



تحلیل پارامتری و بهینه سازی سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی برای فضای آموزشی در شهر تهران

کوروش جواهرده^{۱*}، محمد ذوقی^۲ و محمد نقاش زادگان^۱

^۱ استاد یار گروه مکانیک، دانشکده مکانیک، دانشگاه گیلان

^۲ کارشناس ارشد تبدیل انرژی، دانشکده مکانیک، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۱۳؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۳/۰۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۲۵

چکیده

در این تحقیق ابتدا حالت گذرای سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی برای فضای آموزشی به مجموع مساحت ۱۶۰۰ مترمربع در شهر تهران بوسیله نرم افزار TRNSYS و با اجزای کلکتور صفحه تخت، تانک ذخیره لایه‌های حرارتی، گرم‌کن کمکی با محرک گاز طبیعی، برج خنک‌کن، فن کویل و... شبیه‌سازی می‌شود و تاثیر تغییر پارامترهای مختلف مانند شیب و مساحت کلکتور، حجم تانک ذخیره و دمای تنظیمی گرم‌کن کمکی بر روی عملکرد سیستم از منظر انرژی و اقتصادی مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس بهینه‌سازی دو هدفه سیستم سرمایشی جذبی نسبت به توابع هدف سهم خورشیدی و ذخیره اقتصادی با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود. نتیجه شبیه‌سازی سیستم سرمایشی حاکی از آن است که بهترین مقدار دمای تنظیمی گرم‌کن، برابر با کمترین مقدار در محدوده مجاز است. همچنین با تغییر همزمان مساحت کلکتور و حجم تانک مشاهده می‌شود که بیشترین سهم خورشیدی متناظر با بالاترین مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره و بهترین ذخیره اقتصادی متناظر با کمترین مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره در محدوده در نظر گرفته شده می‌باشد و در نتیجه بهبود سیستم از دو منظر انرژی و اقتصادی در تقابل کامل با یکدیگر قرار دارند.

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی؛ چیلر جذبی تک اثره لیتیمیم بروماید-آب؛ شبیه‌سازی؛ بهینه‌سازی؛ TRNSYS.

Parametric analysis and optimization of solar absorption cooling system for educational building in Tehran

K. Javaherdeh^{*1}, M. Zoghi² and M. Naghashzadegan¹

¹ Assist. Prof., School of Mechanical Engineering, Guilan University

² M.Sc. Student, School of Mechanical Engineering, Guilan University

Abstract

In this study at first, the transient performance of an solar absorption cooling system is simulated for an educational place in Tehran with a 1600 m² area by the commercial TRNSYS software including flat plate collector, stratification storage tank, natural gas fired auxiliary boiler, cooling tower, fan coil and etc, then The effects of different parameters such as collector's area and slope, tank's volume and auxiliary heater's set temperature on the system performance from energetic and economic points of view are also studied and in the final step Two-objective optimization of solar absorption cooling system based on the solar fraction and life cycle saving as in objective functions is carried out by means of genetic algorithms and GMDH neural network. Simulation results of cooling system show that the best temperature of heater has to be set as minimum in the operating range. Moreover, with changing in collector area and tank volume simultaneously, it is observed that maximum solar fraction is captured with maximum collector area and maximum tank volume, and also maximum life cycle saving is captured with minimum collector area and minimum tank volume in present range. The final results indicate that the energy and economical performance stand in opposite behavior.

Keywords: Solar energy; Single effect LiBr-H₂O absorption chiller; Simulation; Optimization; TRNSYS

۱- مقدمه

با توجه به افزایش روز افزون مصرف و هزینه انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند انرژی گاز طبیعی و الکتریسیته استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، زمین گرمایی و... در سالیان اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته و تحقیقات خوبی در مورد امکان استفاده از انرژی خورشیدی برای سرمایش و گرمایش مکان‌های مختلف انجام شده است. نتیجه این تحقیقات نشان داده که استفاده از چیلر جذبی با محرک آب گرم برای استفاده از آب گرم تولید شده بوسیله کلکتور خورشیدی مناسب است. چیلر جذبی اگرچه دارای ضریب عملکرد پایین می‌باشد ولی قابلیت استفاده از انرژی‌های دما پایین مانند انرژی خورشیدی را دارد و همچنین نسبت به سیکل تراکمی که به دلیل وجود کمپرسور، انرژی زیادی مصرف می‌کند، انرژی الکتریکی بسیار کمتری مصرف می‌نماید. مزیت دیگر سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی، همزمان بودن حداکثر تابش خورشید و حداکثر بار سرمایشی مورد نیاز برای تهویه مطبوع می‌باشد.

برای مثال لی^۱ و همکاران [۱] در سال ۲۰۰۱ برنامه‌ای کامپیوتری برای شبیه‌سازی یک سیستم جذبی لیتیم بروماید- آب تک اثره خورشیدی نصب شده در دانشگاه هنگ کنگ ارائه دادند. این سیستم شامل کلکتور صفحه تخت به مساحت ۲۸ متر مربع، تانک ذخیره به حجم ۲/۷۵ متر مکعب و یک گرم‌کن با اتصال موازی بین چیلر و تانک ذخیره بوده و در این مدل‌سازی از داده‌های عملکرد سیستم جذبی ۴/۷ کیلووات موجود استفاده شد. همچنین دو نوع تانک ذخیره طبقه‌ای و بخش‌بندی شده بکار گرفته شد و نتایج نشان داد که تانک بخش‌بندی شده باعث افزایش بیشتر ضریب عملکرد چیلر جذبی می‌شود. فلوریدس^۲ و همکاران [۲] در سال ۲۰۰۱ یک سیستم جذبی خورشیدی را برای قبرس شبیه‌سازی کردند که بتواند بار برودتی خانه‌ای به مساحت ۱۹۶ متر مربع را تامین کند. برای شبیه‌سازی سیستم از نرم‌افزار TRNSYS و داده‌های آب و هوایی نیکوزیا در قبرس استفاده شد. در این شبیه‌سازی سه نوع کلکتور صفحه تخت، لوله خلئی و سهموی مرکب، یک تانک ذخیره آب گرم، یک گرم-

کن کمکی گازی و یک چیلر جذبی با ظرفیت اسمی ۱۸ کیلووات با عملکرد پیوسته چیلر جذبی (روش کنترل نرخ انرژی^۳) استفاده گردید. در ادامه با استفاده از تحلیل پارامتری بهترین شیب کلکتور، بهترین دما برای روشن شدن گرم‌کن کمکی و بهترین حجم تانک ذخیره مشخص گردید و در نهایت با استفاده از تحلیل اقتصادی بهترین مساحت کلکتور برای هر سه نوع کلکتور مشخص شد. اصیل‌زاده و همکاران [۳] در سال ۲۰۰۵ سیستم مشابه پیکره بندی سیستم کار فلوریدس را با استفاده از نرم‌افزار TRNSYS برای آب و هوای مالزی شبیه‌سازی کرده و با استفاده از تحلیل پارامتری نشان دادند برای هر تن تبرید در شرایط آب و هوایی مذکور به کلکتور لوله خلئی به مساحت ۳۵ متر مربع با شیب ۲۰ درجه نسبت به افق و حجم تانک ذخیره ۰/۸ متر کعب نیاز است. جودی^۴ و عبدالغفور^۵ [۴] در سال ۲۰۰۳ بر پایه یک کار آزمایشگاهی در عراق سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی را با استفاده از کلکتور صفحه تخت، تانک ذخیره، گرم‌کن کمکی و الگوی عملکرد پیوسته چیلر جذبی با استفاده از نرم‌افزار TRNSYS شبیه‌سازی نمودند. آنها در این تحقیق با تغییر مساحت کلکتور، حجم تانک ذخیره، ظرفیت ساختمان، رطوبت نسبی محیط و... تعداد بسیار زیادی شبیه‌سازی انجام داده و به وسیله نتایج بدست آمده یک نمودار طراحی برای بدست آوردن سهم خورشیدی ارائه نمودند. آنها همچنین رابطه‌ای برای بهترین مقدار حجم تانک ذخیره بر پایه کمینه کردن اتلاف ناشی از بخار شدن آب در خروجی کلکتور نیز ارائه کردند. ماتئوس^۶ و اولیویرا^۷ [۵] در سال ۲۰۰۹ سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی و گرمایشی خورشیدی را با استفاده از نرم‌افزار TRNSYS و بوسیله دو کلکتور صفحه تخت و لوله خلئی و برای سه شهر مختلف در اروپا و همچنین سه نوع ساختمان، خانه، هتل و اداره شبیه‌سازی نمودند. برای شبیه‌سازی از دو پیکره بندی مختلف استفاده شد: یکبار دستگاه کمکی به سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی را گرم‌کن گازی و یکبار

³ Energy rate control⁴ Joudi⁵ Abdul-Ghafour⁶ Mateus⁷ Oliveira¹ Li² Florides

کمکی را بهینه‌سازی تک هدفه (یکبار فقط نسبت به تابع هدف انرژی و یکبار فقط نسبت به تابع هدف اقتصادی) نمودند.

در این تحقیق ابتدا عملکرد گذرای سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی برای فضای آموزشی به مجموع مساحت ۱۶۰۰ متر مربع در شهر تهران و در طول فصل تابستان بوسیله نرم افزار TRNSYS شبیه‌سازی شده و تاثیر تغییر پارامترهای مختلف بر روی عملکرد سیستم از منظر انرژی و اقتصادی مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی نسبت به توابع هدف انرژی و اقتصادی بهینه‌سازی دو هدفه می‌گردد. حسن تحقیق پیش رو نسبت به تحقیقات پیشین بهینه‌سازی دو هدفه سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی می‌باشد.

۲- شرح سیستم

در شکل ۱ طرحواره سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی را ملاحظه می‌کنید (خط پر اطلاعات مربوط به انتقال جریان و خط چین مربوط به کنترلر می‌باشد).

در تابستان با تابش خورشید بر روی سطح کلکتور دمای آب داخل کلکتور بالا می‌رود که می‌توان از این آب گرم برای تغذیه ژنراتور چیلر جذبی استفاده نمود ولی به دلیل نوسان زیاد دمای آب خروجی از کلکتور و محدودیت بازه دمایی ورودی به چیلر جذبی از یک تانک ذخیره آب گرم استفاده می‌شود، همچنین تانک ذخیره توانایی ذخیره آب گرم در ساعات اوج تابش خورشیدی را دارد که از این آب گرم اضافی ذخیره شده می‌توان در ساعاتی که انرژی خورشیدی کافی موجود نیست استفاده نمود. استفاده از یک گرم‌کن کمکی گاز طبیعی برای پایداری بیشتر سیستم و تامین حرارت مورد نیاز ژنراتور چیلر جذبی وقتی که حلقه خورشیدی (کلکتور و تانک ذخیره) قادر به تامین آن نیست مناسب به نظر می‌رسد. از سوی دیگر استفاده از یک دستگاه کمکی در کنار حلقه خورشیدی از نظر اقتصادی نیز بسیار مفید است [۸]. همچنین برج خنک‌کن برای خنک کردن جذب‌کننده و کندانسور چیلر جذبی به کار می‌رود و در انتها آب سرد تولید شده بوسیله اواپراتور چیلر جذبی به واحد فن کویل رفته و در آنجا هوای سرد مورد نیاز برای سرمایش ساختمان

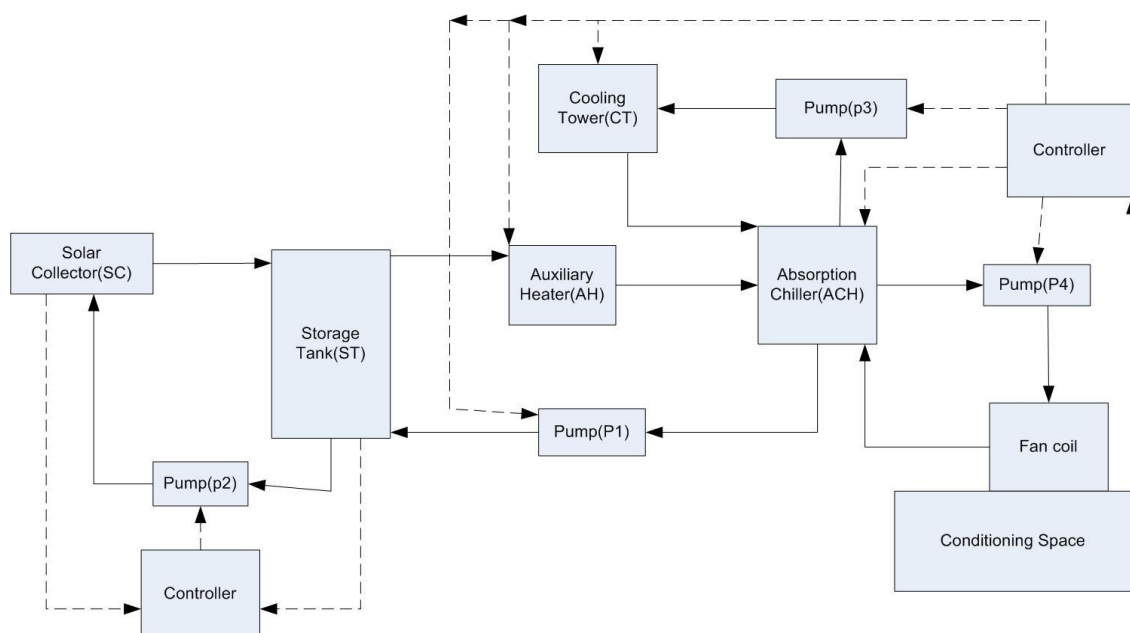
چیلر تراکمی الکتریکی قرار دادند و در نهایت دو سیستم را نقطه نظر انرژی و اقتصادی مورد بررسی قرار داده، حداقل سائز کلکتور و تانک ذخیره، هزینه خرید کلکتور و هزینه انرژی مصرفی برای رسیدن به سهم خورشیدی ۰/۶ را برای حالات مختلف موجود بررسی نمودند. ویلار^۱ و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۱ سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی و گرمایشی خورشیدی را با ظرفیت اسمی چیلر جذبی ۱۰ کیلووات و با استفاده از کلکتور صفحه تخت بوسیله نرم افزار TRNSYS شبیه‌سازی نمودند. در این تحقیق از چیلر تراکمی الکتریکی به عنوان سیستم کمکی در فصل سرمایش و از پمپ حرارتی الکتریکی به عنوان سیستم کمکی در فصل گرمایش استفاده کردند و با بکارگیری تانک ذخیره آب گرم و تانک ذخیره آب سرد در مکانهای مختلف در سیستم، سیستم سرمایشی و گرمایشی را در حالت‌های مختلف بررسی و تاثیر تغییر مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره را بر روی سهم خورشیدی مطالعه نمودند.

در تحقیقات قبلی سیستم سرمایشی جذبی و یا گرمایشی خورشیدی تحلیل پارامتری شده و از یک الگوریتم مشخص برای بهینه‌سازی آن استفاده نشده است ولی کالیسه^۲ و همکاران [۷-۱۰] در سال ۲۰۱۱ در مجموعه مقالات بسیار جالب با استفاده از نرم افزار TRNSYS یک سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی و گرمایشی خورشیدی را با استفاده از چیلر جذبی تک مرحله‌ای و حداکثر ظرفیت ۳۰۰ کیلووات و کلکتور لوله خلثی بهینه‌سازی نمودند. در این کار سه پیکره بندی مختلف مورد بررسی قرار گرفت: یکبار سیستم کمکی به حلقه خورشیدی گرم‌کن گازی بوده و در دو مورد دیگر از چیلر تراکمی استفاده نمودند، با این فرق که یکبار مساحت کلکتور و ظرفیت چیلر جذبی برای حداکثر بار سرمایشی ساختمان و در مورد دیگر مساحت کلکتور و ظرفیت چیلر جذبی برای تامین کسری از بار سرمایشی ساختمان طراحی گردید. آنها در این کار از الگوی کنترلی کنترل دمای ساختمان^۳ استفاده نمودند و در انتها بوسیله الگوریتم‌های معتبر بهینه‌سازی، شیب کلکتور، دبی حلقه خورشیدی، حجم تانک ذخیره و دمای تنظیمی گرم‌کن

¹ Villar

² Calise

³ Temperature level control



شکل ۱- طرحواره سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی

کالیسه [۷] برای کنترل دمای فضایی با بار سرمایشی ماکزیمم ۱۶۰ کیلووات از این سیستم کنترلی استفاده نموده است.

۳- برای فضای آموزشی مورد تهیه کلیه دستگاه‌ها از ساعت ۸ صبح تا ساعت ۷ بعد از ظهر روشن بوده و برای بقیه ساعت‌ها که فضای آموزشی خالی از دانش‌آموزان است دستگاه‌ها خاموش می‌شوند.

۲-۲- فرضیات ابتدایی

۱- تانک ذخیره آب گرم در فصل تابستان بهتر است خارج از فضای مورد تهیه قرار گیرد، به دلیل اینکه دمای متوسط روزانه محیط خارج از دمای متوسط روزانه فضای مورد تهیه بالاتر است و این موضوع اتلاف حرارتی تانک را کاهش می‌دهد [۳ و ۴].

۲- یک تعدیل کننده فشار در خروجی کلکتور به منظور جلوگیری از بخار شدن آب خروجی کلکتور قرار داده می‌شود، این دستگاه هنگامی کار می‌کند که دمای آب به ۹۸ درجه سلسیوس برسد [۴].

۳- نسبت دبی عبوری از کلکتور بخش بر مساحت کلکتور ثابت و برابر $50 \frac{kg}{(hr.m^2)}$ می‌باشد، به دلیل اینکه بیشتر شدن دبی عبوری از کلکتور نسبت به مقدار مذکور و به تبع آن

تامین می‌شود. گفتنی است که آب گرم کاهش دما یافته و خروجی از ژنراتور چیلر جذبی به انتهای تانک ذخیره لایه‌های حرارتی و پس از آن به کلکتور می‌رود تا افزایش دمای مجدد پیدا کند. در این شبیه‌سازی از اتلاف حرارتی در اجزای انتقال دهنده سیال (لوله‌ها) صرف‌نظر شده است. همچنین برای شبیه‌سازی سیستم به یک سری تدابیر کنترلی و فرضیات اساسی احتیاج داریم که به شرح زیر می‌باشند:

۲-۱- کنترل سیستم

۱- برای جلوگیری از اتلاف انرژی توسط کلکتور وقتی تابش خورشیدی کافی فراهم نیست کنترلر حلقه خورشیدی پمپ p2 را خاموش می‌کند. پمپ تا وقتی که اختلاف دمای خروجی کلکتور و بالای تانک ذخیره برابر ۵/۰ درجه سلسیوس باشد روشن می‌ماند و در صورت خاموشی هنگامی روشن می‌شود که این اختلاف دما به ۳ درجه سلسیوس برسد [۴].

۲- سیستم سرمایشی با کنترلر خاموش- روشن کنترل می‌شود تا دمای متوسط فضای مورد تهیه حدود ۲۴ درجه سلسیوس باقی بماند. این کنترلر به p1, CT, AH, p3, p4 و ACH متصل است و وقتی دمای ساختمان به ۲۴+۱ درجه برسد آنها را روشن می‌کند و وقتی دمای ساختمان به ۱-۲۴ درجه سلسیوس برسد آنها را خاموش می‌نماید [۷].

در رابطه فوق T_{in} دمای آب ورودی به کلکتور، T_{amb} دمای هوای محیط و I_T تابش کل بر روی سطح شیبدار کلکتور است و a_0, a_1, a_2 طبق استانداردهای ASHRAE برای کلکتور صفحه تخت از تست کلکتور بدست می‌آیند. تست کلکتور در شرایط یکنواخت و با ثابت نگه داشتن دمای سیال ورودی به کلکتور، دمای محیط، شدت تابش خورشید، دبی عبوری از کلکتور، تعداد کلکتور قرار گرفته بصورت سری برابر یک و تابش خورشید عمود بر سطح کلکتور انجام می‌گیرد. اگر با استفاده از نتایج تست بر حسب شرایط دمایی متغیر و شدت تابش متغیر مقادیر مختلف بازده کلکتور روی محور عمودی بر حسب $\frac{(T_{in}-T_{amb})}{I_T}$ رسم شود، بهترین خط راست رابطه بین بازده و $\frac{(T_{in}-T_{amb})}{I_T}$ را حاصل می‌دهد، همچنین برای شرایط دبی متغیر و تعداد کلکتور قرار گرفته به صورت سری غیر از یک و تابش غیر عمود خورشید بر روی سطح کلکتور ضرایب تصحیح می‌شوند. در تحقیق حاضر $a_0=0.77$ و $a_1=15.22 \frac{kJ}{(hr.m^2.k)}$ و $a_2=0$ [۴] و برای مقادیر ابتدایی مساحت کلکتور برابر ۸۰۰ متر مربع با شیب ۲۵ درجه (۱۰ درجه کمتر از عرض جغرافیایی شهر تهران) و دهانه کلکتور به سمت جنوب [۱۳] و نسبت دبی بخش بر مساحت کلکتور برابر $50 \frac{kg}{(hr.m^2)}$ در نظر گرفته می‌شود.

۳- شرایط آب و هوایی: برای اطلاعات آب و هوایی type109 مورد استفاده قرار گرفته که ورودی آن بوسیله اطلاعات جامع آب و هوایی تهیه شده است. در تحقیق حاضر از اطلاعات آب و هوایی شهر تهران استفاده می‌شود.

۴- تانک ذخیره: برای شبیه‌سازی تانک ذخیره مدل لایه‌های حرارتی از type4 استفاده می‌شود. آب موجود در تانک ذخیره بر اساس اختلاف دما و به تبع آن اختلاف چگالی لایه بندی می‌شود و به ترتیب از بالا به پایین گرم‌ترین و خنک‌ترین لایه قرار دارد. ورود آب گرم خروجی از کلکتور به بالای تانک و آب خروجی از ژنراتور چیلر جذبی به پایین تانک به لایه بندی حرارتی آن کمک می‌کند. این type با این فرض اساسی که تانک از N زیر قسمت مخلوط کامل تشکیل شده است شبیه‌سازی می‌شود که N تعداد لایه های حرارتی می‌باشد و توازن انرژی برای هر لایه در تانک جداگانه نوشته می‌شود [۱۱]. در تحقیق حاضر تعداد لایه‌های حرارتی تانک برابر ۵ فرض می‌شود، همچنین حجم ابتدایی تانک برابر ۲۰ متر مکعب، نسبت طول به قطر معادل برابر ۲ [۱۱] و ضریب

افزایش دبی آب ورودی به تانک ذخیره باعث بر هم خوردن لایه بندی حرارتی تانک ناشی از افزایش آمیزش لایه‌های مختلف می‌گردد. در برخی مواقع بیشتر کردن دبی ممکن است جذاب به نظر برسد، در حالیکه استفاده از این مقدار دبی مزیت های دیگری نیز دارد، از جمله اینکه که با کاهش دبی گرمای حاصله از کلکتور بیشتر صرف افزایش دمای خروجی از کلکتور می‌شود و با افزایش دمای خروجی از کلکتور دمای لایه بالایی تانک ذخیره و به تبع آن کیفیت ترمودینامیکی آب خروجی از تانک ذخیره به چیلر جذبی افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش ضریب عملکرد چیلر جذبی می‌شود و مورد دیگر اینکه کاهش دبی منجر به کاهش هزینه های مربوط به آن از جمله لوله کشی آب و هزینه پمپ آب می‌گردد. با توجه به موارد گفته شده دبی $50 \frac{kg}{(hr.m^2)}$ برای کلکتور انتخاب می‌شود [۴، ۶ و ۱۱].

۳- شبیه سازی اجزای سیستم با استفاده از نرم

افزار TRNSYS

در ابتدا باید گفت که هر یک از اجزا در نرم افزار بوسیله یک type معرفی می‌شوند. در این قسمت به شرح جزئیات بیشتر هر یک از اجزا و نحوه استفاده از آنها خواهیم پرداخت:

۱- ساختمان: برای شبیه‌سازی ساختمان از type12 در نرم افزار استفاده می‌شود، در این حالت دمای متوسط ساختمان با استفاده از حالت غیر یکنواخت موازنه انرژی بدست می‌آید [۱۲].

در مورد حاضر نرخ انرژی حاصل از افراد و تجهیزات و روشنایی و نفوذ برای فضای آموزشی به مجموع مساحت ۱۶۰۰ مترمربع در شهر تهران برابر ۸۵ کیلووات بوده و حرارت حاصل از تابش خورشید توسط سطوح انتقال دهنده آن به فضای داخل ساختمان وارد می‌شود، در نهایت برای ثابت نگه داشتن دمای ساختمان در ۲۴ درجه سلسیوس بار سرمایشی بیشینه ۲۲۰ کیلووات محاسبه می‌شود.

۲- کلکتور صفحه تخت: برای شبیه‌سازی کلکتور از type1 استفاده می‌گردد. بازده کلکتور طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود [۷]:

$$\eta_{SC} = a_0 - a_1 \frac{(T_{in} - T_{amb})}{I_T} - a_2 \frac{(T_{in} - T_{amb})^2}{I_T} \quad (1)$$

پیش رو دمای آب سرد خروجی تنظیمی برابر ۷ درجه سلسیوس و ضریب عملکرد اسمی چیلر جذبی برابر ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود و دمای آب گرم ورودی به ژنراتور و آب خنک ورودی به جذب‌کننده و کندانسور متغیر با شرایط محیطی می‌باشند که سعی می‌شود با فرضیات و تدابیر کنترلی در رنج فوق ذکر قرار گیرند. کالیسه از type107 برای تامین ظرفیت حداکثر ۳۰۰ کیلووات استفاده نموده است [۸]. همچنین از روابط زیر برای بدست آوردن ظرفیت اسمی چیلر و دبی پمپ‌های مربوطه استفاده می‌نماییم [۱۰]:

$$\dot{Q}_{ACH,N} = \dot{Q}_{MAX,COOLING} \quad (3)$$

$$\dot{m}_{p4} = \frac{\dot{Q}_{MAX,COOLING}}{c_p \Delta T_n} \quad (4)$$

$$\dot{m}_{p1} = \frac{\dot{m}_{p4}}{COP_{ACH,N}} \quad (5)$$

$$\dot{m}_{p3} = \dot{m}_{p4} \left(1 + \frac{1}{COP_{ACH,N}}\right) \quad (6)$$

$$COP_{ACH,N} = 0.7$$

که در روابط قبل $\dot{Q}_{MAX,COOLING}$ بار سرمایشی بیشینه فضای مورد تهویه و ΔT_n اختلاف دمای اسمی بین آب ورودی و خروجی به فن کویل فضای مورد تهویه است که ۵ درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود.

۴- بررسی عملکرد سیستم از نقطه نظر انرژی و اقتصادی

برای تحلیل پارامتری سیستم علاوه بر COP_{ACH} و η_{SC} موارد زیر معرفی می‌شوند:

۱- سهم خورشیدی:

$$f = \frac{Q_{GEN} - Q_{AUX}}{Q_{GEN}} \quad (7)$$

که Q_{AUX} و Q_{GEN} به ترتیب انرژی محرک ژنراتور چیلر جذبی و انرژی داده شده به سیال توسط گرم‌کن کمکی می‌باشند.

۲- برای بررسی سودمندی سیستم از نقطه نظر اقتصادی یک سیستم مرجع انتخاب می‌شود که انرژی خورشیدی هیچ نقشی در تحریک آن نداشته باشد، برای سادگی همان سیستم اصلی بدون حلقه خورشیدی به عنوان سیستم مرجع انتخاب شده است بطوریکه تمام انرژی مورد نیاز ژنراتور چیلر جذبی در فصل سرمایش توسط گرم‌کن کمکی

اتلاف حرارتی برابر $\frac{3 \text{ kJ}}{(\text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K})}$ در نظر گرفته می‌شود که در محدوده توصیه شده بین ۱/۸ تا ۳/۲۴ بر حسب واحد مذکور قرار دارد [۶].

۵- گرم‌کن کمکی گازی: برای شبیه‌سازی گرم‌کن کمکی از type6 استفاده می‌شود. از گرم‌کن برای بالا بردن دمای آب خروجی از تانک ذخیره و با کمک کنترلر داخلی و خارجی استفاده می‌کنیم. در این مورد با فرمان گرفتن از کنترلر تنظیم کننده دمای ساختمان (کنترلر خارجی)، گرم‌کن مانند یک کوره عمل می‌کند به طوریکه نرخ حرارتی $\dot{Q}_{AH,MAX}$ را تا وقتیکه دمای سیال از دمای تنظیمی $T_{SET,AUX}$ تجاوز نکند به جریان سیال می‌دهد و اگر دمای ورودی به گرم‌کن از تانک از $T_{SET,AUX}$ بزرگتر باشد کنترلر داخلی گرم‌کن را غیر فعال می‌کند. در این تحقیق برای بدست آوردن بهترین مقدار $T_{SET,AUX}$ تحلیل پارامتری در محدوده ۷۶ تا ۹۵ درجه سلسیوس (محدوده دمای مجاز ورودی ژنراتور چیلر جذبی) انجام می‌گیرد. همچنین داریم [۱۰]:

$$\dot{Q}_{AH,MAX} = \frac{\dot{Q}_{ACH,N}}{COP_{ACH,N}} \quad (2)$$

در رابطه فوق $\dot{Q}_{ACH,N}$ و $COP_{ACH,N}$ به ترتیب ظرفیت اسمی و ضریب عملکرد اسمی چیلر جذبی می‌باشند.

۶- چیلر جذبی: برای شبیه‌سازی چیلر جذبی تک مرحله‌ای با محرک آب گرم لیتییم بروماید- آب از type107 استفاده شده است. این مورد یک فایل ورودی داده بر اساس کاتالوگ- های چیلر جذبی دریافت می‌کند که پارامترهای ورودی چیلر جذبی را به پارامترهای عملکرد آن مربوط می‌نماید. در تحقیق حاضر فایل ورودی پیش فرض نرم افزار TRNSYS به کمک کاتالوگ‌های چیلر جذبی شرکت yazaki تصحیح می‌شود [۱۴]. با استفاده از کاتالوگ چیلر جذبی دمای ورودی به ژنراتور چیلر در رنج ۹۵-۷۵ درجه سلسیوس (حد بالایی آب گرم برای جلوگیری از بیش از حد غلیظ شدن محلول لیتییم بروماید در ژنراتور و در نتیجه افزایش امکان کریستالی شدن نمک می‌باشد [۱۵]) و دمای آب خنک ورودی به جذب- کننده و کندانسور در رنج ۳۱-۲۴ درجه سلسیوس (حد پایینی آب خنک به منظور جلوگیری از بیش از حد رقیق شدن محلول لیتییم بروماید در جذب‌کننده می‌باشد [۱۶]) و آب سرد تنظیمی خروجی در رنج ۷ تا ۱۲ درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود. همچنین گفتنی است که در تحقیق

در این شیب بازه زمانی که آفتاب به طور عمود بر سطح کلکتور می‌تابد افزایش پیدا می‌کند [۱۳].

۲- دمای تنظیمی گرم‌کن کمکی: در شکل ۳ تاثیر تغییرات موارد مختلف بر حسب تغییر $T_{SET,AUX}$ رسم شده است. ملاحظه می‌شود تاثیر افزایش دمای تنظیمی گرم‌کن بر روی تمام موارد بجز ضریب عملکرد چیلر جذبی منفی می‌باشد. با افزایش دمای تنظیمی گرم‌کن، دمای کل مجموعه از جمله دمای پایین‌ترین لایه تانک ذخیره و به تبع آن دمای ورودی به کلکتور افزایش می‌یابد، این موضوع باعث می‌شود که کلکتور در سطح دمای بالاتری کار کرده که باعث کاهش بازده کلکتور و در نتیجه کاهش انرژی مفید بدست آمده از کلکتور می‌گردد، در نتیجه نیاز سیستم به انرژی کمکی از گرم‌کن کمکی افزایش پیدا کرده و این موضوع کاهش همزمان ذخیره اقتصادی و سهم خورشیدی را در پی دارد. افزایش دمای مجموعه فقط روی ضریب عملکرد چیلر جذبی تاثیر مثبت اندکی دارد چون با افزایش دمای ورودی به ژنراتور چیلر جذبی ضریب عملکرد آن اندکی افزایش می‌یابد. همچنین در شکل‌های ۴ و ۵ تغییرات سهم خورشیدی بر حسب تغییرات دمای تنظیمی گرم‌کن برای مساحت‌های مختلف کلکتور و حجم‌های مختلف تانک ذخیره رسم شده است، همانطور که دیده می‌شود اثر افزایش دمای گرم‌کن کمکی در تمام حالتها منفی است. با توجه به گفته‌های فوق نتیجه‌گیری می‌شود بهترین مقدار برای $T_{SET,AUX}$ تقریباً متناظر با حداقل دمای مجاز ورودی به چیلر جذبی یعنی حدود ۷۶ درجه سلسیوس می‌باشد که این مورد با گفته کالیسه نیز مطابقت دارد [۷]. با تعیین این دما ممکن است این ایراد گرفته شود که کاهش دمای ورودی ژنراتور در محدوده مجاز باعث کاهش ظرفیت واقعی چیلر جذبی می‌شود، در جواب باید گفت که نیاز به گرم‌کن کمکی در سیستم سرمایه‌گذاری جذبی معمولاً در ساعات کمینه بار سرمایه‌گذاری ساختمان می‌باشد که نیازی به بیشینه ظرفیت چیلر جذبی نیست. ساعات اوج نیاز به سرمایه‌گذاری در ساختمان معمولاً همزمان با اوج تابش خورشیدی بوده که در این حالت دمای مورد نیاز ژنراتور چیلر جذبی توسط کلکتور خورشیدی فراهم می‌شود و نیازی به گرم‌کن کمکی نیست.

تامین شود (این مقدار را برابر L می‌گیریم). انرژی گاز مصرفی توسط سیستم اصلی برابر Q_{AUX} می‌باشد. برای بررسی ذخیره اقتصادی سیستم در اثر استفاده از حلقه خورشیدی نسبت به سیستم مرجع مفهوم LCS و استفاده از روش P_1, P_2 مناسب به نظر می‌رسد [۲ و ۳]:

$$LCS = P_1 C_{EN}(L - Q_{AUX}) - P_2 (C_{AASC} + C_T) \quad (8)$$

تحلیل اقتصادی برای یک دوره ۲۰ ساله با فرض نرخ تورم ۶ درصد برای قیمت سوخت انجام می‌گیرد. برای حلقه خورشیدی (کلکتور و تانک ذخیره) فرض شده است که ۲۰ درصد هزینه خرید ابتدا پرداخت می‌شود و ۸۰ درصد بقیه طی قسط‌هایی در ۲۰ سال پرداخت می‌گردد و همچنین داریم [۲ و ۷]:

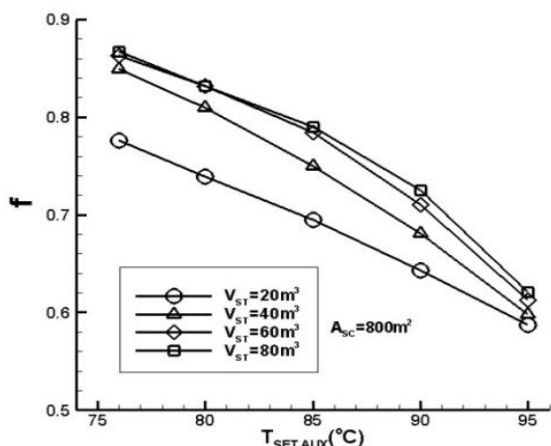
$$\begin{aligned} P_1 &= 16, P_2 = 0.99 \\ C_{EN} &= 8.39 \left(\frac{\text{Euro}}{\text{Gj}} \right) \\ C_A &= 300 \left(\frac{\text{Euro}}{\text{m}^2} \right) \\ C_T &= 808V_{ST} + 494(\text{Euro}) \end{aligned} \quad (9)$$

که در روابط قبل $V_{ST}(m^3)$ حجم تانک ذخیره، Euro واحد پولی اتحادیه اروپا، C_{EN} هزینه مصرف انرژی، C_A هزینه واحد مساحت کلکتور خورشیدی و C_T هزینه وابسته به حجم تانک ذخیره می‌باشد.

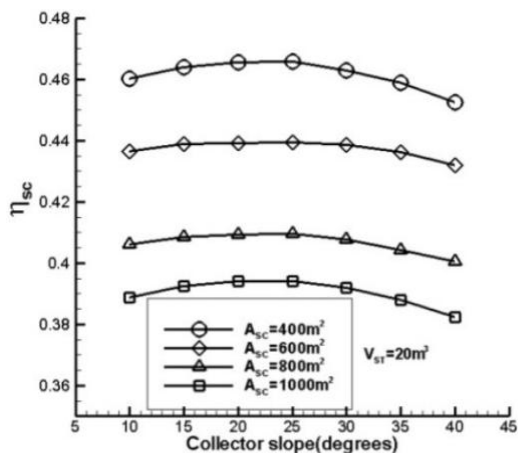
۵- تحلیل پارامتری سیستم سرمایه‌گذاری جذبی

برای بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر روی عملکرد سیستم تعداد زیادی شبیه‌سازی توسط TRNSYS انجام می‌شود. دوره شبیه‌سازی کل فصل تابستان بوده و فاصله زمانی داخل شبیه‌سازی برابر ۳ دقیقه در نظر گرفته می‌شود. این فاصله زمانی برای بدست آوردن دمای واقعی نقاط مختلف و همگرایی مناسب دما در تانک ذخیره ضروری است [۹]. در زیر تاثیر پارامترهای مختلف بر روی توابع هدف انرژی و اقتصادی بررسی می‌شود:

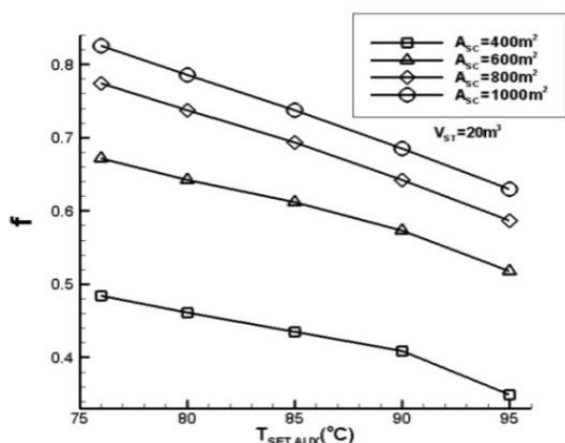
۱- شیب کلکتور: در شکل ۲ مقادیر بازده کلکتور بر حسب شیب کلکتور برای مساحت‌های مختلف کلکتور رسم شده است. ملاحظه می‌شود بهترین مقدار بازده برای شیب ۲۵ درجه بدست می‌آید. این زاویه همانطور که قبلاً گفته شد ۱۰ درجه کمتر از عرض جغرافیایی شهر مورد مطالعه می‌باشد که



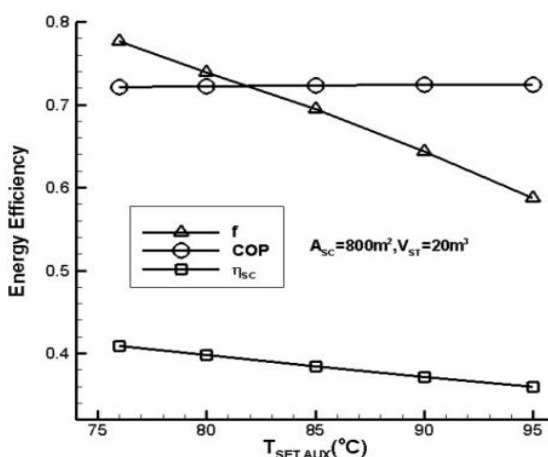
شکل ۴- تغییرات سهم خورشیدی بر حسب تغییر دمای تنظیمی گرم‌کن برای مساحت کلکتور ۸۰۰ متر مربع و حجم متغیر تانک



شکل ۲- تغییرات بازده کلکتور بر حسب تغییر شیب کلکتور برای حجم تانک ذخیره ۲۰ مترمکعب و مساحت‌های متغیر کلکتور



شکل ۵- تغییرات سهم خورشیدی بر حسب تغییر دمای تنظیمی گرم‌کن برای حجم تانک ۲۰ متر مکعب و مساحت‌های متغیر کلکتور



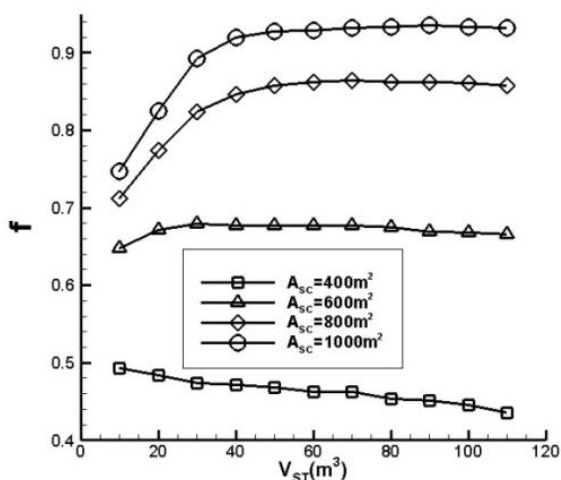
شکل ۳- تاثیر تغییر دمای تنظیمی گرم‌کن بر روی سیستم از منظر انرژی

ولی از آن مقدار به بعد باعث می‌شود اثر اتلاف حرارتی به محیط غالب گردد و بر روی کل سیستم اثر نامطلوب داشته باشد. نهایتاً از اثر متقابل دو پدیده فوق حجم بهینه تانک ذخیره مشخص می‌شود. همچنین همانطور که از شکل ۶ مشخص است افزایش حجم تانک ذخیره باعث افزایش بازده کلکتور می‌گردد. دلیل اصلی این امر این است که با افزایش حجم تانک ذخیره، بر هم خوردن لایه‌های حرارتی در تانک ناشی از آمیزش لایه‌های مختلف در اثر ورود و خروج جریان‌های خارجی کاهش می‌یابد و لایه‌بندی حرارتی تانک بهبود

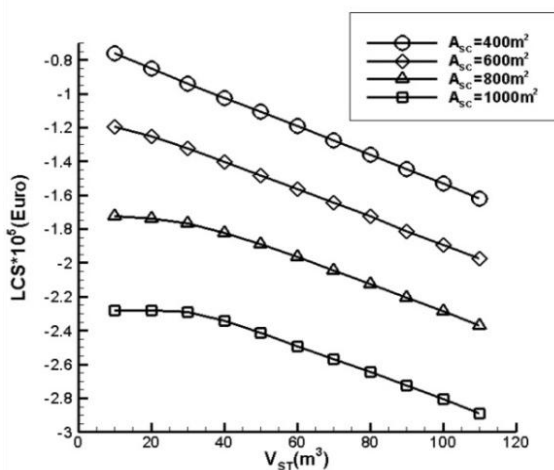
۳- حجم تانک ذخیره: در شکل ۶ تاثیر موارد مختلف بر حسب تغییر حجم تانک ذخیره رسم شده است. ملاحظه می‌شود تنها تغییرات سهم خورشیدی نسبت به تغییر حجم تانک برای مساحت ۸۰۰ متر مربع دارای بیشینه می‌باشد. ایجاد بیشینه نتیجه تاثیر متقابل دو پدیده است، از یک طرف افزایش حجم تانک ذخیره باعث می‌شود مقدار آب گرم بیشتری در تانک ذخیره گردد که این موضوع کاهش استفاده از انرژی گرم‌کن کمکی را در پی دارد و از طرف دیگر افزایش حجم تانک، افزایش اتلاف حرارتی آن به محیط را در پی دارد، در نتیجه، این افزایش تا یک مقدار معین مفید است

اقتصادی^۱ SPB (دوره برگشت سرمایه) انجام داده و مانند تحقیق حاضر به این نتیجه رسیده که مقادیر بهینه مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره از نقطه نظر اقتصادی کمترین مقادیر مجاز آنها می‌باشد.

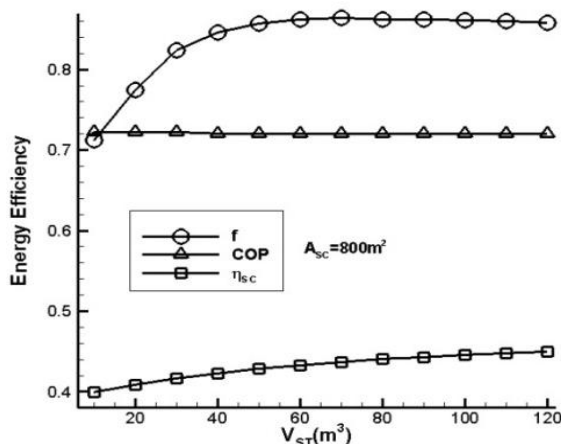
۴- مساحت کلکتور: در شکل ۹ تغییرات موارد مختلف بر حسب تغییر مساحت کلکتور رسم شده است. همانطور که



شکل ۷- تاثیر تغییر حجم تانک ذخیره بر روی سهم خورشیدی در مساحت‌های مختلف کلکتور



شکل ۸- تاثیر تغییر حجم تانک ذخیره بر روی ذخیره اقتصادی در مساحت‌های مختلف کلکتور

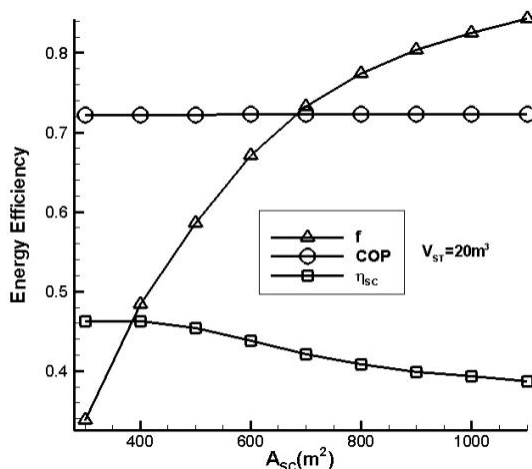


شکل ۶- تاثیر تغییر حجم تانک ذخیره بر روی سیستم از منظر انرژی

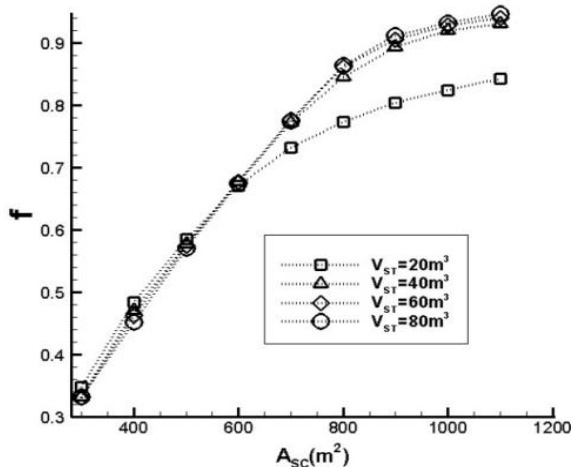
پیدا می‌کند، در نتیجه آب خنک‌تر از پایین تانک به سمت کلکتور جریان پیدا می‌کند، دمای کارکرد کلکتور کاهش یافته و بازده آن افزایش می‌یابد. همچنین در شکل ۷ تغییر سهم خورشیدی بر حسب تغییر همزمان حجم تانک ذخیره و مساحت کلکتور رسم شده است. همان طور که از شکل مشخص است برای مساحت‌های مختلف کلکتور حجم بهینه تانک ذخیره متفاوت می‌باشد و برای مساحت بزرگتر حجم بهینه تانک افزایش پیدا می‌کند، برای نمونه حجم بهینه برای مساحت ۶۰۰ متر مربع برابر ۳۰ متر مکعب و برای مساحت ۸۰۰ متر مربع برابر ۷۰ متر مکعب است و همان‌طور که از شکل مشخص است بالاترین سهم خورشیدی تقریباً متناظر با زوج بیشترین مساحت کلکتور و بیشترین حجم تانک ذخیره می‌باشد. نهایتاً در شکل ۸ تغییرات ذخیره اقتصادی در اثر استفاده از چرخه خورشیدی رسم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود هم اثر افزایش حجم تانک ذخیره و هم اثر افزایش مساحت کلکتور بر ذخیره اقتصادی منفی است، این موضوع نشان دهنده این است که اثر افزایش قیمت ابتدایی ناشی از افزایش مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره بر صرفه جویی انرژی گاز ناشی از استفاده از چرخه خورشیدی غالب می‌باشد. کالیسه [۸] نیز بهینه‌سازی اقتصادی سیستم خورشیدی جذبی را با استفاده از مفهوم

¹ Simple payback period

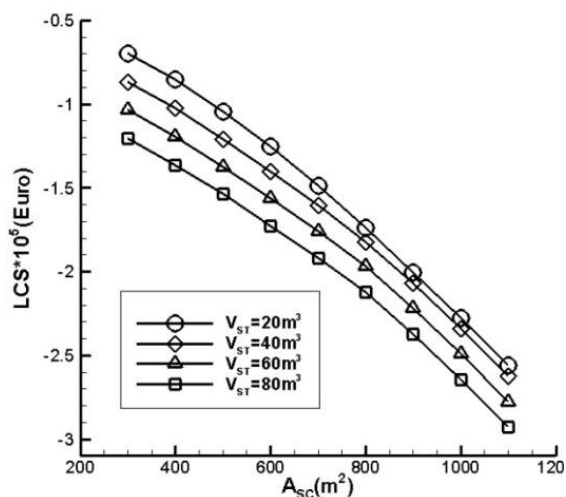
اقتصادی متناظر با کمترین مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره است، از این گفته مشخص است که بهبود سیستم از دو منظر انرژی و اقتصادی در تقابل کامل با یکدیگر قرار دارند، در نتیجه بهینه‌سازی دو هدفه مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره نسبت به توابع هدف سهم خورشیدی و ذخیره اقتصادی مناسب می‌باشد.



شکل ۹- تاثیر تغییر مساحت کلکتور بر روی سیستم از منظر انرژی



شکل ۱۰- تاثیر تغییر مساحت کلکتور بر روی سهم خورشیدی در حجم‌های مختلف تانک ذخیره



شکل ۱۱- تاثیر تغییر مساحت کلکتور بر روی ذخیره اقتصادی در حجم‌های مختلف تانک ذخیره

مشاهده می‌شود با افزایش مساحت کلکتور ضریب عملکرد چیلر جذبی اندکی افزایش می‌یابد، چون با افزایش مساحت کلکتور گرمای مفید جذب شده توسط کلکتور افزایش یافته که باعث افزایش دمای آب خروجی از کلکتور می‌شود، دمای بالای تانک ذخیره افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه دمای آب گرم ورودی به چیلر جذبی نیز افزایش می‌یابد که باعث افزایش ضریب عملکرد آن می‌شود. همچنین همانطور که از شکل‌های ۹ و ۱۰ پیداست افزایش مساحت کلکتور تاثیر مثبت بسیار واضحی بر روی سهم خورشیدی دارد، این موضوع در نتیجه کاهش استفاده از انرژی گرم‌کن کمکی حاصل می‌گردد. در انتها باید گفت اگرچه با افزایش مساحت کلکتور گرمای مفید آن افزایش می‌یابد اما بازده کلکتور کاهش پیدا می‌کند. دلیل این موضوع این است که در فرمول بازده کلکتور در افزایش همزمان صورت و مخرج کسر، اثر افزایش مخرج کسر بیشتر بوده و در نتیجه بازده کلکتور کاهش می‌یابد. کالیسه [۸ و ۱۰] برای کلکتورهای لوله خلائ و سهمی خطی به نتیجه مشابهی رسیده با این فرق که برای دو کلکتور ذکر شده کاهش بازده در اثر افزایش مساحت نامحسوس‌تر است. در شکل ۱۱ همچنین تغییرات ذخیره اقتصادی برای مساحت‌های مختلف کلکتور و با تغییر حجم تانک ذخیره رسم شده است. از شکل‌های ۱۰ و ۱۱ واضح است که بیشترین بازده انرژی متناظر با بالاترین مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره و بیشترین ذخیره

۵- صحت‌سنجی نتایج

در مورد صحت سنجی نتایج حاصله موارد زیر قابل ذکر است:

- ۱- در این تحقیق همانطور که گفته شد بهترین شیب کلکتور نسبت به افق ۱۰ درجه کمتر از عرض جغرافیایی شهر مورد مطالعه می‌باشد که مطابق مرجع [۱۳] می‌باشد.
- ۲- بهترین دمای تنظیمی گرم‌کن کمکی کمترین مقدار در محدوده مجاز آن بدست آمد که مطابق مرجع [۷] می‌باشد.
- ۳- افزایش حجم تانک ذخیره باعث افزایش بازده کلکتور و ایجاد بیشینه برای سهم خورشیدی می‌گردد که با مرجع [۱۷] مطابقت دارد.
- ۴- افزایش مساحت کلکتور باعث کاهش بازده کلکتور و افزایش سهم خورشیدی می‌گردد که از مرجع [۱۸] نیز قابل نتیجه‌گیری است.
- ۵- افزایش مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره در محدوده در نظر گرفته شده باعث نزول عملکرد اقتصادی سیستم می‌شود که مطابق مرجع [۸] می‌باشد.

۶- بهینه‌سازی سیستم سرمایه‌ی جذبی

خورشیدی

برای بهینه‌سازی سیستم سرمایه‌ی جذبی خورشیدی با توجه به تحقیقات پیشین و موارد ذکر شده در قسمت‌های قبل شیب کلکتور برابر ۲۵ درجه نسبت به افق، دبی کلکتور برابر $50 \frac{kg}{hr \cdot m^2}$ و دمای تنظیمی گرم‌کن کمکی برابر ۷۶ درجه سلسیوس ثابت در نظر گرفته شده و مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره پارامترهای طراحی می‌باشند که مساحت کلکتور در محدوده ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ متر مربع و حجم تانک ذخیره در محدوده ۱۰ تا ۱۱۰ مترمکعب تغییر می‌کند. به منظور بهینه‌سازی دوهدفه سیستم، سهم خورشیدی و ذخیره اقتصادی به عنوان توابع هدف انتخاب می‌شوند. در این قسمت ابتدا با استفاده از مقادیر عددی توابع هدف بر حسب پارامترهای طراحی بوسیله الگوریتم^۱ GMDH رابطه بین این دو استخراج می‌شود و سپس بوسیله الگوریتم ژنتیک^۲ سیستم سرمایه‌ی جذبی بهینه‌سازی می‌شود.

۶-۱- بدست آوردن رابطه بین توابع هدف و پارامترهای

طراحی بوسیله الگوریتم GMDH

شبکه عصبی GMDH، شبکه‌ای خود سازمانده و یک سو به می‌باشد که از چندین لایه و هر لایه نیز از چندین نرون تشکیل یافته است که برای حل یک مسئله با یکدیگر هماهنگ عمل می‌کنند و از یک ساختار مشابه برخوردار می‌باشند. این شبکه‌ها با قابلیت‌هایی که در استنتاج داده‌های پیچیده یا مبهم دارند می‌توانند برای استخراج الگوهایی که آگاهی از آنها برای انسان و دیگر تکنیک‌های کامپیوتری پیچیده است بکار گرفته شوند. شبکه‌های عصبی با ساختار مرسوم که CS-GMDH^۳ نامیده می‌شوند، برای ساخت نرون‌ها در لایه جدید تنها از نرون‌های لایه مجاور استفاده می‌کنند، اما شبکه‌های عصبی با ساختار عمومی با نام GS-GMDH^۴ برای ساخت نرون در لایه‌های قبلی استفاده می‌کنند. در تحقیق حاضر برای بدست آوردن رابطه بین هر یک از توابع هدف (سهم خورشیدی و ذخیره اقتصادی) با دو پارامتر طراحی موجود (مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره) از شبکه عصبی GS-GMDH استفاده شده است که ساختار آن توسط الگوریتم ژنتیک بهینه شده و ضرایب نرون‌ها نیز در آن به روش SVD^۵ تعیین می‌شود. خواننده می‌تواند برای توضیح بیشتر در مورد این الگوریتم به مراجع [۱۹ و ۲۰] مراجعه کند.

مدل‌های ریاضی ارائه شده بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم سرمایه‌ی جذبی خورشیدی می‌باشد که با تغییر مساحت کلکتور در بازه ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ متر مربع با فاصله ۱۰۰ متر مربع و حجم تانک ذخیره در بازه ۱۰ تا ۱۱۰ متر مربع با فاصله ۱۰ متر مکعب، مجموعاً ۹۹ حالت مختلف ایجاد می‌کنند. برای بدست آوردن مدل بهینه، مدل‌سازی با شبکه دارای دو لایه پنهان انجام شده است که از مجموع ۹۹ داده موجود، از ۵۰ داده به عنوان نقاط آموزشی برای بدست آوردن مدل و از بقیه داده‌ها به عنوان نقاط آزمایشی جهت آزمودن دقت مدل‌های بدست آمده استفاده شده است. در جدول ۱ و ۲ اطلاعات مربوط به تعداد نرون‌ها و مقدار

^۳ Conventional Structure GMDH^۴ Generalized Structure GMDH^۵ Singular Value Decomposition^۱ Group Method Of Data Handling^۲ Genetic Algorithm

و رابطه بدست آمده برای ذخیره اقتصادی به صورت روابط

$$x_2 = V_{ST} \text{ و } x_1 = A_{SC} \text{ که } ۱۶ \text{ تا } ۱۳ \text{ است}$$

$$z_1 = a_{11} + a_{12}x_1 + a_{13}x_2 + a_{14}x_1^2 + a_{15}x_2^2 + a_{16}x_1x_2 \quad (۱۳)$$

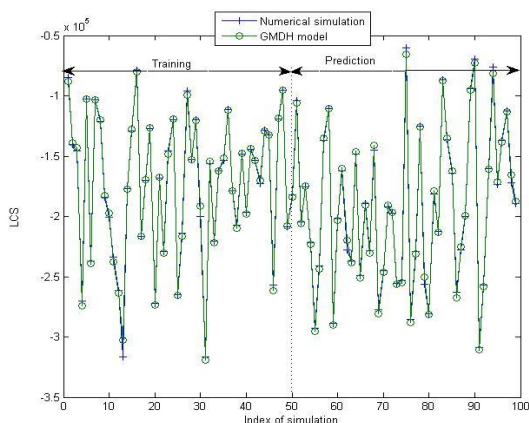
$$z_2 = a_{21} + a_{22}x_1 + a_{23}x_2 + a_{24}x_1^2 + a_{25}x_2^2 + a_{26}x_1x_2 \quad (۱۴)$$

$$z_3 = a_{31} + a_{32}z_1 + a_{33}x_2 + a_{34}z_1^2 + a_{35}x_2^2 + a_{36}z_1x_2 \quad (۱۵)$$

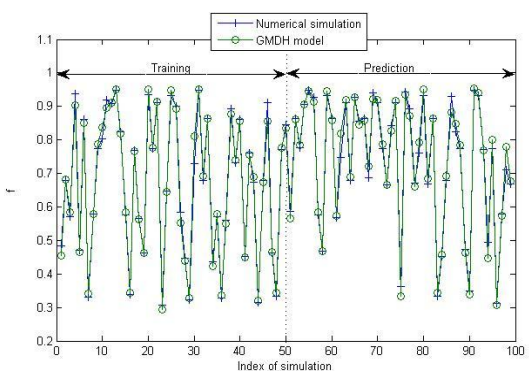
$$LCS = a_{41} + a_{42}z_2 + a_{43}z_3 + a_{44}z_2^2 + a_{45}z_3^2 + a_{46}z_1 \quad (۱۶)$$

که ثوابت موجود در روابط ۱۳ تا ۱۶ به صورت زیر می‌باشند:

$$a = \begin{pmatrix} -22721.23 & -89.846 & -702.147 & -0.1008 & -1.435 & 0.1621 \\ -22721.238 & -89.846 & -702.147 & -0.1008 & -1.435 & 0.1621 \\ -0.00001 & 0.999 & -0.00036 & 0.000000005 & -0.011 & -0.0000085 \\ -0.000007 & 0.5075 & 0.5073 & -0.00479 & -0.00489 & 0.00968 \end{pmatrix}$$



شکل ۱۲- مقایسه نتایج عددی و مدل شبکه عصبی با دو لایه پنهان برای ذخیره اقتصادی



شکل ۱۳- مقایسه نتایج عددی و مدل شبکه عصبی با دو لایه پنهان برای سهم خورشیدی

مجموع مربعات خطا برای نقاط آموزشی و آزمایشی مدل‌های بدست آمده ارائه شده است.

متوسط خطای رابطه ارائه شده برای سهم خورشیدی برابر با ۲/۸۴٪ و برای ذخیره اقتصادی برابر با ۲/۱۷٪ می‌باشد.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به شبکه بکار رفته برای مدل-

سازی سهم خورشیدی					
خطای آزمایش	خطای آموزش	تعداد نرون	تعداد لایه پنهان		
۰/۰۰۰۴۶۵	۰/۰۰۰۳۴۹	۳	۲		

جدول ۲- اطلاعات مربوط به شبکه بکار رفته برای مدل-

سازی ذخیره اقتصادی					
خطای آزمایش	خطای آموزش	تعداد نرون	تعداد لایه پنهان		
۱۶۰۰۶۵۷۶	۷۰۷۹۵۰۴	۴	۲		

در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نیز نمودار مربوط به مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی و مدل حاصل از شبکه عصبی برای ذخیره اقتصادی و سهم خورشیدی حاصل از مدل ریاضی ارائه شده است. لازم به ذکر است که در این نمودارها، قسمت ابتدایی مربوط به مقایسه نتایج در نقاط آموزشی بوده و قسمت دوم نیز مربوط به مقایسه نتایج در نقاط آزمایشی می‌باشد.

بدین ترتیب رابطه نهایی بدست آمده برای سهم خورشیدی به صورت روابط ۱۰ تا ۱۲ می‌باشد که در آنها $x_2 = V_{ST}$ و $x_1 = A_{SC}$ می‌باشد:

$$y_1 = a_{11} + a_{12}x_1 + a_{13}x_2 + a_{14}x_1^2 + a_{15}x_2^2 + a_{16}x_1x_2 \quad (۱۰)$$

$$y_2 = a_{21} + a_{22}x_1 + a_{23}y_1 + a_{24}x_1^2 + a_{25}y_1^2 + a_{26}x_1y_1 \quad (۱۱)$$

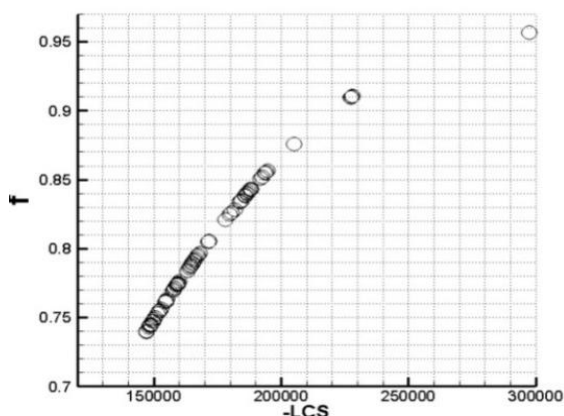
$$f = a_{31} + a_{32}y_2 + a_{33}x_2 + a_{34}y_2^2 + a_{35}x_2^2 + a_{36}x_2y_2 \quad (۱۲)$$

ثوابت موجود در روابط ۱۰ تا ۱۲ به صورت زیر می‌باشند:

$$a = \begin{pmatrix} -0.166 & 0.0018 & 0.00071 & -0.00000008 & -0.0000145 & 0.0000021 \\ 0.0232 & 0.00103 & 0.000081 & -0.00000103 & -0.00051 & 0.0009841 \\ -0.0301 & 1.1258 & 0.000138 & -0.15024 & -0.000006 & 0.000977 \end{pmatrix}$$

جدول ۳- مقادیر اولیه مربوط به الگوریتم ژنتیک

مقدار	پارامتر
۳۰	جمعیت اولیه ^۲
۲۰۰	تعداد تکرار
۰/۷	احتمال تقاطع ^۳
۰/۰۵	احتمال جهش ^۴



شکل ۱۴- پارتوی بهینه‌سازی سهم خورشیدی بر اساس ذخیره اقتصادی

جدول ۴- نقطه بهینه انتخابی حاصل از بهینه‌سازی دو هدفی

مساحت کلکتور (متر مربع)	حجم تانک ذخیره (متر مکعب)	سهم خورشیدی	ذخیره اقتصادی (یورو)
۸۳۲/۳۵۶	۴۳/۶۰۱	۰/۸۵۶	-۱۹۴۵۴۴/۷

۷- جمع بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق پس از شبیه‌سازی عملکرد گذرای سیستم سرمایه‌گذاری جذبی خورشیدی اثر تغییر شیب و مساحت کلکتور، حجم تانک ذخیره و دمای تنظیمی گرم‌کن کمکی بر روی عملکرد سیستم از لحاظ انرژی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت. ملاحظه شد بهترین شیب کلکتور نسبت به سطح افق برای شهر تهران در فصل تابستان برابر ۲۵ درجه می‌باشد که در این شیب کلکتور بیشترین بازده را دارا

۶-۲- بهینه‌سازی بوسیله الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیک نوعی از روشهای نیمه تصادفی هستند که بر اساس تقلید از قواعد تکامل طبیعی داروین شکل گرفته اند. در این الگوریتم پس از تشکیل یک جمعیت اولیه، هر عضو از یک جمعیت با عضو دیگر که به طور تصادفی انتخاب می‌گردد از لحاظ برتری صفات رقابت کرده و تنها خواص برتر به عضو فرزند در نسل‌های بعدی انتقال می‌یابد. با تکرار این روند در طی نسل‌های متوالی، حاصل به جوابهای بهینه برای توابع هدف نزدیک می‌گردد. برای ایجاد عضو فرزند این الگوریتم از عملگرهایی به نامهای تقاطع و جهش استفاده می‌کند. این عملگرها که از ژنتیک طبیعی تقلید شده اند باعث می‌شوند که تقریب‌های بهتری از جواب نهایی بدست آید. تقاطع امکان ترکیب جوابهای جزئی و بدست آوردن جواب‌هایی با کیفیت بالاتر را فراهم می‌کند. جهش نیز باعث می‌شود که الگوریتم ژنتیک از بهینه‌های محلی فرار کند. در مسایل بهینه‌سازی چند هدفی نمی‌توان نقطه‌ای را یافت که بتواند همزمان تمامی توابع هدف را بهبود ببخشد، بنابراین مجموعه‌ای از نقاط طراحی غیر برتر تحت عنوان نقاط پارتو به عنوان پاسخ مساله ارائه می‌گردند. هر نقطه طراحی در مجموعه نقاط پارتو حداقل از دید یک تابع هدف بر نقاط طراحی دیگر برتری دارد. در این تحقیق برای بهینه‌سازی دو هدفه سیستم سرمایه‌گذاری جذبی از الگوریتم modified NSGA-II^۱ با زیر برنامه ε-elimination استفاده شد. خواننده می‌تواند برای توضیح بیشتر در مورد این الگوریتم به مراجع [۲۱ و ۲۲] مراجعه کند. مقادیر اولیه مربوط به الگوریتم ژنتیک در جدول ۳ ارائه شده است.

نتیجه حاصل از بهینه‌سازی دو هدفه را در شکل ۱۴ ملاحظه می‌کنید. باید توجه داشت که نقاط حاصله همگی نقاط بهینه بوده و هر کدام را می‌توان به عنوان نتیجه بهینه‌سازی ارائه نمود. در اینجا یک نقطه میانی مصالحه که در آن هر دو تابع هدف دارای مقدار بهینه هستند انتخاب شده است و می‌تواند نقطه مناسبی برای انتخاب مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره باشد. مقادیر پارامترهای طراحی و توابع هدف در این نقطه در جدول ۴ آمده است.

^۲ population size^۳ Crossover Probability^۴ Mutation Probability^۱ Non-dominated Sorting Genetic Algorithms II

- [5] Mateus T, Oliveira AC(2009) Energy and economic analysis of integrated solar absorption cooling and heating system in different building types and climates. *Applied Energy* 86: 949–957.
- [6] Villar NM, Cejudo JM, Dominguez F (2011) A comparison of solar absorption system configuration. *Solar Energy* 67: 239–775.
- [7] Calise F, Dentice M, Palombo A(2010) Transient analysis and energy optimization of solar heating and cooling system in various configuration. *Solar Energy* 34: 432–449.
- [8] Calise F(2010) Thermoeconomic analysis and optimization of high efficiency solar heating and cooling systems for different Italian school buildings and climates. *Energy and Buildings* 42: 992–1003.
- [9] Calise F, Palombo A, Vanoli L(2010) Maximization of primary energy saving of solar heating and cooling systems by transient simulation and computer design of experiments. *Applied Energy* 87: 524–540.
- [10] Calise F (2012) High temperature solar heating and cooling systems for different Mediterranean climates: Dynamic simulation and economic assessment. *Applied Thermal Engineering* 32: 108–124.
- [11] Kleinbach EM(1990) Performance study of on-dimensional model for stratified thermal storage tank. Master thesis, University of Wisconsin, Madison.
- [12] Klien SA (2006) TRNSYS. A transient simulation program. Vers 16.1. University of Wisconsin, Madison: Solar Energy Laboratory.
- [13] Kalogirou SA (2004) Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science* 30: 231–295.
- [14] Data source: <http://www.yazakienergy.com>.
- [15] Balghouthi M, Chahbani MH, Guizani A (2008) Feasibility of solar absorption air conditioning in Tunisia. *Building and Environment* 43: 1459–1470.
- [16] Koepfel EA (1994) The modeling, performance and optimal control of commercial absorption chiller. Master Thesis, University of Wisconsin, Madison.
- [17] Al-Alilli A, Islam M, Kubo I, Hwang Y, Radermacher R (2012) Modeling of a solar powered absorption cycle for Abu Dhabi. *Applied Energy* 93: 160–167.
- [18] Tsutsos T, Aloumpi E, Gkouskos Z, Karagiorgas M (2010) Design of a solar absorption cooling system in a Greek hospital. *Energy and Buildings* 42: 265–272.
- [19] Jamali A, Nariman-zadeh N, Darvizeh A, Masoumi A, Hamrang S (2009) Multi-objective evolutionary optimization of polynomial neural networks for modeling and prediction of explosive cutting process. *Engineering Application of Artificial Intelligence* 22: 676–687.

می‌باشد، همچنین بهترین دمای تنظیمی گرم‌کن کمکی در فصل تابستان برابر با کمترین مقدار مجاز آن ارزیابی شد و با افزایش دما مقادیر سهم خورشیدی و بازده کلکتور کاهش می‌یابد، این دما در تابستان ۷۶ درجه سلسیوس می‌باشد. در انتها با تغییر همزمان مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره ملاحظه شد که بیشترین سهم خورشیدی متناظر با بالاترین مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره و بهترین ذخیره اقتصادی متناظر با کمترین مقدار مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره در محدوده در نظر گرفته شده می‌باشد و نتیجه گیری شد که بهبود سیستم از دو منظر انرژی و اقتصادی در تقابل کامل با یکدیگر هستند و بهینه‌سازی دو هدفه سیستم نسبت به توابع هدف سهم خورشیدی و ذخیره اقتصادی مناسب می‌باشد. در قسمت بعد برای سیستم سرمایه‌ی جذبی خورشیدی ابتدا با استفاده از مقادیر عددی توابع هدف (سهم خورشیدی و ذخیره اقتصادی) بر حسب پارامترهای طراحی (مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره) رابطه بین ایندو بوسیله الگوریتم GMDH استخراج شد و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی دو هدفه انجام شد. برای مساحت کلکتور در بازه ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ متر مربع و حجم تانک ذخیره در بازه ۱۰ تا ۱۱۰ متر مکعب مقادیر بهینه ۸۳۲/۳۵ متر مربع مساحت کلکتور و ۴۳/۶ متر مکعب تانک ذخیره با مصالحه داده‌های حاصل از بهینه‌سازی بدست آمد که در این نقطه سهم خورشیدی ۰/۸۵۶ و ذخیره اقتصادی در طول ۲۰ سال استفاده از چرخه خورشیدی برابر ۱۹۴۵۴۴/۷- یورو بدست آمدند.

مراجع

- [1] Li ZF, Sumathy K (2001) Simulation of a solar absorption air conditioning system. *Energy Conversion and Management* 42: 313–327.
- [2] Florides GA, Kalogirou SA, Tassou SA, Worbel LC (2002) Modeling and simulation of an absorption solar cooling system for cypress. *Solar Energy* 72: 43–51.
- [3] Assilzadeh F, Kalogirou SA, Ali Y, Sopian K(2005) Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube solar collectors. *Renewable Energy* 30: 1143–1159.
- [4] Joudi KA, Abdul-Ghafour QA (2003) Development of design charts for solar cooling systems. Part 1: computer simulation for a solar cooling system and development of solar cooling design charts. *Energy Conversion and Management* 44: 313–339.

- algorithm. Journal of Thermal Science 44: 1061–1071.
- [۲۲] شفارودی م ر (۱۳۹۱) طراحی بهینه چند هدفی آیرودینامیکی کمپرسور جریان محوری موتور هواپیما با اعمال قید محدودیت توربین. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده فنی، دانشگاه گیلان.
- [۲۰] پاینده م (۱۳۹۰) بررسی عددی پارامترهای موثر بر ضریب انتقال حرارت خنک‌کاری لایه‌ای در توربین گازی با استفاده از روش حجم محدود. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده فنی، دانشگاه گیلان.
- [21] Atashkari K, Nariman-zadeh N, Pilechi A, Jamali A (2005) Thermodynamic pareto optimization of turbojet engines using multi-objective genetic