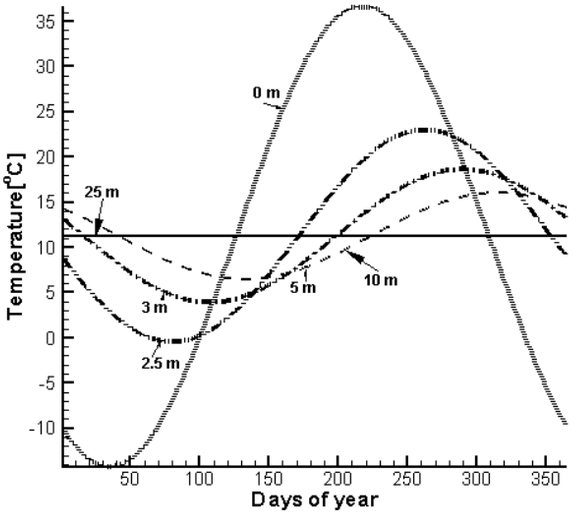
همچنین خصوصیات فیزیکی خاک و پروفیل خاک منطقه از سازمان جغرافیایی منطقه به دست آمده است. با در دست داشتن ترکیب خاک منطقه که ترکیبی از شن، ماسه، رس و تخته سنگ است، همچنین با استفاده از جدول (۱) و معادلهٔ (۲) مقدار α=۰/۰۸۶ متر مربع در روز محاسبه می‌شود. شکل (۲) منحنی حاصل از نتایج بدست آمده از روابط (۱) و (۲)، را به عنوان پروفیل عمق- دما برای این منطقه نشان می‌دهد. بطوریکه با افزایش ضریب پخش گرما، عمقی که دمای زمین به مقدار ثابتی خواهد رسید افزایش می‌یابد. مطابق شکل (۳) زمین در عمق تقریباً ۲۵ متری زمین، هم در تابستان و هم در زمستان، تفاوت دمایی مناسب‌تری با دمای هوا دارد و دمای زمین به مقدار تقریباً ثابت ۱۱/۲۴ درجه سلسیوس رسیده است. پس تغییرات فصلی، تاثیر اندکی در عملکرد سیستم خواهد گذاشت.



شکل ۲ـ نمودار عمق- دمای زمین برای منطقه مورد بررسی (مرند)

با این وجود استفاده از چنین عمقی باعث افزایش چشمگیر هزینه‌های خاک برداری خواهد شد. عمق یخبندان این منطقه در حدود ۲/۵ متری از سطح زمین تخمین زده می‌شود که در تعیین عمق کارگزاری لوله‌های مبدل زمینی در صورتیکه محدودیت فضا نداشته باشیم (سیستم بستهٔ افقی)، مورد توجه قرار خواهد گرفت. به صورت کلی می‌توان گفت که افزایش عمق مبدل حرارتی زمینی باعث افزایش بازدهی حرارتی آن و در نتیجه صرفه‌جویی بیشتر در مصرف انرژی می‌گردد، ولی همزمان منجر به افزایش هزینه اجرایی سیستم نیز می‌گردد. چون با افزایش عمق، هزینه‌های حفاری و خاکبرداری و نیز پر کردن کانال افزوده می‌شود. این رابطه در طراحی‌ها و با توجه به دو فاکتور اساسی هزینه و عمق بهینه کاربرد دارد، با بررسی‌های انجام شده در منطقه مورد نظر عمق بهینه با

توجه به استانداردهای چیدمان اسلینکی و پروفیل عمق- دمای محل و عمق یخبندان ۵ متر در منطقه در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳ـ پروفیل زمان- دمای زمین بر حسب عمق در منطقه (مرند)

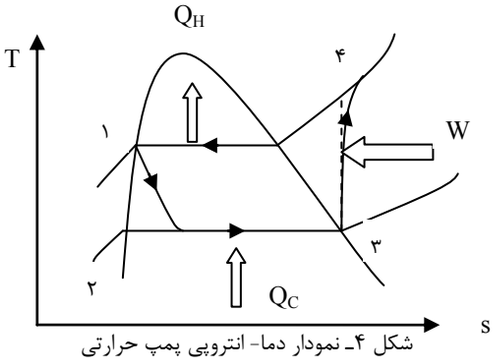
۳-۲ محاسبه طول مبدل حرارتی زمینی

طراحی مبدل حرارتی زمینی با تغییر ساختار زمین‌شناسی و مواردی که عملکرد حرارتی را تحت تاثیر قرار می‌دهند، ادغام شده است. شناسایی دقیق جنس ذرات تشکیل دهندهٔ خاک، میزان رطوبت و آب‌های زیرزمینی پارامترهای موثر در این فرآیند به شمار می‌آیند.

در کار حاضر بار حرارتی مورد نیاز برای یک سوله مرغداری با استفاده از نرم افزار Carrier و بر پایه اطلاعات هواشناسی منطقه، به میزان ۱۹۸ کیلووات و بار برودتی به میزان ۵۸ کیلووات محاسبه شد. به این دلیل که در مرغداریها مقدار بار حرارتی بیشتر مورد نیاز است، بنابراین مبنای طراحی بر اساس بار حرارتی انجام خواهد گرفت. روابط زیر روابط اصلی ترمودینامیکی یک پمپ حرارتی می‌باشند.

$$W = Q_H - Q_C \qquad (۳)$$

$$COP_h = \frac{Q_H}{W} \qquad (۴)$$



شکل ۴ـ نمودار دما- انتروپی پمپ حرارتی

در شکل (۴) سیال عامل سیکل پمپ حرارتی از نقطهٔ ۱ ورودی شیر فشار شکن به نقطهٔ ۲ ورودی اواپراتور و از نقطهٔ ۳ ورود به کمپرسور به نقطهٔ ۴ ورودی کندانسور یک چرخه را کامل می‌کند که در آن Q_H توان کندانسور، W توان کمپرسور و Q_c توان اواپراتور و COP_h ضریب عملکرد حرارتی پمپ حرارتی می‌باشد.

در طراحی طول مبدل حرارتی زمینی، R_p مقاومت حرارتی لوله، R_s مقاومت حرارتی خاک، F_h فاکتور بخشی از ظرفیت برای گرمایش، $T_{g,min}$ حداقل دمای زمین و $T_{ewt,min}$ حداقل دمای آب ورودی، $q_{g,heat}$ حرارت گرفته شده از زمین، S ضریب شکل، d عمق، D_0 و D_i قطرهای خارجی و داخلی لوله می‌باشد [۱۵].

$$L_h = q_{g,heat}\left[\frac{R_p + R_s \times F_h}{T_{g,\min} - T_{ewt,\min}}\right] \qquad (۵)$$

$$T_{g,\min} = T_{mean} - T_{amp} \times \exp\left(-D\sqrt{\frac{\pi}{365\times\alpha}}\right) \qquad (۶)$$

$$q_{g,heat} = Q_H\left(\frac{COP_h - 1}{COP_h}\right) \qquad (۷)$$

$$R_s = \frac{1}{S \times k_{soil}} \qquad (۸)$$

$$S = \frac{2\pi}{\ln\left[\left(\frac{2d}{D_0}\right) + \sqrt{\left(\frac{2d}{D_0}\right)^2 - 1}\right]} \qquad (۹)$$

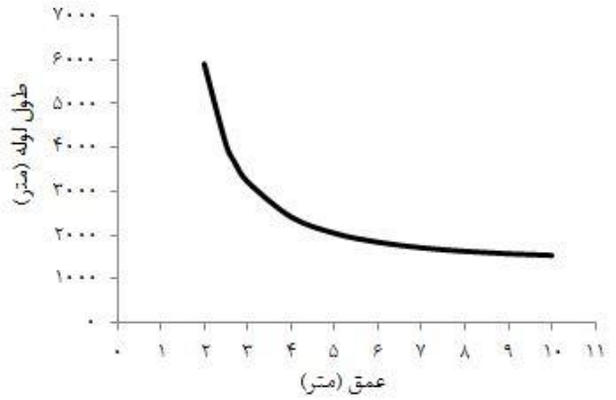
$$R_p = \frac{\ln\left[\frac{D_0}{D_i}\right]}{2\pi \times k_{pipe}} \qquad (۱۰)$$

با انتخاب پمپ حرارتی که بتواند بار حرارتی مورد نیاز را تامین کند، بر پایهٔ محاسبات انجام شده، کمپرسوری با توان ۶۳ کیلو وات لازم است. با استفاده از روابط ترمودینامیکی (۳) و (۴) ضریب عملکرد حرارتی سیستم (COP) مقدار ۳/۱۴ محاسبه شده است. از روابط (۵) تا (۷) نیز مقدار $q_{g,heat}$ =۱۳۵kW را می‌توان محاسبه کرد. سیال عامل بکار برده شده در این پمپ حرارتی R۱۳۴a است. مبدل‌های مورد استفاده از نوع آبی می‌باشد که دمای آب ورودی و خروجی آنها ثابت نگه داشته شده‌اند. با محاسبهٔ رسانایی خاک با در دست داشتن پروفیل خاک منطقه از اداره آب منطقه‌ای تبریز ۱/۹ وات بر متر کلوین و انتخاب لولهٔ ۲ اینچ در عمق ۵ متری با استفاده از روابط (۸) تا (۱۰) مقدار S=۱/۲، k_{pipe}=۰/۴ وات بر متر کلوین، R_p=۰/۰۸، R_s=۰/۴۴ متر کلوین بر وات، بر اساس ضریب رسانایی خاک منطقه و محاسبهٔ F_h=۰/۲۵، طول لوله مورد نیاز برای یک سوله ۲۹۰۰ متر به دست می‌آید [۱۶]. به دلیل بالا بودن هزینهٔ حفاری سیستم‌های عمودی و با تعیین عمق یخبندان ۲/۵ متر، سیستم حلقه بسته افقی Slinky برای مبدل حرارتی زمینی انتخاب شده است.

نحوه کارکرد سیستم اسلینکی بدین گونه است که پمپ حرارتی مخلوطی از آب و ضدیخ (معمولاً ۰ تا ۱۰ درجه) را به لوله‌های اسلینکی پمپ می‌کند. با گذر این مخلوط در طول لوله، انرژی حرارتی دما پایین را از زمین جذب می‌کند، قبل از اینکه حرارتش را به پمپ حرارتی پس دهد [۱۸].

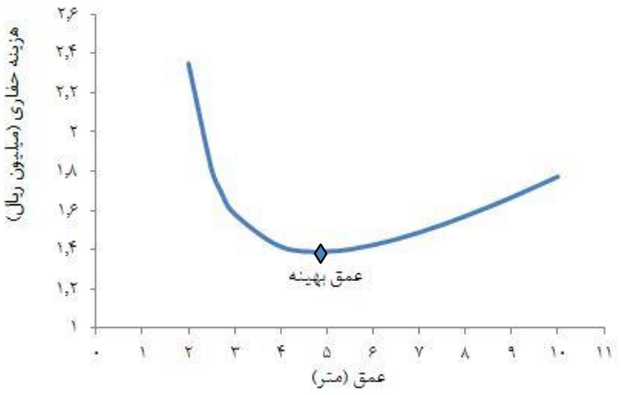
۳ -تحلیل اقتصادی

برای انجام تحلیل اقتصادی روی بخش مبدل حرارتی زمینی پمپ‌های زمین گرمایی، ابتدا طول لوله برای لوله‌ای به قطر ۲ اینچ با استفاده از معادلات (۵) تا (۱۰) در اعماق ۲ تا ۱۰ متری محاسبه شده است. مطابق شکل (۵) مشاهده می‌شود که با افزایش عمق، طول لوله مورد نیاز کاهش می‌یابد.



شکل ۵ـ نمودار تغییرات طول لوله مبدل زمینی بر حسب عمق کارگزاری

دلیل این امر پایداری بیشتر دما در عمق‌های بیشتر و همچنین افزایش دمای خاک با افزایش عمق می‌باشد که باعث افزایش اختلاف دما بین سیال داخل لوله و خاک شده، در نتیجه نیاز به سطح کمتری برای تبادل حرارت وجود خواهد داشت.



شکل ۶ـ نمودار تغییرات هزینه حفاری بر حسب عمق و یافتن عمق بهینه

همچنین شکل (۶) هزینه حفاری و خاکبرداری را به ازای عمق‌های مختلف کارگزاری لوله نشان می دهد. این نمودار بر اساس هزینه حفاری در فهرست بهای سال ۱۳۹۰ تهیه شده است. دلیل شکستگی‌های مختلف در این منحنی تفاوت‌های قیمت برای حفاری به ازای رنج‌های مختلف عمق حفاری می‌باشد. با توجه به کاهش طول لوله‌گزاری با افزایش عمق کارگزاری، هزینه خاکبرداری باید کاهش یابد اما از سوی دیگر با افزایش عمق هزینه‌های حفاری افزایش می‌یابد. بدین ترتیب افزایش عمق اثر دوگانه‌ای روی هزینه این سیستم می‌گذارد به طوری که از سویی با افزایش عمق باعث افزایش هزینه و از سوی دیگر با کاهش طول لوله‌گزاری باعث کاهش هزینه‌ها می‌گردد. بنابراین وزن هرکدام از این عوامل که بیشتر باشد به تبع آن هزینه افزایش یا کاهش می‌یابد. با توجه به شکل (۶) در یک عمق خاصی هزینه‌ها به کمترین مقدار خود می‌رسند که همان عمق بهینه مورد نظر می‌باشد.

۴ -بحث روی نتایج

هزینه و اندازهٔ مبدل حرارتی زمینی به شدت بستگی به خصوصیات حرارتی- ساختاری زمین دارد. اطلاعات مربوط به داده‌های زمین شناسی، هواشناسی و آب‌های زیرزمینی جهت تعیین ضریب پخش حرارتی خاک و عمق یخبندان ضروری می‌باشد. جهت انجام تحلیل اقتصادی، محاسبات مربوط به هزینه خرید پمپ حرارتی و تعمیر ونگه‌داری آن، هزینه خرید لوله، هزینه پمپ و هزینه حفاری و پر کردن کانال‌ها می‌باشد. یکی از پارامترهای تاثیرگذار در محاسبات اقتصادی، طول لوله، هزینه حفاری می‌باشد. در این مقاله به بررسی اثر عمق کارگزاری مبدل حرارتی زمینی در این سیستم‌ها پرداخته شد و با بررسی عوامل مختلف تاثیرگذار روی هزینه‌ها عمق بهینه برای کارگزاری مبدل حرارتی زمینی ۵ متر محاسبه شد. در کشورمان با توجه به پایان‌پذیر بودن منابع سوخت‌های فسیلی نفت و گاز، بهترین انتخاب حرکت به سوی استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر می‌باشد تا از این طریق کشورمان در آینده در زمینه انرژی توان رقابت با کشورهای دیگر را داشته باشد. در واقع دولت می تواند به جای تخصیص یارانه برای انرژی، این یارانه‌ها را برای استفاده از انرژی‌های نوین و نیز سیستم‌هایی که باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شوند، اختصاص داده و از این طریق علاوه بر بالا بردن امنیت انرژی کشور باعث رشد صنایع مرتبط با انرژی‌های نوین شده و با این اقدامات به توسعه پایدار و متوازن اقتصادی کشور کمک کند. در این راستا انجام تحقیقات تخصصی در بخش‌های مختلف این انرژیها و بهینه کردن پارامترهای مختلف موثر روی آنها یکی از مهمترین پیش نیازهای استفاده موثر و اقتصادی از این انرژی‌ها می‌باشد.

۵ -مراجع

[1] M. Inalli, H. Esen, “Experimental thermal performance evaluation of a horizontal ground-source heat pump system,” *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, pp. 2219-32, 2004.

[2] P. F. Healy, V. I. Ugursal, “Performance and economic feasibility of ground source heat pump in cold climate,” *International Journal of Energy Research*, Vol. 21, pp. 857-70, 1997.

[3] A. Hepbasli, O. Akdemir, “Experimental study of a closed loop vertical ground coupled heat pump System,” *Energy Conversion and Management*, Vol. 44, pp. 527-48, 2003.

[4] P. J. Petit, J. P. Meyer, “Vertical ground-source heat pump compared to air-Source air conditioners in South Africa,” *Energy*, Vol. 23, pp. 137-43, 1998.

[5] E. Pulat, S. Coskun, K. Unlu, N. Yamankaradeniz, “Experimental study of horizontal ground source heat pump performance for mild climate in Turkey,” *Energy*, Vol. 34, pp. 1284-95, 2009.

[6] R. Fan, Y. Jiang “Theoretical Study on the Performance of an Integrated Ground-Source Heat Pump in a Whole Year,” *Energy*, Vol. 33, pp. 1671-79, 2008.

[7] O. Ozgener, “Use of solar assisted geothermal heat pump and small wind turbine systems for heating agriculture and residential buildings,” *Energy*, Vol. 33, pp. 262-68, 2010.

[۸] سپهر صنایع، بهزاد نیرومند، " مدل‌سازی و بهینه‌سازی فنی و اقتصادی پمپ گرمایی با مبدل زمینی افقی"، اولین کنفرانس بین اللملی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، ۱۳۸۸.

[۹] مصطفی نجات الهی، حسین صیادی، احسان محمود مولایی کرمانی، " مقایسه اقتصادی دفع حرارت سیستم های سرمایش به هوا و زمین"، هفتمین همایش ملی انرژی، ۱۳۸۸.

[۱۰] مرتضی یاری، نادر جوانی، علیرضا انصاری، " ارزیابی اقتصادی پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی"، هجدهمین کنفرانس بین اللملی برق، ۱۳۸۹.

[۱۱] سید مهدی منصف راد، کوروش جواهرده، " تحلیل جامع اگزرژی یک پمپ حرارتی زمین گرمایی دما پایین برای استفاده در شرایط اقلیمی رامسر"، اولین نشریه علمی– پژوهشی مدیریت انرژی، ۵۷–۴۸، ۱۳۹۱.

[۱۲] سپهر صنایع و همکاران، " مروری بر پمپ‌های حرارتی با منبع زمینی، کاربرد و مزایا"، پنجمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۳۸۵.

[13] B. Sanner, “Description of ground source types for the heating,” *Gtv Bundesverband Geothemie*, 2002.

[14] T. K. Ghosh, M.A. Prelas, “Energy resource and system,” *Journal of Springer*, Vol. 2, pp. 1-719, 2011.

[15] RETScreen® Engineering and Cases, *Ground-Source Heat Pump Project Analysis,* CA: Minister of Natural Resources Canada, 2001-2005.

[16] S. A. M. Said, M. A. Habib, E. M. A. Mokheimer, N. Al-Shayea and M. Sharqawi, “Horizontal Ground Heat Exchange Design for Ground-Coupled Heat Pumps” *King Fahd University of Petroleum and Mineral,* pp. 1-8, 2009.

[17] “International standards: Thermal performance of buildings- Heat transfer via the ground- Calculation methods,” 2nd Edition, ISO 13370:2007.