





موسسه آموزشی عالی انرژی  
دانشکده فنی و مهندسی  
پایان نامه دوره کارشناسی ارشد  
در رشته مکانیک - تبدیل انرژی

عنوان :

# تحلیل و بهینه سازی اقتصادی پمپ های حرارتی زمین گرمایی از دیدگاه انرژی و اقتصادی با بکارگیری الگوریتم ژنتیک با رویکرد پدافند غیر عامل

استاد راهنما:

دکتر یوسف یاسی

استاد مشاور:

دکتر رضا علائی

پژوهشگر :

سجاد کریمی مهرآبادی

اسفند ۱۳۹۵

## چکیده

سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی قابل نصب در فضایی امن در زیر زمین است و بدین وسیله از صدمات ناشی از حملات دشمن در امان می ماند؛ تا در زمان بحران از انرژی زمین گرمایی که سازگار با محیط زیست نیز می باشد، به عنوان انرژی جایگزین برای ادامه فعالیت بهره برد. با توجه به اینکه حفظ جان انسان ها در اولویت اهداف پدافند غیرعامل می باشد و نقش مهمی که بیمارستان ها در حفاظت از جان انسان ها در زمان بحران دارند، بنابراین ساخت بیمارستان زیرزمینی به عنوان سازه ای امن با رویکرد پدافند غیر عامل برای آمادگی در برابر تهدیدات بسیار اهمیت دارد.

در این پژوهش پس از محاسبه اتلاف حرارتی بیمارستان زیرزمینی در نرم افزار Carrier، تحلیل انرژی و انرژی پمپ حرارتی زمین گرمایی با سیکل بسته عمودی U شکل، در فاز گرمایش بیمارستان مذکور در نرم افزار EES انجام گردید. مبرد R-134a با توجه به ضریب عملکرد بالا و شرایط زیست محیطی و پدافندی نسبت به بقیه مبردها ترجیح داده شد. فن کندانسور دارای بیشترین اتلاف انرژی می باشد که برای کارایی سیستم، باید در اولویت بهبود قرار بگیرد.

طی مراحل بهینه سازی چند هدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب شده غیر مغلوب (NSGA II) در نرم افزار Matlab، نرخ کل اتلاف انرژی کاهش ۴.۲۴ درصدی را داشته است. همچنین به علت کاهش هزینه بهره برداری (مصرف انرژی) به مقدار ۳.۲۷ درصد در حالت بهینه نسبت به مقدار طراحی اولیه، هزینه کل نیز در حالت بهینه ۱.۳۴ درصد کاهش یافته است.

**کلید واژه ها:** پمپ حرارتی زمین گرمایی، بیمارستان زیرزمینی، پدافند غیرعامل، تحلیل انرژی، بهینه سازی چند هدفه الگوریتم ژنتیک (NSGA II)

## فهرست مطالب

خ	فهرست شکل‌ها.....
ذ	فهرست نمودارها.....
ر	فهرست جداول.....

### فصل اول : مقدمه و کلیات

۱-۱	مقدمه.....
۲	
۱-۲	بیان مسأله.....
۳	
۱-۳	ضرورت تحقیق.....
۴	
۱-۴	روش‌ها.....
۵	
۱-۵	اهداف.....
۵	
۱-۶	دستاوردها.....
۶	
۱-۷	جنبه‌های نوآوری.....
۶	

### فصل دوم : انرژی زمین گرمایی

۱-۲	مقدمه.....
۸	
۲-۲	انرژی زمین گرمایی.....
۸	
۲-۲-۱	تاریخچه انرژی زمین گرمایی.....
۱۰	

- ۲-۲-۲- پتانسیل انرژی زمین گرمایی ..... ۱۰
- ۳-۲- استقبال جهانی از انرژی زمین گرمایی ..... ۱۱
- ۴-۲- انرژی زمین گرمایی در ایران ..... ۱۳
- ۵-۲- تاریخچه انرژی زمین گرمایی در ایران ..... ۱۴
- ۶-۲- بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی ..... ۱۸
- ۱-۶-۲- استفاده غیر مستقیم یا نیروگاهی از انرژی زمین گرمایی ..... ۱۹
- ۲-۶-۲- روش‌های استفاده مستقیم یا غیر نیروگاهی ..... ۲۴
- ۷-۲- پمپ حرارتی ..... ۲۴
- ۱-۷-۲- تاریخچه پمپ حرارتی ..... ۲۵
- ۲-۷-۲- پمپ حرارتی زمین گرمایی ..... ۲۶
- ۳-۷-۲- انواع کویل زمینی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی ..... ۲۹
- ۴-۷-۲- انواع پمپ حرارتی زمین گرمایی بر اساس سیال ..... ۳۲
- ۵-۷-۲- مراحل اجرای پروژه‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی ..... ۳۳
- ۶-۷-۲- مزیت‌های استفاده از پمپ حرارتی زمین گرمایی ..... ۳۴
- ۷-۷-۲- مزیت‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی از دیدگاه پدافند غیر عامل ..... ۳۵
- ۸-۲- وضعیت پمپ حرارتی زمین گرمایی در ایران ..... ۳۶

- ۳۷.....۲-۸-۱- پمپ حرارتی زمین گرمایی در مشکین شهر.
- ۳۷.....۲-۸-۲- پمپ حرارتی زمین گرمایی در طالقان.
- ۳۸.....۲-۸-۳- پمپ حرارتی زمین گرمایی در رشت.
- ۳۹.....۲-۸-۴- پمپ حرارتی زمین گرمایی در اهواز.
- ۳۹.....۲-۸-۵- پمپ حرارتی زمین گرمایی در بندر عباس.
- ۳۹.....۲-۹-۹- مروری بر مقالات پمپ حرارتی زمین گرمایی.

#### فصل سوم: طراحی و انتخاب اجزای سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی

- ۴۵.....۳-۱- مقدمه.
- ۴۵.....۳-۲- فرضیات بیمارستان امن زیرزمینی.
- ۴۶.....۳-۳- تفاوت سازه‌های امن مدفون با سازه‌های رایج.
- ۴۷.....۳-۴- محاسبات اتلاف حرارتی بیمارستان.
- ۴۷.....۳-۵- انتخاب اجزاء سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی.
- ۴۹.....۳-۵-۱- انتخاب مبدل حرارتی زمینی.
- ۵۰.....۳-۵-۲- انتخاب دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی.
- ۵۲.....۳-۵-۳- انتخاب و محاسبه حجم منبع انبساط.
- ۵۴.....۳-۵-۴- انتخاب و طراحی لوله.

۵۵.....انتخاب پمپ سیرکولاتور.....۳-۵-۵

#### فصل چهارم: تحلیل انرژی و بهینه‌سازی اقتصادی با الگوریتم ژنتیک

۵۸.....تحلیل ترمودینامیکی پمپ حرارتی زمین گرمایی.....۴-۱-۱

۵۸.....آنالیز ترمودینامیکی.....۴-۱-۱

۶۰.....محاسبه دمای زمین.....۴-۱-۲

۶۲.....معادلات موازنه انرژی و انرژی.....۴-۱-۳

۶۸.....بهینه‌سازی سیستم.....۴-۲-۲

۶۸.....تکنیک‌های حل مسائل بهینه‌سازی.....۴-۲-۱

۶۹.....الگوریتم ژنتیک.....۴-۲-۲

۷۱.....کدگذاری.....۴-۲-۳

۷۱.....تابع برازش.....۴-۲-۴

۷۲.....جمعیت.....۴-۲-۵

۷۲.....انتخاب.....۴-۲-۶

۷۳.....جفت‌گیری (ادغام).....۴-۲-۷

۷۴.....جهش.....۴-۲-۸

۷۶.....همگرایی.....۴-۲-۹

۷۶.....شرط توقف الگوریتم.....۴-۲-۱۰

۷۷..... ۱۱-۲-۴- متغیرهای بهینه‌سازی

۷۸..... ۱۲-۲-۴- پارامترهای بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک

۷۸..... ۱۳-۲-۴- توابع هدف

### فصل پنجم : نتایج

۸۳..... ۱-۵- مقدمه

۸۳..... ۲-۵- نتایج مربوط به بار حرارتی

۸۴..... ۳-۵- نتایج مربوط به آگزرژی

۸۷..... ۴-۵- نتایج مربوط به بهینه‌سازی اقتصادی

۹۱..... فهرست منابع و مآخذ

۹۵..... پیوست الف : نقشه‌های بیمارستان

۹۸..... پیوست ب : گزارشات مربوط به نرم افزار کریر

۱۰۲..... پیوست ج : اشکال



## فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۲) چگونگی استفاده از انرژی زمین گرمایی ..... ۹
- شکل (۲-۲) میزان ظرفیت پمپ حرارتی زمین گرمایی نصب شده در جهان ..... ۱۲
- شکل (۳-۲) شماتیک موارد استفاده از انرژی زمین گرمایی ..... ۱۸
- شکل (۴-۲) نیروگاه زمین گرمایی با سیال کاملاً بخار ..... ۲۰
- شکل (۵-۲) نیروگاه زمین گرمایی بخار تک مرحله‌ای با خروجی اتمسفر ..... ۲۱
- شکل (۶-۲) نیروگاه زمین گرمایی بخار تک مرحله‌ای با کندانسور ..... ۲۲
- شکل (۷-۲) نیروگاه زمین گرمایی بخار دو مرحله‌ای ..... ۲۳
- شکل (۸-۲) نیروگاه زمین گرمایی با سیال کاملاً مایع داغ ..... ۲۴
- شکل (۹-۲) شماتیک میزان نوسانات دمای خاک در طول یک سال ..... ۲۶
- شکل (۱۰-۲) فرایند سرمایش پمپ حرارتی زمین گرمایی ..... ۲۷
- شکل (۱۱-۲) فرایند گرمایش پمپ حرارتی زمین گرمایی ..... ۲۷
- شکل (۱۲-۲) سیکل پمپ حرارتی زمین گرمایی و نمودار T-S آن ..... ۲۸
- شکل (۱۳-۲) پمپ حرارتی زمین گرمایی در حالت‌های گرمایش و سرمایش ..... ۲۸
- شکل (۱۴-۲) کویل زمینی بسته عمودی ..... ۲۹
- شکل (۱۵-۲) کویل زمینی بسته افقی ..... ۳۰
- شکل (۱۶-۲) کویل زمینی باز ..... ۳۰
- شکل (۱۷-۲) کویل زمینی دریاچه ..... ۳۱

- شکل (۲-۱۸) حلقه‌های ۹ گانه به عمق ۱۵ متر و قطر ۸۰ سانتی متر ..... ۳۷
- شکل (۲-۱۹) دمای ورودی و خروجی مبدل حرارتی در ماه آگوست ..... ۴۰
- شکل (۲-۲۰) اثر خاک در میزان اتلاف انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی ..... ۴۱
- شکل (۲-۲۱) اثر دمای ورودی آب بر طول بهینه مبدل حرارتی ..... ۴۲
- شکل (۳-۱) شماتیک منبع انبساط باز ..... ۵۳
- شکل (۴-۱) شماتیک سیکل پمپ حرارتی زمین گرمایی ..... ۶۲
- شکل (۴-۲) مراحل الگوریتم ژنتیک ..... ۷۰
- شکل (۴-۳) توابع یبئی قابل استفاده در جفت‌گیری ..... ۷۵
- شکل (۴-۴) توابع یبئی قابل استفاده در جهش ..... ۷۶

## فهرست نمودارها

- نمودار (۱-۵) بار ماهانه حرارتی ساختمان جهت گرمایش ..... ۸۳
- نمودار (۲-۵) اتلاف اگزرژی اجزاء پمپ حرارتی زمین گرمایی ..... ۸۴
- نمودار (۳-۵) ضریب عملکرد سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی برای مبردهای مختلف ..... ۸۵
- نمودار (۴-۵) بازده اگزرژی سیستم برای مبردهای مختلف ..... ۸۵
- نمودار (۵-۵) جبهه پرتوی بی بعد بهینه‌سازی هزینه- نرخ انهدام اگزرژی و انتخاب نقطه بهینه ..... ۸۷

## فهرست جداول

جدول (۱-۲) مشخصات چاه‌های اکتشافی مشکین شهر .....	۱۷
جدول (۱-۳) معرفی نواحی بیمارستان .....	۵۱
جدول (۱-۴) مقادیر مورد نیاز اولیه در سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی .....	۶۶
جدول (۲-۴) آنالیز انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی .....	۶۶
جدول (۳-۴) آنالیز انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی .....	۶۷
جدول (۱-۵) مقادیر بهینه متغیرهای طراحی (تصمیم‌گیری) .....	۸۸
جدول (۲-۵) مقادیر بهینه توابع هدف .....	۸۹

## **فصل اول : مقدمه و کلیات**

## ۱-۱- مقدمه

تأمین انرژی پایدار همواره یک موضوع اساسی در جوامع امروزی به حساب می‌آید. در صورت قطع برق و گاز در زمان بحران، که باعث مختل شدن کلیه سیستم‌های ارتباطی، گرمایشی، سرمایشی و ... می‌شود؛ لزوم استفاده از انرژی‌های جایگزین به منظور استمرار فعالیت برای همه کشورها اجتناب ناپذیر است؛ از طرف دیگر رشد مصرف انرژی در جوامع مدرن صنعتی علاوه بر خطر اتمام سریع منابع فسیلی، جهان را با تغییرات برگشت ناپذیر و تهدیدآمیز زیست محیطی مواجه نموده است.

در سال‌های اخیر استفاده از انرژی زمین‌گرمایی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک رشد قابل توجهی داشته است. سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی قابل نصب در فضایی امن در زیر زمین است که بدین وسیله از صدمات ناشی از حملات دشمن در امان می‌ماند؛ تا بتوان در زمان بحران از انرژی زمین‌گرمایی که سازگار با محیط زیست نیز می‌باشد، به عنوان انرژی جایگزین برای ادامه فعالیت سازه بهره برد.

در این پروژه که برای یک بیمارستان زیرزمینی انجام شده است، فرضیات زیر لحاظ می‌شود:

❖ طرح این پروژه، یک بیمارستان زیرزمینی یک طبقه شامل ۳۶ اتاق و ۷۰ تخته واقع در شهر تهران می‌باشد.

❖ سقف این بیمارستان ۲ متر زیر زمین قرار دارد.

❖ بیمارستان زیرزمینی به جای استفاده از سیستم‌های معمول تهویه مطبوع، از سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی استفاده می‌کند.

❖ مبدل حرارتی سیستم پمپ حرارتی از نوع سیکل بسته عمودی U شکل و سیستم پمپ حرارتی از نوع تراکمی می‌باشد.

## ۱-۲- بیان مسأله

زمین منبع عظیمی از انرژی است، به طوری که حرارت در هسته آن بیش از ۵۰۰۰ درجه سانتی گراد می‌رسد. حرارت زمین به طرق مختلف از جمله فوران آتشفشان، چشمه‌های آبگرم و... در اثر کاهش چگالی زمین و خاصیت رسانایی از بخش‌هایی از زمین به سطح آن هدایت می‌شود. درجه حرارت زمین با توجه به عمق آن به صورت غیر خطی زیاد می‌شود (با تقریب خطی هر ۱۰۰ متر ۳ درجه سانتی گراد). انرژی حرارتی ذخیره شده در ۱۱ کیلومتر فوقانی پوسته زمین معادل پنجاه هزار برابر کل انرژی به دست آمده از منابع نفت و گاز شناخته شده امروز جهان است.

انرژی زمین گرمایی بر خلاف سایر انرژی‌های تجدیدپذیر محدود به فصل، زمان و شرایط خاصی نبوده و بدون وقفه قابل بهره‌برداری می‌باشد. همچنین قیمت تمام شده برق در نیروگاه‌های زمین گرمایی با برق تولیدی از سایر نیروگاه‌های متعارف (فسیلی) قابل رقابت بوده و حتی از انواع دیگر انرژی‌های نو به مراتب ارزان‌تر است. یک پمپ حرارتی منبع زمینی، گرما را با زمین مبادله می‌کند و این بیشتر یک انرژی کارآمد است؛ زیرا دمای زیرزمین نسبت به دمای هوا در طول کل سال پایدارتر است؛ در نتیجه، نوسانات فصلی عمیقاً کاهش می‌یابد. دمای زمین در قسمت‌های کم عمق و سطحی در طول زمستان گرم‌تر از هوای قسمت‌های بالا و نیز سردتر از هوای تابستانی است. یک پمپ حرارتی منبع زمینی، گرمای زمین را در فصل زمستان (جهت گرمایش) استخراج می‌کند و گرما را به سمت زمین در فصل تابستان (جهت سرمایش) انتقال می‌دهد.

با توجه به اهمیت بیمارستان زیرزمینی در بحران‌ها و اینکه باید بدون وقفه در شرایط بحرانی به کار خود ادامه دهند پس ایجاب می‌کند که از پمپ حرارتی زمین گرمایی در بیمارستان زیرزمینی طبق شاخصه‌های پدافند غیرعامل استفاده شود.

### ۱-۳- ضرورت تحقیق

بیمارستان‌های زیرزمینی در بحران‌ها نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند؛ چرا که در بحران‌ها، ثانیه‌ها حکم جان انسان‌ها را دارند. ضرورت یک بیمارستان زیرزمینی هنگامی نمود بیشتری دارد که کلیه ساختمان‌های یک شهر در اثر زلزله یا بمباران دشمن یا هر بحران دیگر با خاک یکسان شده ولی در زیر زمین در یک فضای کاملاً امن، بحران مدیریت و کنترل شده و کلیه سیستم‌ها به وظایف روتین خود عمل می‌کنند. در هشت سال دفاع مقدس نیز چه جان انسان‌های والامقامی که به واسطه خونریزی شدید و نبود امکانات بیمارستانی امن به شهادت رسیدند.

پدافند غیرعامل عبارت است از مجموعه اقدامات غیر مسلحانه‌ای که بکارگیری آن‌ها موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، ارتقاء پایداری ملی، تداوم فعالیت‌های ضروری و تسهیل مدیریت بحران در برابر تهدیدات و اقدامات نظامی دشمن می‌گردد. استتار، اختفاء، فریب، تفرقه و پراکندگی از اصول پدافند غیرعامل می‌باشند و از شناسایی تاسیسات و تجهیزات از دید سنجنده‌های دشمن جلوگیری می‌کنند.

با توجه به اینکه حفظ جان انسان‌ها در اولویت اهداف پدافند غیرعامل می‌باشد و نقش مهمی که بیمارستان‌ها در حفاظت از جان انسان‌ها در زمان جنگ و بحران‌ها داشتند، بنابراین ساخت بیمارستان زیرزمینی به عنوان سازه‌ای امن با رویکرد پدافند غیر عامل برای آمادگی در برابر دشمنان بسیار اهمیت دارد.

سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی قابل نصب در فضایی امن در زیر زمین است؛ بدین وسیله از صدمات ناشی از حملات دشمن در امان می‌ماند، تا بتوان در زمان بحران از انرژی زمین گرمایی که سازگار با محیط زیست نیز می‌باشد، به عنوان انرژی جایگزین برای ادامه فعالیت سازه بهره برد. با تحلیل انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی در بیمارستان زیرزمینی، می‌توان به قسمت‌هایی که سهم به سزایی در اتلاف انرژی و انرژی دارند، پی برد



و تا جایی که ممکن است از هدررفت انرژی جلوگیری کرد و با استفاده از الگوریتم ژنتیک از نظر اقتصادی نیز بهینه‌سازی شود.

## ۴-۱- روش‌ها

در این پروژه ابتدا به جستجوی کتابخانه‌ای و جمع‌آوری اطلاعات می‌پردازیم. پس از آن بارهای حرارتی بیمارستان یک طبقه واقع در شهر تهران با استفاده از نرم افزار Carrier محاسبه شده و طراحی اولیه سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی همراه با جانمایی آن طبق اصول پدافند غیرعامل برای بیمارستان زیرزمینی انجام می‌گیرد. سپس توسط نرم افزار EES<sup>1</sup>، تحلیل انرژی و انرژی‌ای استفاده از پمپ حرارتی زمین گرمایی در این بیمارستان انجام می‌شود. در آخر هم با توجه به الگوریتم ژنتیک مرتب شده غیر مغلوب (NSGA II)<sup>2</sup> بهینه‌سازی چند هدفه نرخ اتلاف انرژی و اقتصادی به طور همزمان برای پمپ حرارتی زمین گرمایی با استفاده از کدنویسی در نرم افزار Matlab صورت می‌گیرد.

## ۵-۱- اهداف

در این پروژه با استفاده از تحلیل انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی، می‌توان با یافتن قسمت‌هایی که سهم به سزایی در اتلاف انرژی و انرژی دارند، از هدررفت انرژی جلوگیری کرد و با پیاده‌سازی روش الگوریتم ژنتیک از نظر انرژی و اقتصادی به طور همزمان بهینه شوند. همچنین با کم‌رنگ کردن فعالیت سیستم بویلر و مشعل بعد از اقتصادی بودن طرح و تحلیل انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی از شناسایی بیمارستان زیرزمینی توسط سنجنده‌های دشمن جلوگیری شود.

---

1 - Engineering Equation Solver

2 - Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II

## ۱-۶- دستاوردها

اطمینان از صرفه اقتصادی و انرژی با آنالیز انرژی و بهینه سازی اقتصادی در طراحی و اجرای پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی در تاسیسات مکانیکی بیمارستان زیرزمینی به جای استفاده از سیستم‌های معمول تهویه مطبوع و اطمینان از در امان ماندن بیمارستان زیرزمینی در دید دشمن و ادامه فعالیت آن در زمان بحران

## ۱-۷- جنبه‌های نوآوری

جنبه‌های نوآوری این پروژه بدین شرح است که برای بیمارستان زیرزمینی پس از محاسبه بارهای حرارتی بیمارستان در فاز گرمایش و انتخاب پمپ حرارتی و طراحی اجزای پمپ حرارتی زمین گرمایی و جانمایی آن‌ها در بیمارستان طبق اصول پدافند غیرعامل، تحلیل انرژی صورت گرفته و سپس با ارزیابی هزینه اولیه سیستم، به بهینه‌سازی چند هدفه نرخ تخریب انرژی و هزینه اقتصادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب شده غیر مغلوب به طور همزمان پرداخته شده و نقطه بهینه با استفاده از روش تاپسیس<sup>۱</sup> انتخاب می‌شود. با مطالعات انجام شده بر روی مقالات و کتب مختلف فارسی و لاتین چنین کاری کار جامع و گسترده‌ای تا حالا برای این مورد خاص بدین صورت انجام نشده است.

---

1- Topsis

## **فصل دوم : انرژی زمین گرمایی**

## ۲-۱- مقدمه

رشد مصرف انرژی در جوامع مدرن صنعتی علاوه بر خطر اتمام سریع منابع فسیلی، جهان را با تغییرات برگشت‌ناپذیر و تهدیدآمیز زیست محیطی مواجه نموده است. لذا در برنامه‌ها و سیاست‌های بین‌المللی در راستای توسعه پایدار جهانی، نقش ویژه‌ای به منابع تجدیدپذیر انرژی محول شده است. همان‌طور که می‌دانیم انرژی فسیلی که تاکنون بی‌رویه در این کشور مصرف و یا برای بدست آوردن ارز صادر گردیده، تجدیدپذیر نبوده و در آینده نزدیک به اتمام خواهد رسید. بنابراین می‌بایست برای جایگزینی آن از انرژی‌های تجدیدپذیر که عمر آن‌ها محدود نمی‌باشد، استفاده نمود؛ از این رو صاحب‌نظران و کارشناسان به دنبال منابعی هستند که به تدریج جایگزین سوخت‌های فسیلی شوند. ایران نیز فعالیت‌های گسترده‌ای را آغاز کرده است تا از انرژی‌های نو مانند انرژی خورشیدی، انرژی زمین‌گرمایی، انرژی باد، انرژی بیوگاز و بیومس، انرژی امواج و ... بهره‌برداری کند. به این انرژی‌ها از آن جهت که به محیط زیست زیانی نمی‌رسانند، انرژی‌های پاک نیز می‌گویند. (۱)

## ۲-۲- انرژی زمین‌گرمایی

اصطلاح زمین‌گرمایی ترجمه واژه ژئوترمال<sup>۱</sup> است که ریشه یونانی داشته و از کلمات ژئو<sup>۲</sup> به معنای زمین و ترم<sup>۳</sup> به معنای حرارت تشکیل شده است. در حقیقت انرژی زمین‌گرمایی، انرژی است که از سیال آب داغ یا بخار داغ موجود در اعماق زمین بدست می‌آید. به عبارت دیگر انرژی حرارتی که در پوسته جامد زمین وجود دارد، انرژی زمین‌گرمایی نامیده می‌شود. (۲)

مرکز (هسته) زمین منبع عظیمی از انرژی حرارتی است که به انواع گوناگون از جمله فوران‌های آتشفشانی، آب‌های گرم و یا به واسطه خاصیت رسانایی به سطح آن هدایت می‌شود. طبق فرضیه‌های موجود، زمین توده‌ای آتشین بوده که بیش از ۴ میلیارد سال پیش

---

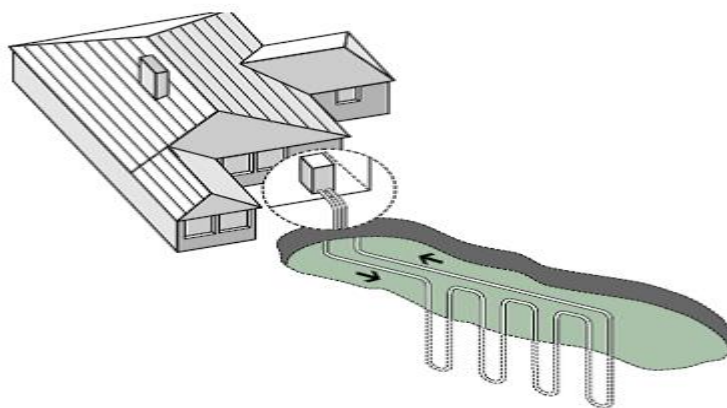
1 - Geothermal

2 - Geo

3 - Therme

شکل گرفته و به تدریج به انجماد و سردی گراییده است و این سرد شدن همچنان نیز ادامه دارد. در حال حاضر از انرژی زمین گرمایی در بسیاری از نقاط جهان و به صورت‌های مختلف و در سطح وسیعی استفاده می‌شود. محققین همزمان با بکارگیری تکنولوژی‌های قدیمی تأمین انرژی، شیوه‌های جدید تأمین انرژی را نیز به تکامل رسانیده‌اند. در آینده نیز تلاش برای توسعه آن، هم در زمینه کشف منابع انرژی و هم در زمینه انتقال تکنولوژی امری اساسی تلقی می‌شود. بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی به عنوان یک منبع انرژی بالقوه در اعماق زمین، مستقل از شرایط جوی بوده و قابلیت جوابگویی به نیاز کنونی و آتی بشر را دارد. (۳)

با بالا رفتن هزینه‌های استخراج و قیمت انرژی در جهان، مدتی است که استفاده از انرژی زمین گرمایی توجه محققان و صنعتگران را به خود جلب نموده است؛ تا جایی که در نقاط مختلف جهان اقدام به کشف این منبع فوق العاده انرژی نموده‌اند. پس از مرحله اکتشاف، یکی از راه‌های مناسب بکارگیری این انرژی در فصل زمستان، استفاده از یک سیستم لوله‌کشی زیرزمینی است. آب به درون لوله فرستاده می‌شود، بعد از گرم شده توسط حرارت زمین به سطح زمین برمی‌گردد. در فصل تابستان هم که نیاز به هوای خنک داریم روش کار سیستم برعکس می‌شود؛ یعنی لوله‌های حاوی آب سرد، گرمای ساختمان را گرفته و باعث سرد شدن فضای خانه می‌شود. شکل ۱-۲ کاربرد انرژی زمین گرمایی در ساختمان‌ها را نشان می‌دهد. (۱)



شکل (۱-۲) چگونگی استفاده از انرژی زمین گرمایی (۱)

## ۲-۲-۱- تاریخچه انرژی زمین گرمایی

بشر مدت‌ها است که از منابع انرژی زمین گرمایی با درجه حرارت پایین (چشمه‌های آب‌گرم) جهت استحمام و شستشو و همچنین مصارف درمانی استفاده می‌کند. اخیراً نیز از این انرژی در تأمین گرمایش گلخانه‌ها، حوضچه‌های پرورش ماهی، استخرهای تفریحی، پیشگیری از یخ زدگی معابر در فصل سرما، پمپ‌های حرارتی جهت تأمین گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها و برخی از فرآیندهای صنعتی استفاده می‌شود. تولید برق با استفاده از منابع انرژی زمین گرمایی با درجه حرارت بالا نیز طی ده سال اخیر رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است. بشر از دیرباز با مشاهده کوه‌های آتشفشان به این حقیقت رسیده بود که در اعماق زمین منبعی داغ وجود دارد. در فاصله زمانی بین قرن‌های ۱۶ و ۱۷ میلادی که اولین منابع زیرزمینی در اعماق چند صد متری حفر شد؛ این نتیجه نیز حاصل شد که هرچه به طرف مرکز کره زمین نزدیکتر شویم دما افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که به طور طبیعی در ازای هر ۱۰۰ متر افزایش عمق، ۳ درجه سانتی گراد به دمای طبیعی زمین افزوده می‌شود. انرژی حرارتی ذخیره شده در ۱۱ کیلومتر فوقانی پوسته زمین معادل پنجاه هزار برابر کل انرژی به دست آمده از منابع نفت و گاز شناخته شده امروز جهان است. نخستین اندازه‌گیری‌ها به وسیله دماسنج در سال ۱۷۴۰ و در معدنی نزدیک در ناحیه بلفورت در کشور فرانسه انجام شد. در سال ۱۸۷۰ با روش‌های پیشرفته علمی نوع رفتار حرارتی زمین مورد مطالعه قرار گرفت. نخستین تلاش‌ها برای تولید برق با استفاده از انرژی زمین گرمایی در لاردولو ایتالیا در سال ۱۹۰۴ صورت گرفت و از آن زمان تاکنون فعالیت‌های زیادی در سراسر دنیا صورت گرفته است. (۲۰)

## ۲-۲-۲- پتانسیل انرژی زمین گرمایی

به طور کلی مناطقی از زمین که دارای دو ویژگی از سه ویژگی مهم زیر باشند، می‌توانند دارای پتانسیل خوب جهت بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی باشند:

الف- منبع حرارتی: مواد مذاب یا سنگ‌های داغ مجاور آن‌ها (به عنوان منبع حرارتی) به گونه‌ای نزدیک به سطح زمین قرار گرفته باشند که موجب گرم شدن آب‌های نفوذی شده و در

نتیجه با حفاری چاه‌های تولیدی می‌توان با استخراج سیال گرم به حرارت مطلوب رسید.

ب- سیال واسطه: وجود آب، آب‌های جوی و آب‌های ماگمایی از جمله سیالات انتقال دهنده حرارت به سطح زمین هستند.

ج- محیط متخلخل: لایه‌های مختلف زمین دارای خلل و فرج‌های زیادی باشند تا آب‌های سطحی و نزولات جوی به خوبی داخل زمین نفوذ کنند. آب‌های سطحی که بر اثر نیروی جاذبه زمین و از طریق خلل و فرج‌ها به داخل آن نفوذ می‌کنند، پس از مدتی به لایه‌های گرم زمین نزدیک می‌شوند و حرارت آن‌ها را جذب می‌کنند و بر اثر افزایش دما، چگالی خود را از دست داده و نسبت به آب‌های سرد سبک‌تر شده و به صورت طبیعی از طریق درزها، شکاف‌ها مجدداً رو به سطح زمین حرکت می‌کنند و موجب پیدایش مظاهر حرارتی از قبیل چشمه‌های آبگرم در نقاط مختلف زمین می‌شوند. برای بهره‌برداری اقتصادی از یک سیستم زمین‌گرمایی با حفاری چاه‌های متعدد سیال بیشتری بدست می‌آید. (۳)

## ۲-۳- استقبال جهانی از انرژی زمین‌گرمایی

امروزه استفاده از سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی به عنوان انرژی پاک و نو در جهان در حال گسترش می‌باشد. در ادامه به شرح گسترش این سیستم در جهان و در ایران پرداخته می‌شود.

بر اساس آخرین آمار آژانس انرژی زمین‌گرمایی، کشورهایی که بیشترین برق را با استفاده از نصب نیروگاه‌های زمین‌گرمایی تا سال ۲۰۱۴ تولید کرده اند، عبارتند از:

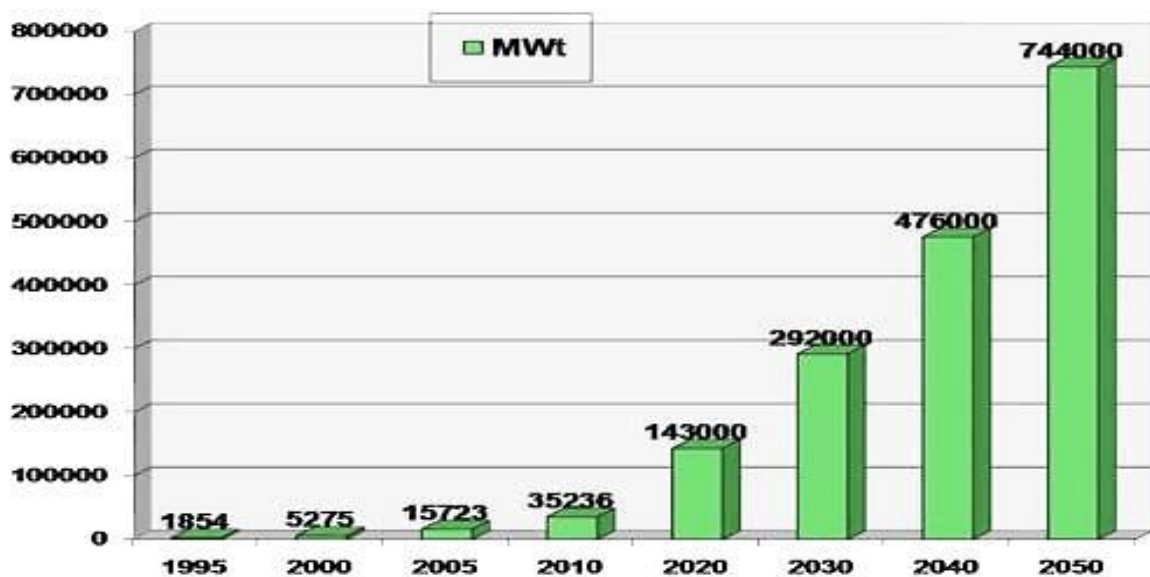
۱. آمریکا ۳۱۸۷ مگاوات
۲. فیلیپین ۱۹۰۴ مگاوات
۳. اندونزی ۱۲۲۲ مگاوات
۴. مکزیک ۹۵۸ مگاوات
۵. ایتالیا ۸۸۳ مگاوات

۶. نیوزلند ۷۶۸ مگاوات

۷. ایسلند ۶۶۱ مگاوات

۸. ژاپن ۵۳۵ مگاوات (۳)

عملکرد مطلوب پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی به گونه‌ای است که باعث توسعه روزافزون و استقبال زیاد مردم از این سیستم‌ها در دنیا شده است؛ به طوری که میزان ظرفیت نصب شده پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در جهان تا سال ۱۹۹۵ میلادی برابر با ۱۸۵۴ مگاوات، تا سال ۲۰۰۰ میلادی برابر با ۵۲۷۵ مگاوات، تا سال ۲۰۰۵ میلادی ۱۵۷۲۳ مگاوات و تا سال ۲۰۱۰ میلادی ۳۵۲۳۶ مگاوات حرارتی بوده است و پیش‌بینی می‌شود این میزان ظرفیت نصب شده تا سال ۲۰۵۰ میلادی به ۷۴۴۰۰۰ مگاوات افزایش یابد. شکل ۲-۲ میزان ظرفیت پمپ حرارتی زمین‌گرمایی نصب شده در جهان را نشان می‌دهد. (۳)



شکل (۲-۲) میزان ظرفیت پمپ حرارتی زمین‌گرمایی نصب شده در جهان (۳)

کشورهای دارای بیشترین ظرفیت نصب شده سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی عبارتند از:

۱. آمریکا ۱۲۰۰۰ مگاوات

۲. چین ۵۲۱۰ مگاوات



۳. سوئد ۴۴۶۰ مگاوات
۴. نروژ ۳۳۰۰ مگاوات
۵. آلمان ۲۲۳۰ مگاوات
۶. هلند ۱۳۹۴ مگاوات
۷. کانادا ۱۱۰۰ مگاوات (۴)

## ۲-۴- انرژی زمین گرمایی در ایران

استفاده از انرژی زمین گرمایی در ایران به سال‌های بسیار دور می‌رسد، به طوری که مردم به شیوه‌های سنتی از این انرژی در محل‌هایی که چشمه‌های آب گرم وجود داشت، در قالب حمام‌ها و استخرهای شنا جهت مصارف آب درمانی و تفریحی استفاده می‌کردند.

با این حال در ایران به علت ارزان بودن انرژی‌های تجدید ناپذیر و فراوانی آن‌ها، توجه بسیار اندکی به انرژی‌های نو و پاک شده است و میزان سهم آن‌ها در تأمین انرژی در مقایسه با سوخت‌های فسیلی ناچیز می‌باشد.

پتانسیل انرژی زمین گرمایی در ایران بر اساس مطالعات انجام شده در بیش از ۱۰ منطقه شناسایی شده است. این مناطق بر اساس میزان فعالیت‌های زمین، میزان چشمه‌های آب گرم و ظهورهای سطحی زمین و سایر شواهد زمین شناسی، شناسایی شده‌اند. بر اساس گزارش ارائه شده توسط سازمان انرژی‌های نو ایران در سال ۱۳۷۷ این مناطق به شرح زیر است:

- منطقه سبلان (مشکین شهر- سرعین- بوشلی)
- منطقه دماوند ناحیه ناندل
- منطقه ماکو ناحیه سیاه چشمه
- منطقه خوی ناحیه قطور
- منطقه سهند
- منطقه تفتان- بزمان

- منطقه نایبند
- منطقه بیرجند - فردوس
- منطقه تکاب - هشترو
- منطقه خور - بیابانک
- منطقه اصفهان - محلات
- منطقه رامسر
- منطقه بندرعباس - میناب
- منطقه بوشهر - کازرون
- منطقه لار - بستک (۲۱)

## ۲-۵- تاریخچه انرژی زمین گرمایی در ایران

رشد روزافزون جمعیت، توسعه شهری و نیز اقتصاد انرژی در کشور ما، تولید ۹۰ هزار مگاوات برق در سال ۲۰۲۰ را اجتناب ناپذیر ساخته است. در حدود ۹۸ درصد ظرفیت تولید فعلی نیروگاه‌های برق کشور به کاربرد سوخت‌های فسیلی متکی است؛ حال آن‌که محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی، رشد مصرف داخلی و نبود منابع کافی برای صادرات از یک سو و موازین و معیارهای زیست محیطی از سوی دیگر، کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در بستر تولید را اجتناب ناپذیر ساخته است. (۲۱)

به رغم پتانسیل‌های بسیار مناسب به منظور کاربرد انرژی زمین گرمایی، به دلیل عدم سیاست‌های کلان در زمینه به کارگیری انرژی تجدیدپذیر و فقدان فناوری مناسب در خصوص حفاری عمیق، مهندسی مخازن، ساخت و نیز بهره‌برداری از نیروگاه‌های زمین گرمایی و بالاخره وجود رقیب سرسخت منابع ارزان سوخت‌های فسیلی، بهره‌برداری از پتانسیل‌های انرژی زمین گرمایی کماکان جدی گرفته نشده است. (۵)

در ایران از سال ۱۳۵۴ به منظور شناسایی پتانسیل‌های منبع انرژی زمین‌گرمایی مطالعات گسترده‌ای توسط وزارت نیرو با همکاری مهندسين مشاور ایتالیایی اینل<sup>۱</sup> در نواحی شمال و شمال غرب ایران در محدوده‌ای به وسعت ۲۶۰ هزار کیلومتر مربع آغاز گردید. نتیجه این تحقیقات مشخص نمود که مناطق سبلان، دماوند، خوی، ماکو و سهند با مساحتی بالغ بر ۳۱ هزار کیلومتر مربع جهت انجام مطالعات تکمیلی و بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی مناسب می‌باشند. در همین راستا برنامه اکتشاف مشتمل بر بررسی‌های زمین شناسی، ژئوفیزیک و ژئوشیمیایی برنامه‌ریزی شد.

در سال ۱۳۶۱ با پایان یافتن مطالعات اکتشاف مقدماتی در هریک از مناطق ذکر شده، نواحی مستعد با دقت بیشتری شناسایی شده و در نتیجه در مناطق سبلان، دماوند، ماکو، خوی و در منطقه سهند جهت تمرکز فعالیت‌های فاز اکتشاف تکمیلی، انتخاب شدند.

در اولویت اول به منظور ادامه مطالعات قبلی و تکمیل نمودن فاز اکتشاف در ناحیه مشکین شهر در سال ۱۳۷۴، کارشناسان معاونت امور انرژی وزارت نیرو با هدف نصب اولین نیروگاه زمین‌گرمایی در کشور برنامه فاز اکتشاف تکمیلی را تهیه و بخش مطالعات سطح زمینی شامل عملیات ژئوفیزیک، زمین شناسی و بررسی‌های ژئوشیمیایی و ماهواره‌ای آغاز گردید. این مطالعات توسط مهندسين مشاور کینگستون موریسون از کشور نیوزلند و با مدیریت سازمان انرژی‌های نو ایران در سال ۱۳۷۷ به انجام رسید که حاصل این مطالعات منجر به تخمین درجه حرارت احتمالی مخزن در حد ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد و تعیین نقاط حفاری‌های اکتشافی در دامنه‌های شمالی سبلان مشرف به جنوب شهرستان مشکین شهر گردید. با هدف دستیابی به نقاط حفاری و آماده‌سازی سایت‌های حفاری و همچنین ساخت تجهیزات مربوط به تست چاه‌ها، شرکت مشانیر به منظور تهیه نقشه‌های اجرایی و سپس نظارت بر مراحل ساخت، به عنوان مشاور و ناظر ایرانی برگزیده شده و پیمانکاران نیز از طریق برگزاری مناقصات انتخاب شدند و در نتیجه با اعتباری بالغ بر ۲۰ میلیارد ریال، کار ترمیم راه مشکین شهر به مؤیل به طول ۱۶ کیلومتر و احداث جاده‌های دسترسی از روستای

---

1 - ENEL

موئیل به سایت‌های حفاری به طول ۹ کیلومتر، ترمیم و احداث چند دهانه پل، احداث کمپ مرکزی شامل سوله‌های نگهداری تجهیزات و مواد مصرفی حفاری و کمپ رفاهی جهت اسکان پرسنل در سایت، احداث سه سکوی حفاری و تاسیسات آبرسانی شامل ایستگاه پمپاژ، مخزن ذخیره آب با گنجایش ۵ هزار متر مکعب و خط لوله انتقال آب به طول ۷ کیلومتر و همچنین ساخت تجهیزات و ادوات مربوط به آزمایش چاه‌ها طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ به اجرا درآمد.

همزمان به منظور انتخاب پیمانکار برای انجام حفاری‌های اکتشافی طی یک مناقصه بین المللی، شرکت ملی حفاری به عنوان پیمانکار حفاری انتخاب شد. عملیات اجرایی حفر اولین چاه اکتشافی زمین‌گرمایی ایران به عمق ۳ هزار متر، آبان ماه ۱۳۸۱ آغاز و با نظارت مهندسین مشاور (اس.کی.ام<sup>۱</sup>) از نیوزلند و تحت بدترین شرایط جوی و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد زیر صفر در طول زمستان ادامه یافت. عملیات حفاری اولین چاه در پایان اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۲ خاتمه یافت و طی مدت ۱۸ ماه حفاری‌های اکتشافی شامل سه حلقه چاه اکتشافی عمیق با عمق‌های ۳۲۰۰، ۳۱۷۶ و ۲۲۶۰ متر و دو حلقه چاه تزریقی با عمق ۶۵۰ متر به پایان رسید. پس از به پایان رسیدن عملیات حفاری، تجهیزات فلزی تست جریان چاه در محل مورد نظر نصب گردید و در سال ۱۳۸۳ عملیات تست اولین چاه زمین‌گرمایی کشور در سایت A آغاز گردید. تست دومین چاه زمین‌گرمایی نیز در همان سال در سایت B انجام شد.

همزمان با کلیه فعالیت‌های ذکر شده، سازمان انرژی‌های نو ایران با همکاری سازمان بهره‌وری انرژی ایران، ضمن تجهیز آزمایشگاه و ایستگاه پایش صحرائی، مطالعات سیستماتیک و گسترده‌ای را جهت پایش محیط زیست منطقه و کنترل اثرات زیست محیطی ناشی از اجرای طرح انجام داد. در سال ۱۳۸۸ پس از انجام مطالعات اولیه ارزیابی مخزن زمین‌گرمایی سبلان و نیز توسعه مطالعات ژئوفیزیک سایت‌های C، D و E برای توسعه میدان زمین‌گرمایی انتخاب گردید. با انجام عملیات عمرانی مورد نیاز، عملیات حفاری سه حلقه چاه در سایت D، دو حلقه چاه در سایت E و یک حلقه چاه در سایت C انجام شد. پس از پایان یافتن تست چاه‌ها،

---

1-SKM

اطلاعات مورد نیاز جهت مدل سازی و مطالعات مهندسی مخزن و در نتیجه برآورد پتانسیل حرارتی مخزن زمین گرمایی در منطقه مشکین شهر فراهم شد و در نهایت مطالعات امکان سنجی طرح ضمن ارائه طرح توسعه و بهره برداری از میدان زمین گرمایی سبلان ادامه یافت. پس از مطالعات و تست های انجام شده، مشخصات چاه های اکتشافی بدست آمد که در جدول ۱-۲ بیان شده است:

جدول (۱-۲) مشخصات چاه های اکتشافی مشکین شهر (۲۱)

نام چاه و محل آن	عمق چاه (متر)	دما در عمق چاه (°C)	فشار سر چاه (Bar)	دمای سیال (°C)	آنتالپی (Kj/Kg)	دبی سیال (Kg/S)
NWS1 (Site A)	۳۱۹۶	۲۵۰	۳/۳-۱/۴	۱۱۰	۹۸۰	۳۰
NWS4 (Site B)	۲۲۶۵	۲۴۵	۱۰/۵-۵	۱۳۰	۱۰۰۰	۶۰

بر طبق محاسبات پارامترهای مخزن زمین گرمایی تخمین زده شده که چاه سایت A بین ۱/۵ تا ۲ مگاوات و سایت B بین ۳/۵ تا ۴ مگاوات، توانایی تولید برق را دارند. در نهایت آخرین مطالعات و اقدامات انجام شده در منطقه مشکین شهر تا اکنون به شرح زیر است:

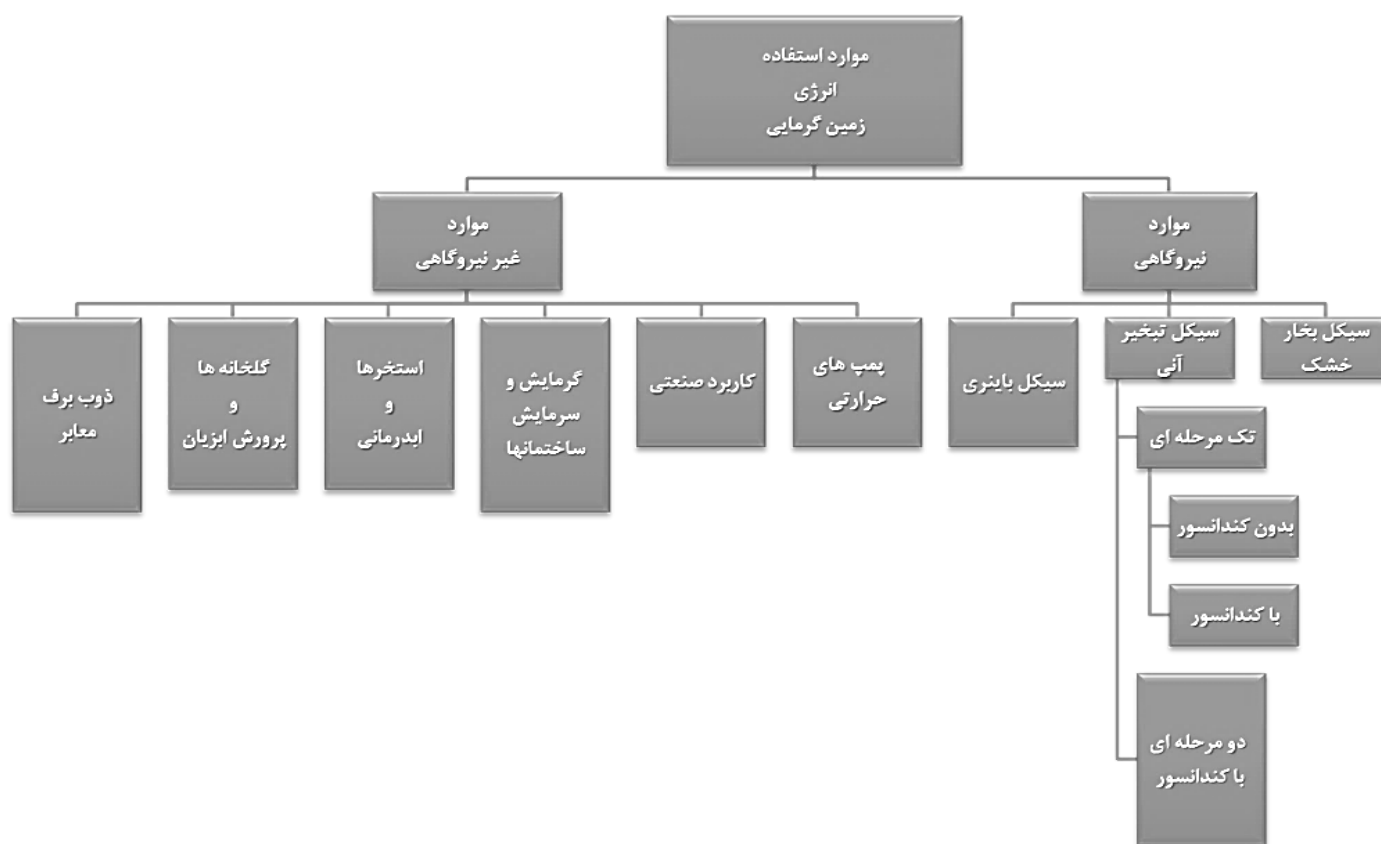
- مکان یابی چاه های جدید جهت توسعه میدان زمین گرمایی
- انجام عملیات مرمت، راهداری، برفروبی و آسفالت راه ها
- ترمیم سایت های A، B و C
- احداث سایت های D و E
- احیای چاه تولیدی سایت A
- برداشت اطلاعات چشمه های آب گرم منطقه با هدف ارزیابی اثرات احتمالی زیست محیطی ناشی از توسعه طرح حین عملیات حفاری (۲۱)

## ۲-۶- بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی

بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی به دو روش کلی که در شکل زیر نشان داده شده است، امکان‌پذیر می‌باشد که عبارتند از:

(الف)- استفاده غیر مستقیم یا روش نیروگاهی

(ب)- استفاده مستقیم یا روش غیر نیروگاهی (۴)



شکل (۲-۳) شماتیک موارد استفاده از انرژی زمین گرمایی (۲۳)

تفاوت این دو روش در آن است که در روش غیر مستقیم یا همان نیروگاهی از انرژی زمین به طور مستقیم بهره‌برداری نمی‌کنند، بلکه ابتدا آن را در نیروگاه‌های تولید برق به روش‌های گوناگون تبدیل به انرژی الکتریکی کرده و سپس از انرژی برق در مصارف خانگی

و تجاری و صنعتی استفاده می‌کنند، ولی در روش مستقیم از انرژی گرمایی زمین برای مصارف مورد نظر استفاده می‌کنند. (۴)

## ۲-۶-۱- استفاده غیر مستقیم یا نیروگاهی از انرژی زمین گرمایی

یکی از انواع نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، نیروگاه زمین گرمایی می‌باشد. اگر این نیروگاه‌ها را با سایر نیروگاه‌های انرژی‌های نو مقایسه کنیم، مشاهده می‌کنیم که نیروگاه‌های زمین گرمایی به دلیل بالا بودن ضریب دسترسی (۸۵٪ زمان در سال)، در جهان از اهمیت فراوانی برخوردارند و از این نوع نیروگاه‌ها می‌توان به عنوان بار پایه شبکه استفاده نمود. (۲۳)

یکی از انواع دسته بندی نیروگاه‌های زمین گرمایی بدین صورت است که بر اساس نوع سیال خروجی از چاه‌های تولیدی و نیز تجهیزات مورد استفاده در سیکل نیروگاه، آن‌ها را دسته بندی نمود. بر این اساس نیروگاه‌های زمین گرمایی به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

الف- نیروگاه‌هایی که سیال خروجی از چاه، بخار باشد.

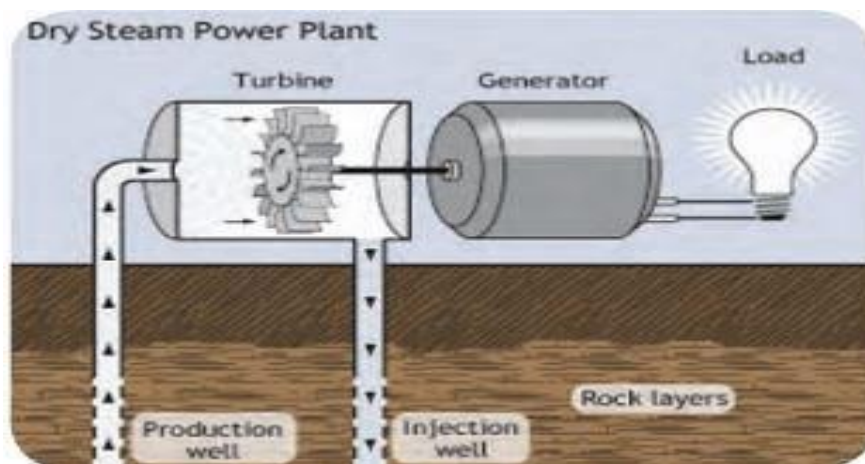
ب- نیروگاه‌هایی که سیال خروجی از چاه، بخار و مایع باشد.

ج- نیروگاه‌هایی که سیال خروجی از چاه، مایع داغ باشد.

همان‌طور که ذکر شد، این نوع دسته بندی بر اساس سیال خروجی از چاه تقسیم بندی شده است و هر نوع از نیروگاه‌های مذکور بر اساس تجهیزات در نظر گرفته شده در سیکل نیروگاه‌های دیگر متفاوت می‌باشند که توضیحات آن در زیر ارائه شده است. (۴)

### ۲-۳-۱-۱- نیروگاه با سیال کاملاً بخار<sup>۱</sup>

در این نوع نیروگاه‌ها سیال خروجی از چاه‌های تولیدی<sup>۲</sup> کاملاً بخار بوده و می‌توان بخار آن را مستقیماً به توربین منتقل نمود تا با فشار سیال، با به حرکت درآوردن توربین و با استفاده از ژنراتور تولید برق انجام گیرد. در انتها سیال خروجی به یک دستگاه صدا خفه کن<sup>۳</sup> منتقل می‌شود تا آن قسمت از سیال که به صورت بخار بوده به فضا منتقل شود. در انتها می‌توان از مایع گرم خروجی از توربین برای استفاده‌های مستقیم انرژی زمین‌گرمایی استفاده نمود یا آن را به داخل چاه‌های تزریق منتقل نمود.<sup>(۳)</sup>



شکل (۲-۴) نیروگاه زمین گرمایی با سیال کاملاً بخار (۳)

### ۲-۳-۱-۲- نیروگاه با سیال دوفازی<sup>۴</sup>

در این نوع نیروگاه، سیال خروجی از چاه‌های تولیدی به صورت دو فاز مایع و بخار می‌باشد. می‌توان نیروگاه‌های سیال دوفازی را بر اساس سیکل و تجهیزات مورد استفاده در آن به سه دسته تقسیم نمود: (۳)

---

1 - Dry Steam  
2 - Production Wells  
3 - Silencer  
4 - Steam Flash



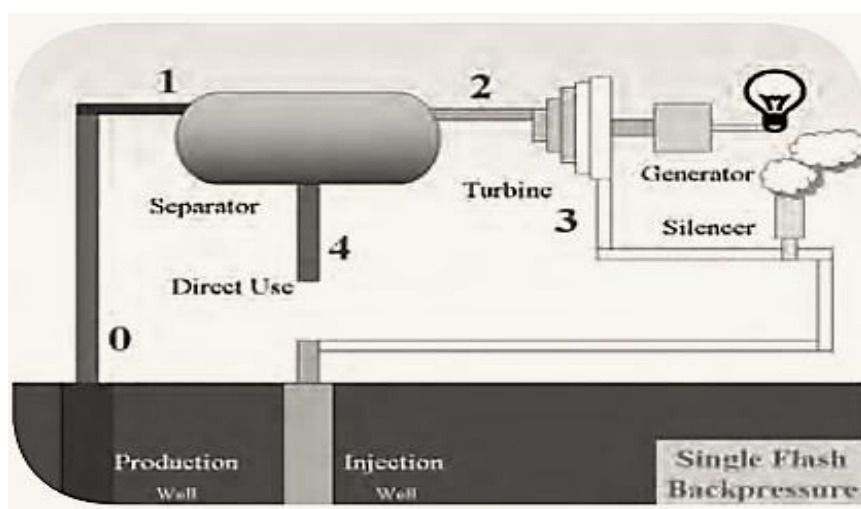
الف- نیروگاه بخار تک مرحله‌ای با خروجی اتمسفر<sup>۱</sup>

ب- نیروگاه بخار تک مرحله‌ای با کندانسور<sup>۲</sup>

ج- نیروگاه بخار دو مرحله‌ای<sup>۳</sup>

## ۲-۳-۱-۲-۱- نیروگاه بخار تک مرحله‌ای با خروجی اتمسفر

در این نوع نیروگاه سیال خروجی از چاه‌های تولیدی توسط خطوط انتقال لوله به داخل مخزن تفکیک‌کننده<sup>۴</sup> هدایت می‌شوند. در مخزن تفکیک‌کننده به دلیل افت فشار، قسمتی از سیال به بخار تبدیل شده و از قسمت خروجی بخار مخزن خارج می‌شود و به داخل توربین هدایت می‌شود. در این نیروگاه خروجی توربین به فضا منتقل می‌شود؛ در نتیجه میزان تولید توان در توربین و تولید برق در ژنراتور به فشار سیال و فشار جو بستگی خواهد داشت. درصد ظرفیت نصب شده این نوع نیروگاه‌ها به نسبت سایر نیروگاه‌های زمین‌گرمایی ۱٪، میزان انرژی تولیدی ۴٪ و تعداد واحدهای نیروگاهی ۵٪ می‌باشد. شکل شماتیک نیروگاه بخار تک مرحله‌ای با خروجی اتمسفر در شکل ۲-۵ آمده است. (۳)

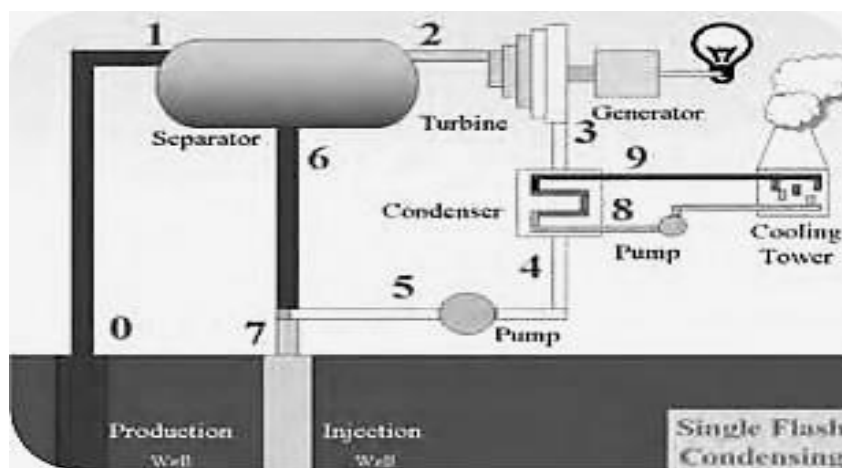


شکل (۲-۵) نیروگاه زمین گرمایی بخار تک مرحله‌ای با خروجی اتمسفر (۳)

- 1 - Single Flash Backpressure
- 2 - Single Flash Condensing
- 3 - Double Flash Condensing
- 4 - Separator

## ۲-۳-۱-۲-۲- نیروگاه بخار تک مرحله‌ای با کندانسور

تفاوت میان نوع نیروگاه‌های زمین‌گرمایی با نیروگاه بخار تک مرحله‌ای با خروجی اتمسفر در این است که در این نیروگاه، سیال خروجی از توربین به داخل کندانسور منتقل می‌شود تا توسط آب سردی که توسط برج خنک‌کن تأمین شده و با پمپ به داخل کندانسور هدایت می‌شود، ترکیب شود تا باعث کاهش فشار بعد از توربین شده و ضمن افزایش راندمان نیروگاه، میزان تولید برق افزایش یابد. درصد ظرفیت نصب شده این نوع نیروگاه‌ها به نسبت سایر نیروگاه‌های زمین‌گرمایی ۴۱٪، میزان انرژی تولیدی ۴۲٪ و تعداد واحدهای نیروگاهی ۲۷٪ می‌باشد. شکل ۲-۶ این نیروگاه را نشان می‌دهد. (۳)

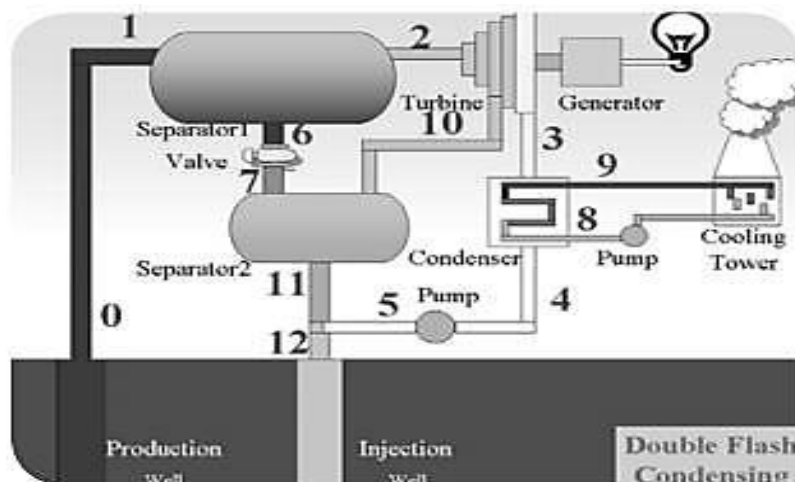


شکل (۲-۶) نیروگاه زمین گرمایی بخار تک مرحله‌ای با کندانسور (۳)

## ۲-۳-۱-۳-۲- نیروگاه بخار دو مرحله‌ای

در این نیروگاه زمین‌گرمایی به دلیل بالا بودن میزان دبی فاز مایع و نیز فشار آن، می‌توان با کاهش فشار مایع خروجی از مخزن تفکیک‌کننده اول در یک مخزن تفکیک‌کننده دیگر نسبت به افزایش دبی بخار اقدام نمود و بخار تولید شده در مخزن تفکیک‌کننده دوم را به داخل قسمت‌های کم فشار توربین فرستاد تا بتوان میزان توان تولیدی در توربین و در نتیجه میزان تولید برق در ژنراتور را افزایش داد. درصد ظرفیت نصب شده این نوع نیروگاه‌ها به

نسبت سایر نیروگاه‌های زمین گرمایی ۲۰٪، میزان انرژی تولیدی ۲۱٪ و تعداد واحدهای نیروگاهی ۱۲٪ می‌باشد. شماتیک نیروگاه بخار دو مرحله‌ای در شکل ۲-۷ آمده است. (۳)

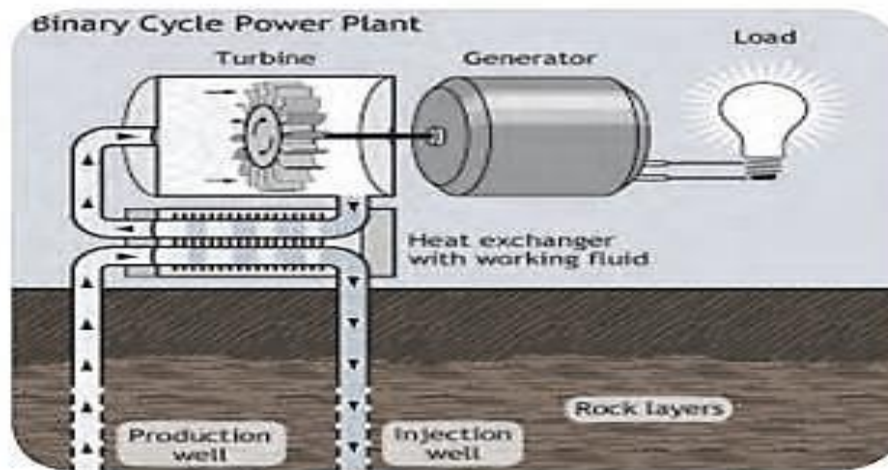


شکل (۲-۷) نیروگاه زمین گرمایی بخار دو مرحله‌ای (۳)

### ۲-۳-۱-۳- نیروگاه با سیال کاملاً مایع<sup>۱</sup>

در این نوع نیروگاه‌های زمین گرمایی سیال خروجی از چاه‌های زمین گرمایی به صورت مایع داغ و فاقد هرگونه بخار می‌باشد. در این حالت می‌توان با استفاده از یک مبدل حرارتی، حرارت موجود در سیال زمین گرمایی را به سیال دیگری مانند ایزوپنتان، ایزوبوتان و سایر مواد دیگری که با حداقل حرارت می‌توانند به بخار تبدیل شوند، منتقل نمود و با انتقال بخار این سیالات به وسیله لوله به توربین، نسبت به تولید توان و سپس تولید برق در ژنراتور اقدام نمود. نام دیگر این نوع نیروگاه‌های زمین گرمایی، نیروگاه‌های دوسیاله نیز می‌باشد. درصد ظرفیت نصب شده این نوع نیروگاه‌ها به نسبت سایر نیروگاه‌های زمین گرمایی ۱۱٪، میزان انرژی تولیدی ۹٪ و تعداد واحدهای نیروگاهی ۴۴٪ می‌باشد. شکل شماتیک نیروگاه با سیال کاملاً مایع داغ در شکل ۲-۸ آمده است.

1 - Binary



شکل (۲-۸) نیروگاه زمین گرمایی با سیال کاملاً مایع داغ (۳)

نکته قابل توجه این است که پیشرفته‌ترین نوع نیروگاه زمین گرمایی از نوع مایع داغ را می‌توان با نام نیروگاه کالینا نام برد که با حداقل دمای سیال ورودی (در حدود ۸۰ درجه سانتی گراد) می‌تواند برق تولید کند. در این نوع نیروگاه سیال عامل ترکیبی از آب و آمونیاک می‌باشد. در بعضی از نیروگاه‌های زمین گرمایی به منظور افزایش میزان تولید، نیروگاه‌های بخار تک مرحله‌ای و نیروگاه‌های دوسیاله را به صورت موازی یا سری مورد استفاده قرار می‌دهند. (۳)

## ۲-۶-۲- روش‌های استفاده مستقیم یا غیر نیروگاهی

از انرژی زمین گرمایی به طور مستقیم نیز می‌توان بهره‌برداری نمود؛ که در بعضی مراجع روش غیرنیروگاهی نامیده می‌شود. روش‌های استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی به شرح زیر است: استخرهای آبگرم، مراکز گلخانه‌ای، حوضچه‌های پرورش ماهی، ذوب برف، پیشگیری از یخبندان در معابر، کاربردهای صنعتی انرژی زمین گرمایی و پمپ حرارتی. (۴)

## ۲-۷- پمپ حرارتی

سیستمی است که قابلیت سرمایش یا گرمایش ساختمان را به اقتضای فصل دارد. این سیستم اساساً یک واحد تبرید است که می‌توان از طریق یک شیر مخصوص، مسیر سیال مبرد

را در آن تغییر داده و اواپراتور آن را به کندانسور یا بالعکس تبدیل نمود؛ بدین ترتیب هوا در عبور از روی کویلی که در تابستان نقش اواپراتور را بازی می کند، خنک شده و در زمستان با گذر از روی همین کویل که توسط شیر مخصوص تبدیل به کندانسور شده است، گرم می گردد. بدین صورت اواپراتور و کندانسور این سیکل تبرید به اقتضای فصل، به صورت متناوب نقش یکدیگر را ایفا خواهند کرد.

پمپ های حرارتی با توجه به سیکل حرارتی به انواع مختلفی تقسیم می گردند که عبارتند از:

۱- پمپ حرارتی با سیستم تراکمی

۲- پمپ حرارتی با سیستم جذبی

فرق پمپ حرارتی جذبی با پمپ حرارتی تراکمی در حالت کلی، در این است که پمپ حرارتی جذبی دارای دو نوع مبدل حرارتی بنام مولد و جاذب است که در واقع کار کمپرسور را انجام می دهند. (۶)

## ۲-۷-۱- تاریخچه پمپ حرارتی

اولین بار پمپ حرارتی توسط لرد کلوین<sup>۱</sup> در سال ۱۸۵۳ میلادی معرفی شد و توسط پیتر ریتینگر<sup>۲</sup> در سال ۱۸۵۵ توسعه پیدا کرد. اولین پمپ حرارتی زمین گرمایی در اواخر دهه ۴۰ طراحی شد. این تکنولوژی در دهه ۷۰ در سوئد بسیار محبوب گردید و بعد از آن به تدریج در سراسر جهان مورد پذیرش قرار گرفت. تا سال ۲۰۰۴ بیش از یک میلیون واحد پمپ حرارتی در سراسر جهان نصب گردید که ظرفیت آن ها ۱۲ گیگاوات حرارت بود. هر سال حدود هشتاد هزار واحد در آمریکا و همچنین بیست و هفت هزار واحد در سوئد نصب می شوند. (۲۰)

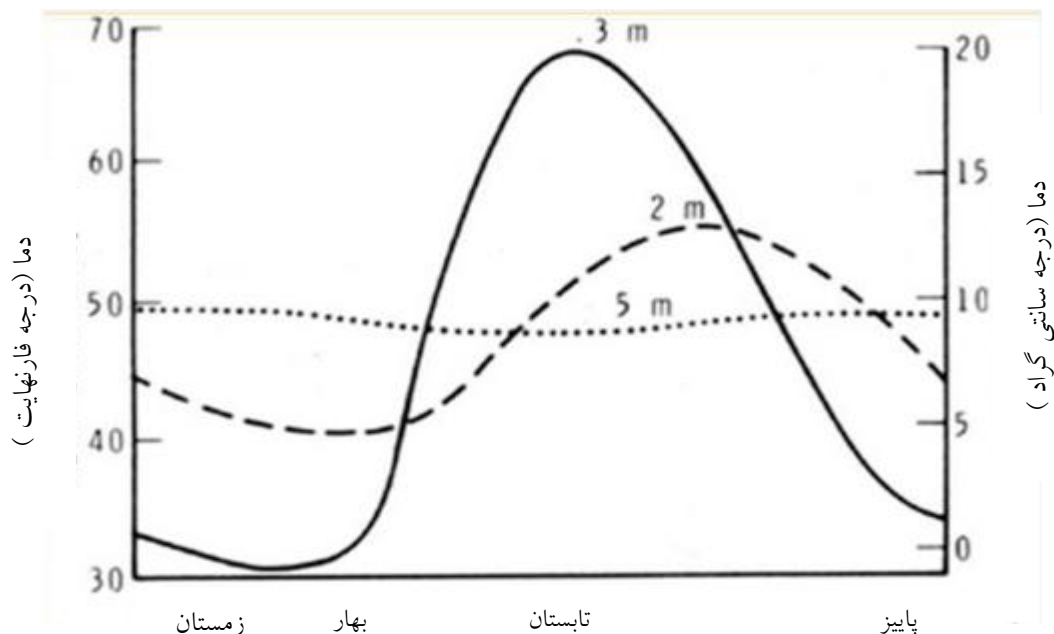
---

1 - Lord Kelvin

2- Peter Ritter Von Rittinger

## ۲-۷-۲- پمپ حرارتی زمین گرمایی

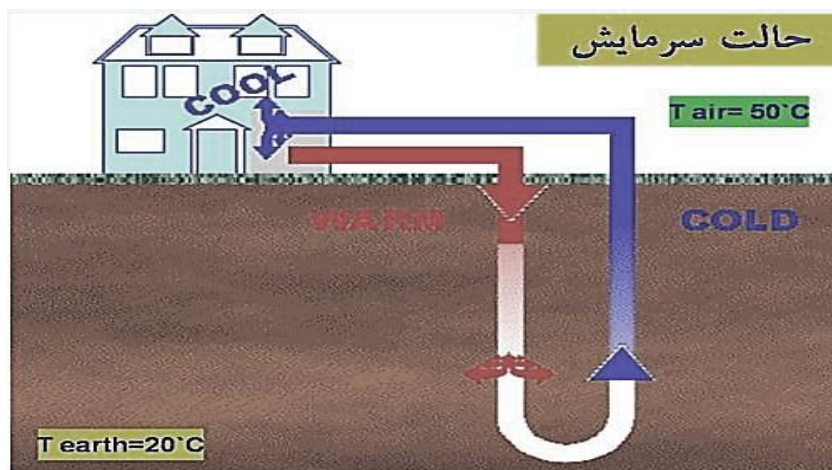
اگر منحنی تغییرات دمای زمین در اعماق را در طول یک سال رسم نماییم، مشاهده می‌شود که هرچه به عمق زمین نزدیکتر شویم، میزان تغییرات دمای زمین در طول سال دارای تغییرات کمتری خواهد بود. همانگونه که در شکل زیر مشاهده می‌شود، از حدود ۳ الی ۴ متری از سطح زمین تغییرات دما و نوسانات آن در طول یک سال بسیار ناچیز می‌باشد. این در حالی است که میزان تغییرات دمای هوا دارای نوسانات بسیار زیادی می‌باشد. شکل ۲- ۹ میزان نوسانات دمای خاک در طول یک سال را نشان می‌دهد.



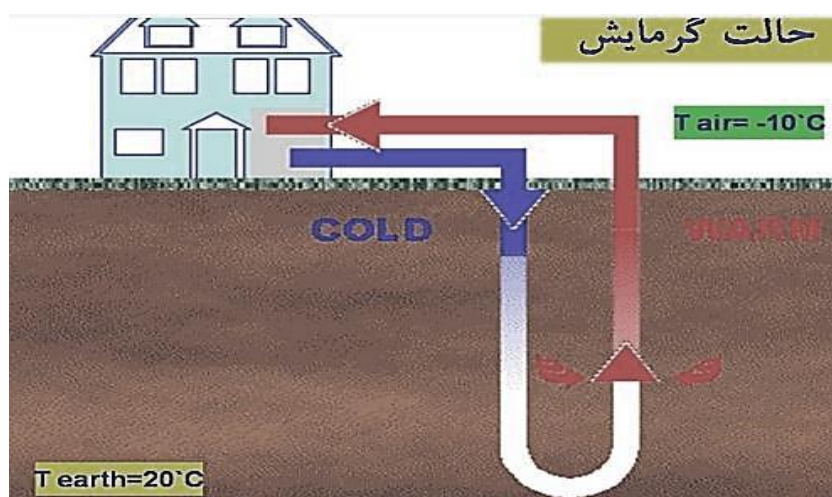
شکل (۲- ۹) نمودار میزان نوسانات دمای خاک در طول یک سال (۲۳)

این امر به این معنی است که زمین منبع خوبی برای تامین گرمایش در ماه‌های سرد سال است و می‌توان از حرارت زمین برای گرمایش ساختمان‌ها استفاده نمود و همچنین از آن می‌توان برای تامین سرمایش در ماه‌های گرم سال استفاده بهینه نمود. (۲۳)

فرآیند مکانیکی این دستگاه به این صورت است که در فاز سرمایش هوای گرم داخل اتاق از طریق مکنده وارد دستگاه شده و پس از سرد شدن به داخل اتاق دمیده می‌شود. در داخل دستگاه، حرارت به مبرد منتقل شده و پس از عبور مبرد از سیکل تبرید، حرارت موجود در مبرد توسط یک مبدل دو لوله‌ای به آب داخل کویل زمینی که در داخل لوله‌های پلی اتیلنی نصب شده در داخل زمین است منتقل می‌شود. بالعکس در فاز گرمایش با استفاده از حرارت موجود در زمین، گرمای مورد نیاز ساختمان تامین می‌شود. شکل ۲-۱۰ حالت سرمایش و شکل ۲-۱۱ حالت گرمایش یک ساختمان با استفاده از انرژی زمین گرمایی را نشان می‌دهد.

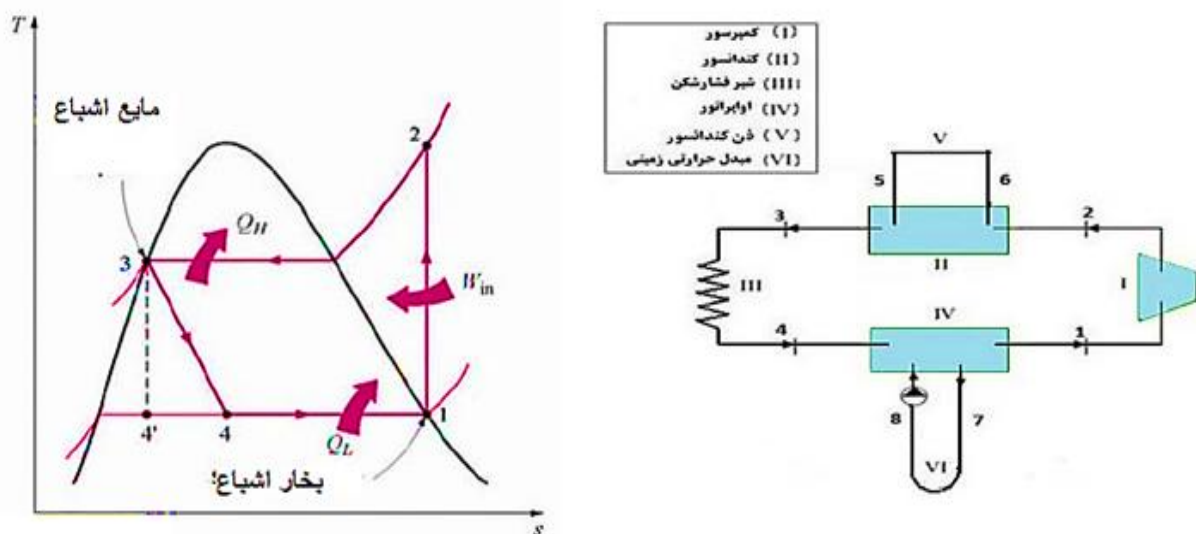


شکل (۲-۱۰) فرایند سرمایش پمپ حرارتی زمین گرمایی (۲۳)



شکل (۲-۱۱) فرایند گرمایش پمپ حرارتی زمین گرمایی (۲۳)

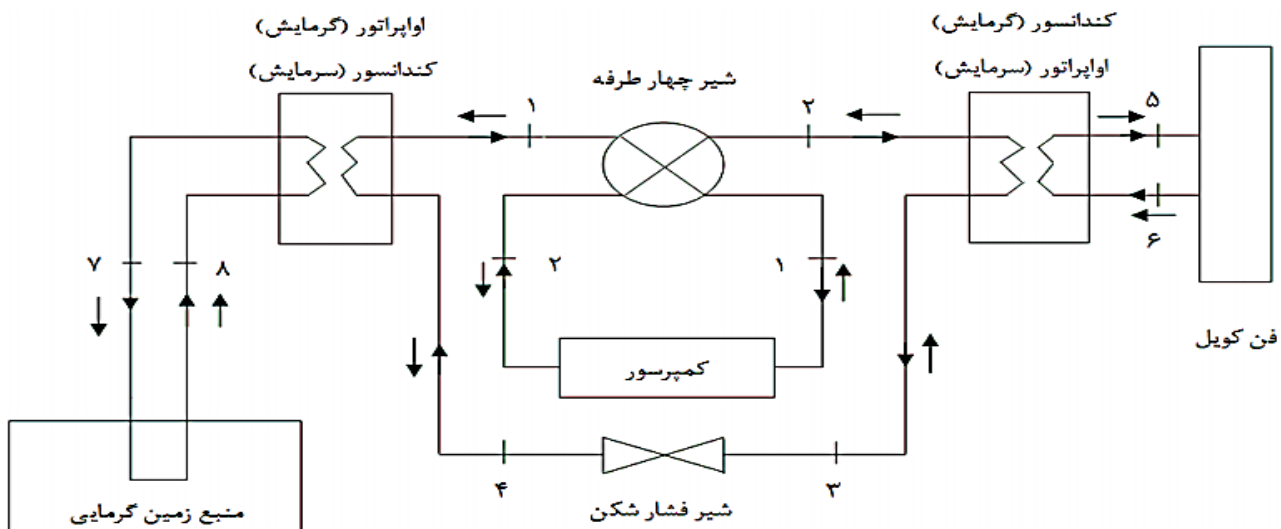
سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی از دو قسمت کوئل زمینی و دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی تشکیل شده است که تبادل حرارتی بین دستگاه و زمین از طریق کوئل زمینی انجام می‌شود. شماتیک یک پمپ حرارتی زمین گرمایی و نمودار T-S آن در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است. اجزای اصلی سیستم عبارتند از: کمپرسور، کندانسور، شیر فشارشکن و اواپراتور (۲۳)



شکل (۲-۱۲) سیکل پمپ حرارتی زمین گرمایی و نمودار T-S (۴)

اجزای سیستم همان طور که در شکل مشخص است به یک مبدل متصل می‌باشند. گرمای زمین از طریق سیال گردش داخل مبدل حرارتی، به اواپراتور منتقل شده و اواپراتور از این گرما استفاده نموده و مبرد را تبخیر می‌کند. مبرد بخار شده وارد کمپرسور شده و تا دما و فشار بالاتری متراکم می‌گردد. مبرد سپس وارد کندانسور شده و در آنجا چگالش یافته و گرمای مفیدی که انتظار داریم را آزاد می‌کند. شیر فشارشکن مبرد را کاهش داده و طبیعتاً دمای آن نیز کاهش پیدا می‌کند. مبرد به اواپراتور بر می‌گردد و پروسه تکرار می‌گردد. (۲۲) شکل ۲-۱۳ شماتیک پمپ حرارتی زمین گرمایی در حالت گرمایش و سرمایش را نشان می‌دهد.





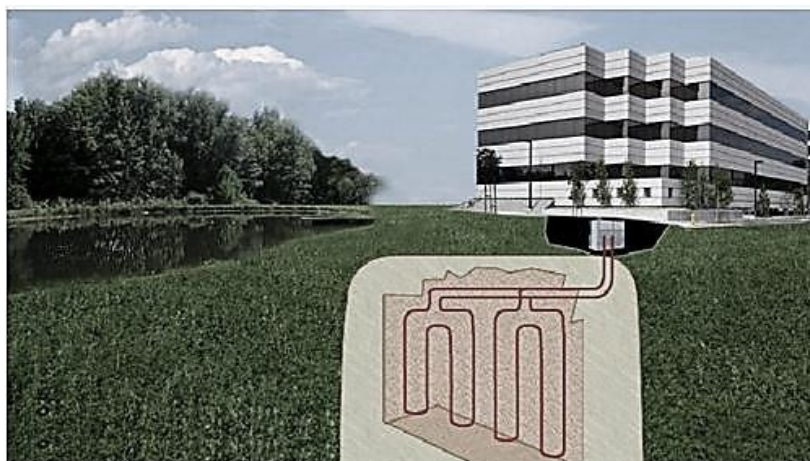
شکل (۲-۱۳) شماتیک پمپ حرارتی زمین گرمایی در حالت‌های گرمایش و سرمایش (۷)  
(فلش‌های روی مسیر نشانگر گرمایش و خارج مسیر نشانگر سرمایش هستند.)

## ۲-۷-۳- انواع کویل زمینی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی

کویل زمینی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی، مبدل حرارتی نیز نامیده می‌شود که به شرح انواع آن می‌پردازیم:

### ۲-۷-۳-۱- سیکل بسته عمودی

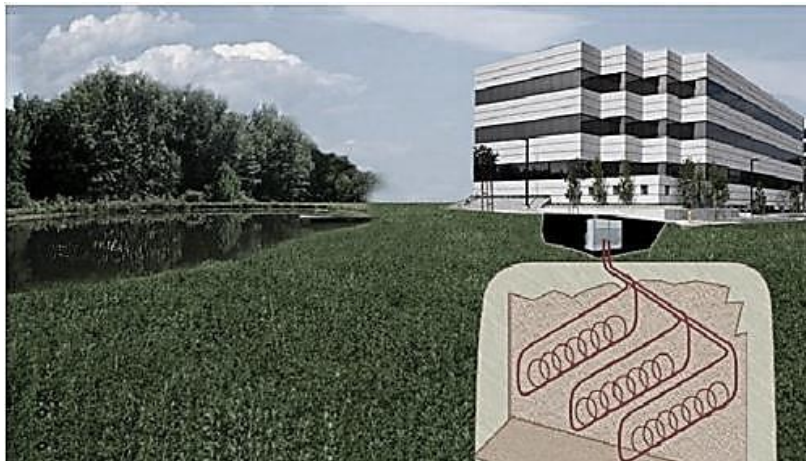
معمولی‌ترین سیکل استفاده شده در پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی سیکل بسته عمودی است. برای نصب این سیکل ابتدا محل حفاری مشخص می‌شود، سپس عمق چاه یا چاه‌های مورد نیاز محاسبه می‌شود، که این مترآژ بر اساس دمای زمین، جنس خاک، وجود چشمه‌های آبگرم زیرزمینی و دمای آن‌ها، دمای مورد نیاز برای پمپ حرارتی و تامین گرمایش و سرمایش فضاها مورد نیاز بدست می‌آید. سیال چرخشی به صورت بسته در داخل مبدل گردش پیدا می‌کند و حرارت را از زمین به پمپ حرارتی منتقل می‌کند. معمولاً این سیکل به صورت U شکل نصب می‌شود و از این رو این سیکل را با نام سیکل بسته عمودی U شکل نیز شناخته می‌شود. شکل ۲-۱۴ شماتیک کویل زمینی بسته عمودی را نشان می‌دهد. (۴)



شکل (۲-۱۴) کویل زمینی بسته عمودی (۴)

## ۲-۳-۷-۲- سیکل بسته افقی

این سیکل به فضای قابل ملاحظه‌ای برای نصب نیاز دارد. سیال گردش در مبدل چرخش داشته و حرارت را از زمین به پمپ حرارتی منتقل می‌کند. این سیکل افقی و بسته نصب می‌شود. شکل ۲-۱۵ شماتیک کویل زمینی بسته افقی را نشان می‌دهد. (۴)

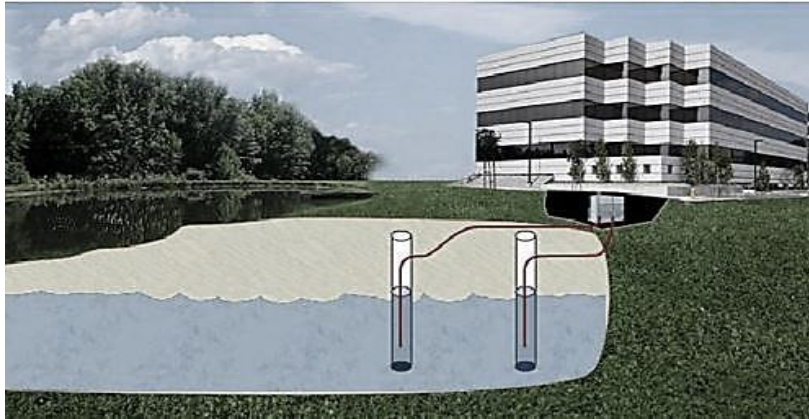


شکل (۲-۱۵) کویل زمینی بسته افقی (۴)

## ۲-۳-۷-۳- سیکل باز

اگر در نزدیکی فضای مورد نیاز، چشمه آبگرم وجود داشته باشد، می‌توان از سیکل باز بهره برد. در این سیکل، سیال که همان چشمه آبگرم است؛ از چاه برداشت خارج می‌شود و به

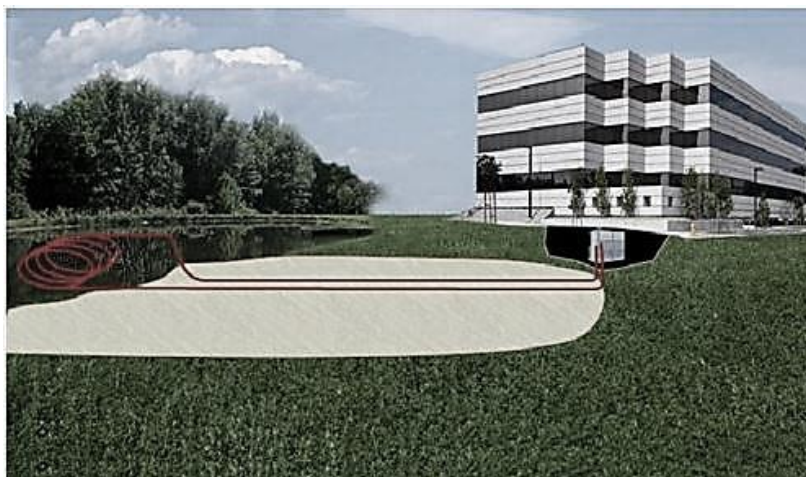
پمپ حرارتی منتقل می‌شود و مابقی آب از طریق چاه تزریق، دوباره به چشمه باز می‌گردد و پروسه دوباره تکرار می‌شود. شکل ۲-۱۶ شماتیک کوئل زمینی باز را نشان می‌دهد. (۵)



شکل (۲-۱۶) کوئل زمینی باز (۴)

## ۲-۷-۳-۴- سیکل دریاچه

اگر در نزدیکی فضای مورد نیاز، آبگرم سطحی وجود داشته باشد؛ می‌توان از این سیکل استفاده کرد. این سکل از نوع باز و سیال گردش نیز، آب سطحی یا دریاچه است. شکل ۲-۱۷ شماتیک کوئل زمینی دریاچه را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱۷) کوئل زمینی دریاچه (۴)

مقدار طول لوله کویل زمینی با توجه به بار برودتی و حرارتی ساختمان محاسبه می‌شود؛ نوع و چیدمان کویل زمینی بر اساس میزان رطوبت، میزان بارش برف و باران، ضریب انتقال حرارت خاک، عمق آب‌های زیرزمینی و ... انتخاب خواهد شد. (۴)

## **۲-۷-۴- انواع پمپ حرارتی زمین گرمایی بر اساس سیال**

پمپ حرارتی زمین گرمایی بر اساس سیالی که گرمایش و سرمایش فضای ساختمان را تأمین می‌کند، به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

### **۲-۷-۴-۱- پمپ حرارتی آب به آب**

اگر دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی از نوعی باشد که آب را گرم و سرد کند، اصطلاحاً به دستگاه آب به آب گفته می‌شود. در این حالت دستگاه پس از سرد یا گرم نمودن آب، از طریق پمپ سیرکولاتور آب را به فن کویل‌ها منتقل می‌نماید و آب گرم و سرد از طریق فن کویل، گرمایش و سرمایش محیط داخل ساختمان را تأمین می‌نماید. (۲۱)

### **۲-۷-۴-۲- پمپ حرارتی آب به هوا**

اگر تأمین گرمایش و سرمایش محیط ساختمان از طریق هوا صورت پذیرد، اصطلاحاً پمپ حرارتی زمین گرمایی از نوع آب به هوا می‌باشد. در این صورت هوای داخل ساختمان از طریق کانال‌های برگشت هوا به داخل دستگاه پمپ حرارتی منتقل شده و پس از عبور از اواپراتور از طریق فن، هوا به داخل کانال‌های هوادهی منتقل می‌شود.

به طور کلی می‌توان گفت هزینه دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی از نوع آب به آب کمتر از نوع آب به هوا بوده ولی عموماً هزینه تهیه فن کویل‌ها در مقایسه با هزینه کانال‌کشی بیشتر خواهد بود؛ در نتیجه برای تمامی پروژه‌ها می‌بایست نوع دستگاه با دقت از نظر اقتصادی انتخاب شود. همچنین رعایت شرایط آسایش استفاده کننده از دستگاه نیز باید در نظر گرفته شود. (۲۱)

## ۲-۷-۵- مراحل اجرای پروژه‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی

اجرای پروژه سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی برای تامین گرمایش فضاها دارای سه

مرحله می‌باشد که به شرح زیر است:

### ۲-۷-۵-۱- جمع آوری اطلاعات

- جمع آوری اطلاعات آب و هوا شامل دمای هوا، میزان رطوبت، میزان تابش خورشید و میزان وزش باد برای یک مدت مشخص
- مشخص نمودن نوع کاربری ساختمان و مدت بهره برداری در شبانه روز
- تهیه نقشه ساختمان
- جمع آوری اطلاعات زمین شامل: میزان رطوبت خاک و تعیین جنس خاک (۴)

### ۲-۷-۵-۲- طراحی

- محاسبه بار حرارتی ساختمان
- انتخاب تعداد و ظرفیت دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی
- انتخاب نوع دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی از نوع آب به آب یا آب به هوا
- طراحی کانال انتقال هوا ( در نوع آب به هوا) یا خطوط انتقال آب به فن کویل ها ( در نوع آب به آب)
- طراحی کویل زمینی از نوع سیکل باز، بسته عمودی، بسته افقی یا دریاچه
- محاسبه متراژ لوله و قطر آن
- طراحی و انتخاب پمپ‌های سیرکولاتور
- طراحی چیدمان محل موتورخانه پمپ حرارتی زمین گرمایی (۴)

### ۲-۷-۵-۳- اجرا

- حفر چاه‌های برداشت آب و تزریق آن برای سیکل باز، یا حفر چاه‌های سیکل بسته عمودی و یا حفر کانال برای سیکل بسته افقی

- نصب لوله کوئل زمینی
- پر نمودن کوئل زمینی از خاک
- نصب دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی و اتصال آن به کوئل زمینی
- نصب کانال یا لوله‌های فن کوئل به دستگاه
- نصب مدار الکترونیک به برق ساختمان
- پر نمودن آب کوئل زمینی در سیکل بسته یا تست آب‌دهی چاه در سیکل باز
- اندازه گیری میزان دبی کوئل زمینی
- بهره برداری از دستگاه (۴)

## ۲-۷-۶- مزیت‌های استفاده از پمپ حرارتی زمین گرمایی

- قابلیت تامین همزمان گرمایش و سرمایش
- امکان نصب سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی در تمامی مناطق و اقلیم‌ها
- کاهش‌دهنده میزان رطوبت و تامین کننده سرمایش به طور همزمان در مناطق دارای رطوبت زیاد
- کاهش تولید آلودگی صوتی
- امکان استفاده از سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی برای مناطق دور از شبکه خط لوله انتقال گاز
- امکان استفاده از سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی برای تامین آب گرم و سرد
- امکان انتقال هوای گرم و سرد با استفاده از کانال
- امکان استفاده از سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی در مراکز پرورش دام، طیور، ذوب برف معابر و فرودگاه‌ها و صنایع مختلف
- سازگاری با محیط زیست
- هزینه خرید و نصب پمپ حرارتی زمین گرمایی نسبت به سایر انرژی‌ها به خصوص سوخت‌های فسیلی بسیار بالاتر است؛ اما مصرف برق آن بسیار کمتر از سیستم‌های رایج و معمول است. این سیستم قابلیت تامین همزمان گرمایش و سرمایش و

همچنین آب مصرفی گرم و سرد ساختمان‌ها را دارد. این سیستم در مناطق سردسیر به دلیل بهره‌گیری از گرمای اعماق زمین اهمیت ویژه اقتصادی دارد. به این نکته هم باید اشاره کرد که با نصب پمپ حرارتی زمین گرمایی به صورت متمرکز برای چندین ساختمان، می‌توانیم هزینه‌های نصب و راه‌اندازی اولیه آن‌ها را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش داد و به طبع هزینه برق مصرفی آن‌ها را نیز کاهش خواهد یافت. به طور کلی بر اساس تحقیقات به عمل آمده، در دراز مدت سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی بسیار کم هزینه‌تر از سیستم‌های کنونی است و توجیه اقتصادی دارد. (۸)

## ۲-۷-۷- مزیت‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی از دیدگاه پدافند غیر عامل

پدافند غیرعامل عبارت است از مجموعه اقدامات غیر مسلحانه‌ای که بکارگیری آن‌ها موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، ارتقاء پایداری ملی، تداوم فعالیت‌های ضروری و تسهیل مدیریت بحران در برابر تهدیدات و اقدامات نظامی دشمن می‌گردد، که استتار، اختفاء، فریب، موازی سازی، تفرقه و پراکندگی از اصول پدافند غیرعامل می‌باشد که از شناسایی تاسیسات و تجهیزات از دید سنجنده‌های دشمن جلوگیری می‌کند. (۹)

پدافند غیرعامل به عنوان یکی از موثرترین و پایدارترین روش‌های دفاع در مقابل تهدیدات همواره مدنظر اکثر کشورهای جهان قرار داشته است و حتی کشورهایی مانند آمریکا و روسیه با وجود برخورداری از توان بالای نظامی به این موضوع به صورت ویژه‌ای توجه داشته‌اند. (۱۰)

اکنون به مزیت‌های پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی از منظر پدافند غیرعامل می‌پردازیم که عبارتند از:

**الف) موازی سازی:** تجهیزات و تاسیسات حیاتی همواره از اولین مقاصد دشمن برای نابودی و از کار انداختن است تا بتواند در ادامه فعالیت اختلال ایجاد نماید و یا حتی در مواقعی تمامی فعالیت‌ها را از کار بیندازد در صورت قطع برق و گاز، می‌توان با بهره‌گیری از سیستم جایگزین برای ادامه فعالیت‌ها در زمان بحران بهره برد. یکی از بهترین گزینه‌ها، سیستم پمپ

حرارتی زمین گرمایی است که می‌توان با استفاده از این سیستم به منظور تامین انرژی پایدار در زمان بحران یا تهدید مانند جنگ استفاده کرد. این سیستم با بهره‌گیری از انرژی اعماق زمین و بدون وابستگی به گاز شهر، می‌تواند گرمایش اماکن حساس و مهم را تامین کند.

**ب) استتار، اختفاء و فریب:** دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی قابلیت نصب در اعماق زمین را دارد. با ایجاد فضاهایی امن به عنوان موتورخانه در اعماق زمین، می‌توان سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی را از دید سنجنده‌های دشمن در امان نگاه داشت. همچنین با هم‌رنگ کردن تجهیزات آن با محیط اطراف و ... می‌توان از سه اصل مهم پدافند غیر عامل که شامل استتار، اختفاء و فریب می‌باشد، استفاده نمود.

**ج) تفرقه و پراکندگی:** با پراکندگی تاسیسات و تجهیزات ضروری و حساس می‌توان خسارات ناشی از حملات دشمن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. با نصب سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی در محل‌هایی خارج از ساختمان مورد نظرو به صورت غیر متمرکز، شناسایی توسط سنجنده‌های دشمن دچار مشکل می‌گردد. در صورت نصب چندین پمپ حرارتی زمین گرمایی در چند محل مختلف به منظور گرمایش و یا سرمایش یک ساختمان بزرگ، می‌توان از آسیب‌های ناشی از حملات دشمن تا حدود زیادی کاست و در صورت آسیب دیدن یک یا چند پمپ حرارتی، مابقی دستگاه‌ها در حال فعالیت می‌باشند.

## **۲-۸- وضعیت پمپ حرارتی زمین گرمایی در ایران**

در ایران پمپ حرارتی زمین گرمایی در پنج شهر مختلف آب و هوایی که دارای اقلیم مختلف هستند، نصب و راه اندازی شده است. در تمامی این شهرها میزان مصرف برق پمپ حرارتی در حالت سرمایش در مقایسه با یک کولر گازی بین ۵۰ تا ۷۰ درصد کاهش داشته و در حالت گرمایش در مقایسه با بخاری برقی بین ۷۰ تا ۸۰ درصد مصرف کاهش مصرف برق

داشته است. (۴)



## ۲-۸-۱- پمپ حرارتی زمین گرمایی در مشکین شهر

در ایران مطالعه گسترده بر روی پمپ حرارتی زمین گرمایی از سال ۱۳۸۰ در معاونت امور انرژی آغاز گردید که این مطالعات منجر به تغییر یک کولر گازی به پمپ حرارتی زمین گرمایی گردید. این دستگاه در سایت زمین گرمایی مشکین شهر نصب و راه اندازی شده است و کویل زمینی آن که به صورت افقی است، باعث شده تا میزان مصرف برق دستگاه مذکور تا اندازه ۳۰٪ کاهش یابد. (۴)

## ۲-۸-۲- پمپ حرارتی زمین گرمایی در طالقان

جهت تکمیل نمودن این مطالعات، سازمان انرژی های نو ایران به کمک شرکت آساد صنعت، چهار دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی تهیه و آن را در آزمایشگاه کولر گازی "آزمایشگاه صرفه جویی ملی انرژی" مورد آزمایش قرار داد که منجر به به محاسبه راندمان (COP) برابر ۴/۵ و مصرف برق ۷۵۰ وات گردید که در مقایسه با بهترین کولر گازی موجود در ایران که دارای راندمان کمتر از ۵/۲ با مصرف ۲۸۰۰ وات می باشد، از میزان قابل توجه کاهش مصرف برق برخوردار است.

پس از آن جهت نمایش واقعی عملکرد و کاهش مصرف برق واقعی، یک دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی در سایت طالقان جهت مطالعه دقیق و برداشت اطلاعات میزان کاهش مصرف برق، دما و رطوبت هوا و خاک نصب گردید. برای این منظور مدارهای مختلف لوله پلی اتیلن ۲ اینچ کویل زمینی طراحی و در داخل ۹ حلقه چاه به عمق ۱۵ متر و به قطر ۸۰ سانتی متر که در شکل ۲-۱۸ نشان داده شده است، نصب شد.



شکل (۲-۱۸) حلقه‌های ۹ گانه به عمق ۱۵ متر و قطر ۸۰ سانتی متر با فاصله ۳ متر از هم (۴)

هدف حفاری این تعداد چاه مطالعه و تحقیق بر روی اثرات چیدمان‌های مختلف و سیکل‌های مختلف کویل زمینی می‌باشد. همچنین جهت مطالعه بهتر بر روی انتقال حرارت داخل زمین تعداد ۱۲ سنسور اندازه‌گیری دما در چاه‌ها نصب شده تا همزمان با برداشت اطلاعات میزان مصرف برق، دما و رطوبت داخل اتاق، بتوان دمای زمین و میزان حرارت تبادل شده بین سیال داخل کویل زمینی و خاک را نیز اندازه‌گیری نمود. نتیجه مطالعات بیانگر عملکرد مناسب سیستم در فصل گرما و سرما بوده و در مقایسه با یک کولر گازی مشابه ۶۵ درصد کاهش مصرف برق نشان می‌دهد. (۴)

## ۲-۸-۳- پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در رشت

به منظور بررسی عملکرد دستگاه در شرایط شمالی کشور، شهر رشت به عنوان نمونه انتخاب و سومین پمپ حرارتی در آن نصب و راه‌اندازی شد. به دلیل بالا بودن سطح آب در شهر رشت و مشکلات حفر چاه، از کویل عمودی-افقی استفاده شد. به همین منظور در پست شهید سیادت‌ی دو کانال به عمق ۵ متر و در آن‌ها لوله‌های پلی اتیلنی با قطر ۲ اینچ به طول ۱۰۰ متر به صورت عمودی و افقی با فاصله ۳ متری و ۱/۵ متری نصب گردید. علاوه بر کویل عمودی-افقی، به منظور مطالعه کویل‌های مختلف از دو آرایش افقی دیگر نیز استفاده شده است که قابل انتخاب است. در این سایت برای اولین بار از یک آبگرمکن ۳۰۰ لیتری به

صورت سری با کویل زمینی استفاده و مورد تست قرار گرفت. نتیجه تست عملکرد مناسبی را برای سیستم ارائه داد به گونه‌ای که به کمک سیستم نصب شده ضمن خنک‌کاری فضای اداری به وسعت ۴۵ متر مربع با ارتفاع ۴/۵ متر، با مصرف برقی در حدود ۸۵۰ وات قادر به تامین آب گرم مورد نیاز مجموعه با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و با حجم ۳۰۰ لیتر گردید. (۴)

## **۲-۸-۴- پمپ حرارتی زمین گرمایی در اهواز**

استان خوزستان از جمله مناطقی از کشور است که در ماه‌های گرم به دلیل داشتن رطوبت و دمای بالا از کولر گازی بسیار استفاده می‌شود. در شهر اهواز نیز یک دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی نصب گردید و کویل زمینی این سیستم از نوع مارپیچ با طول ۲۰۰ متر در کانالی به طول ۷ متر نصب گردید. در زمستان ۱۳۸۶ این سیستم در حالت گرمایشی راه‌اندازی شد و با مصرف برق ۸۵۰ وات، گرمای مورد نیاز اتاقی به مساحت ۳۵ متر مربع را تامین نمود. هم اکنون و با شروع فصل گرما سیستم در حالت سرمایش با مصرف برق ۹۰۰ وات در حال کار می‌باشد و توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری تمامی پارامترهای مهم اندازه‌گیری می‌شود و اطلاعات بدست آمده نشان از موفقیت این سیستم دارد. (۴)

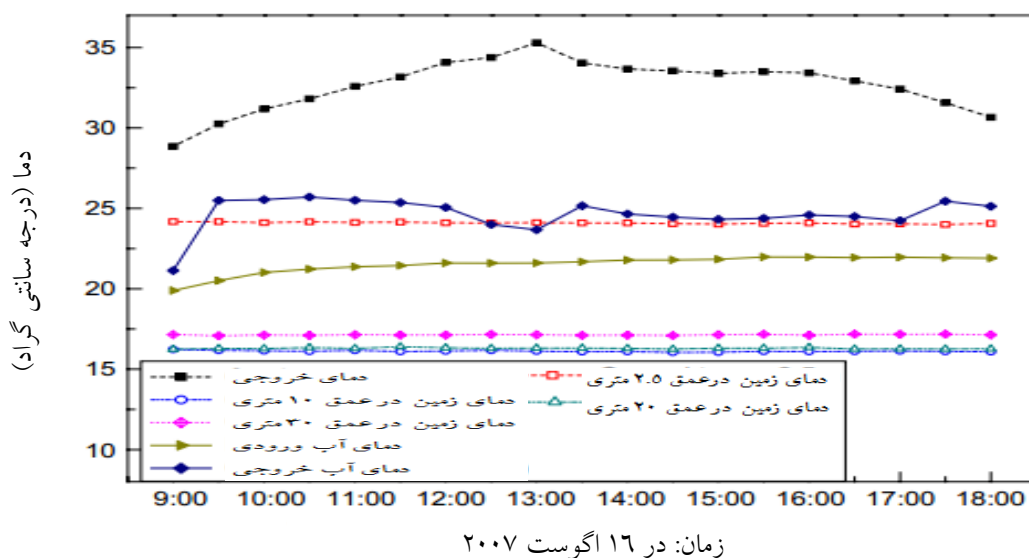
## **۲-۸-۵- پمپ حرارتی زمین گرمایی در بندر عباس**

در شهر بندر عباس و در کتابخانه اداره جهاد کشاورزی استان هرمزگان نیز یک پمپ حرارتی زمین گرمایی نصب شده است. شهر بندر عباس نیز به دلیل گرما و رطوبت بالا و نزدیکی به دریا انتخاب گردید تا تاثیر این ویژگی‌های مهم بر عملکرد پمپ حرارتی زمین گرمایی بررسی و مورد مطالعه قرار گیرد. کویل این سیستم به صورت افقی و مارپیچ است. (۴)

## **۲-۹- مروری بر مقالات پمپ حرارتی زمین گرمایی**

برای درک موضوع و انتخاب مسیر صحیح برای انجام پایان نامه، چندین مقاله بین‌المللی مطالعه و مورد بررسی قرار گرفت. به طور خلاصه چکیده‌ای از برخی از این مقاله‌ها بیان می‌شود:

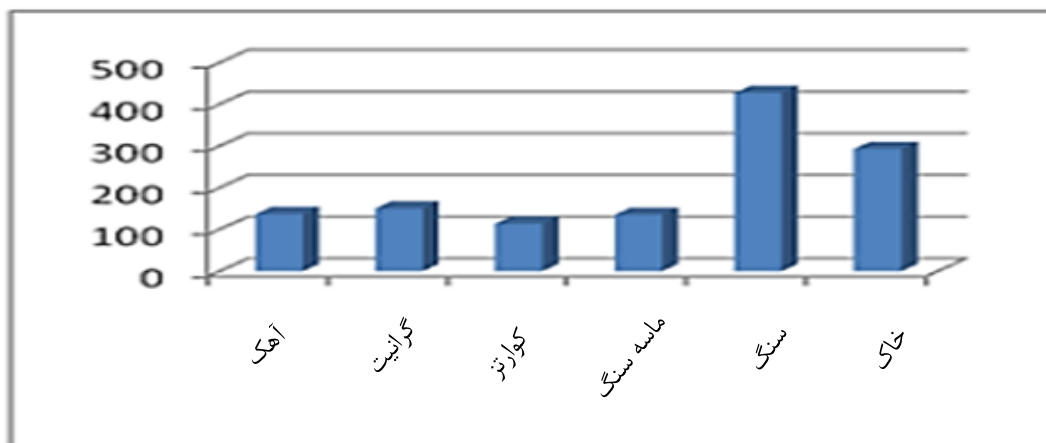
هانگ و همکاران (۱۹) عملکرد سیستم برودتی پمپ حرارتی زمین گرمایی در ساختمان یک مدرسه در کشور کره جنوبی در تابستان ۲۰۰۷ بررسی کرده‌اند. کوئل زمینی این سیستم از نوع بسته عمودی U شکل بوده و از ده پمپ حرارتی استفاده شده است. برای این کار ۲۰ گمانه با عمق ۱۷۵ متر حفر شده بود. در این سیستم ابتدا از هوا به عنوان منبع گرم استفاده شد و در حالت دوم از زمین به عنوان منبع گرم استفاده شد و در نهایت ضریب عملکرد هر دو حالت را بدست آوردند و مشخص گردید که ضریب عملکرد هوا (به عنوان منبع گرم)  $3/4$  و ضریب عملکرد زمین (به عنوان منبع گرم)  $5/9$  می‌باشد. بنابراین راندمان سیستم  $74\%$  بیشتر شده است، که نشان دهنده کارآمد بودن سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی می‌باشد. بالاتر بودن ضریب عملکرد سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی به دلیل پایین بودن دمای کندانسور آن است که باعث کاهش مصرف نیرو در کمپرسور می‌شود. این حاکی از آن است که سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی مزایای بالقوه بیشتری نسبت به سیستم‌های خنک کننده متداول ساختمان‌ها، چه از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و چه از نظر هزینه‌های اقتصادی است. شکل ۲-۱۹ دمای ورودی و خروجی مبدل حرارتی و هوا در آگوست در کشور کره جنوبی را نشان می‌دهد. این شکل مزیت پمپ حرارتی زمین گرمایی را نشان می‌دهد که در اعماق زمین دمای خاک در طول سال دارای نوسانات بسیار کمتری نسبت به هوا است.



شکل (۲-۱۹) دمای ورودی و خروجی مبدل حرارتی در ماه آگوست (۱۹)

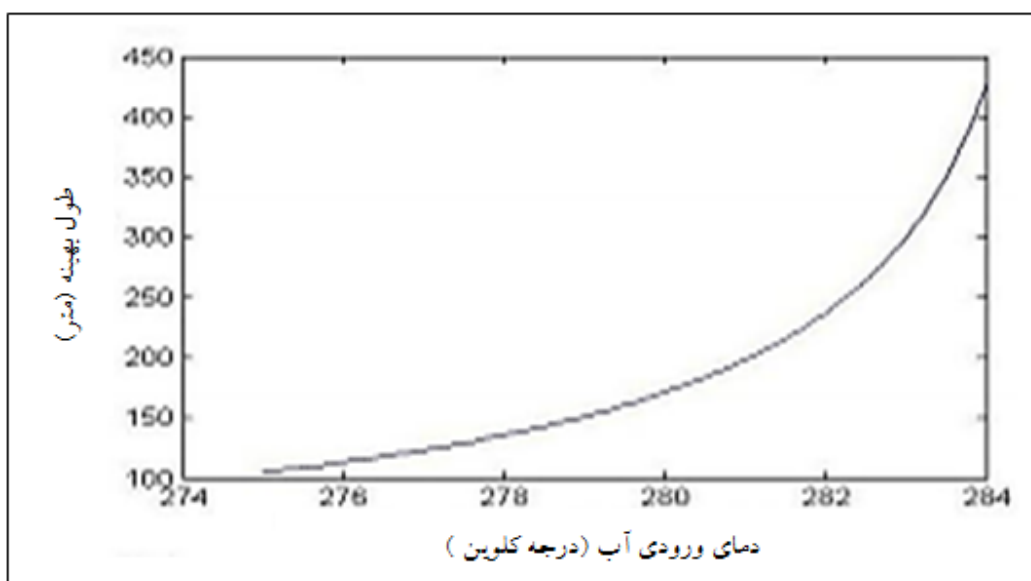
هیپاسلی (۱۸) به تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی برای گرم کردن یک ساختمان در کشور ترکیه در سال ۲۰۰۵ می پردازد. کویل زمینی مورد بررسی، سیکل بسته عمودی U شکل می باشد و مبرد مورد استفاده در سیستم R-22 و دمای آب ورودی به دستگاه ۱۵/۳۸ درجه سانتی گراد می باشد. در این مقاله آنالیز انرژی و انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی مورد نظر ارائه شده است. در نهایت ضریب عملکرد سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی ۲/۸۵ و راندمان انرژی ۶۶/۶٪ بدست آمد. به طور تقریبی و بر اساس تجربه، عمق چاه مورد نیاز به منظور تامین گرمایش فضاها با سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی با کویل زمینی بسته U شکل، ۱۱ تا ۱۳ متر برای هر کیلووات ظرفیت دستگاه بوده است؛ در حالی که در این تحقیق، عمق چاه مورد نیاز برای فاز گرمایش این سیستم، ۱۱/۷۱ متر برای هر کیلووات ظرفیت دستگاه بدست آمد. در ادامه اتلاف انرژی اجزای سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی محاسبه شد و مشخص گردید که بیشترین اتلاف انرژی به ترتیب در کمپرسور، اواپراتور، شیر فشارشکن و کندانسور می باشد.

سیاوشی و همکاران (۲۲) یک پمپ حرارتی زمین گرمایی با کویل زمینی بسته عمودی U شکل به عنوان یک سیستم سرمایشی در شهر کرمان به صورت تئوری بررسی کرده اند. مبرد استفاده شده در این مقاله R-134a می باشد و جنس خاک مورد بررسی ماسه و سنگ می باشد. روابط انرژی و انرژی بر این پمپ حرارتی اعمال شد و نتایج آن بر اساس شرایط آب و هوایی شهر کرمان، اثرات خاک و سنگ و دمای ورودی به دستگاه ارائه شد. در نهایت نتایج نشان می دهد که در شهر کرمان با توجه به نوع خاک، بالاترین انرژی از دست رفته در قسمت فن کندانسور می باشد. راندمان انرژی ۴۰/۵٪ و ضریب عملکرد دستگاه نیز ۳/۷۰۷ بدست آمد. شکل ۲-۲۰ اتلاف انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی برای جنس های مختلف خاک را نشان می دهد، همان طور که مشخص است بیشترین اتلاف انرژی مربوط به خاکی می باشد که جنس آن از سنگ است.



شکل (۲- ۲۰) اثر خاک در میزان اتلاف انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی (۲۲)

همچنین تاثیر دمای ورودی آب بر طول بهینه مبدل حرارتی بررسی شد و مشخص گردید که با کاهش دمای آب ورودی طول بهینه مبدل حرارتی نیز کاهش پیدا می کند. شکل ۲- ۲۱ تاثیر دمای آب ورودی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی را بر طول بهینه مبدل حرارتی بسته عمودی U شکل را نشان می دهد.



شکل (۲- ۲۱) اثر دمای ورودی آب بر طول بهینه مبدل حرارتی (۲۲)

آقا نجفی و مجتهدی (۱۱) به تحلیل انرژی و ترمودینامیک یک سیکل پمپ حرارتی زمین گرمایی با مبدل حرارتی عمودی با سیال عامل R134a پرداخته اند و برای بهینه سازی از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی (ABC) استفاده کرده اند. توابع هدف این مقاله مطالعه بازگشت ناپذیری و هزینه های سرمایه گذاری بر روی سیستم و پارامترهای طراحی سیستم

مقادیر دمای تبخیر و چگالش در اواپراتور و کندانسور، دمای آب ورودی و خروجی از مبدل حرارتی زمین گرمایی، فشار مکش و دهش کمپرسور می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد با بهینه‌سازی انجام شده توسط الگوریتم ABC میزان بازگشت‌ناپذیری و هزینه سرمایه‌گذاری به ترتیب ۲۳/۷٪ و ۷/۵٪ کاهش یافته است.

کیان و صداقت (۱۲) به بهینه‌سازی یک سیستم پمپ حرارتی منبع زمینی ترکیب شده با سیستم سرمایش جذبی خورشیدی با استفاده از الگوریتم تکاملی چندهدفه پرداخته‌اند. در این مقاله سه فرآیند بهینه‌سازی تک هدفه ترمودینامیکی، ترمو اقتصادی و چندهدفه انجام شده است. با توجه به نتایج بدست آمده در این مقاله می‌توان به این مسأله اشاره کرد که بهینه‌سازی ترمودینامیکی بر روی منابع انرژی تمرکز می‌کند، در حالی که بهینه‌سازی ترمو اقتصادی فقط بر روی منابع مالی تمرکز می‌کند. در مقابل بهینه‌سازی چند هدفه هر دو منابع انرژی و مالی را مد نظر قرار می‌دهد. پس بهینه‌سازی چند هدفه معیارهای ترمودینامیکی و اقتصادی را بهتر از دو سیستم بهینه تک هدفه ترمودینامیکی و اقتصادی ارضا می‌کند.

## **فصل سوم:**

### **طراحی و انتخاب اجزای سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی**



### ۳-۱- مقدمه

شهر تهران به عنوان پایتخت کشورمان از نظر استراتژیک بسیار مهم می باشد که یک سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی برای گرمایش یک بیمارستان امن مدفون طراحی می شود. شرایط آب و هوایی جغرافیایی شهر تهران در طراحی پارامترهای این بیمارستان تاثیرگذار هستند. در این پروژه یک بیمارستان امن مدفون در نظر گرفته می شود و مناسب ترین مدل برای طراحی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی تعیین می شود.

### ۳-۲- فرضیات بیمارستان امن زیرزمینی

یک بیمارستان امن زیرزمینی در شهر تهران به طور فرضی در نظر گرفته می شود که پلان آن در نقشه الف- ۱ نشان داده شده است.

در ابتدا شرایط طرح داخل و خارج را مشخص می کنیم که منطبق بر آیین نامه های بین المللی (آیین نامه ACI)، آیین نامه های داخلی (آیین نامه بتون ایران (آبا))، مباحث مختلف مقررات ملی ساختمان (مبحث ۹، مبحث ۱۴ و مبحث ۲۱)، نشریه طراحی بناهای درمانی و همچنین ضوابط و معیارهای تاسیسات مکانیکی و الکتریکی در بیمارستان ها است. شرایط طرح به شرح زیر است:

- در این پروژه یک بیمارستان یک طبقه بوده که شامل ۳۶ اتاق و ۷۰ تخت واقع در شهر تهران می باشد.
- این ساختمان در زیر زمین می باشد به طوری که سقف آن ۲ متر زیر سطح زمین قرار دارد.
- از پمپ حرارتی زمین گرمایی فقط برای گرمایش استفاده می شود.
- سازه ساختمان بتن مسلح به همراه قاب خمشی ویژه (میلگرهای S400) است.
- دیوارهای بتونی از آجر مجوف و ملات ماسه سیمان ۲۰ سانتی متر و گچ و خاک ۲ سانتی متر و گچ ۱ سانتی متر می باشد.

- دیوارهای داخلی از آجر مجوف و ملات ماسه سیمان ۱۰ سانتی متر و گچ و خاک ۲ سانتی متر و گچ ۱ سانتی متر می‌باشد.
- مشخصات کف ساختمان پوکه معدنی به ضخامت ۱۰ سانتی متر، ملات ماسه سیمان ۲ سانتی متر و موزاییک ۳ سانتی متر است.
- مشخصات سقف (پشت بام) ساختمان از داخل به خارج به ترتیب شامل اندود گچ ۱ سانتی متر، ملات گچ و خاک ۲ سانتی متر، تیرچه بتنی به همراه پلاستوم ۲۵ سانتی متر، دال بتونی به ضخامت ۵ سانتی متر، پوکه معدنی به ضخامت ۱۰ سانتی متر، ملات ماسه سیمان ۲ سانتی متر و آسفالت به ضخامت ۵ سانتی متر می‌باشد.
- درب‌های داخلی و خارجی چوبی به ضخامت ۵ سانتی متر و ارتفاع ۲۴۰ سانتی متر می‌باشد.
- بیمارستان فاقد پنجره است.
- بدلیل نبود پنجره و با توجه به کاربری ساختمان، برای تعویض هوا از دستگاه‌های هواساز استفاده می‌شود. برای این منظور موتوخانه‌ای تعبیه می‌شود و بر اساس کاربری بخش‌های مختلف بیمارستان، هوای تازه و کافی آن‌ها تأمین می‌شود. (محاسبه و طراحی تعویض و تهویه هوا در حوصله این پروژه نمی‌گنجد)

### ۳-۳- تفاوت سازه‌های امن مدفون با سازه‌های رایج

ساختمان‌های معمولی ممکن است مقداری مقاومت انفجاری داشته باشند، ولی مشخصه‌های خاصی از ساختمان‌های معمولی مانند پنجره‌های بزرگ، دیوارهای بنایی غیر مسلح و اتصالات ضعیف، می‌تواند این ساختمان‌ها را حتی تا در برابر انفجارهای ضعیف نیز آسیب‌پذیر کند. از سازه‌های مدفون انتظار می‌رود در مقابل فشارهای زیاد ناشی از انفجار متوسط و زیاد مقاوم باشند. سازه‌های پناهگاهی را معمولاً می‌توان به سه روش نیمه مدفون، مدفون و تونل اجرا نمود. در روش اجرای مدفون و نیمه مدفون، ضخامت خاک روی پناهگاه باید حداقل به اندازه نصف کوچکترین بعد پناهگاه یا ۲ متر باشد. به هر حال مجموع ضخامت خاک و بتون باید بزرگتر از عمق نفوذ بمب‌های مخرب باشند. استفاده از خاک تراکم‌پذیر

نسبت به خاک‌های با دانه بندی یکنواخت ارجحیت دارد. همچنین استفاده از ماسه بادی مجاز نیست و بهتر است از شن شکسته با دانه بندی درشت استفاده شود. سازه‌های امن مدفون در برابر انفجارهایی غیر از انفجارهای در داخل زمین، بسیار مقاوم و قابل اطمینان است. قسمت‌های باربر سازه‌های مدفون (سقف، دیوارها و کف) باید از بتن مسلح درجا ساخته شوند. استفاده از مصالحی که قابلیت تغییر پذیری و شکل پذیری کمتری دارند، برای ساخت پناهگاه ممنوع است. (۹)

### ۳-۴- محاسبات اتلاف حرارتی بیمارستان

محاسبات اتلاف حرارتی بیمارستان امن مدفون توسط نرم افزار کریر انجام گردید که گزارشات کامل این محاسبات در پیوست ب آمده است. بر طبق گزارشات مربوطه مجموع اتلاف حرارتی بیمارستان زیرزمینی برابر است با :

$$\text{مقدار بار حرارتی ساختمان} = 270416 \text{ BTU/hr} = 79.251 \text{ Kw}$$

چون در این پروژه فقط تأمین گرمایش مد نظر می‌باشد، لذا با داشتن مقدار بار حرارتی ساختمان به انتخاب اجزاء سیستم پمپ حرارتی می‌پردازیم.

### ۳-۵- انتخاب اجزاء سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی

برای انتخاب مناسب اجزاء سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی می‌توان از نرم افزار چند منظوره طراحی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی (ground loop design) یا (GLD) استفاده کرد. این نرم‌افزار امکان طراحی و انتخاب مناسب اجزاء سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی را به مهندسین مجرب در این زمینه می‌دهد. این اطلاعات شامل عمق بهینه چاه، طول مناسب لوله آبرسانی، ظرفیت مناسب پمپ سیرکولاتور و ... است. به کمک این نرم افزار همچنین می‌توان هزینه سالانه، عمر مفید و هزینه طراحی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی را بدست آورد. در این نرم افزار امکان انتخاب و انعطاف‌پذیری توسط طراح وجود دارد، تا بر اساس

سلیقه‌ها و تفکرات او بتوان نتیجه مناسب را بدست آورد. همچنین اطلاعات و مشخصات فنی محصولات مختلف بسیاری از تولید کنندگان پمپ حرارتی زمین گرمایی در آن وجود دارد.

متأسفانه با تحقیقات به عمل آمده، امکان تهیه رایگان این نرم افزار نمی‌باشد و دمای آن نیز در وب سایت چندین تولیدکننده خارجی پمپ حرارتی زمین گرمایی موجود است اما گزارش و نتیجه نهایی کاملی نمی‌دهد. بنابراین برای انتخاب اجزاء سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی به صورت دستی و بدون نرم افزار اقدام می‌کنیم.

بر اساس نقشه بیمارستان مورد نظر و با داشتن بار حرارتی آن، دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی انتخاب می‌شود. ابتدا با جستجو در شرکت‌های مختلف خارجی تولید کننده پمپ حرارتی زمین گرمایی در کشورهای آمریکا و کانادا دستگاه انتخاب شد. برای این شرکت‌ها اعم از بوش<sup>۱</sup>، کلایمیت مستر<sup>۲</sup>، مریتایم ژئوترمال<sup>۳</sup> و چندین شرکت دیگر ایمیل فرستاده شد و تقاضای قیمت محصولات و مشخصات فنی دستگاه‌های مذکور شد. اما هیچ یک از این شرکت‌ها حاضر به دادن اطلاعات خواسته شده نشدند. بنابراین تصمیم گرفته شد برای انتخاب اجزاء از شرکت برنولی که در زمینه پمپ حرارتی زمین گرمایی فعالیت می‌کنند، تقاضای اطلاعات کنیم.

طبق مکاتبات انجام شده با شرکت برنولی، درخواست مدل‌های موجود شد. لیست دستگاه‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی آب به آب در شکل ج-۱ و آب به هوا در شکل ج-۲ در پیوست ج نشان داده شده است. به دلیل بستگی ظرفیت پمپ حرارتی به مبدل حرارتی آن، به ناچار ابتدا باید مبدل حرارتی انتخاب شود.

---

1 - Bosch

2 - Climatemaster

3 - Maritime Geothermal

### ۳-۵-۱- انتخاب مبدل حرارتی زمینی

ابتدا مبدل حرارتی بر اساس شرایط جغرافیای، محیطی، فنی و اقتصادی انتخاب می‌شود. اگر بخواهیم مقایسه‌ای را از نظر راندمان کویل زمینی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی داشته باشیم، می‌توانیم انواع کویل‌ها را به صورت ذیل دسته‌بندی نماییم:

۱. کویل باز
۲. کویل دریاچه
۳. کویل بسته عمودی
۴. کویل بسته افقی

همچنین اگر بخواهیم از نظر هزینه‌های اجرایی یک پمپ حرارتی زمین‌گرمایی انواع کویل‌ها را با هم مقایسه نماییم دسته‌بندی آن‌ها از نظر هزینه اجرایی به صورت زیر خواهد بود:

۱. کویل دریاچه
۲. کویل بسته افقی
۳. کویل باز
۴. کویل بسته عمودی (۱۳)

اگرچه سیکل دریاچه دارای راندمان نسبتاً بالایی می‌باشد؛ اما کویل زمینی دریاچه نیاز به آب‌گرم سطحی دارد که در شهر تهران، آب‌گرم سطحی که دارای قابلیت تامین گرمایش و سرمایش فضای مورد نیاز را داشته باشد، وجود ندارد و همچنین احتمال یخ زدگی آب سطحی در فصول سرد سال وجود دارد. بنابراین کویل زمینی دریاچه گزینه مناسبی برای بیمارستان مورد نظر نمی‌باشد.

کویل باز دارای راندمان بالایی می‌باشد اما هزینه آن قدری بالا می‌باشد. از مشکلات اجرایی آن وجود چشمه آب‌گرم زیرزمینی می‌باشد. از آنجایی هدف این مطالعه، استفاده

کاربرد از آن می‌باشد، غیر قابل دسترس بودن چشمه آب گرم، بهره‌برداری از این سیکل را برای ما ناممکن می‌سازد.

اگرچه سیکل بسته افقی هزینه اجرایی کمتری نسبت به سایر سیکل‌ها دارد، اما دارای راندمان پایین‌تری می‌باشد. از معایب این سیکل مصرف بالای متراژ لوله می‌باشد. از طرفی دیگر، این سیکل نیاز به فضای وسیعی در اطراف ساختمان مورد نظر دارد و به دلیل امنیتی و پدافندی، امکان استفاده از کوئل زمینی بسته افقی مناسب نمی‌باشد.

کوئل بسته عمودی، اگر چه هزینه اجرایی نسبتاً بالایی نسبت به سایر کوئل‌ها دارد، اما این سیکل در مناطقی که امکان دسترسی به آب‌های زیرزمینی مشکل می‌باشد، قابل نصب است و همچنین دارای راندمان نسبتاً مناسبی می‌باشد. با توجه به جنس خاک تهران که ماسه و سنگ می‌باشد (۱۳)؛ امکان حفاری چاه در اعماق زیاد وجود دارد.

بنابراین بهترین گزینه از لحاظ ایمنی و پدافندی، راندمان، هزینه اقتصادی، مشکلات فنی و اجرایی آن، کوئل زمینی بسته عمودی می‌باشد. این سیکل را به صورت رفت و برگشت نصب می‌کنیم که سیکل بسته عمودی U شکل نامیده می‌شود. همچنین برای جلوگیری از یخ زدن آب در هوای بسیار سرد زمستان یک مخلوط وزنی ۱۰٪ پروپیلن گلیکول به داخل سیکل اضافه می‌کنیم.

### **۳-۵-۲- انتخاب دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی**

با توجه به میزان اتلاف حرارتی بیمارستان و مبدل حرارتی بسته عمودی U شکل، با مراجعه به لیست کالاهای موجود در شرکت برنولی دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی انتخاب می‌شود. چهار دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی آب به هوا از نوع افقی مدل GTHP070 انتخاب می‌شود که ظرفیت آن در کوئل زمینی بسته عمودی ۷۶۰۰۰ BTU/hr می‌باشد. چهار دستگاه، کاملاً مجزا هستند و هرکدام به کوئل زمینی عمودی مجزا متصل می‌باشند و برای نواحی بیمارستان که به صورت زیر تقسیم بندی شده است؛ به کار می‌رود:

جدول (۳-۱) معرفی نواحی بیمارستان

نواحی	شرح
ناحیه الف	اتاق‌های ۱ الی ۸
ناحیه ب	اتاق‌های ۹ الی ۱۸
ناحیه ج	اتاق‌های ۱۹ الی ۲۷
ناحیه د	اتاق‌های ۲۸ الی ۳۶

حال محل دستگاه پمپ حرارتی تعیین می‌شود. دشمن همواره درصدد منهدم کردن تاسیسات و تجهیزات است تا بتواند با این کار در ادامه فعالیت اختلال ایجاد کند. می‌دانیم که اختفاء یا پنهان کاری تاسیسات و تجهیزات مانع از قرار گرفتن آن‌ها در دید دشمن گردیده و یا تشخیص آن‌ها را برای دشمن غیر ممکن یا مشکل می‌سازد. از این رو، یکی از مزیت‌های بارز پمپ حرارتی زمین‌گرمایی امکان نصب آن در زیر زمین می‌باشد. با ایجاد فضایی امن در زیر زمین می‌توان سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را دور از شناسایی سنجنده‌های دشمن قرار داد تا در زمان بحران دچار حملات و صدمات واقع نشوند. در صورت صدمات ناشی از انفجارها که باعث مختل شدن کلیه سیستم‌های رایج می‌شود؛ ادامه فعالیت با مشکلات عدیده‌ای روبرو می‌شود.

با بهره‌گیری از سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی که امکان نصب و فعالیت آن در فضای امن در زیر زمین و بیرون بیمارستان است؛ به راحتی می‌توان به ادامه فعالیت در زمان بحران ادامه داد. اما از طرفی دیگر، در صورت نصب و راه‌اندازی سیستم مذکور در فضایی امن در زیر زمین و به دور از بیمارستان، به دلیل فاصله ایجاد شده برای انتقال انرژی از فضای امن به داخل بیمارستان، اتلاف حرارتی محسوسی خواهیم داشت و همچنین به دلیل بعد مسافت به نصب کانال‌های طولانی‌تر که هزینه بیشتری در بر خواهد داشت، منجر می‌شود.

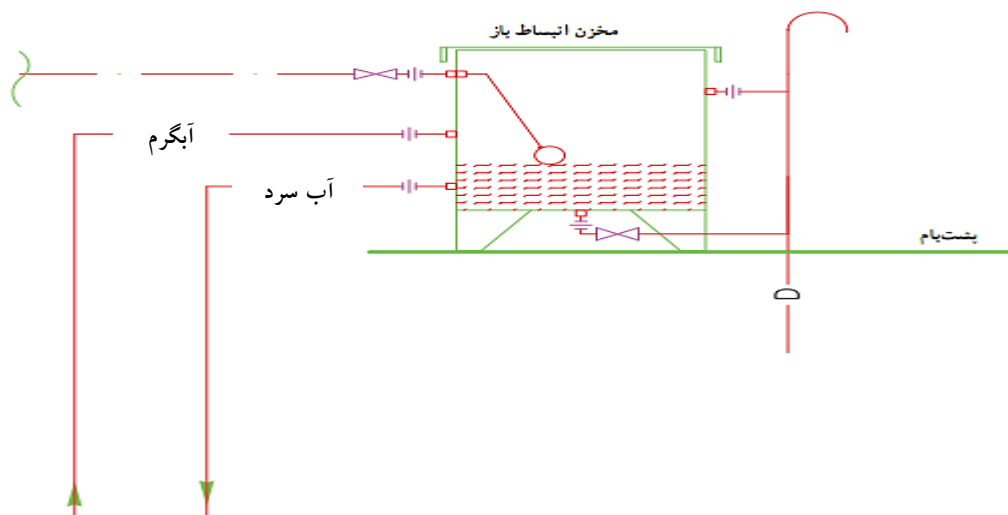
با در نظر گرفتن شرایط گفته شده، می‌توان نتیجه گرفت که نصب پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در زیر زمین و خارج از بیمارستان گرچه از نظر امنیتی و پدافندی بسیار حائز

اهمیت است ولی باید اتلاف حرارتی و هزینه اقتصادی آن را نیز در نظر گرفت. چون بیمارستان خود در زیر زمین بنا شده است، می‌توان سیستم مذکور را در داخل آن نصب کرد که به نوعی هم خود بیمارستان و هم سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در فضایی امن قرار دارند. در این صورت هم دستگاه در فضایی امن در زیر زمین قرار دارد و هم اتلاف حرارتی و هزینه اقتصادی آن به حداقل می‌رسد. به دلیل آلودگی صوتی باید مکانی در نظر گرفته شود که باعث صلب آسایش بیماران نشود؛ بنابراین مکان مورد نظر نباید در اتاق‌های بستری و یا استراحت کارکنان باشد. در نهایت قسمت‌هایی از سالن و راهرو به عنوان بهترین مکان برای نصب دستگاه‌ها انتخاب می‌شوند. مشخصات فیزیکی دستگاه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی از نوع افقی در شکل ج-۳ نشان داده شده است. محل قرار گیری پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی با در نظر گرفتن اندازه فیزیکی آن‌ها در نقشه الف-۲ نشان داده شده است. با توجه به نقشه بیمارستان اجزاء سیستم طراحی و انتخاب می‌شوند.

### **۳-۵-۳- انتخاب و محاسبه حجم منبع انبساط**

به منظور تثبیت فشار سیستم و فراهم نمودن امکان انبساط حجمی آب در اثر افزایش دما در سیستم‌های بسته، لازم است از ظرفی به نام منبع انبساط استفاده شود. منبع انبساط باز با هوای آزاد در ارتباط است و در خط مکش پمپ و بر فراز بالاترین مبدل حرارتی ساختمان (حداقل ۷ فوت بالاتر) نصب می‌شود. اتصال منبع انبساط به خط مکش پمپ سبب می‌گردد که سمت مکش تحت فشار اتمسفر قرار داشته و هوا نتواند به داخل سیستم نفوذ کند. شکل شماتیک منبع انبساط باز و نحوه اتصال آن به پمپ سیرکولاتور در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.





شکل (۱-۳) شماتیک منبع انبساط باز (۲۵)

### ۳-۵-۳-۱- محاسبه حجم منبع انبساط

حجم منبع انبساط از رابطه رابطه (۱-۳) بدست می آید (۶):

$$V = \frac{Q(1+A)}{6400} \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

$V$  حجم منبع انبساط (بر حسب گالن)،  $Q$  تلفات حرارتی ساختمان (بر حسب بی تی یو بر ساعت) و  $A$  ضریب اطمینان جهت اتلاف حرارت از لوله ها می باشد که آن را ۱۰ درصد در نظر می گیریم.

برای محاسبه حجم منبع انبساط باز برای کل ساختمان خواهیم داشت:

$$V = \frac{270416 \times (1+0.1)}{6400} = 46.47 \text{ galon}$$

### ۳-۵-۳-۲- انتخاب حجم منبع انبساط باز

برای انتخاب منبع انبساط باز با شرکت دما تجهیز تماس گرفته شد و استعلام قیمت و مشخصات فنی دستگاه انجام شد. مدل های مختلف منابع انبساط باز شرکت دما تجهیز (۲۵) در شکل ج- ۴ نشان داده شده است. به دلیل موجود نبودن منبع با ظرفیت مورد نظر، به ناچار منبع با ظرفیت ۲۰۰ لیتر انتخاب شد. بر این اساس چهار منبع انبساط باز مدل (DT.EXO-۲۰۰-۲) برای هریک از نواحی انتخاب شد.

### ۳-۵-۴- انتخاب و طراحی لوله

با توجه به قرارگیری دستگاه، فاصله آن تا خارج ساختمان ۲۰ متر در بیشترین حالت می‌باشد. از خارج ساختمان تا چاه حفاری را هم ۳ متر در نظر می‌گیریم. طول لوله از سه راهی تا منبع انبساط باز ۳ متر می‌باشد. در واقع طول لوله رفت از دستگاه تا چاه ۲۶ متر می‌باشد.

بر اساس تجربه و تحقیق از شرکت‌های مختلف داخلی و خارجی که در زمینه پمپ حرارتی زمین گرمایی فعالیت می‌کنند، برای تأمین حرارت هر ۱ تن تبرید باید ۴۰ متر چاه حفر شود (۴)؛ بر اساس ظرفیت حرارتی پمپ حرارتی، باید ۱۸۰ متر چاه حفر شود. برای هر دستگاه یک چاه با قطر ۱۲ inch و ارتفاع ۱۸۰ متر حفر شود و چهار زانویی در مسیر U شکل قرار داده شود.

بر این اساس طول لوله رفت ۲۰۶ متر و طول لوله برگشت ۲۰۳ متر می‌باشد. بنابراین کل طول لوله در مسیر رفت و برگشت ۴۰۹ متر می‌باشد.

بر اساس مشخصات فنی دستگاه که در شکل ج-۳ آمده است، دبی دستگاه ۱۷ گالون بر دقیقه<sup>۱</sup> است. جنس لوله را پلی اتیلن انتخاب می‌کنیم. سرعت مناسب حرکت آب در لوله‌ها بین ۲ تا ۴ فوت بر ثانیه و نرخ مناسب افت فشار برابر ۳۰۰ میلی اینچ آب بر فوت، معادل ۲.۵ فوت بر صد فوت طول لوله می‌باشد.

برای تعیین قطر لوله با استفاده از نمودار نرخ افت فشار ناشی از جریان آب در لوله‌های پلاستیکی (شکل ج-۶) و با در دست داشتن دبی و نرخ افت فشار و همچنین محدوده سرعت آب، قطر لوله از نمودار خوانده می‌شود که بر این اساس قطر لوله ۱.۵ اینچ بدست می‌آید که این اندازه در تمام مسیر لوله یکسان می‌باشد.

فشار آب درون لوله در عمق ۱۸۰ متری از زمین را از رابطه (۲-۳) بدست می‌آوریم:

$$P = \rho gh \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

---

1 - GPM

با توجه به اطلاعات آب داریم:

$$\rho = 988 \frac{kg}{m^3} \quad \text{چگالی آب}$$

$$g = 9.8 \frac{m}{s^2} \quad \text{گرانش}$$

$$h = 180 \quad \text{ارتفاع لوله}$$

$$P = \rho gh = 1742832 \text{ pa} = 17.42 \text{ bar}$$

### ۳-۵-۵- انتخاب پمپ سیرکولاتور

برای انتخاب پمپ سیرکولاتور به دو مشخصه دبی و هد پمپ نیاز داریم. همانطور که در بالا ذکر شد دبی مورد نظر برای پمپ حرارتی مقدار ۱۷ گالن بر دقیقه می‌باشد. اکنون به محاسبه هد پمپ می‌پردازیم. هد پمپ از رابطه (۳-۳) بدست می‌آید:

$$\text{رابطه (۳-۳)} \quad \text{افت کویل دستگاه} + \text{افت طول اتصالات} + \text{افت طول لوله} = \text{هد پمپ}$$

اگر طول لوله مسیر رفت را  $L$  در نظر بگیریم و طول مسیر رفت و برگشت را  $2L$  در نظر بگیریم و همچنین طول معادل وصاله‌ها را ۵۰ درصد طول مسیر رفت و برگشت در نظر بگیریم؛ طول معادل کل مسیر لوله‌کشی برابر  $3L$  بدست می‌آید.

مناسب‌ترین نرخ افت فشار برای جریان آب در لوله‌ها معادل ۳۰۰ میلی اینچ بر فوت یا ۲.۵ فوت بر ۱۰۰ فوت طول معادل لوله است، لذا هد پمپ در لوله برابر با رابطه ۳-۴ است (۶):

$$H_{\text{لوله}} = 3L \times \frac{2.5}{100} = 0.075 L \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$

$$H_{\text{لوله}} = 0.075 \times 203 = 15.2 \text{ ft}$$

از افت طول لوله منتهی به منبع انبساط باز که ۳ متر است صرف نظر می‌کنیم. بر اساس مشخصات فنی پمپ دستگاه افت دستگاه زمین گرمایی  $3.2 \text{ psi}$  است که در این صورت خواهیم داشت:

$$H_{\text{پمپ حرارتی}} = 3.2 \text{ psi} = 7.38 \text{ ft}$$

$$H_{\text{پمپ سیرکولاتور}} = 15.2 + 7.38 = 22.58 \text{ ft}$$

برای انتخاب پمپ سیرکولاتور به شرکت مهندسی و بازرگانی دما تجهیز مراجعه شد. از پمپ‌های موجود، پمپ سمنان خطی سیرکولاتور انتخاب شد. مدل‌های مختلف پمپ سمنان خطی سیرکولاتور به همراه مشخصات فنی آن‌ها در شکل ج-۵ آمده است. با مراجعه به منحنی دبی و هد پمپ که در نمودار د-۲ آمده است مدل (PD40 - تک فازی و ۲۲۰ ولت) انتخاب گردید.

## **فصل چهارم:**

### **تحلیل اگزرژی و بهینه‌سازی اقتصادی با الگوریتم ژنتیک**

## ۴-۱- تحلیل ترمودینامیکی پمپ حرارتی زمین گرمایی

فرض‌های زیر در محاسبات انجام شده و در بررسی‌هایی که در ادامه خواهد آمد، مورد استفاده قرار گرفته‌اند:

۱. تمامی فرایندها در حالت پایدار و جریان پایدار انجام شده‌اند.
۲. انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل ناچیز و قابل چشم پوشی هستند و هیچ‌گونه واکنش فیزیکی و شیمیایی نیز وجود ندارد.
۳. انتقال حرارت در اتصالات اجزاء و در طول لوله‌ها ناچیز و قابل چشم پوشی در نظر گرفته می‌شوند.
۴. هوا یک گاز ایده آل با گرمای ویژه ثابت در نظر گرفته شده است.
۵. حالت مرده در فاز گرمایش در فشار جو (۱۰۰ KPa) و دمای  $2^{\circ}\text{C}$  در نظر گرفته شده است.
۶. بر اساس شرایط و مصالح ساختمان دمای محیط داخل  $20^{\circ}\text{C}$  در نظر گرفته شده است.

## ۴-۱-۱- آنالیز ترمودینامیکی

با استفاده از فرض‌های در نظر گرفته شده، معادلات موازنه انرژی بدست می‌آیند (۲۶،۲۷). معادله بقای جرم به صورت زیر است:

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_o \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

$\dot{m}_i$  نرخ جریان جرمی ورودی بر حسب (Kg/s) و  $\dot{m}_o$  نرخ جریان جرمی خروجی بر حسب (Kg/s) است.

قانون اول ترمودینامیک را می‌توان به صورت رابطه (۴-۲) بیان کرد:

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_i h_i = \dot{W} + \sum \dot{m}_o h_o \quad \text{رابطه (۴-۲)}$$

موازنه انرژی به صورت روابط زیر بیان می‌گردد.

$$\dot{E}X_i - \dot{E}X_o = \dot{E}X_d \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$

$\dot{E}_i$  انرژی ورودی بر حسب (Kw) و  $\dot{E}_o$  انرژی خروجی بر حسب (Kw) است.

$$\dot{E}X_{heat} - \dot{E}X_{work} + \dot{E}X_{mass,i} - \dot{E}X_{mass,o} = \dot{E}X_d \quad \text{رابطه (۴-۴)}$$

$\dot{E}X_{heat}$  انرژی حرارت (Kw)،  $\dot{E}X_{work}$  انرژی کار (Kw)،  $\dot{E}X_{mass,i}$  انرژی جریانی جرمی ورودی (Kw)،  $\dot{E}X_{mass,o}$  انرژی جریانی جرمی خروجی (Kw) و  $\dot{E}X_d$  اتلاف انرژی (Kw) است.

با استفاده از رابطه بالا، بالانس انرژی به صورت رابطه (۵-۴) ارائه می شود:

$$\left(1 - \frac{T_o}{T_k}\right) \dot{Q}_k - \dot{W} + \sum \dot{m}_i \psi_i - \sum \dot{m}_o \psi_o = \dot{E}X_d \quad \text{رابطه (۵-۴)}$$

$\dot{Q}_k$  نرخ انتقال حرارت از مرز سیستم (Kw)،  $\dot{W}$  نرخ کار (Kw)،  $\psi_i$  انرژی جریانی ورودی (Kj/Kg)،  $\psi_o$  انرژی جریانی خروجی (Kj/Kg) و  $T_o$  دمای حالت مرده (K) می باشد. انرژی جریانی نیز به صورت رابطه (۶-۴) بیان می گردد.

$$\psi = (h - h_o) - T_o(s - s_o) \quad \text{رابطه (۶-۴)}$$

$h$  آنتالپی (Kj/Kg)،  $s$  انتروپی (Kj/Kg.K) و  $s_o$  انتروپی حالت مرده (Kj/Kg.K) است.

با استفاده از فرض های در نظر گرفته شده، ضریب عملکرد سیستم به صورت نسبت انرژی خروجی مفید به کل انرژی ورودی بیان می شود که در رابطه (۷-۴) نشان داده شده است:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{condenser}}{\dot{W}_{compressor,act}} \quad \text{رابطه (۷-۴)}$$

COP ضریب عملکرد،  $\dot{Q}_{condenser}$  گرمای کندانسور (Kw) و  $\dot{W}_{compressor,act}$  کار واقعی کمپرسور (Kw) می باشد. کار واقعی کمپرسور با رابطه (۸-۴) نشان داده شده است:

$$\dot{W}_{compressor,act} = \frac{\dot{W}_{comp}}{\eta_{comp,adiab}} \quad \text{رابطه (۸-۴)}$$

$\dot{W}_{comp}$  کار کمپرسور (Kw)، و عبارت  $\eta_{comp,adiab}$  بیانگر بازده آدیاباتیک کمپرسور است که برابر با ۰.۸۵ می باشد.

بازه انرژی به صورت نسبت انرژی کلی خروجی به انرژی کلی ورودی تعریف می گردد که در رابطه (۹-۴) بیان شده است.

$$\eta_{EX} = \frac{\dot{E}X_{out}}{\dot{E}X_{in}} \quad \text{رابطه (۹-۴)}$$

#### ۴-۱-۲- محاسبه دمای زمین

برای محاسبه دمای آب ورودی به پمپ حرارتی زمین گرمایی، دمای خاک در عمق ۱۸۰ متری به دست می آید. دمای زمین معمولاً از سطح تا عمق ۵ یا ۶ متری، تحت تاثیر نوسانات دمای هوا در طول شبانه روز یا فصول مختلف دستخوش تغییرات نسبتاً زیادی می باشد. از این عمق تا عمق حدود ۱۵ متری بر اثر ترکیب شارهای گرمایی خورشیدی و تغییرات دمای جو با شارهای گرمایی ناشی از انرژی زمین گرمایی دما نسبتاً ثابت بوده و به طور تقریبی می توان آن را برابر با میانگین دمای هوا در طول سال فرض نمود. در عمق های بیشتر از ۱۵ متر دمای زمین بر اثر شارهای ناشی از انرژی زمین گرمایی با افزایش عمق به ازای هر ۱۰۰ متر ۳ درجه سانتیگراد افزایش می یابد. دمای زمین در عمق را می توان مطابق رابطه (۴-۱۰) به دست آورد (۲۸):

$$T_{ground} = T_{mean} + T_{amp} e^{\left[-z \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right]} \cos\left[\frac{2\pi(T_{now}-T_{shift})}{365} - \frac{z}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right] \quad \text{رابطه (۴-۱۰)}$$

با توجه به شرایط آب و هوایی و جغرافیایی، شهر تهران به عنوان نمونه انتخاب گردید و اطلاعات هواشناسی مورد نیاز استخراج شد.



در این رابطه  $T_{mean}$  میانگین سالیانه دمای زمین است. با توجه با اینکه دمای سطح زمین به شدت تحت تاثیر شرایط آب و هوایی آن منطقه می‌باشد، لذا می‌توان آن را برابر میانگین سالیانه دمای هوا فرض نمود. این مقدار برابر ۱۶.۱ بدست می‌آید. (۳۱)

$T_{amp}$  دامنه تغییرات دمای سالیانه است و مقدار آن برابر  $29.3^{\circ}\text{C}$  بدست می‌آید. (۳۱)

$T_{now}$  تاریخ مورد نظر در محاسبات بر حسب روز. روز اول دی ماه در نظر گرفته می‌شود، پس  $T_{now} = ۱$

$T_{shift}$  فاصله زمانی بین تاریخ دلخواه که در اینجا اول دی ماه در نظر گرفته شد تا گرمترین روز سال که ۱۷ تیر ماه است، یعنی  $T_{shift} = ۱۹۷$ .

$\alpha$  نفوذ حرارتی بر حسب  $(m^2 \cdot day^{-1})$  است. جنس خاک یا زمین منطقه تهران از نوع سنگ و ماسه می‌باشد و نفوذ حرارتی آن  $(1.04 \frac{m^2}{s})$  می‌باشد. (۲۹)

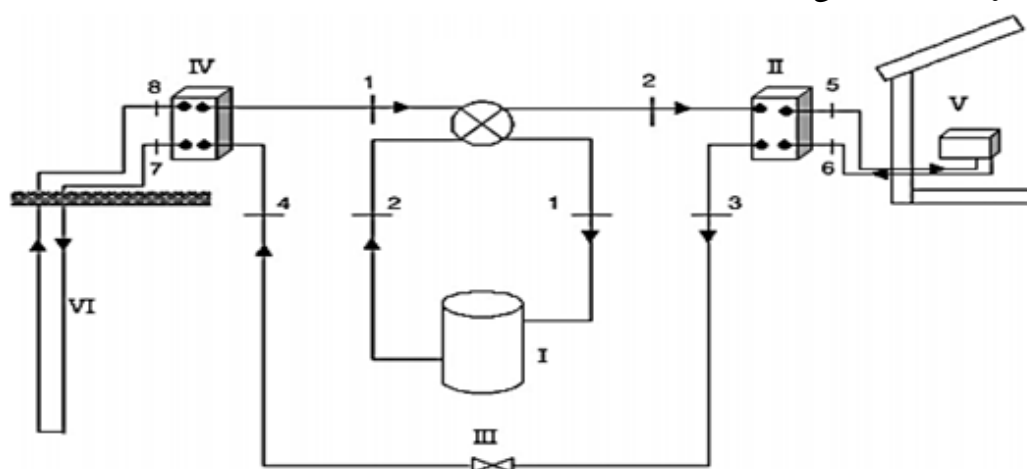
با توجه به نتایج تجربی، چاه زمین گرمایی به عمق ۱۸۰ متر حفر گردید و انتظار می‌رود که دمای مناسبی برای سیستم بدست آید. ابتدا با استفاده از رابطه (۴-۳۲) دمای زمین در عمق ۱۵ متری بدست می‌آید که همان‌طور که انتظار می‌رفت، برابر با میانگین دمای سالیانه زمین گردید. از عمق ۱۵ متری زمین به ازای هر ۱۰۰ متر ۳ درجه سانتی‌گراد به دمای زمین اضافه می‌گردد، با استفاده از اطلاعات هواشناسی و جنس خاک شهر تهران و رابطه بالا دمای زمین در عمق ۱۸۰ متری زمین برابر است با:

$$T = 21.04^{\circ}\text{C}$$

بنابراین دمای زمین در عمق ۱۸۰ متری زمین در شهر تهران در تمام طول سال برابر با  $21.04$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

#### ۴-۱-۳- معادلات موازنه انرژی و انرژی

شکل ۴-۱ شماتیک سیکل پمپ حرارتی زمین گرمایی مورد نظر برای حل معادلات موازنه انرژی را نشان می‌دهد. این پمپ حرارتی زمین گرمایی قابلیت استفاده از گرمای عمق را داراست. مبدل حرارتی سیستم، بسته عمودی (U) شکل می‌باشد. چاه زمین گرمایی ۱۸۰ متر است. پمپ حرارتی زمین گرمایی از نوع آب به هوا می‌باشد. برای جلوگیری از یخ زدن آب در هوای بسیار سرد زمستان یک مخلوط وزنی ۱۰٪ پروپیلن گلیکول به آن اضافه شده است. مبرد نیز (R-۱۳۴a) می‌باشد.



(I) کمپرسور. (II) کندانسور. (III) شیر فشار شکن. (IV) اواپراتور. (V) فن کندانسور. (VI) مبدل حرارتی زمینی

شکل (۴-۱) شماتیک سیکل پمپ حرارتی زمین گرمایی (۲۷)

در اینجا معادلات موازنه انرژی برای برخی اجزا که در محاسبه ضریب عملکرد مهم هستند آمده است. معادلات بقای جرم و انرژی برای کمپرسور با رابطه‌های زیر نشان داده شده است.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_r \quad \text{رابطه (۴-۱۱)}$$

$\dot{m}_r$  نرخ جریان جرمی مبرد (Kg/s) است.

$$\dot{w}_{comp} = \dot{m}_r(h_{2a} - h_1) \quad \text{رابطه (۱۲-۴)}$$

$$\dot{E}X_{dest,comp} = \dot{m}_r(\psi_1 - \psi_{2a}) + \dot{w}_{comp} \quad \text{رابطه (۱۳-۴)}$$

$\dot{E}X_{dest,comp}$  اتلاف انرژی کمپرسور (Kw) است.

معادلات بقای جرم و انرژی برای کندانسور با رابطه‌های زیر بیان می‌شود:

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 = \dot{m}_r \quad \text{و} \quad \dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_a \quad \text{رابطه (۱۴-۴)}$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_r(h_{2a} - h_3) \quad \text{رابطه (۱۵-۴)}$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{cfan} \quad \text{رابطه (۱۶-۴)}$$

$\dot{Q}_{cond}$  گرمای کمپرسور (Kw) و  $\dot{Q}_{cfan}$  گرمای فن کندانسور (Kw) است.

$$\dot{E}X_{des,cond} = \dot{m}_r(\psi_{2a} - \psi_3) + \dot{m}_w(\psi_6 - \psi_5) \quad \text{رابطه (۱۷-۴)}$$

$\dot{E}X_{des,cond}$  اتلاف انرژی کندانسور (Kw) و  $\dot{m}_w$  نرخ جریان جرمی آب (Kg/s) است.

معادلات بقای جرم و انرژی برای شیر فشار شکن با رابطه‌های زیر بیان می‌شود.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_r \quad \text{رابطه (۱۸-۴)}$$

$$h_3 = h_4 \quad \text{رابطه (۱۹-۴)}$$

$$\dot{E}X_{dest.tv} = \dot{m}_r(\psi_3 - \psi_4) \quad \text{رابطه (۲۰-۴)}$$

$\dot{E}X_{dest.tv}$  اتلاف انرژی شیر فشار شکن است.

معادلات بقای جرم و انرژی برای اواپراتور با رابطه‌های زیر بیان می‌شود.

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 = \dot{m}_r \quad \text{رابطه (۴-۲۱)}$$

$$\dot{Q}_{eva} = \dot{m}_r(h_1 - h_4) \quad \text{رابطه (۴-۲۲)}$$

$$\dot{Q}_{eva} = \dot{Q}_{ghe} \quad \text{رابطه (۴-۲۳)}$$

$$\dot{EX}_{des,eva} = \dot{m}_r(\psi_4 - \psi_1) + \dot{m}_w(\psi_8 - \psi_7) \quad \text{رابطه (۴-۲۴)}$$

$\dot{Q}_{eva}$  گرمای اواپراتور،  $\dot{Q}_{ghe}$  گرمای مبدل حرارتی و  $\dot{EX}_{des,eva}$  اتلاف انرژی اواپراتور است.

معادلات بقای جرم و انرژی برای فن کندانسور با رابطه‌های زیر بیان می‌گردد.

$$\dot{m}_{air,i} = \dot{m}_{air,o} = \dot{m}_{air} \quad \text{رابطه (۴-۲۵)}$$

$\dot{m}_{air,i}$  نرخ جریان جرمی ورودی هوا (Kg/s)،  $\dot{m}_{air,o}$  نرخ جریان جرمی خروجی هوا (Kg/s) و  $\dot{m}_{air}$  نرخ جریان جرمی هوا (Kg/s) است.

$$\dot{Q}_{cfan} = \dot{m}_a C_{p,a}(T_{O,a} - T_{i,a}) \quad \text{رابطه (۴-۲۶)}$$

$$\dot{Q}_{cfan} = \dot{Q}_{cond} \quad \text{رابطه (۴-۲۷)}$$

$$\dot{EX}_{dest,cfan} = \dot{m}_a(\psi_5 - \psi_6) - \dot{Q}_{cfan}\left(1 - \frac{T_o}{T_{i,a}}\right) \quad \text{رابطه (۴-۲۸)}$$

$C_{p,a}$  گرمای ویژه ثابت هوا (Kj/Kg.K)،  $T_{O,a}$  دمای خروجی هوا فن کندانسور (K)،  $T_{i,a}$  دمای ورودی هوا فن کندانسور (K) و  $\dot{EX}_{dest,cfan}$  اتلاف انرژی فن کندانسور (Kw) است.

معادلات بقای جرم و انرژی برای مبدل حرارتی زمین با رابطه‌های زیر بیان می‌شود.

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 = \dot{m}_w \quad \text{رابطه (۲۹-۴)}$$

$$\dot{Q}_{ghe} = \dot{m}_w C_{p,w} (T_8 - T_7) \quad \text{رابطه (۳۰-۴)}$$

$$\dot{Q}_{eva} = \dot{Q}_{ghe} \quad \text{رابطه (۳۱-۴)}$$

$$\dot{EX}_{dest,ghe} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{ground}}\right) \dot{Q}_{ghe} + \dot{m}_w (\psi_7 - \psi_8) \quad \text{رابطه (۳۲-۴)}$$

$\dot{EX}_{dest,ghe}$  اتلاف انرژی اگزرژی مبدل حرارتی (Kw) و  $T_{ground}$  دمای زمین (K) است.

اگزرژی کل سیستم که از مجموع اگزرژی های بدست آمده در بالا حاصل می شود، برابر است با:

$$\text{رابطه (۳۳-۴)}$$

$$Ex_{tot} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{ground}}\right) \dot{Q}_{ghe} + \dot{m}_w (\psi_5 - \psi_6) - \dot{Q}_{cfan} \left(1 - \frac{T_o}{T_{i,a}}\right) + \dot{w}_{comp}$$

با توجه به مشخصات سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی و جزییات تجربی که در برخی از مراجع آمده است (۲۲، ۱۴)؛ مقادیر اولیه مورد نیاز برای محاسبات در جدول ۱-۴ آمده است. بر اساس مقادیر اولیه و جداول ترمودینامیکی (۳۰) آنالیز انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی بدست آمد که نتایج آن در در جدول ۲-۴ نشان داده شده است. با استفاده از نرم افزار EES محاسبات مربوط به آنالیز اگزرژی آن بدست آمد که نتایج آن در جدول ۳-۴ نشان داده شده است.

جدول (۱-۴) مقادیر مورد نیاز اولیه در سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی (۱۴)

ردیف	شرح	مقدار	واحد
۱	فشار خروجی اواپراتور	۱۸۸.۴	Kpa
۲	درجه حرارت خروجی اواپراتور	-۶.۶	°C
۳	فشار خروجی کمپرسور	۱۱۱۳	Kpa

۴	بازده کمپرسور آدیاباتیک	۰.۸۵	-
۵	توان آدیاباتیک کمپرسور	۰.۷۵۲	Kw
۶	درجه حرارت خروجی کندانسور	۳۳.۴	°C
۷	نرخ جریان جرمی مبرد R-۱۳۴a	۰.۰۱۶۹	Kg/s
۸	نرخ جریان جرمی هوا در کندانسور	۰.۱۵۵	Kg/s
۹	نرخ جریان جرمی آب-ضدیخ	۰.۱۳۲	Kg/s

جدول (۴-۲) آنالیز انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی

ردیف	شرح	سیال	فاز	دما (°C)	فشار (kpa)	آنتالپی Kj/kg	آنتروپی Kj/kg.K
۰	-	R-134a	Dead state	۲	۱۰۱.۳	۲۵۷.۲	۱.۰۳۸
۰	-	هوا	Dead state	۲	۱۰۱.۳	۲۵۷.۲	۵.۶۱۵
۰	-	آب-ضدیخ	Dead state	۲	۱۰۱.۳	۸.۵۰۳	۰.۰۳۶
۱	خروجی اواپراتور	R-134a	بخار سوپر هیت	-۶.۶	۱۸۸.۴	۲۴۸.۷	۰.۹۵۴۸
۲	خروجی کمپرسور	R-134a	بخار سوپر هیت	۵۴.۹۸	۱۱۱۳	۲۸۵.۸	۰.۹۵۴۸
۳	خروجی کندانسور	R-134a	مایع	۳۳.۴	۱۰۵۷	۹۸.۵	۰.۳۶۳۲
۴	خروجی شیر فشار شکن	R-134a	مایع اشباع	-۱۱.۶	۱۷۸.۹	۹۸.۵	۰.۳۸۵۵
ردیف	شرح	سیال	فاز	دما (°C)	فشار (kpa)	آنتالپی Kj/kg	آنتروپی Kj/kg.K
۵	ورودی فن کندانسور	هوا	گاز	۴۵.۴	۱۰۱.۳	۳۱۹.۱	۵.۷۶۲
۶	خروجی فن کندانسور	هوا	گاز	۲۴.۵	۱۰۱.۳	۲۹۸.۱	۵.۶۹۴
۷	خروجی آب-ضدیخ از اواپراتور به مبدل زمینی	آب-ضدیخ	مایع	۱۲.۸۳	۲۰۰	۵۴.۰۳	۰.۱۹۲۶
۸	ورودی آب-ضدیخ از مبدل حرارتی	آب-ضدیخ	مایع	۱۷.۳۳	۳۰۰	۷۲.۹۵	۰.۲۵۷۹

جدول (۳-۴) آنالیز اگزرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی

ردیف	شرح	اتلاف اگزرژی
۱	اوپراتور	۰.۰۷۵۲
۲	کمپرسور	۰.۰۹۲۹
۳	کندانسور	۰.۳۰۴۲
۴	شیر فشار شکن	۰.۱۳۹
۵	فن کندانسور	۰.۵۰۸۱
۶	مبدل حرارتی	۰.۱۰۱۲

## ۴-۲- بهینه‌سازی سیستم

اولین قدم در بهینه‌سازی مشخص کردن متغیرهای طراحی سیستم است. تا حد امکان متغیرهای طراحی باید مستقل از هم باشند. دومین قدم، تعریف تابع هدف است. تابع هدف معیاری است که طرح نسبت به آن بهینه می‌شود و تابعی از متغیرهای طراحی است. سومین قدم تعریف قیود طراحی است؛ هر قید یک محدودیت بر روی طرح می‌گذارد و باید توسط یک یا چند متغیر طراحی تعیین شود. در این پژوهش با روش الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی پمپ حرارتی زمین گرمایی که در یک بیمارستان امن زیرزمینی قرار گرفته است، می‌پردازیم.

قبل از بهینه‌سازی با روش الگوریتم ژنتیک به بیان مفاهیم و روند تکاملی الگوریتم ژنتیک می‌پردازیم. در ابتدا یک طبقه‌بندی کلی از روش‌های مطرح جهت بهینه‌سازی پاسخ یک مسئله مطرح می‌گردد. سپس با بیان فرضیه تکاملی داروین در زیست‌شناسی، ایده اصلی (پیش‌زمینه بیولوژیکی) شکل‌گیری الگوریتم ژنتیک را تشریح کرده و در ادامه مفاهیم، ساختار و نحوه عملکرد الگوریتم ژنتیک به طور کامل بیان می‌گردد.

## ۴-۲-۱- تکنیک‌های حل مسائل بهینه‌سازی

فرآیند بهتر شدن هر چیز را بهینه‌سازی می‌گویند. (۳۲) مسائل پیچیده و سنگین به دلیل بزرگ بودن فضای جستجو، امکان استفاده از روش‌های جستجوی معمول را ندارند. اعمال این گونه تکنیک‌ها برای حل چنین مسائلی گاهی به زمانی بیش از عمر یک انسان نیاز دارند. به همین دلیل تکنیک‌های بهینه‌سازی با این ویژگی اصلی که هدف رسیدن به جواب بهینه یا نزدیک به جواب بهینه است، مطرح شدند. در (۱۵) روش‌های جستجو به سه دسته اصلی جستجو بر پایه محاسبه، جستجوی تصادفی هدایت شده و جستجوی شمارشی تقسیم شده است. روش‌های بهینه‌سازی جدید (جمعیت مورچگان، ژنتیک، ممیتیک و سرد کردن شبیه‌سازی شده) عموماً جزء گروه جستجوی تصادفی هدایت شده هستند. الگوریتم ژنتیک یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های بهینه‌سازی می‌باشد. (۱۶)



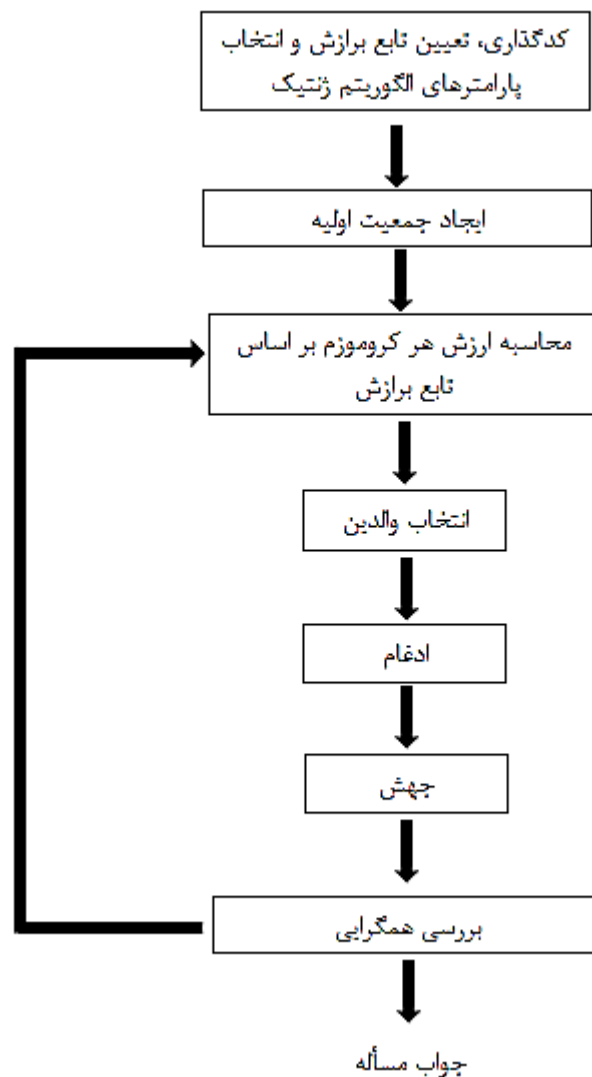
## ۴-۲-۲- الگوریتم ژنتیک

ایده اصلی الگوریتم‌های تکاملی در سال ۱۹۶۰ میلادی توسط ریچنبرگ مطرح گردید. الگوریتم‌های ژنتیک که منشعب از الگوریتم‌های تکاملی است، در حقیقت روش جستجوی کامپیوتری بر اساس ساختار ژن‌ها و کروموزوم‌ها است که توسط جان هلند (۱۹۷۰) در دانشگاه میشیگان مطرح شد. (۱۵) پس از وی یکی از دانشجویانش به نام دیوید گلدبرگ با حل مسأله بسیار سخت کنترل انتقال خط لوله گاز در رساله خود (۱۹۸۹)، الگوریتم ژنتیک را مشهور ساخت. (۳۲) یکی از بهترین و جامع‌ترین تعاریف الگوریتم ژنتیک نیز متعلق به کتاب گلدبرگ است که در آن کتاب نوشته شده است: " الگوریتم ژنتیک مدلی از یادگیری ماشین است که نحوه رفتار آن تمثیلی از فرآیندهای تکاملی موجود در عالم طبیعت است ".

الگوریتم ژنتیک یکی از قوی‌ترین روش‌های برگرفته از طبیعت است که به جستجوی فضای مسأله به صورت تصادفی هدایت شده پرداخته است، که این جستجو در قالب تلاش جهت ایجاد جواب‌هایی بهتر در هر نسل نسبت به جواب‌های نسل قبل صورت می‌گیرد و یکی از بهترین اشکال بهینه‌سازی عددی در مسائل علوم و مهندسی را ارائه می‌کند. (۱۶)

ویژگی اساس الگوریتم ژنتیک ساده بودن آن است. مراحل الگوریتم ژنتیک در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. ابتدا پاسخ مسأله را در قالب یک ساختار کروموزومی تعریف می‌کند و با معرفی تابع برازش، کیفیت پاسخ ارائه شده در هر کروموزوم به صورت تصادفی (یا شبه تصادفی) تولید می‌شود که این کروموزوم‌ها به عنوان جمعیت اولیه شناخته می‌شوند. در این مرحله تعدادی پاسخ برای مسأله وجود دارد که عمدتاً از کیفیت پایینی برخوردار هستند. میزان کیفیت هر کروموزوم از جمعیت را بر اساس تابع برازش مشخص می‌شود. حال با استفاده از روش مناسب (روشی که در آن احتمال انتخاب کروموزوم با مقدار برازش بهتر، بیشتر از کروموزوم دارای مقدار برازش ضعیف‌تر باشد) دو کروموزوم جهت تولید مثل انتخاب می‌شود. سپس با استفاده از این دو کروموزوم، کروموزوم جدیدی ایجاد می‌شود (جفت‌گیری). با یک احتمال مشخص تعدادی از ژن‌های بعضی کروموزوم‌ها تغییر داده می‌شوند (جهش). انجام

مراحل انتخاب، جفت‌گیری و جهش باعث ایجاد جمعیت جدید (نسل جدید) از کروموزم‌ها می‌گردد. در صورت همگرایی کروموزم‌ها به پاسخ مطلوب عملیات تولید نسل متوقف می‌گردد. در غیر این صورت ایجاد هر نسل از نسل قبلی تا رسیدن به جواب مطلوب یا برقراری پایان الگوریتم ادامه می‌یابد. (۱۶)



شکل ( ۴-۲) مراحل الگوریتم ژنتیک (۱۶)

وجود تنوع زیاد در معرفی فرآیند مورد نیاز در هر مرحله باعث ایجاد الگوریتم‌های ژنتیک متفاوت می‌گردد که می‌تواند به حل مسائل مختلف یا مسائل یکسان با پارامترهای

مختلف کمک نماید. لازم به ذکر است که مراحل ذکر شده عنوان فازهای اصلی الگوریتم ژنتیک هستند و معرفی مراحل جدید بین مراحل ذکر شده امکان‌پذیر است.

#### ۴-۲-۳- کدگذاری

کدگذاری یکی از عناصر مهم و تعیین کننده در هر الگوریتم ژنتیک است. به تبدیل پاسخ مسأله به صورت یک ساختار (کروموزم) که از مجموعه ژن‌ها تشکیل شده، کدگذاری می‌گویند. (۳۳) کروموزم یک آرایه منظم با طول ثابت از مقادیر ژن‌های ناهمسان مجاور<sup>۱</sup> است. در واقع الگوریتم ژنتیک به جای این که به طور مستقیم بر روی پارامترها یا متغیرهای مسأله کار کند، با شکل کد شده آن‌ها سروکار دارد. تاکنون محدودیت خاصی برای ساختار ژن‌ها مطرح نشده است؛ با این حال روش‌های متنوعی برای کدگذاری مسائل مورد استفاده قرار می‌گیرد. (۱۶)

#### ۴-۲-۴- تابع برازش

تابع برازش بر اساس مجموعه‌ای از صفات ورودی (کروموزم‌ها) یک مقدار خروجی تولید می‌نماید. این تابع می‌تواند بر اساس فرمول ریاضی با آزمایش محاسبه گردد. در واقع تابع برازش بر اساس پارامترهای مورد توجه برای حل یک مسأله کیفیت یک پاسخ (کروموزم) را به صورت عددی مشخص می‌نماید. در صورتی که این عدد، میزان مطلوبیت کروموزوم را نشان دهد، مسأله از جمله مسائل ماکزیم‌سازی است که در آن هدف الگوریتم ژنتیک ایجاد کروموزمی خواهد بود که مقدار تابع برازش آن کروموزم ماکزیمم باشد. اگر این عدد بیانگر میزان نامناسب بودن کروموزم باشد، مسأله مینیم‌سازی است که در آن الگوریتم ژنتیک به دنبال ایجاد کروموزمی با مقدار تابع برازش مینیمم است. اغلب تابع برازش را برابر با همان تابع هدف مسأله بهینه‌سازی در نظر می‌گیرند. در حقیقت تابع برازش یک تابع مشتق شده از تابع هدف در عملیات ژنتیکی است که معمولاً مقدار آن مثبت است. در صورتی که تابع هدف

---

1 - Allele

$f(x)$ ، ماکزیمم ساز باشد، تابع برازش  $F(X)$  برای الگوریتم ژنتیک با هدف ماکزیمم سازی از فرمول ۴-۳۴ و برای الگوریتم ژنتیک با هدف مینیمم سازی از فرمول ۴-۳۵ بدست می آید:

$$F(x) = f(x) \quad \text{رابطه (۴-۳۴)}$$

$$F(x) = \frac{1}{1+f(x)} \quad \text{رابطه (۴-۳۵)}$$

اگرچه حالت ماکزیمم سازی برای الگوریتم ژنتیک مناسب تر است اما استفاده از الگوریتم ژنتیک با هدف مینیمم سازی تابع هدف دارای دقت قابل توجهی است. (۱۷)

#### ۴-۲-۵- جمعیت

الگوریتم ژنتیک به وسیله مجموعه ای از کروموزم ها شروع به کار می نماید. به این مجموعه، جمعیت می گویند. برای اجرای الگوریتم ژنتیک لازم است جمعیت اولیه ای که به صورت تصادفی می باشد، معرفی شود. (۳۲) تعیین تعداد کروموزم های جمعیت بسیار مهم و تاثیر گذار است. افزایش تعداد کروموزم ها در جمعیت از یک سو کیفیت جواب ها و تنوع آنها را افزایش می دهد و از سوی دیگر به دلیل نیاز به انجام عملیات بیشتر، سرعت ایجاد جمعیت های جدید را کاهش می دهد. به همین دلیل انتخاب عدد مناسب برای تعداد کروموزم های جمعیت، تاثیر زیادی در کیفیت جواب ها و سرعت رسیدن به آنها دارد. گرچه نمی توان عدد خاصی را برای تمامی الگوریتم های ژنتیک عنوان نمود؛ اما به دلیل این که افزایش تعداد کروموزم های جمعیت، از یک محدوده به بعد تاثیر چندانی در بهبود کیفیت پاسخ ها ندارد، می توان با انجام آزمایش این محدوده عددی را یافته و به عنوان تعداد کروموزم های جمعیت در نظر گرفت. در این پژوهش از محدوده های کاری پیشنهاد شده و استفاده شده در مقالات و کتاب ها برای تعیین مجموعه جمعیت استفاده شده است. (۱۶)

#### ۴-۲-۶- انتخاب

در این مرحله از الگوریتم ژنتیک، دو والد جهت جفت گیری و تولید کروموزم جدید انتخاب می شوند. روش انتخاب باید به نحوی باشد که احتمال انتخاب کروموزم های برتر (از

نظر تابع برآزش) بیشتر باشند. روش‌های انتخاب مختلفی مطرح شده است؛ اما در این پژوهش از انتخاب نخبه‌گرا استفاده شده است. بر اساس این روش تعداد معینی از بهترین کروموزم‌ها در جمعیت جدید انتخاب می‌شوند. این روند باعث افزایش کارایی الگوریتم ژنتیک می‌گردد، زیرا مانع از گم شدن جواب‌های خوب به دست آمده می‌شود. (۱۶)

#### ۴-۲-۷- جفت‌گیری (ادغام)<sup>۱</sup>

به ایجاد کروموزم جدید به وسیله توزیع صفات والدین در آن، جفت‌گیری می‌گویند. اسم‌های مختلفی مانند برش، ادغام، تقاطع و جفت‌گیری برای این عملیات مطرح شده است. به دلیل تناسب معنایی عبارت "جفت‌گیری" با عملیات مشابه صورت گرفته در طبیعت و کاربرد کلمه "ادغام" در بسیاری از کتب، از این دو کلمه برای توصیف این مرحله استفاده می‌شود.

جفت‌گیری یکی از عواملی است که باعث ایجاد تحول در موجودات و تولید افراد متفاوت در یک گونه می‌شود. در طبیعت نتیجه حاصل از جفت‌گیری دو موجود، فرزندی خواهد بود که ترکیبی از صفات والدین خود را به همراه خواهد داشت. از آنجایی که معمولاً صفات برتر به عنوان ژن غالب عمل می‌نمایند، ویژگی‌های مثبت والدین در فرزندان بروز پیدا خواهد کرد. لذا احتمال ایجاد فرزندی برتر از دو والد با ویژگی‌های مثبت مختلف به دلیل دریافت ویژگی‌های مثبت والدین بسیار زیاد است.

در واقع مهم‌ترین مرحله جهت ایجاد تحول و بهبود کیفیت کروموزم‌ها مرحله جفت‌گیری و نحوه توزیع صفات والدین در فرزندان است. اثرگذاری این مرحله در همگرایی کروموزم‌ها به سمت پاسخ مورد نظر به حدی است که معمولاً الگوریتم ژنتیک را به وسیله انجام مرحله جفت‌گیری معرفی می‌نمایند. اکثر روش‌های جفت‌گیری معمول بدین صورت عمل می‌نمایند که طبق یک روش دلخواه، تعدادی از ژن‌های والد اول و تعدادی از ژن‌های والد دوم انتخاب نموده به نحوی که هر ژن فقط و تنها فقط در یکی از والدها انتخاب شده

---

1 - Crossover

باشد. سپس کروموزم جدید بر اساس ترکیب ژن‌های انتخاب‌شده والد اول و دوم ایجاد می‌گردد. اگر عملیات جفت‌گیری برای تولید دو فرزند طراحی شده باشد، کروموزم دوم از ادغام ژن‌های انتخاب نشده والد اول و دوم به وجود می‌آید. (۱۶)

#### ۴-۲-۸- جهش<sup>۱</sup>

یکی دیگر از عوامل تحول‌زا در موجودات زنده، جهش است. به پیدایش هر نوع تغییر در ژن‌های یک کروموزم جهش می‌گویند. در واقع جهش ژنتیکی در نگاه عامه مردم به تغییرات منفی در ساختار کروموزم اشاره می‌نماید. البته از آنجایی که این تغییرات به صورت تصادفی است امکان ایجاد کروموزم‌های نامناسب در آن زیاد است. به عنوان مثال اگر مقدار یک بیت در تمام کروموزم‌ها صفر (یا یک) باشد با هیچ یک از روش‌های ادغام نمی‌توان مقدار این بیت را یک (یا صفر) نمود؛ چون فرآیند جفت‌گیری بر اساس انتقال خصوصیات از والدین به فرزندان عمل می‌نماید. از آنجایی که مقدار این ژن در آن یک (یا صفر) باشد. در حقیقت عملیات جهش برای گریز از قرار گرفتن در اکستریم‌های محلی (بسته به این که تابع برازش به دنبال ماکسیمم کردن است یا مینیمم) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در کروموزم‌های دارای ساختار باینری (ساختار صفر و یک)، عمل جهش عبارت است از تغییر مقدار یک بیت از یک به صفر یا بالعکس بر اساس یک احتمال کوچک مثل  $P_m$ . مکانیزم اجرایی جهش بدین صورت است که یک عدد تصادفی بین ۰ تا ۱ تولید می‌نماید؛ اگر این عدد کمتر از  $P_m$  بود آن‌گاه تغییر مقدار بیت انجام می‌پذیرد و گرنه مقدار بیت تغییری نمی‌کند. در صورتی که بخواهید برای تک تک بیت‌ها احتمال تغییر را در نظر گرفته و عملیات جهش را بر روی آن‌ها اعمال نمایید، باید مقدار  $P_m$  را خیلی کم در نظر بگیرید. در غیر این صورت کروموزم‌هایی که به صورت تصادفی ساخته می‌شوند تفاوت چندانی از نظر کیفیت نخواهند داشت. برای کروموزم‌های دارای ساختار جایگشتی، با جابجایی مقدار دو خانه که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، می‌توان عملیات جهش را پیاده‌سازی نمود. وقتی که جمعیت به

---

1 - Mutation

سمت جواب خاصی (اکسترمم محلی) همگرا می‌شود، باید احتمال جهش را زیاد نمود تا تنوع کروموزم‌ها در جمعیت افزایش یابد و وقتی جمعیت حاوی کروموزم‌های غیر یکسان است باید احتمال جهش کم شود. بنابراین احتمال جهش تابع معکوسی از تعداد جواب‌های غیریکسان جمعیت است. می‌توان بر اساس این موضوع احتمال جهش را بین دو مقدار در حال تغییر قرار دارد. نکته دیگر درباره عملگرهای فوق، یافتن تعداد نقاط جهش است که این مورد از مسأله به مسأله دیگر فرق می‌کند و هیچ راه به خصوصی برای یافتن مقدار بهینه آن به جز استفاده از روش سعی و خطا وجود ندارد. (۱۵)

والد ۱	0	1	1	0	1	0	0	1
والد ۲	0	0	1	0	0	1	0	0
AND	0	0	0	0	0	1	0	0
OR	1	0	1	1	0	1	1	0
XOR	1	0	1	1	0	0	1	0

شکل (۴-۳) توابع بیتی قابل استفاده در جفت‌گیری (۱۵)

در جفت‌گیری و جهش در ساختار باینری می‌توان از عملگرهای بیتی نیز استفاده نمود. عملگرهای دو دوکاره در روش‌های جفت‌گیری و عملگرهای تک کاره در مدل‌های جهش کاربرد دارند. از آنجایی که در عملگر AND احتمال ایجاد صفر، سه برابر عدد یک است و در OR احتمال ایجاد یک، سه برابر عدد صفر است. استفاده از این دو عملگر توصیه نمی‌شود. در شکل ۴-۳ برخی از این عملیات در جفت‌گیری نشان داده شده‌اند. در شکل ۴-۴ تعدادی عملیات معرفی شده که بر روی یک کروموزم عمل می‌نماید و باعث جهش می‌شود نمایش داده شده است.

1	0	0	1	0	1	1	0	کروموزم
0	1	1	0	1	0	0	1	مکمل
0	1	0	0	1	0	1	1	شیفت به راست
0	0	1	0	1	1	0	0	شیفت به چپ

شکل (۴-۴) توابع بیتی قابل استفاده در جهش (۱۵)

#### ۴-۲-۹- همگرایی

تاکنون تحقیقاتی برای بررسی همگرایی الگوریتم ژنتیک با استفاده از زنجیره مارکوف گرفته است. این بررسی‌ها بر روی جمعیت‌های بزرگ با نرخ جهش پایین، به صورت آماری انجام شده است. مطالعات دیگری برای پیدا کردن یک واحد بالا برای تعداد تکرارها نیز صورت گرفته است اما به طور کلی یک اثبات صریح و جامع ریاضی درباره همگرایی وجود ندارد. یک معیار دیگر همگرایی را می‌توان به این صورت بیان کرد که وقتی یک درصد ثابتی از سطر و ستون‌های ماتریس جمعیت شبیه هم می‌شوند، می‌توان فرض کرد که همگرایی صورت گرفته است. این درصد ممکن است ۸۰٪ یا ۸۵٪ باشد. (۱۵) در این پژوهش از ۸۰٪ استفاده شده است.

#### ۴-۲-۱۰- شرط توقف الگوریتم

سوال مهمی که در اینجا وجود دارد این است که چه زمانی باید الگوریتم متوقف شود؟ باید اذعان داشت که هیچ جواب جامع و مناسبی برای این سوال وجود ندارد؛ اما بعضی از شرط‌های توقف عبارتند از:



۱. رسیدن به جواب که این ساده‌ترین روش است. به این معنی که اگر مقدار کروموزم مناسب‌ترین باشد، الگوریتم متوقف می‌شود.
  ۲. عدم پیشرفت؛ یعنی الگوریتم ژنتیک پس از  $x$  بار تکرار با همان کروموزم‌های قبلی ادامه پیدا کند.
  ۳. به روش آماری: اگر مقدار تابع برازش به یک مقدار مشخصی رسید، الگوریتم متوقف شود.
  ۴. تعداد تکرارها: اگر هیچ از یک موارد فوق جواب نداد، شرط توقف را تعداد تکرارهای مشخصی قرار می‌دهیم.
  ۵. بهینه‌سازی موضعی: از یک بهینه‌سازی موضعی استفاده می‌کنیم که در صورت عدم پیشرفت متوقف شود. (۱۵)
- در این پژوهش برای تعیین اتمام فرآیند بهینه‌سازی تعداد تکرارها مشخص شده است.

#### ۴-۲-۱۱- متغیرهای بهینه‌سازی

برخی از متغیرهای مستقل ممکن است طی مراحل بهینه‌سازی تغییر کند که به آن‌ها متغیرهای تصمیم می‌گوییم و برخی دیگر برای یک کاربرد خاص ثابت هستند که به آن‌ها پارامتر می‌گوییم. با مشخص شدن متغیرهای تصمیم، سایر مشخصات سیستم محاسبه می‌شود. متغیرهای تصمیم موارد زیر هستند:

- (۱) نرخ جریان جرمی مبرد (کیلوگرم بر ثانیه)
- (۲) نرخ جریان جرمی آب (کیلوگرم بر ثانیه)
- (۳) دمای هوای ورودی به فن کندانسور (درجه سلسیوس)
- (۴) دمای خروجی از اواپراتور (درجه سلسیوس)
- (۵) دمای خروجی از کندانسور (درجه سلسیوس)
- (۶) دمای ورودی به مبدل زمین گرمایی (درجه سلسیوس)
- (۷) دمای خروجی از مبدل زمین گرمایی (درجه سلسیوس)

(۸) بازده آیزنتروپیک کمپرسور

(۹) بازده حرارتی کندانسور

(۱۰) بازده حرارتی اواپراتور

#### ۴-۲-۱۲- پارامترهای بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک

ویژگی‌های مهم زیر را در الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی متغیرهای تصمیم و تابع هدف در نظر گرفته شده است:

(۱) اندازه جمعیت: ۱۰۰ تا

(۲) تعداد تکرار: ۱۵۰ بار

(۳) درصد ادغام: ۰.۷

(۴) درصد جهش: ۰.۴

(۵) نرخ تاثیر جهش: ۰.۰۲

#### ۴-۲-۱۳- توابع هدف

با توجه به اینکه ما در بهینه‌سازی از روش الگوریتم ژنتیک مرتب شده غیر مغلوب به صورت چند هدفه استفاده می‌کنیم پس لازم است توابع چند هدفه شامل تابع هدف اگزرژی و اقتصادی معین شوند. تابع هدف اگزرژی همان رابطه ۴-۳۳ می‌باشد که عبارت است از:

تابع هدف اگزرژی :

$$Z_1 = \left(1 - \frac{T_0}{T_{ground}}\right) \dot{Q}_{ghe} + \dot{m}_w(\psi_5 - \psi_6) - \dot{Q}_{cfan} \left(1 - \frac{T_0}{T_{i,a}}\right) + \dot{W}_{comp}$$

برای تحلیل و بهینه‌سازی اقتصادی سیستم‌های انرژی، باید هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه بهره‌برداری که همان هزینه مصرف برق می‌باشد و هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم‌ها را محاسبه کرد.

با استفاده از مراجع (۳۴،۳۵،۳۶) توابع هزینه و تعمیرات و نگهداری تجهیزات به صورت زیر تعریف می گردند:

الف) الکتروموتور کمپرسور :

$$Z_i = Z_{o,i} \left( \frac{P_i}{P_{o,i}} \right)^{m_i} \frac{\eta_i}{1-\eta_i} \quad \text{رابطه (۴-۳۶)}$$

که  $P_i$  کار مکانیکی بدست آمده از موتور الکتریکی و  $\eta_i$  بازده الکترومکانیکی موتور است و مقادیر ثابت  $m_i = 0.87$  ،  $P_{o,i} = 10 Kw$  و  $Z_{o,i} = 150 \$$  پیشنهاد شده است.

ب) کمپرسور :

$$Z_{comp} = Z_{o,cp} \left( \frac{P_{cp}}{P_{o,cp}} \right)^{m_{cp}} \left( \frac{\eta_{cp}}{0.9-\eta_{cp}} \right)^{n_{cp}} \quad \text{رابطه (۴-۳۷)}$$

که  $P_{cp}$  کار واقعی کمپرسور و  $\eta_{cp}$  بازده ایزنتروپیک کمپرسور می باشد و مقادیر ثابت  $n_{cp} = 0.5$  و  $m_{cp} = 1$  و  $P_{o,cp} = 100$  و  $Z_{o,cp} = 12000 \$$  پیشنهاد شده است. (۱۷)

ج) کندانسور :

$$Z_{cond} = Z_{o,co} \left\{ \frac{C_{a,co}}{U_{co} \cdot A_{o,co}} \times [-\ln(1 - \varepsilon_{co})] \right\} \times P_{co} \quad \text{رابطه (۴-۳۸)}$$

که  $P_{co}$  همان اتلاف حرارتی کندانسور می باشد و  $C_{a,co}$  ظرفیت حرارتی هوا در واحد زمان ،  $\varepsilon_{co}$  بازده حرارتی کندانسور است که مقدار اولیه آن ۰.۷۶ می باشد و مقادیر ثابت  $Z_{o,co} = 450$  ،  $A_{o,co} = 100 m^2$  و  $U_{co} = 0.15 Kw/m^2K$  پیشنهاد شده است. (۱۷)

د) شیر فشار شکن :

$$Z_{ex.v} = Z_{o,ex.v} \times P_{ex.v} \quad \text{رابطه (۴-۳۹)}$$

که  $P_{ex.v}$  همان محصول شیر فشار شکن و  $Z_{o,ex.v} = 37 \$$  پیشنهاد شده است. (۱۷)

ه) اواپراتور :

$$Z_{evap} = Z_{o,ev} \left\{ \frac{C_{w,ev}}{U_{co-Ao,ev}} \times [-\ln(1 - \varepsilon_{ev})] \right\} \times P_{ev} \quad \text{رابطه (۴-۴۰)}$$

که  $P_{ev}$  همان اتلاف حرارتی اواپراتور و  $C_{w,ev}$  ظرفیت گرمایی آب  $\varepsilon_{ev}$  بازده حرارتی اواپراتور است که مقدار اولیه آن ۰.۷۴ می باشد و مقادیر ثابت  $Z_{o,ev} = 1140 \$$  و  $A_{o,ev} = 100 m^2$  و  $U_{ev} = 0.2 Kw/m^2K$  پیشنهاد شده است. (۱۷)

با توجه به معادلات بالا کل هزینه سرمایه گذاری و تعمیر و نگهداری<sup>۱</sup> به صورت رابطه ۴-۴۱ بدست می آید:

$$Z_{tot} = (1 + CRF) \times (Z_i + Z_{comp} + Z_{cond} + Z_{ex.v} + Z_{evap}) \quad \text{رابطه (۴-۴۱)}$$

که  $CRF$  ضریب بازگشت سرمایه<sup>۲</sup> که به صورت زیر تعریف می شود:

$$CRF = \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{رابطه (۴-۴۲)}$$

که  $n$  عمر کارکرد تجهیزات است که در اینجا برابر ۱۵ سال در نظر گرفته شده است و  $i$  نرخ بهره که برابر ۰.۱۴ می باشد.

هزینه بهره برداری نیز از رابطه زیر بدست می آید:

$$Z_{op} = (\dot{W}_{comp} + \dot{W}_{pump}) \times \tau \times C_{elec} \quad \text{رابطه (۴-۴۳)}$$

در این رابطه  $C_{elec} = 0.06 \$$  هزینه انرژی برق است.  $\dot{W}_{pump}$  کار مربوط به پمپ می باشد که برابر با ۱۰۰ کیلو وات در روز در نظر گرفته شده است و  $\tau$  تعداد ساعات بهره برداری در سال است. (۱۷)

1 - Capital And Maintainance Costs

2 - Capital Recovery Factor

با توجه به روابط ذکر شده تابع هدف اقتصادی برابر با مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری و همچنین هزینه بهره‌برداری می‌باشد که عبارت است از:

تابع هدف اقتصادی :

$$Z_2 = Z_{tot} + Z_{op}$$

رابطه (۴-۴۴)

رابطه‌های ۴-۳۳ و ۴-۴۴ توابع هدف برای بهینه‌سازی چند هدفه تخریب‌آزرژی و نرخ هزینه می‌باشند که توسط کد نویسی در نرم افزار Matlab با روش الگوریتم ژنتیک بهینه می‌شوند.

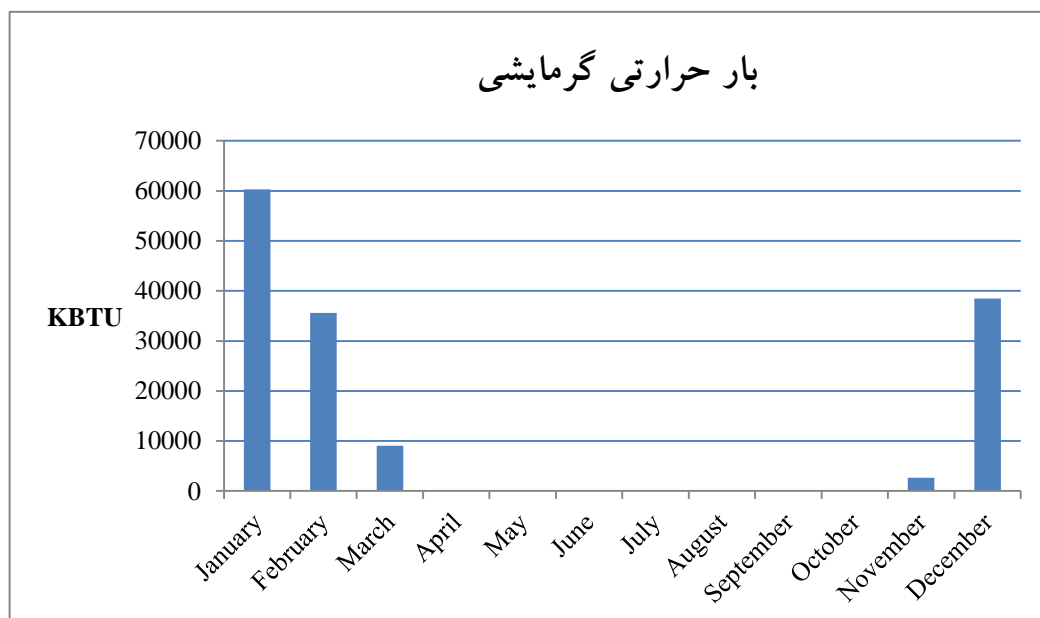
## فصل پنجم : نتایج

## ۵-۱- مقدمه

در این پژوهش ابتدا اتلاف حرارتی بیمارستان زیرزمینی در نرم افزار Carrier محاسبه گردید. سپس تحلیل اگزرژی پمپ حرارتی زمین گرمایی جهش گرمایش بیمارستان مذکور با توجه به آب و هوای شهر تهران انجام گردید. در آخر هم با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب شده غیر مغلوب، بهینه سازی چند هدفه به طور همزمان (تابع هدف اگزرژی و تابع هدف اقتصادی) برای پمپ حرارتی زمین گرمایی با کد نویسی در نرم افزار Matlab انجام شد.

## ۵-۲- نتایج مربوط به بار حرارتی

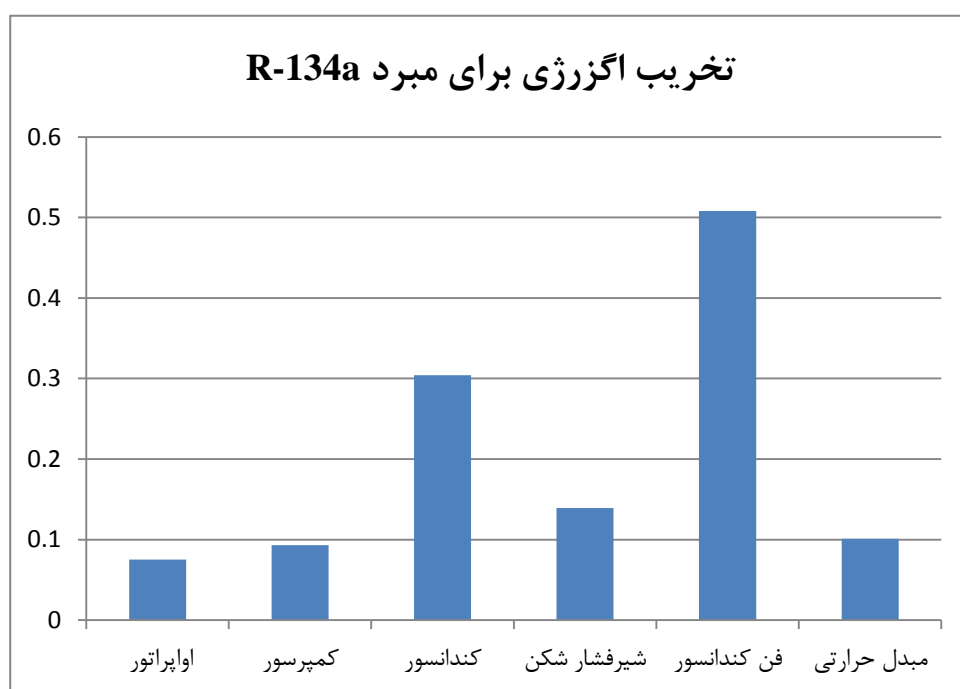
چنانچه در محاسبات مربوط به اتلاف حرارتی ساختمان که در فصل ۳ مشاهده شد، بار حرارتی ساختمان در نرم افزار Carrier انجام گردید. در پیوست ب نتایج حاصل از محاسبات بار حرارتی ساختمان توسط این نرم افزار آمده است. نمودار ۵-۱ بار حرارتی ماهانه بر حسب kBTU نشان می دهد.



نمودار (۵-۱) بار ماهانه حرارتی ساختمان جهت گرمایش

### ۳-۵- نتایج مربوط به اگزرژی

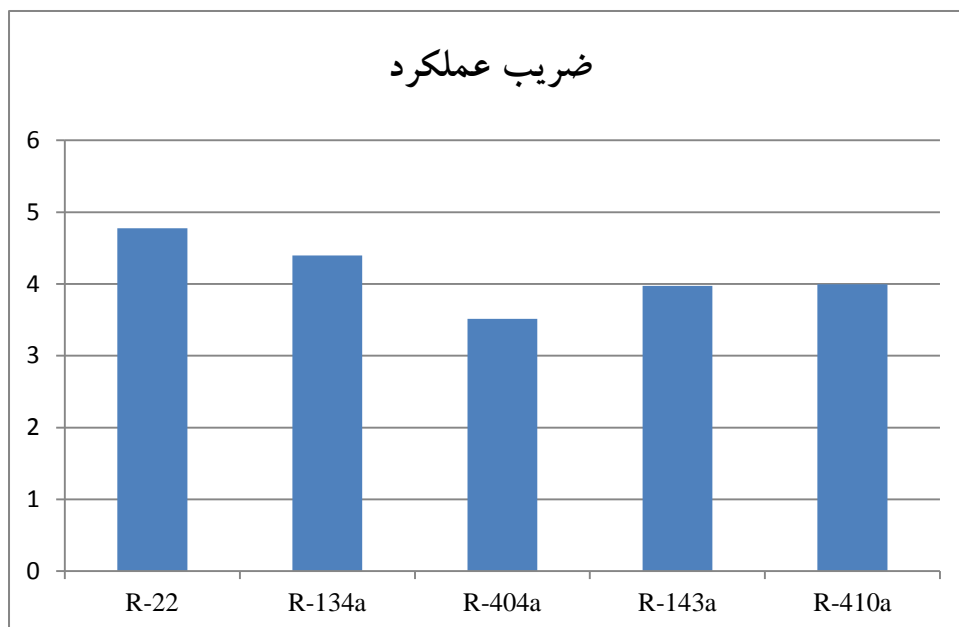
بر اساس تحلیل اگزرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی برای بیمارستان زیرزمینی در شهر تهران که مبدل زمینی آن، سیکل بسته U شکل می‌باشد؛ بیشترین اتلاف اگزرژی مربوط به فن کندانسور می‌باشد و بعد از آن به ترتیب کندانسور، شیرفشارشکن، مبدل حرارتی زمینی، کمپرسور و در آخر اواپراتور می‌باشند. نتایج مربوط به تحلیل اگزرژی اجزاء پمپ حرارتی زمین گرمایی به صورت نمودار ۲-۵ ارائه شده است.



نمودار (۲-۵) اتلاف (تخریب) اگزرژی اجزاء پمپ حرارتی زمین گرمایی

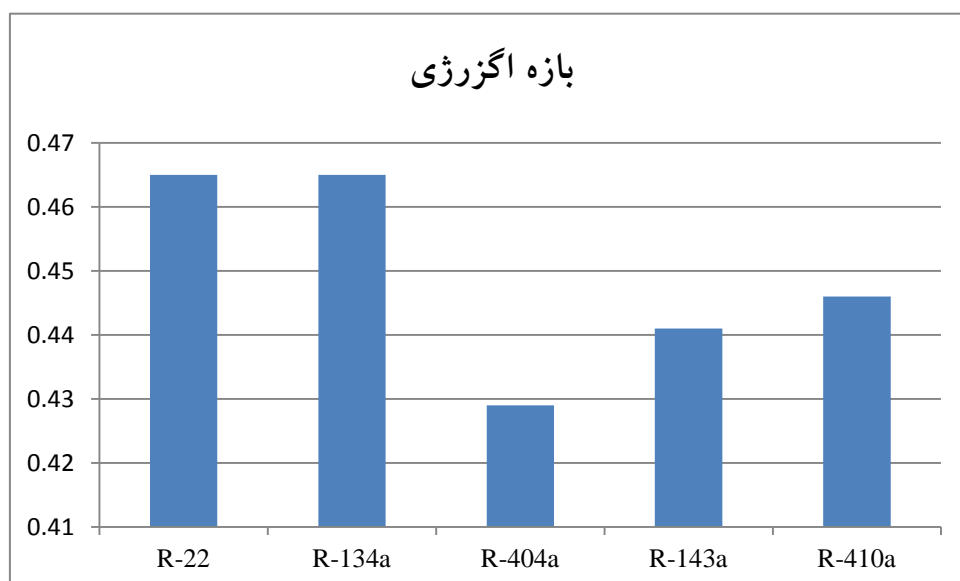
یکی از عوامل مهم در تعیین ضریب عملکرد و راندمان سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی انتخاب نوع مبرد است. نمودار ۳-۵ ضریب عملکرد برای مبردهای مختلف نشان داده شده است.





نمودار (۳-۵) ضریب عملکرد سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی برای مبردهای مختلف

این نمودار نشان دهنده تاثیرگذاری مبردهای مختلف در میزان ضریب عملکرد سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی است که بر این اساس مبردهای R-22 و R-134a بهترین مبردها هستند. همچنین از نمودار ۴-۵ که بازده اگزرژی برای مبردهای مختلف را نشان می‌دهد؛ استنباط می‌شود، مبردهای R-22 و R-134a دارای بیشترین بازده اگزرژی می‌باشد.



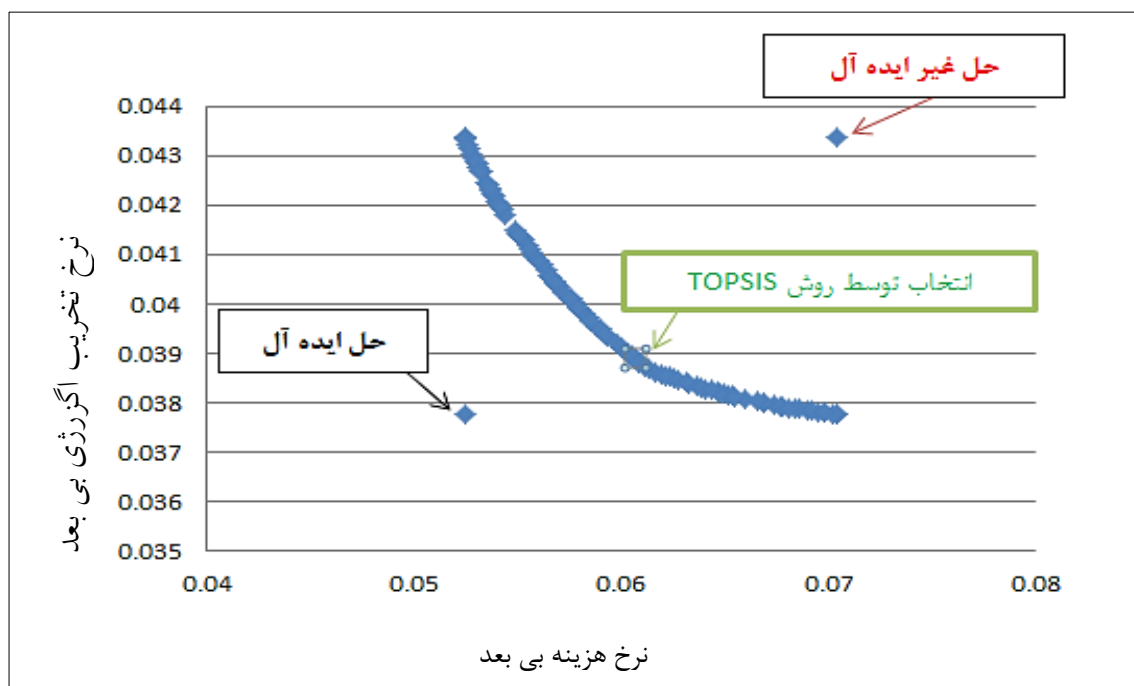
نمودار (۴-۵) بازده اگزرژی سیستم برای مبردهای مختلف

سمی و اشتعال پذیر بودن مبردها نیز از نظر پدافندی بسیار حائز اهمیت می باشد. در استاندارد ASHREA مبردها بر اساس میزان سمی بودن (دارای اثرات سمی  $B =$  و غیر سمی  $A =$ ) و اشتعال پذیری (بسیار اشتعال پذیر  $= 3$ ، کم اشتعال پذیر  $= 2$  و اشتعال ناپذیر  $= 1$ ) تقسیم بندی می شوند. همگی مبردها به جز R-143a در کلاس A<sub>1</sub> قرار دارند یعنی غیرسمی و غیرقابل اشتعال هستند که R-143a در کلاس A<sub>2</sub> قرار دارد یعنی این مبرد غیرسمی و دارای قابلیت اشتعال کم می باشد. (۳۷)

امروزه اکثر پمپ های حرارتی صنعتی نصب شده در ایران با مبرد R-22 کار می کنند. اما این مبرد پایدار و مخرب لایه اوزون است و همه کشورها به دنبال جایگزینی مناسب برای آن در صنعت هستند که اکنون بیشتر کشورهای صنعتی و پیشرفته مبرد R-134a را جایگزین آن کرده اند چرا که این مبرد هم دارای ضریب عملکرد بالا می باشد و هم بازده انرژی بالایی دارد. محاسبات مربوط به ضریب عملکرد پمپ حرارتی زمین گرمایی و راندمان انرژی برای مبردهای مختلف در نرم افزار EES در پیوست ج آمده است.

## ۵-۴- نتایج مربوط به بهینه‌سازی اقتصادی

پس از یافتن توابع هدف اگزرژی و اقتصادی، این توابع در نرم افزار Matlab کدنویسی شدند و با روش الگوریتم ژنتیک مرتب شده غیر مغلوب چند هدفه، این دو تابع هدف به صورت همزمان بهینه شدند. نقطه بهینه با استفاده از روش TOSIS که بر اساس کمترین فاصله از نقطه ایده‌آل و بیشترین فاصله از نقطه غیر ایده‌آل می‌باشد، بدست آمد. نمودار ۵-۵ انتخاب نقطه بهینه با توجه به نرخ اتلاف اگزرژی و نرخ هزینه کل را نشان می‌دهد.



نمودار (۵-۵) جبهه پرتوی بی بعد برای بهینه‌سازی هزینه-نرخ تخریب اگزرژی و انتخاب نقطه بهینه

بر اساس روش انتخاب نقطه بهینه جواب‌های بدست آمده که همام روش تاپسیس می‌باشد؛ در نمودار پرتوی بی بعد، جواب‌ها (فرزندان پس از اعمال عملگرهای ادغام و جهش) بر اساس تابع اتلاف اگزرژی و تابع هزینه بدست آمده‌اند، فرزند (جواب) ۴۹ ام دارای بهترین مقادیر بهینه‌سازی است. مقادیر بهینه پارامترهای طراحی و توابع هدف در جدول ۵-۱ و جدول ۵-۲ نشان داده شده است.

جدول (۵-۱) مقادیر بهینه متغیرهای طراحی (تصمیم گیری)

مقدار اولیه	مقدار بهینه	متغیرهای طراحی
۰.۰۱۶۹	۰.۰۱۴	نرخ جریان جرمی مبرد (کیلوگرم بر ثانیه)
۰.۱۳۲	۰.۱۲۵	نرخ جریان جرمی آب (کیلوگرم بر ثانیه)
۴۵.۴	۴۰	دمای هوای ورودی به فن کندانسور (درجه سلسیوس)
-۶.۶	-۲.۸	دمای خروجی از اواپراتور (درجه سلسیوس)
۳۳.۴	۳۳.۸	دمای خروجی از کندانسور (درجه سلسیوس)
۱۲.۸۳	۱۴.۸۴	دمای ورودی به مبدل زمین گرمایی (درجه سلسیوس)
۱۷.۳۳	۱۹.۸۵	دمای خروجی از مبدل زمین گرمایی (درجه سلسیوس)
۰.۸۵	۰.۸	بازده آیزنتروپیک کمپرسور
۰.۷۶	۰.۷	بازده حرارتی کندانسور
۰.۷۴	۰.۷	بازده حرارتی اواپراتور

بر اساس مشاهدات در مقالات و کتب ترمودینامیکی، نرخ جرمی مبرد در پمپ حرارتی زمین گرمایی در بازه (۰.۰۱ تا ۰.۰۲) متغیر است و نرخ جرمی آب در مبدل زمینی پمپ حرارتی نیز در بازه (۰.۱ تا ۰.۱۵) متغیر است. با مقایسه بین مقادیر بهینه و مقادیر اولیه متغیرهای طراحی پمپ حرارتی زمین گرمایی می‌توان گفت، که نرخ جرمی مبرد (R-134a) و نرخ جرمی آب در بهینه‌سازی از مقدار اولیه طرحی کمتر شده‌اند و به مقدار حداقلی خود نزدیک‌تر هستند.

دمای هوای ورودی به فن کندانسور در حالت اولیه مقدار ۴۵.۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد ولی در مقدار بهینه باید دارای مقدار ۴۰ درجه سانتی‌گراد باشد تا بیشترین راندمان را داشته باشد. بدین ترتیب اگر بخواهیم اواپراتور عملکرد بهینه داشته باشد باید دمای خروجی از اواپراتور مقداری کمتر از مقدار اولیه طراحی و معادل -۲.۸ درجه سانتی‌گراد را داشته باشد.

چنانچه از جدول برداشت می‌شود، متغیرهای طراحی در مبدل زمینی (دمای خروجی و ورودی به مبدل زمینی) در حالت بهینه بر خلاف دیگر متغیرهای طراحی، بیشتر از مقادیر اولیه شده‌اند.

بازده آیزنتروپیک کمپرسور که بین مقادیر ۰.۸ تا ۰.۸۵ در حال تغییر است، در حالت بهینه همان مقدار حداقلی خود می‌باشد. بازده حرارتی کندانسور در بازه (۰.۷ الی ۰.۸) و بازده حرارتی اواپراتور نیز در بازه (۰.۷ الی ۰.۹) متغیر می‌باشند که بازده حرارتی کندانسور و اواپراتور در حالت بهینه از حالت طراحی اولیه خود کمتر شده و به مقدار حداقلی خود رسیده‌اند.

جدول (۵-۲) مقادیر بهینه توابع هدف

درصد تغییرات (%)	مقدار اولیه	مقدار بهینه	مقادیر توابع هدف
۱۲.۸۸	۰.۱۶۳	۰.۱۸۴	نرخ انتقال حرارت کندانسور (کیلووات)
۶.۴۹	۱.۴۰۲	۱.۴۹۳	نرخ انتقال حرارت اواپراتور (کیلووات)
-۱.۴	۰.۶۳۸	۰.۶۲۴	توان کمپرسور (کیلووات)
-۴.۲۴	۱.۹۷۶	۱.۸۹۲۱	نرخ کل تخریب آگزرژی (کیلووات)
۷.۰۶	۰.۲۳۵	۰.۲۵۲	هزینه الکتروموتور (دلار بر روز)
۱۳.۵۰	۰.۴۳۱	۰.۴۹۰	هزینه کمپرسور (دلار بر روز)
۲۶.۱۸	۰.۰۴۴	۰.۰۵۶	هزینه کندانسور (دلار بر روز)
۱۲.۲۴	۰.۰۵۱	۰.۰۵۷	هزینه شیر فشار شکن (دلار بر روز)
۲۳.۷۶	۰.۲۰۵	۰.۲۵۴	هزینه اواپراتور (دلار بر روز)
-۳.۷۲	۶.۵۰۴	۶.۲۳۱	هزینه بهره برداری (دلار بر روز)
-۱.۳۴	۷.۴۶۶	۷.۳۰۹	هزینه کل (دلار بر روز)

بر اساس جدول فوق نرخ انتقال حرارت کندانسور و اواپراتور در حالت بهینه بیشتر از مقدار اولیه طراحی می‌باشد و درصد تغییرات آن‌ها به ترتیب ۱۲.۸۸ و ۶.۴۹ می‌باشد و توان

بهینه کمپرسور نیز به مقدار ۱.۴- درصد نسبت به مقدار اولیه کاهش یافته است. همچنین نرخ اتلاف انرژی در حالت بهینه دارای کاهش ۴.۲۴- درصدی نسبت به طراحی اولیه داشته است.

هر چند طی بهینه‌سازی، هزینه تجهیزات افزایش نشان داد، (قیمت الکتروموتور ۷۰۶ درصد، قیمت کمپرسور ۱۳.۵۰ درصد، قیمت کندانسور ۲۶.۱۸ درصد، قیمت شیر فشارشکن ۱۲.۲۴ درصد و قیمت اواپراتور ۲۳.۷۶ درصد)، در مقابل کاهش هزینه ۳.۷۲ درصدی مصرف بهره‌برداری (مصرف انرژی) در کل، منجر به کاهش هزینه ۱.۳۴ درصدی برای کل سیستم گردید.

## ۵-۵- پیشنهادات

۱. تحقیقات در زمینه چگونگی استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر، نو و پاک در

اماکن نظامی و حساس کشور به منظور تأمین انرژی پایدار در زمان بحران مانند جنگ

۲. مقایسه انواع پمپ حرارتی در شرایط جغرافیایی و آب و هوایی و تعیین سیستم

مناسب در مناطق مختلف

۳. بررسی ترکیب این سیستم‌ها با سیستم‌های هیبریدی (برج خنک کن برای دفع بیشتر

حرارت در فاز سرمایش و سیستم‌های خورشیدی برای جذب حرارت در فاز

گرمایش) جهت بالابردن توان و بازده در مناطق مناسب طبق اصول پدافند غیرعامل

## فهرست منابع و مآخذ

- ۱- دفتر آگاه‌سازی سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، انرژی زمین‌گرمایی ۱، گزارش دوم، تهران: سازمان انرژی‌های نو ایران، ۱۳۹۰.
- ۲- فخری، میرعرب و ملیحی، فرزاد. «پمپ حرارتی زمین‌گرمایی رویکردی نوین در تامین حرارت و برودت ساختمان‌ها»، نخستین همایش ملی انرژی، ساختمان و شهر، ۱۳۹۴.
- ۳- دفتر آگاه‌سازی سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، انرژی زمین‌گرمایی ۱، گزارش هفتم، تهران: سازمان انرژی‌های نو ایران، ۱۳۹۰.
- ۴- نادری، هومن. استفاده از پمپ‌های زمین‌گرمایی به منظور تأمین انرژی پایدار در زمان بحران، سازمان پدافند غیر عامل، ۱۳۹۳.
- ۵- ملک پور، محمد. انرژی زمین‌گرمایی، تهران: یزدا، ۱۳۹۱.
- ۶- طباطبایی، سیدمجتبی. محاسبات تاسیسات ساختمان، چاپ سیزدهم، تهران: روزبهان، ۱۳۸۸.
- ۷- منصف راد، سیدمهدی و جواهرزاده، کوروش. «تحلیل جامع انرژی یک پمپ حرارتی زمین‌گرمایی دما پایین برای استفاده در شرایط اقلیمی رامسر»، نشریه علمی- پژوهشی مدیریت انرژی، سال دوم، شماره اول، ۱۳۹۱، صص. ۴۸-۵۷.
- ۸- افتخاری، محمد و ملکی، رضا. «بررسی مزایای پمپ حرارتی زمین‌گرمایی، نحوه عملکرد و انواع آن»، دومین همایش سراسری محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی، ۱۳۹۳.
- ۹- دفتر مقررات ملی ساختمان، مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث بیست و یکم (پدافند غیر عامل)، ویرایش سوم، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۲.
- ۱۰- جلالی فراهانی، غلامرضا و هاشمی فشارکی، سیدجواد. پدافند غیرعامل در آیینیه قوانین و مقررات، تهران: سازمان پدافند غیرعامل، ۱۳۸۹.

۱۱- مجتهدی، صادق و آقاجانی، سیروس. «تحلیل اگزرژی، ترموآکونومیک و بهینه‌سازی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل»، دهمین همایش انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد، ۱۳۹۵.

۱۲- کیان، هادی و صداقت، احمد. «بهینه‌سازی چند هدفه یک سیستم پمپ حرارتی منبع زمینی ترکیب شده با سیستم سرمایش خورشیدی»، مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس، دوره ۱۶، شماره ۱، ۱۳۹۵، صص. ۵۱-۶۲.

۱۳- بهارمست، محمد و فخار، احمد. «پمپ حرارتی راهکاری برای بهینه‌سازی انرژی»، دومین همایش سراسری محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی، ۱۳۹۲.

۱۴- سیاوشی کرد، علی؛ جزایری، سیدعلی و سیاوشی، پوریا. «تحلیل پمپ حرارتی زمین گرمایی در شرایط اقلیمی شهر تهران»، بیستمین همایش سالانه مهندسی مکانیک ایران، دانشگاه شیراز، ۱۳۹۱.

۱۵- مهدی، علیرضا. مقدمه‌ای بر الگوریتم ژنتیک و کاربردهای آن، تهران: ناقوس، ۱۳۸۶.

۱۶- شیدایی، حمزه. مدلسازی و ارزیابی عملکرد سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی ترکیب شده با انرژی خورشیدی، پایان نامه ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، ۱۳۹۲.

۱۷- صنایع، سپهر؛ سجادی، پگاه و زاوش، قهار. «بهینه‌سازی اگزرژی- اقتصادی پمپ حرارتی تراکمی»، دانشگاه علم و صنعت ایران، آزمایشگاه بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی، ۱۳۹۳.

18- Hepbasli, A. "Thermodynamic analysis of a ground-source heat pump system for district heating", International Journal of Energy Research, 29, 2005, pp. 671-687

19- Hwang, Y [et al]. "Cooling Performance of a vertical ground-coupled-heat pump system installed in a school building", International Journal of Renewable Energy Research, Vol. 1, No. 5, 2008

20- Lund, J [et al]. "Geothermal (Ground Source) Heat Pumps, A World Overview", Geo-Heat Center Quarterly Bulletin (Klamath Falls, Oregon: Oregon Institute of technology), 25 (3), 2004, pp 1-10. ISSN 0276-1084

21- [www.suna.org.ir](http://www.suna.org.ir)



- 22- Siavoshi kord, A & Jazayeri, S.A., Optimization and analysis of a vertical ground coupled heat pump , International Journal of Renewable Energy Research. Vol. 2, No. 1,2012
- 23- <http://geothermal haetpump.persianblog.ir>
- 24- <http://bernoulli.ir/>
- 25- <http://damatajhiz.com/>
- 26- Esan, H [et al]., “Energy and exergy analysis of a ground-coupled heat pump system with two horizontal ground heat exchangers”, Building and Environment, Vol 42, 2007, pp 3606-3615
- 27- Hepbasli, A & Akdemir, O. “Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system”, Energy Conversion & Management, Vol 45, 2004, pp737-753
- 28- Maneesh K.” Geothermal Cooling/Heating Using Ground Heat Exchanger for Various Experimental and Analytical Studies”, Comprehensive Review, International Journal of Renewable Energy and Building, vol 139, 2017, pp 634-652
- 29- Kavanaugh, S. P & Rafferty, K. "Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings", ASHRAE Inc., Atlanta, 1997
- 30- Sonntag, R & Borgnakke, C & VanWaylen, G. Fundamentals of Engineering Thermodynamic, 4<sup>th</sup>end, New York: John Wiley & Sons, 749P, 1986
- 31- <http://www.irimo.ir>
- 32- Randy, L & sue Ellen Haupt, Parctical Genetic Algorithm (2<sup>th</sup>end), USA: Wiley, 2004
- 33- Perzina, R. “Solving the University Timetabling Problem with Optimized Enrolment of student by a parallel Self-adaptive Genetic Algorithm, ISBN 80-210-3726-1,PATAT, 2006, pp:246-280
- 34- Boehm, R.F. Design Analysis of thermal Systems, Willy, New York, 1987
- 35- Wall, G & Int, J.Refrig. “Optimization of refrigeration machinery”, Vol 14, 1991, pp.336-340

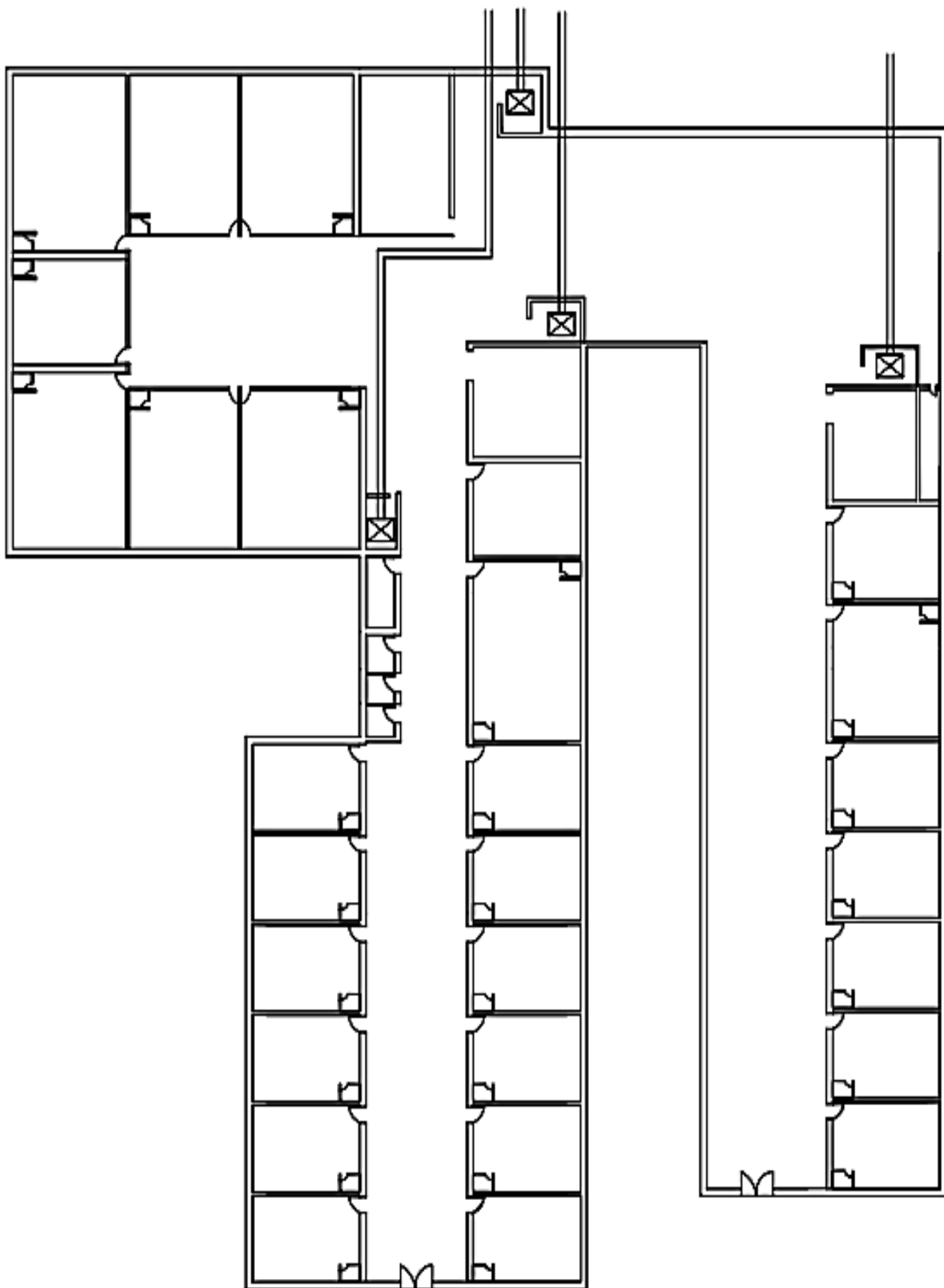
36- Kays T.J. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Butterworth-Hill, New York, 1964

38- The ASHRAE Standards Committee, "Designation and Safety Classification of Refrigerants", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, INC, 2012

## **پیوست الف : نقشه‌های بیمارستان**



شکل الف- ۱ شماتیک پلان بیمارستان واقع در شهر تهران



شکل (الف - ۲) محل قرار گیری پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی

**پیوست ب: گزارشات مربوط به نرم افزار کریر**

### Design Parameters:

---

City Name ..... **Tehran**  
Location ..... **Iran**  
Latitude ..... **35.7** Deg.  
Longitude ..... **-51.4** Deg.  
Elevation ..... **4002.0** ft  
Summer Design Dry-Bulb ..... **102.0** °F  
Summer Coincident Wet-Bulb ..... **75.0** °F  
Summer Daily Range ..... **27.0** °F  
Winter Design Dry-Bulb ..... **20.0** °F  
Winter Design Wet-Bulb ..... **16.2** °F  
Atmospheric Clearness Number ..... **1.00**  
Average Ground Reflectance ..... **0.20**  
Soil Conductivity ..... 0.800 BTU/(hr-ft-°F)  
Local Time Zone (GMT +/- N hours) ..... **-3.5** hours  
Consider Daylight Savings Time ..... **Yes**  
Daylight Savings Begins ..... **March, 21**  
Daylight Savings Ends ..... **September, 21**  
Simulation Weather Data ..... **Tehran (Avg)**  
Current Data is ..... **1993 ASHRAE Handbook**  
Design Cooling Months ..... **January to December**

Project Name: Hospital		Space Input Data	03/07/2017
Prepared by: karimi			09:31AM

## 1. General Details:

Floor Area ..... **10656.3** ft<sup>2</sup>  
 Avg. Ceiling Height ..... **9.8** ft  
 Building Weight ..... **74.0** lb/ft<sup>2</sup>

### 1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage **EDUCATION: Daycare sickroom**  
 OA Requirement 1 ..... **10.6** CFM/person  
 OA Requirement 2 ..... **0.18** CFM/ft<sup>2</sup>  
 Space Usage Defaults **ASHRAE Std 62.1-2004**

## 2. Internals:

### 2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type ..... **Recessed (Vented)**  
 Wattage ..... **9600.0** Watts  
 Ballast Multiplier ..... **1.00**  
 Schedule ..... **my Schedule**

### 2.2. Task Lighting:

Wattage ..... **0.00** W/ft<sup>2</sup>  
 Schedule ..... **None**

### 2.3. Electrical Equipment:

Wattage ..... **3000.0** Watts  
 Schedule ..... **my Schedule**

### 2.4. People:

Occupancy ..... **86.0** People  
 Activity Level ..... **Sedentary Work**  
 Sensible ..... **280.1** BTU/hr/person  
 Latent ..... **269.9** BTU/hr/person  
 Schedule ..... **my Schedule**

## 3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (ft <sup>2</sup> )	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door (ft <sup>2</sup> )
N	4294.8	0	0	0
E	2260.4	0	0	51.66
S	4294.8	0	0	0
W	2325.0	0	0	0

## 4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (ft <sup>2</sup> )	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	10656.3	0	0



Zone Design Load Summary for System of Bimarestan		
Project Name: Hospital		03/07/2017
Prepared by: karimi		09:33AM

ZONE LOADS	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 0100			HEATING DATA AT DES HTG		
	COOLING OA DB / WB 79.9 °F / 69.4 °F			HEATING OA DB / WB 20.0 °F / 16.2 °F		
	OCCUPIED T-STAT 75.0 °F			OCCUPIED T-STAT 70.0 °F		
	Details	Sensible (BTU/hr)	Latent (BTU/hr)	Details	Sensible (BTU/hr)	Latent (BTU/hr)
Window & Skylight Solar Loads	0 ft²	0	-	0 ft²	-	-
Wall Transmission	13175 ft²	78762	-	13175 ft²	143653	-
Roof Transmission	10656 ft²	32370	-	10656 ft²	43022	-
Window Transmission	0 ft²	0	-	0 ft²	0	-
Skylight Transmission	0 ft²	0	-	0 ft²	0	-
Door Loads	0 ft²	0	-	0 ft²	0	-
Floor Transmission	10656 ft²	0	-	10656 ft²	59157	-
Partitions	0 ft²	0	-	0 ft²	0	-
Ceiling	0 ft²	0	-	0 ft²	0	-
Overhead Lighting	9600 W	32752	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	3000 W	10236	-	0	0	-
People	86	24090	23211	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	10% / 0%	17821	0	10%	24583	0
>> Total Zone Loads	-	196030	23211	-	270416	0

#### Monthly Simulation Results for System of Bimarestan :

Month	WSHP Heating Coil Load (kBTU)	WSHP Eqpt Heating Load (kBTU)	WSHP Htg Compressor (kWh)
January	60286	60286	6218
February	35606	35606	3730
March	9047	9047	967
April	182	182	20
May	0	0	0
June	0	0	0
July	0	0	0
August	0	0	0
September	0	0	0
October	0	0	0
November	2674	2674	288
December	38461	38461	4030
Total	146256	146256	15253

## پیوست ج : اشکال

MODEL	PERFORMANCE AND ELECTRICAL DATA						
	COOLING CAPACITY (BTUH)	EER	HEATING CAPACITY (BTUH)	COP	ELECTRICAL (V/HZ/PH)	MIN.CIRC. AMPACITY	MAX FUSE SIZE
WWG048	44000	19.9	47000	3.6	380/50/3	15	20
WWG072	61000	20.4	65000	3.6	380/50/3	20	25
WWG120	125000	19.2	129000	3.7	380/50/3	27	40
WWG240	250000	19.2	258000	3.7	380/50/3	47.5	60

شکل (ج- ۱) لیست دستگاه‌های پمپ حرارتی آب به آب (۲۴)

MODEL	CFM NOMINAL	PERFORMANCE AND ELECTRICAL DATA						
		COOLING CAPACITY (BTUH)	EER	HEATING CAPACITY (BTUH)	COP	ELECTRICAL (V/HZ/PH)	MIN.CIRC. AMPACITY	MAX FUSE SIZE
GTHP024	800	29500	21.6	23250	4.8	220/50/1	16	25
GTHP036	1200	38500	21	33000	4.8	220/50/1	25	35
GTHP048	1600	56000	16.5	41000	4.5	380/50/3	14	20
GTHP060	2000	65000	17.5	58500	5	380/50/3	14	20
GTHP070	2200	76000	18.7	68000	4.9	380/50/3	17	20

شکل (ج- ۲) لیست دستگاه‌های پمپ حرارتی آب به هوا (۲۴)

Water Flow Rate (GPM)	Water Pressure Drop (psi)	DIMENSIONS (cm)						
		HORIZONTAL			VERTICAL			MODEL
		F	E	D	C	B	A	
5	3	560	1150	650	1020	550	550	GTHP018
6	3	560	1100	650	1020	550	550	GTHP024
10	3.5	560	1380	660	1200	660	550	GTHP036
12	5	560	1730	760	1200	830	610	GTHP048
15	4	560	1730	760	1300	850	610	GTHP060
17	3.2	560	1980	760	1480	850	660	GTHP070

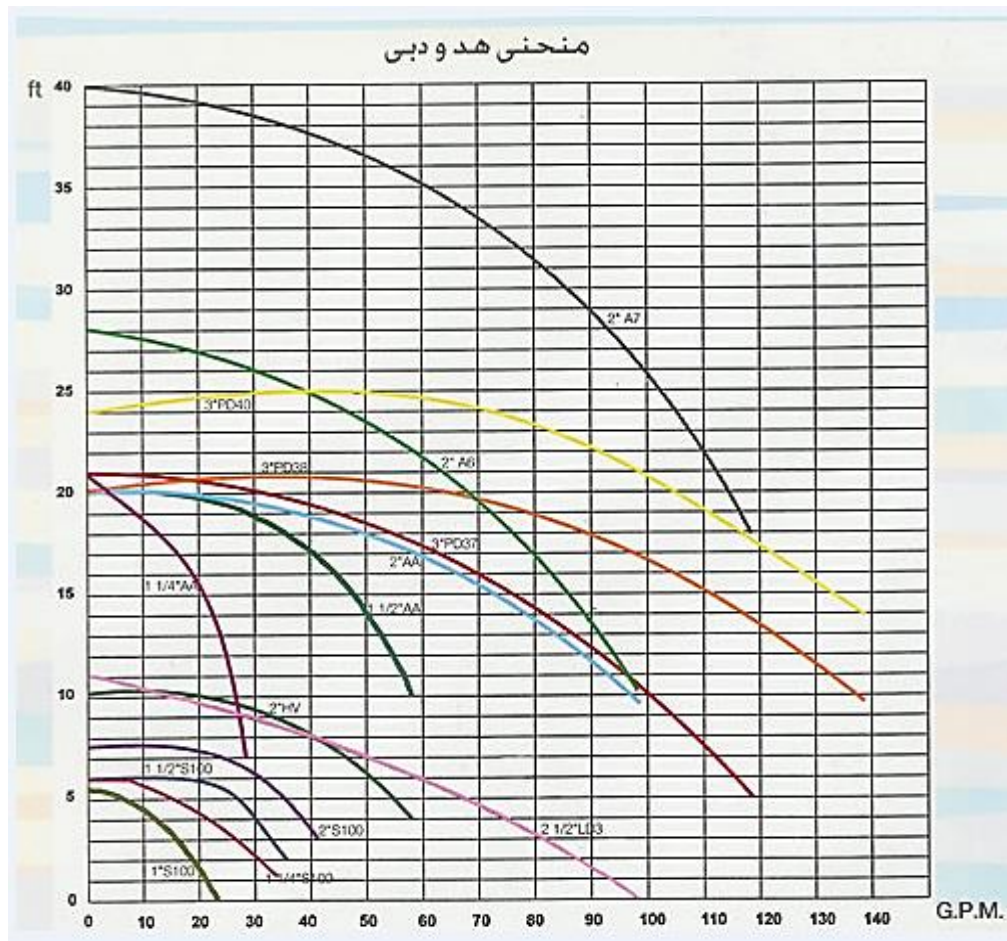
شکل (ج- ۳) مشخصات فیزیکی دستگاه پمپ حرارتی زمین گرمایی آب به هوا (۲۴)

مدل	ظرفیت (Lit)	ابعاد (CM)			مختصات mm	وزن kg	جنس ورق	قیمت (ریال)
		طول	عرض	ارتفاع				
DT.EXO-۲۰۰-۲	۲۰۰	۵۰	۵۰	۸۰	۲	۳۵	گالوانیزه گرم ایرانی	۲,۳۰۰,۰۰۰
DT.EXO-۲۰۰-۲.۵	۲۰۰	۵۰	۵۰	۸۰	۲.۵	۴۵	گالوانیزه گرم ایرانی	۲,۹۶۲,۵۰۰
DT.EXO-۲۰۰-۳	۲۰۰	۵۰	۵۰	۸۰	۳	۵۵	گالوانیزه گرم ایرانی	۳,۶۵۰,۰۰۰
DT.EXO-۲۵۰-۲	۲۵۰	۵۰	۵۰	۱۰۰	۲	۴۰	گالوانیزه گرم ایرانی	۲,۶۳۷,۵۰۰
DT.EXO-۲۵۰-۲.۵	۲۵۰	۵۰	۵۰	۱۰۰	۲.۵	۵۰	گالوانیزه گرم ایرانی	۳,۳۱۲,۵۰۰
DT.EXO-۲۵۰-۳	۲۵۰	۵۰	۵۰	۱۰۰	۳	۶۵	گالوانیزه گرم ایرانی	۴,۳۰۰,۰۰۰
DT.EXO-۳۰۰-۲	۳۰۰	۵۰	۶۰	۱۰۰	۲	۴۵	گالوانیزه گرم ایرانی	۲,۹۶۸,۷۵۰

شکل (ج- ۴) لیست مدل‌های منبع انبساط باز شرکت دما تجهیز (۲۵)

PD۳۸	"س"	۳/۴	۷۵	۲۰	۵۰ - ۱ - ۲۲۰	۱۴۵۰	۸۰۷۵,۰۰۰
PD۴۰	"س"	۱/۲	۱۰۰	۲۰	۵۰ - ۱ - ۲۲۰	۱۴۵۰	۱۴,۰۰۳,۷۵۰
PD۴۰	"س"	۱/۲	۱۰۰	۲۰	۵۰ - ۳ - ۳۸۰	۱۴۵۰	۱۲,۳۶۷,۵۰۰
ETA۵۰-۱۶	"۲"	۱	۶۵	۲۵	۵۰ - ۱ - ۲۲۰	۱۴۵۰	استعلامی
ETA۵۰-۱۶	"۲"	۱	۶۵	۲۵	۵۰ - ۳ - ۳۸۰	۱۴۵۰	استعلامی
مدل	قطر فلنج رانش in	قدرت الکتروموتور HP	دبی G.P.M	هد Ft	برق الکتروموتور V-φ-HZ	دور موتور RPM	قیمت (ریال)
ETA۵۰-۲۰	"۲"	۱/۲	۷۰	۳۲	۵۰ - ۱ - ۲۲۰	۱۴۵۰	استعلامی
ETA۵۰-۲۰	"۲"	۱/۲	۷۰	۳۲	۵۰ - ۳ - ۳۸۰	۱۴۵۰	استعلامی

شکل (ج- ۵) مدل‌های مختلف پمپ سمنان خطی سیرکولاتور (۲۵)



شکل (ج-۶) نمودار هد و دبی پمپ سیرکولاتور (۲۵)

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples							
Main							
Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg							
COP = 4.775	$\eta_{ex} = 0.3524$	$\dot{E}x_{desfan} = 0.5514$	$\dot{E}x_{descomp} = 0.1045$	$\dot{E}x_{descond} = 0.3525$	$\dot{E}x_{deseva} = 0.06315$	$\dot{E}x_{desghe} = 0.1203$	$\dot{E}x_{destv} = 0.2424$
$\dot{E}x_{in} = 0.7935$	$\dot{E}x_{out} = 0.2797$	$h_1 = 408.6$	$h_{2a} = 444.1$	$h_3 = 268.1$	$h_4 = 268.1$	$h_5 = 318.5$	$h_6 = 298.2$
$\dot{m}_a = 0.155$	$\dot{m}_f = 0.019$	$\dot{m}_w = 0.132$	$\psi_1 = 46.47$	$\psi_{2a} = 76.47$	$\psi_3 = 53.47$	$\psi_4 = 40.71$	$\psi_5 = 2.8$
$\psi_6 = 2.16$	$\psi_7 = 0.107$	$\psi_8 = 1.415$	$\dot{Q}_{clan} = 3.344$	$\dot{Q}_{cond} = 3.344$	$\dot{Q}_{eva} = 2.67$	$\dot{Q}_{ghe} = 2.67$	$s_7 = 0.16$
$s_8 = 0.2295$	$T_5 = 318$	$T_a = 275$	$T_{ground} = 294$	$T_{ia} = 318$	$T_o = 275$	$T_w = 275$	$\dot{w}_{comp} = 0.6745$
$\dot{w}_{compact} = 0.7935$							

شکل (ج-۷) ضریب عملکرد و راندمان اگزرژی برای مبرد R-۲۲

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples							
Main							
Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg							
COP = 4.397	$\eta_{ex} = 0.3962$	$\dot{E}x_{desclan} = 0.5014$	$\dot{E}x_{descomp} = 0.09295$	$\dot{E}x_{descond} = 0.3042$	$\dot{E}x_{deseva} = 0.07525$	$\dot{E}x_{desghe} = 0.1012$	
$\dot{E}x_{destv} = 0.2156$	$\dot{E}x_{in} = 0.7058$	$\dot{E}x_{out} = 0.2797$	$h_1 = 408.6$	$h_{2a} = 444.1$	$h_3 = 268.1$	$h_4 = 268.1$	
$h_5 = 318.5$	$h_6 = 298.2$	$\dot{m}_a = 0.155$	$\dot{m}_r = 0.0169$	$\dot{m}_w = 0.132$	$\psi_1 = 46.47$	$\psi_{2a} = 76.47$	
$\psi_3 = 53.47$	$\psi_4 = 40.71$	$\psi_5 = 2.8$	$\psi_6 = 2.16$	$\psi_7 = 0.107$	$\psi_8 = 1.415$	$\dot{Q}_{clan} = 2.975$	
$\dot{Q}_{cond} = 2.975$	$\dot{Q}_{eva} = 2.375$	$\dot{Q}_{ghe} = 2.375$	$s_7 = 0.16$	$s_8 = 0.2295$	$T_5 = 318$	$T_a = 275$	
$T_{ground} = 294$	$T_{ia} = 318$	$T_o = 275$	$T_w = 275$	$\dot{w}_{comp} = 0.6$	$\dot{w}_{compact} = 0.7058$		

شکل (ج-۸) ضریب عملکرد و راندمان اگزرژی برای مبرد R-۱۳۴a

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples							
Main							
Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg							
COP = 3.973	$\eta_{ex} = 0.4058$	$\dot{E}x_{desclan} = 0.4919$	$\dot{E}x_{descomp} = 0.09075$	$\dot{E}x_{descond} = 0.295$	$\dot{E}x_{deseva} = 0.07755$	$\dot{E}x_{desghe} = 0.09753$	
$\dot{E}x_{destv} = 0.2105$	$\dot{E}x_{in} = 0.6891$	$\dot{E}x_{out} = 0.2797$	$h_1 = 408.6$	$h_{2a} = 444.1$	$h_3 = 268.1$	$h_4 = 268.1$	
$h_5 = 318.5$	$h_6 = 298.2$	$\dot{m}_a = 0.155$	$\dot{m}_r = 0.0165$	$\dot{m}_w = 0.132$	$\psi_1 = 46.47$	$\psi_{2a} = 76.47$	
$\psi_3 = 53.47$	$\psi_4 = 40.71$	$\psi_5 = 2.8$	$\psi_6 = 2.16$	$\psi_7 = 0.107$	$\psi_8 = 1.415$	$\dot{Q}_{clan} = 2.904$	
$\dot{Q}_{cond} = 2.904$	$\dot{Q}_{eva} = 2.318$	$\dot{Q}_{ghe} = 2.318$	$s_7 = 0.16$	$s_8 = 0.2295$	$T_5 = 318$	$T_a = 275$	
$T_{ground} = 294$	$T_{ia} = 318$	$T_o = 275$	$T_w = 275$	$\dot{w}_{comp} = 0.5858$	$\dot{w}_{compact} = 0.6891$		

شکل (ج-۹) ضریب عملکرد و راندمان اگزرژی برای مبرد R-۱۴۳a

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples							
Main							
Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg							
COP = 3.512	$\eta_{ex} = 0.4238$	$\dot{E}x_{desclan} = 0.4752$	$\dot{E}x_{descomp} = 0.0869$	$\dot{E}x_{descond} = 0.2789$	$\dot{E}x_{deseva} = 0.08158$	$\dot{E}x_{desghe} = 0.09117$	$\dot{E}x_{destv} = 0.2016$
$\dot{E}x_{in} = 0.6599$	$\dot{E}x_{out} = 0.2797$	$h_1 = 408.6$	$h_{2a} = 444.1$	$h_3 = 268.1$	$h_4 = 268.1$	$h_5 = 318.5$	$h_6 = 298.2$
$\dot{m}_a = 0.155$	$\dot{m}_r = 0.0158$	$\dot{m}_w = 0.132$	$\psi_1 = 46.47$	$\psi_{2a} = 76.47$	$\psi_3 = 53.47$	$\psi_4 = 40.71$	$\psi_5 = 2.8$
$\psi_6 = 2.16$	$\psi_7 = 0.107$	$\psi_8 = 1.415$	$\dot{Q}_{clan} = 2.781$	$\dot{Q}_{cond} = 2.781$	$\dot{Q}_{eva} = 2.22$	$\dot{Q}_{ghe} = 2.22$	$s_7 = 0.16$
$s_8 = 0.2295$	$T_5 = 318$	$T_a = 275$	$T_{ground} = 294$	$T_{ia} = 318$	$T_o = 275$	$T_w = 275$	$\dot{w}_{comp} = 0.5609$
$\dot{w}_{compact} = 0.6599$							

شکل (ج-۱۰) ضریب عملکرد و راندمان اگزرژی برای مبرد R-۴۰۴a

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples							
Main							
Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg							
COP = 3.994	$\eta_{ex} = 0.4464$	$\dot{E}x_{desclan} = 0.4562$	$\dot{E}x_{descomp} = 0.0825$	$\dot{E}x_{descond} = 0.2605$	$\dot{E}x_{deseva} = 0.08619$	$\dot{E}x_{desghe} = 0.08389$	$\dot{E}x_{destv} = 0.1914$
$\dot{E}x_{in} = 0.6265$	$\dot{E}x_{out} = 0.2797$	$h_1 = 408.6$	$h_{2a} = 444.1$	$h_3 = 268.1$	$h_4 = 268.1$	$h_5 = 318.5$	$h_6 = 298.2$
$\dot{m}_a = 0.155$	$\dot{m}_1 = 0.015$	$\dot{m}_w = 0.132$	$\psi_1 = 46.47$	$\psi_{2a} = 76.47$	$\psi_3 = 53.47$	$\psi_4 = 40.71$	$\psi_5 = 2.8$
$\psi_6 = 2.16$	$\psi_7 = 0.107$	$\psi_8 = 1.415$	$\dot{Q}_{clan} = 2.64$	$\dot{Q}_{cond} = 2.64$	$\dot{Q}_{eva} = 2.108$	$\dot{Q}_{ghe} = 2.108$	$s_7 = 0.16$
$s_8 = 0.2295$	$T_5 = 318$	$T_a = 275$	$T_{ground} = 294$	$T_{ia} = 318$	$T_o = 275$	$T_w = 275$	$\dot{w}_{comp} = 0.5325$
$\dot{w}_{compact} = 0.6265$							

شکل (ج-۱۰) ضریب عملکرد و راندمان انگرژی برای مبرد R-۴۱۰a



## **Abstract**

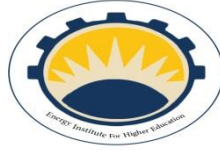
Geothermal heat pumps systems can be installed in a safe underground environment and thus remain safe against damages from enemy attacks in times of crisis. Environmentally friendly geothermal energy can also be used as an alternative energy source. Since saving lives is the prime objective of passive defense so hospitals play an important role in achieving this goal. Thus construction of safe underground hospitals as a passive defense approach is a prerequisite to preparing for crisis.

In this study after calculating the thermal dissipation of an underground hospital in CARRIER, Exergy analysis of geothermal heat pumps with vertical U-shaped closed cycle in EES, was performed. R-134a was selected as the refrigerant fluid because of its high coefficient of performance. Since condenser fan had the maximum destruction of exergy. Then for better performance of the system, it was regarded as the priority in taking improving measures.

During the multi-objective optimization using Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA II) in MATLAB, total exergy destruction rate has been reduced to 4.24 %. Also due to decrease of operating costs (as much as 3.27 %) , of optimization phase compared to the initial design, optimized total cost of the phase dropped by 1.34 %.

**Keywords:** geothermal heat pumps, underground hospitals, Passive Defense, Exergy analysis, multi-objective optimization genetic algorithm (NSGA II)





Energy Institute For Higher Education  
Faculty of Engineering  
Department Of Mechanical Engineering- Energy Conversion  
Thesis For  
Degree Of Master Of Science (M.Sc)

Titel:

Geothermal heat pumps energy analysis and  
economic optimization applying genetic algorithm  
with passive defense approach

Supervisor:  
Dr.Yousef Yassi

Advisor:  
Dr. Reza Alayi

By:  
Sajjad Karimi Mehrabadi

April/2017