

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی انرژی

دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک_تبدیل انرژی

عنوان:

حل معادلات ترمودینامیکی پویا برای یک سیستم سرمایش خورشیدی سیلیکاژل_آب مجهز به کلکتور خورشیدی و بررسی امکان استفاده از نانو سیال در سیستم

استاد راهنما:

دکتر یاسی

استاد مشاور:

دکتر تمیم

پژوهشگر:

عادل مرادی

خرداد ۹۶

تقديم به

سپاسگزاری

چکیده:

در این پژوهش یک کد محاسباتی به زبان برنامه نویسی متلب توسعه داده خواهد شد بدین منظور ابتدا مدل ریاضی مساله‌ی سرمایش خورشیدی استخراج خواهد شد برای دقت بالاتر و بررسی دقیق تر این مدل بصورت یک مدل غیرپایا (متغیر با زمان) در نظر میگیریم.

از دلایل متغیر فرض کردن مدل ریاضی ثابت نبودن تشعشع ورودی خورشید در طول ساعات شبانه روز و همچنین عملکرد نوسانی سیستم سرمایش جذب سطحی است. به عبارت دیگر دو عامل بالا ماهیت غیر پایا داشته و ما ملزم به ارایه مدل‌های ریاضی متغیر با زمان هستیم. به کمک خروجی کد کامپیوتری میتوانیم تغییرات توان تبرید، ضریب عملکرد میزان مصرف سوخت سیستم را با توجه به مقدار متغیرهای عملیاتی از جمله دمای آب گرم و مدت زمان سیکل، میزان تابش متغیر خورشید مورد بررسی قرار دهیم. از جمله اهداف کاربردی این مطالعه ارائه یک مدل دقیق بمنظور بررسی شرایط مختلف عملیاتی جهت طراحی سیستم های سرمایش خورشیدی در صنعت تهویه مطبوع میباشد.

سعی شده است حتی الامکان کد محاسباتی حالت کلی داشته باشد تا بتوان تمامی شرایط مختلف اعم از تنوع آب و هوایی منطقه میزان شار زمان سیکل جذب و ... را مورد ارزیابی و بررسی قرار داد. سیستم مورد نظر برای تامین بار برودتی فضای لابی و دفتر کار یک شرکت تجاری برای ساعات کاری ۷ صبح تا ۷ بعدازظهر به کار می‌رود. سیستم مورد مطالعه از اجزای زیر تشکیل شده است. ۱- کلکتورهای تخت ۲-چیلر سیلیکاژل-آب با دو محفظه جذب ۳-مخزن ذخیره آب گرم ۴-کندانسور ۵-گرم‌کن کمکی ۶-اوپراتور.

عملکرد کل سیستم تولید سرمایش به صورت دینامیکی (غیر پایا) در شرایط آب و هوایی جزیره کیش در تابستان

مورد	بررسی	قرار	خواهد	گرفت.
------	-------	------	-------	-------

فهرست مطالب

فصل ۱: کلیات پژوهش

۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- ضرورت انجام تحقیق.....	۳
۳-۱- هدف از تحقیق.....	۵
۴-۱- بیان مساله.....	۶
۵-۱- فرضیات مساله.....	۷
۶-۱- نانوسیال.....	۷
۱-۶-۱- خواص ترموفیزیکی نانوسیالات.....	۸
۱-۶-۱-۱- چگالی.....	۸
۲-۶-۱-۲- ویسکوزیته دینامیکی.....	۹
۲-۶-۱-۲- افزایش انتقال حرارت توسط نانوسیالات.....	۹
۷-۱- تبرید تراکمی.....	۱۱
۸-۱- تبرید جذبی حجمی.....	۱۲
۹-۱- تبرید جذب سطحی.....	۱۳
۱-۹-۱- خواص جاذب و جذب شونده.....	۱۵
۲-۹-۱- جاذب.....	۱۶
۳-۹-۱- جذب سطحی.....	۱۷
۱-۳-۹-۱- جذب سطحی فیزیکی.....	۱۸
۲-۳-۹-۱- جذب سطحی شیمیایی.....	۱۹
۳-۳-۹-۱- تفاوت‌های جذب سطحی شیمیایی و جذب سطحی فیزیکی.....	۲۰
۴-۹-۱- مراحل مختلف فرآیند جذب سطحی.....	۲۰
۱-۴-۹-۱- عوامل موثر بر قدرت جذب.....	۲۱
۱-۴-۹-۱-۱- سطح تماس.....	۲۱
۲-۴-۹-۱-۲- غلظت.....	۲۱
۳-۴-۹-۱-۳- دما.....	۲۱
۴-۴-۹-۱-۴- نوع ماده جذب شده و جاذب.....	۲۲
۵-۴-۹-۱-۵- حالت ماده جذب شده و جاذب.....	۲۲
۵-۹-۱- سیکل ترمودینامیکی فرآیند جذب سطحی.....	۲۲
۱۰-۱- مزایا و معایب سیستم تبرید جذب سطحی.....	۳۲
۱-۱۰-۱- مزایای تبرید جذب سطحی.....	۳۳
۲-۱۰-۱- معایب سیستم تبرید جذب سطحی.....	۳۴

فصل ۲: مروری بر مقالات

۱-۲- مقدمه.....	۳۵
۲-۲- مروری بر تحقیقات گذشته.....	۳۶
۱-۲-۲- دسته بندی تحقیقات.....	۳۶
۱-۲-۲-۱- تحقیقات گذشته بر روی ایجاد تغییر در سیکل.....	۳۶
۲-۲-۲-۱- تحقیقات گذشته بر روی جفت جاذب و جذب شونده.....	۳۷
۲-۲-۲-۱-۲- کربن اکتیو و متانول.....	۴۱
۲-۲-۲-۱-۲- کربن اکتیو و آمونیاک.....	۴۱

۴۱	..... سیلیکاژل و آب..... ۳-۲-۱-۲-۲
۴۲	..... ژئولیت و آب..... ۴-۲-۱-۲-۲
۴۲	..... تحقیقات گذشته بر روی طراحی بستر مواد جاذب..... ۳-۱-۲-۲

فصل ۳: مدلسازی

۴۶	..... ۱-۳- مقدمه..... ۴۷
۴۹	..... ۲-۳- شرایط هوایی و مشخصات ابعادی محل مورد بررسی..... ۴۹
۵۴	..... ۳-۳- چیدمان اجزای سیستم سرمایش خورشیدی جذب سطحی..... ۵۴
۵۶	..... ۴-۳- مدلسازی ریاضی..... ۵۶
۵۶	..... ۱-۴-۳- روابط مربوط به استفاده از نانو سیال..... ۵۶
۵۷	..... ۲-۴-۳- ویسکوزیته دینامیکی..... ۵۷
۵۸	..... ۲-۴-۳- افزایش انتقال حرارت توسط نانوسیالات..... ۵۸
۵۸	..... ۳-۴-۳- معادلات مربوط به جذب سطحی..... ۵۸
۵۹	..... ۴-۴-۳- روابط تعادل انرژی..... ۵۹
۵۹	..... ۱-۴-۳- محفظه جذب به هنگام اتصال به کندانسور..... ۵۹
۶۰	..... ۲-۴-۳- محفظه جذب به هنگام اتصال به اواپراتور..... ۶۰
۶۱	..... ۳-۴-۳- بالانس انرژی اواپراتور..... ۶۱
۶۲	..... ۴-۴-۳- بالانس انرژی کندانسور..... ۶۲
۶۲	..... ۵-۴-۳- محاسبه توان تبرید سیکل..... ۶۲
۶۲	..... ۶-۴-۳- محاسبه ضریب عملکرد سیکل..... ۶۲
۶۳	..... ۷-۴-۳- محاسبه کسر خورشیدی سیستم..... ۶۳
۶۳	..... ۸-۴-۳- مدلسازی واحد خورشیدی..... ۶۳
۶۴	..... ۱-۸-۴-۳- کلکتورهای خورشیدی..... ۶۴
۶۶	..... ۹-۴-۳- مخزن ذخیره آب گرم..... ۶۶

فصل ۴: نتیجه گیری

۶۹	..... ۱-۴- مقدمه..... ۷۰
۷۱	..... ۲-۴- نمودار و نتایج..... ۷۱
۷۱	..... ۲-۲-۴- اعتبار سنجی نتایج..... ۷۱
۷۴	..... ۳-۲-۴- آنالیز حساسیت برای متغیر دمای آب گرم ورودی..... ۷۴
۷۶	..... ۴-۲-۴- آنالیز حساسیت برای متغیر زمان سیکل جذبی..... ۷۶
۷۸	..... ۵-۲-۴- آنالیز حساسیت درصد نانو سیال..... ۷۸
۸۰	..... ۶-۲-۴- آنالیز حساسیت مساحت سطح کلکتور..... ۸۰
۸۱	..... ۳-۴- جمع بندی..... ۸۱
۸۴	..... ۴-۴- پیشنهاد برای آینده..... ۸۴

Error! Bookmark not defined.

مراجع

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) شماتیک سیکل تبرید تراکمی ۱۱
- شکل (۲-۱) شماتیک سیکل تبرید جذبی حجمی ۱۳
- شکل (۳-۱) شمایی از سیستم تبرید جذب سطحی ۲۳
- شکل (۴-۱) احیای سیال عامل در بستر سمت چپ و جذب سیال عامل در سمت راست ۲۴
- شکل (۵-۱) بسته شدن شیرهای بسترها و کاهش فشار بستر سمت چپ و افزایش فشار بستر سمت راست ۲۵
- شکل (۶-۱) احیای سیال عامل در بستر سمت راست و جذب سیال عامل در بستر سمت چپ ۲۶
- شکل (۷-۱) بسته شدن شیرهای بسترها و کاهش فشار بستر سمت راست و افزایش فشار بستر سمت چپ ۲۷
- شکل (۸-۱) فرستادن سیال حرارتی گرم و سرد به بسترها به کمک تعدادی شیر ۲۹
- شکل (۹-۱) شمایی از یک سیستم تبرید جذب سطحی با یک بستر ماده جاذب ۳۰
- شکل (۱-۲) شمایی از پدیده جذب سطحی میان سطح جامد و سیال ۳۸
- شکل (۱-۳) میانگین سه سال متوالی از متوسط دمای روزانه در جزیره کیش در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، مهر ۵۰
- شکل (۲-۳) میانگین سه سال متوالی از متوسط تابش روزانه در جزیره کیش در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، مهر ۵۱
- شکل (۳-۳) میانگین سه سال متوالی از متوسط ضریب صافی روزانه آسمان در جزیره کیش در ماه‌های متوالی ۵۲
- شکل (۴-۳) تابش در روزهای (1-jun ، 30-Aug ، 01-Jul و 30-Sep) ۵۳
- شکل (۵-۳) سیستم تبرید جذب سطحی خورشیدی ۵۴
- شکل (۱-۴) نمودار دما در بخش absorber و desorber و همچنین کندانسور و اواپراتور آورده شده است ۷۱
- شکل (۲-۴) اعتبار سنجی نتایج ۷۲
- شکل (۳-۴) حرارت اعمال شده توسط گرمکن کمکی در ساعت کاری (۸ صبح تا ۶ عصر) ۷۳
- شکل (۴-۴) کسر خورشیدی سیستم برای ۱۲۰ روز کاری ۷۳
- شکل (۵-۴) نمودار توان سرمایشی و ضریب عملکرد و بر حسب دمای آب گرم ورودی ۷۵
- شکل (۶-۴) نمودار کسر خورشیدی و حرارت تولید شده توسط بویلر کمکی بر حسب دمای آب گرم ورودی ۷۵
- شکل (۷-۴) نمودار توان سرمایش بر حسب زمان سیکل ۷۷
- شکل (۸-۴) نمودار ضریب COP حسب زمان سیکل ۷۷
- شکل (۹-۴) با افزایش زمان سیکل میزان کسر خورشیدی افزایش می‌یابد ۷۸
- شکل (۱۰-۴) با افزایش درصد غلظت نانو سیال ضریب COP افزایش می‌یابد ۷۹
- شکل (۱۱-۴) با افزایش درصد غلظت نانو سیال کسر خورشیدی افزایش می‌یابد ۷۹
- شکل (۱۲-۴) نمودار کسر خورشیدی بر حسب مساحت کلکتور ۸۰

فهرست جداول

جدول (۱-۱) ضرائب معادله	۹
جدول (۱-۳) علایم و اختصارات مورد استفاده در این پژوهش به همراه زیر نویس ها.....	۴۸
جدول (۲-۳) ضرائب معادله ویسکوزیته ی نانو سیال.....	۵۷
جدول (۳-۳) مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدلسازی چیلر.....	۵۹

فصل ۱:

کلیات پژوهش

۱-۱- مقدمه

سیستم تبرید جذب سطحی، سیستمی است که به جای استفاده از کمپرسور مکانیکی، از کمپرسور حرارتی برای به گردش در آوردن سیال عامل در سیکل استفاده میکند. در سالهای اخیر سیستمهای تبرید جذب سطحی و پمپ گرمایی جذب سطحی به شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند. عمر طولانی، اصول کارکرد ساده، نیاز اندک به تعمیر و نگهداری، قابلیت استفاده از منابع حرارتی دما پایین مانند انرژی خورشیدی و منابع زمین گرمایی، بی ضرر بودن برای محیط زیست و کارکرد بدون لرزه و سر و صدا را میتوان به عنوان تعدادی از مهمترین مزایای این سیستمها به شمار آورد.

شرایط عملیاتی سیستم جذب سطحی، خواص مواد جاذب و سیال عامل به کار رفته و شرایط ترمودینامیکی سیکل اثر قابل توجهی بر عملکرد این سیستمها دارد. برای طراحی مناسب، بایستی آن را مدلسازی نمود و معادلات حاکم را حل کرد. این مدلسازی شامل انتقال حرارت میان اجزای مختلف و انتقال جرم سیال عامل در بخش مختلف می‌باشد. برای افزایش آهنگ انتقال حرارت و افزایش سرعت جذب و احیا در بستر از فینهای شعاعی استفاده شده است.

از جمله مهم‌ترین کاربردهای انرژی خورشیدی می‌توان به سرمایش خورشیدی اشاره کرد. معمولاً، در مناطقی که از مقادیر بالای تابش خورشید بهره می‌برند، نیاز سرمایشی از سایر مناطق بیشتر است. بنابراین استفاده از حرارت حاصل از تابش خورشید در تولید سرمایش در چنین مناطقی می‌تواند مزایای اقتصادی بسیاری به همراه داشته باشد. تولید سرمایش از حرارت، غالباً توسط سیکل‌های جذبی^۱ صورت می‌گیرد که سیکل‌های تبرید جذب سطحی^۲ و جذبی^۳ از این نوع هستند. در سیکل‌های جذبی، فرایند

^۱ . Sorption

^۲ . Adsorption

^۳ . Absorption

جذب بین سیال مبرد و سیال جاذب صورت می‌گیرد، در حالی که در جذب سطحی یک فرایند جذب بین سیال مبرد و سطح ماده جاذب، که به صورت جامد است، صورت می‌گیرد. سیکل جذب سطحی به طور کلی از نظر نحوه عملکرد با سیکل جذبی تفاوت‌های عمده‌ای دارد. مزیت عمده سیکل تبرید جذب سطحی نسبت به سیکل جذبی، قابلیت کارکرد با منابع حرارتی دماپایین است. این موضوع امکان استفاده از منابعی مانند انرژی خورشیدی و حرارت بازیافتی را در سیکل‌های تبرید جذب سطحی فراهم می‌کند. همچنین، در سیکل‌های جذب سطحی برخلاف سیکل‌های جذبی، نیازی به استفاده از پمپ وجود ندارد، زیرا فرایند جذب بین ماده جامد و مبرد صورت می‌گیرد و انتقال مبرد نیز فقط با گرادیان حرارتی صورت می‌گیرد. البته، علی‌رغم دارا بودن مزایای فوق، ضریب کارکرد سیستم‌های تبرید جذب سطحی از سیستم‌های جذبی پایین‌تر است و همین مسئله موجب کندی روند تجاری شدن این نوع چیلرها شده است.

در سیستم‌های جذب سطحی از جاذب - مبردهای مختلفی استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان به کربن فعال - اتانول، سیلیکاژل - آب و زئولیت - آب اشاره نمود. از بین این موارد، سیلیکاژل - آب رایج‌ترین گزینه در سیستم‌های تهویه مطبوع است. سیلیکاژل نسبت به سایر مواد جاذب قابلیت احیا شدن^۱ در دماهای پایین‌تری دارد (کمتر از ۱۰۰ درجه تا حدود ۵۵ درجه) و به همین دلیل برای استفاده در سیستم‌های سرمایشی که از انرژی خورشیدی استفاده می‌کنند گزینه مناسبی محسوب می‌شود. همچنین، قابلیت جذب سطحی سیلیکاژل نسبتاً بالاست و می‌تواند، حدود ۴۰ درصد جرم خود، آب جذب نمایند.

^۱. Desorption

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

نوسانات قیمت حامل های انرژی، تمایل به کاهش هزینه های مصرفی سوخت و انرژی، گرایش به ذخیره سازی سوخت های فسیلی برای کاربردهایی به جز سوزاندن آنها و همچنین توجه به لزوم کاهش آلاینده های ناشی از مصرف سوخت ها در دهه ی اخیر، دلایل محکمی در لزوم تغییر نگرش در بهره برداری از انرژی است.

در این راستا دستیابی به انرژی های پاک و تجدید پذیر دارای اهمیت ویژه ای می باشد ، زیرا علاوه بر صرفه ی قابل توجه اقتصادی از لحاظ زیست محیطی نیز کاملاً توجه پذیرند. در سال های اخیر با مطرح شدن موضوع هدفمند سازی یارانه ها در کشور، توجه مصرف کنندگان به کمترکردن هزینه های ناشی از وسایل پر مصرف جلب شده است. یک راه کار برای جلوگیری از مصرف بالای سیستم های تامین گرما و سرما، جایگزینی این گونه وسایل با نمونه ی با بازدهی بالاتر خواهد بود. هرچند استفاده از انواع با بازدهی بالاتر باعث افزایش هزینه ی مازاد در ساخت و ساز خواهد شد، ولی این اضافه پرداخت مطمئناً در مدت چند سال اولیه، با صرفه جویی انرژی بازگردانده می شود.

در بحث ساختمان ، سیستم های مورد استفاده در زمینه ی گرمایش و سرمایش بیشترین مصرف انرژی را دارند که گاهی تا ۸۰٪ از مصرف را به خود اختصاص می دهند(۱). در صورت استفاده از انرژی خورشیدی می توان علاوه بر کاهش هزینه ی پرداختی سوخت ، مشارکت بسزایی هم در کاهش هزینه های دولت در زمینه ی یارانه های انرژی داشت.

بدون تردید، کاهش مصرف سوخت های فسیلی، کاهش میزان آلاینده ها و افزایش راندمان را می توان از برتری های چیلرهای جذبی خورشیدی برشمرد. در مقابل، هزینه سرمایه گذاری اولیه نسبتاً زیاد در حال حاضر این گونه چیلرها از ایراد آن بشمار می رود بنابراین شبیه سازی و مدلینگ روی چیلرهای

خورشیدی بمنظور افزایش ضریب عملکرد و بررسی دمای آب مبرد و عملکرد سیستم با کلکتورهای گوناگون از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

سرمایش در زندگی روزمره بشری، کاربردهای بسیاری از قبیل نگهداری مواد غذایی، مصارف تهویه مطبوع، نگهداری داروها و .. دارد. اکثر سیستمهای سرمایش متداول از جمله سیستمهای سرمایش تراکمی بخار دارای مشکلات عمده ای هستند که از جمله مهمترین آنها میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

-افزایش جهانی مصرف انرژیهای اولیه و فسیلی: مطابق بررسی انستیتوی بین المللی تبرید^۱ در پاریس، هر سال حدود ۱۵٪ از میزان کل انرژی الکتریکی تولید شده در جهان صرف اهداف سرمایشی و تهویه مطبوع میشود. طبق گزارش این سازمان، ۴۵٪ سهم انرژیهای مصرفی برای تهویه مطبوع، به مصارف ساختمانهای مسکونی و تجاری اختصاص دارد علاوه بر این، غلبه بر مشکلات ناشی از افزایش چشمگیر اوج مصرف انرژی در فصل تابستان به دلیل افزایش بار سرمایشی، همچنان ذهن محققان را به خود مشغول ساخته است.

-آسیب های زیست محیطی: امروزه سیستمهای سرمایش یکی از مسببان اصلی مشکلات زیست محیطی محسوب میشوند. استفاده از مبردهایی همچون کلروفلوروکربنها^۲ هیدروکلروفلوروکربنها^۳ و هیدروفلوروکربنها^۴، موجب تشدید اثر گلخانه ای و گرمایش کره زمین میشوند. البته پس از تصویب پروتکل مونترآل در سال ۱۹۸۷ گامهای مهمی در جهت جایگزینی این نوع مبردها برداشته شده است. به عنوان مثال، اتحادیه اروپا کلیه کشورهای عضو این اتحادیه را ملزم نموده سیستمهایی که از مبردهای هیدروکلروفلوروکربنه استفاده میکنند را حداکثر تا سال ۲۰۱۵ از رده خارج کنند

¹ International Institute Of Refrigeration (IIR)

² CFCs

³ HCFCs

⁴ HFCs

-بحران نفتی دهه ۱۹۷۰، توجه محققان را بیش از پیش به سمت تکنولوژیهای با مصرف انرژی کمتر معطوف کرد. سرمایه خورشیدی از جمله مهم ترین این تکنولوژیها است که آینده روشنی نیز دارد. هرچه میزان تابش خورشید بیشتر باشد، نیاز به سرمایه نیز افزایش می یابد. همین مساله انرژی خورشیدی را به منبع انرژی مناسبی برای استفاده در سیستم های سرمایه تبدیل میکند. علاوه بر این، سیستمهای سرمایه خورشیدی به محیط زیست آسیب نمیرسانند و مصرف انرژی را در ساعات افزایش مصرف، به شدت پایین می آورند. مقدار انرژی خورشیدی که در طول هر سال به سطح زمین میرسد، حدوداً ۱۱۵۰۰ برابر کل تقاضای انرژی است. استفاده از این مقدار عظیم انرژی، تنها از راه تبدیل آن به اشکال دیگر انرژی امکان پذیر است. انرژی خورشیدی را میتوان در کلکتورهای خورشیدی، به حرارت و در سلولهای فوتو ولتائیک، به انرژی الکتریکی تبدیل نمود که هر دو نوع این انرژیها را میتوان به عنوان منبع انرژی در سیستمهای سرمایه به کار برد. انرژی الکتریکی تولید شده در سلولهای فوتو ولتائیک در سیستمهای سرمایه الکتریکی شامل سیستمهای تراکمی، ترموالکتریکی و استرلینگ استفاده میشود در حالی که از حرارت به دست آمده در کلکتورهای خورشیدی در سیستمهای سرمایه حرارتی مانند سیستمهای جذبی^۱ و جذب سطحی^۲، دسیکانت^۳ ازکتوری^۴ استفاده میشود.

۱-۳- هدف از تحقیق

در این پژوهش یک کد محاسباتی به زبان برنامه نویسی متلب^۵ توسعه داده خواهد شد بدین منظور ابتدا مدل ریاضی مساله سرمایه خورشیدی استخراج خواهد شد برای دقت بالاتر و بررسی

¹ Absorption

² Adsorption

³ Discount

⁴ Ejector

⁵ MATLAB

دقیق تر این مدل بصورت یک مدل غیرپایا (متغیر با زمان) در نظر میگیریم.

از دلایل متغیر فرض کردن مدل ریاضی ثابت نبودن تشعشع ورودی خورشید در طول ساعات شبانه روز و همچنین عملکرد نوسانی سیستم سرمایش جذب سطحی است. به عبارت دیگر دو عامل بالا ماهیت غیر پایا داشته و ما ملزم به ارایه مدل‌های ریاضی متغیر با زمان هستیم. به کمک خروجی کد کامپیوتری میتوانیم تغییرات توان تبرید، ضریب عملکرد^۱ میزان مصرف سوخت سیستم را با توجه به مقدار متغیرهای عملیاتی از جمله دمای آب گرم و مدت زمان سیکل، میزان تابش متغیر خورشید مورد بررسی قرار دهیم

از جمله اهداف کاربردی این مطالعه ارائه یک مدل دقیق بمنظور بررسی شرایط مختلف عملیاتی جهت طراحی سیستم های سرمایش خورشیدی در صنعت تهویه مطبوع میباشد. سعی شده است حتی الامکان کد محاسباتی حالت کلی داشته باشد تا بتوان تمامی شرایط مختلف اعم از تنوع آب و هوایی منطقه میزان شار زمان سیکل جذب و ... را مورد ارزیابی و بررسی قرار داد.

۴-۱- بیان مساله

سیستم مورد نظر برای تامین بار برودتی فضای لابی و دفتر کار یک شرکت تجاری برای ساعات کاری ۷ صبح تا ۷ بعدازظهر به کار می‌رود. سیستم مورد مطالعه از اجزای زیر تشکیل شده است. ۱- کلکتورهای تخت ۲-چیلر سیلیکاژل-آب با دو محفظه جذب ۳-مخزن ذخیره آب گرم ۴-کندانسور ۵- گرم‌کن کمکی ۶-اوپراتور.

عملکرد کل سیستم تولید سرمایش به صورت دینامیکی (غیر پایا) در شرایط آب و هوایی جزیره

^۱ COP

کیش در تابستان مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این راستا، معادلات دیفرانسیل حاکم بر مساله به کمک نرم افزار متلب^۱ به کمک روش های عددی حل میشود تا پارامترهای اصلی مانند توان تبرید، ضریب عملکرد^۲ میزان مصرف سوخت سیستم با توجه به مقدار متغیرهای عملیاتی از جمله دمای آب گرم و مدت زمان سیکل، میزان تابش متغیر خورشید بدست آید.

۱-۵- فرضیات مساله

فرضیات زیر بمنظور مدلسازی مدل متغیر با زمان سیستم سرمایش خورشیدی در نظر گرفته شده

است:

- مدلسازی دینامیکی برای شرایط آب و هوایی کیش در تابستان در نظر گرفته شده است.
- اتلاف حرارتی محفظه های کندانسور جذب، اواپراتور ناچیز است.
- دمای مبرد در اواپراتور و کندانسور و مبدل برابر در نظر گرفته شده است.
- دمای جاذب و مبرد جذب شده و محفظه برابر فرض شده است.
- توزیع فشار در محفظه جاذب یکنواخت فرض شد.
- مقدار حرارت جذب بر واحد جرم جاذب ثابت فرض شد (۲۱)

۱-۶- نانوسیال

¹ MATLAB

² COP

۱-۶-۱- خواص ترموفیزیکی نانوسیالات

هدایت حرارتی نانوسیالات توجه اصلی در نانوسیال را به خود اختصاص داده است. هرچند برای سیالات ساکن این مهمترین موضوع است ولی با در نظر گرفتن سیالات انتقال حرارت، ضریب انتقال حرارت نانوسیال در جریان مهمترین موضوع می باشد. دیگر خواص مهم غیر از هدایت حرارتی که برضریب انتقال حرارت اثر می گذارد، عبارتند از: چگالی، گرمای ویژه و لزجت نانوسیال. با فرض پراکندگی یکنواخت نانوذرات داخل سیال پایه، خواص حرارتی و فیزیکی نانوسیال به صورت زیر هستند.

۱-۶-۱-۱- چگالی

چگالی نانوسیالات را معمولاً از رابطه ی پک و چو^۱ (۱) محاسبه می کنند.

$$\rho_{nf} = (1-\varphi)\rho_{bf} + \varphi\rho_p \quad (1-1)$$

تمامی محققین روی استفاده از قانون مخلوطها برای محاسبه چگالی نانوسیال اجماع نظر دارند. خانافر و وفایی^۲ (۱) براساس اطلاعات آزمایشگاهی هو و همکاران^۳ (۲)، رابطه ای برای محاسبه ی چگالی نانوسیال آب/اکسید آلومینیوم به صورت زیر ارائه کردند.

$$\rho_{nf} = 1001.064 - 2738.6191\varphi - 0.2095T \quad (2-1)$$

که غلظت و دما در محدوده $0 \leq \varphi \leq 4\%$ و $5 \leq T (^{\circ}C) \leq 40$ است.

1 Pak and Cho

2 Khanafer and vafai

3 Ho et al

۱-۶-۱-۲- ویسکوزیته^۱ دینامیکی

گرانروی اندازه‌ی مقاومت یک سیال در برابر تغییر شکل ناشی از تنش‌های طولی یا تنش‌های برشی می‌باشد. به علت ساختار سوسپانسیونی نانوسیالات گرانروی اهمیت ویژه‌ای در طراحی سیستم‌های نانوسیالی بازی می‌کند به طوری که اثرات مستقیم آن بر افت فشار در جریان‌های جابجایی بسیار مشهود است. بنابراین برای استفاده از نانوسیالات در کاربردهای عملی، مقدار افزایش گرانروی نانوسیالات نسبت به سیال پایه آن باید به طور کامل مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

واجها و همکاران^۲ (۱) رابطه‌ی زیر را برای محاسبه‌ی ویسکوزیته‌ی دینامیکی نانوسیال ارائه کردند. مقادیر A_1 و A_2 در جدول زیر آورده شده است. مشاهده می‌شود که در این رابطه μ_{bf} اثر دما روی ویسکوزیته را شامل می‌شود، بنابراین هیچ عبارت اضافی شامل دما نیاز نیست. این رابطه در محدوده‌ی دمایی $273K < T < 373K$ معتبر است.

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} A_1 e^{(A_2 \varphi)} \quad (3-1)$$

جدول (۱-۱) ضرایب معادله

غلظت (%)	قطر ذره	A_2	A_1	نانوذره
$0 \leq \varphi \leq 10$	۴۵	۱۲/۹۵۹	۰/۹۸۳	اکسید آلومینیوم
$0 \leq \varphi \leq 6$	۲۹	۲۲/۸۵۳۹	۰/۹۱۹۷	اکسید مس

۱-۶-۲- افزایش انتقال حرارت توسط نانوسیالات

نانوسیالات به دلیل هدایت حرارتی بالایی که دارند سیالات انتقال حرارت نوید بخشی جهت کاربرد به جای سیالات گرمایی هستند. نانوسیالات هدایت حرارتی و ضریب انتقال حرارت تکفاز بالاتری نسبت به سیال پایه دارند. چون افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی فراتر از اثر هدایت

1 Viscosity

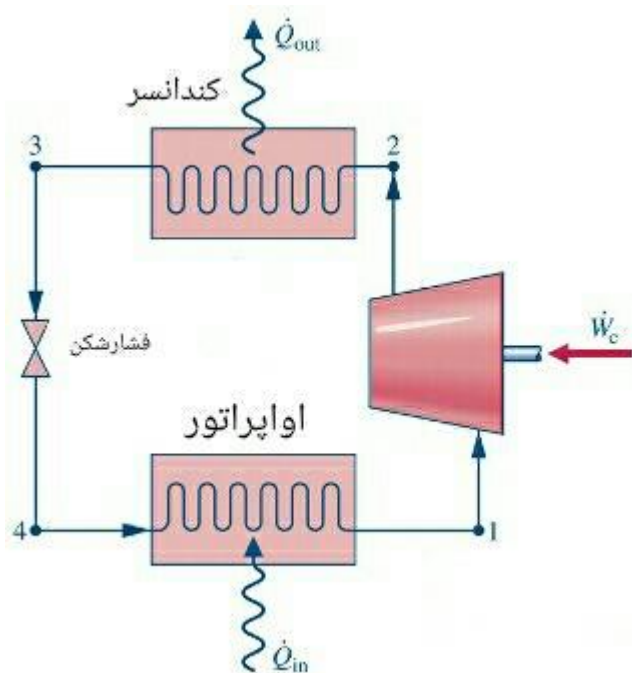
2 Vajjha et al

حرارتی محض است با روابط متداول سیال خالص قابل پیش‌بینی نیست. برای رسیدن به این هدف مهم، محققین بسیاری در مورد عملکرد انتقال حرارت جابجایی نانو سیالات بحث کرده و آن را مورد بررسی و ارزیابی قرار داده‌اند. در تمامی مطالعات انجام شده، به این نتیجه رسیده‌اند که عدد ناسلت جریان جابجایی به دست آمده به صورت تابعی از عوامل گوناگون می‌باشد که به صورت زیر می‌توان نوشت.

$$Nu = f(\text{Re}, \text{Pr}, \frac{k_p}{k_{bf}}, \frac{(\rho C_p)_p}{(\rho C_p)_{bf}}), \quad (4-1)$$

۱-۷- تبرید تراکمی

تبرید تراکمی و تبرید جذبی را میتوان به عنوان دو نوع از سیستمهای تبرید معرفی کرد. مطابق شکل زیر در سیکل تبرید تراکمی (1) سیال عامل در کمپرسور افزایش فشار مییابد و وارد کندانسور میشود. سیال عامل پس از تبدیل شدن به مایع در کندانسور، به شیر انبساط میرسد و بعد از افت فشار، وارد اواپراتور میگردد. انتقال گرما از محیط به اواپراتور و همچنین مکش سیال عامل از اواپراتور توسط کمپرسور، موجب تبخیر سیال عامل در اواپراتور میشود و عمل تبرید صورت میگیرد. سیال عامل پس از ورود به کمپرسور مجدداً افزایش فشار مییابد تا به کندانسور وارد شود و به این ترتیب سیکل به پایان میرسد انرژی مورد استفاده در کمپرسور این سیستم، برای به حرکت در آوردن سیال عامل، انرژی الکتریکی است.



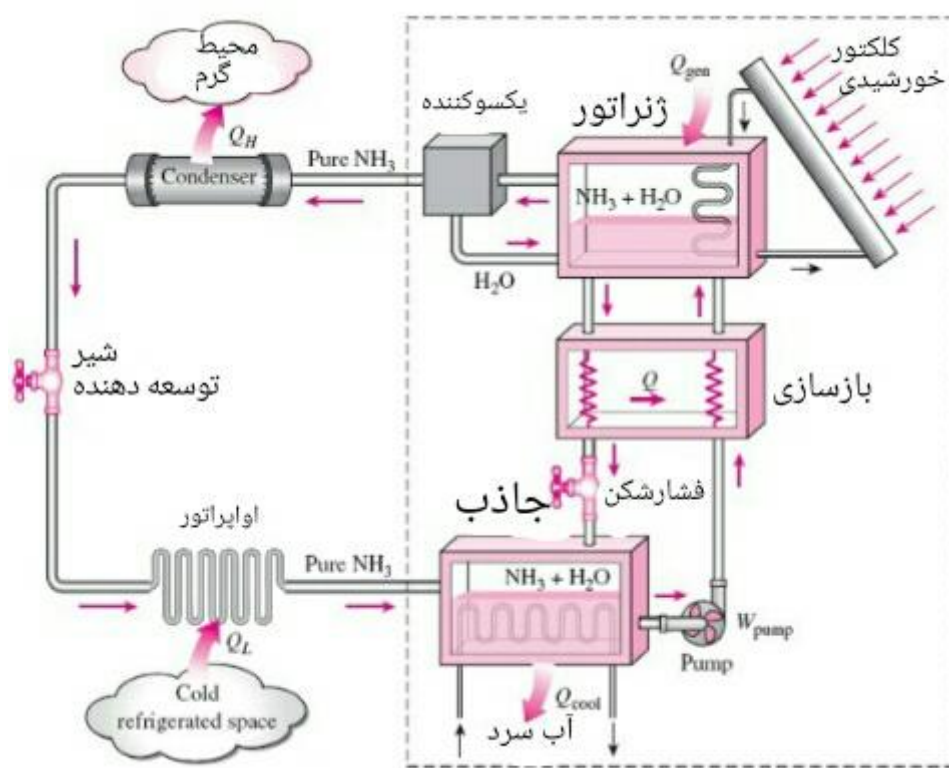
شکل (۱-۱) شماتیک سیکل تبرید تراکمی (۱)

۱-۸- تبرید جذبی حجمی

سیکلهای تبرید جذبی مشابه با سیکل تبرید تراکمی هستند با این تفاوت که به جای کمپرسور مکانیکی در آنها، از کمپرسور حرارتی^۱ استفاده می‌شود. در کمپرسور حرارتی، انرژی حرارتی، نیروی محرکه کمپرسور را، برای به حرکت در آوردن سیال عامل مهیا می‌کند. از آن جایی که در بسیاری از صنایع، خانه‌ها و اتومبیلها، انرژی حرارتی تلف میشود، سیکلهای تبرید جذبی نقش مهمی در صرفه-جویی انرژی دارند.

به علاوه میتوان از انرژیهای پاک و رایگان نظیر انرژی خورشیدی برای راه اندازی آنها استفاده کرد.

سیکلهای تبرید جذبی را میتوان به دو دسته تبرید جذب حجمی^۲ (۱) و تبرید جذبی^۳ سطحی تقسیم کرد.



¹ thermal compressor

² absorption refrigeration

³ adsorption refrigeration

شکل (۱-۲) شماتیک سیکل تبرید جذبی حجمی (۱)

در سیکل تبرید جذب حجمی مطابق شکل با گرمایش یک محلول خاص مانند آب و آمونیاک در ژنراتور آمونیاک به صورت بخار از آب جدا شده و به کندانسور میرود. پس از گذشتن شیر انبساط و اوپراتور، با سرمایش بخش جاذب^۱، آمونیاک در فضای حجمی آب جذب میشود. شماتیکی از سیستم تبرید جذب حجمی در بالا نشان داده شده است.

۹-۱- تبرید جذب سطحی

افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، که منجر به تقلیل لایه ازون میگردد و همچنین قیمت بالای انرژیهای فسیلی و نگرانی که در رابطه با گرم شدن کره زمین وجود دارد، ضرورت استفاده از سیستمهایی با منابع انرژی تجدیدپذیر و مبردهای دوستدار محیط زیست را روز به روز آشکارتر می‌سازد. در دهه‌های اخیر تکنولوژیهای متنوعی برای استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر توسعه پیدا کرده اند.

یکی از این تکنولوژی‌ها سیستم‌های تبرید و تهویه جذب سطحی میباشد. که هم از تکنولوژی جذب سطحی^۲ و هم جداساز مبرد از جاذب^۳ برای ایجاد ظرفیت سرمایی^۴ مورد نیاز استفاده می‌کنند. از منابع گرمایی مورد استفاده در سیستمهای جذب سطحی میتوان به مقادیر عظیم گرمای هدر رفت^۵ تولید شده در صنایع و منابع انرژی کم هزینه‌ای^۶ همچون انرژی خورشیدی، اشاره نمود.

¹ absorber

² Adsorption process

³ Desorption process

⁴ Cooling capacity

⁵ Waste heat

⁶ Low grade thermal energy

سیستمهای تبرید جذب سطحی در مقایسه با سیستمهای متداول تبرید تراکمی بخار^۱ کمترین انرژی الکتریکی را مصرف میکنند و در صورت بهره برداری از منابع انرژی کم هزینه به عنوان منابع گرمایی، (انرژی خورشید و یا گرمای هدر رفت) توانایی ذخیره انرژی را دارا می باشند. کنترل ساده و عدم ارتعاش سیستمهای جذب سطحی از دیگر مزایای این سیستم ها به شمار می رود. به علاوه هزینه نگهداری مربوط به سیستمهای جذب سطحی، نسبت به سیستمهای تبرید تراکمی بخار پایین می باشد.

مطالعه^۲ی مقایسه ای بین سیستمهای تبرید جذبی مایع^۲ و جذب سطحی نشان می دهد سیستم جذب سطحی میتواند در محدوده وسیعی از دمای منبع گرمایی بین ۵۰ درجه سانتیگراد تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد یا بیشتر کار کند. همچنین برخلاف تبرید جذبی حجمی، سیستم تبرید جذب سطحی در رابطه با تقطیر^۳ و پدیده خوردگی و تبلور^۴ با هیچگونه مشکلی روبرو نمی شود.

در سیستمهای جذبی، جاذب^۵ (محلول) در فاز مایع قرار دارد. اما در سیستمهای جذب سطحی، جاذبها به شکل جامد می باشند. سیستم های جذبی برای انجام فرآیند جداسازی و یا فرآیند جذب، (بین ماده جذب شونده و جاذب) به وسایلی نظیر پمپ برای انتقال زوج کاری نیاز دارند اما سیستمهای جذب سطحی برای انجام واکنش و انتقال به قسمت های مختلف سیکل، نیاز به هیچگونه وسیله الکترومکانیکی ندارند.

در واقع انتقال مبرد سیستم های جذب سطحی فقط به گرادیان دما وابسته می باشند. همین امر باعث کاهش هزینه اولیه و انرژی الکتریکی مصرفی سیستمهای جذب سطحی شده است. به علاوه میتوان

¹ Vapor compression cooling system

² LABC – Liquid Absorption Cooling System

³ Distillation

⁴ Crystallization

⁵ Adsorbent

از سیستم تبرید جذب سطحی برخلاف سیستم تبرید جذبی مایع، در لوکوموتیوها، اتوبوسها، قایقها و فضاپیماها استفاده نمود.

۱-۹-۱- خواص جاذب و جذب شونده

جذب سطحی برای اولین بار توسط برونائور^۱ مطرح گردید. بر این اساس زمانی که یک گاز یا بخار در تماس با یک جامد توخالی قرار گیرد بخشی از این گاز یا بخار توسط جاذب جذب می شود. چنانچه این فرآیند در حجم ثابت انجام گیرد، فشار افت میکند و در صورتی هم که در فشار ثابت انجام گیرد، حجم کاهش میابد.

مولکولهای ناپدید شده در فاز سیال، یا وارد جامد توخالی میشوند و یا به سطح خارجی جامد می چسبند. به این پدیده به اصطلاح جذب سطحی گفته میشود. جامدی که بخار یا گاز را جذب نموده است به عنوان جاذب شناخته میشود؛ ماده ای هم که در فاز سیال قرار دارد به عنوان مبرد یا ماده جذب شونده در نظر گرفته میشود.

برای گازی که وارد جاذب میگردد دو حالت روی می دهد. یا در جامد حل شده و به شکل محلول جامد در می آید و یا اینکه با جاذب واکنش داده و به شکل یک مولفه در می آید. همینطور برای گازی که در روی سطح جامد به صورت پیوسته باقی می ماند نیز امکان دارد دو حالت روی دهد. یا با واکنشی ضعیف، بر روی سطح جاذب قرار میگیرد (همانند فرآیند چگالش). یا با یک واکنشی قویتر، همانند واکنش شیمیایی به سطح جاذب میچسبد.

¹ Brunauer

۱-۹-۲- جاذب

به طور کلی تمامی مواد با تخلخل^۱ ریز به عنوان جاذب محسوب می شوند که بر اساس میزان نفوذپذیری^۲، ویژگی هایشان مورد مطالعه قرار میگیرند. با توجه به اینکه هر جامد متخلخل، دارای حفرههایی با قطرهای مختلف میباشد. بنابراین میتوان ساختار کلی جامدهای متخلخل را از نظر نوع حفرها و قطر مربوط به آنها در سه گروه طبقه بندی نمود.

۱- حفرههایی با قطرهای بیش از ۵۰ نانومتر که به ماکروحفره^۳ معروفند

۲- مزوحفرهها^۴، حفرههایی را شامل میشوند که قطرشان بین ۲ تا ۵۰ نانومتر میباشند.

۳- حفرههایی با قطرهای کمتر از ۲ نانومتر نیز در ردیف حفرههایی میکرو^۵ قرار میگیرند

در سیستمهای جذب سطحی، جامدهای متخلخلی^۶ که به عنوان جاذب در صنایع تبرید کاربرد

دارند. بر اساس نوع کنترلی که در اندازه حفرهها صورت میگیرد، در دو گروه طبقه بندی میشوند.

۴- جامدهایی که توزیع اندازه حفره و قطر متوسط آنها توسط فرایندهای صنعتی کنترل میشوند.

از این نوع جاذبها می توان به سیلیکاژل^۷، اکسید آلومینیم^۸ و کربن فعال شده^۹ اشاره نمود

۵- گروه دوم جامدهایی را در برمیگیرد که سایز میکروحفرههای آنها توسط ساختار

کریستالیشان مورد کنترل قرار میگیرند. همانند زئولیتها^{۱۰}.

سیلیکاژل را میتوان به عنوان یکی از جاذبهای متداول جهت استفاده در سیستمهای جذب سطحی،

¹ Microporou

² Porosity

³ Macro pores

⁴ Meso pores

⁵ Micro pores

⁶ Porous

⁷ Silica-gel

⁸ Alumina

⁹ Activated Carbon

¹⁰ Zeolites

در دو نوع مختلف طبقه‌بندی نمود که عبارتند از سیلیکاژل با دانه‌های میکرو و سیلیکاژل با دانه‌های ماکرو زمانی که رطوبت بیشتر باشد ظرفیت جذب سطحی سیلیکاژل با دانه‌های ماکرو بیشتر از دانه‌های میکرو می‌باشند اما دانه‌های میکرو در رطوبت‌های پایین ظرفیت جذب سطحی بالاتری دارند. بنابراین سیلیکاژل با دانه‌های ماکرو در سیکلهای که به صورت مستقیم با فشار اتمسفر در تماس می‌باشند به عنوان رطوبتگیر^۱ مورد استفاده قرار میگیرد اما سیلیکاژل با دانه‌های میکرو برای سیستم های تبرید جذب سطحی با فشارهای پایینتر از اتمسفر مناسبتر میباشند.

۱-۹-۳- جذب سطحی

جذب سطحی فرآیندی است که در آن ماده جذب شونده^۲ (مبرد) بر روی جاذب جامد، جذب می‌گردد. جذب سطحی فرآیند گرمایی است که در نتیجه تغییر فاز بین گاز- مایع حاصل می‌شود. انرژی آزاد شده در طول فرآیند جذب سطحی، گرمای جذب سطحی^۳ نامیده میشود. مقدار گرمای جذب سطحی، به طبیعت ماده جذب شونده و جاذب بستگی دارد. با توجه به اینکه پدیده جذب سطحی به برهمکنش بین ذرات جذب شونده و جاذب وابسته میباشد، این برهمکنش امکان دارد به دلیل پیوند شیمیایی، پیوند هیدروژنی، پیوند هیدروفوبیک و یا نیروی واندروالسی حاصل شود. طبیعت نیروهای جاذبه ای که مولکولهای ماده جذب شونده را در سطح جاذب نگه میدارد به صورت دقیق درک نشده است.

تئوریهای متفاوتی در مورد پدیده جذب سطحی عنوان شده است که یکی از مهمترین تئوریها،

¹ Desiccant

² Adsorbate

³ Isosteric heat

تئوری لانگمویر^۱ می‌باشد. بر اساس این تئوری فرض می‌شود، نیروهایی که در اثر جذب سطحی بوجود می‌آیند مشابه نیروهایی است که در نتیجه پیوند مولکولی (نیروی لاندن) ایجاد میشوند. بنابراین برهمکنش، بین مولکولهای ماده جذب شونده و سطح جاذب یا در اثر نیروهای بسیار ضعیف (همانند نیروهایی که باعث میعان گاز میشوند) و یا بوسیله نیروهای بسیار قوی (مانند پیوند شیمیایی که بین جاذب و ماده جذب شونده ایجاد میشود) صورت میپذیرد و لذا بر اساس نوع پیوند بین جاذب و ماده جذب شونده فرآیند جذب سطحی به دو قسمت تقسیم میشود.

۱-۹-۳-۱- جذب سطحی فیزیکی

در جذب سطحی فیزیکی مولکولهای موجود در سیال در اثر حضور دو نوع نیرو بر روی جاذب جذب میشوند

۱- نوع اول این نیروها شامل نیروهای پراکندگی^۲ و دافعه^۳ می‌باشند. که به این نیروها به اصطلاح، نیروهای لاندن و واندروالسی گفته میشود

۲- نوع دوم این نیروها نیروهای الکترواستاتیک^۴ و یا کولنی^۵ می‌باشند، که در اثر حضور دو قطبی‌های الکتریکی و یا بارهای الکتریکی خاص در مولکولهای سطح جاذب ایجاد می‌گردند.

نیروهای پراکندگی همواره بین دو اتم یا دو مولکول موجود می‌باشند. این دو اتم یا دو مولکول می‌تواند دو مولکول ماده جذب شونده، یک مولکول جاذب و یک مولکول جذب شونده، یک

¹ Langmuir's theory

² Dispersion force

³ Repulsion force

⁴ Electrostatic forc

⁵ Columbic force

مولکول جذب شونده و یک مولکول غیر جذب شونده باشد.

در صورتی که سطح جاذب قطبی باشد و مولکول های ماده جذب شونده دارای ممانهای دو قطبی پایدار مانند مولکولهای آب و یا دارای ممان های چهار قطبی پایدار (مولکولهای نیتروژن) باشند. در این صورت پدیده جذب سطحی بسیار قویتری خواهیم داشت.

اما در صورتی که سطح جاذب دارای مولکول قطبی یا ماده جذب شونده دارای ممان های قطبی پایدار نباشد، تنها راه بوجود آورنده انتقال جرم و تعادل از طریق نیروهای پراکندگی حاصل خواهد شد. در مجموع پدیده جذب سطحی فیزیکی فرآیند برگشت پذیر است که به دلیل نیروهای ضعیف یا واندروالسی که بین ماده جذب شونده وجاذب وجود دارد، ماده جذب شونده در شبکه کریستالی جاذب نفوذ نمیکند بلکه در سطوح متخلخل^۱ ماده جاذب جذب میشود.

۱-۹-۳-۲- جذب سطحی شیمیایی

در جذب سطحی شیمیایی نیروهایی که بین مولکولها ایجاد میشود بسیار قوی تر از جذب سطحی فیزیکی است، انرژی هم که در طی این فرآیند آزاد میشود در حد یک واکنش شیمیایی می باشد. این فرآیندها به صورت برگشت ناپذیر می باشند که با تغییر شیمیایی در طی فرآیند جداسازی انجام میگیرند. ماده جذب شونده و یا جاذب به حالت اولیه خود باز نمیگردند. همانند جداسازی اکسیژن از زغال چوب که با گرفتن انرژی گرمایی به جای اکسیژن دی اکسید کربن آزاد میکند. با وجود اینکه سرعت جذب سطحی شیمیایی از جذب سطحی فیزیکی بسیار بیشتر می باشد اما بسیاری از فرآیندهای جذب سطحی که در صنعت انجام می گیرد به صورت جذب سطحی فیزیکی می باشند.

¹ Porous

۱-۹-۳- تفاوت‌های جذب سطحی شیمیایی و جذب سطحی فیزیکی

تفاوت های بین جذب سطحی شیمیایی و فیزیکی عبارتند از:

۱- در جذب سطحی فیزیکی نیروهای ضعیف واندروالس باعث جذب می شوند ولی در جذب

سطحی شیمیایی، پیوندهای شیمیایی موجب انجام عمل جذب می شوند.

۲- آنتالپی جذب سطحی فیزیکی کمتر از آنتالپی جذب سطحی شیمیایی است.

۳- جذب سطحی فیزیکی در پایین تر از نقطه ی جوش جذب شونده اتفاق می افتد ولی در

جذب سطحی شیمیایی، جذب در دماهای بالاتر نیز می تواند اتفاق افتد.

۴- در جذب سطحی فیزیکی با افزایش فشار جسم جذب شونده مقدار جذب در واحد سطح

افزایش می یابد ولی در جذب سطحی شیمیایی با افزایش فشار جسم جذب شونده، مقدار

جذب در واحد سطح کاهش می یابد.

۵- جذب سطحی فیزیکی به صورت چندلایه صورت می گیرد ولی جذب سطحی شیمیایی

حداکثر به یک لایه منتهی می شود.

۱-۹-۴- مراحل مختلف فرآیند جذب سطحی

اغلب اوقات فرض میشود، فرآیند جذب سطحی با افزایش غلظت ماده جذب شونده در سه مرحله

بوقوع میپیوندد. اولین مرحله، جذب تک لایه مولکولی^۱ بر روی سطح جاذب میباشد. امکان دارد این

تک لایه بر اساس جذب فیزیکی و یا جذب شیمیایی رخ داده باشد. با افزایش غلظت ماده جذب

شونده در فاز سیال تعداد لایه‌های مولکولی بر روی سطح جاذب افزایش می‌یابد که بر طبق جذب

فیزیکی، این لایه ها روی یکدیگر قرار می گیرند.

¹ Monomolecular layer

در مرحله سوم جذب سطحی، پدیده مویینگی مایعات اتفاق میافتد. یعنی در ابتدا گاز، در حفرها میعان پیدا کرده و سپس توسط خاصیت مویینگی جذب حفرهای باریک در داخل جاذب میگردد. این پدیده تا زمانی ادامه پیدا میکند که فشار جزء جذب شونده با فشار بخار آن در داخل کانالهای جاذب برابر شود. تمامی این سه مرحله خیلی سریع اتفاق میافتد. با این وجود یکی از دلایل ضمنی وجود این مکانیسم برای جذب، بالا بودن غلظت ماده جذب شده در سطوح خارجی نسبت به سطوح داخلی میباشد.

۱-۹-۴-۱- عوامل موثر بر قدرت جذب

۱-۹-۴-۱-۱- سطح تماس

با افزایش سطح تماس مقدار جذب افزایش می یابد ، بهترین جذب کننده ها موادی هستند که ذرات ریز تری داشته باشند و به عبارت دیگر سطح تماس بیشتر داشته باشند. از میان مهمترین جذب کننده ها می توان ژل ، سیلیس ، کربن اکتیو را نام برد.

۱-۹-۴-۲- غلظت

مقدار ماده جذب شده برای واحد جرم جذب کننده تابعی از غلظت ماده حل شده می باشد. بررسی این دو کمیت در دمای ثابت منجر به بدست آوردن کمیت ایزوترم جذب سطحی می شود. این ایزوترم ها توسط افراد مختلفی بررسی شده است که به اختصار در فصل بعد توضیح داده میشود.

۱-۹-۴-۳- دما

افزایش دما اصولا باعث کاهش جذب سطحی می شود مگر در مواردی که جذب سطحی همراه با

واکنش شیمیایی باشد.

۱-۹-۴-۱- نوع ماده جذب شده و جاذب

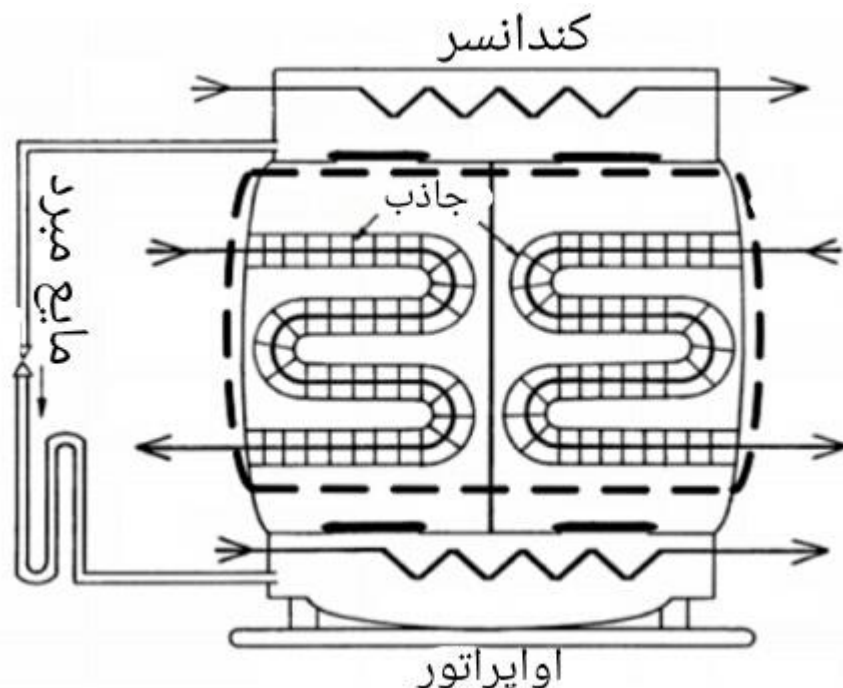
نوع ماده جذب شده و جاذب در جذب سطحی تاثیرگذار است به طوری که بعضی از مواد جاذب قدرت جذب زیاد نسبت به ماده حل شده به خصوصی از خود نشان می دهد، در حالی که نسبت به ماده دیگر قدرت جذب کمتری دارند.

۱-۹-۴-۱-۵- حالت ماده جذب شده و جاذب

حالت ماده جذب شده و جاذب، همراه بودن آن با واکنش شیمیایی، برگشت پذیر بودن و یا برگشت ناپذیر بودن واکنش آنها نیز در جذب سطحی تاثیرگذار است.

۱-۹-۵- سیکل ترمودینامیکی فرآیند جذب سطحی

سیستم تبرید جذب سطحی از چهار قسمت عمده تشکیل شده است (۱) کمپرسور حرارتی، کندانسور، شیر انبساط و اواپراتور. کمپرسور حرارتی از دو قسمت تشکیل شده است (شکل زیر) که به هرکدام از این دو قسمت جذب گفته میشود. بستر ماده جاذب از مواد جاذب (زئولیت، سیلیکاژل، کربن اکتیو) پر شده است. مواد جاذب، مواد متخلخل جامدی هستند که این توانایی را دارند که برخی سیالات را جذب و یا از خود دفع (احیا) کنند. به این ترتیب که با گرم شدن سیال اطراف، شروع به احیای آن میکنند و با سرد شدن سیال، آن را جذب میکنند.



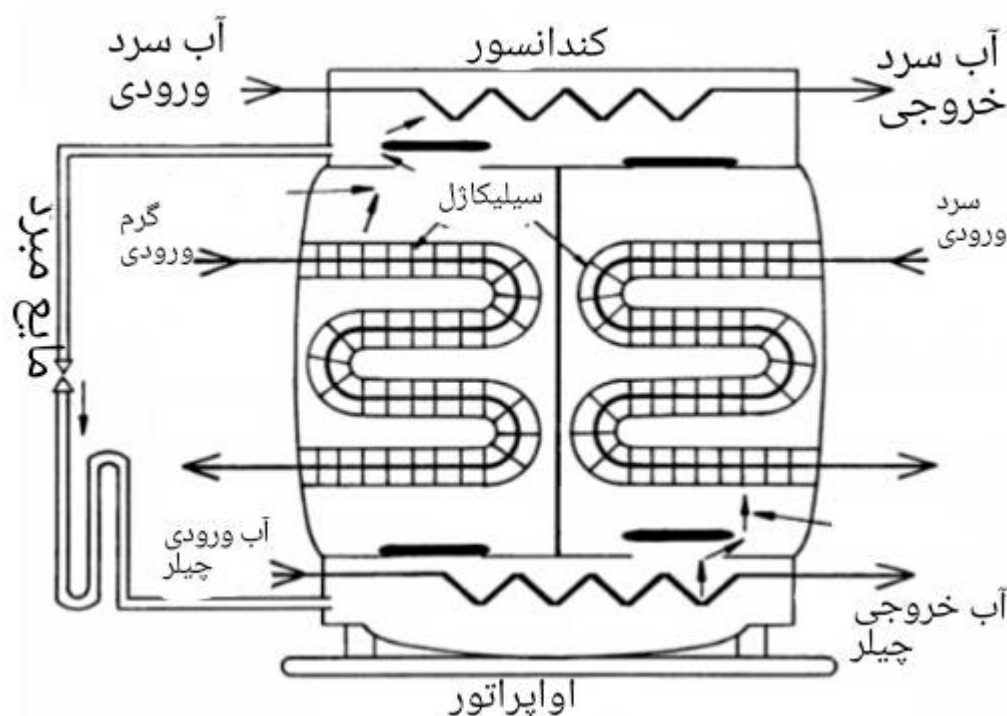
شکل (۱-۳) شمایی از سیستم تبرید جذب سطحی

شکل بالا شمایی از یک سیستم تبرید جذب سطحی را نشان می‌دهد که در آن از سیلیکاژل به عنوان ماده جاذب استفاده شده است. با فرستادن آب گرم به بستر سمت چپ، عمل احیا آغاز می‌شود و دانه‌های سیلیکاژل موجود در این بستر، شروع به احیای سیال عامل می‌کنند. سیال عامل پس از خروج از محفظه‌ی مواد جاذب، وارد کندانسور می‌شود و در آنجا متراکم شده، به مایع تبدیل می‌گردد. در ادامه، سیال عامل به شیر انبساط می‌رسد و پس از طی یک فرآیند اختناقی، فشار آن کاهش یافته و وارد اوپراتور می‌گردد. در همین شرایط، با فرستادن آب خنک به بستر سمت راست، دانه‌های سیلیکاژل موجود در این بستر سیال عامل را جذب می‌کنند. به این ترتیب با جذب سیال عامل در بستر سمت راست، خلاء در اوپراتور ایجاد می‌شود و به سبب این خلاء، سیال عامل در اوپراتور تبخیر می‌گردد. گرمای نهان این تبخیر، از آب عبور کننده از اوپراتور^۱ تأمین شده و این آب را سرد می‌کند.

این مرحله از سیکل تا زمانی ادامه دارد که مواد جاذب موجود در بستر سمت چپ نسبتاً در سیال

^۱ Chilled wate

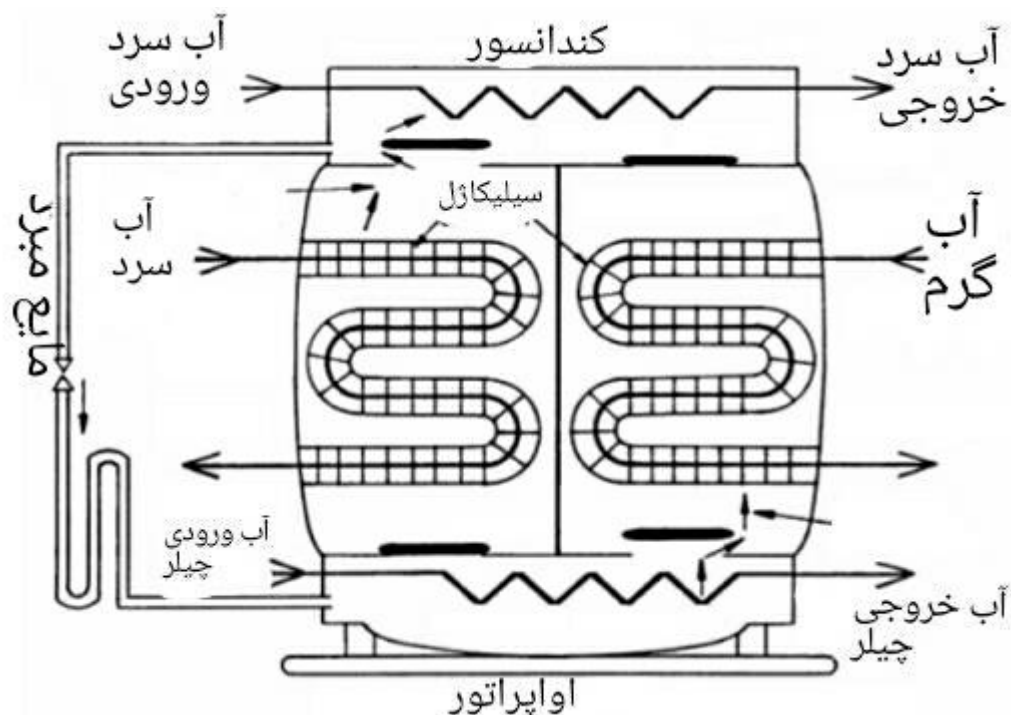
عامل خالی می‌گردند و مواد جاذب موجود در بستر سمت راست، نسبتاً از سیال عامل پر شوند. در این شرایط، مواد جاذب موجود در بستر سمت راست، توانایی چندانی برای جذب سیال عامل نخواهند داشت و لذا تبرید صورت نخواهد گرفت.



شکل (۴-۱)

احیای سیال عامل در بستر سمت چپ و جذب سیال عامل در سمت راست [۱]

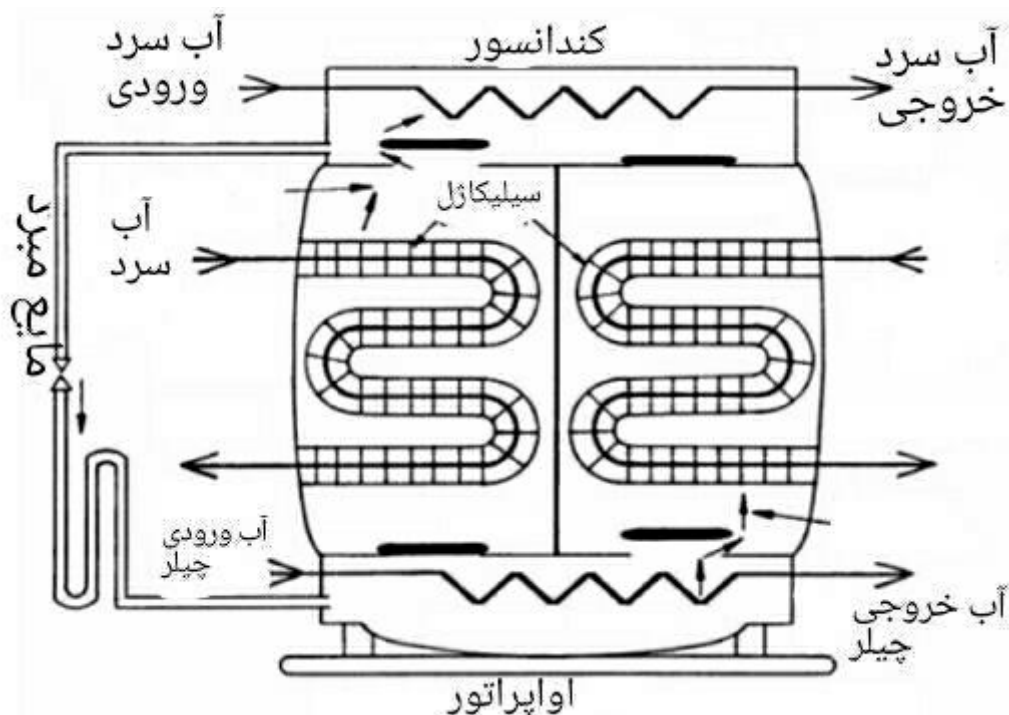
در چنین شرایطی کافی است بستر سمت راست به کندانسور متصل شود و با فرستادن آب گرم به آن، سیال عامل موجود در مواد جاذب آن احیا شده، به کندانسور رود؛ و بستر سمت چپ به اوپراتور متصل شده و با فرستادن آب خنک به آن، سیال عامل را از اوپراتور جذب کند. اما قبل از این، بایستی فشار بسته سمت چپ که برابر با فشار کندانسور است، تا فشار اوپراتور کاهش پیدا کند و فشار بستر سمت راست که برابر با فشار اوپراتور است، تا فشار کندانسور افزایش یابد. به این منظور، شیرهایی که در شکل بالا باز می‌باشند، بسته شده و آب خنک به بستر سمت چپ و آب گرم به بسته سمت راست فرستاده می‌شود (شکل زیر).



شکل (۵-۱)

بسته شدن شیرهای بسترها و کاهش فشار بستر سمت چپ و افزایش فشار بستر سمت راست.

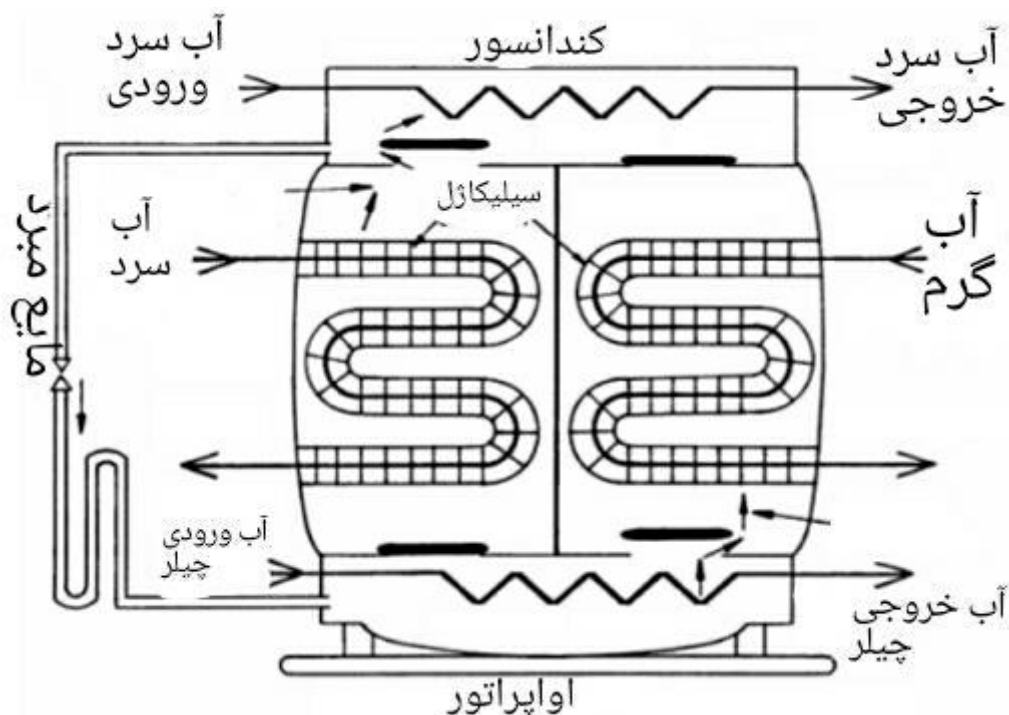
به این ترتیب بستر سمت چپ با جذب مقدار اندکی سیال عامل که در فضای محفظه سمت چپ قرار دارد، فشار محفظه‌اش را تا فشار اوپراتور کاهش می‌دهد و بستر سمت راست با احیای مقدار کمی سیال عامل موجود در درون خود، فشار محفظه سمت راست را تا فشار کندانسور افزایش می‌دهد. اکنون می‌توان شیر محفظه سمت چپ را به اوپراتور و شیر محفظه سمت راست را به کندانسور باز نمود (شکل زیر).



شکل (۱-۶)

احیای سیال عامل در بستر سمت راست و جذب سیال عامل در بستر سمت چپ.

بنابراین با ادامه فرستادن آب گرم به بستر سمت راست، مواد جاذب موجود در این بستر که از سیال عامل پر شده‌اند، سیال عامل را به سمت کندانسور احیا خواهند نمود؛ و با ادامه دادن فرستادن آب خنک به بستر سمت چپ، مواد جاذب موجود در این بستر که خالی از سیال عامل می‌باشند. سیال عامل را از اوپراتور جذب می‌کنند تا به این ترتیب تبرید صورت گیرد. مجدداً با گذشت زمان و خالی شدن مواد جاذب بستر سمت راست و پر شدن مواد جاذب بستر سمت چپ از سیال عامل تمامی شیرها بسته شده و آب گرم و سرد فرستاده شده به بسترها تعویض می‌شوند تا دو بستر برای ایفای نقش جدید خود آماده گردند (شکل زیر).



شکل (۷-۱)

بسته شدن شیرهای بسترها و کاهش فشار بستر سمت راست و افزایش فشار بستر سمت چپ.

بنابراین با افزایش فشار بستر سمت چپ تا فشار کندانسور و کاهش فشار بستر سمت راست تا فشار اوپراتور، شیرهای این دو بستر به کندانسور و اوپراتور باز می گردند و مرحله ی جدید آغاز می شود (۴-۱). به این ترتیب سیکل به اتمام می رسد. همانطور که ملاحظه می شود، به طور کلی این سیکل با پنج سیال مختلف سروکار دارد:

۱- سیال عامل که در میان بسترها، کندانسور، شیرانبساط و اوپراتور به گردش در می آید که آن را

سیال جاذب شونده نیز می نامیم.

۲- سیالی که بسترها را گرم می کند.

۳- سیالی که بسترها را سرد می کند. که این دو سیال به ترتیب، سیال حرارتی^۱ گرم و سرد نامیده

می شوند.

^۱ Thermal fluid

۴- سیالی که سیال حامل را در کندانسور خنک کرده و آن را به مایع تبدیل می کند (سیال خنک-

کننده)،

۵- سیالی که در اواپراتور حرکت می کند و با تأمین گرمای نهان تبخیر سیال عامل در اواپراتور،

خنک می گردد (سیال خنک کننده).

باید توجه داشت که فرستادن متناوب آب سرد و گرم به بسترها به کمک تعدادی شیر انجام می-

گیرد. شکل زیر شمایی از یک سیستم تبرید جذب سطحی را به همراه شیرهای به کار گرفته شده در آن،

در شرایطی که بستر سمت چپ به کندانسور و بستر سمت راست به اواپراتور متصل است، نشان می-

دهد. شیرهای سفیدرنگ باز و شیرهای سیاه رنگ بسته می باشند. به کمک باز و بسته کردن این شیرها

می توان اتصال بسترها به کندانسور و اواپراتور، و فرستادن سیال حرارتی گرم و سرد به آنها را کنترل

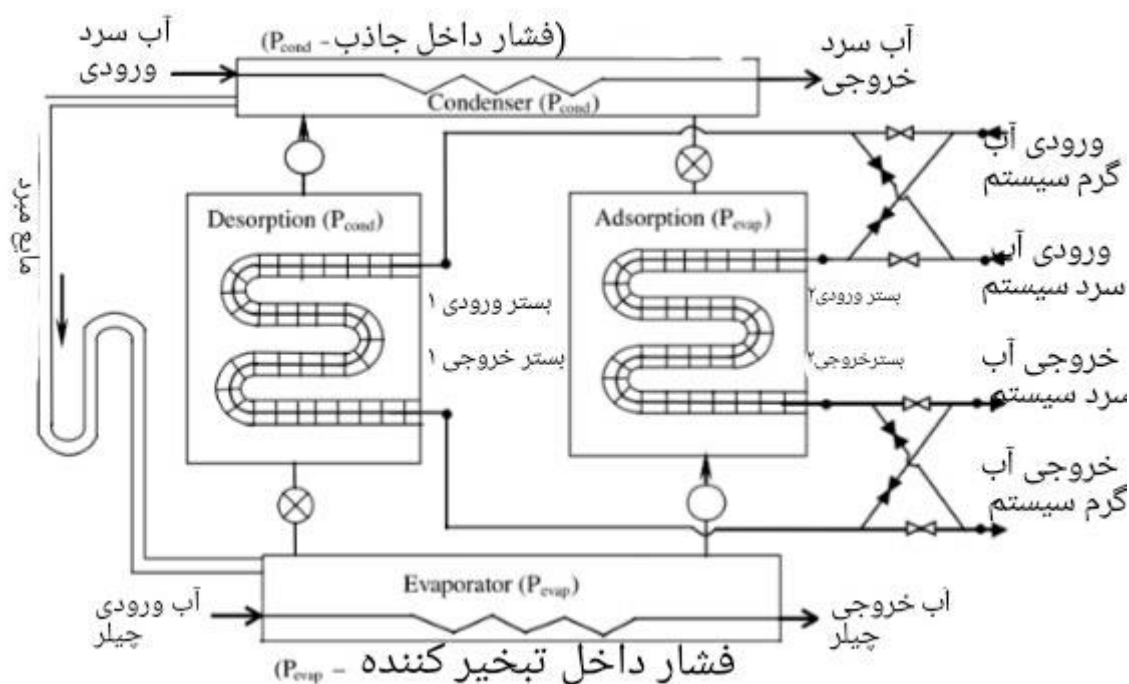
کرد. این شیرها که شیرهای برقی^۱ می باشند، به کمک ابزارهایی مانند میکروکنترلر^۲ و یا کنترل کننده های

برنامه ریز منطقی^۳، در زمان مورد نظر باز و بسته می شوند.

¹ Electrical valve

² Micro controller

³ Programmable Logic Controller (PLC)



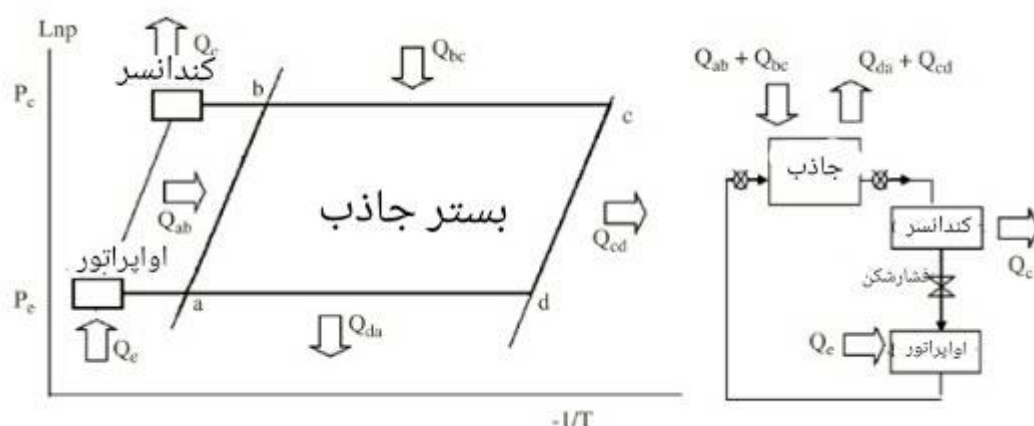
شکل (۸-۱) فرستادن سیال حرارتی گرم و سرد به بسترها به کمک تعدادی شیر (شیرهای سفید، باز- شیرهای سیاه، بسته) (۲)

لازم به ذکر است که تنها انرژی الکتریکی که در این مجموعه مصرف می‌شود، انرژی الکتریکی مصرف شده در شیرهای برقی و انرژی مصرف شده در پمپ‌ها برای به گردش در آوردن سیال حرارتی، سیال خنک‌کننده (در صورتی که کندانسور، هوایی نباشد) و سیال خنک شده می‌باشد که در مورد انتهایی به طور مشابه در سیکل تبرید تراکمی نیز مصرف می‌شود. بنابراین نمی‌توان سیستم تبرید جذب سطحی را کاملاً بی‌نیاز از انرژی الکتریکی دانست اما باید توجه داشت که این انرژی الکتریکی در مقابل انرژی-ای که در کمپرسور سیستم تبرید تراکمی استفاده می‌شود بسیار ناچیز بوده و به همین سبب سیستم تبرید جذب سطحی، سیستم جایگزین مناسبی برای سیستم تبرید تراکمی در جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی می‌باشد.

در بخش سمت راست شکل زیر، شمایی از یک سیکل تبرید جذب سطحی نشان داده شده است

که در آن تنها از یک بستر ماده جاذب استفاده شده است. بستر ماده جاذب در یک سیکل، از چهار

مرحله عبور می‌کند.



شکل (۹-۱) شمایی از یک سیستم تبرید جذب سطحی با یک بستر ماده جاذب (سمت راست) و سیکل ترمودینامیکی بستر ماده جاذب (سمت چپ) (۱۳).

(a-b) گرمایش جرم ثابت^۱، (b-c) احیای فشار ثابت^۲ که به آن گرمایش فشار ثابت^۳ نیز گفته می‌-

شود، (c-d) سرمایش جرم ثابت^۴، (d-a) جذب سطحی فشار ثابت^۵ که به آن سرمایش فشار ثابت^۶ نیز اطلاق می‌شود.

در مرحله گرمایش جرم ثابت (a-b)، شیرهایی که بستر مواد جاذب را به کندانسور و واپراتور

متصل می‌کنند، بسته می‌باشند. به این ترتیب مقدار کلی جرم سیال عامل در جاذب ثابت باقی می‌ماند و

این سیال تنها از فاز جذب شده به فاز بخار تبدیل می‌گردد. در این مرحله با گرم کردن بستر مواد

جاذب، دمای آن از T_a تا T_b افزایش می‌یابد و با احیای سیال عامل، فشار بستر از فشار واپراتور تا فشار کندانسور افزایش می‌یابد.

در مرحله احیای فشار ثابت (b-c)، در حالیکه شیر بین بستر و کندانسور باز شده است، گرم

¹ Isothermal heating
² Isothermal desorption
³ Isothermal heating
⁴ Isothermal cooling
⁵ Isothermal adsorption
⁶ Isothermal cooling

کردن بستر ادامه می‌یابد. فرآیند احیا به طور گسترده، آغاز می‌شود و بخار احیا شده‌ی بستر (سیال عامل)، در کندانسور متراکم شده، به فاز مایع تبدیل می‌شود. در این مرحله فشار در بستر ثابت می‌ماند و دمای آن از T_b تا T_c افزایش می‌یابد. به این ترتیب مواد جاذب در انتهای این مرحله، خالی از سیال جذب شونده شده‌اند. لازم به ذکر است که احیا فرآیندی گرماگیر است. بنابراین بخشی از حرارت داده شده به بستر در این مرحله صرف تأمین این انرژی خواهد شد.

در این مرحله سرمایش جرم ثابت (c-d)، شیر بین کندانسور و بستر بسته می‌شود و دمای بستر از T_c ، که بیشترین دمای سیکل است، تا T_d کاهش می‌یابد. در این مرحله نیز همانند مرحله گرمایش جرم ثابت، مقدار کل جرم ماده جذب شونده در بستر ثابت باقی می‌ماند. در طول این مرحله فشار بستر از فشار کندانسور تا فشار اواپراتور کاهش می‌یابد. پس از رسیدن فشار بستر به فشار اواپراتور، شیر بین بستر و اواپراتور باز می‌شود تا مرحله جذب سطحی فشار ثابت (d-a) آغاز گردد. در این مرحله مواد جاذب که خالی از سیال عامل می‌باشند، به علت کاهش دمایشان، فرآیند جذب را شروع می‌کنند. به این ترتیب به علت خلاء ناشی از مکش سیال عامل توسط مواد جاذب، سیال عامل در اواپراتور تبخیر شده و تبرید صورت می‌گیرد. در حین جذب سیال عامل در مواد جاذب، مقداری گرما آزاد می‌شود که به آن گرمای جذب می‌گویند. گرمای جذب میزان انرژی آزاد شده در واحد جرم سیال جذب شده^۱ می‌باشد. این گرمای تولید شده به کمک سرد کردن بستر، خارج شده و دمای بستر تا T_a کاهش می‌یابد.

پس از پر شدن مواد جاذب از سیال عامل، شیر اتصال بین بستر و اواپراتور بسته شده تا به شروع مرحله‌ی گرمایش جرم ثابت، سیکل از سر گرفته شود.

عملکرد این سیستم به کمک سه پارامتر ضریب عملکرد^۲ (COP)، توان تبرید کلی^۳ (TCP) و

¹ Adsorbed liquid

² Coefficient of performance

³ Total cooling power

توان تبرید مخصوص^۱ (SCP) معین می‌شود (شکل ۱-۹).

$$COP = \frac{Q_e}{Q_{ab} + Q_{bc}} \quad (۵-۱)$$

$$TCP = \frac{Q_e}{t_{cycle}} \quad (۶-۱)$$

$$SCP = \frac{Q_e}{m \times t_{cycle}} \quad (۷-۱)$$

در معادله (۱-۳) مقدار جرم ماده جاذب استفاده شده در بستر است. هرچند در برخی مطالعات به

صورت جرم کلی بستر (شامل جرم مواد جاذب، جرم مبدل حرارتی، جرم سیال حرارتی^۲ و جرم محفظه بستر) نیز در نظر گرفته شده است (۱۳)

۱۰-۱- مزایا و معایب سیستم تبرید جذب سطحی

در شرایطی که دنیا با بحران انرژی رو به راه است و منابع طبیعی انرژی رو به اتمام است، استفاده

از روش‌های نوین برای به کارگیری انرژی‌های نو بخش عمده‌ای از مطالعات بشر را به خود اختصاص داده است. تبرید جذب سطحی یکی از این روش‌ها در راستای ایجاد سرمایش است.

استفاده از انرژی حرارتی به جای انرژی الکتریکی مهمترین مزیت سیستم تبرید جذب سطحی بر

تبرید تراکمی است. این انرژی حرارتی را می‌توان از منابع انرژی رایگان نظیر انرژی خورشیدی^(۲) و

منابع زمین گرمایی^۳ و همچنین منابع غیر قابل بازیابی نظیر انرژی تلف شده در موتورهای (۲،۳)، کوره‌ها

و ... تأمین نمود.

^۱ Specific cooling power

^۲ Thermal fluid

^۳ Geothermal sources

۱-۱۰-۱- مزایای تبرید جذب سطحی

در این بخش مزایای سیستم تبرید جذبی در مقایسه با تبرید جذبی حجمی بیان میشود. بسته به مواد جاذب و سیال عامل (جفت کاری)^۱ موارد استفاده، در تبرید جذب سطحی می توان از منابع حرارتی با دامنه وسیعی از دماها استفاده کرد.

منابع حرارتی با دمای ۵۰ درجه سانتی گراد در برخی سیستم های تبرید جذب سطحی قابل استفاده می باشند. اما در تبرید جذب حجمی حتی اگر سیکل دو مرحله ای استفاده شود، منبع حرارتی باید لااقل دمای ۷۰ درجه سانتی گراد داشته باشد. منابع حرارتی با دمای حدود ۵۰۰ درجه سانتی گراد می توانند مستقیماً در برخی سیکل های تبرید جذب سطحی بدون ایجاد هیچ گونه خوردگی استفاده شوند در حالیکه در سیستم های جذب حجمی خوردگی در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد ایجاد خواهد شد (۲).

سیستم های تبرید جذب سطحی در شرایطی که ارتعاشات زیادی وجود دارد مانند قایق های ماهیگیری و لوکوموتیوها مناسب هستند. اما سیستم های جذب حجمی به علت مایع بودن جاذب، در این شرایط با مشکلاتی مواجه می باشند. مثلاً سیال جذب کننده ممکن است از قسمت جاذب به اواپراتور و یا از تولید کننده به کندانسور جریان یابد (۱۹). سیستم های جذب سطحی ساده تر از جذب حجمی هستند. مثلاً در سیستم آب و آمونیاک به خاطر نزدیک بودن نقطه جوش آب و آمونیاک بایستی از تجهیزات جداکننده استفاده شود (۱۹).

عمر مفید سیستم های جذب سطحی بیشتر از سیستم های جذب حجمی است. همچنین ماده جاذب در جذب حجمی، حدود ۴ تا ۵ سال یکبار بایستی تعویض گردد در حالیکه در سیستم جذب سطحی،

¹ Working pair

ماده جاذب می‌تواند سال‌های زیادی مورد استفاده قرار گیرد و از آنجایی که قطعات متحرکی ندارد و یا در سیکل‌های پیشرفته قطعات متحرک سیار کمی دارد، نیاز به تعمیر و نگهداری بسیار کمی خواهد داشت (۱۹).

۱-۱۰-۲- معایب سیستم تبرید جاذب سطحی

با این وجود تبرید جاذب سطحی نیز همانند هر سیستم دیگر خالی از اشکال نمی‌باشد. کم بودن ضریب عملکرد، وجود خلاء در اکثر این سیستم‌ها و حجیم و سنگین بودن آنها از مهمترین معایب سیستم‌های تبرید جاذب سطحی به شمار می‌رود (۱۳).

فصل ۲:

مروری بر مقالات

۲-۱- مقدمه

اولین چیلر جذبی خورشیدی در سال ۱۹۷۴ توسط شرکت یازاکی ژاپن طراحی شده است و از آن سال استفاده از این نوع چیلرها جذبی گسترش زیادی یافته است (۲).

۲-۲- مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۲-۱- دسته بندی تحقیقات

مطالعات انجام شده در مورد سیستم‌های تبرید جذب سطحی را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود (۱۳): ۱- ایجاد تغییراتی در سیکل اصلی به منظور بهبود عملکرد سیستم، کارکردن سیکل با منبع حرارتی با دمای پایین‌تر و به دست آوردن سرمایش یا گرمایش یکنواخت. ۲- استفاده از جفت جاذب و جذب شونده جدید و یا بهبود خواص جفت‌های موجود به منظور افزایش ظرفیت جذب، افزایش سرعت جذب، بهبود عملکرد سیستم و کار کردن سیکل با منبع حرارتی محرک با دمای پایین‌تر. ۳- طراحی بسته مواد جاذب برای بهبود انتقال جرم و انتقال حرارت.

۲-۲-۱-۱- تحقیقات گذشته بر روی ایجاد تغییر در سیکل

به طور کلی به منظور یکنواخت کردن فرآیند سرمایش، تعداد بسترها افزایش داده می‌شود (۳۱). عمل تبرید تنها در شرایطی صورت می‌گیرد که بستری به اواپراتور متصل باشد. به همین سبب سیال خنک شده ورودی به اواپراتور تنها در چنین مرحله‌ای سرد می‌شود و در مرحله‌ای که شیر بستر به اواپراتور بسته می‌باشد، سیال خنک شده ورودی به اواپراتور، تقریباً بدون تغییر دما، از آن خارج می‌شود. به این ترتیب دمای سیال خنک شده خروجی از اواپراتور با نوسان همراه خواهد بود. یکی از ساده‌ترین

راه‌ها برای کاهش این نوسانات، استفاده از چند بستر است که با اختلاف فاز با یکدیگر کار می‌کنند. تا در تمامی زمان‌ها لااقل یک بستر به اوپراتور متصل باشد.

از جمله تغییرات دیگری که می‌توان در سیکل‌هایی که دارای دو بستر یا بیشتر هستند ایجاد کرد، استفاده از بازیابی حرارت (۱) و بازیابی جرم (۲) است. بازیابی حرارت^۱ موجب افزایش ضریب عملکرد و بازیابی جرم^۲ موجب افزایش توان تبرید مخصوص و ضریب عملکرد می‌شود (۲).

از راه‌های دیگر برای افزایش ضریب عملکرد استفاده از ترکیب دو یا چند سیکل است (۱۳ و ۲). روش دیگر برای افزایش ضریب عملکرد و یکنواخت کردن تبرید، استفاده از فرآیند موج حرارتی^۳ و چند مرحله‌ای کردن سیکل است (۲ و ۳). در دانشگاه جیا اُ تانگ شانگهای^۴ نمونه جدیدی از چیلرهای جذب سطحی ساخته شده است که در آن از لوله‌های حرارتی^۵ استفاده گردیده است (۲-۵). وانگ^۶ (۶) تأثیر استفاده از لوله‌های حرارتی را به این سیستم‌ها بررسی کرده است.

۲-۱-۲-۲- تحقیقات گذشته بر روی جفت جاذب و جذب شونده

جذب سطحی پدیده‌ای است که بر اثر انباشته شدن مولکول‌های یک سیال بر روی سطح یک جامد به وجود می‌آید. به این ترتیب که مولکول‌های سیال تشکیل یک فیلم را بر روی سطح جامد می‌دهند. جذب سطحی همانند کشش سطحی به علت زیاد بودن سطح انرژی در سطح آزاد جامد به وجود می‌آید. در قسمت داخلی مواد، تمامی اتم‌ها، با اتم‌های مجاور پیوند (یونی، کووالانسی یا فلزی) برقرار کرده‌اند و به این ترتیب ظرفیت آنها برای برقراری پیوند مجدد پر شده است و به پایین‌ترین سطح انرژی خود

¹ Heat recovery

² Mass recovery

³ Thermal wave process

⁴ Shanghai Jiao Tong University

⁵ Heat pipe

⁶ Wang

رسیده‌اند. اما در سطح آزاد یک جامد، از آنجایی که اتم‌ها از یک طرف با سایر اتم‌های ماده پیوند برقرار نکرده‌اند، با کاستی پیوند مواجه‌اند و برای کاهش سطح انرژی متمایل‌اند که پیوند برقرار کنند. در چنین شرایطی اگر این سطح آزاد در مجاورت برخی سیالات قرار گیرد، مولکول‌های این سطح با برقراری پیوند با مولکول‌های سیال، انرژی آزاد می‌کنند و سطح انرژی خود را پایین می‌آورند (شکل زیر). برقراری این پیوند، جذب سطحی^۱ نامیده می‌شود و انرژی آزاد شده در اثر برقراری این پیوند، گرمای جذب نامیده می‌شود. جزئیات شرایط برقراری پیوند را می‌توان در مرجع (۷) یافت.



شکل (۱-۲) شمایی از پدیده جذب سطحی میان سطح جامد و سیال.

مولکول‌هایی که بر روی سطح جامد جذب شده‌اند، در فاز جذب شده^۲ قرار دارند. فاز جذب شده شباهت بسیاری به فاز مایع دارد؛ چگالی آن از چگالی گاز بسیار بیشتر است؛ با گرم کردن آن و همچنین کاهش فشار گاز در مجاورت سطح آزاد، پیوند میان مولکول‌های سطح جامد و مولکول‌های فاز جذب شده شکسته می‌شود و مولکول‌های سیال، احیا - که مشابه فرآیند تبخیر می‌باشد - می‌شوند. با سرمایش فاز جذب شده و همچنین افزایش فشار گاز، جذب سطحی - که مشابه میعان است - اتفاق می‌افتد. اما با

¹ Adsorption

² Adsorbed phase

وجود این شباهت‌ها میان فاز جذب شده و فاز مایع، فاز جذب شده را نمی‌توان مایع دانست. چراکه در مایع، پیوند میان مولکول‌های یکسان گاز برقرار می‌شود و در فاز جذب شده، پیوند میان مولکول‌های گاز و مولکول‌های جامد به وجود می‌آید. هرچند معمولاً برای ساده سازی در مدل‌سازی‌ها فاز جذب شده به صورت فاز مایع در نظر گرفته می‌شود. معمولاً برای افزایش سطح آزاد ماده جاذب و افزایش ظرفیت جذب، مواد جاذب به صورت متخلخل ساخته می‌شوند به طور کلی پدیده جذب سطحی را می‌توان به دو دسته جذب سطحی فیزیکی و جذب سطحی شیمیایی تقسیم کرد.

جذب سطحی فیزیکی بر اثر نیروهای واندوالس بین مولکول‌های جاذب و جذب شونده، به وجود می‌آید و لایه‌های متوالی از سیال جذب شونده می‌تواند توسط جاذب جذب شوند. رایج‌ترین جاذب‌های فیزیکی برای تبرید جذب سطحی کربن اکتیو و کربن اکتیو فیبری، سیلیکاژل، و زئولیت هستند. جذب سطحی شیمیایی در اثر انجام واکنش بین مولکول‌های جذب شونده و مولکول‌های سطح آزاد جاذب اتفاق می‌افتد. در این نوع جذب سطحی غالباً تبادل الکترون و برقراری و از بین رفتن پیوندهای شیمیایی رخ می‌دهد. به این ترتیب مولکول‌های ماده جاذب و جذب شونده به هیچ وجه به شرایط قبل از جذب خود باز نمی‌گردند. در این پدیده تنها یک لایه از سیال جذب شونده با ماده جاذب واکنش برقرار می‌کند. کلرید فلزات، هیدرید فلزات و نمک‌ها، و اکسید فلزات از معروفترین جاذب‌های شیمیایی می‌باشند. جاذب‌های مرکب از ترکیب جاذب‌های شیمیایی با یک ماده متخلخل - که می‌تواند یک جاذب فیزیکی باشد یا نباشد - به وجود می‌آیند. هدف از تولید این نوع جاذب‌ها بهبود انتقال جرم و حرارت در جاذب -

های شیمیایی و افزایش ظرفیت جذب جاذب‌های فیزیکی است (**Error! Bookmark not defined.**).

نقاط مثبت یک ماده جاذب را می‌توان به صورت زیر برشمرد (**Error! Bookmark not**

:(defined.

داشتن ظرفیت جذب و احیای بالا به منظور افزایش ظرفیت تبرید.

داشتن ضریب هدایت حرارتی بالا و ظرفیت گرمایی پایین به منظور کاهش مدت زمان سیکل،

قیمت ارزان و در دسترس بودن.

نقاط مثبت یک سیال جذب شونده را نیز می‌توان به این صورت بیان نمود (**Error!**

Bookmark not defined. و **Error! Bookmark not defined.**:

داشتن گرمای نهان بالا

داشتن جرم مولکولی و اندازه مولکولی کم برای جذب راحت‌تر

داشتن ضریب هدایت حرارتی بالا و ظرفیت گرمایی پایین‌تر

داشتن لزجت کمتر

سمی نبودن، اشتعال پذیر نبودن و خورنده نبودن

داشتن پایداری شیمیایی در محدوده دمای کاری

بدون ضرر بودن برای محیط

داشتن فشار اشباع بین ۱ اتمسفر تا ۵ اتمسفر.

البته در حال حاضر جفتی که تمامی این خصوصیات را داشته باشد، موجود نیست و محققان برای

بهبود خواص جفت‌های موجود در تلاش هستند. خلاصه‌ای از نتایج کارهای محققان بر روی جفت‌های

فیزیکی رایج را می‌توان در مرجع (**Error! Bookmark not defined.**) یافت. در اینجا به

خصوصیات تعدادی جفت‌های فیزیکی رایج اشاره می‌شود (**Error! Bookmark not**

:(defined.

۲-۲-۱-۲-۲- کرین اکتیو و آمونیاک

۲-۲-۱-۲-۳- سیلیکاژل و آب

گرمای جذب نسبت به دو جفت قبلی کمی بالاتر است. اما می‌توان از منابع حرارت با دمای پایین حتی تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد نیز استفاده کرد. معایب آن، پایین بودن فشار کاری، درصد جذب کم و عدم تولید دماهای زیر صفر درجه می‌باشد.

۲-۲-۱-۴- زئولیت و آب

گرمای جذب نسبتاً بالا است. این جفت تنها در دماهای کاری بالا (بیشتر از ۲۰۰ درجه سانتی گراد) به کار می آید. معایب این جفت تا حدودی شبیه معایب جفت سیلیکاژل و آب است. امکان تولید دماهای زیر صفر درجه سانتی گراد نیست، به علت گرمای جذب بالا و دمای احیای بالا، برای به دست آمدن توان یکسان مدت زمان سیکل زیاد است. فشار کاری پایین است و در نتیجه انتقال جرم در بستر نسبتاً بد است. از طرفی نگه داشتن خلاء در مدت زمان طولانی تا حدودی مشکل است. وانگ^۱ و ژو^۲ (۸) با دو مرحله ای کردن سیکل تا حدودی این مشکل را حل نموده اند.

۲-۲-۱-۳- تحقیقات گذشته بر روی طراحی بستر مواد جاذب

همانطور که در بخش قبل ملاحظه گردید، تنها قسمتی از سیستم تبرید جذب سطحی که با سیستم تبرید تراکمی متفاوت می باشد، کمپرسور حرارتی است که از دو بستر ماده جاذب تشکیل شده است. از آنجایی که پدیده های جذب سطحی و احیاء، نقش کلیدی را در بستر مواد جاذب ایفا می نمایند، بستر از تعداد زیادی دانه های متخلخل مواد جاذب تشکیل می شود. به منظور گرم و سرد کردن، مواد جاذب بر روی یک لوله قرار داده می شوند که سیال حرارتی در درون آن جریان دارد

جاذب ها به روش های مختلفی بر روی لوله قرار داده می شوند. در ساده ترین روش که روش غیر پوشش داده شده^۳ نام دارد، قسمت جاذب با ریختن مواد جاذب بر روی لوله های حرارتی و ایجاد بسته های پر شده^۴ تشکیل می شود و برای نگه داشتن مواد جاذب بر روی لوله از شبکه های فلزی^۱ استفاده

¹ Wang

² Zho

³ Uncoated type

⁴ Packed beds

می‌شود (۹). در این روش معمولاً از جاذب‌های گلوله‌ای، دانه‌ای و یا فیبری استفاده می‌شود و ماده جاذب بدون ایجاد تغییر به همان نحوی که از سازنده تحویل گرفته می‌شود، استفاده می‌شود. به این ترتیب سیال عامل می‌تواند از لابه لای دانه‌های مواد جاذب حرکت کند. برای بهبود انتقال حرارت در بستر می‌توان از پره‌های حرارتی (فین)^۲ استفاده کرد. برای بهبود انتقال جرم در بستر نیز می‌توان فضاهای خالی در بستر ایجاد کرد. لمبرت (۱۰) استفاده از ۶٪ پشم آلومینیوم^۳ در میان بستر را برای ایجاد فضای خالی و بهبود انتقال حرارت معرفی کرده است.

توضیحات مفصل‌تری راجع به تقسیم‌بندی بسترها و خواص آنها را می‌توان در مراجع (۱۱ و ۱۲) یافت. برای طراحی هرچه بهتر بستر مواد جاذب نیاز به مدل‌سازی آن است. برای دستیابی به این هدف گروهی از محققان به مدل‌سازی این بخش از سیستم پرداخته‌اند. در این میان برخی به ارائه یک مدل ترمودینامیکی بسنده کرده و در آن دمای بستر را یکنواخت^۴ فرض کرده‌اند تا به این ترتیب بتوانند تمامی اجزاء سیستم تبرید را مدل کنند (۱۳-۱۶). اما این مدل‌های کلی قادر به در نظر گرفتن جزئیات انتقال جرم و انتقال حرارت در بستر نخواهد بود.

به همین منظور بخش دیگری از محققین صرفاً بستر را مدل‌سازی کرده‌اند. در کلی‌ترین حالت می‌توان مدل‌های ارائه شده برای ناحیه متخلخل در بستر مواد جاذب را شامل سه بخش دانست. انتقال حرارت در ماده متخلخل، انتقال جرم در بین ذرات متخلخل (مقاومت برون ذره‌ای)^۵ و انتقال جرم در درون ذرات متخلخل (مقاومت درون ذره‌ای)^۶.

¹ Metallic net

² Fin

³ Aluminum wool

⁴ Lumped

⁵ Interparticle resistance

⁶ Intraparticle resistance

یانگ^۱ و سوماتی^۲ (۱۷) به کمک روش مرتبه مقادیر^۳ دو معیار کلی به دست آوردند که به کمک آنها می‌توان تعیین نمود که در چه شرایطی با تقریب خوب می‌توان مقاومت برون ذره‌ای را در نظر نگرفت و تنها به کمک مدل انتقال حرارت (و مقاومت درون ذره‌ای در صورت نیاز) مسئله را حل کرد. در این شرایط فشار در تمامی بستر یکنواخت در نظر گرفته شده، تمامی سیالی که از ذرات جاذب خارج می‌شود بلافاصله از لابه‌لای ذرات عبور می‌کند و به محفظه می‌رسد. مراجع (۱۸ و ۱۹) را می‌توان به عنوان دو نمونه از این مدل‌ها در نظر گرفت. در شرایطی که اندازه ذرات جاذب بسیار کوچک باشد و یا جرم به راحتی در درون آن‌ها انتقال یابد می‌توان مقاومت درون ذره‌ای را در نظر نگرفت. در چنین شرایطی مقدار جذب در هر لحظه برابر با مقدار تعادلی آن خواهد بود (مراجع ۲۰ و ۲۱). برخی از پژوهشگران نیز انتقال حرارت و هر دو نوع انتقال جرم را در بستر در نظر گرفته‌اند (۲۲-۲۴).

همانطور که اشاره شد، یکی از راه‌های بهبود انتقال حرارت در بستر مواد جاذب، استفاده از فین است. تعدادی از محققان به بررسی بسترهای فین‌دار پرداخته‌اند. ژانگ^۴ و وانگ^۵ (۲۵) با ارائه یک مدل سه بعدی، بستری با فین‌های طولی را حل نموده و اثر برخی پارامترها مانند تعداد فین‌ها، ارتفاع آنها و ضریب هدایت حرارتی معادل بستر را بر عملکرد سیستم بررسی نموده‌اند. اما یک سازنده، استفاده از فین‌های شعاعی را بر فین‌های طولی به علت سادگی در فرآیند ساخت و کاهش هزینه تولید ترجیح خواهد داد.

¹ Yong

² Sumathy

³ Order of magnitude analysis

⁴ Zhang

⁵ Wang

چو^۱ و همکارانش در منبع (۲۶) مدل سازی یک چیلر جذب سطحی را ارائه نموده اند که در آن، انتقال حرارت در بستر مواد جاذب به کمک فین های شعاعی تقویت شده است. آنها نتایج حل عددی را با نتایج تجربی مقایسه کرده اند اما اثر پارامترهای هندسی را بر عملکرد سیستم بررسی نموده اند. ضمن اینکه آنها در حل بخش متخلخل، مجموعه ای از چند فین و مواد جاذب در میان آنها را به صورت یک حجم کنترل در نظر گرفته اند به همین دلیل قادر به بررسی فرآیندهای جذب و احیاء در نقاط مختلف بستر نبوده اند.

لی^۲ و همکارانش (۲۷) با مدل سازی یک بستر مواد جاذب که دارای فین های شعاعی است مقادیر بهینه ای برای فاصله ی فین ها و ارتفاع آنها یافته اند. اسکات^۳ و همکارانش (۲۸) در یک بررسی آزمایشگاهی عملکرد یک نمونه چیلر جذبی که در بستر مواد جاذب از فین های شعاعی پوشش داده شده استفاده شده است، را ارائه داده اند و کمک آن ضریب انتقال حرارت بین سطح جامد و مواد جاذب را تعیین نموده اند.

تعدادی از پژوهشگران (۲۹ و ۳۰) پس از ارائه معادلات، آنها را بی بعد کرده و با دست آوردن تعدادی اعداد و بی بعد مهم، شکل بدون بعد معادلات را حل نموده اند. هر چند که این محققان معادلات حاکم بر بستر بدون فین را بی بعد و حل نموده اند.

¹ Chua

² Li

³ Scott

فصل ۳:

مدلسازی

۳-۱- مقدمه

عملکرد سیستم‌های سرمایش جذب سطحی پیوسته، برخلاف سیستم‌های مرسوم تبرید، ک عملکردی متغیر با زمان^۱ داشته و کارکرد یکنواخت^۲ ندارند. برای یک مدلسازی جامع و واقعی لازم است تابش خورشید را در طول روز بصورت متغیر در نظر بگیریم. دو عامل مهم سبب غیر پایا بودن عملکرد سیستم سرمایش جذب سطحی می‌شود. عامل اول عملکرد ناپایای چیلر جذب سطحی (به دلیل داشتن مرحله جذب و احیا) و دومین عامل تابش خورشید است.

در مطالعاتی که تاکنون در زمینه مدلسازی این نوع سیستم‌ها از جمله (۳۱) انجام گرفته است، یکی از این دو عامل ثابت فرض شده است و یک اثر متغیر، در بررسی دینامیک سیستم در نظر گرفته شده است. همچنین تاکنون مطالعه‌ای که نقش نانو سیال را به عنوان سیال عامل انتقال حرارت در سیستم سرمایش خورشیدی در نظر گرفته باشد انجام نشده است. از طرف دیگر اغلب مطالعات سیستم تامین انرژی بصورت هیبرید را مورد بررسی قرار نداده اند (در این مطالعه از یک بویلر کمکی برای زمان‌هایی که کاهش تابش خورشید وجود دارد استفاده شده است)

سیستم بصورت ناپایا مدل شده است و شامل یک چیلر سیلیکاژل - آب با دو محفظه جذب، جمع جاذب تشعشع تخت خورشیدی، بویلر کمکی است. مدل ارائه شده عملکرد چیلر جذب سطحی را در شرایط ناپایا مدل می‌کند. برای انجام محاسبات مورد نیاز مدلسازی کد عددی به زبان متلب تهیه شد در انتها تأثیر متغیرهای مختلف از جمله دمای سیال، زمان سیکل بر ضریب عملکرد، توان تبرید چیلر، و میزان مصرف سوخت بویلر کمکی بر روی عملکرد سیستم بررسی شد.

¹ Transient

² Steady state

در جدول زیر فهرست علائم مورد استفاده در این پژوهش به اختصار آورده شده است

جدول (۱-۳) علائم و اختصارات مورد استفاده در این پژوهش به همراه زیر نویس ها

پارامتر	نشانه
تابش در هر ساعت (W/m^2)	I
متوسط تابش در هر روز روی سطح افقی (W/m^2)	H
ضریب انتقال حرارت کلکتور	F_R
مساحت (m^2)	A
زمان غروب خورشید	Ss
زمان طلوع خورشید	sr
دما (K)	T
دمای محیط (K)	T_0
زمان (s)	t
تابش در هر ساعت (W/m^2)	I
متوسط تابش در هر روز روی سطح افقی (W/m^2)	H
ضریب انتقال حرارت کلکتور	F_R
زمان غروب خورشید	Ss
زمان طلوع خورشید	sr
ضریب جذب صفحه جاذب کلکتور	α
زاویه میل (rad)	δ
بازده	η
زاویه برخورد (rad)	θ
زاویه سمت الرأس (rad)	θ_z
زاویه عرض جغرافیایی (rad)	λ
ضریب عبور پوشش کلکتور	τ
زاویه ساعت (rad)	ω
ضریب انعکاس محیط	ρ_s
زیرنویس	
جاذب	a
محفظه جذب	ad
جذب سطحی	ads
آلومینیوم	al
مستقیم	b
کندانسور، کلکتور	c
آب خنک کن کندانسور	ccw
آب سرد	chw
مس	cu
آب خنک کن	cw

d	پراکنده
des	احیا
e	اوپراتور
g	گاز
hw	آب گرم
in	ورودی
lr	برگشتی از چیلر

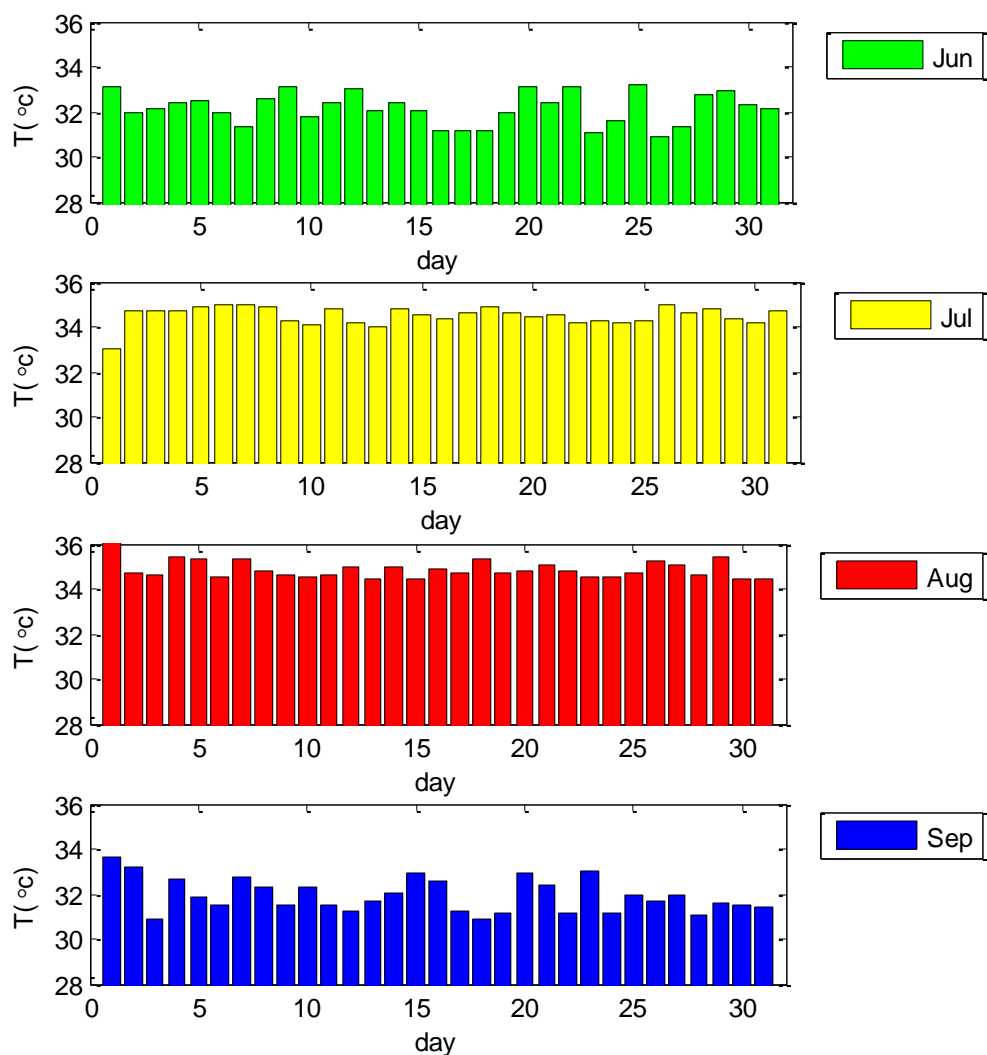
۳-۲- شرایط هوایی و مشخصات ابعادی محل مورد بررسی

در این مطالعه مدلسازی برای شرایط آب و هوایی جزیره کیش بررسی می شود. فضای مورد نیاز

برای سرمایش یک دفتر اداری شامل دو اتاق هر یک به مساحت 28 m^2 و ارتفاع سقف $3,1 \text{ m}$ بازه ی

تولید برودت از ۸ صبح تا ۶ بعدازظهر، برای این دفتر کار در نظر گرفته شد. همچنین حداکثر بار سرمایی

مورد نیاز 60 w/m^3 در نظر گرفته شده است. (۳۲).



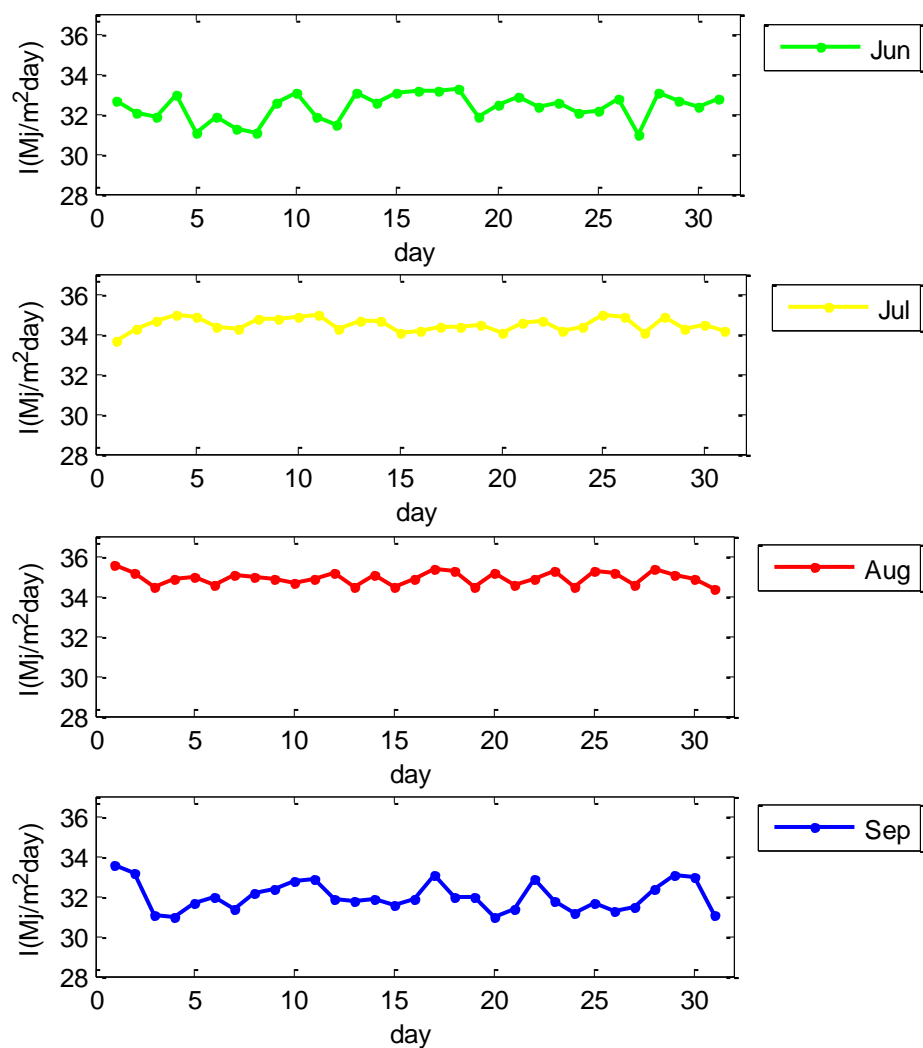
شکل (۱-۳) میانگین سه سال متوالی از متوسط دمای روزانه در جزیره کیش در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، مهر

در این مطالعه از مشخصات تجهیزات برودتی مورد استفاده مطابق با مرجع (۳۳) استفاده می‌شود.

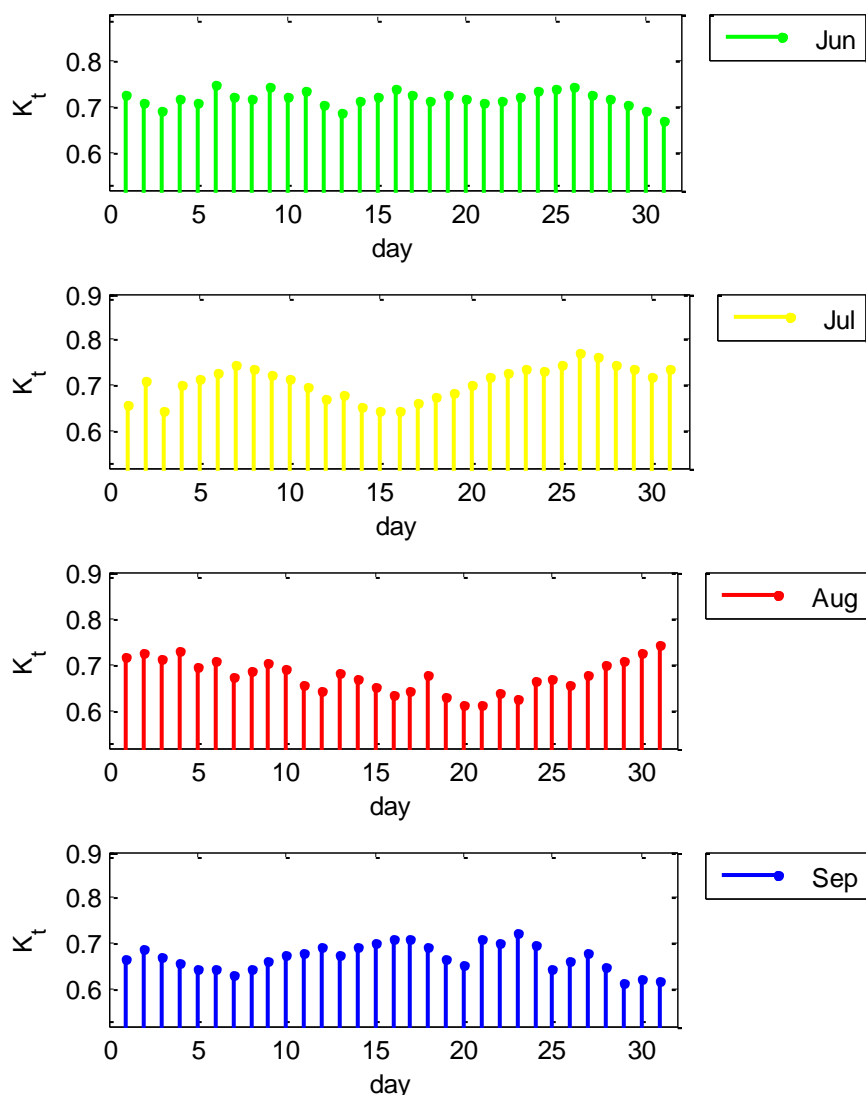
یک کد عددی به زبان متلب بمنظور حل معادلات بیان شده در قسمت بعد توسعه داده شد. میزان

تغییرات دما و تابش روزانه و ضریب صافی هوا برای جزیره کیش برای ماه‌های تیر مرداد شهریور مهر در

شکل (۱-۳) ، شکل (۲-۳) و شکل (۳-۳) بیان شده است.



شکل (۲-۳) میانگین سه سال متوالی از متوسط تابش روزانه در جزیره کیش در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، مهر



شکل (۳-۳) میانگین سه سال متوالی از متوسط ضریب صافی روزانه آسمان در جزیره کیش در ماه‌های متوالی

مقدار پیش‌فرض برای سطح کلکتورها در این مدلسازی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$A_c = \frac{Q_h}{\eta_{sc} G_{\perp}} \quad (35)$$

η_{sc} به طور میانگین برابر ۴۵٪ و G_{\perp} (تثعش ورودی جمع‌کننده) برای مقدار متوسط تابش در

کیش یعنی 0.42 kW/m^2 فرض می‌شود. بنابراین مساحت کلکتور مورد نیاز سیستم به دست می‌آید.

مطابق با مرجع [۳۴] حجم منبع به ازای هر متر مربع کلکتور برابر ۵۵ لیتر در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین

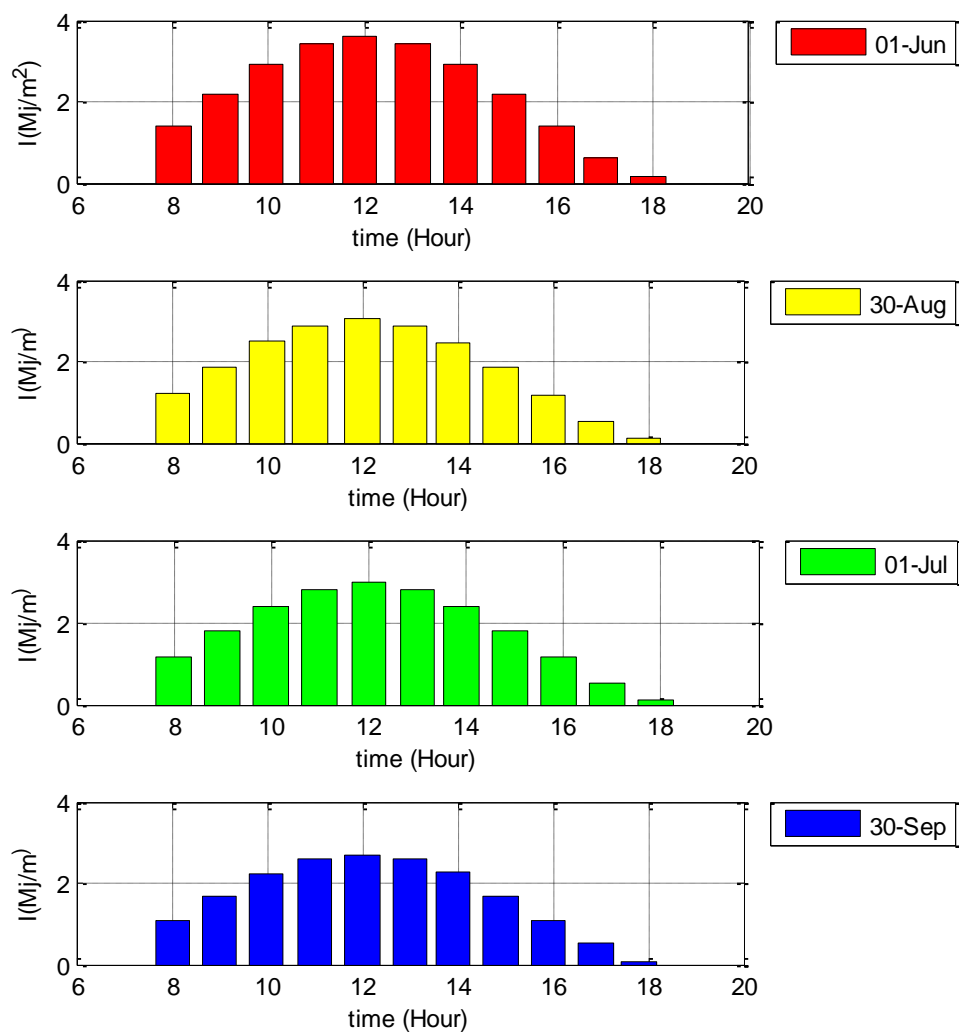
حجم کل منبع بدست خواهد بود. بازده گرم‌کن کمکی نیز برابر ۰/۸۵ فرض شده است. همچنین، بهترین

زاویه برای کلکتور با افق برابر 45° و جهت آن رو به جنوب می باشد [۳۵] (به دلیل قرارگرفتن سیستم

در نیمکره شمالی) مقدار $F_R(\tau \times \theta)$ نیز برابر 0.79 و $F_R U_L$ برابر $4/34$ فرض می شود.

برای مدلسازی دقیق نیاز به مقادیر تابش روزانه هستیم مقادیر تابش برای سطح کلکتور با زاویه 45°

درجه در کیش برای چند روز انتخابی، مطابق شکل رسم شده است

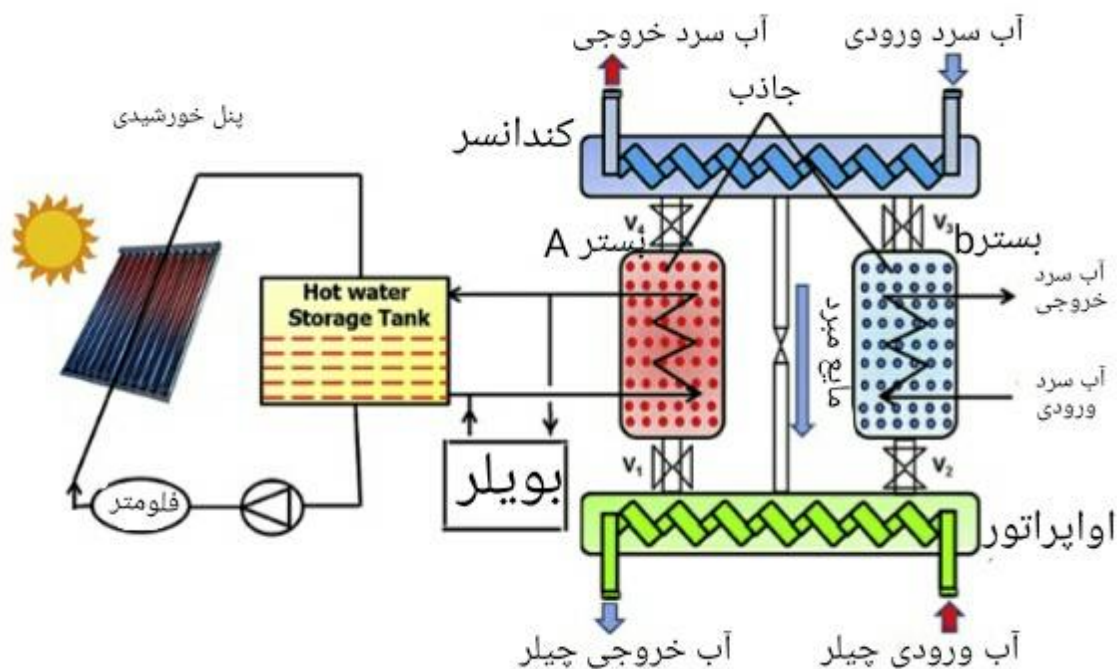


شکل (۳-۴) تابش در روزهای (01-Jun ، 30-Aug ، 01-Jul و 30-Sep)

۳-۳- چیدمان اجزای سیستم سرمایش خورشیدی جذب سطحی

شماتیک زیر سیستم سرمایش خورشیدی مجهز به کلکتور تخت را به همراه یک بویلر کمکی نشان

می دهد.



شکل (۳-۵)

سیستم تبرید جذب سطحی خورشیدی

مطابق شکل اجزای اصلی سیستم سرمایش خورشیدی شامل موارد زیر می باشد.

۱. چیلر جذب سطحی دو محفظه‌ای سیلیکاژل - آب

۲. سیستم تأمین آب گرم مورد نیاز چیلر

۳. کلکتورهای خورشیدی

۴. مخزن ذخیره آب گرم

۵. بویلر کمکی

۶. کندانسور (مبدل پوسته لوله)

۷. اواپراتور (مبدل پوسته لوله)

عملکرد چیلر دو محفظه‌ای شامل چهار بخش A، B، C و D می‌باشد. در مرحله A، ولوهای V1، V2، V3 و V4 بسته هستند. در ابتدای این مرحله، محفظه A در کمترین دما و محفظه B در بالاترین دما قرار دارد. به کمک جریان آب گرم به محفظه A حرارت داده می‌شود و توسط جریان آب سرد از محفظه B حرارت گرفته می‌شود. در نتیجه فشار محفظه A افزایش و محفظه B کاهش می‌یابد. در پایان این مرحله فشار محفظه A به فشار کندانسور و فشار محفظه B به فشار اواپراتور می‌رسد. فرایند صورت گرفته در محفظه A پیش گرم کردن^۱ و محفظه B پیش سرد کردن^۲ نام دارد. به دلیل اینکه شیرهای اتصال به محفظه‌ها در این مرحله بسته هستند و جرم مبرد جذب شده در محفظه‌ها ثابت است، فرایندهای انجام شده در این مرحله در محفظه‌ها ایزوستریک^۳ محسوب می‌شود.

در مرحله B شیرهای V1 و V3 بسته و شیرهای V2 و V4 باز هستند. بخار حاصل از تبخیر مبرد در اواپراتور وارد محفظه B شده، در فشار ثابت اواپراتور جذب جاذب شده و حرارت حاصله از فرایند جذب توسط آب سرد از محفظه دفع می‌شود. در محفظه A جریان آب گرم موجب افزایش دمای محفظه شده و مبرد جذب شده در فشار ثابت کندانسور از جاذب جدا می‌شود. بخار آزاد شده وارد کندانسور شده و در آنجا تبدیل به مایع می‌شود. در مرحله C، همانند مرحله A، کلیه شیرهای V1، V2، V3 و V4 بسته می‌شوند. جریان آب سرد وارد محفظه A و جریان آب گرم وارد محفظه B می‌شود. فشار محفظه A در اثر کاهش دما پایین آمده و فشار محفظه B در اثر اعمال حرارت افزایش می‌-

¹ . Pre – heating

² . Pre – cooling

³ . Esoteric

یابد. به دلیل بسته بودن کلیه شیرهای اتصال به محفظه‌ها، فرایند انجام شده در این مرحله در هر دو محفظه ایزوستریک فرض می‌شود. در پایان این مرحله، فشار محفظه B به فشار کندانسور و فشار محفظه A به فشار اوپراتور می‌رسد.

در مرحله D، نقش محفظه A و B جابه‌جا می‌شود و شیرهای V4 و V2 بسته و V3 و V1 باز می‌شوند. بخار حاصل از تبخیر مبرد در اوپراتور، در محفظه A جذب شده و مبرد جذب شده در محفظه B در اثر اعمال حرارت از جاذب جدا می‌شود. در طی این مرحله، فشار محفظه A برابر فشار اوپراتور و فشار محفظه B برابر فشار کندانسور می‌باشد.

۳-۴- مدلسازی ریاضی

۳-۴-۱- روابط مربوط به استفاده از نانو سیال

در این مطالعه از نانو سیال به عنوان سیال حامل انرژی در مبدل‌های حرارتی استفاده خواهد شد چگالی نانوسیالات را معمولاً از رابطه‌ی پک و چو^۱ (Error! Bookmark not defined.) محاسبه می‌کنند.

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_{bf} + \varphi\rho_p \quad (1-3)$$

تمامی محققین روی استفاده از قانون مخلوط‌ها برای محاسبه چگالی نانوسیال اجماع نظر دارند. خانافر و وفایی^۲ (Error! Bookmark not defined.) براساس اطلاعات آزمایشگاهی هو و همکاران^۳ (Error! Bookmark not defined.)، رابطه‌ای برای محاسبه‌ی چگالی نانوسیال آب/اکسیدآلومینیوم به صورت زیر ارائه کردند.

1 Pak and Cho

2 Khanafer and vafai

3 Ho et al

$$\rho_{nf} = 1001.064 - 2738.6191\varphi - 0.2095T \quad (2-3)$$

که غلظت و دما در محدوده $0 \leq \varphi \leq 4\%$ و $5 \leq T (^{\circ}C) \leq 40$ است.

۳-۴-۱-۲- ویسکوزیته^۱ دینامیکی

گرانروی اندازه‌ی مقاومت یک سیال در برابر تغییر شکل ناشی از تنش‌های طولی یا تنش‌های برشی می‌باشد. به علت ساختار سوسپانسیونی نانوسیالات گرانروی اهمیت ویژه‌ای در طراحی سیستم‌های نانوسیالی بازی می‌کند به طوری که اثرات مستقیم آن بر افت فشار در جریان‌های جابجایی بسیار مشهود است. بنابراین برای استفاده از نانوسیالات در کاربردهای عملی، مقدار افزایش گرانروی نانوسیالات نسبت به سیال پایه آن باید به طور کامل مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

واجها و همکاران^۲ (Error! Bookmark not defined.) رابطه‌ی زیر را برای محاسبه‌ی ویسکوزیته‌ی دینامیکی نانوسیال ارائه کردند. مقادیر A_1 و A_2 در جدول زیر آورده شده است. مشاهده می‌شود که در این رابطه μ_{bf} اثر دما روی ویسکوزیته را شامل می‌شود، بنابراین هیچ عبارت اضافی شامل دما نیاز نیست. این رابطه در محدوده‌ی دمایی $273K < T < 373K$ معتبر است.

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} A_1 e^{(A_2 \varphi)} \quad (3-3)$$

جدول (۲-۳) ضرائب معادله ویسکوزیته‌ی نانو سیال

غلظت (%)	قطر ذره	A_2	A_1	نانوذره
$0 \leq \varphi \leq 10$	۴۵	۱۲/۹۵۹	۰/۹۸۳	اکسید آلومینیوم
$0 \leq \varphi \leq 6$	۲۹	۲۲/۸۵۳۹	۰/۹۱۹۷	اکسید مس

1 Viscosity

2 Vajjha et al

۳-۴-۲- افزایش انتقال حرارت توسط نانوسیالات

نانوسیالات به دلیل هدایت حرارتی بالایی که دارند سیالات انتقال حرارت نوید بخشی جهت کاربرد به جای سیالات گرمایی هستند. نانوسیالات هدایت حرارتی و ضریب انتقال حرارت تکفاز بالاتری نسبت به سیال پایه دارند. چون افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی فراتر از اثر هدایت حرارتی محض است با روابط متداول سیال خالص قابل پیش‌بینی نیست. برای رسیدن به این هدف مهم، محققین بسیاری در مورد عملکرد انتقال حرارت جابجایی نانوسیالات بحث کرده و آن را مورد بررسی و ارزیابی قرار داده‌اند. در تمامی مطالعات انجام شده، به این نتیجه رسیده‌اند که عدد ناسلت جریان جابجایی به دست آمده به صورت تابعی از عوامل گوناگون می‌باشد که به صورت زیر می‌توان نوشت.

$$Nu = f(Re, Pr, \frac{k_p}{k_{bf}}, \frac{(\rho C_p)_p}{(\rho C_p)_{bf}}), \quad (4-3)$$

۳-۴-۳- معادلات مربوط به جذب سطحی

ایزوترم استفاده شده در این مدل برای محاسبه X تعادلی توسط بولمن (۳۶) پیشنهاد شده است که به صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$x^* = 0.346 \left(\frac{P_s(T_w)}{P_s(T_s)} \right)^{1/1.6} \quad (5-3)$$

$P_s(T_w)$ و $P_s(T_s)$ به ترتیب فشار بخار اشباع مبرد در دمای T_w (بخار آب) و T_s (جاذب)

است. فشار بخار اشباع از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_s = 0.0000888(T - 273)^3 - 0.00138(T - 273)^2 + 0.0857(T - 273) + 0.471 \quad (6-3)$$

نرخ جذب و احیا نیز از رابطه نیروی رانش خطی^۱ پیروی می‌کند (۳۷).

$$\frac{dx}{dt} = k_s a_v (x^* - x) \quad (۷-۳)$$

$$k_s a_v = F_0 \frac{D_s}{R_p^2}, D_s = D_{s0} e^{-E_a/RT} \quad (۸-۳)$$

$k_s a_v$ ضریب کلی انتقال جرم است که ضریبی از ثابت زمانی دیفیوژن ($\frac{D_s}{R_p^2}$) است. مقدار هر یک

از این متغیرها برای سیلیکاژل-آب در جدول زیر آمده است (۳۸ و ۳۹)

جدول (۳-۳) مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدلسازی چیلر

نام متغیر	مقدار	نام متغیر	مقدار
m_a	50 kg	$UA_{heating}$	3570 W/K
ΔH_{ads}	2800 kJ/kg	$UA_{cooling}$	3290 W/K
L	2500 kJ/kg	m_{ad}	32/7 kg
M_c	15/2 kg	\dot{m}_{hw}	0/78 kg/s
M_e	65/1 kg	\dot{m}_{cw}	1/2 kg/s
C_{cu}	0/386 kJ/kgK	\dot{m}_{chw}	1 kg/s
C_{pww}	1/85 kJ/kgk	T_{chin}	15°C
C_{al}	0/905 kJ/kgK	T_{cin}	32/3°C
C_a	0/۹۲۴ kJ/kgK	T_{hin}	85 °C
C_{pw}	۴/۱۸ kJ/kgK	D_{s0}	2.54E m ² /s
M_{w0}	۱۰ Kg	R_p	۱/۷E-۴m
UA_e	۳۴۲۰ W/K	E_a	۴/۲E۴ J/mol

۳-۴-۴- روابط تعادل انرژی

۳-۴-۴-۱- محفظه جذب به هنگام اتصال به کندانسور:

بالانس انرژی برای محفظه ی جذب به هنگام اتصال به کندانسور به شکل زیر است. برای محاسبه

آنتالپی مبرد جذب شده از رابطه زیر استفاده می‌شود (۳۹) که در آن پارامتر \emptyset بصورت زیر تعرف میشود

¹ . Linear Driving Force (LDF)

$$\phi = \begin{cases} 1 & \text{فرایند احیا} \\ 0 & \text{فرایند پیش گرم کردم} \end{cases}$$

$$h_{ads}(T, P) = h_g(T, P) - \Delta H_{ads} \quad (9-3)$$

$$(m_{ad}C_{al} + m_a C_a) \frac{dT}{dt} + m_a x_{des} C_{pw} \frac{dT}{dt} \quad (10-3)$$

$$= \phi m_a \Delta H_{ads} \frac{dx_{des}}{dt} + \dot{m}_{hw} C_{pw} (T_{hw,in} - T_{hw,out})$$

طرف چپ رابطه (۱۰-۳) بیانگر نرخ تغییر انرژی داخلی مبدل، جاذب و مبرد جذب شده است.

عبارت اول طرف راست بیانگر حرارت جذب شده در اثر آزاد شدن مبرد (فرایند احیا) و عبارت دوم بیانگر کل حرارت ورودی به محفظه از طریق آب گرم است.

دمای خروجی آب گرم از محفظه جذب به کمک روش اختلاف دمای میانگین لگاریتمی مدل می-

شود و از رابطه زیر به دست می آید.

$$\frac{T_{hw,out} - T}{T_{hw,in} - T} = \exp\left(-\frac{UA}{\dot{m}_{hw} C_{pw}}\right) \quad (11-3)$$

۳-۴-۲- محفظه جذب به هنگام اتصال به اواپراتور:

بالانس انرژی برای محفظه ی جذب به هنگام اتصال به اواپراتور به شکل زیر است طرف چپ

بیانگر نرخ تغییر انرژی داخلی مبدل، جاذب و مبرد جذب شده است. جمله اول طرف راست این رابطه

بیانگر حرارت آزاد شده در اثر فرآیند جذب سطحی و جمله دوم بیانگر حرارتی است که صرف گرم

شدن بخار ورودی از اواپراتور و رسیدن دمای آن به دمای محفظه می شود. جمله سوم سمت راست نیز

بیانگر حرارت منتقل شده به آب خنک می باشد.

$$\vartheta = \begin{cases} 1 & \text{فرایند جذب سطحی} \\ 0 & \text{فرایند پیش گرم کردن} \end{cases}$$

$$(m_{ad}C_{al} + m_a C_a) \frac{dT}{dt} + m_a x_{ads} C_{pw} \frac{dT}{dt} =$$

$$\vartheta \left[m_a \Delta H_{ads} \frac{dx_{ads}}{dt} + m_a C_{pww} \frac{dx_{ads}}{dt} (T_e - T) \right] + \dot{m}_{cw} C_{pw} (T_{cw,adin} - T_{cw,out}) \quad (12-3)$$

۳-۴-۴-۳- بالانس انرژی اواپراتور

رابطه تعادل انرژی اواپراتور به برهمکنش اواپراتور با محفظه‌های جذب و کندانسور بستگی زیادی دارد. در این رابطه، علاوه بر نرخ جذب و دفع در محفظه‌ها، دمای بالای مبرد ورودی از کندانسور نیز تأثیرگذار است.

$$(M_e C_{cu} + M_w(t) C_{pw}) \frac{dT_e}{dt} =$$

$$-m_a \frac{dx_{ads}}{dt} L - m_a \frac{dx_{des}}{dt} C_{pw} (T_c - T_e) + \dot{m}_{chw} C_{pw} (T_{chw,in} - T_{chw,out}) \quad (13-3)$$

$$M_w(t) = M_{w0} - m_a x_{ads} - m_a dx_{des} \quad (14-3)$$

سمت چپ رابطه (۱۳-۳) تغییرات انرژی داخلی مبرد مایع موجود در اواپراتور و نیز بدنه مبدل را نشان می‌دهد. توجه به این نکته ضروری است که مقدار مبرد موجود در اواپراتور به مقدار مبرد جذب شده در محفظه‌ها بستگی دارد و با زمان تغییر می‌کند. عبارت اول در سمت راست رابطه بیانگر گرمای تبخیر مبرد و عبارت دوم بیانگر حرارت ورودی به اواپراتور در اثر اختلاف دمای کندانسور و اواپراتور است. دمای آب سرد خروجی که محصول اصلی چیلر است به کمک رابطه میانگین دمای لگاریتمی به

دست می‌آید.

۳-۴-۴-۴-۴ بالانس انرژی کندانسور

مدل ریاضی کندانسور بستگی به حالت ترمودینامیکی محفظه جذب در حال احیا دارد. این رابطه

به شکل زیر می‌باشد.

$$M_c C_{cu} \frac{dT_c}{dt} = m_a C_{p_{wv}} \frac{dx_{des}}{dt} (T_c - T) - m_a \frac{dx_{des}}{dt} L + \dot{m}_{cw} C_{pw} (T_{cw,in} - T_{cw,out}) \quad (۱۵-۳)$$

عبارت سمت چپ رابطه بیانگر تغییرات انرژی داخلی مبدل کندانسور است. عبارت اول در سمت

راست نشان‌دهنده مبرد خروجی از محفظه جذب در حال احیا و عبارت دوم نشانگر مبرد خروجی از

کندانسور است. آخرین عبارت حرارت دفع شده از کندانسور توسط آب خنک‌کن را نشان می‌دهد. دمای

آب خنک‌کن در خروج از کندانسور نیز از رابطه LMTD به دست می‌آید.

۳-۴-۴-۵-۵ محاسبه توان تبرید سیکل

به دلیل متناوب بودن دمای آب سرد خروجی از اواپراتور، توان تبرید سیکل نیز به طور متناوب

تغییر می‌کند. به همین دلیل، برای مشخص کردن توان تبرید به عنوان اصلی‌ترین ویژگی سیستم تبرید

جذب سطحی، توان متوسط براساس رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$\dot{Q}_e = \frac{\int_0^{t_{cycle}} \dot{m}_{chw} C_{pw} (T_{chin} - T_{chout}) dt}{t_{cycle}} \quad (۱۶-۳)$$

۳-۴-۴-۶-۶ محاسبه ضریب عملکرد سیکل

ضریب عملکرد سیکل تبرید جذب سطحی نسبت سرمایش متوسط تولیدی به حرارت ورودی به

سیستم است که براساس رابطه زیر تعریف می شود.

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_h} \quad (17-3)$$

که در آن:

$$\dot{Q}_h = \frac{\int_0^{t_{cycle}} \dot{m}_{hw} C_{pw} (T_{hin} - T_{hout}) dt}{t_{cycle}} \quad (18-3)$$

۳-۴-۴-۷- محاسبه کسر خورشیدی^۱ سیستم

کسر خورشیدی بیانگر نسبت حرارت تأمین شده از کلکتورهای خورشیدی به کل حرارت مورد نیاز چیلر است و از رابطه زیر به دست می آید.

$$SF = \frac{\dot{Q}_{coll}}{\dot{Q}_{coll} + \dot{Q}_{aux}} \quad (19-3)$$

۳-۴-۴-۸- مدلسازی واحد خورشیدی

اجزای اصلی مدار تأمین آب گرم مورد نیاز چیلر جذب سطحی عبارت‌اند از: کلکتور خورشیدی، مخزن ذخیره و گرم‌کن کمکی. سطح کلکتور خورشیدی، نوع آن و همچنین حجم مخزن آب گرم پارامترهای مهمی در عملکرد سیستم سرمایش خورشیدی هستند.

انتخاب نوع کلکتور بستگی به دمای آب گرم مصرفی در محفظه‌های جذب دارد. از آنجا که دمای آب گرم مورد استفاده برای فرایند احیای سیلیکاژل معمولاً بین ۵۵ تا ۹۰°C است، از کلکتورهای لوله خلاء برای این سیستم‌ها استفاده می‌شود.

مخزن ذخیره آب گرم قسمت مهم دیگر سیستم است. حرارت تأمین شده توسط انرژی تابشی

¹ . Solar fraction

خورشید همواره با حرارت مصرفی چیلر همزمان نیستند. به همین دلیل، حرارت اضافه تولید شده در کلکتور باید برای استفاده بعدی ذخیره شود.

۳-۴-۴-۸-۱- کلکتورهای خورشیدی

بازده کلکتورها از رابطه هاتل - ویلیز - بلیس^۱ محاسبه می‌شود (40)

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_{fi} - T_0)}{l_T} \quad (۲۰-۳)$$

بنابراین تعادل حرارتی کلکتورها مطابق رابطه زیر است:

$$\dot{m}_{sc} C_{pw} (T_{out,sc} - T_{in,sc}) = F_R(\tau\alpha) l_T A_c - F_R U_L A_c (T_{fi} - T_0) \quad (۲۱-۳)$$

در مدلسازی سیستم خورشیدی، میزان تابش خورشید روی سطح کلکتور در ساعات مختلف در طول روز برای کل فصل گرما لازم است. این اطلاعات شامل مقدار متوسط تابش در هر روز روی سطح افقی (H) و ضریب صافی متوسط روزانه آسمان^۲ (K_T) می‌باشد.

ضریب صافی آسمان نسبت تابش کل در سطح زمین به تابش کل محاسبه شده در خارج از جو زمین بر روی یک سطح صاف است. رابطه متوسط میزان تابش مستقیم روزانه و متوسط تابش کل روزانه توسط رابل، پیرا و کلارس^۳ پیشنهاد شده و مطابق رابطه زیر است (۴۰)

¹ . Hottel-Whillier-Bliss

² . Sky clearness index

³ . Collares-Pereira-Rabl

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 0.99 & \text{for } K_T \\ 1.188 - 2.272K_T + 9.73K_T^2 - 21.865K_T^3 + 14.648K_T^4 & \text{for } 0.17 \leq K_T \leq 0.75 \\ -0.54K_T + 0.632 & \text{for } 0.75 \leq K_T \leq 1.0 \\ 0.2 & \text{for } K_T \geq 1.0 \end{cases}$$

به کمک روابط زیر مقدار کل تابش در هر ساعت روی سطح افقی و مقدار تابش پراکنده و مستقیم

در هر ساعت روی سطح افقی از مقادیر متوسط تابش کل و پراکنده روزانه به دست می‌آید (۴۱)

$$r_t = \frac{I}{H} \quad (23-3)$$

$$r_t = \frac{\pi}{24} (\alpha + b \cos \omega) \times \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \pi \frac{\omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (24-3)$$

$$\alpha = 0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60) \quad (25-3)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60) \quad (26-3)$$

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} \quad (27-3)$$

$$r_d = \frac{\pi}{24} \times \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \pi \frac{\omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (28-3)$$

$$I_b = I - I_d \quad (29-3)$$

که در آن:

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\lambda) \tan(\delta)) \quad (30-3)$$

$$\delta = 0.409 \sin(2\pi/365 n - 1.39) \quad (31-3)$$

با مشخص شدن I_d و I_b برای یک سطح افقی در هر ساعت می توان میزان تابش کل روی سطح مایل با زاویه β را محاسبه کرد. برای این منظور، ضریب R_b (نسبت تابش مستقیم روی سطح مایل به تابش مستقیم روی سطح افقی) طبق رابطه زیر تعریف می شود (۴۰).

$$R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (32-3)$$

θ برای سطحی که با افق زاویه β دارد به وسیله رابطه (۲۳) بیان می گردد (۴۰)

$$\cos\theta = \sin\delta\sin\lambda\cos\beta - \sin\delta\cos\lambda\sin\beta + \cos\delta\cos\lambda\cos\beta\cos\omega + \cos\delta\sin\lambda\sin\beta\cos\omega \quad (33-3)$$

$$\cos\theta_z = \cos\delta\cos\lambda\cos\omega + \sin\lambda\sin\delta \quad (34-3)$$

بنابراین کل تابش روی سطح کلکتوری با زاویه β از رابطه زیر به دست می آید.

$$I_T = R_b I_b + I_d \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) + I_{\rho_s} \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (35-3)$$

ρ_s در محاسبات برابر مقدار ثابت ۰/۱۵ فرض می شود (۴۰).

۳-۴-۴-۹- مخزن ذخیره آب گرم

مخزن ذخیره به عنوان واسطه میان محفظه جذب و کلکتور عمل کرده و عملکرد سیستم را یکنواخت می کند. دمای آب موجود در مخزن ذخیره معمولاً در زمان کارکرد یکنواخت نیست و دمای آب از بالا به پایین مخزن کم می شود. در این مدلسازی، مخزن ذخیره به ۳ لایه تقسیم بندی شده و دمای سیال در هر لایه یکسان فرض می شود. رابطه تعادل انرژی برای لایه ۱ ام مطابق زیر است (۴۲):

$$\begin{aligned}
M_i C_{pw} \frac{dT_i}{dt} = & F_i^c \dot{m}_{co} C_{pw} (T_{co} - T_i) + F_i^l \dot{m}_{lr} C_{pw} (T_{lr} - T_i) \\
& + UA_i (T_0 - T_i) \\
& + \begin{cases} \dot{m}_{m,i} C_{pw} (T_{i-1} - T_i) \text{ if } \dot{m}_{m,i} > 0 \\ \dot{m}_{m,i+1} C_{pw} (T_i - T_{i+1}) \text{ if } \dot{m}_{m,i+1} < 0 \end{cases}
\end{aligned} \quad (36-3)$$

توابع F_i^l و F_i^c به کمک روابط زیر تعریف می‌شوند.

$$F_i^c = \begin{cases} 1 \text{ if } i = 1 \text{ and } T_{co} > T_i \\ 1 \text{ if } T_{i-1} \geq T_{co} > T_i \\ 0 \text{ if } i = 0 \text{ or if } i = 4 \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases} \quad (37-3)$$

$$F_i^l = \begin{cases} 1 \text{ if } i = 3 \text{ and } T_{lr} < T_N \\ 1 \text{ if } T_{i-1} \geq T_{lr} > T_i \\ 0 \text{ if } i = 0 \text{ or } i = 4 \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases} \quad (38-3)$$

جریان خالص بین گره $i-1$ و i ($\dot{m}_{m,i}$) نیز به کمک رابطه (33) به دست می‌آید.

$$\dot{m}_{m,i} = \dot{m}_{co} \sum_{j=1}^{i-1} F_j^c - \dot{m}_{lr} \sum_{j=i+1}^3 F_j^l \quad (39-3)$$

حرارتی که در هر لحظه باید توسط گرم‌کن کمکی تأمین شود تا دمای آب به مقدار تعیین شده

برای عملکرد چیلر برسد از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_{aux} = \dot{m}_{lr} \cdot C_{pw} \cdot (T_{aux,out} - T_{auxh,in}) \quad (40-3)$$

در مواقعی که دمای مخزن از دمای خروجی کلکتور کمتر است، جریان یافتن آب از مخزن ذخیره

به سمت کلکتورها منجر به اتلاف حرارت و کاهش کارایی سیستم می‌شود. به همین دلیل، سیستم

کنترلی به نحوی طراحی می‌شود که در چنین مواقعی پمپ مدار کلکتور قطع شود. همچنین، در مواقعی

که دمای بالاترین گره مخزن ذخیره از دمای مورد نیاز در چیلر بیشتر باشد، جریان آب به کلکتور قطع می‌شود و زمانی که این دما برابر و یا کمتر از دمای مورد نیاز در چیلر باشد، جریان برقرار می‌شود،

فصل ۴:

نتیجه گیری

۴-۱- مقدمه

چیلرهای جذب سطحی از جمله سیستم های سرمایش مورد توجه در سالیان گذشته بوده است. عملکرد این سیستم بر اساس جذب و احیا یک ماده جذب شونده در مواد جاذب که جامد متخلخل هستند می باشد. یکی از مزایای چیلرهای جذب سطحی توانایی کار با منابع دما پایین است. منابع انرژی دما پایین (حدود 50°C) مانند انرژی خورشیدی به راحتی و بدون هیچگونه مشکلی در این چیلرها قابل استفاده است. از مواد جامد متخلخل به عنوان جاذب در چیلرهای جذب سطحی استفاده می شود. این ذرات جاذب هنگامی که سرد شوند سیالات خاصی را در خود جذب کرده و با گرم کردن مجدداً آنرا احیا می کنند و این عمل به صورت تکرار پذیر انجام می شود.

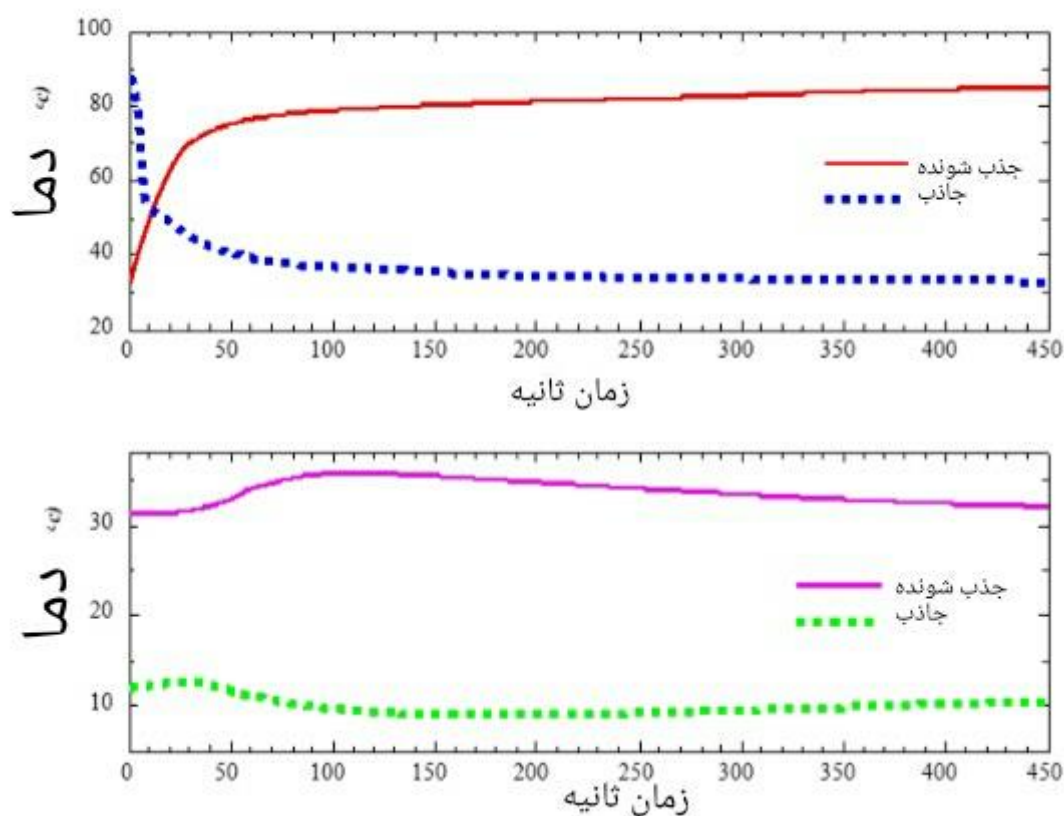
در این پژوهش عملکرد کل سیستم تولید سرمایش به صورت دینامیکی (غیر پایا) در شرایط آب و هوایی جزیره کیش در تابستان مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این راستا، معادلات دیفرانسیل حاکم بر مساله به کمک نرم افزار متلب^۱ به کمک روش های عددی حل میشود تا پارامترهای اصلی مانند توان تبرید، ضریب عملکرد^۲ میزان مصرف سوخت سیستم با توجه به مقدار متغیرهای عملیاتی بدست آید. همانطور که میدانیم ماهیت کارکرد چیلر جذبی سطحی نوسانی است و ضریب عملکرد و توان سرمایش نیز نوسانی خواهند بود بنابراین نیاز به یک متوسط گیری در یک دوره تناوب سیکل میباشد (معادلات (۳-۱۶) و (۳-۱۸)) در این پژوهش ضریب COP چیلر 0.583 و توان سرمایش متوسط kw $9/1$ بدست آمد، توان متوسط حرارتی برابر با $15/6 \text{ kw}$ کیلووات محاسبه شد.

¹ MATLAB² COP

۴-۲- نمودار و نتایج

نمودار دما بر حسب زمان برای absorber و desorber و کندانسور و اواپراتور در زیر رسم شده

است.



شکل (۴-۱)

نمودار دما در بخش absorber و desorber و همچنین کندانسور و اواپراتور آورده شده است.

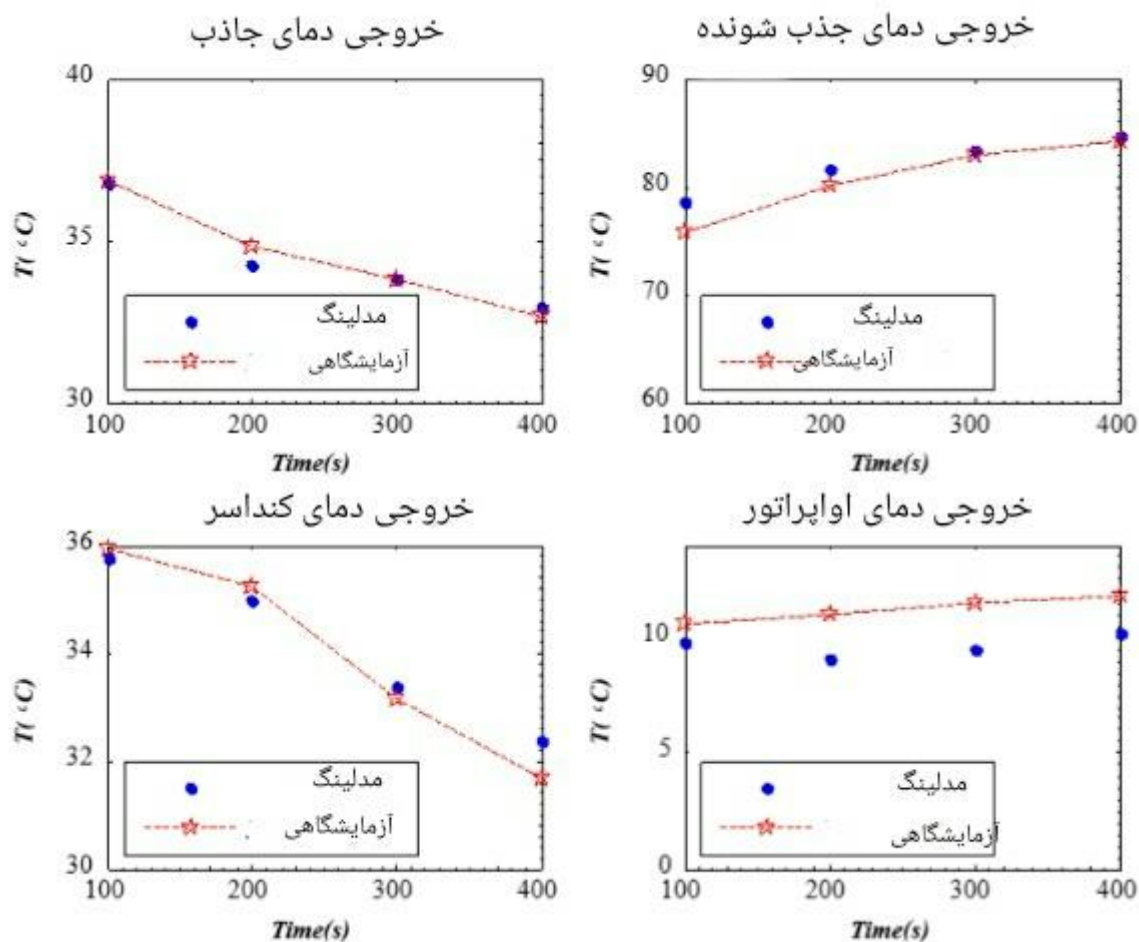
۴-۲-۲- اعتبار سنجی نتایج

برای اعتبار سنجی مدل سازی میبایست نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از یک نمونه تجربی

مقایسه گردد لذا صحت سنجی این مطالعه با تطبیق شرایط عملکردی سیکل با نمونه آزمایشگاهی وانگ

و همکارانش [۳] انجام شده است با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده در مدلسازی مشاهده میشود

نتایج حل عددی دقت مطلوبی دارند قبولی دارد.

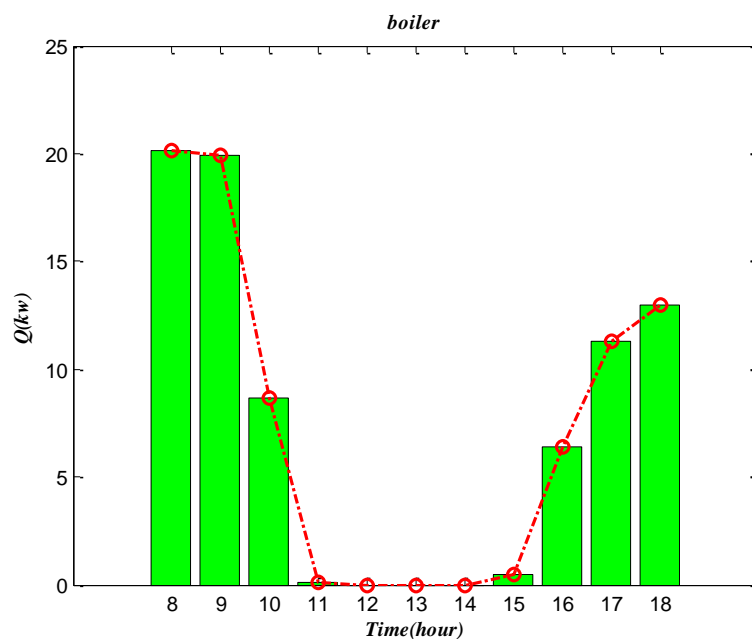


شکل (۴-۲)

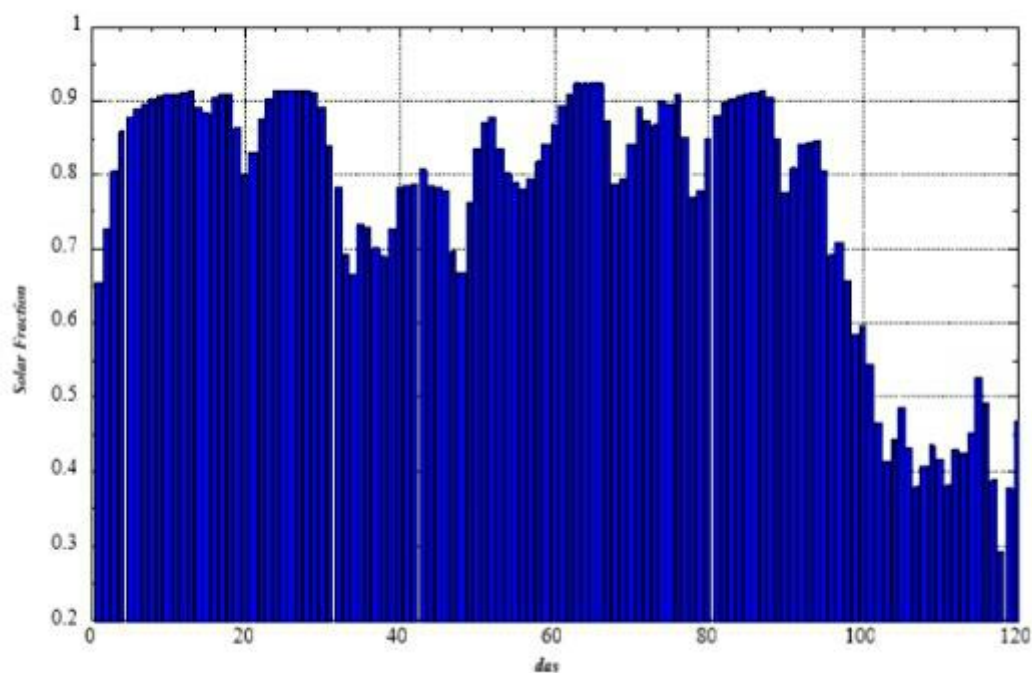
اعتبار سنجی نتایج (نتایج حاصل از مدلسازی و کار تجربی برای absorber-desorber و کنداسور و اواپراتور)

در ادامه نتایج محاسبات گرمای تامین شده توسط بویلر برای یک روز کاری و همچنین کسر

خورشیدی برای ۱۲۰ روز کاری آورده شده است.



شکل (۳-۴) حرارت اعمال شده توسط گرم‌کن کمکی در ساعت کاری (۸ صبح تا ۶ عصر)



شکل (۴-۴)

کسر خورشیدی سیستم برای ۱۲۰ روز کاری

بدلیل پایین بودن تابش خورشید در ساعت اولیه صبح (۸ صبح) میزان حرارت مصرفی بویلر

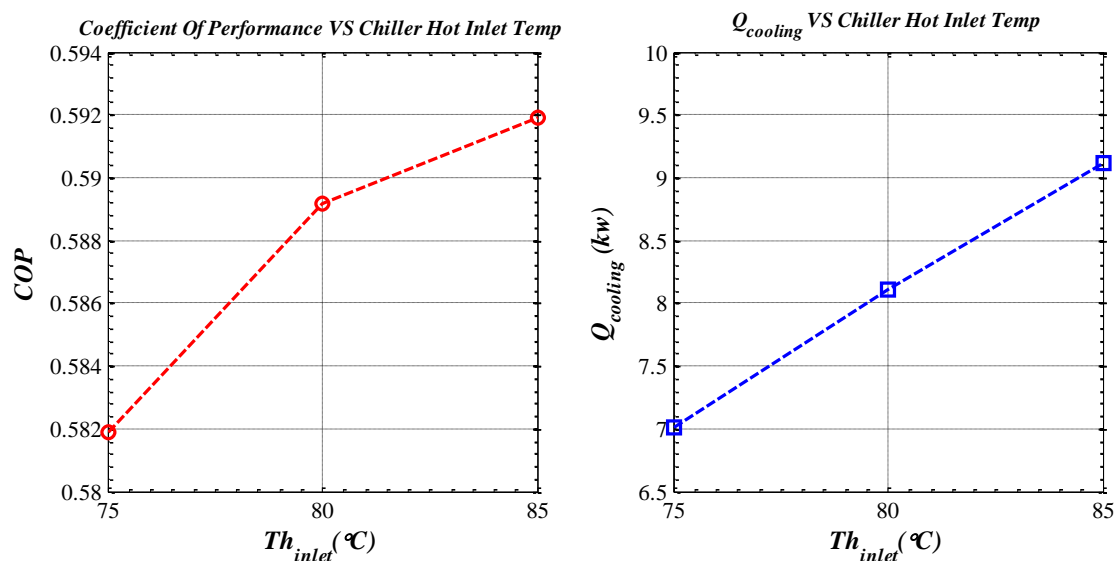
کمکی بالا می‌باشد با گذشت زمان حرارت تأمین شده توسط گرم‌کن شروع به کاهش می‌نماید و علت

آن افزایش تابش خورشیدی و تامین بار حرارتی مورد نیاز سیستم سرمایش میباشد در ساعت ۱۱ الی ۳ عصر میزان حرارت بویلر کمکی به صفر رسیده و در ادامه با کاهش تابش خورشید مجدداً گرمای مورد نیاز بویلر کمکی افزایش می یابد.

مطابق شکل (۴-۴) کسر خورشیدی سیستم برای ۱۲۰ روز کاری آورده شده است که فصل تابستان جز آن است. کسر خورشیدی به میزان قابل ملاحظه‌ای به میزان تابش در طول روزهای سال وابسته است.

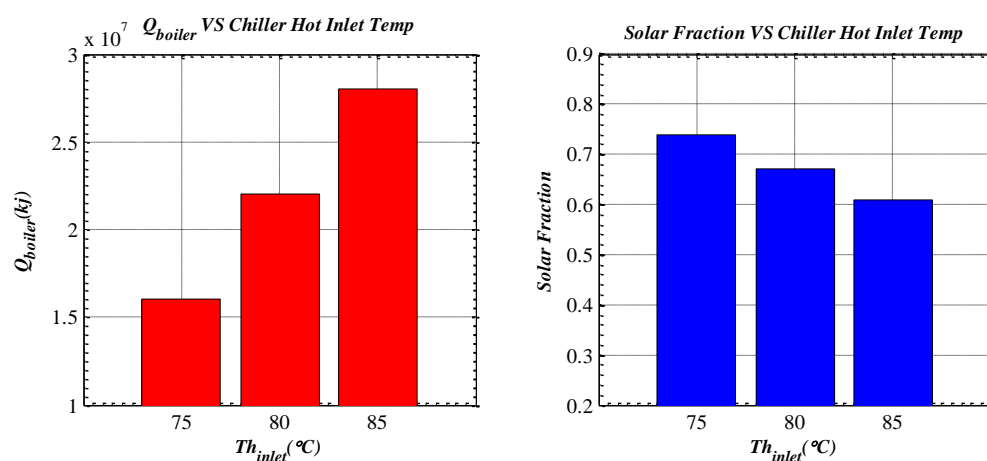
۴-۲-۳- آنالیز حساسیت برای متغیر دمای آب گرم ورودی

برای ایجاد برودت در سیستم تبرید جذبی نیاز به یک منبع انرژی حرارتی داریم آب گرم در سیکل تبرید جذب سطحی این انرژی حرارتی را برای سیستم تامین میکند در همین راستا بررسی تأثیر دمای آب گرم بر پارامترهای کارکرد سیستم دیدگاه دقیق‌تری نسبت به عملکرد سیکل جذب سطحی و انتخاب منبع حرارتی مناسب ایجاد می‌نماید. عملکرد سیستم خورشیدی را میتوان با پارامترهای توان سرمایشی، ضریب COP و کسر خورشیدی سنجید. در شکل زیر نمودار توان تبرید و ضریب عملکرد بر حسب دمای آب گرم نشان داده شده است. همانطور که در شکل زیر مشخص است، با افزایش دمای آب گرم افزایش توان سرمایشی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش دمای آب گرم ضریب COP نیز افزایش می‌یابد. توجه داشته باشید با افزایش دمای آب گرم به بیشتر از ۸۵ درجه میزان اتلاف حرارتی از کلکتور افزایش یافته و از راندمان کلی سیستم کاسته میشود. در دماهای خیلی بیشتر از ۸۵ گرچه توان سرمایشی افزایش می یابد ولیکن حرارت ورودی به سیستم افزایش بیشتری دارد بنابراین ضریب COP کاسته میشود.



شکل (۴-۵) نمودار توان سرمایشی و ضریب عملکرد و بر حسب دمای آب گرم ورودی

کسر خورشیدی تابع هدفی بعدی است که قرار است وضعیت تغییرات آن بر حسب آب گرم ورودی مورد بررسی قرار گیرد. افزایش دما در کلکتور سبب افزایش اتلاف حرارتی کلکتور خواهد شد به عبارت دیگر هرچه دمای آب مورد نیاز در چیلر بیشتر باشد، کسری از حرارت، که توسط کلکتورها تأمین می‌شود، کوچکتر خواهد بود. در شکل زیر روند تغییرات کسر خورشیدی و حرارت تأمین شده توسط گرم‌کن کمکی بر حسب دمای آب گرم رسم شده است.



شکل (۴-۶) نمودار کسر خورشیدی و حرارت تولید شده توسط بویلر کمکی بر حسب دمای آب گرم ورودی

۴-۲-۴- آنالیز حساسیت برای متغیر زمان سیکل جذبی

شکل (۷-۴) وضعیت توان سرمایشی بر حسب زمان سیکل رسم شده است. به هنگام آنالیز حساسیت، تمام متغیرهای جز یک متغیر ثابت فرض میشود. مطابق با رابطه (۱-۴) با افزایش دوره تناوب سیکل، توان سرمایشی (\dot{Q}_e) بشدت کاهش می یابد در واقع، با افزایش زمان سیکل، صورت کسر افزایش چندانی ندارد در حالیکه مخرج کسر بزرگتر میشود بنابراین با کاهش توان اواپراتور مواجه هستیم.

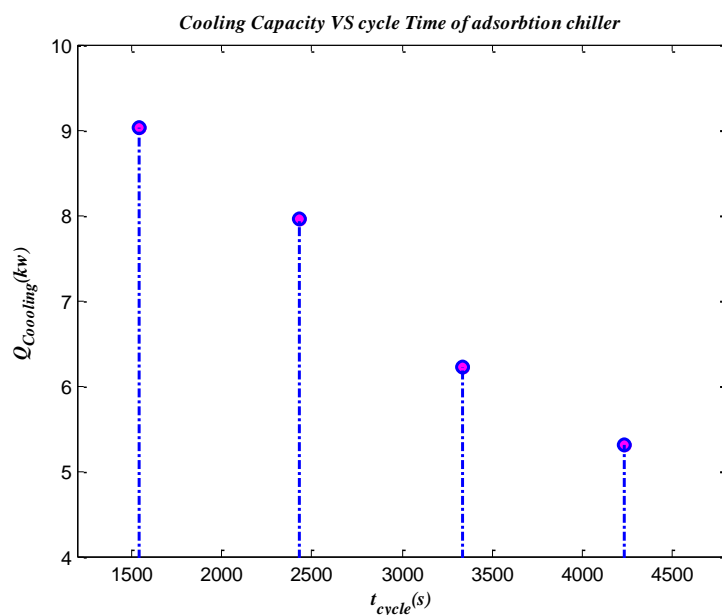
$$\dot{Q}_e = \frac{\int_0^{t_{cycle}} \dot{m}_{chw} C_{pw} (T_{chin} - T_{chout}) dt}{t_{cycle}} \quad (۱-۴)$$

مطابق با رابطه (۲-۴) با افزایش مخرج کسر (دوره تناوب t_{cycle}) میزان انتقال حرارت (\dot{Q}_h) به محفظه ها کاهش می یابد در واقع صورت کسر افزایش چندانی ندارد زیرا با گذشت زمان اختلاف دمای آب گرم ورودی و خروجی به محفظه کاسته شده و مقدار صورت کسر با افزایش t_{cycle} افزایش چندانی نخواهد داشت در نتیجه توان حرارتی متوسط چیلر کاهش می یابد. (در زمانهای انتهایی سیکل $T_{hin} - T_{hout}$ رفته رفته کوچک و کوچکتر میشود و به صفر نزدیک میشود)

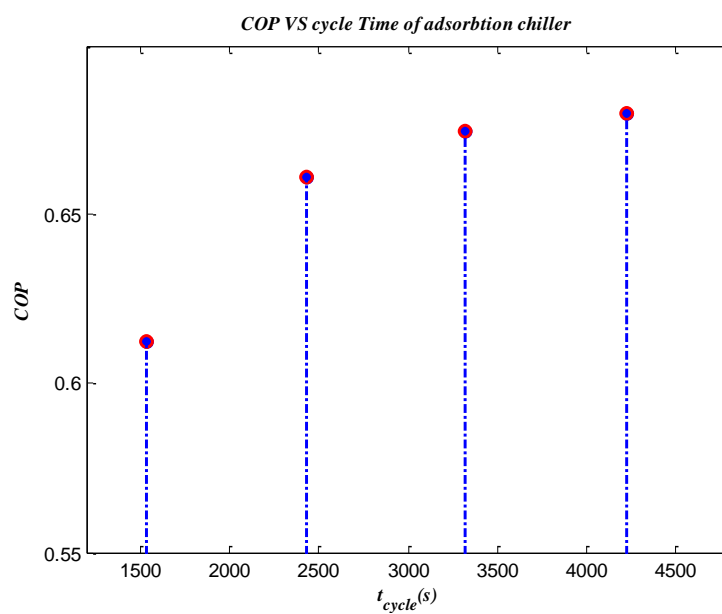
$$\dot{Q}_h = \frac{\int_0^{t_{cycle}} \dot{m}_{hw} C_{pw} (T_{hin} - T_{hout}) dt}{t_{cycle}} \quad (۲-۴)$$

با افزایش زمان سیکل، کاهش توان سرمایشی کمتر از کاهش توان حرارتی می باشد، بنابراین مطابق با معادله (۳-۴) ضریب عملکرد سیستم در اثر افزایش زمان سیکل افزایش می یابد. مطابق شکل (۸-۴) با افزایش زمان سیکل، از آهنگ افزایش ضریب عملکرد کاسته می شود

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_h} \quad (۳-۴)$$



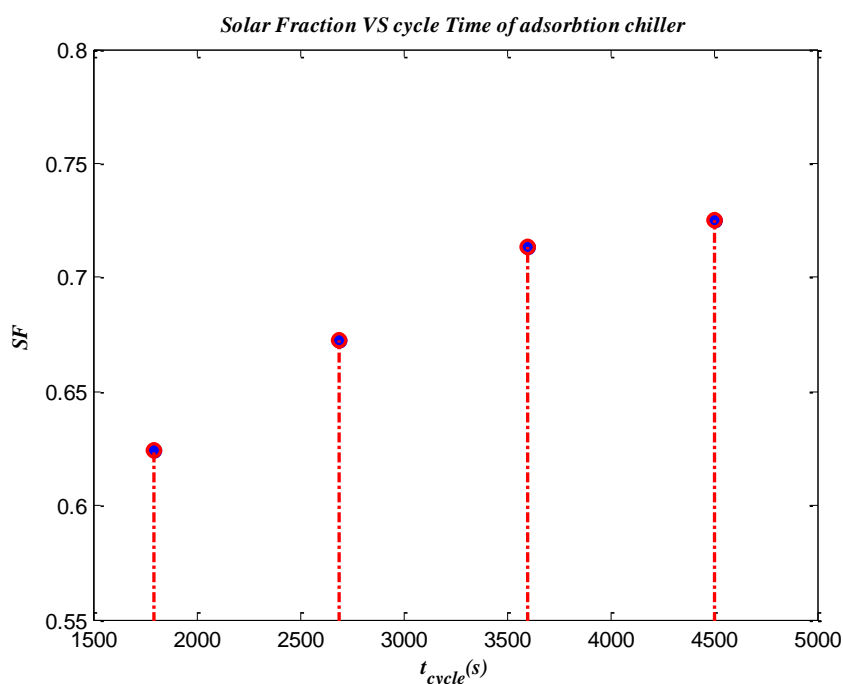
شکل (۷-۴) نمودار توان سرمایش بر حسب زمان سیکل



شکل (۸-۴) نمودار ضریب COP حسب زمان سیکل

در ادامه نمودار کسر خورشیدی سیستم بر حسب زمان سیکل نشان داده شده است. بدیهی است با افزایش زمان سیکل (t_{cycle}) میزان حرارت متوسط مورد نیاز سیستم (Q_h) و توان متوسط سرمایش روند کاهشی دارد. بنابراین حرارت تامین شده توسط گرم‌کن کمکی نیز روند کاهشی دارد در نتیجه کسر

خورشیدی افزایش می یابد.



شکل (۴-۹) با افزایش زمان سیکل میزان کسر خورشیدی افزایش می یابد

۴-۲-۵- آنالیز حساسیت درصد نانو سیال

در این بخش آنالیز حساسیت درصد نانو سیال مورد استفاده در مبدل صورت میگیرد تا اثر آن بر

کسر خورشیدی و ضریب عملکرد COP بدست آید. مطابق شکل زیر درصد نانو با کسر خورشیدی

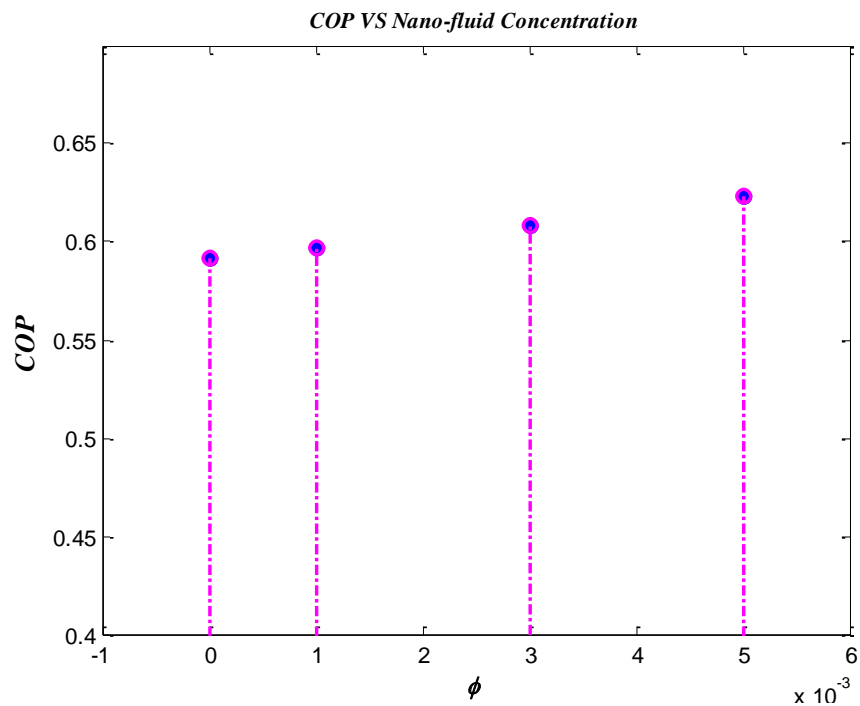
سیستم و همچنین COP رابطه مستقیم دارد. نانو سیالات با افزایش ضریب هدایتی سیال سبب افزایش

ضریب کلی انتقال حرارت می شوند از این رو با افزایش کسر جرمی نانو سیال (ϕ)، کسر خورشیدی و

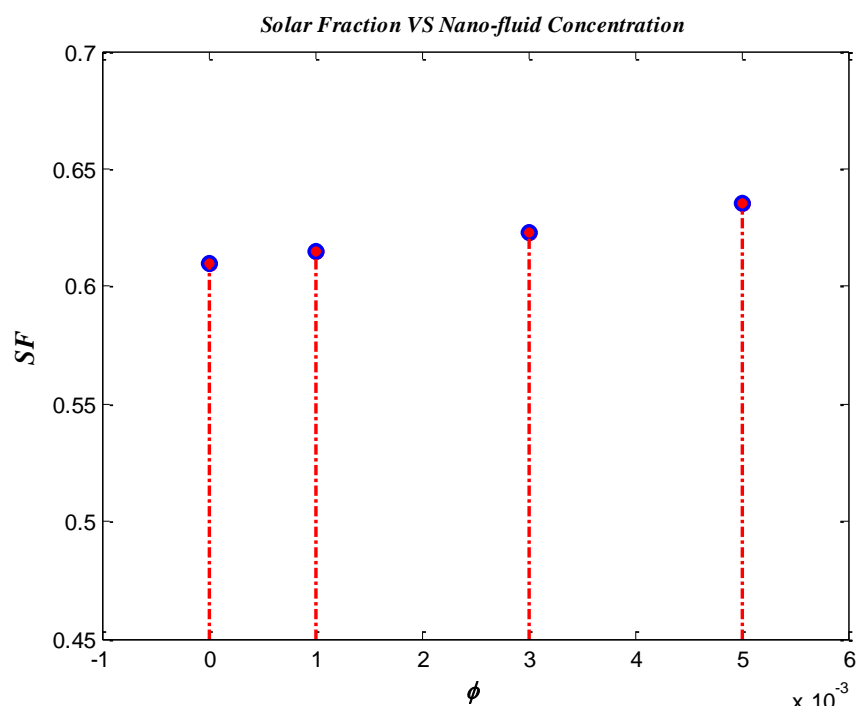
COP افزایش می یابد. از طرف دیگر حرارت تامین شده توسط بویلر روند کاهشی خواهد داشت.

بدیهی است با افزایش درصد نانو سیال میزان انرژی دریافتی از خورشید افزایش یافته و نیاز به حرارت

جبرانی کمتری می باشد.



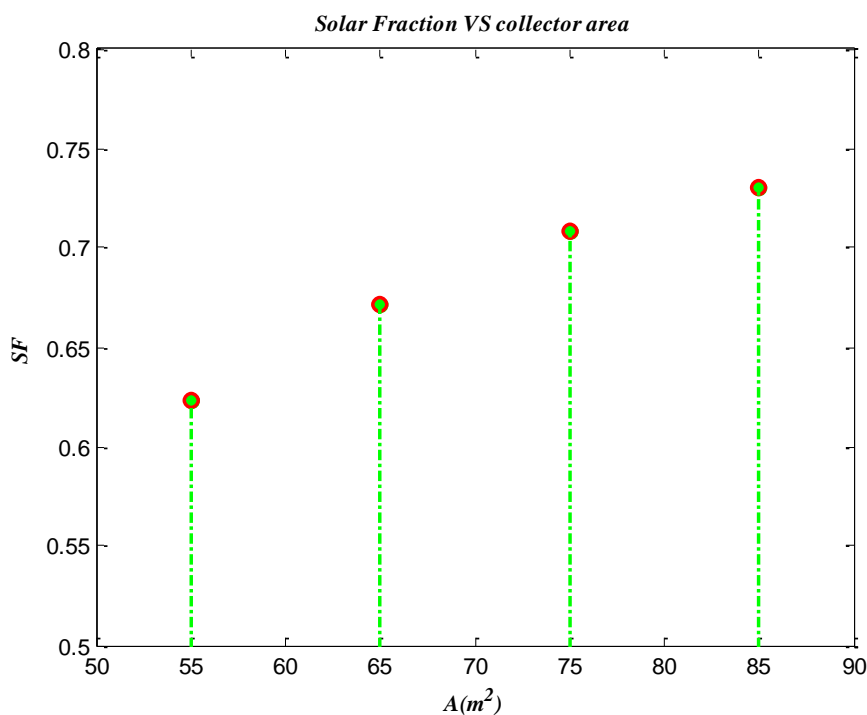
شکل (۴-۱۰) با افزایش درصد غلظت نانو سیال ضریب COP افزایش می یابد



شکل (۴-۱۱) با افزایش درصد غلظت نانو سیال کسر خورشیدی افزایش می یابد

۴-۲-۶- آنالیز حساسیت مساحت سطح کلکتور

در این بخش آنالیز حساسیت مساحت کلکتور صورت میگیرد تا اثر آن بر کسر خورشیدی بدست آید. مطابق شکل زیر مساحت کلکتور با کسر خورشیدی سیستم رابطه مستقیم دارد و با افزایش مساحت، کسر خورشیدی افزایش می یابد. از طرف دیگر حرارت تامین شده توسط بویلر روند کاهشی خواهد داشت. بدیهی است با افزایش مساحت سطح کلکتور میزان انرژی دریافتی از خورشید افزایش یافته و نیاز به حرارت جبرانی کمتری می باشد.



شکل (۴-۱۲) نمودار کسر خورشیدی بر حسب مساحت کلکتور

۴-۳- جمع بندی

به طور کلی مبحث انرژی های تجدیدپذیر در سیستم اقتصادی بیان گر مجموعه ای از تکنولوژی های است که با به کارگیری منابع تمام نشدنی نظیر انرژی خورشید به ایجاد و تامین انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان و بنگاه ها می پردازد. در حال حاضر اکثر کشورها و اقتصادهای دنیا به شدت به سوخت های فسیلی و مشتقات آن وابسته اند. وابستگی به این منابع از میزان قدرت درونی اقتصاد، در کنترل و توضیح سیاست های اتخاذ شده می کاهد و می تواند سیستم اقتصادی را دست خوش نوسانات قیمتی این مواد کند. این همان مساله اساسی است که موجب شده اکثر کشورهای وابسته به این منابع به سمت ایجاد تکنولوژی های لازم برای جایگزینی این عامل وابستگی خارجی بروند تا بتوانند در تصمیم سازی های اقتصادی خود فاکتور ثبات را تا حد زیادی تثبیت کنند.

سیستم های سرمایشی و گرمایشی، بخش بزرگی از مصرف انرژی بشر را شامل می شود استفاده از تکنولوژی های که قابلیت بهره برداری از این انرژی های تجدیدپذیر را به عنوان منبع گرمایی دارند، همچنان یکی از چالش های مهم دنیای امروز محسوب می شود. افزایش قیمت حامل های انرژی، مشکلات زیست محیطی HCFC در سیکل های تراکمی، آلودگی زیستی استفاده از سوخت های فسیلی سبب شده است تا بشر به سمت استفاده از سیستم های مانند تبرید و تهویه جذب سطحی که قابلیت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر دما پایین را دارند حرکت کند، و سبب شده است تا این موضوع جز بحث روز محققین دانشگاهی قرار گیرد. بکارگیری سیستم های جذب سطحی با منبع دما پایین امتیازات بسیاری داشته و میتواند نگرانی جهانی را در مورد گرم شدن کره زمین تا حد زیادی مرتفع کند.

در این پایان نامه روابط ترمودینامیکی متغیر با زمان کارکرد برای سیستم تبرید جذب سطحی خورشیدی بیان شد سپس به کمک روابط موجود عملکرد سیستم که شامل توان برودت، COP و کسر خورشیدی بود مورد بررسی قرار گرفت. نمودارهای تغییرات دمای آب گرم و آب سرد و همچنین دماهای محفظه‌ها، اواپراتور و کندانسور، ضریب عملکرد و توان تبرید سیستم بر حسب زمان محاسبه گردید. ماهیت سیکل تبرید جذبی سطحی نوسانی است به عبارت دیگر توان تبرید و توان حرارتی مصرفی ثابت نبود و با گذر زمان تغییر میکند. برای ارائه توان تبرید و ضریب COP میبایست از مقادیر در یک دوره تناوب سیکل انتگرال گیری کرد (متوسط گیری زمانی بر روی یک دوره تناوب سیستم). نتایج این مدل سازی مقدار ضریب متوسط COP را ۰/۵۸۳، توان سرمایش متوسط ۹/۱ kw و توان متوسط حرارتی را ۱۵/۶ kw پیش بینی کرد.

باتوجه به متغیر بودن شدت تابش خورشیدی، عملکرد سیستم تبرید جذبی سطحی نیز متغیر خواهد بود بنابراین مدل سازی برای یک دوره ۱۲۰ روزه صورت گرفت تا میزان کسر خورشیدی میزان حرارت تامین شده در بویلر توان برودت و COP محاسبه شود. بدیهی است میزان تابش خورشیدی روزانه با کسر خورشیدی سیستم رابطه مستقیم دارد. همچنین مساحت سطح کلکتور درصد نانو سیال تاثیر مستقیمی بر روی کسر خورشیدی و توان تبرید تولیدی دارد. افزایش دمای آب گرم ورودی به محفظه نیز رابطه مستقیم با توان تبرید و ضریب COP دارد و لیکن افزایش دمای آب گرم ورودی سبب کاهش کسر خورشیدی سیستم میشود (نامطلوب). بدیهی است با کاهش کسر خورشیدی سیستم سوخت مصرفی بویلر کمکی افزایش خواهد داشت.

همچنین نتایج نشان داد زمان سیکل بر عملکرد سیستم تاثیر زیادی دارد. در واقع با ازدیاد زمان سیکل ضریب عملکرد بهبود می یابد (مطلوب) ولیکن سبب کاهش توان تبرید خواهد شد (نامطلوب).

همچنین افزایش زمان سیکل سبب کاهش مصرف سوخت بویلر کمکی کمکی و نتیجتاً افزایش کسر خورشیدی سیستم خواهد شد.

در قیاس بین سیستم های تبریدی، سیستم تبرید جذب سطحی ضریب عملکرد پایین تری دارند. ولیکن همانطور که نشان داده شد با تغییرات و اصلاحاتی در پارامترهای عملیاتی سیکل می توان ضریب عملکرد و توان برودت و کسر خورشیدی سیستم را بهبود بخشید پارامترهای عملیاتی سیکل شامل دمای آب گرم ورودی، مساحت سطح کلکتور، درصد نانوسیال، زمان سیکل، و غیره میباشد

کشور ایران به لحاظ آفتاب درخشان، یکی از مناسب ترین کشورهای جهان ، برای استفاده از انرژی خورشیدی است، تلاش در جهت دستیابی به فن آوری های لازم ،به منظور استفاده بهینه از این انرژی تمام نشدنی پاسخ عاقلانه ای به نیازهای فردای کشور تلقی می شود . با استفاده از این انرژی تجدیدپذیر می توانیم در کاهش گازهای گلخانه ای و تبعات بعدی آن ناشی از سوزاندن سوخت های فسیلی و افزایش گازهایی همچون دی اکسید کربن در طبیعت جلوگیری نماییم از جمله کاربردهای مناسب استفاده از انرژی خورشیدی بکارگیری آن در فناوری های نوین سرمایشی مانند سیستم های جذب سطحی خورشیدی است که راه حل ارزشمندی در کاهش آلودگی ناشی مصرف سوخت های فسیلی و راه حل مناسبی در کاهش هزینه های سوخت مصرفی است..

۴-۴- پیشنهادت برای آینده

- ۱- در نظر گرفتن کسر خورشیدی به عنوان تابع هدف مساله بهینه سازی سیستم تبرید جذبی سطحی (قیود مساله توان برودتی با COP مشخص) بکارگیری الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی تابع هدف کسر خورشیدی (متغیرهای مستقل مساله بهینه سازی میتواند پارامترهای عملیاتی مانند دمای آب گرم ورودی، زمان سیکل، مساحت سطح کلکتور و غیره باشد)
- ۲- در نظر گرفتن COP و یا توان سرمایش به عنوان تابع هدف و اجرا کردن بند اول
- ۳- دو هدفه کردن تابع هدف مساله بهینه سازی سیکل (به عنوان مثال اضافه کردن تابع هدف هزینه کل (هزینه سرمایه گذاری + هزینه بهره برداری) به تابع هدف COP)
- ۴- استفاده از جاذب های دیگر به جای استفاده از سیلیکاژل-آب و بررسی عملکرد سیستم از نظر COP و کسر خورشیدی و توان برودتی و مقایسه آنها با یکدیگر
- ۵- اضافه کردن بعد اقتصادی به بررسی فنی سیستم تبرید جذب سطحی با در نظر گرفتن فاکتورهای کاهش آلودگی

Abstract:

In this research, a computational code will be developed in the programming language of MATLAB. For this purpose, first, the mathematical model of the solar cooling problem will be extracted. For higher accuracy and more accurate examination of this model we consider a non-linear (time-varying) model.

One of the reasons for assuming the mathematical model is the steady absence of sunlight in the daytime hours as well as the oscillatory performance of the absorption cooling system. In other words, the two above factors have an unstable nature and we are required to provide variable-time mathematical models. With the help of the output of the computer code, we can consider the variations in refrigeration, the fuel efficiency of the system, taking into account the amount of operational variables, such as warm water temperature and cycle time, the amount of radiation of the sun.

One of the practical goals of this study is to provide a precise model for examining different operating conditions for the design of solar cooling systems in the air conditioning industry. It has been attempted to even have the generalized computational code in general so that all the different conditions, such as the climate diversity of the region, can be evaluated and evaluated by the amount of flux during the absorption cycle. The system is used to provide luggage space and office hours for a commercial pm. The system studied consists of the following \forall am to \forall company for work hours from \forall -cylinder silica-water with two absorbing compartments \forall -bed collectors \forall components. \forall -evaporator. \forall -heater, auxiliary \forall -condenser \forall reservoir hot water

The performance of the entire cooling production system will be dynamically (non-stable) under climatic conditions in Kish Island in the summer.

key words:

(Solar cooling) (absorption refrigeration system) (absorption) (silica gel) (solar refrigeration system) (solar cooling cycle) (silica gel absorber) (solar collector) (time-varying cooling system) (nasal fluid) (application) Cooling Nano) (Silica Gel Chiller) (Nanocrystalline Solar Chiller) (Solar Nylon Solar Silicone) (Solving Dynamic Thermodynamic Equations) (Solving Solar Differential Equations) (Non-Stationary Cooling Equations)



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

title:

**Solving Dynnamic Thermo-dynamicEquation
for a soliac solar Cooling System Equipped
with a Solar Collector and Investigating the
Possibility of Using Nanosilver in the System**

Supervisor:

D.r Yassi

D.r Tamim

By:

Adel Moradi

august/2017

مراجع:

Reference:

-
- [1] Chua, H.T., Ng, K.C., Malek, A., Kashiwagi, T., Akisawa, A. and Saha, B.B., 1999. Modeling the performance of two-bed, silica gel-water adsorption chillers. *International Journal of Refrigeration*, 22(3), pp.194-204.
- [2] Wang, K., Wu, J.Y., Xia, Z.Z., Li, S.L. and Wang, R.Z., 2008. Design and performance prediction of a novel double heat pipes type adsorption chiller for fishing boats. *Renewable Energy*, 33(4), pp.780-790
- [3] Wang, D.C., Shi, Z.X., Yang, Q.R., Tian, X.L., Zhang, J.C. and Wu, J.Y., 2007. Experimental research on novel adsorption chiller driven by low grade heat source. *Energy conversion and management*, 48(8), pp.2375-2381
- [4] Wang, D.C., Xia, Z.Z., Wu, J.Y., Wang, R.Z., Zhai, H. and Dou, W.D., 2005. Study of a novel silica gel–water adsorption chiller. Part I. Design and performance prediction. *International Journal of Refrigeration*, 28(7), pp.1073-1083.
- [5] Wang, D.C., Wu, J.Y., Xia, Z.Z., Zhai, H., Wang, R.Z. and Dou, W.D., 2005. Study of a novel silica gel–water adsorption chiller. Part II. Experimental study. *International Journal of Refrigeration*, 28(7), pp.1084-1091.
- [6] Wang, R.Z., 2008. Efficient adsorption refrigerators integrated with heat pipes. *Applied Thermal Engineering*, 28(4), pp.317-326.
- [7] Yang, R.T., 2003. *Adsorbents: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.
- [8] Wang, S. and Zhu, D., 2002. A novel type of coupling cycle for adsorption heat pumps. *Applied thermal engineering*, 22(9), pp.1083-1088
- [9] Gui, Y.B., Wang, R.Z., Wu, J.Y., Xu, Y.X. and Wang, W., 2002. Experimental analysis on the dynamic characteristics of a heat-regenerative adsorptive air-conditioning system. *Adsorption*, 8(2), pp.157-163.
- [10] Lambert, M.A., 2007. Design of solar powered adsorption heat pump with ice storage. *Applied thermal engineering*, 27(8), pp.1612-1628
- [11] Wang, S.G., Wang, R.Z. and Li, X.R., 2005. Research and development of consolidated adsorbent for adsorption systems. *Renewable Energy*, 30(9), pp.1425-1441.
- [12] Wang, R.Z. and Oliveira, R.G., 2006. Adsorption refrigeration—an efficient way to make good use of waste heat and solar energy. *Progress in Energy and Combustion Science*, 32(4), pp.424-458.
- [13] Cacciola, G. and Restuccia, G., 1995. Reversible adsorption heat pump: a thermodynamic model. *International Journal of Refrigeration*, 18(2), pp.
- [14] Khan, M.Z.I., Saha, B.B., Alam, K.C.A., Akisawa, A. and Kashiwagi, T., 2007. Study on solar/waste heat driven multi-bed adsorption chiller with mass recovery. *Renewable Energy*, 32(3), pp.365-381.

-
- [15] Saha, B.B., Koyama, S., Kashiwagi, T., Akisawa, A., Ng, K.C. and Chua, H.T., 2003. Waste heat driven dual-mode, multi-stage, multi-bed regenerative adsorption system. *International Journal of Refrigeration*, 26(7), pp.749-757.
- [16] Di, J., Wu, J.Y., Xia, Z.Z. and Wang, R.Z., 2007. Theoretical and experimental study on characteristics of a novel silica gel–water chiller under the conditions of variable heat source temperature. *International Journal of Refrigeration*, 30(3), pp.515-526.
- [17] Yong, L. and Sumathy, K., 2004. Comparison between heat transfer and heat mass transfer models for transportation process in an adsorbent bed. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(8), pp.1587-1598.
- [18] Guilleminot, J.J., Meunier, F. and Pakleza, J., 1987. Heat and mass transfer in a non-isothermal fixed bed solid adsorbent reactor: a uniform pressure-non-uniform temperature case. *International Journal of Heat and mass transfer*, 30(8), pp.1595-1606.
- [19] Hajji, A. and Khalloufi, S., 1995. Theoretical and experimental investigation of a constant-pressure adsorption process. *International journal of heat and mass transfer*, 38(18), pp.3349-3358.
- [20] Amar, N.B., Sun, L.M. and Meunier, F., 1996. Numerical analysis of adsorptive temperature wave regenerative heat pump. *Applied Thermal Engineering*, 16(5), pp.405-418.
- [21] Marletta, L., Maggio, G., Freni, A., Ingrassiotta, M. and Restuccia, G., 2002. A non-uniform temperature non-uniform pressure dynamic model of heat and mass transfer in compact adsorbent beds. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45(16), pp.3321-3330.
- [22] Leong, K.C. and Liu, Y., 2004. Numerical modeling of combined heat and mass transfer in the adsorbent bed of a zeolite/water cooling system. *Applied thermal engineering*, 24(16), pp.2359-2374.
- [23] Maggio, G., Freni, A. and Restuccia, G., 2006. A dynamic model of heat and mass transfer in a double-bed adsorption machine with internal heat recovery. *International Journal of Refrigeration*, 29(4), pp.589-600.
- [24] Dai, Y.J. and Sumathy, K., 2003. Heat and mass transfer in the adsorbent of a solar adsorption cooling system with glass tube insulation. *Energy*, 28(14), pp.1511-1527.
- [25] Zhang, L.Z. and Wang, L., 1999. Effects of coupled heat and mass transfers in adsorbent on the performance of a waste heat adsorption cooling unit. *Applied Thermal Engineering*, 19(2), pp.195-215.
- [26] Chua, H.T., Ng, K.C., Wang, W., Yap, C. and Wang, X.L., 2004. Transient modeling of a two-bed silica gel–water adsorption chiller. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(4), pp.659-669.
- [27] Li, J.F., Kubota, M., Watanabe, F., Kobayashi, N. and Hasatani, M., 2004. Optimal design of a fin-type silica water adsorption heat pump. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 37(4), pp.551-557.
- [28] Waszkiewicz, S.D., Tierney, M.J. and Scott, H.S., 2009. Development of coated, annular fins for adsorption chillers. *Applied Thermal Engineering*, 29(11), pp.2222-2227.
- [29] Sun, L.M., Amar, N.B. and Meunier, F., 1995. Numerical study on coupled heat and mass transfers in an absorber with external fluid heating. *Heat recovery systems and CHP*, 15(1), pp.19-29.
- [30] Ellis, M.W., 1996. An evaluation of the effect of adsorbent properties on the performance of a solid sorption heat pump (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).
- [31] Jing Yi W., Sheng L., Yan Fei H., “Study on Cyclic Characteristics of the Solar-Powered Adsorption Cooling System”, *Science in China Series E: Technological Sciences*, Vol. 52, No. 6, 2009, pp. 1551-1562.

[32] Leite A. P. F., Belo F. A., Martins M. M., Riffel D. B., “Central Air Conditioning Based on Adsorption and Solar Energy”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 31, 2011, pp. 50-58

[33]
civilica.com/Paper-ICESE01-ICESE01_095.htm
COI :ICESE01_095

[34] Leite A. P. F., Belo F. A., Martins M. M., Riffel D. B., “Central Air Conditioning Based on Adsorption and Solar Energy”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 31, 2011, pp. 50-58.

[35] Chua H. T., Ng K. C., Maleka A., Kashiwagi T., Akisawa A., Saha B.B., “Modeling the Performance of Two-Bed, Silica Gel-Water Adsorption Chillers”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 22, 1999, pp. 194-204.

[36] Boelman E. C., “Computer Simulation of a Silica Gel-Water Adsorption Refrigeration Cycle- The Influence of Operating Conditions of Cooling Output and COP”, *ASHARE Transactions*, Vol. 101, 1995, pp. 348-355.

[37] Saha B. B., El-Sharkawy I. I., Chakraborty A., Koyama S., “Study on an Activated Carbon Fiber Ethanol Adsorption Chiller: Part I- System Description and Modelling” In *International Journal of Refrigeration*, Vol. 30, 2007, pp. 86-95.

[38] Wang D. C., Xia Z. Z., Wu J. Y., Wang R. Z., Zhai H., Dou W. D., “Study of a Novel Silica Gel-Water Adsorption Chiller. Part I. Design and Performance Prediction”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 28, 2005, pp. 1073-1083.

[39] Chua H. T., Ng K. C., Maleka A., Kashiwagi T., Akisawa A., Saha B. B., “Modeling the Performance of Two-Bed, Silica Gel-Water Adsorption Chillers”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 22, 1999, pp. 194-204.

[40] Duffie J. A., Beckman W. A., *Solar Engineering of Thermal Process*, 2nd Edition, University of Wisconsin, Madison, Wiley Interscience Publications, 1980.

[41] Alipour V., “A Test Reference Year for Ahvaz, Iran”, Master of Philosophy Thesis, University of Manchester, 2011.

[42] civilica.com/Paper-ICESE01-ICESE01_182.htm
