

طراحی و بهینه‌سازی سیستم ترکیبی تجدیدپذیر برای تأمین بار حرارتی و الکتریکی مورد نیاز گلخانه‌ها

مهدی مهرپویا*
هوفر همت آبادی

دانشیار، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران
کارشناسی ارشد، مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

طراحی بهینه سیستم‌های ترکیبی تجدیدپذیر برای تأمین بار حرارتی و الکتریکی مورد نیاز گلخانه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. آنالیز همزمان فنی و اقتصادی به طوریکه فرآیند مورد نظر از هر دو دیدگاه بهینه باشد انجام می‌شود. عملکرد اجزای مختلف سیستم به گونه‌ای تنظیم شده است که علاوه بر پیش‌گرمایش سیال ورودی به اواپراتور و تنظیم این دما به مقدار مدنظر، بازیافت حرارتی غیر مستقیم زمین در زمان اوج بار و همچنین بازیافت حرارتی زمین در فصل تابستان در اطراف مبدل صورت پذیرد. سیستم بهینه از دیدگاه اقتصادی بررسی شده و مدت زمان بازگشت سرمایه محاسبه می‌شود. مدل انتخابی دارای ضریب عملکرد میانگین فصلی ۴/۱۴ برای پمپ حرارتی، طول لوله‌های زمین‌گرمایی ۱۵۰ متر و سطح کلکتور ۹/۴۲ متر مربع بوده و افزایش بین ۰/۵ تا ۱ درجه سانتیگراد دمای سیال در مدار زمینی را نشان می‌دهد. مقادیر بهینه بدست آمده از روش فوق با مقادیر بدست آمده از ارتباط بین ترنسیس و متلب مقایسه می‌شوند. در نهایت برای تأمین بار الکتریکی مورد نیاز سیستم ترکیبی با استفاده از نرم‌افزار هومر و با توجه به شرایط طراحی ترکیب بهینه نهایی انتخاب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پمپ حرارتی، کلکتور خورشیدی، ضریب عملکرد، ترنسیس، هومر.

Design and Optimization of Combined Renewable Systems to Supply Thermal and Electrical Load Needed for Greenhouses

M. Mehrpoya
H. Hemmatabady

Department of Renewable Energies and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
Faculty of Energy and Environmental Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Optimal design of combined renewable energy systems for supplying heat load of greenhouses is studied. It is tried to analyze the system technically and economically so that it would be optimal from both viewpoints. Optimal design is done from technical point of view using TRNSYS software by setting different parts of the system so that besides preheating of the fluid entering the evaporator of the heat pump for increasing the temperature, heat recovery of the ground in maximum heat extraction periods and heat recovery during summer time is occurred. The optimized system is then studied from economical point of view and the final optimized design is then selected by trade-off between economical and technical considerations. Selected model has mean seasonal coefficient of performance of 4.14 for heat pump, borehole length of 150 meters and total solar collector area around 9.42 square meters and the temperature of the fluid in ground cycle would increase up to 0.5 or 1 degrees centigrade. Optimal amounts gained are compared with those obtained from and TRNSYS and MATLAB relation. Finally to supply electrical load homer software is used and the optimum system is chosen considering design conditions.

Key words: Geothermal heat pump, Solar collector, Coefficient of performance, TRNSYS, Homer.

۱- مقدمه

تا ۶۰ درصد نسبت به سیستم‌های متداول کاهش داشته باشد. تأمین حرارت و محیط مناسب گلخانه‌ای بسیار پرهزینه بوده و ارائه راه‌کارهایی که بتوان علاوه بر داشتن قابلیت اطمینان بالا هزینه اولیه سیستم را کمینه نمود بسیار موثر می‌باشد. بسیاری از گلخانه‌ها در مناطقی قرار دارند که برق شهری وجود نداشته و در صورت اتصال به شبکه برق شهری هزینه اولیه بسیار زیاد توجیه اجرای طرح را از بین خواهد برد. سیستم‌های ترکیبی تجدیدپذیر جهت تأمین کلیه انرژی مورد نیاز در صورت کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، قابل تعمیم برای ساختمانهای مسکونی و در نتیجه توسعه مدل زیرو انرژی بیلدینگ^۱ در کشور بوده و مصرف سوخت‌های فسیلی جهت تأمین انرژی مورد نیاز بخش مسکونی را که بخش اصلی انرژی مصرفی کشور است، با کاهش

انرژی زمین‌گرمایی قابلیت اطمینان بالایی دارد، اما استفاده از پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی به تنهایی در طی زمان با کاهش دمای زمین همراه خواهد بود، استفاده از این منبع به همراه کلکتورهای خورشیدی می‌تواند علاوه بر رفع این مشکل (با بازیافت حرارتی زمین توسط کلکتور خورشیدی) با کاهش طول لوله‌های زمین‌گرمایی و تعداد آنها بدلیل تأمین بخشی از بار حرارتی مورد نیاز از طریق کلکتورهای خورشیدی باعث کاهش هزینه‌ها شود. در این تحقیق برای تأمین بار حرارتی مورد نیاز جهت گرمایش گلخانه‌ها از سیستم‌های ترکیبی شامل پمپ حرارتی زمین‌گرمایی و کلکتور خورشیدی بگونه‌ای استفاده شود که میزان تأمین بار حرارتی توسط هر یک از منابع فوق از نظر فنی و اقتصادی بهینه باشد. پمپ حرارتی زمین‌گرمایی نسبت به هر سیستم گرمایشی متداولی هزینه عملیاتی پایین‌تری دارد. در حالت کلی مصرف سالانه انرژی در یک سیستم نصب شده‌ی پمپ حرارتی می‌تواند بین ۲۰

^۱ Zero energy building

قابل توجهی روبرو خواهد نمود. شکل ۱ طرح اولیه پیشنهادی را نشان می‌دهد.

در [۱] مهرپویا و همکاران سیستم ترکیبی شامل کلکتور خورشیدی و پمپ حرارتی زمین گرمایی را برای تأمین بار حرارتی مورد نیاز گلخانه ها بررسی کرده‌اند. پس از بدست آوردن نقاط بهینه سیستم ترکیبی با استفاده از خروجی‌های بدست آمده از نمودارهای ترنسیس، از طریق بعضی توابع کنترلی پیشگرمایش سیال ورودی به اواپراتور توسط کلکتورهای خورشیدی به گونه‌ای تنظیم می‌گردد که علاوه بر جلوگیری از کاهش ضریب عملکرد پمپ حرارتی بدلیل از استخراج بیش از حد حرارت از مبدل زمینی و افت دمای اطراف آن، دمای سیال خروجی از مبدل زمینی بصورت غیر مستقیم تا ۱ درجه سانتیگراد افزایش یافته و ضریب عملکرد پمپ حرارتی تا ۰.۶ نسبت به تحقیقات مشابه افزایش میابد. فنگ و همکاران به شبیه‌سازی عددی دینامیکی سه بعدی برای زمین و مبدل حرارتی زمین گرمایی در یک سیستم ترکیبی کلکتور خورشیدی-پمپ حرارتی زمین گرمایی با روش المان محدود پرداخته و پس از محاسبه میزان تغییرات دمایی زمین و بازیافت حرارتی زمین توسط کلکتورها طرح بهینه را ارائه کرده‌اند [۲].

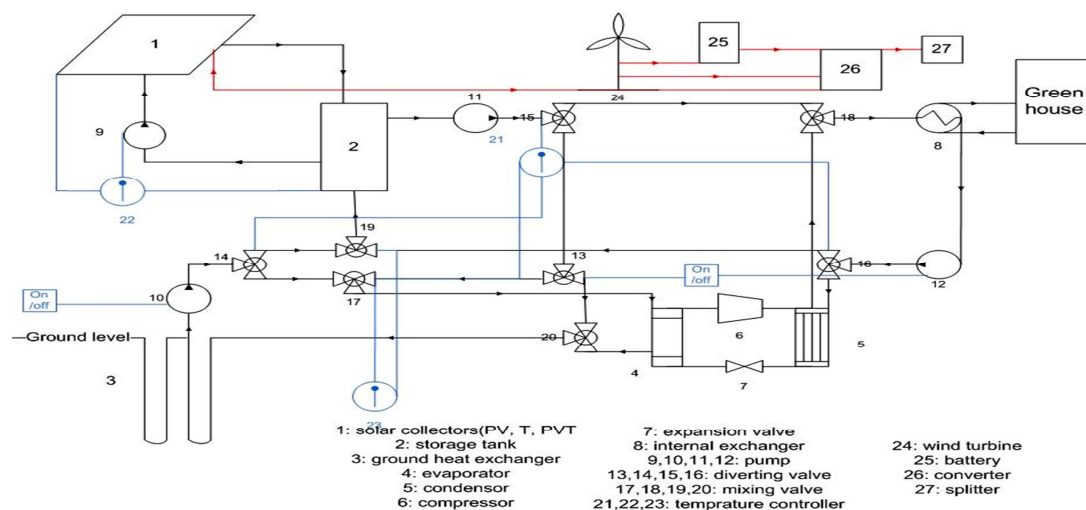
ژای و همکاران به بررسی سیستم‌های مختلف قابل ترکیب با پمپ حرارتی زمین گرمایی با توجه به سرویس مورد نیاز پرداخته و معایبی که یک سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی به تنهایی می‌تواند داشته باشد را با استفاده از سیستم ترکیبی برطرف کرده‌اند. آنچه در این مطالعه بدست آمده این است که با ترکیب‌های مختلف پمپ حرارتی زمین گرمایی می‌توان به ضریب عملکرد بین ۳ تا ۵ دست یافت [۳]. استفاده از سیستم ترکیبی کلکتور خورشیدی و پمپ حرارتی زمین گرمایی به‌مراه ذخیره‌ساز حرارت در یک شهر سردسیر واقع در شمال چین برای تأمین گرمایش و آب گرم مصرفی مورد نیاز انجام شد [۴]. علاوه بر طراحی بهینه، پس از مطالعه استراتژی‌های کنترلی مختلف خصوصیات عملیاتی هر کدام از حالات مورد مطالعه قرار گرفته شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که راندمان سالانه متوسط برای گرمایش محیطی ۲۶٪ افزایش داشته است که دلیل عمده این افزایش بکار گیری کلکتور خورشیدی جهت افزایش انرژی حرارتی ذخیره شده در زمین و فراهم نمودن گرمایش محیطی با استفاده از این انرژی می‌باشد. اسلامی‌نژاد و همکاران انتقال حرارت یکنواخت را با استفاده از لوله U شکل مستقل

بررسی کرده‌اند به گونه‌ای هر کدام مدار مستقل خود را داشته و یکی به پمپ حرارتی برای گرمایش و دیگری به کلکتور خورشیدی جهت بازیافت حرارت متصل است [۵].

مطالعات آزمایشی روی یک سیستم نصب شده ترکیبی کلکتور خورشیدی و پمپ حرارتی زمین گرمایی که در شهر ارزروم ترکیه نصب شده انجام شده است. آنچه در این سیستم نصب شده معیار اصلی جهت تصمیم‌گیری ما می‌باشد، ضریب عملکرد است و عملکرد پمپ حرارتی و همچنین سیستم ترکیبی در ساعات مختلف و جهت مقایسه ارائه گردیده است. نتایج مبین این مطلب است که ضریب عملکرد سیستم کلی حدوداً ۱۰٪ از ضریب عملکرد پمپ حرارتی به تنهایی کمتر می‌باشد [۶]. جیرارد و همکاران [۷] به بررسی افزایش ضریب عملکرد پمپ حرارتی زمینی گرمایی در ترکیب با کلکتورهای خورشیدی پرداخته‌اند. نتایج نشان‌دهنده این مطلب می‌باشند که ضریب عملکرد پمپ حرارتی در نقاط با تابش بیشتر بالاتر خواهد بود و سیستم ترکیبی جهت نصب در مناطق سرد با تابش بالا مانند نقاط کوهستانی در اروپا بسیار مناسب خواهد بود.

دای و همکاران [۸] نیز تحلیل عملکردی یک سیستم ترکیبی کلکتور خورشیدی و پمپ حرارتی منبع زمینی را برای مدهای مختلف آزمایش کرده‌اند. نتایج نشان دهنده این مطلب می‌باشند که حرارت خورشیدی می‌بایست جهت افزایش سرعت بازیافت زمین در زمانهایی که پمپ حرارتی خاموش است بکار گرفته شود و مدت زمان بهره‌گیری از حرارت خورشیدی بهتر است با توجه به دمای تانک ذخیره برای جلوگیری از کارکرد غیر ضروری پمپ گردش سیال، بهینه شود.

در این تحقیق با بررسی طرح مورد نظر در محیط نرم‌افزار ترنسیس و مقایسه نمودارهای مشخصه کننده عملکردی، در یک سیستم ترکیبی حرارتی به عنوان دلایل انتخاب طرح، به ارائه ترکیب بهینه از لحاظ فنی و اقتصادی پرداخته و سپس بررسی می‌شود که به ازای چه طولی از لوله‌های زمین گرمایی و چه سطحی از کلکتور خورشیدی سیستم ترکیبی ارائه شده از لحاظ فنی و اقتصادی بهینه می‌باشد. در نهایت برای تأمین بار الکتریکی مورد نیاز این سیستم ترکیبی که از نمودارهای خروجی ترنسیس قابل مشاهده می‌باشد، از نرم‌افزار هومر استفاده نموده و سیستم بهینه با در نظر گرفتن پنل فوتوولتاییک و توربین بادی مستقل از شبکه به گونه‌ای انتخاب می‌شود که سیستم در نهایت قابلیت تأمین بار حرارتی و الکتریکی با پایینترین هزینه و بهینه ترین عملکرد را داشته باشد.



شکل ۱- طرح اولیه سیستم ترکیبی

۲- روش کار و انتخاب مدل مناسب

طرحی انتخابی میبایست از دیدگاه فنی و اقتصادی بهینه باشد. همانگونه که از شکل ۱ پیداست سیال گرم خارج شده از مخزن به دایورت^۱ شماره ۱۵ منتقل می‌شود که در آن سیال عامل یا می‌تواند به دایورت^۲ شماره ۱۳ هدایت شده و یا به طور مستقیم جهت گرمایش گلخانه بکار رود و یا ترکیبی از هر دو عمل صورت پذیرد. در دایورت شماره ۱۳ نیز در زمستان سیال جهت پیش‌گرمایش سیال ورودی به اواپراتور تا دمای ایده‌آل تعریف شده که در اینجا ۱۲ درجه سانتیگراد می‌باشد و در تابستان به میکسر شماره ۲۰ جهت بازیافت حرارت زمین منتقل می‌شود. نکته حائز اهمیت این است که عملکرد کلی شیرها توسط کنترلرهای دما تعیین می‌گردند، بطوریکه کنترلر شماره ۲۱ با توجه به دمای سیال خروجی از میکسر^۲ شماره ۱۷ فرمان مورد نظر را به دایورت^۲ شماره ۱۵ می‌دهد. عملکرد دایورت^۲ شماره ۱۳ و پمپ‌های شماره ۱۰ و ۱۲ یکی می‌باشد و توسط یک کلید دو وضعیتی تعریف می‌شود، به این ترتیب که در فصل گرما هر دو پمپ ذکر شده خاموش می‌باشند. از طرف دیگر عملکرد دایورت‌های شماره ۱۴ و ۱۶ نیز دقیقاً همانند دایورت^۲ شماره ۱۵ بوده و فرمان لازم را از کنترلر دمایی شماره ۲۱ دریافت می‌نمایند و سیال سرد خارج شده از مبدل شماره ۸ با توجه به فرمان دریافت شده برای گرمایش به منبع حرارتی مورد نظر منتقل می‌شود. توضیحات بیشتر راجع به اعداد بکار رفته در شبیه‌سازی فرایند و همچنین استراتژی کنترلی در قسمت‌های بعدی به تفسیر آمده است. برای تأمین بار الکتریکی مورد نیاز نیز همانطور که از شکل مشخص است از توربین بادی یا پنل فوتوولتائیک یا ترکیبی از هر دو استفاده می‌نماییم. این سیستم قرار است بار الکتریکی مورد نیاز پمپ‌ها، کمپرسور پمپ حرارتی و بار حرارتی کمکی مورد نیاز که از هیترهای کمکی تأمین می‌شود را تأمین نماید.

۲-۱- تحلیل بار گرمایشی توسط نرم افزار ترنسیس

برای تحلیل از نرم‌افزار ترنسیس استفاده می‌شود. شکل ۲ نشان دهنده طرح کلی اجزاء و ارتباط بین آنها است. نرم‌افزار ترنسیس دارای محیطی جامع و قابل گسترش برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی می‌باشد. مدل انتخابی یک گلخانه در شهر تهران است. بار حرارتی مورد نیاز گلخانه از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. برای محاسبه بار حرارتی مورد نیاز ابتدا باید مشخصات گلخانه مورد بررسی را بدست بیاوریم.

$$Q = U \times A \times (T_i - T_o) \quad (1)$$

مساحت گلخانه : مساحت دیواره های گلخانه ۱۳۰ متر مربع در نظر گرفته می‌شود.

جنس گلخانه : لازم به ذکر است که معمولاً گلخانه‌ها از پلی‌اتیلن تک‌لایه و یا دولایه ساخته می‌شوند که نوع دولایه آن‌ها می‌تواند شامل پرده‌ای باشد که از تلفات انرژی خودداری می‌کند. ضریب انتقال حرارت برای نوع بدون پرده جلوگیری کننده تلفات ۱/۱ برای تک لایه ۰/۷ و برای دولایه بین ۰/۳ تا ۰/۵ باشد.

$$U = 0.7 [\text{BTU/hr.ft}^2.\text{F}] = 0.7 \times 5.678 = 3.9746 [\text{W/m}^2.\text{K}]$$

دمای مطلوب محیط گلخانه‌ها بین ۱۲ تا ۲۹ درجه سانتی گراد می‌باشد که عدد ۱۸ را انتخاب می‌شود. بنابراین رسانش کلی گلخانه طبق رابطه ۲ و بار حرارتی مورد نیاز گلخانه از رابطه ۳ بدست می‌آیند.

$$U \times A = 3.9746 \times 130 = 516.7 [\text{W/K}] \quad (2)$$

$$Q = U \times A \times (T_i - T_o) = 516.7 \times 130 \times (291 - 263) = 26000 [\text{kWh}] \quad (3)$$

توان مصرفی مورد نیاز گلخانه نیز با فرض اینکه ۶ ماه از سال و هر روز به طور متوسط ۱۰ ساعت سیستم گرمایشی روشن باشد از رابطه ۴ بدست می‌آید.

$$Q / \text{time} = 26000 [\text{kWh}] / 6 \times 30 \times 10 [\text{h}] = 14.45 [\text{kW}] \quad (4)$$

با توجه به ترکیبی که انتخاب کرده‌ایم کلکتور نقش بازیافت حرارتی زمین و گرمایش آب مصرفی در فصولی که نیاز به گرمایش محیطی وجود ندارد را دارد و در فصل سرما با توجه به بار مورد نیاز می‌تواند برای تأمین آب گرم مصرفی، گرمایش محیطی، پیش‌گرمایش سیال در ورودی به اواپراتور، بازیافت حرارتی زمین و یا ترکیبی از سیستم‌های فوق وارد عمل شود. بنابراین بار تأمین شده از کلکتور را حدوداً ۳۰ درصد انتخاب می‌نماییم. لازم به ذکر است که ۷۰ درصد باقی بار مورد نیاز از پمپ حرارتی و یا در صورت نیاز از هیترها تأمین می‌گردد.

$$Q_{sc} = 0.3 \times Q = 0.3 \times 26000 = 7800 [\text{kWh}] \quad (5)$$

برای محاسبه سطح کلکتورهای خورشیدی ابتدا باید محاسبه شود که چه مقدار انرژی از واحد سطح کلکتورها قابل استحصال خواهد بود. بدلیل اینکه طرح اصلی مورد نظر جهت تأمین بار در فصل سرما می‌باشد، مقدار حداقل را طبق رابطه ۷ انتخاب می‌نماییم.

$$[9]: 770 - 880 [\text{kWh/m}^2] \quad (6)$$

$$Q_{sc} / 770 = 7800 / 770 \approx 10 [\text{m}^2] \quad (7)$$

فرض می‌شود هر کیلووات بار حرارتی از زمین نیاز به ۲۰ متر مبدل زمینی دارد [۹]. از طرفی در انتخاب پمپ حرارتی معمولاً ظرفیت آن را بر اساس ۷۰ درصد از باری که سیستم ترکیبی باید تأمین کند انتخاب می‌شود و همچنین مصرف برق پمپ حرارتی نیز حدوداً برابر با ۲۵٪ ظرفیت پمپ می‌باشد. بنابراین ظرفیت پمپ حرارتی و طول مبدل برترتیب طبق روابط ۸ و ۹ بدست خواهند آمد.

$$Q_{o, hp} = 0.7 \times 14.45 \approx 10 [\text{kW}] \quad (8)$$

$$E_{hp} = 10/4 [\text{kW}] \Rightarrow Q_{o, ghx} = 10 - 10/4 \approx 7.5 [\text{kW}], \quad (9)$$

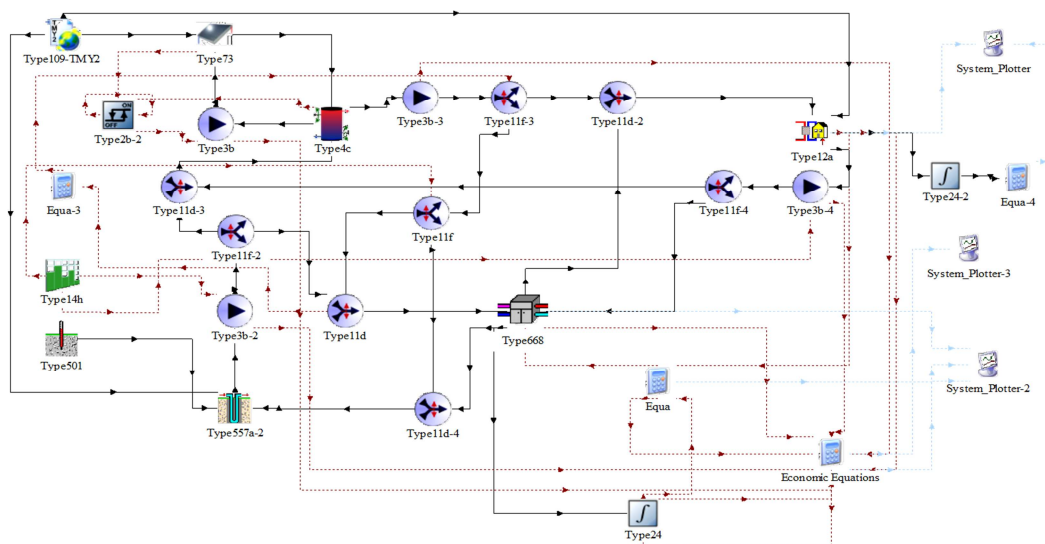
$$L_{ghx} \approx 7.5 \times 20 = 150 [\text{m}]$$

۲-۲- جنس و نوع لوله‌ها

برای انتقال حرارت بهتر، لوله‌های با هدایت حرارتی مناسب و ضخامت کم بکار گرفته می‌شوند. در این تحقیق از لوله پلی اتیلن با قطر ۳۲ و ضخامت ۱/۵ میلی‌متر استفاده شده است. سیال رایج مورد استفاده در مبدل زمینی ترکیبی از ۳۰ درصد اتانول و ۷۰ درصد آب بوده که بدلیل اشتعال‌پذیری آن و دمای کارکرد بالای کلکتورهای خورشیدی قابل استفاده در کل سیستم ترکیبی نمی‌باشد. مایع رایج در کلکتور ترکیب ۵۰ درصد پروپیلن گلیکول و آب است که بدلیل سمی بودن امکان استفاده از آن در مبدل منبع زمینی نیست. برای رفع این مشکل می‌توان از مایعی استفاده کرد که قابل استفاده در هر دو سیستم باشد. این مایع که توسط [۱۰] پیشنهاد شده وگاکول می‌باشد.

¹ Diverting valve

² Mixing valve



شکل ۲- طرح کلی اجزاء در ترنسیس

۳-۲- اجزای اصلی بکار رفته در شبیه‌سازی

۳-۲-۱- کلکتور خورشیدی (type 73)

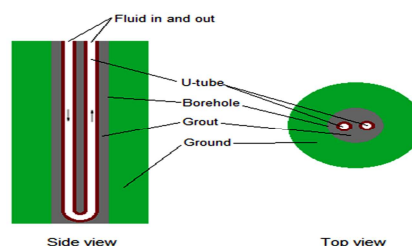
کلکتور خورشیدی استفاده شده در شبیه سازی از نوع صفحه تخت است که بدلیل قیمت مناسب تر، شرایط آب و هوایی تهران و استفاده برای تأمین بار گرمایشی و عدم نیاز به سیال با دمای خیلی زیاد است.

۳-۲-۲- پمپ حرارتی (type 668)

پمپ حرارتی مورد استفاده از نوع تک‌مرحله‌ای بوده و در آن انتقال حرارت از یک سیال به سیال دیگر صورت می‌پذیرد. با توجه به فرمان کنترلر عملکردی که انتظار می‌رود در زمان مقتضی صورت می‌پذیرد.

۳-۲-۳- مبذل زمینی (type 557)

مبذل زمینی بکار رفته در این شبیه‌سازی حلقه‌بسته عمودی بوده که با وجود هزینه بیشتر نسبت به افقی بدلیل راندمان انرژی بالاتر، نیاز به مساحت کمتر جهت نصب و مصرف برق کمتر در زمان پیک بار انتخاب می‌شود. شکل ۳ نشان دهنده ساختار مبذل عمودی بکار رفته است.



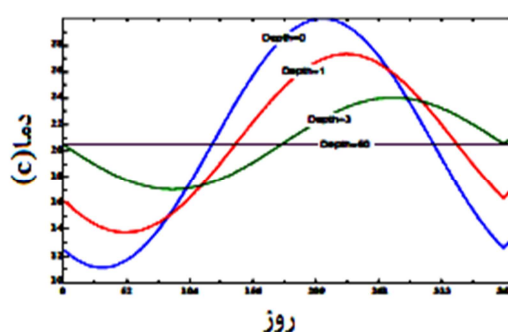
شکل ۳- مبذل با لوله‌های یو شکل

۳-۲-۴- اطلاعات آب و هوا (type 109)

در این قسمت مدل اطلاعات مربوط به شهر تهران از طریق فایل ورودی به نرم‌افزار داده می‌شود. این اطلاعات شامل دمای محیط، میزان تشعشع، انعکاس زمین، زاویه برخورد تشعشع خورشیدی با سطح کلکتور و بسیاری دیگر از اطلاعات مفید مورد نیاز میباشد.

۳-۲-۵- اطلاعات مربوط به دمای زمین (type 501)

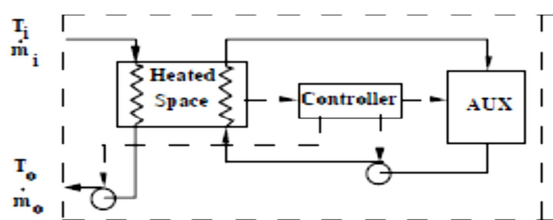
این جزء از ترنسیس مدل توزیع عمودی دمای زمین طی زمان‌های مختلف سال را بیان می‌کند. همان گونه که از شکل ۴ نیز مشخص است، با افزایش عمق تغییرات منحنی دمایی کمتر خواهد بود.



شکل ۴- نمودار تغییرات دمای زمین نسبت به عمق [11]

۳-۲-۶- بار حرارتی محل (type 12)

در این مدل تئوری روز- درجه جهت پیش‌بینی بار حرارتی ماهیانه با حداقل محاسبات بکار می‌رود. در این تحقیق سیستم را در مد یک عملکردی قرار می‌دهیم (شکل ۵) که بیانگر حالتی است که انرژی کمکی بصورت موازی با محل بوده و فقط درصدی از بار حرارتی که از طریق جریان سیال قابل استحصال نمی‌باشد، از انرژی کمکی بدست می‌آید.



شکل ۵- نمودار بار حرارتی محل در مد یک عملکردی

۴-۲- شرح فرایند در ترنسیس

فرایند مورد نظر با هدف تأمین بار مورد نیاز گلخانه با استفاده از منابع تجدیدپذیر ابتدا با ارتباط بین اجزاء مربوط به سیستم کلکتور خورشیدی به تنهایی و سپس ترکیب آنها صورت می‌پذیرد. سیال خروجی از مخزن با توجه به شرایطی که در آن قرار داریم و فرمائی که به دایورت‌ها و میکسرهای می‌دهیم به قسمت مورد نظر منتقل می‌شود. در ابتدا برای شرح اولیه فرایند با توجه به محاسبات انجام شده مجموع طول لوله‌ها را ۱۵۰ متر و مجموع سطوح کلکتورهای خورشیدی را ۱۰ متر مربع در نظر می‌گیریم. در شکل ۲ طرح کلی و ارتباط بین قسمت‌های مختلف نشان داده شده است.

۵-۲- استراتژی کنترلی فرایند

همانگونه که قبلاً هم گفته شد هدف اصلی ما افزایش راندمان و ضریب عملکرد سیستم در فصل سرما و زمان‌هایی است که نیاز به بار گرمایشی وجود دارد. برای نیل به این هدف با فرض اینکه سیستم در تابستان و فصول گرم خاموش بوده و نیاز به بار سرمایشی وجود ندارد، نمودار کنترل سیگنال ورودی اجزای مربوط به سیکل زمینی را طوری تنظیم می‌نماییم که در فصول گرمایشی از مدار خارج شوند و صرفاً امکان بازیافت حرارتی از طریق مشخص نمودن کنترل سیگنال دایورت‌ها و میکسرهای وجود داشته باشد. آنچه در این طرح بسیار حائز اهمیت است، عملکرد دایورت نصب شده بعد از مخزن ذخیره می‌باشد که در اینجا فرمان مورد نظر به آن داده می‌شود.

$$CO_{out} = \ln(12, T) \quad (10)$$

رابطه ۱۰ در محیط ترنسیس به این معنی می‌باشد که اگر دمای ورودی به اواپراتور پمپ حرارتی کوچکتر از ۱۲ درجه باشد، خروجی آن و در نتیجه فرمانی که به دایورت داده می‌شود عدد ۱ خواهد بود و در اینجا بدین معناست که سیال ورودی به دایورت به سمت اواپراتور پمپ حرارتی جهت افزایش دما تا ۱۲ درجه و در نتیجه افزایش ضریب عملکرد هدایت می‌شود. کنترلر مربوط به کلکتور خورشیدی نیز با توجه به اختلاف دمای سیال گرم خارج شده از کلکتور و سیال سرد خارج شده از مخزن به پمپ فرمان روشن یا خاموش بودن را صادر می‌نماید.

۶-۲- تشکیل معادله اقتصادی سیستم در محیط ترنسیس

برای این منظور می‌بایست مجموع هزینه‌های اولیه و عملیاتی را به عنوان هزینه کلی طبق رابطه ۱۱ در نظر گرفت.

$$Total\ cost = (initial\ cost) + (operating\ cost) \times (1/A.F) \quad (11)$$

$$Initial\ cost = C_{sc} + C_{ghp} \quad (12)$$

$$C_{sc} = C_{sep} + C_{storage} + C_{pump} \approx 540 \times Area\ [\$][16] \quad (13)$$

$$C_{sc}: \text{هزینه کلیه تجهیزات مربوط به کلکتور خورشیدی} \\ C_{ghp} = 142.5 \times N \times Length\ [\$][9] \quad (14)$$

C_{ghp} : هزینه کلیه تجهیزات مربوط به پمپ حرارتی زمین گرمایی شامل هزینه‌های حفاری

$$Operating\ cost = (P_{tot} + Aux + EL_{com}) \times C_{el} \quad (15)$$

C_{el} : تعرفه برق برای گلخانه‌ها که برابر ۱۹۵ ریال به ازای هر ساعت است.

$$C_{el} : 0.008125\ [\$/\text{kWh}]$$

P_{tot} : مجموع توان مصرفی پمپ‌ها که در محیط ترنسیس از خروجی به معادله اقتصادی داده می‌شود

مقدار انرژی کمکی مورد نیاز که سیستم مورد نظر قادر به تأمین نمی‌باشد و می‌بایست از طریق هیت‌های نصب شده در مخزن کلکتور و یا بکار گرفته شده در پمپ حرارتی تأمین شود و در اینجا بصورت ورودی از محل مورد مطالعه به معادله اقتصادی داده می‌شود.

EL_{com} : مقدار الکتریسیته مصرفی توسط پمپ حرارتی که معادل ۲۵٪ ظرفیت پمپ حرارتی است.

$$Q_{abs} = Cap - EL_{com} = 3 \times Cap/4 \quad (16)$$

Cap : ظرفیت پمپ حرارتی

Q_{abs} : مقدار حرارت جذب شده توسط پمپ حرارتی از مبدل زمینی

از طرفی همانگونه که از قبل نیز یادآور شدیم رابطه ۱۷ در نظر گرفته می‌شود.

$$N \times L_{ghex}\ [m] \approx 20 \times Q_{abs} = 15 \times Cap \quad (17)$$

N : تعداد لوله‌های حفر شده

L_{ghex} : طول لوله‌ها

$$A.F = i \times (1+i)^n / (1+i)^n - 1 \quad (18)$$

بنابراین هزینه کلی طبق رابطه ۱۹ محاسبه می‌گردد.

$$Total\ cost = initial\ cost + 5.775 \times operating\ cost \\ = 540 \times A\ [\$] + 142.5 \times N \times L\ [\$] + (P_{tot} + Aux + EL_{com}) \times 0.008125 \times 5.775\ [\$] \quad (19)$$

۷-۲- انتخاب مقادیر بهینه در سیستم ترکیبی

۷-۲-۱- انتخاب مقادیر بهینه

جهت انتخاب مقادیر بهینه در مدل نهایی، از نمودارهای مقایسه‌ای استفاده می‌شود.

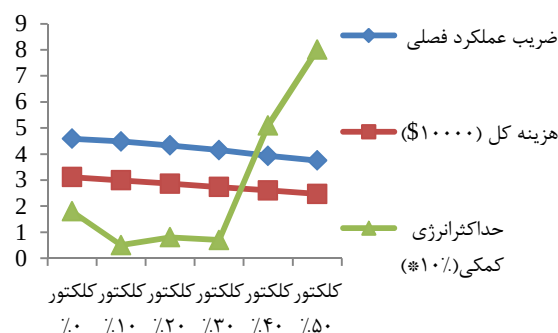
۷-۲-۱-۱- مقدار بهینه درصد تأمین بار از طریق کلکتور

بررسی تغییرات مختلف حداکثر انرژی کمکی، میانگین ضریب عملکرد پمپ حرارتی در فصل سرما (ضریب عملکرد فصلی) و هزینه کل انجام شده است [۱] (شکل ۶). کلکتور خورشیدی به عنوان سیستم کمکی پمپ حرارتی وارد مدار می‌شود، بنابراین تأمین بار توسط کلکتور حداکثر ۵۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. همانطور که از شکل مشخص است با افزایش سهم بار تأمین شده از طریق کلکتور با توجه به محاسبات قبلی و بدست آمده از خروجی نرم‌افزار، هزینه کل و ضریب عملکرد پمپ حرارتی کاهش یافته و مقدار انرژی کمکی مورد نیاز، در صورت تأمین بیشتر از ۳۰ درصد بار از طریق کلکتور با افزایش چشمگیری روبرو خواهد بود. از طرفی ضریب عملکرد میانگین ماکسیمم نیز با افزایش تأمین بار از مقداری بیشتر از ۳۰ درصد به زیر ۴ کاهش می‌یابد. بنابراین مقدار اولیه درصد تأمین بار از طریق کلکتور ۳۰ درصد در نظر گرفته شده و مقدار نهایی را با مقایسه خروجی‌ها بدست می‌آید.

۷-۲-۱-۲- مقدار بهینه دمای سیال ورودی به اواپراتور

پمپ حرارتی

برای اینکار نحوه تأثیرگذاری تغییرات دمای سیال خروجی از مبدل زمینی بر ضریب عملکرد میانگین پمپ حرارتی بررسی می‌شود.



شکل ۶- مقایسه مقدار بهینه درصد تأمین بار از طریق کلکتور

با استفاده از تغییرات اعمال شده در استراتژی کنترلی فرایند، درصد تأمین بار کمکی و همچنین نحوه تأثیرگذاری دمای تنظیم‌شده روی افزایش دمای سیال خروجی از مبدل زمینی تحلیل می‌شود. لازم به ذکر است که ترکیب در نظر گرفته شده با توجه به قسمت قبل ۳۰ درصد تأمین بار از طریق کلکتور خواهد بود. نمودارهای خروجی ترنسیس نشان می‌دهند که از دمای ۸ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد ضریب عملکرد افزایش، مقدار انرژی کمکی مورد نیاز کاهش و تغییرات دمای خروجی از مبدل زمینی نیز افزایش یافته که همگی مطلوب می‌باشند و باعث کاهش مصرف الکتریسیته می‌شود. ولی با افزایش دما تا ۱۲ درجه ضریب عملکرد ثابت بوده و مقدار انرژی کمکی مورد نیاز افزایش یافته و تغییرات دمای سیال خروجی کاهش می‌یابد که هیچ کدام مد نظر نبوده و در نتیجه دمای ورودی به اواپراتور روی ۱۲ درجه تنظیم خواهد شد.

۲-۷-۱-۳- مقدار بهینه دبی سیال ورودی

مقدار بهینه دبی سیال در محل با توجه به اینکه به ازای هر مقدار دبی چه میزان بار حرارتی کمکی مورد نیاز است، بدست می‌آید. با تأمین درصد کمی از بار از طریق هیتر کمکی از طراحی بیش از حد محتاطانه و در نتیجه پرهزینه و همچنین استخراج بیش از حد انرژی از مبدل زمینی می‌توان جلوگیری نمود. بنابراین مقدار انتخابی دبی سیال ورودی به محل را همان مقدار اولیه ۸۰۰ کیلوگرم بر ساعت در نظر می‌گیریم.

۲-۷-۱-۴- مقدار بهینه تعداد حلقه‌های زمینی و عمق آنها

همانطور که در قسمت‌های قبلی بیان شد مقدار مبدل زمینی مورد نیاز ۱۵۰ متر می‌باشد که این عدد می‌تواند از حاصلضرب تعداد حلقه‌ها و طول مبدل‌های زمینی در هر حلقه بدست آید. تعداد حلقه‌های مبدل زمینی در حالت بهینه زمانی بدست می‌آیند که دمای خروجی از مبدل زمینی حداکثر باشد. از طرفی طول خیلی کم و تعداد زیاد حلقه‌ها می‌تواند موجب افزایش فضای حجمی مورد نیاز برای مبدل زمینی و از طرفی غیر یکنواخت‌تر شدن دمای سیال در خروجی مبدل شود و طول خیلی زیاد مبدل‌ها نیز می‌تواند موجب افت فشار و در نتیجه افزایش مصرف برق پمپ نصب شده در خروجی مبدل و همچنین افزایش نسبی هزینه‌های اولیه حفاری شود.

تعداد حلقه‌ها را ۳ عدد و طول لوله‌ها ۵۰ عدد انتخاب می‌شود. نکته دیگری که حائز اهمیت است این است که مصرف الکتریسیته اولیه کمپرسور پمپ حرارتی حدود ۲/۵ کیلووات است که با کاهش آن حرارت خارج شده از مبدل زمینی و در نتیجه طول لوله‌ها و هزینه مربوطه افزایش می‌یابد که هدف ما نمی‌باشد ولی ضریب عملکرد پمپ حرارتی افزایش می‌یابد که مورد نظر ما است. همچنین اگر این مصرف افزایش یابد یعنی پمپ حرارتی بزرگتری انتخاب شود با کاهش هزینه مبدل زمینی روبرو می‌شویم که مطلوب است ولی ضریب عملکرد نیز کاهش می‌یابد. بنابراین انتخاب پمپ حرارتی و طول لوله‌های مبدل زمینی میبایست با تعامل بین هزینه و ضریب عملکرد انجام شود.

درصد کمی از بار از طریق هیتر کمکی از طراحی محتاطانه و در نتیجه پرهزینه و همچنین استخراج بیش از حد انرژی از مبدل زمینی می‌توان جلوگیری نمود. بنابراین مقدار انتخابی دبی سیال ورودی به محل را همان مقدار اولیه ۸۰۰ کیلوگرم بر ساعت در نظر می‌گیریم.

۲-۸- انتخاب طرح بهینه

در انتخاب کلکتور راندمان بسیار حائز اهمیت می‌باشد که وابسته به اختلاف دمای سیال عامل و دمای محیط است (شکل ۷). کلکتور خورشیدی انتخابی موجود در بازار با توجه به بالاترین راندمان مربوط به اختلاف دمای شکل ۷ از نوع صفحه تخت با سطح جاذب ۳/۱۴ مترمربع می‌باشد، بنابراین ۳ عدد از این نوع کلکتور انتخاب می‌شود. ظرفیت مورد نیاز پمپ حرارتی نیز ۱۰/۳۳ کیلووات است بنابراین پمپ حرارتی رایج انتخابی ۱۰ کیلووات بوده و کسری انرژی مورد نیاز به وسیله‌ی هیترهای کمکی تأمین می‌شود، به همین ترتیب طول لوله‌های زمین- گرمایی ۵۰ متر و تعداد لوله‌های سری نصب شده در زمین ۳ عدد خواهند بود. بنابراین اطلاعات نهایی مربوط به سیستم بدست می‌آیند.

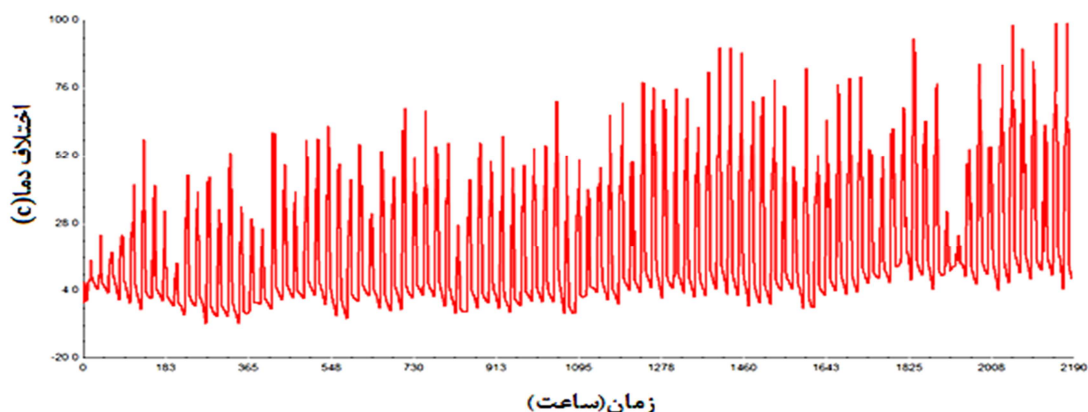
۱- هزینه کل با در نظر گرفتن هزینه‌های عملیاتی: \$ ۲۷۲۰۰ و هزینه عملیاتی سالیانه: \$ ۲۱۰.

۲- ضریب عملکرد میانگین: حداقل ۳/۳۱ و حداکثر ۴/۱۴

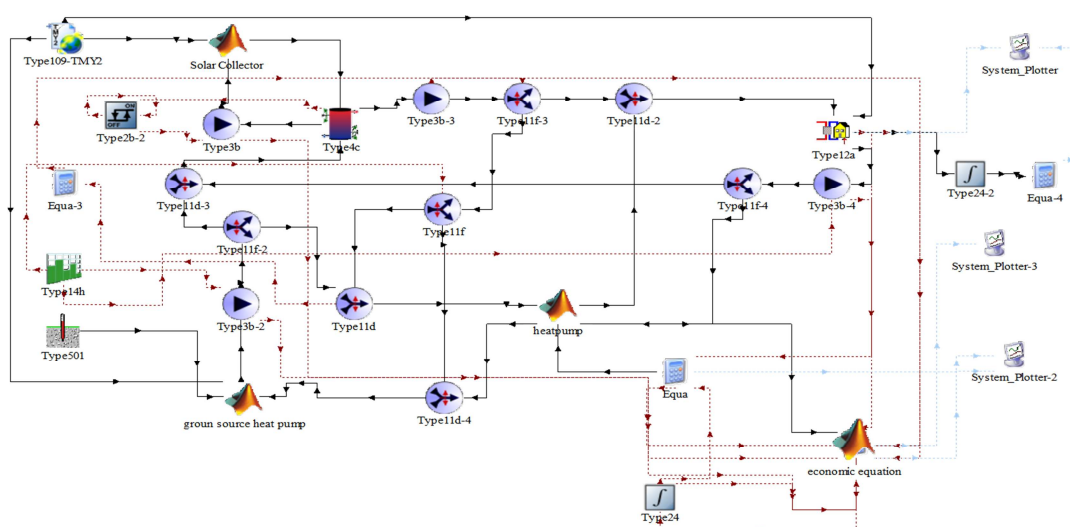
۳- نحوه‌ی تأمین بار: کل بار مورد نیاز توسط سیستم ترکیبی تأمین می‌گردد و حدود ۰/۲۱ درصد نیاز به بار کمکی وجود دارد.

۲-۹- ارتباط ترنسیس و متلب

جهت بهینه‌سازی مدل می‌توان از ارتباط بین نرم‌افزاری نیز استفاده نمود (شکل ۸). به این ترتیب که با نوشتن کلیه معادلات مربوط به کلکتور خورشیدی، پمپ حرارتی زمین گرمایی و همچنین ورودی ترنسیس اعمال شده و مجدداً اطلاعات مربوط به اجرای مدل در ترنسیس به عنوان ورودی به متلب داده می‌شود و مجدداً حلقه مذکور تکرار شده و تا جایی که تابع کلی هزینه در محیط متلب با در نظر گرفتن قیودی که به عنوان ورودی به مدل ارتباط بین نرم‌افزاری در محیط ترنسیس داده شده است بهینه شود، ادامه پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که در این تحقیق هدف محاسبه مقدار بهینه سطح کلکتورها و طول لوله‌های مبدل زمین گرمایی می‌باشد که در مدل اصلی به عنوان متغیرند. هزینه کل طبق معادله ۱۱ بدست می‌آید. با تعریف راندمان کلکتور در متلب روابط ۲۰ و ۲۱ بدست می‌آیند.



شکل ۷- اختلاف دما بین دمای محیط و دمای میانگین سیال عامل کلکتور



شکل ۸- ارتباط بین متلب و ترنسیس

$$\text{Total cost} = 378 \times G_t \times A^2 / C_p (T_{O,sc} - T_{i,sc}) [\$/] + 142.5 \quad (22)$$

$$N \times L [\$/] + (P_{tot} + Aux + EL_{com}) \times 0.00812 \times 55.775 [\$/] \quad (23)$$

$$\text{Total Cost} = a \times A^2 / (T_{O,sc} - T_{i,sc}) + b \times L + c \times Aux + c \times P_{tot} \quad (24)$$

$$Q_{tot} = Q_{sc} + Q_{hp} + Aux = 26000 \quad (25)$$

$$\text{Total cost} = a \times A^2 / (T_{O,sc} - T_{i,sc}) - d \times A + b \times L + c \times Aux + c \times P_{tot} + cte \quad (26)$$

$$St : T_{O,sc}, T_{i,sc}, A, L, Aux, P_{tot} \geq 0 \quad (27)$$

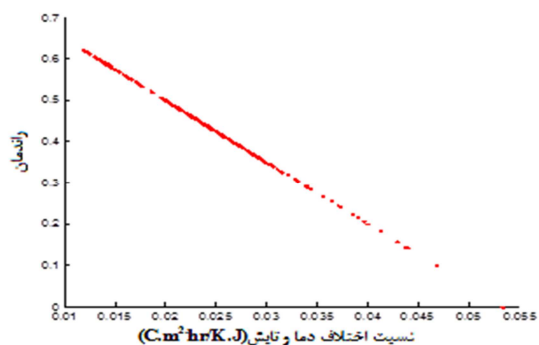
$$A \geq 6.8, L \geq 43 \quad (28)$$

$$A \leq 13.5, L \leq 56.5 \quad (29)$$

$$\text{Total cost} = 378 \times A/h [\$/] + 142.5 \times N \times L [\$/] + (P_{tot} + Aux + EL_{com}) \times 0.008125 \times 5.775 [\$/] \quad (30)$$

$$\eta = q_{useful} / (G_t \times A) = \dot{m}_{dot} \times C_p \times (T_{O,sc} - T_{i,sc}) / (G_t \times A) \quad (31)$$

شکل ۹ نشان دهنده تغییرات راندمان کلکتور نسبت به اختلاف دمای محیط و دمای سیال عامل کلکتور تقسیم بر میزان تابش خورشید در تهران است که از ارتباط بین ترنسیس و متلب بدست آمده است. که در آن با جایگزینی فرمول راندمان در محیط متلب رابطه ۲۲ بدست می آید.



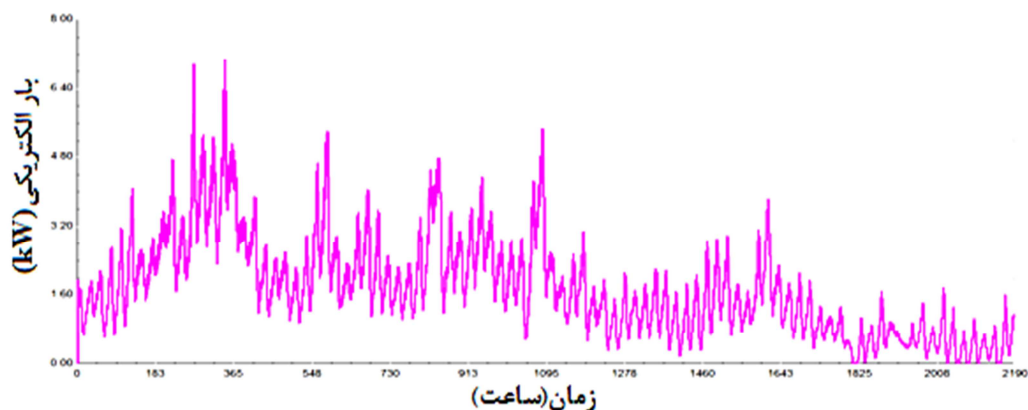
شکل ۹- تغییرات راندمان کلکتور

برای بهینه سازی از الگوریتم انتخابی از پیش نوشته در محیط متلب و ارتباط بین ترنسیس و متلب استفاده می شود. مقادیر بهینه بدست آمده شرح ذیل اند:

$$A = 9.56, L = 52, N = 3$$

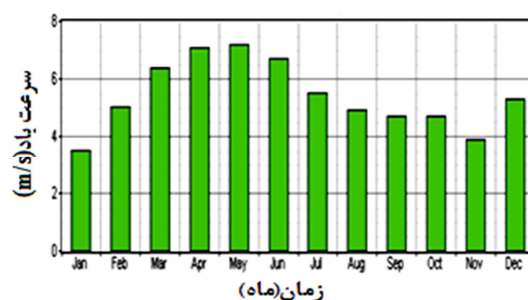
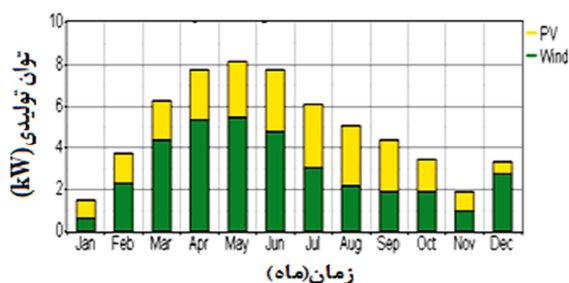
۲-۱۰- تأمین بار الکتریکی توسط نرم افزار هومر

برای تأمین بار الکتریکی با استفاده از خروجی ترنسیس مطابق شکل ۱۰ مقدار بار مورد نیاز بدست آمده و سپس در محیط هومر با وارد کردن این بار الکتریکی ترکیب بهینه برای سیستم مستقل از شبکه انتخاب می شود. ابتدا سرعت میانگین ماهیانه باد و همچنین تابش خورشید در شهر تهران مطابق شکل های ۱۱ و ۱۲ با استفاده از اطلاعات آب و هوایی ناسا به عنوان ورودی منابع به نرم افزار هومر وارد می شود.



شکل ۱۰- بار الکتریکی مورد نیاز سیستم

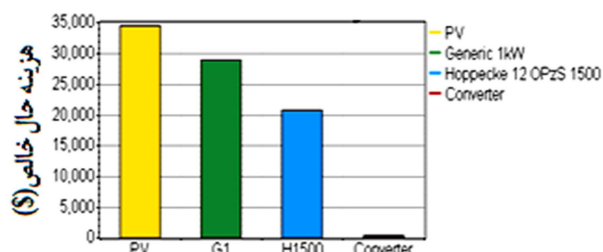
بود. انتخاب اجزاء به گونه‌ایست که کل بار الکتریکی مورد نیاز تأمین شود.



شکل ۱۱- سرعت میانگین ماهیانه باد در تهران

شکل ۱۳- درصد تأمین بار از ترکیب پنل فوتوولتاییک و توربین

قیمت اجزای سیستم ترکیبی نیز مطابق جدول ۱ خواهد بود.

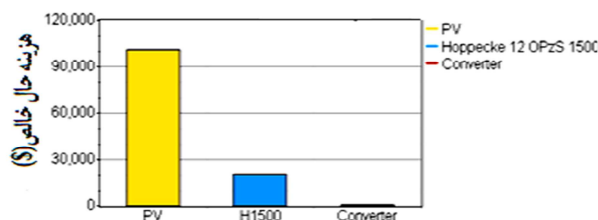


شکل ۱۴- هزینه تفکیکی ترکیب پنل فوتوولتاییک و توربین بادی

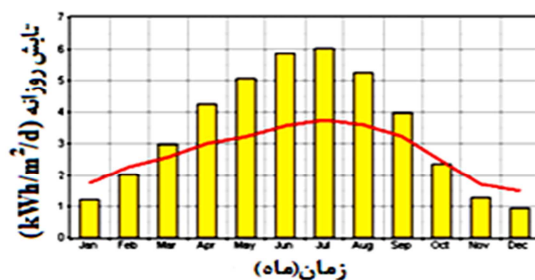
جدول ۱- قیمت اجزاء سیستم ترکیبی برای استفاده در هومر

اجزاء	اندازه (KW)	هزینه (\$)	جایگزینی (KW)	تعمیر و نگهداری (\$/yr)
فوتوولتاییک (PV)	۱	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۰
توربین باد (G1)	۱	۱۷۵۰	۱۷۵۰	۱۹
کانورتر (Converter)	۱	۷۵	۷۵	۰
باتری (H1500)	۱	۷۵	۷۵	۰

در نهایت با توجه به هدف تأمین توأم بار حرارتی و الکتریکی و محاسبات قبلی مربوط به نصب کلکتور خورشیدی حرارتی، احتمال جایگزین کردن سیستم کلکتور حرارتی با پنلهای حرارتی الکتریکی در مدل هومر پیاده‌سازی می‌شود [۱۲].



شکل ۱۵- هزینه تفکیکی اجزاء در صورت تأمین کل بار از پنلهای خورشیدی



شکل ۱۲- میانگین تابش افقی خورشید

ابتدا سیستم ترکیبی شامل پنلهای فوتوولتاییک و توربینهای بادی در نظر گرفته می‌شود. با شبیه‌سازی در مدل هومر نتایج مطابق نمودارهای ۱۳ و ۱۴ خواهند بود. به همین ترتیب در مورد تأمین بار الکتریکی مورد نیاز از طریق پنل فوتوولتاییک یا توربین باد به تنهایی نمودارهای تفکیکی هزینه‌ها بترتیب مطابق شکل‌های ۱۵ و ۱۶ خواهند

توجه به شرایط عملکردی و هزینه‌های متغیر می‌تواند سیستم ترکیبی پنل فوتوولتاییک و توربین بادی یا توربین بادی به تنهایی باشد انتظار داریم با عبور دادن سیال گرم کلکتور از اواپراتور پمپ حرارتی، ضریب عملکرد آن افزایش یابد. البته در این سیستم از طریق معادلات نوشته شده، محدودیت ۱۲ درجه لحاظ شده است. شکل ۱۹ مقایسه ضریب عملکرد سیستم ترکیبی با یک سیستم بدون شارژ حرارتی را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل نیز مشخص است، در سیستم با شارژ حرارتی (شکل بالایی) ضریب عملکرد نسبت به سیستم بدون شارژ افزایش چشمگیری خواهد داشت.

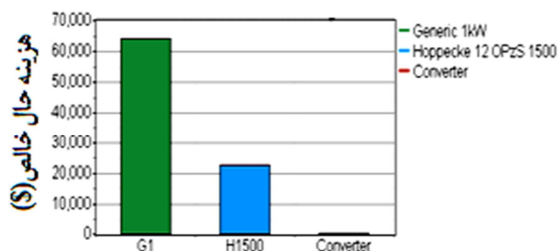
۳- یافته‌ها و بحث بر روی نتایج

بحث اصلی و بسیار حائز اهمیت در آنالیز فنی یک سیستم شامل پمپ حرارتی زمین‌گرمایی، ضریب عملکرد آن می‌باشد. همانگونه که در شکل ۱۹ به وضوح نشان داده می‌شود ضریب عملکرد در شکل بالایی که با پیش‌گرمایش سیال ورودی همراه است، افزایش چشمگیری خواهد داشت. تأثیر دیگری که پیش‌گرمایش سیال ورودی به اواپراتور خواهد داشت، افزایش دمای سیال ورودی به زمین و خروجی از زمین بصورت متغیر در یک بازه ۰/۵ تا ۱ درجه‌ای خواهد بود. افزایش دمای سیال ورودی به زمین، باعث بازیافت حرارتی زمین به صورت بازه‌ای در فصل سرما شده و از کاهش ضریب عملکرد پمپ حرارتی بدلیل کاهش دمای زمین در اطراف مبدل جلوگیری می‌نماید. استفاده از گرمای کلکتور عملی می‌باشد. این ترکیب از طریق دادن خروجی کنترلرها به دایورترها یا میکسرها برای هدایت گرمای خورشیدی به زمین صورت گرفته است با این تفاوت که در فصل گرما کنترلر مربوط به کلکتور خورشیدی روی دمای خروجی مخزن بالاتری تنظیم می‌شود.

همانگونه که از شکل ۲۰ پیداست هزینه سیستم ترکیبی بالاتر از کلکتور خورشیدی و پایین‌تر از پمپ حرارتی می‌باشد. با مقایسه‌ی ماکسیمم ضریب عملکرد سیستم ترکیبی انتخاب شده (۴/۱۴) با حالتی که صرفاً از پمپ حرارتی منبع زمینی (در حالت ایده‌آل حدود ۴) استفاده شود، سیستم ترکیبی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی و کلکتور خورشیدی نسبت به پمپ حرارتی به تنهایی در اولویت فنی و اقتصادی قرار دارد. همانگونه که از شکل ۲۰ پیداست هزینه سیستم ترکیبی

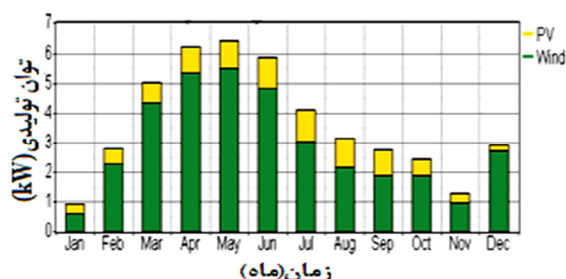
جدول ۲- مقایسه نتایج مدل هومر

سیستم ترکیبی	فوتوولتاییک (kW)	توربین بادی (kW)	باتری (kWh)	کانورتور (kWh)	هزینه اولیه (\$) (\$/kW)	هزینه عملیاتی (\$/kW)	هزینه کل (\$)
فوتوولتاییک-توربین بادی	۱۷	۱۴	۸۰۱	۵	۷۸۰۵۰	۱۰۱۵	۸۴۶۱۲
فوتوولتاییک حرارتی- توربین بادی	۶	۱۴	۱۴۳۴	۵	۷۲۴۲۵	۹۸۲	۷۸۷۲۲
فوتوولتاییک	۵۰	۰	۷۶۸	۵	۱۱۷۰۷۵	۶۹۸	۱۲۱۵۸۹
توربین بادی	۰	۳۱	۸۷۰	۵	۷۶۳۷۵	۱۶۷۱	۸۷۱۷۶

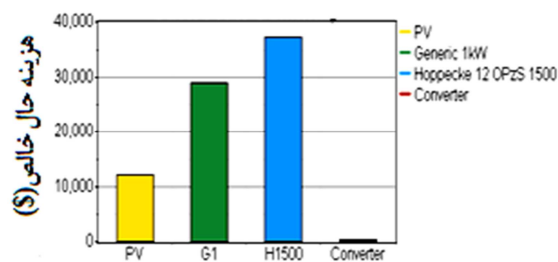


شکل ۱۶- هزینه تفکیکی اجزاء در صورت تأمین کل بار از توربینهای بادی

در صورت تأمین بار از ترکیب پنلهای فوتوولتاییک حرارتی و توربین باد نتایج طبق شکلهای ۱۷ و ۱۸ خواهد بود.



شکل ۱۷- تأمین از ترکیب پنل فوتوولتاییک حرارتی و توربین بادی



شکل ۱۸- هزینه ترکیب پنل فوتوولتاییک حرارتی (تولید برق) و توربین بادی

برای انتخاب با استفاده از جدول ۲ نتایج کلی هر کدام از سیستمها مقایسه می‌شوند. آنچه مشخص است استفاده از سیستم پنل شده با فوتوولتاییک به تنهایی به هیچ عنوان توصیه نمی‌شود و طرح انتخاب

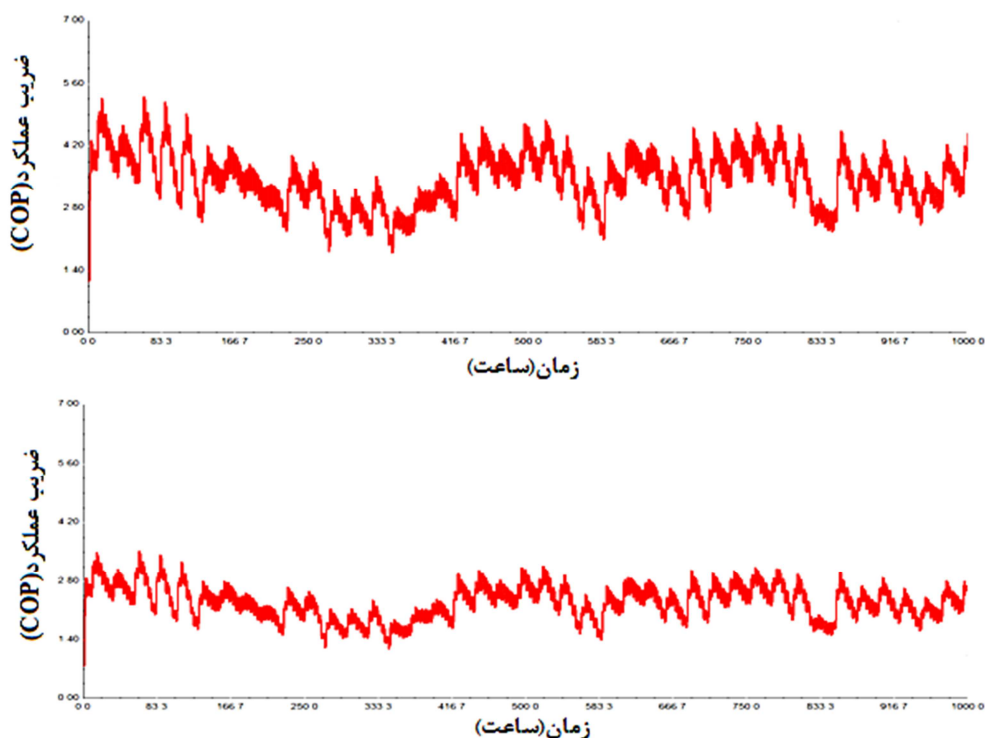
مشابه جداگانه نصب می‌شوند هزینه کمتری داشته و به مراتب باعث کاهش هزینه کل می‌شود.

در نهایت لازم به ذکر است که هدف یک سیستم ترکیبی پنل‌های فوتوولتاییک- حرارتی، پمپ حرارتی زمین‌گرمایی و توربین بادی برای تأمین بار حرارتی و الکتریکی گلخانه‌ها در نقاط دوردست بوده و با تعرفه‌های کنونی توجیه اقتصادی برای نصب در بخش ساختمانهای مسکونی را در کشور ما ندارد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که در [۱] صرفاً مطالعه بارگرمایشی انجام شده ولی در این تحقیق علاوه بر تأمین بار گرمایشی و ارتباط بین ترنسیس و متلب برای بررسی دقیق‌تر مقادیر بدست آمده از کار قبل و تحلیل‌های دقیق‌تر توسط ترنسیس، ضمن بهینه‌سازی عملکرد سیستم در حالت گرمایشی، برق مورد نیاز سیستم ترکیبی نیز بصورتی بهینه از طریق نرم‌افزار هومر با حداکثر بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر و حداقل بهره‌گیری از انرژی کمکی تأمین شده و بهترین پیشنهاد برای تأمین بار گرمایشی و الکتریکی مورد نیاز گلخانه‌ها در مناطق دوردست که دسترسی به شبکه برق و گاز کشوری وجود ندارد ارائه شده است.

۳- نتیجه گیری

آنچه بطور کلی سعی در ارائه آن شده آنالیز فنی و اقتصادی در کنار یکدیگر بوده به طوریکه طرح مورد نظر از هر دو دیدگاه بهینه باشد. آنچه این طرح را از سایر طرح‌ها متمایز می‌نماید، عملکرد سیستم ترکیبی با توجه به دمای ورودی به اواپراتور پمپ حرارتی می‌باشد. این بدان معناست که با توجه به دمای ایده‌آل ورودی سیال به اواپراتور که توسط ما کنترل می‌شود، سیستم می‌تواند در فصل سرما بار حرارتی بدست آمده توسط کلکتور را بطور سری یا موازی و یا ترکیبی از دو سیستم سری و موازی وارد مدار نماید.

بالتر از کلکتور خورشیدی و پایین‌تر از پمپ حرارتی می‌باشد. نتایج تأمین بار الکتریکی مورد نیاز با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در محیط نرم‌افزار هومر مطابق جدول ۲ خواهند بود. نتایج نشان می‌دهند که پنل‌های فوتوولتاییک به تنهایی توجیه اقتصادی نداشته و طرح انتخابی ترکیبی از پنل‌های فوتوولتاییک و توربین‌های بادی خواهد بود. آنچه کاملاً مشخص است هزینه بالای سیستم بدلیل تأمین کل بار به وسیله ترکیبی از پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی می‌باشد. دلیل اصلی هزینه بالا، نیاز به استفاده از باتری بدلیل قابلیت اطمینان پایین هر دو سیستم و ذخیره بار تولید شده در زمانی که منابع باد و خورشید به اندازه کافی وجود دارند برای استفاده در سایر ساعات شبانه روز می‌باشد. بنابراین در زمانهایی که هردو سیستم دارای حداکثر تولید می‌باشند می‌بایست علاوه بر تأمین بار مورد نیاز مصرفی، بار لازم جهت ذخیره سازی در باتری و استفاده مجدد را نیز تأمین نمایند که باعث انتخاب پنل‌ها و یا توربین‌هایی با ظرفیت بالا و در نتیجه هزینه اولیه بسیار بالا خواهد شد. با توجه تقاضای بار حرارتی و الکتریکی به صورت همزمان و طراحی اولیه سیستم بهینه حرارتی و محاسبه توان حرارتی خروجی کلکتور، امکان نصب پنل فوتوولتاییک - حرارتی قابل بررسی بوده و با توجه به نسبت خروجی بار الکتریکی پنل به بار حرارتی آن و امکان در نظر گرفتن بار الکتریکی به عنوان یک قید در مدل هومر نتایج نهایی مطابق جدول ۲ بدست می‌آیند و بیانگر این نکته خواهند بود که بهینه‌ترین حالت تأمین بار الکتریکی استفاده از پنل‌های فوتوولتاییک- حرارتی و توربین‌های بادی بوده و سیستم ترکیبی بهینه نهایی برای گلخانه‌ها استفاده از پنل‌های فوتوولتاییک- حرارتی، پمپ حرارتی زمین- گرمایی و توربین بادی می‌باشد. استفاده از پنل‌های فوتوولتاییک- حرارتی نسبت به زمانی که هر کدام از سیستم‌های حرارتی و الکتریکی با ظرفیت



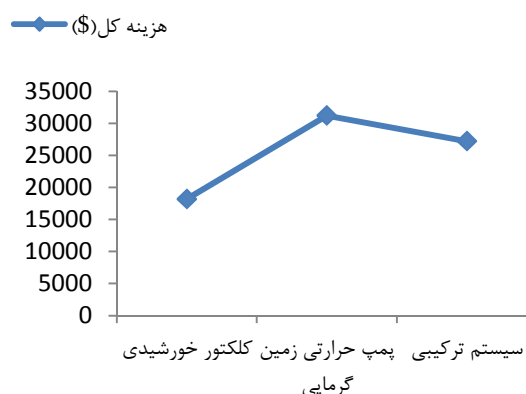
شکل ۱۹- تأثیر پیش گرمایش سیال ورودی به اواپراتور روی ضریب عملکرد

U	ضریب انتقال حرارت ($W/m^2.K$)
Eta	راندمان (%)
G_t	تابش رسیده بر واحد سطح (W/m^2)
m_{dot}	دبی (kg/s)
C_p	ظرفیت حرارتی ($J/kg.K$)
اندیسها	
o	output
i	input
sc	solar collector
hp	heat pump
ghx	ground heat exchanger
ghp	ground source heat pump
tot	total
compressor	com
electricity	el
	abs
	absorbed

۵- مراجع

- [1] Mehrpooya M, Hemmatabady H, Ahmadi MH. Optimization of performance of Combined Solar Collector-Geothermal Heat Pump Systems to supply thermal load needed for heating greenhouses. *Energy Conversion and Management*. 2015;97:382-92.
- [2] Wang F, Zheng M-y, Shao J-p, Li Z-j. Simulation of embedded heat exchangers of solar aided ground source heat pump system. *Journal of Central South University of Technology*. 2008;15:261-6.
- [3] Zhai X, Qu M, Yu X, Yang Y, Wang R. A review for the applications and integrated approaches of ground-coupled heat pump systems. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2011;15:3133-40.
- [4] Xi C, Lin L, Hongxing Y. Long term operation of a solar assisted ground coupled heat pump system for space heating and domestic hot water. *Energy and buildings*. 2011;43:1835-44.
- [5] Eslami-Nejad P, Bernier M. Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors using double U-tube boreholes with two independent circuits. *Applied Thermal Engineering*. 2011;31:3066-77.
- [6] Bakirci K, Ozyurt O, Comakli K, Comakli O. Energy analysis of a solar-ground source heat pump system with vertical closed-loop for heating applications. *Energy*. 2011;36:3224-32.
- [7] Girard A, Gago EJ, Muneer T, Caceres G. Higher ground source heat pump COP in a residential building through the use of solar thermal collectors. *Renewable Energy*. 2015;80:26-39.
- [8] Dai L, Li S, DuanMu L, Li X, Shang Y, Dong M. Experimental performance analysis of a solar assisted ground source heat pump system under different heating operation modes. *Applied Thermal Engineering*. 2015;75:325-33.
- [9] Banks D. An introduction to thermogeology: ground source heating and cooling: John Wiley & Sons; 2012.
- [10] Kjellsson E. Solar Collectors Combined with Ground-Source Heat Pumps in Dwellings-Analyses of System Performance: Lund University; 2009.
- [11] Kusuda T, Achenbach PR. Earth temperature and thermal diffusivity at selected stations in the United States. DTIC Document; 1965.
- [12] Nualboonrueng T, Tuenpusa P, Ueda Y, Akisawa A. Field experiments of PV-Thermal collectors for residential application in Bangkok. *Energies*. 2012;5:1229-44.

هزینه برای تأمین بار حرارتی در نظر گرفته شده



شکل ۲۰- مقایسه نرخ سیستم ترکیبی با کلکتور خورشیدی و پمپ حرارتی به تنهایی

از طرفی در فصل سرما در زمان عملکرد سری با توجه به افزایش قابل توجه دمای سیال ورودی به اواپراتور و سپس انتقال این افزایش دما به مبدل زمینی بازیافت حرارتی زمین نیز صورت گرفته و از افت ضریب عملکرد پمپ حرارتی بدلیل کاهش شدید دمای خاک در اطراف مبدل زمینی در اثر استخراج بیش از حد حرارت در زمان اوج بار جلوگیری شده است. در این تحقیق جهت بررسی بهینه بودن طرح از لحاظ اقتصادی نیز معادلات مربوطه در مورد هزینه اولیه را کاملاً دو متغیره و وابسته به سطح کلکتورها و طول مبدل‌ها قرار داده‌ایم. از طرف دیگر معادلات مربوط به هزینه‌های عملیاتی را بدلیل متغیر بودن مصرف برق کمپرسور پمپ حرارتی و مقدار انرژی کمکی مورد نیاز از طریق هیترها و همچنین توان مصرفی پمپ‌ها بعنوان ورودی به معادله نوشته شده در محیط ترنسینس می‌دهیم و در نهایت طرح بهینه را با تبادل بین عوامل فنی و اقتصادی انتخاب نموده و ارائه می‌نماییم. برای تأمین بار الکتریکی مورد نیاز نیز با استفاده از خروجی بار الکتریکی ترنسینس و انتقال آن برای انتخاب طرح بهینه به مدل هومر و بررسی نتایج نهایی استفاده از پنل فوتوولتائیک برای تولید برق به تنهایی از گزینه‌های مورد بررسی حذف شده و با در نظر گرفتن لزوم استفاده از توربین‌های بادی، امکان تولید همزمان برق و حرارت توسط پنل‌های خورشیدی را بررسی نموده و ترکیب نهایی جهت تولید برق را با توجه به برق قابل تولید از پنل‌های فوتوولتائیک- حرارتی با توان حرارتی بدست آمده از طراحی بهینه حرارتی و لزوم استفاده از توربین‌های بادی انتخاب می‌نماییم.

۴- فهرست علائم

A.F	ضریب سالیانه کردن
Aux	انرژی کمکی مورد نیاز (kWh)
COP	ضریب عملکرد پمپ حرارتی
T	دما ($^{\circ}C$)
L	طول (m)
C	هزینه (\$)
P	توان (kwh)
Q	حرارت (kw)