

مدلسازی ترکیب سیکل تبرید جذبی آمونیاکی متناوب و پیوسته برای کاربرد در سردخانه با قابلیت استفاده از توان خورشیدی

کریم مقصودی مهربانی^{۱*}، عبدالله مهرپناهی^۲ و رامین علوی^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۱۰	
پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۰۴	
واژگان کلیدی:	
تبرید جذبی خورشیدی، سردخانه، ذخیره اثر تبرید جذبی، سردخانه خورشیدی، برداشت بهینه محصولات کشاورزی.	وجود یک واحد سردخانه‌ای مستقر در مزرعه و باغ باعث برداشت بهینه محصولات می‌شود و به دلیل اینکه در این نوع محل‌ها دسترسی به تشعشعات خورشید آسان است می‌توان از گرمای آن به عنوان منبع تأمین انرژی سردخانه استفاده نمود. یکی از نیازهای مهم سردخانه، ایجاد اثر تبرید مداوم و ثابت در اواپراتور است در حالی که عرضه تابش متناوب و متغیر است. با ارائه سیکل ترکیبی تبرید جذبی می‌توان با ذخیره مایع مبرد در هنگام تابش و استفاده از آن در مواقع غیر، اثر تبرید یکنواخت و مداومی را ایجاد نمود. با توجه به سهمی بودن کلکتور، دمای بهینه ۱۱۹/۶ درجه سانتیگراد در ژنراتور قابل دسترس هست. دمای بهینه کندانسور، ابزوربر و اواپراتور به ترتیب ۴۰، ۴۳/۷ و ۳/۲- درجه سانتیگراد هستند. با انتخاب فشار ۱۴ بار برای ژنراتور و کندانسور و فشار ۲ بار برای اواپراتور و ابزوربر بالاترین ضریب عملکرد ۰/۱۷۸ است و مقدار انتقال حرارت در ژنراتور ۱۹/۷۶، کندانسور ۷/۵۱، ابزوربر ۱۵/۷۷ و اواپراتور ۳/۵۱ کیلووات به دست می‌آید. مقادیر بدست آمده با توجه به شرایط آب و هوایی پنج شهر کشور و در حالت زاویه بهینه کلکتور ارائه شده‌اند.

۱- مقدمه

امروزه در کل دنیا سعی بر استفاده از انرژی‌هایی با هزینه پایین و دسترسی آسان است با وجود این، آلودگی محیط زیست نیز یکی از پارامترهای تأثیرگذار در انتخاب نوع انرژی محسوب می‌شود. مزایای انرژی تجدیدپذیر دسترسی آسان، امکان استفاده در اکثر نقاط دنیا با گونه‌های مختلف، سازگار با محیط زیست و عدم پرداخت هزینه برای مصرف آن است. بزرگ‌ترین عیب این دسته از منابع انرژی، متناوب و متغیر بودن و هزینه اولیه زیاد برای مهار آن است. یکی از این انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی می‌باشد که کاربردهای زیادی دارد که مهم‌ترین آنها گرم کردن آب مصرفی، تهویه مطبوع، گرمایش، سرمایش و تولید یخ،

مصارف صنعتی مثل پاستوریزه کردن شیر، تولید توان الکتریکی، پخت و پز غذا، شیرین سازی آب‌شور، خشک کردن و... می‌باشد.

در این میان جالب‌ترین کاربرد انرژی خورشیدی، سرمایش و تولید یخ است که در اولین نگاه به این مطلب به نظر می‌رسد با همدیگر تناقض دارند، ولی حقیقت امر این‌گونه نیست بلکه در عمل از دو دیدگاه رابطه مستقیم دارند؛ دیدگاه اول) از نظر عرضه و تقاضا: به این صورت که در مواقعی که تقاضا برای استفاده و مصرف تبرید زیاد باشد، عرضه این انرژی نیز زیاد است. به عبارت ساده‌تر در تابستان که نیاز بیشتری به تبرید است مقدار تابش خورشید نیز در این زمان زیاد می‌باشد. از نظر مکانی و موقعیت محلی

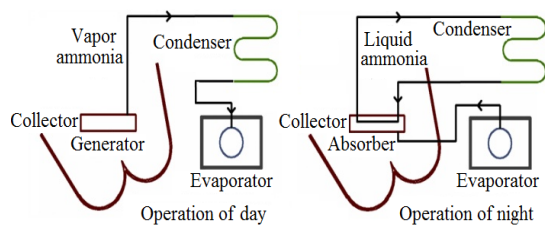
* پست الکترونیک نویسنده مسئول: k.maghsoodi@srttu.edu

۱. دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر رجایی تهران

۲. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر رجایی تهران

۳. کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر رجایی تهران

در تکنولوژی آیساک است، چرا که ژنراتور در طول شب به ایزوربر^۷ تبدیل می‌شود و بخشی از گرمای حاصل از عمل جذب به صورت تابشی به آسمان انتقال می‌یابد و بخش دیگر با جریان یافتن محلول در کندانسور توسط نیروی ترموسیفون به روش جابجایی به محیط انتقال داده شود.



شکل ۲- کارکرد روزانه و شبانه یخ ساز آیساک

از جاذب و میردهای دیگری نیز می‌توان در سیستم تبرید جذبی خورشیدی استفاده نمود که بهترین نوع آن کربن فعال (جاذب) و الکل متانول (مبرد)، اتانول یا استون می‌باشد که مناسب یخسازها است. سیستمی که از این جاذب و مبرد استفاده می‌کند به دلیل پایین بودن دمای ژنراتور دارای کلکتور تخت با سطح پوشش کمتری نسبت به یخساز آیساک است. لازم به ذکر است که به دلیل بالا بودن قدرت جذب و همچنین نیاز به گرمای کمتر در هنگام تولید بخار مبرد، کربن فعال بهترین نوع جاذب برای سیستم‌های خورشیدی است ولی کربن فعال به صورت پودری یا دانه‌ای موجود می‌باشد که سیرکوله آن در سیستم به راحتی امکان ندارد به همین دلیل استفاده از آن فقط در یخسازهای خورشیدی که با سیکل متناوب کار می‌کنند، محدود می‌شود زیرا مواد جاذب در این یخسازها در محل خود ثابت باقی می‌مانند و به خاطر اینکه برای تولید برودت در طول شب به عمل جذب نیاز است و ژنراتور در این هنگام کار ایزوربر را انجام می‌دهد و در عمل ژنراتور و ایزوربر یکی هستند دیگر نیازی به سیرکوله جاذب نمی‌باشد. نوع دیگر از محلولها، استفاده از لیتیم برماید و آب است که بیشتر در چیلرهای جذبی^۸ برای تهویه مطبوع استفاده می‌گردد و اغلب در این سیستمها گرمای کلکتور خورشیدی توسط آب به ژنراتور چیلر انتقال می‌یابد.

ایده ارائه طرح سردخانه خورشیدی مستقر در مزارع و باغات در این مقاله با مطالعه یخسازهای خورشیدی آیساک شروع

اینگونه توجیه می‌گردد که در مناطق گرمسیر به تبرید زیادی احتیاج است و در این گونه جاها اغلب تابش خورشیدی نیز زیاد می‌باشد. دیدگاه دوم) از نظر عرضه و تولید: به این معنی که در زمانهایی که انرژی خورشیدی زیاد است، تبرید بیشتری تولید می‌گردد.

در سالهای اخیر در مورد تهویه و سرمایش خورشیدی تحقیقات بیشتری صورت پذیرفته که برخی از این کارها حول محور یخساز خورشیدی می‌باشد. شکل (۱) اولین یخسازهای خورشیدی به اسم آیساک^۱ در سال ۱۹۹۲ میلادی در مکزیک را نشان می‌دهد که توسط شرکت انرژی کانسپت^۲ جهت تولید یخ برای حمل ماهی به بازار ساخته شدند و در آن از سیکل تبرید جذبی متناوب با محلول آب (جاذب) و آمونیاک (مبرد) استفاده شده است. علاوه بر این یک نوع یخساز با تکنولوژی آیساک برای تولید یخ جهت نگهداری شیر نیز ساخته شده است [۱].



شکل ۱- نمایی از یخسازهای آیساک

شکل (۲) طرز کار آیساک را نشان می‌دهد، به این صورت است که در طول روز به وسیله کلکتور^۳ انرژی خورشیدی روی ژنراتور^۴ متمرکز می‌شود و گرمای حاصل باعث می‌شود تا آمونیاک به شکل بخار از محلول جدا شده و در کندانسور^۵ تقطیر و سپس در اواپراتور^۶ ذخیره گردد.

در پایان روز، وضعیت دستگاه از موقعیت روز به شب تغییر داده می‌شود تا مایع آمونیاک بتواند در اواپراتور آماده تبخیر شود. با پایین آمدن درجه حرارت و فشار ژنراتور در شب، آمونیاک در اواپراتور تبخیر شده و توسط آب ژنراتور جذب می‌شود. تبخیر آمونیاک باعث می‌گردد تا در دمای پایین گرمای محفظه اواپراتور گرفته شده و آب داخل یخدان منجمد شود. عمل جذب مبرد در ژنراتور مهم‌ترین تحول

۱. سیکل تبرید جذبی آمونیاکی متناوب خورشیدی

^۱ ISAAC: Intermittent Solar Ammonia Absorption Cycle

^۲ Energy Concept Company

^۳ Collector

^۴ Generator

^۵ Condenser

^۶ Evaporator

^۷ Absorber

^۸ Absorption Chiller

شده است. در فصول برداشت، محصولات کشاورزی به ناچار هرچه سریع‌تر می‌بایست به بازار عرضه گردند که این عجله در برداشت، بسته بندی، حمل و نقل باعث کاهش کیفیت و تلف شدن درصدی از محصول می‌شود. نبود فرصت کافی جهت محک بازار برای عرضه مستقیم و نیاز به فروش فوری دلایل کافی را برای ورود واسطه‌ها فراهم می‌سازد. در صورت اجرای سردخانه خورشیدی متناسب با نوع و مقدار محصول در محل باغ یا مزرعه، این فرصت به وجود می‌آید تا محصولات رسیده شده همان روز برداشت و در واحد سردخانه موجود در محل ذخیره شود. با توجه به تنوع و مقدار محصول، عملیات برداشت ممکن است هفته‌ها طول بکشد که در این مدت محصول بدون فاسد شدن به تدریج در سردخانه ذخیره شده و این امکان به وجود می‌آید تا بعد از اتمام کار در زمان دلخواه به صورت کلی یا جزئی مستقیماً به بازار عرضه گردد.

ضریب عملکرد^۱، به عنوان کارایی دستگاه تبرید جذبی به عواملی مثل نوع محلول جاذب و مبرد، فشار و دمای طراحی شده اجزای سیکل بستگی دارد. ال. اچ. آلو و همکارش در سال ۲۰۰۲ یک مدل شبیه سازی شده از دستگاه چیلر جذبی با محلول لیتیم بروماید و آب با کاربری تهویه مطبوع ساختمان مسکونی را ارائه نموده‌اند. توان حرارتی آن منبع آبی است که توسط انرژی خورشیدی گرم می‌شود و خنک کاری کندانسور و ابزوربر به دو روش هوا خنک و آب خنک با همدیگر مقایسه شده‌اند و ضریب عملکرد در روش هوا خنک با افزایش دمای محیط، کاهش می‌یابد [۲]؛ ام. ام. صلاح‌الدین در سال ۲۰۰۶ در یک بازنگری کلی، اشکالات سیستم‌های خورشیدی را هزینه‌های بالا، نوسانات منابع انرژی و راندمان یا ضریب عملکرد پایین بیان نموده است. در اکثر تحقیقات انجام شده برای کاهش این ایرادات از یک یا چند مورد زیر استفاده می‌شود:

الف) ترکیب سیستم‌های خورشیدی با دیگر سیستم‌های متعارف موجود.

ب) اضافه نمودن یک منبع ذخیره حرارت برای سیستم، انتخاب سیال جدید به جای سیالات متعارف.

پ) ارایه سیکل‌های ترمودینامیکی پیشرفته و جدید مناسب جهت کارکرد با توان خورشیدی.

ت) پیشرفت در ساخت کلکتورهای خورشیدی.

ث) بهینه سازی خود دستگاه‌های خورشیدی [۳]؛ جی. سانتوری و همکاران در سال ۲۰۰۶ یک مدل شبیه سازی شده یخساز خورشیدی با مبرد متانول و جاذب کربن فعال با شرایط آب و هوایی تابستان و زمستان شهر مسینای آفریقای جنوبی را ارائه نموده‌اند و مقدار ضریب عملکرد در تابستان ۰/۰۵ و در زمستان ۰/۰۹ به دست آمده است [۴]؛ دی. اس. کیم و همکارش در سال ۲۰۰۸ با بررسی جدیدترین مدل‌های سرمایه‌گذاری خورشیدی از نظر بازده انرژی و توجیه اقتصادی به این نتیجه رسیده‌اند که سیستم‌های تولید برق با توان خورشیدی و ماشین‌های گرمایی بسیار گران‌تر از سیستم‌های جذبی هستند و در بین مدل‌های سرمایه‌گذاری، دستگاه‌هایی که از جاذب جامد استفاده می‌کنند بزرگ‌تر و گران‌تر از دستگاه‌هایی هستند که جاذب مایع دارند [۵]. جی. ام. عبدالعطیف و همکاران در سال ۲۰۰۸ تحلیل ترمودینامیکی تبرید جذبی متناوب با جاذب لیتیم نترات و سدیم تیوسینات و مبرد آمونیاک به عنوان محلول‌های جدید برای یخسازهای خورشیدی را بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که ضریب عملکرد این محلول‌ها بهتر از آب و آمونیاک می‌باشد و علاوه بر آن لازم نیست از رکتیفایر استفاده شود [۶]؛ ای. کارنو و همکارش در سال ۲۰۰۸ تحلیل ترمودینامیکی یک دستگاه تبرید جذبی با ارائه برومید روی و استون به عنوان جاذب و مبرد جدید و منبع حرارتی دما پایین (با دامنه دمایی ژنراتور با ۴۷ الی ۶۰ درجه سانتیگراد)، دمای اواپراتور ۷ الی ۱۵ درجه سانتیگراد و ضریب عملکرد صفر الی ۰/۷ را به دست آورده‌اند [۷]؛ دی. ای. دمیروکاک در سال ۲۰۰۸ آنالیز ترمودینامیک سیستم تبرید جذبی سطحی^۲ (جاذب جامد) با توان خورشیدی برای سه نوع سیکل متناوب، بازیابی حرارت و بازیابی جرم و حرارت را برای سه نوع جاذب و مبرد ژئولیت-آب، سیلیکاژل-آب و کربن فعال شده-متانول ارائه کرده است و به این نتیجه رسیده‌اند که ضریب عملکرد در سیکل بازیابی جرم و حرارت بیشترین مقدار و در سیکل متناوب کمترین مقدار را برای هر سه نوع محلول دارد. مقادیر ضریب عملکرد در سیکل‌های بازیابی حرارت و بازیابی جرم و حرارت برای سیلیکاژل-آب و کربن فعال شده-متانول تقریباً برابر است ولی مقدار ضریب عملکرد ژئولیت-آب در سیکل بازیابی جرم و حرارت ۱۰ درصد

شده است. در فصول برداشت، محصولات کشاورزی به ناچار هرچه سریع‌تر می‌بایست به بازار عرضه گردند که این عجله در برداشت، بسته بندی، حمل و نقل باعث کاهش کیفیت و تلف شدن درصدی از محصول می‌شود. نبود فرصت کافی جهت محک بازار برای عرضه مستقیم و نیاز به فروش فوری دلایل کافی را برای ورود واسطه‌ها فراهم می‌سازد. در صورت اجرای سردخانه خورشیدی متناسب با نوع و مقدار محصول در محل باغ یا مزرعه، این فرصت به وجود می‌آید تا محصولات رسیده شده همان روز برداشت و در واحد سردخانه موجود در محل ذخیره شود. با توجه به تنوع و مقدار محصول، عملیات برداشت ممکن است هفته‌ها طول بکشد که در این مدت محصول بدون فاسد شدن به تدریج در سردخانه ذخیره شده و این امکان به وجود می‌آید تا بعد از اتمام کار در زمان دلخواه به صورت کلی یا جزئی مستقیماً به بازار عرضه گردد.

ضریب عملکرد^۱، به عنوان کارایی دستگاه تبرید جذبی به عواملی مثل نوع محلول جاذب و مبرد، فشار و دمای طراحی شده اجزای سیکل بستگی دارد. ال. اچ. آلو و همکارش در سال ۲۰۰۲ یک مدل شبیه سازی شده از دستگاه چیلر جذبی با محلول لیتیم بروماید و آب با کاربری تهویه مطبوع ساختمان مسکونی را ارائه نموده‌اند. توان حرارتی آن منبع آبی است که توسط انرژی خورشیدی گرم می‌شود و خنک کاری کندانسور و ابزوربر به دو روش هوا خنک و آب خنک با همدیگر مقایسه شده‌اند و ضریب عملکرد در روش هوا خنک با افزایش دمای محیط، کاهش می‌یابد [۲]؛ ام. ام. صلاح‌الدین در سال ۲۰۰۶ در یک بازنگری کلی، اشکالات سیستم‌های خورشیدی را هزینه‌های بالا، نوسانات منابع انرژی و راندمان یا ضریب عملکرد پایین بیان نموده است. در اکثر تحقیقات انجام شده برای کاهش این ایرادات از یک یا چند مورد زیر استفاده می‌شود:

الف) ترکیب سیستم‌های خورشیدی با دیگر سیستم‌های متعارف موجود.

ب) اضافه نمودن یک منبع ذخیره حرارت برای سیستم، انتخاب سیال جدید به جای سیالات متعارف.

پ) ارایه سیکل‌های ترمودینامیکی پیشرفته و جدید مناسب جهت کارکرد با توان خورشیدی.

ت) پیشرفت در ساخت کلکتورهای خورشیدی.

^۱ Adsorption

^۲ COP: Coefficient Of Performance

جاذب در سیستم‌های تبرید جذب سطحی را تحلیل نموده- اند و تغییرات ضریب عملکرد و میزان بازگشت ناپذیری را برحسب ارتفاع و فاصله بین فین‌های بستر جاذب به دست آورده‌اند. بیشترین میزان بازگشت ناپذیری در مرحله گرمادهی برای تولید جداسازی بخار مبرد و گرماگیری برای جذب بخار مبرد در بستر جاذب رخ می‌دهد [۱۵]؛ م. آذرفر و همکاران در سال ۲۰۱۴ به روش عددی تأثیر افزودن ذرات فلزی برای افزایش انتقال حرارت در بستر جاذب یک سیستم جذب سطحی خورشیدی را انجام داده‌اند و به این نتیجه رسیدند که حداکثر افزایش ضریب هدایت حرارتی به میزان ۱۰۰ درصد هنگامی رخ می‌دهد که به میزان ۱۵ درصد وزنی ذرات آلومینیوم به بستر جاذب افزوده شود ولی تأثیر چندانی بر ضریب عملکرد ندارد [۱۶].

اغلب تحقیق‌های صورت پذیرفته قبلی در خصوص سرمایه‌گذاری خورشیدی حول یخ‌سازها است که در آن از سیکل تبرید جذبی متناوب استفاده می‌شود و برای کاربردهایی مناسب است که به تبرید پیوسته نیاز ندارند بنابراین نوع متناوب سیکل‌های جذبی را نمی‌توان برای کاربری سردخانه بکار برد. در مواردی هم که از سیکل تبرید جذبی پیوسته استفاده شده است بکارگیری سیال واسطه انتقال گرما از کلکتور به ژنراتور و ذخیره سیال واسطه گرم در یک منبع برای استفاده در مواقع غیر تابش آفتاب ضروری است. در این مقاله موجود سعی شده است با ارائه یک سیکل تبرید ترکیبی نوع پیوسته و متناوب به عنوان یک روش بدیع و نو با استفاده از توان متغیر و متناوب خورشیدی، تبرید پیوسته‌ای را در اواپراتور به‌وجود آورد که کاملاً مناسب سردخانه‌های خورشیدی است. در این سیکل از سیال واسطه استفاده نمی‌شود و توان خورشیدی به‌صورت ذخیره سیال گرم در منبع نیست بلکه به‌روش ذخیره مایع مبرد در خود سیکل انجام می‌گیرد که در بخش بعدی به شرح آن پرداخته می‌شود. مقدار توان دریافتی بر روی کلکتور سردخانه خورشیدی برای شهرهای پارس‌آباد و چابهار به‌عنوان شمالی‌ترین و جنوبی‌ترین شهر ایران و تهران، اصفهان و شیراز به عنوان چند شهر مهم با عرض جغرافیایی متفاوت بررسی می‌شود تا مقادیر شیب و سطح کلکتور بهینه برای تولید یک تن تبرید برای این پنج نقطه یا به عبارتی برای کل کشور بدست آید.

۲- معرفی سیکل

سیکل بکار برده شده در این مدل، ترکیبی از سیکل جذبی

بیشتر است و در سیکل بازیابی حرارت با دو نوع جاذب- مبرد دیگر زیاد اختلاف چندانی ندارد [۸]؛ اس. کیو. ابوین و همکاران در سال ۲۰۰۹ عملکرد سیستم تبرید جذبی خورشیدی آب و آمونیاکی دارای رکتیفایر را تحلیل نموده- اند و نتیجه برای دمای اواپراتور از صفر تا ۲۰- درجه سانتیگراد بدین صورت است که ضریب عملکرد از دمای ژنراتور ۸۰ الی ۱۱۰ درجه سانتیگراد سیر نزولی و از ۱۱۰ درجه سانتیگراد به بالا سیر صعودی دارد [۹]؛ زد. سرپینسک و همکاران در سال ۲۰۰۹، تغییرات ضریب عملکرد را بر حسب تغییرات دما در ایزوبر، ژنراتور، کندانسور و اواپراتور برای سیکل تبرید جذبی محلول آب- آمونیاک، لیتیم نیترات- آمونیاک، سدیم تیوسیان- آمونیاک، آب- مونومیتیل‌آمین و چند محلول دیگر را با همدیگر مقایسه کرده‌اند [۱۰]؛ ای. جی. سیداد و همکارش در سال ۲۰۱۰ یک یخ‌ساز خورشیدی با محلول آب و آمونیاک با کلکتور سهموی را جهت ساخت طراحی نموده- اند که به دلیل سهموی بودن، تغییرات راندمان کلکتور تا دمای ژنراتور ۱۵۰ درجه سانتیگراد بررسی شده است [۱۱]؛ جی. ام. کوآنتانار و همکارش در سال ۲۰۱۱ ضریب عملکرد یخساز خورشیدی آب و آمونیاک و لیتیم نیترات را با یخساز خورشیدی آمونیاک و لیتیم نیترات مقایسه کرده‌اند، ضریب عملکرد محلول نوع اول ۰/۰۹۸ به‌دست آمده است که ۲۴ درصد بیشتر از محلول نوع دوم است [۱۲]؛ ای. هایوود و همکارش در سال ۲۰۱۲ یک تحلیل ترمودینامیکی جهت بررسی امکان استفاده از حرارت محصولات احتراق به عنوان منبع تأمین انرژی سیستم‌های تبرید جذبی ارائه داده‌اند که کاربرد آن در تهویه مطبوع می‌باشد و ضریب عملکرد بهینه ۰/۸۶ را در دمای ژنراتور ۸۰ درجه سانتیگراد بدست آورده‌اند [۱۳]؛ س. ع. بهبهانی‌نیا و همکارش در سال ۲۰۱۲ یک مدل از سیستم تبرید جذبی خورشیدی با جاذب جامد سیلیکاژل و مبرد آب دارای منبع ذخیره آب گرم را برای شرایط آب و هوایی شهر اهواز بررسی کرده‌اند و ضریب عملکرد این مدل ۰/۵۷۵ برای ظرفیت برودتی ۸/۸۴ کیلووات به دست آورده‌اند [۱۴]؛ قابل ذکر می‌باشد در اکثر کارهای انجام شده ضریب عملکرد از طریق قانون اول ترمودینامیک بررسی شده‌اند در حالیکه بازگشت ناپذیری فرآیندهای ترمودینامیکی سیکل نیز بر میزان ضریب عملکرد تأثیر دارد. ه. طالبیان و همکاران در سال ۲۰۱۴ به کمک قانون دوم ترمودینامیک، بازگشت ناپذیری بستر

حاصل از کارکرد پمپ محلول را حفظ می‌کنند. عملکرد نوع دوم آن که همان قسمت دوم سیکل متناوب می‌باشد در زمانی رخ می‌دهد که تابش خورشید قطع می‌شود که این امر باعث کاهش فشار ژنراتور و کندانسور می‌گردد. پمپ محلول توسط ترموستات ژنراتور خاموش می‌شود در حالی که تبخیر مبرد در داخل اواپراتور همچنان ادامه دارد. با بخار شدن مایع مبرد و کار نکردن پمپ محلول، فشار محفظه اواپراتور و ایزوربر به تدریج بالا رفته تا جایی که به فشار متناظر با دمای داخل ژنراتور برسد و در این حین کلید کنترل فشار توسط شیر برقی سه‌راهی مسیر اواپراتور به ایزوربر را می‌بندد و مسیر اواپراتور به ژنراتور باز می‌شود تا بخار آمونیاک به جای ایزوربر توسط ژنراتور جذب گردد. به عبارت ساده‌تر در این هنگام ژنراتور کار ایزوربر را انجام می‌دهد در حالی که خود ایزوربر نیز در مدار است و در طول شب گرمای حاصل از جذب بخار آمونیاک به روش تشعشعی از سطح کلکتور به آسمان بازتاب می‌شود. این کار تا جایی ادامه می‌یابد که یا مایع مبرد ذخیره شده در آکومولاتور تمام شود، یا دوباره خورشید بر روی کلکتور بتابد و یا ژنراتور توسط هیترهای برقی پشتیبانی گرم شود. بهتر است که طراحی طوری انجام شود تا حالت اول (تمام شدن مایع مبرد) رخ ندهد، چون باعث قطع شدن اثر تبرید می‌شود.

استفاده از محلول آب و آمونیاک به عنوان محلول جاذب و مبرد سیکل جذبی ترکیبی پیشنهاد می‌گردد و از دلایل آن می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف) سازگاری با مواد و مصالح تجهیزات دستگاه که عموماً فولادی هستند.

ب) قیمت پایین آب و آمونیاک.

پ) تهیه و دسترسی آسان.

ت) دمای تبخیر طراحی در فشارهای نسبی مثبت امکان پذیر است یا به عبارت ساده‌تر در قسمت فشار پایین سیکل (اواپراتور و ایزوربر) نیازی به ایجاد خلأ ندارد.

ث) پایین بودن دمای تبخیر آمونیاک علاوه بر دسترسی آسان به دمای زیر صفر درجه سانتیگراد در اواپراتور، باعث کاهش دمای ژنراتور نیز می‌شود. قابل ذکر می‌باشد که دمای زیر صفر درجه سانتیگراد در سردخانه‌ها برای نگهداری مواد گوشتی به مدت طولانی مناسب است و برای

پیوسته و متناوب با محلول آب و آمونیاک می‌باشد به این صورت که در طول روز و مادامی که خورشید به کلکتور می‌تابد، سیکل بصورت پیوسته است با این تفاوت که مقداری مایع مبرد در آکومولاتور^۱ سیستم نیز ذخیره می‌شود تا در مواقعی که خورشید نیست (مانند شب یا در هنگام ابری بودن آسمان)، از این مایع ذخیره شده برای تولید اثر تبرید استفاده شود که در این زمان دستگاه با قسمت دوم سیکل جذبی متناوب که همان جذب مبرد است کار می‌کند (همانند عملکرد شبانه سیستم آیساک). به عبارتی دیگر با وجود اینکه تابش خورشید متناوب و متغیر است، ولی اثر تبرید به صورت پیوسته است. این نوع سیکل ترکیبی، علاوه بر سردخانه خورشیدی برای تهویه مطبوع با توان خورشیدی که به سرمایه‌گذاری نیاز دارند، نیز مناسب است.

کار سیکل ترکیبی جذبی پیوسته و متناوب باید در دو روش عملکرد آن بررسی شود؛ عملکرد نوع اول آن، یعنی همان عملکرد نوع پیوسته که در هنگام تابش خورشید از آن استفاده می‌شود به این صورت است که با شروع تابش خورشید بر روی کلکتور و متمرکز شدن این تشعشعات بر روی ژنراتور، به تدریج ژنراتور گرم شده و با توجه به اختلاف فشار ایجاد شده توسط پمپ محلول در یک محدوده دمایی، بخار آمونیاک از محلول (آمونیاک و آب) جدا شده و وارد کندانسور می‌گردد. آمونیاک با از دست دادن گرمای نهان خود تقطیر و در مخزن آکومولاتور جمع می‌شود و بخشی از این مایع مبرد در همان لحظه وارد اواپراتور شده تا با گرفتن گرمای نهان تبخیر ایجاد برودت نماید و بخش دیگر در مخزن بصورت ذخیره باقی می‌ماند تا در مواقعی که خورشید نیست، تبخیر شود تا اثر تبرید به صورت پیوسته برقرار باشد. بخار آمونیاک خروجی از اواپراتور توسط ایزوربر جذب می‌شود و چون عمل جذب یک واکنش گرمازا می‌باشد باید این گرما به محیط دفع گردد. با جذب بخار آمونیاک توسط ایزوربر، محلول داخل آن رقیق شده و توسط پمپ محلول وارد ژنراتور می‌گردد. توسط حرارتی که به ژنراتور داده می‌شود بخار آمونیاک از محلول جدا شده و محلول غلیظ می‌شود و دوباره به ایزوربر باز می‌گردد. در این حالت شیرهای فشار شکن و شیر عمل کننده با تعادل فشار به صورت بسته هستند و در طول این چرخه اختلاف فشار

¹Accumulator

ژنراتور هست. معادلات مدلسازی در حین تحلیل نتایج بهینه سازی اجزا سیکل بیان شده است.

۳-۱- بهینه‌یابی داده‌ها

مقادیر پارامترهای ورودی شامل فشارهای ژنراتور و کندانسور به‌عنوان فشار بالادست و ابزوربر و اوپراتور به عنوان فشار پایین‌دست، دمای این قسمت‌ها به‌همراه دمای محلول ورودی به ژنراتور، عیار مایع آمونیاک موجود در کل محلول آب و آمونیاک ورودی و خروجی ژنراتور، از بین حداقل و حداکثر مقدار ممکن و مورد نیاز، طوری باید تعیین گردد تا حداکثر ضریب عملکرد حاصل شود.

این پارامترها تحت عنوان مقادیر بهینه از طریق مدل بهینه‌یابی الگوریتم ژنتیک^۲ به شرح جدول ۱ آورده شده است. در این جدول علاوه بر متغیرهای مستقل بهینه سازی، محدودیت‌های موجود برای هر کدام از این متغیرها و در نهایت مقادیر بهینه بدست آمده ارائه شده است.

جدول ۱- بهینه‌یابی پارامترهای ورودی

پارامترهای ورودی	حداقل	حداکثر	مقدار بهینه الگوریتم ژنتیک
فشار ژنراتور و کندانسور [bar]	۱۲	۱۴	۱۴
فشار ابزوربر و اوپراتور [bar]	۲	۴	۲
دمای ژنراتور [°C]	۱۰۰	۱۲۰	۱۱۹/۶
دمای ابزوربر [°C]	۴۰	۴۵	۴۳/۷
دمای کندانسور [°C]	۴۰	۴۵	۴۰
دمای اوپراتور [°C]	-۱۰	-۳	-۳/۲
دمای محلول ورودی ژنراتور [°C]	۷۰	۸۵	۸۴/۷
عیار مایع آمونیاک محلول ورودی به ژنراتور	۰/۳۲	۰/۳۲۵	۰/۳۲۵
عیار مایع آمونیاک محلول خروجی به ژنراتور	۰/۲۸۵	۰/۳۱	۰/۲۸۵

مقادیر حداقل و حداکثر در این جدول با بررسی نمودار خواص ترمودینامیکی محلول آب و آمونیاک [۱۷] انتخاب شده است. تبخیر مایع آمونیاک در دمای ۳- و ۱۰- درجه

نگهداری محصولات در بالای دمای صفر درجه سانتیگراد، به دلیل اختلاف دمای بیشتر نسبت به دمای طراحی نگهداری و دمای طراحی تبخیر مایع آمونیاک منجر به کاهش حجم اوپراتور و دیگر تجهیزات مرتبط می‌شود. کاهش دمای ژنراتور نیز امکان استفاده از توان خورشیدی با کلکتورهای ساده‌تر و ارزان‌تر را میسر می‌سازد.

ج) گرمای نهان تبخیر آمونیاک در شرایط یکسان نسبت به سایر مبردهای متعارف بیشتر است که این امر باعث کاهش دبی جرمی در اوپراتور و به تبع آن کاهش قطرلوله و حجم تجهیزات می‌شود که در پایین آمدن هزینه‌های اولیه تأثیرگذار است.

برای استفاده بدون وقفه از سردخانه با وجود نوسانات تابش آفتاب، بالابردن ضریب عملکرد سیکل و نیز کاهش هزینه‌های اولیه و جاری، ۴ مورد از موارد توصیه شده توسط ام. ام. صلاح‌الدین [۳] در این طرح بصورت زیر آورده شده است:

الف) اضافه نمودن یک منبع، نه به عنوان ذخیره حرارت بلکه برای ذخیره مایع مبرد که خود از حرارت دادن به سیستم حاصل می‌شود.

ب) استفاده از هیترهای برقی به عنوان توان حرارتی پشتیبانی در مواقع پایان یافتن مایع مبرد ذخیره شده.

پ) ارائه یک سیکل تبرید جذبی جدید با ترکیب نوع پیوسته و متناوب آن جهت کارکرد مطابق با نوسانات تابش خورشید.

ت) استفاده از منبع ذخیره آبیاری برای خنک‌کاری ابزوربر و کندانسور، رکتیفایر^۱، مبدل حرارتی باعث بهینه سازی در خود سیستم پیشنهادی می‌شود که در بخش‌های بعدی به شرح هر کدام پرداخته خواهد شد.

۳- مدل سازی ترمودینامیکی

مدل سازی ترمودینامیکی با استفاده از سه معادله بقای جرم کل محلول، بقای جرم آمونیاک و بقای انرژی در ژنراتور، کندانسور، اوپراتور، ابزوربر و مبدل حرارتی صورت می‌گیرد. برای به‌دست آوردن بالاترین ضریب عملکرد، مشخص بودن مقادیر ممکن و بهینه پارامترهای ورودی ضروری است. در مدل‌سازی ترمودینامیکی، ژنراتور به همراه رکتیفایر و اوپراتور با آکومولاتور در نظر گرفته شده است و مبدل حرارتی برای انتقال حرارت بین محلول ورودی و خروجی

² Genetic Optimize Model

¹ Rectifier

حاصل می‌شود.

با برقراری معادله بقای جرم کل محلول و بقای جرم مایع آمونیاک ($\dot{m} \cdot x$) مقادیر \dot{m}_2 و \dot{m}_3 بدست می‌آید.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \quad (1)$$

$$\dot{m}_1 \cdot x_1 = \dot{m}_2 \cdot x_2 + \dot{m}_3 \cdot x_3 \quad (2)$$

و در نهایت با قرار دادن آنها در معادله بقای انرژی، مقدار حرارت لازم در ژنراتور (Q_{gen}) مشخص می‌شود.

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 - \dot{m}_2 \cdot h_2 - \dot{m}_3 \cdot h_3 + Q_{gen} = 0 \quad (3)$$

۳-۳- کندانسور

خصوصیات مایع خروجی از کندانسور (نقطه ۴) بر حسب دمای ۴۰ درجه سانتیگراد، فشار ژنراتور و عیار مایع آمونیاک نقطه ۲ مشخص می‌شود و مقدار دفع حرارت کندانسور (Q_{cond}) از معادله بقای انرژی بدست می‌آید.

$$Q_{cond} = \dot{m}_2 \cdot (h_2 - h_4) \quad (4)$$

۴-۳- اواپراتور

برحسب دمای ۳/۲- درجه سانتیگراد، فشار ۲ بار و عیار مایع آمونیاک نقطه ۲ خصوصیات گاز آمونیاک خروجی از اواپراتور (نقطه ۶) مشخص می‌شود و مقدار حرارت (Q_{evap}) گرفته شده از محصولات داخل سردخانه توسط اواپراتور از معادله بقای انرژی بدست می‌آید.

$$Q_{evap} = \dot{m}_2 \cdot (h_6 - h_4) \quad (5)$$

۵-۳- مبدل حرارتی

با مشخص بودن دبی جرمی نقاط ۱ و ۳ و همچنین آنتالپی نقاط ۱، ۳ و ۷ در معادله بقای انرژی، آنتالپی نقطه ۹ محاسبه می‌گردد و با در دست داشتن فشار بالا، عیار مایع آمونیاک نقطه ۳ و آنتالپی نقطه ۹ می‌توان دیگر مشخصات محلول رقیق خروجی از مبدل حرارتی (نقطه ۹) را بدست آورد.

$$\dot{m}_1 \cdot (h_1 - h_7) = \dot{m}_3 \cdot (h_3 - h_9) \quad (6)$$

و راندمان مبدل حرارتی ξ با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\xi = \frac{(h_3 - h_9)}{(h_3 - h_{m9})} \quad (7)$$

که در آن h_{m9} آنتالپی نقطه ۹ در حالت حداقل دمای ممکن که همان دمای نقطه ۸ می‌باشد و با در دست داشتن

سانتیگراد به ترتیب برای نگهداری محصولات باغی و دامی مناسب است به همین منظور مقادیر بین این دو دما در بهینه‌یابی بررسی می‌شود.

این دامنه دمایی در بین فشارهای ۲ الی ۴ بار اواپراتور و ابزوربر اتفاق می‌افتد و محدوده بین این فشارها از یک طرف و عیار مایع آمونیاک محلول ورودی به ژنراتور به مقدار ۰/۳۲ الی ۰/۳۲۵ از طرف دیگر، دمای ۴۰ الی ۴۵ درجه در ابزوربر را ایجاد می‌نماید که برای تبادل حرارت با هوای محیط و یا آب سیستم آبیاری مناسب است.

همین محدوده دمایی برای کندانسور نیز در نظر گرفته می‌شود تا از یک نوع سیستم خنک‌کننده برای ابزوربر و کندانسور استفاده شود. این محدوده دمایی در کندانسور بین فشار ۱۲ الی ۱۴ با میسر می‌شود که این امر باعث می‌شود دمای بین ۱۰۰ الی ۱۲۰ درجه سانتیگراد حاصل شود به همین منظور است که کلکتور سهموی در نظر گرفته شده است تا بتواند این محدوده دمایی را تأمین نماید. محلول خروجی از مبدل حرارتی و ورودی به ژنراتور در دمای بین ۷۰ الی ۸۵ درجه سانتیگراد بررسی می‌شود زیرا در این محدوده، راندمان مبدل حرارتی ۳۰ الی ۵۰ درصد به دست می‌آید که برای یک مبدل با سطح حرارتی فولادی مناسب است.

لازم به ذکر است که دبی جرمی محلول ورودی به ژنراتور به عنوان مبنای محاسبه برای ایجاد ظرفیت یک تن تبرید به مقدار ۰/۰۷۷ کیلوگرم بر ثانیه در نظر گرفته شده است که مطابق شرحی که در بخش ۴ داده خواهد شد، ضریب عملکرد نسبت به دبی جرمی خطی است.

۲-۳- ژنراتور

در شکل (۳) در نقطه شماره ۲ گاز آمونیاک با دمای ۱۱۹/۶ درجه سانتیگراد، فشار ۱۴ بار و عیار بخار آمونیاک (۰/۷۲) ۱۰۰ درصد از رکتیفایر ژنراتور خارج و وارد کندانسور می‌شود، مایع محلول رقیق آب و آمونیاک از نقطه شماره ۳ با دمای ۱۱۹/۶ درجه سانتیگراد، فشار بالا و عیار مایع آمونیاک ۰/۲۸۵۱ از ژنراتور خارج و وارد مبدل حرارتی می‌شود و مایع محلول غلیظ از نقطه شماره ۱ با دمای ۸۴/۷ درجه سانتیگراد، فشار بالا و عیار مایع آمونیاک ۰/۳۲۴۸ دبی جرمی (\dot{m}_1) ۰/۰۷۷ کیلوگرم بر ثانیه (به عنوان مبنای محاسبه) از مبدل حرارتی وارد ژنراتور می‌گردد. با در نظر گرفتن این شرایط در نقاط ۱، ۲ و ۳ دیگر مشخصات محلول

(شکل ۴).

۴-۷- زاویه تابش

زاویه بین خط عمود بر سطح کلکتور و خط پرتوی خورشیدی را زاویه تابش می‌نامند (شکل ۴). و از رابطه زیر می‌توان مقدار آن را محاسبه نمود [۱۸].

$$\cos(\theta) = [\cos(\beta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(s)] + [\sin(\beta) \cdot \cos(s)] \quad (14)$$

۴-۸- پرتوهای خورشیدی رسیده شده به سطح

زمین

پرتوهای رسیده شده به سطح زمین سه دسته‌اند:

۴-۸-۱- پرتوهای مستقیم

پرتوهایی که بدون برخورد با ذرات داخل جو و به صورت مستقیم به سطح زمین می‌رسند. برای محاسبه آن، استفان [۱۸] رابطه زیر را پیشنهاد داده است.

$$I_{DN} = A \cdot e^{\frac{-B}{\sin(\beta)}} \quad (15)$$

ضریب A ثابت خورشیدی نامیده می‌شود و نشان دهنده شدت تابش خورشید بدون در نظر گرفتن جو زمین است. B ضریب جذب انرژی خورشیدی خوانده می‌شود که نشان-گر کسری از پرتوهای خورشید است که توسط جو زمین جذب شده‌اند.

۴-۸-۲- پرتوهای مستقیم

برخی از پرتوهای خورشیدی در حین عبور از جو زمین به دلیل برخورد با مولکول‌های ازن، اکسیژن و ... ، قطرات آب و ذرات گرد و غبار، به صورت غیرمستقیم و پراکنده به سطح زمین می‌رسد. دلیل ظاهری آبی‌رنگ بودن آسمان در یک روز صاف و آفتابی همین پرتوهای پراکنده است. میزان این پرتوها از طریق رابطه زیر حاصل می‌گردد.

$$I_{d\theta} = C \cdot I_{DN} \cdot F_{SS} \quad (16)$$

ضریب C، نسبت تابش پرتوهای پراکنده بر روی سطحی افقی به تابش پرتوهای مستقیم و عمود است و F_{SS} ضریب زاویه مربوط به شیب کلکتور و آسمان است و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{SS} = \frac{[1 + \cos(S)]}{2} \quad (17)$$

۴-۸-۳- پرتوهای انعکاسی

پرتوهایی هستند که از طریق انعکاس سطوح پیرامون به

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left[360 \cdot \left(\frac{284 + n}{365}\right)\right] \quad (10)$$

که در آن n تعداد روزهایی است که از ۱۰ دی ماه سپری شده است. برای مثال در اولین روز برداشت و ذخیره محصولات در سردخانه (۱۱م خرداد ماه)، n=153 است.

۴-۲- زاویه ساعتی

هر یک ساعت قبل از ظهر یا بعد از ظهر، ۱۵ درجه با ظهر اختلاف دارد بنابراین از هر دو معادله زیر می‌توان در هر لحظه از روز زاویه ساعتی را محاسبه کرد.

$$H = 15^\circ \times (\text{تعداد ساعات قبل یا بعد از ظهر}) \quad (11)$$

۴-۳- عرض جغرافیایی

هر نقطه از محلی که در نیم کره شمالی قرار دارد با نقطه مرکزی زمین یک خطی را ایجاد می‌کند که زاویه بین این خط و سطح استوا عرض جغرافیایی آن محل منسوب می‌شود. با کمک شکل ۳ می‌توان این زاویه را تجسم کرد.

به عنوان مثال چابهار با عرض جغرافیایی ۲۵ درجه، جنوبی-ترین و پارس آباد ۴۰ درجه شمالی‌ترین شهر ایران شناخته می‌شوند و برای شهرهای شیراز، اصفهان و تهران، عرض جغرافیایی به ترتیب ۲۹، ۳۲ و ۳۵ درجه است.

۴-۴- زاویه ارتفاع

زاویه بین خط پرتو خورشید با خط تصویر افقی خود بر روی یک صفحه افقی است که از رابطه زیر بدست می‌آید [۱۹].

$$\sin(\beta) = [\cos(i) \cdot \cos(H) \cdot \cos(\delta)] + [\sin(i) \cdot \sin(\delta)] \quad (12)$$

۴-۵- زاویه گرای جنوبی

همان گونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، زاویه بین تصویر افقی خط پرتوی خورشید و خط شمال به جنوب، زاویه گرای جنوبی را تشکیل می‌دهد و از رابطه زیر حاصل می‌شود [۱۸].

$$\sin(\varphi) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(H)}{\cos(\beta)} \quad (13)$$

۴-۶- شیب کلکتور

زاویه بین صفحه افقی و صفحه کلکتور خورشیدی است و برای هر منطقه در هنگام ظهر روزی که مبنای طراحی است باید عمود بر پرتوهای خورشید در نظر گرفته شود تا کلکتور بتواند در این زمان حداکثر حرارت خورشید را جذب نماید

به دست می‌آید. $\frac{A_{gen}}{A_{coll}}$ نسبت سطح خارجی ژنراتور به سطح آفتاب‌گیر کلکتور است و به مقدار ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود و به این معنی است که ابعاد ژنراتور باید طوری ساخته شود که این ضریب حاصل گردد.

۵- بحث و بررسی

با ارائه طرح ترکیبی نوع پیوسته و متناوب سیکل تبرید جذبی با توان خورشیدی می‌توان با وجود تغییر و تناوب تشعشعات خورشیدی، میزان تبرید یکنواخت و مداومی در اواپراتور ایجاد نمود که برای یک سردخانه خورشیدی کاملاً مناسب است و به دلیل استقرار سردخانه خورشیدی در داخل یک مزرعه یا باغ میوه علاوه بر اینکه مستقیماً در معرض تابش خورشید به عنوان چشمه حرارتی قرار دارد، از دیگر پتانسیل‌های موجود در محل نیز می‌توان استفاده نمود؛ به عنوان مثال مانند طرح نمایش داده شده در شکل ۲، از منبع آب ذخیره آبیاری به عنوان یک چاه حرارتی برای دفع گرمای ابزوربر و کندانسور استفاده شده است. در صورت وجود رودخانه در محل از آب جاری داخل آن نیز می‌توان برای دفع حرارت استفاده نمود. برای مناطق بادخیز، کندانسور و ابزوربر هواخنک پیشنهاد می‌شود. اجرای کلکتور خورشیدی به شکل سهموی در هنگام تابش خورشید در ژنراتور با دمای ۱۱۹/۶ درجه سانتیگراد فراهم می‌شود، دمای تبخیر مایع آمونیاک در اواپراتور ۳/۲- درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود تا برای نگهداری محصولات باغی و زراعی مناسب باشد، دمای ابزوربر ۴۳/۷ و کندانسور ۴۰ درجه سانتیگراد است تا بتواند به وسیله یکی از روش‌های اشاره شده در بالا خنک شود.

شکل (۴) تغییرات ضریب عملکرد را بر حسب دمای تقطیر بخار آمونیاک در کندانسور نشان می‌دهد؛ در شرایط طراحی بهینه دمای تقطیر بخار آمونیاک در کندانسور باید کمتر از ۵۰/۵ درجه سانتیگراد باشد تا اثر تبرید در اواپراتور رخ دهد؛ زیرا در این دما ضریب عملکرد صفر است و با توجه به رابطه ۹ ضریب عملکرد هنگامی صفر می‌شود که انتقال حرارت در اواپراتور صفر باشد و به عبارت دیگر اثر تبرید وجود نداشته باشد. با کاهش دما، ضریب عملکرد به صورت غیر خطی افزایش می‌یابد تا به دمای ۴۰ درجه سانتیگراد برسد که این دما به عنوان کمترین دمای ممکن برای خنک‌کاری کندانسور توسط آب سیستم آبیاری و یا هوای محیط پیشنهاد می‌شود.

کلکتور می‌رسند. مقدار این پرتوها از رابطه زیر قابل دسترس است.

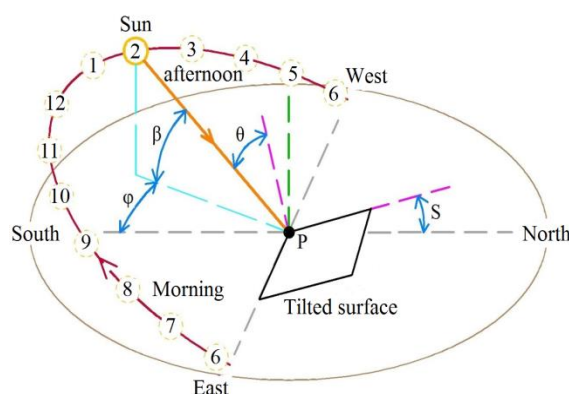
$$I_{r\theta} = (I_{DN} + I_{d\theta}) \cdot \rho_g \cdot F_{sg} \quad (18)$$

F_{sg} ضریب زاویه مربوط به شیب کلکتور و زمین است و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{sg} = \frac{[1 - \cos(S)]}{2} \quad (19)$$

ρ_g ضریب انعکاس محیط پیرامون است و برای مناطقی که پوشش گیاهی دارد ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود زیرا سردخانه باید در داخل باغ و یا مزرعه ساخته شود. بعد از به دست آوردن مقادیر سه نوع پرتوی اشاره شده در بالا، می‌توان مقدار تابش کلی بر روی سطح کلکتور را از طریق رابطه زیر محاسبه کرد.

$$I_{t\theta} = I_{DN} \cdot \cos(\theta) + I_{d\theta} + I_{r\theta} \quad (20)$$

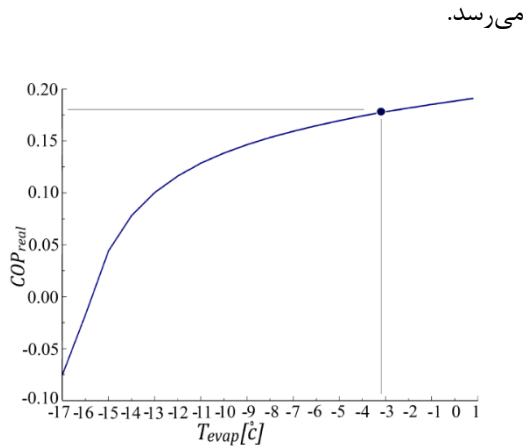


شکل ۴- مسیر ظاهری روزانه خورشید

۴-۹- شدت تابش خورشیدی جذب شده در ژنراتور انرژی جذب شده توسط کلکتور پیشنهاد شده در این مدل با استفاده از رابطه زیر صورت می‌پذیرد [۱۸].

$$I_{coll} = (I_{t\theta} \cdot \tau \cdot \alpha) - [U_L \cdot (\frac{A_{gen}}{A_{coll}}) \cdot (T_{gen} - T_{at})] \quad (21)$$

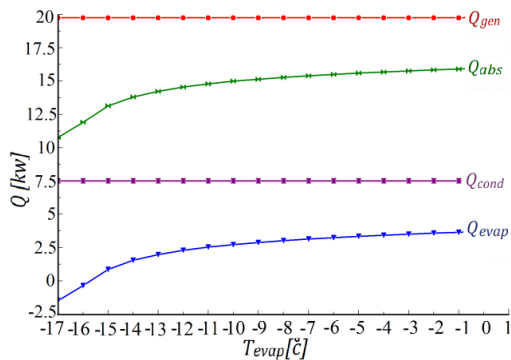
که در آن α ، ضریب جذب و τ ، ضریب نشر است که برای زاویه تابش صفر تا ۳۰ درجه مقدار آن‌ها به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۷۷ است. دمای محیط T_{at} ، در روز ۱۱م خردادماه برای شهرهای چابهار، شیراز، اصفهان، تهران و پارس‌آباد به ترتیب، ۳۲، ۲۹، ۲۹، ۲۸ و ۲۷ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود. مقدار U_L ضریب تلفات حرارتی است که برای کلکتور با شیشه دوجداره، برای شرایط دمایی تمام شهرهای فوق‌الذکر، در حدود ۵ وات بر مترمربع درجه کلونین



شکل ۶- دمای اواپراتور - ضریب عملکرد

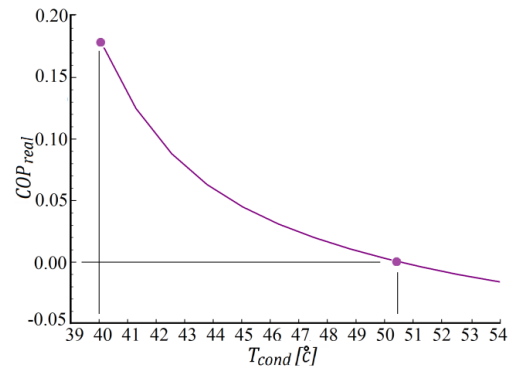
با پایین آوردن دمای اواپراتور تا ۱۳- درجه سانتیگراد می-توان سردخانه زیرصفر را برای نگهداری مواد گوشتی به-وجود آورد با این تفاوت ضریب عملکرد تا ۰/۱ کاهش می-یابد و بدین معنی می-باشد که برای ایجاد سردخانه زیرصفر درجه سانتیگراد با همان ظرفیت برودتی، با مراجعه به معادله شماره ۹ می-توان نتیجه گرفت که باید مقدار انتقال حرارت در ژنراتور افزایش یابد و با افزایش سطح کلکتور حرارتی با نسبت ۱۰۰ به ۱۷۸ در ظرفیت برودتی یکسان دمای تبخیر در اواپراتور از ۳/۲- به ۱۳- درجه سانتیگراد می-رسد.

شکل (۷) مقادیر انتقال حرارت در قسمت‌های مختلف سیکل را بر حسب دمای تبخیر مایع آمونیاک در اواپراتور نشان می-دهد. با کاهش دمای اواپراتور مقادیر انتقال حرارت در ژنراتور و کندانسور ثابت باقی می-ماند و در ایزوربر و اواپراتور به صورت غیرخطی کاهش پیدا می-کند. در این شکل نیز مشخص است که در دمای ۱۶- سانتیگراد ضریب عملکرد صفر است.



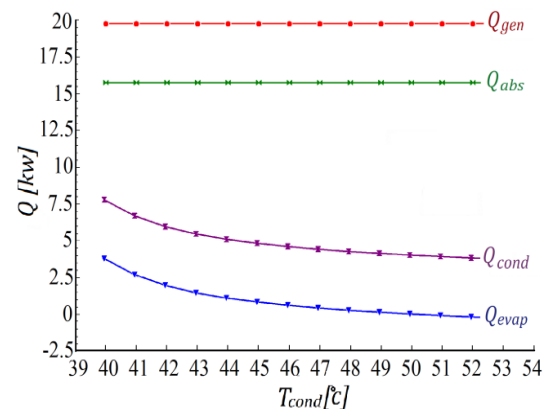
شکل ۷- دمای اواپراتور - انتقال حرارت

شکل (۸) تغییرات دبی جرمی محلول ورودی به ژنراتور را بر حسب انتقال حرارت در ژنراتور، ایزوربر، کندانسور و



شکل ۸- دمای کندانسور - ضریب عملکرد

شکل (۵) مقادیر انتقال حرارت در قسمت‌های مختلف سیکل را بر حسب دمای تقطیر بخار آمونیاک در کندانسور نشان می-دهد؛ در این شکل نیز دمای بهینه تقطیر بخار آمونیاک ۴۰ درجه سانتیگراد مشخص شده است. همان‌گونه که در شکل پیداست مقادیر انتقال حرارت در ژنراتور و ایزوربر با تغییرات دما در کندانسور ثابت باقی می-مانند ولی در اواپراتور و کندانسور با افزایش دما با اختلاف یکسان نسبت به هم‌دیگر با شیب کند و به صورت غیرخطی کاهش می-یابد. همانند شکل قبلی، مقدار انتقال حرارت در اواپراتور در نزدیکی دمای ۵۰/۵ درجه سانتیگراد صفر می-شود و به این معنی است که اثر تبرید از بین می-رود.

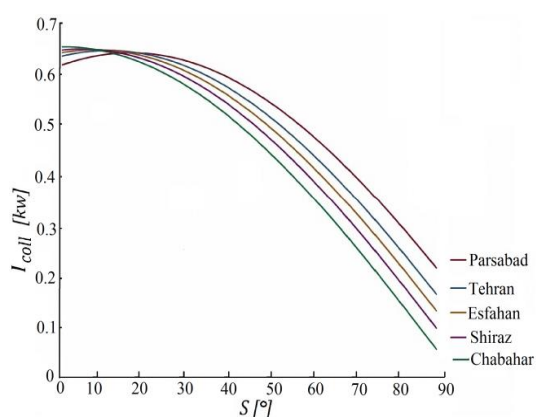


شکل ۹- دمای کندانسور - انتقال حرارت

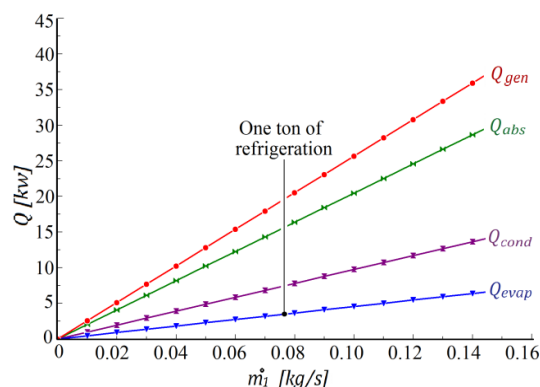
شکل (۶) تغییرات ضریب عملکرد را بر حسب دمای تبخیر مایع آمونیاک در اواپراتور نشان می-دهد؛ با کاهش دمای اواپراتور ضریب عملکرد نیز به صورت غیرخطی کاهش می-یابد و همان‌گونه که در شکل مشخص می-باشد اثر تبرید در دمای بالاتر از ۱۶- درجه سانتیگراد اتفاق می-افتد که ضریب عملکرد مثبت است. و دمای ۳/۲- درجه سانتیگراد که در شرایط بهینه به‌دست آمده است جهت محصولات زراعی و باغی بین دمای صفر تا ۱۰ درجه سانتیگراد مناسب به‌نظر

اوپراتور نشان داده شده است؛

این نمودار مشهود است.



شکل ۹- زاویه شیب کلکتور - شدت تابش جذب شده



شکل ۸- دبی جرمی محلول ورودی به ژنراتور- انتقال حرارت

۶- نتیجه گیری

یکی از الزامات اساسی سیستم تبرید جذبی با توان خورشیدی که به عنوان سردخانه به کار برده می شود ایجاد اثر تبرید یکنواخت و پیوسته می باشد زیرا قطع ناخواسته اثر تبرید در سردخانه باعث از بین رفتن محصولات ذخیره شده در آن می شود. در سیکل تبرید جذبی متناوب، اثر تبرید به صورت منقطع برای یخ سازهای خورشیدی مناسب است. با وجود متغییر و متناوب بودن تابش آفتاب، استفاده از سیکل تبرید جذبی پیوسته موجب قطع اثر تبرید در هنگام عدم تابش می گردد. بهره گیری از توان خورشیدی منبع گرمایی جهت سردخانه هنگامی میسر می شود که بتوان یک سیکل جدیدی را معرفی کرد که با وجود نوسانات توان گرمایی، بتواند برودت یکنواختی در اوپراتور به وجود آورد یا اینکه از یک منبع گرمایی دیگر به عنوان توان پشتیبانی استفاده شود و یا یک منبع ذخیره گرمایی در سیکل در نظر گرفته شود. در این طرح پیشنهادی به نوعی هر سه مورد به کار برده شده است با این تفاوت که به جای ذخیره گرمایی، از ذخیره مایع مبرد در آکومولاتور استفاده شده است تا در هنگام شب و یا ابری بودن روز، این مایع مبرد ذخیره شده وارد اوپراتور شده و باعث عدم قطع اثر تبرید می شود. بنابراین در هنگام محاسبه سطح کلکتور ژنراتور علاوه بر لحاظ نمودن مقدار حرارت لازم برای جداسازی بخار آمونیاک از آب جهت استفاده آنی در اوپراتور، می بایست میزان حرارت لازم برای ایجاد آمونیاک ذخیره شونده در آکومولاتور جهت استفاده در ساعات غیرآفتابی و شبانه نیز مد نظر قرار بگیرد. با این وجود در حالت کارکرد نوع پیوسته سیکل تبرید جذبی در هنگام روز

با دبی جرمی به میزان 0.077 کیلوگرم بر ثانیه مقدار انتقال حرارت در اوپراتور یک تن تبرید یا $3/5$ کیلووات است. تغییرات انتقال حرارت با بالا رفتن دبی جرمی به صورت خطی افزایش پیدا می کند و به این معنی است که با ثابت ماندن شرایط طراحی، رابطه سطح انتقال حرارت در قسمت های مختلف سیستم با دبی جرمی به صورت مستقیم و خطی می باشد؛ به عنوان مثال برای ایجاد ظرفیت برودتی به میزان دو تن تبرید یا 7 کیلووات، مقادیر انتقال حرارت در ژنراتور، ایزوربر و کندانسور به ترتیب $31/5$ ، $39/5$ و 15 کیلووات خواهد بود و مقدار دبی جرمی محلول ورودی به ژنراتور (\dot{m}_1) از این شکل 0.154 کیلوگرم بر ثانیه بدست می آید و از روابط ۱ و ۲ مقادیر \dot{m}_2 و \dot{m}_3 مشخص می شود.

شکل (۹) تغییرات شدت تابش بر اساس زاویه شیب کلکتور در روز ۱۱م خردادماه، با در نظر گرفتن شرایط بهینه و محیطی برای ۵ شهر مذکور را نشان می دهد. شیب کلکتور به صورت رو به جنوب از صفر تا 90 درجه در هنگام ظهر بررسی می گردد، مقدار اولیه شدت تابش با افزایش شیب، بیش تر شده تا اینکه به حداکثر خود در یک زاویه مشخص می رسد و بعد از آن با افزایش زاویه شیب، مقدار تابش کاهش می یابد. زاویه ای که در آن شدت تابش بالاترین مقدار را دارد، به عنوان شیب بهینه کلکتور پیشنهاد می گردد.

همان گونه که در بخش ۴-۶ اشاره شده است، شیب بهینه کلکتور برای شهرهای چابهار، شیراز، اصفهان، تهران و پارس آباد به ترتیب، 3 ، 8 ، 10 ، 13 و 16 درجه است که در

کاهش داد ولی ظرفیت برودتی نیز به میزان نسبت ۱۰۰ به ۱۷۸ کاهش می‌یابد.

جدول ۳- مقادیر انتقال حرارت

انتقال حرارت کیلووات	
ژنراتور	۱۹/۸۲
کندانسور	۷/۵۶۷
ابزوربر	۱۵/۷۹
اوپراتور	۳/۵۴۱

با شرایط دمایی فوق و فرض ایجاد سردخانه بالای صفر برای ظرفیت یک تن تبرید یا ۳/۵ کیلووات در اوپراتور با اخذ بالاترین ضریب عملکرد به میزان ۰/۱۷۸، مقادیر انتقال حرارت در ژنراتور، کندانسور و ابزوربر به ترتیب ۱۹/۷۶، ۷/۵۱، ۱۵/۷۷ کیلووات حاصل می‌شود. با توجه به تغییرات خطی مقادیر انتقال حرارت نسبت به همدیگر، برای سردخانه‌های دیگر با ظرفیت‌های برودتی مختلف با همان شرایط دمایی ذکر شده، مقادیر و سطوح انتقال حرارت با همان نسبت تغییر ظرفیت در دیگر بخش‌ها و به تبع آن حجم و دبی جرمی در کل سیستم به دست می‌آید.

و مواقع تابش آفتاب، در فشار ۱۴ بار ژنراتور و کندانسور و فشار ۲ بار ابزوربر و اوپراتور دماهای بهینه برای ژنراتور، ابزوربر، کندانسور و اوپراتور به ترتیب ۱۱۹/۶، ۳/۷، ۴۰ و ۲/۳- درجه سانتیگراد حاصل می‌شود. با وجود کلکتور خورشیدی به شکل سهموی ایجاد دمای بهینه نزدیک ۱۲۰ درجه سانتیگراد در ژنراتور قابل حصول می‌باشد، دماهای ۴۰ و ۴۳/۷ درجه سانتیگراد در ابزوربر و کندانسور باعث می‌گردد تا به راحتی بتوان از سیستم آبیاری واقع در محل برای خنک کاری ابزوربر و کندانسور استفاده نمود و در صورت عدم وجود یا دسترسی آسان به سیستم آبیاری، با این شرایط دمایی امکان استفاده از هوای محیط نیز میسر است. دمای ۳/۲- درجه سانتیگراد در اوپراتور به عنوان استفاده در سردخانه بالای صفر مناسب نگهداری محصولات زراعی و باغی مناسب است. در جدول ۳ مقادیر انتقال حرارت ژنراتور، کندانسور، ابزوربر و اوپراتور برای ظرفیت سردخانه یک تن تبرید نشان داده شده است. برای ایجاد سردخانه زیر صفر برای نگهداری مواد گوشتی دمای اوپراتور را می‌توان تا دمای ۱۳- درجه سانتیگراد

مراجع

- [1] C. Erickson, "Solar Ice Company, Rural Milk Collection Centers ISAAC Solar Icemaker". East and Southern African Dairy Association Conference, Kenya, 2005.
- [2] L. Alva, J. Gonzalez, "Simulation of an Air cooled Solar Assisted Absorption Air conditioning System", Department of Mechanical Engineering, Journal Of Solar Energy Engineering, Vol. 124, No. 3, 2002, pp. 276-282.
- [3] M. Salah El'Din, "Solar Refrigeration and Power Generation an Overview". International Conference on Energy and Environment, 2006.
- [4] G. Santori, S. Vasta, G. Maggio, A. Freni, F. Polonara, G. Restuccia, "Modeling and Design of an Adsorption Solar Icemaker", 61st ATI National Congress International Session Solar Heating and Cooling, 2006.
- [5] D. Kim, C. Ferreira, "Solar Refrigeration Options a State of the Art Review", International Journal Of Refrigeration, Vol. 31, No. 1, 2008, pp. 3-15.
- [6] J. Abdulateef, K. Sopian, M. Alghoul, "Optimum Design for Solar Absorption Refrigeration System and Comparison of the Performances Using Ammonia-Water, Ammonia-Lithium Nitrate and Ammonia-Sodium Thiocyanate Solutions", International Journal of Mechanical and Materials Engineering, Vol. 3, No. 1, 2008, pp. 17-24.
- [7] A. Karno, S. Ajib, "Thermodynamic Analysis of an Absorption Refrigeration Machine with New Working Fluid For Solar Applications", Heat Mass Transfer, Vol. 45, No. 1, 2008, pp. 71-81.

[8] D. Demirocak, "Thermodynamic and Economic Analysis of a Solar Thermal Powered Adsorption Cooling System", PhD Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 2008.

[9] S. Abu'Ein, S. Fayyad, W. Momani, , W. Al'Bousoul, "Performance Analysis of Solar Powered Absorption Refrigeration System", Heat Mass Transfer, Vol. 46, No. 2, 2009, pp. 137-145.

[10] Z. Crepinsek, D. Goricanec, J. Krope, "Comparison of the Performances of Absorption Refrigeration Cycles", WSEAS Transaction On Heat And Mass Transfer, Vol. 4, No. 3, 2009, pp. 65-76.

[11] C. Cidade, S. Meira, "Design of Absorption System Water-Ammonia By Using Solar Radiation as Thermal Source", 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, Uberlandia, Brazil, 2010.

[12] G. Quintanar, W. Rivera, R. Best, "Development of a Solar Intermittent Refrigeration System for Ice Production", Word Renewable Energy Congress, Linköping, Sweden, 2011.

[13] A. Haywood, J. Sherbeck, P. Phelan, G. Sandeep, K. Gupta, "Thermodynamic Feasibility of Harvesting Data Center Waste to Drive an Absorption Chiller", Energy Conversion and Management, Vol. 58, 2012, pp. 26-34.

[۱۴] س.ع. بهبهانی‌نیا، م. صیفی‌کار، "مدل‌سازی دینامیکی سیستم تبرید جذب سطحی خورشیدی"، مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۲، شماره ۲، ۱۳۹۱، صفحه ۳۰-۴۴.

[۱۵] ه. طالبیان، م. مأموربان، ح. نیازمند، "تحلیل اکسرژی بستر جاذب در چیلرهای جذب سطحی"، مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۴، شماره ۲، ۱۳۹۳، صفحه ۷۰-۷۸.

[۱۶] م. آذرفر، ح. نیازمند، ه. طالبیان، "شبیه‌سازی عددی تأثیر افزایش انتقال حرارت در بستر جاذب بر عملکرد سیستم جذب سطحی"، مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۴، شماره ۸، ۱۳۹۳، صفحه ۱۰۳-۱۱۷.

[۱۷] ب. خستو، "حرارت مرکزی، تهویه مطبوع، تبرید"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، ۱۳۹۳، صفحه ۴۹۶-۵۰۱.

[18] R. Armstrong, S. Kenneth, W. Cooper, J.L. Patrick, J.P. Hsien-Sheng, M. P. James, "HVAC Applications Handbook". ASHRAE Handbook Committee, 1999, pp. 32.1-32.9.

[19] Kharagpur, E.E. I.I.T, India "40 Lesson on Refrigeration and Air conditioning", Indian Institute of Technology Kharagpur, Version 1 ME, Lesson 32, 2008, pp. 608-625.