بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده شیمی

بررسی عملکرد کولرهای آبی خانگی و ارائه طرح جدید

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی فیزیک

سمیه مجیدی

استاد راهنما

پروفسور محمود تبریزچی

۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده شیمی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته شیمی‌فیزیک خانم سمیه مجیدی

تحت عنوان

بررسی عملکرد کولرهای آبی خانگی و ارائه طرح جدید

در تاریخ ۱۳۸۷/۱۱/۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محمود تبریزچی
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر بیژن نجفی
۳- استاد داور	دکتر احمد محب
۴- استاد داور	دکتر عزت کشاورزی
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر بیژن نجفی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب.....هفت

فهرست اشکال.....ده

فهرست جداول.....دوازده

چکیده.....۱

فصل اول: مکانیسم سیستم‌های خنک‌کننده در تهویه مطبوع

مقدمه.....۲

۱-۱- تاریخچه.....۳

۱-۲- فرایند سرمایش تراکمی.....۵

۱-۲-۱- سیکل کارنو.....۵

۱-۲-۲- مکانیسم فرایند تراکمی.....۷

۱-۲-۳- مبرد.....۸

۱-۳- فرایند سرمایش جذبی.....۹

۱-۳-۱- سیستم جذبی آمونیاک/آب.....۱۰

۱-۳-۲- سیستم جذبی آب/لیتیم برماید.....۱۱

۱-۳-۳- سیستم جذبی آب/آمونیاک/هیدروژن.....۱۱

۱-۴- فرایند سرمایش تبخیری.....۱۳

۱-۴-۱- برج خنک‌کننده.....۱۳

۱-۴-۲- ایرواشر.....۱۴

الف- ایرواشر با سطح مرطوب.....۱۴

ب- ایرواشر پاششی.....۱۵

ج- ایرواشر با دیسک چرخان.....۱۶

۱-۴-۳- سیستم رطوبت ساز.....۱۷

الف- استفاده بعنوان پیش سردکن.....۱۷

ب- استفاده در گلخانه.....۱۸

ج- سرمایش مسکونی.....۱۸

۱-۴-۴- استفاده از سرمایش تبخیری در برودت شناسی.....۱۸

۱-۴-۵- بطری‌های خود سردساز.....۱۸

۱-۴-۶- سرمایش کوزه در کوزه ۲۰
۱-۴-۷- سرمایش تبخیری هوا در تهویه مطبوع ۲۱
الف- سیستم خنک‌کننده تبخیری غیرمستقیم ۲۱
ب- سیستم خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۲۲
فصل دوم: انواع کولرهای آبی، کاربردها و روابط ترمودینامیکی
مقدمه ۲۳
۲-۱- تاریخچه ۲۳
۲-۱-۱- کپر ۲۳
۲-۱-۲- بادگیر ۲۴
۲-۲- دستگاهوری کولر آبی ۲۶
۲-۲-۱- نحوه عملکرد ۲۶
۲-۲-۲- شرح اجزای اصلی کولر ۲۷
الف- بدنه ۲۷
ب- پمپ آب ۲۷
ج- بادزن ۲۷
د- موتور ۲۷
ن- توزیع کننده آب ۲۸
و- شناور ۲۸
ه- پوشال ۲۸
۲-۳- تئوری سرمایش در کولر آبی ۳۰
۲-۳-۱- تعاریف ۳۰
۲-۳-۲- ترمودینامیک سرمایش در کولر آبی ۳۳
۲-۴- استفاده از کولر آبی در سیستم سرمایش تبخیری دو مرحله‌ای ۳۹
۲-۵- استفاده از کولر آبی و خشک‌کننده‌ها ۴۰
۲-۶- کولر آبی خورشیدی ۴۰
۲-۷- مقایسه کولرهای آبی با خنک‌کننده‌های تراکمی و بیان مزایا و اهمیت بهینه‌سازی ۴۱
۲-۸- بررسی عملکرد ۴۳
۲-۹- اشکالات و علل عملکرد پایین کولرهای آبی موجود ۴۶
۲-۹-۱- کوتاه بودن مدت تماس بین آب و جریان هوا ۴۶

۲-۹-۲- کارایی پایین پوشال ۴۶
الف- اشکالات سیستم توزیع آب روی پوشال ۴۶
ب- نایکنواختگی در فشردگی پوشال ۴۷
ج- دوام پوشال ۴۷
د- گرفتگی پوشال ۴۸
۲-۹-۳- عدم امکان ایزوله کردن کامل کولر و انتقال گرما از طریق آفتاب ۴۸
۲-۹-۴- گرمای کار کولر ۴۸
۲-۱۰- طرح‌های نو در کولرهای آبی در ایران ۴۹
۲-۱۰-۱- کویل‌های گرمایشی همراه با کولر آبی ۴۹
۲-۱۰-۲- تغییر در نوع پوشال کولر آبی ۵۰
۲-۱۰-۳- کویل‌های گرمایشی همراه با کولر سلولزی ۵۱
۲-۱۰-۴- بهبود نحوه توزیع آب ۵۱
۲-۱۰-۵- بهبود نحوه توزیع آب و تغییر نوع پوشال ۵۲
فصل سوم: مبانی نظری طراحی جدید
مقدمه ۵۴
۳-۱- سینتیک تبخیر توده‌ای سیستم بسته ۵۵
۳-۲- سینتیک تبخیر با در نظر گرفتن نفوذ مولکولی ۵۹
۳-۳- زمان مجاورت هوا و آب در کولرهای معمولی ۶۱
۳-۴- اثرات قطره‌ای شدن ۶۲
۳-٤-۱- اثر افزایش فشار داخلی قطره بر سرعت تبخیر ٦٢
۳-٤-۲- افزایش سطح ٦٥
۳-۴-۳- امکان فوق اشباع شدن هوا ۶۶
فصل چهارم: طراحی و ساخت
مقدمه ٦٨
۴-۱- اجزا و ساختار کولر جدید ۶۹
۴-۱-۱- محفظه کولر ۷۰
۴-۱-۲- دمنده ۷۱
۴-۱-۳- نازل ۷۲
۴-۱-٤- مه‌زدا ۷٤

٤-٢- اندازه گیری و بررسی نتایج ٧٥
۴-۳- خلاصه و نتیجه گیری ٧٦
۴-۴- پیشنهادات ٧٧
پیوست ٧٨
مراجع ٨٠
چکیده انگلیسی ٨٣

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل اول: مکانیسم سیستم‌های خنک‌کننده در تهویه مطبوع

۱-۱: نمودار دما- انتروپی سیکل سرمایشی کارنو ۶

۱-۲: نمودار دما برحسب انتروپی برای سیکل سرمایشی استاندارد تراکمی ۶

۱-۳: نمایش شماتیک از سیکل سرمایشی تراکمی ۸

۱-۴: نمایش شماتیک از سیکل سرمایشی جذبی ۹

۱-۵: نمایش شماتیک از سیستم جذبی آب/آمونیاک/هیدروژن مورد استفاده دریخچال نفتی ۱۲

۱-۶: تصویر شماتیک از برج خنک‌کننده ۱۴

۱-۷: نمای داخلی از ایرواشر با سطح مرطوب ۱۵

۱-۸: ایرواشر با دیسک چرخان ۱۶

۱-۹: سیستم رطوبت‌ساز ۱۷

۱-۱۰: تصاویری از بطری خود سرد ساز ۱۹

۱-۱۱: تصاویری از سیستم کوزه در کوزه ۲۰

۱-۱۲: دو نمونه سیستم سرمایشی تبخیری غیرمستقیم ۲۱

فصل دوم: انواع کولرهای آبی، کاربردها و روابط ترمودینامیکی

۲-۱: تصویری از یک کپر ۲۴

۲-۲: بادگیر عمارت دولت آباد در یزد ۲۵

۲-۳: اجزای اصلی کولر آبی ۲۶

۲-۴: پوشال چوب صنوبر ۲۹

۲-۵: تصاویری از پوشال سلولزی ۲۹

۲-۶: پوشال سنتزی پلی پروپیلن ۳۰

۲-۷: نمودار فازی آب ۳۱

۲-۸: فرایند سرمایش در کولر آبی ۳۳

۲-۹: منحنی رطوبت‌سنجی سیستم آب و هوا و نمایش تغییرات مشخصات هوا در طی فرایند سرمایش تبخیری مستقیم ۳۶

۲-۱۰: نمودار رطوبت‌سنجی برای کولرآبی با بازدهی خنک‌سازی ۸۰٪ ۳۸

۲-۱۱: تغییرات دما و رطوبت هوا توسط کولر آبی با بازدهی ۸۰٪ در شرایط مختلف هوای ورودی ۳۸

۲-۱۲: تغییر مشخصات هوا در طی فرایند سرمایش تبخیری دو مرحله‌ای ۳۹
۲-۱۳: نمایش شماتیک از یک کولر آبی خورشیدی ۴۰
۲-۱۴: نمودار بازده سرمایشی کولر آبی برحسب دمای هوای محیط ۴۴
۲-۱۵: وجود حفره و نایکنواختگی در فشردگی پوشال چوب درخت صنوبر ۴۷
۲-۱۶: از بین رفتن قسمتی از پوشال با گذشت زمان ۴۷
۲-۱۷: تصویری از دستگاه گرمایشی- سرمایشی زنت ۴۹
۲-۱۸: تصویری از کولر آبی سلولزی ۵۰
۲-۱۹: هواساز سلولزی با کویل گرمایشی ۵۱
۲-۲۰: تصویر شماتیک از دستگاه زنت با اسپری آب ۵۲
۲-۲۱: تصویری از دستگاه ایرواشر ۵۲

فصل سوم: مبانی نظری طراحی جدید

۳-۱: نمودار رفتار تغییرات فشار جزئی بخار آب برحسب دما برای سطح‌های مختلف ۵۶
۳-۲: نمودار تغییرات سرعت خالص تبخیر با گذشت زمان ۵۷
۳-۳: تغییرات فشار جزئی آب در سطح مایع در مجاورت جریان هوا ۵۹
۳-۴: عبور جریان هوا از سطح مایع ۵۹
۳-۵: تغییرات $\exp(1/r)$ برحسب لگاریتم شعاع قطره ۶۴

فصل چهارم: طراحی و ساخت

۴-۱: تصویر شماتیک از کولر طراحی شده ۶۹
۴-۲: تصویری از نمای بیرونی کولر طراحی شده ۷۰
۴-۳: تصویر دمنده مورد استفاده در کولر جدید ۷۱
۴-۴: تصاویری از نازل بکار رفته در ساخت کولر جدید ۷۲
۴-۵: تصویری از نحوه توزیع نازل‌ها ۷۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل اول: مکانیسم سیستم‌های خنک‌کننده در تهویه مطبوع

فصل دوم: انواع کولرهای آبی، کاربردها و روابط ترمودینامیکی

۲-۱: نتایج حاصل از اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی هوای ورودی و خروجی از کولر آبی.....۴۵

فصل سوم: مبانی طراحی جدید

فصل چهارم: طراحی و ساخت

۴-۱: مشخصات دمنده.....۷۰

۴-۲: مشخصات نازل.....۷۲

۴-۳: نتایج حاصل ا ز اندازه‌گیری دما و رطوبت‌نسبی هوای ورودی و خروجی از کولر آبی طراحی شده.....۷۴

چکیده

کولر آبی یک تکنولوژی شناخته شده و قدیمی برای تهویه هوا است. این سیستم در بسیاری از مناطق گرم وخشک جهان بطور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. طراحی کولرهای امروزی مربوط به ۵۰ سال قبل است و جای تعجب است که تاکنون تغییری در آن داده نشده است. این کولرها دارای اشکالات فراوانی هستند که باعث می‌شود در اوج گرمای تابستان عملا بهره کافی نداشته باشند. در این پایان نامه به بررسی عملکرد و اشکالات در کولرهای آبی و ارائه طرحی به منظور افزایش بازدهی خنک سازی آنها پرداخته شد. از اشکالات اساسی کولر آبی کم بودن سرعت تبخیر آب از روی سطح است. در طراحی جدید با اسپری کردن آب، سرعت تبخیر بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. مبانی نظری طراحی جدید شامل بررسی سینتیک تبخیر آب و مقایسه آن در حالت توده‌ای با حالت قطره‌ای است. اثر قطره‌ای شدن آب بر سرعت تبخیر و میعان و فشار بخار نیز بررسی شد. پس از آن، ساخت کولر طراحی شده صورت گرفت. به منظور برآورد بازده خنک‌سازی کولر آبی معمولی و کولر طراحی شده آزمایشاتی ترتیب داده شد تا دما و رطوبت هوای خروجی دو کولر در شرایط مختلف اندازه-گیری شود. بازده خنک‌سازی در کولر معمولی بین ۶۰-۷۰٪ و در کولر طراحی شده در حدود ۹۵٪ بدست آمد. بنابراین طراحی جدید کولر آبی سبب افزایش ۳۰-۴۰٪ در بازدهی خنک‌سازی این نوع از کولرها شده است که این افزایش بازدهی سبب افزایش خنک‌کنندگی به میزان ۶-۵ درجه سانتیگراد می‌شود. مقایسه دو نوع کولر برتری کولر طراحی شده را نشان می‌دهد. این برتری در زمینه راندمان خنک سازی بیشتر و مصرف انرژی کمتر است. با توجه به تعداد فراوان کولر آبی در ایران چنانچه این طرح جایگزین کولرهای فعلی شود، مقدار عظیمی در انرژی صرفه‌جویی می‌شود. این صرفه‌جویی در فصل تابستان و پیک مصرف انرژی است که اثر مستقیمی بر حفظ منابع آبی کشور دارد.

فصل اول
مکانیسم سیستم‌های خنک‌کننده در تهویه مطبوع

مقدمه

تبرید یا سرمایش شاخه‌ای از علم و فناوری است که با فرایند کاهش دمای یک سیستم و نگهداشتن آن در پایین‌تر از دمای محیط اطراف سروکار دارد. تنها در عرض چند دهه صنعت تبرید رشد کرده و به صنعت عظیم و سریع در حال رشد امروزی رسیده است. این رشد ناگهانی در اثر چندین عامل به وجود آمد. نخست با گسترش روش‌های دقیق ساخت، تولید دستگاه‌های کوچکتر و کاراتر امکان‌پذیر شد. این موضوع همراه با ابداع مبردهای بی‌خطر و اختراع موتور الکتریکی با قدرت کمتر از یک اسب بخار، ساختن دستگاه کوچک تبرید را ممکن ساخت که امروزه استفاده از آن در مواردی مانند یخچال‌ها و فریزرهای خانگی، کولرهای گازی کوچک و تأسیسات تجاری بسیار رایج است. امروزه کاربردهای تبرید بسیار گسترش یافته است و کمتر صنعتی را می‌توان یافت که از تبرید بهره نگیرد که این مطلب اهمیت تبرید را تأیید می‌کند. کاربردهای عمده تبرید عبارتند از تهویه مطبوع، نگهداری و حمل مواد غذایی و تبرید صنعتی[۱]. وسیعترین کاربرد تبرید در زمینه تهویه مطبوع است. مباحث تهویه مطبوع و تبرید با یکدیگر پیوند متقابل دارند و درعین حال هر یک نیز کاربردهای خاص خود را شامل می‌شوند.

همانطور که از عنوان تهویه مطبوع مشخص است این اصطلاح به معنای تأمین شرایط مناسب هوا می باشد. تعریف تهویه مطبوع توسط کریر[۱] به این صورت است:

«تهویه مطبوع کنترل رطوبت هوا با افزایش یا کاهش دادن مقدار بخار آب موجود در آن، کنترل درجه حرارت هوا با گرم یا سردکردن آن، خالص‌سازی هوا با شستشو یا فیلترکردن آن و کنترل سرعت حرکت و جریان هوا است[۲].»

درتهویه مطبوع عامل اصلی تنظیم کردن درجه حرارت است و بقیه موارد بعنوان عوامل فرعی در نظر گرفته می‌شوند. کاربردهای تهویه مطبوع، با توجه به هدف آن، به دو دسته تهویه مطبوع صنعتی و آسایشی تقسیم‌بندی می‌شوند. در تهویه مطبوع صنعتی هدف تأمین شرایط مناسب هوا برای کاربردهای صنعتی است. بعنوان مثال در صنایع پلیمری تأمین شرایط مناسب هوای کارخانه بخصوص دما و رطوبت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و در کیفیت محصولات به شدت تأثیر می‌گذارد. هر گونه تهویه مطبوعی که هدف اصلی آن تهویه هوا برای آسایش انسان باشد، تهویه مطبوع آسایشی نامیده می‌شود. کاربرد این سیستم‌ها در ساختمان‌ها و وسایل نقلیه است. از کاربردهای تهویه مطبوع آسایشی، خنک-سازی هوا در شرایطی است که بالا بودن دمای هوای محیط آسایش و راحتی انسان را تأمین نکند. این امر توسط سیستم‌های خنک‌کننده هوا امکان‌پذیر است.

۱-۱- تاریخچه

ایجاد سرما توسط دستگاه در تهویه مطبوع یک اختراع نسبتا مدرن است. اما سرمایش فضای داخلی ساختمان سابقه طولانی دارد. در رم باستان کانال‌های آب در اطراف بعضی از خانه‌ها به منظور خنک-سازی هوای خانه بکار برده می‌شد. مشابه چنین تکنیکی در ایران نیز بکار گرفته می‌شد. خنک‌سازی طبیعی از طریق باد وآب در مناطق وسیعی از ایران که آب و هوای گرم و خشک دارند مانند شهرهای یزد، اصفهان وکاشان سابقه دیرینه دارد و هم اکنون نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در قرن دوم مخترع چینی هوان[۲] فن چرخشی دستی را برای تهویه هوا اختراع کرد[۳]. هواکش‌ها (بادزن‌ها) در مصر قرون وسطی اختراع شد و بطور گسترده در بسیاری از خانه‌های قاهره مورد استفاده قرار گرفت[٤]. در سال ۱۸۲۰ دانشمند بریتانیایی فارادی[۳] در حین متراکم و مایع نمودن آمونیاک متوجه شد هنگامیکه به

---

۱. Carrier
۲. Huan
۳. Michael Faraday

آمونیاک مایع اجازه تبخیر شدن داده شود، هوا را خنک می‌کند. اگرچه او از این ایده در آن زمان نتوانست استفاده کند ولی مقدمه‌ای برای انجام کارهای بعدی در آینده شد. در سال ۱۸۴۲ جان گوری[۱] فیزیکدان اهل فلوریدا از تکنولوژی کمپرسور برای تولید یخ استفاده کرد. در سال ۱۹۰۲ اولین دستگاه تهویه هوای الکتریکی مدرن توسط کریر اختراع شد[۲]. او این دستگاه را برای کنترل دما و رطوبت هوا در کارگاه چاپ خود طراحی کرد. در کارگاه چاپ پایین بودن دما و رطوبت به حفظ ابعاد کاغذ و ردیف‌بندی جوهر کمک می‌کرد. تماس غیرمستقیم هوا با آب سرد داخل کویل‌های بکار رفته در این دستگاه، باعث سرد شدن هوا و کاهش مقدار رطوبت موجود در آن می‌شد. این ایده به ذهن کریر رسید که فرایند سرمایش و رطوبت‌زدایی هوا با استفاده از تماس مستقیم بین آب و هوا نیز امکان‌پذیر است. بر همین اساس کریر یک سیستم تهویه مطبوع با عنوان ایرواشر[۲] طراحی نمود که توسط شرکت فورگو بوفالو[۳] ساخته شد. در ایرواشر آب سرد در مسیر جریان هوا اسپری می‌شد و بدین ترتیب سرمایش و رطوبت‌زدایی از هوا صورت می‌گرفت. تا سال ۱۹۰۹ بطور گسترده از ایرواشرها در صنایع چاپ، تنباکو، کاغذ و استیل استفاده می‌شد. دستگاه ایرواشر به دلیل خصوصیاتی از قبیل داشتن ابعاد بزرگ، حجیم بودن و قیمت بالا برای خنک سازی منازل استفاده نمی‌شد. اما در ساختمان‌های صنعتی از جمله کارگاه-های چاپ، منسوجات، کارخانه‌های داروسازی و برخی بیمارستان‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت. با ابداع مبدل‌های حرارتی جدید، سرمایش و رطوبت‌زدایی با استفاده از کویل سرد خیلی مؤثرتر از ایرواشر قرار گرفت. بنابراین ایرواشرها بتدریج عمومیت خود را از دست دادند. در سال ۱۹۰۶ کرامر[٤] امریکایی رطوبت را به همراه تهویه هوا به منظور سرمایش و رطوبت‌زنی بکار برد و بدین ترتیب میزان رطوبت مورد نیاز کارخانه نساجی خود را کنترل کرد. این فرایند تبخیر آب در هوا و ایجاد سرمایش اکنون بعنوان سرمایش تبخیری شناخته شده است. در سیستم‌های سرمایشی از سیالاتی مانند آب، پروپان، متیل کلرید و آمونیاک بعنوان سیال خنک‌کننده استفاده می‌شد. در سال ۱۹۲۸ اولین گاز کلروفلوروکربن، فرئون، توسط مایدگلی[٥] پدیدآمد. سیال خنک‌کننده‌ای که برای انسان ایمن بود. بعد از گذشت چندین سال پی به قدرت تخریبی فرئون و دیگر کلروفلوروکربن‌ها بر لایه اوزون بردند[٥]. با افزایش این نگرانی در سال ۱۹۷۰ پروتکل مونترال تولید کلروفلوروکربن‌ها را ممنوع اعلام کرد و بجای آن سیالاتی که پتانسیل

---

۱. John Gorrie
۲. Air washer
۳. Forgo Buffalo
٤. Cramer
٥. Midgley

تخریب لایه اوزون ندارند، بعنوان سیال خنک‌کننده معرفی شدند. از سال ۱۹۷۰ بالا رفتن قیمت انرژی مسأله مهمی در برانگیختن رقابت‌های فنی برای مهندسین بوده است. ابداعات جدیدی در مورد بهبود راندمان که زمانی عملی به نظر نمی‌رسیدند، به صورت جدی مورد توجه قرار گرفتند و اغلب از نظر اقتصادی نیز به اثبات رسیدند. نوآوری در زمینه تهویه مطبوع با تأکید بر بالا بردن بازدهی انرژی و بهبود کیفیت هوا همچنان ادامه دارد.

بطور کلی سیستم‌های خنک‌کننده‌ای که در تهویه مطبوع کاربرد دارند از لحاظ مکانیسم و نحوه عملکرد از سه فرایند سرمایشی تراکمی، جذبی وتبخیری تبعیت می‌کنندکه در ادامه مطالب هر کدام از این سه فرایند توضیح داده خواهند شد.

۱-۲- فرایند سرمایش تراکمی

فرایند سرمایش تراکمی رایج‌ترین فرایند مورد استفاده در تبرید است. فرایند سرمایش تراکمی بصورت سیکلی کار می‌کند. در سیکل سرمایشی گرما از منبع سرد به منبع گرم انتقال می‌یابد. قانون دوم ترمودینامیک بیان می‌کندکه؛ ساختن سیستمی که در یک سیکل بتواند انرژی را بصورت گرما از منبع سرد به منبع گرم انتقال دهد بدون دریافت کار، غیر ممکن است[٦]. بنابراین در یک سیکل سرمایشی برای انتقال گرما نیاز به دریافت انرژی بصورت کار است. این انرژی در سیکل سرمایشی تراکمی توسط کمپرسور به سیستم داده می‌شود. کمپرسور با متراکم نمودن بخار سیال مبرد روی آن کار انجام می‌دهد. وظیفه انتقال انرژی گرمایی در سیکل سرمایشی برعهده سیالی به نام سیال مبرد[۱] است. مبرد در حین گردش در سیکل چند بار تغییر حالت می‌دهد تا گرما از منبع سرد به منبع گرم انتقال یابد[۱].

۱-۲-۱- سیکل کارنو

سیکل کارنو پربازده‌ترین سیکلی است که برای یک سیستم سرمایشی می‌توان در نظر گرفت که در آن هریک از فرایندها بصورت برگشت‌پذیرعمل می‌کنند. نمودار تغییرات دما برحسب انتروپی در یک سیکل کارنو در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. بازده سیکل کارنو فقط تابع محدوده درجه حرارتی است که در آن کار می‌کند[۱].

تحولات اصلی این سیکل عبارتند از:

۱-۲. فرایند تراکم آدیاباتیک برگشت‌پذیرکه طی آن دمای سیال مبرد افزایش می‌یابد.

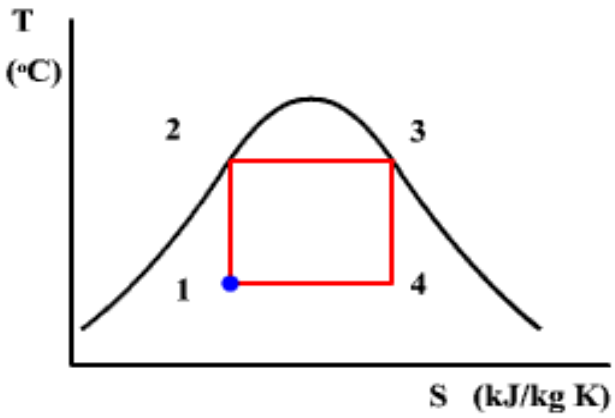
---

۱. Refrigerant fluid

۲-۳. فرایند ایزوترمال برگشت‌پذیر که حرارت از سیال مبرد به منبع گرم انتقال داده می‌شود.

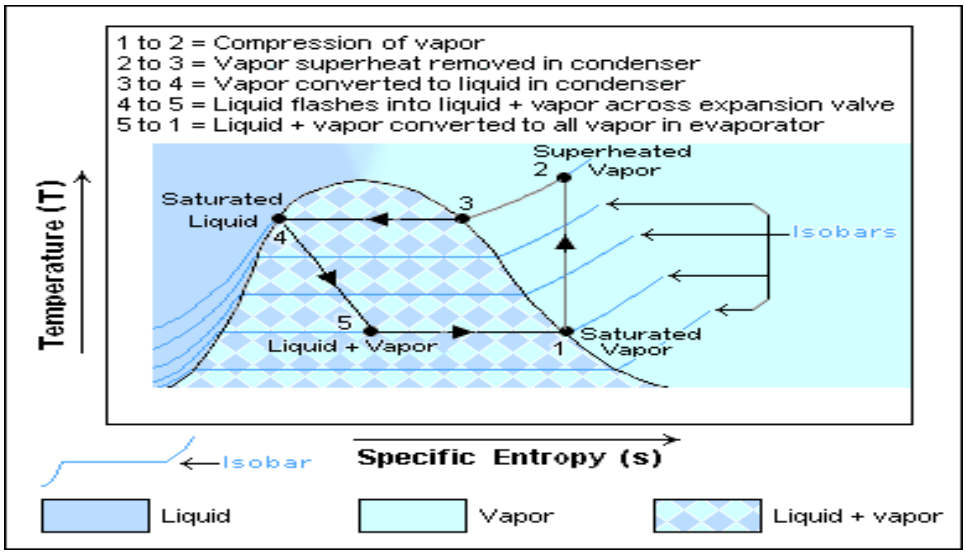
۳-۴. انبساط آدیاباتیک برگشت‌پذیر که طی آن دمای سیال مبرد کاهش می‌یابد.

۴-۱. فرایند ایزوترمال برگشت‌پذیر که حرارت از منبع سرد به سیال مبرد انتقال داده می‌شود.



شکل ۱-۱: نمودار دما- انتروپی سیکل سرمایشی کارنو[۱]

ساختن سیستمی که با این سیکل کار کند، در عمل مشکلات عمده‌ای خواهد داشت. با اعمال تغییراتی در این سیکل آن را بصورت یک سیکل سرمایشی استاندارد برای سیستم‌های سرمایشی واقعی بکار می‌برند. نمودار دما - انتروپی برای یک سیکل سرمایشی استاندارد در شکل ۱-۲ نشان داده شده است[۱].



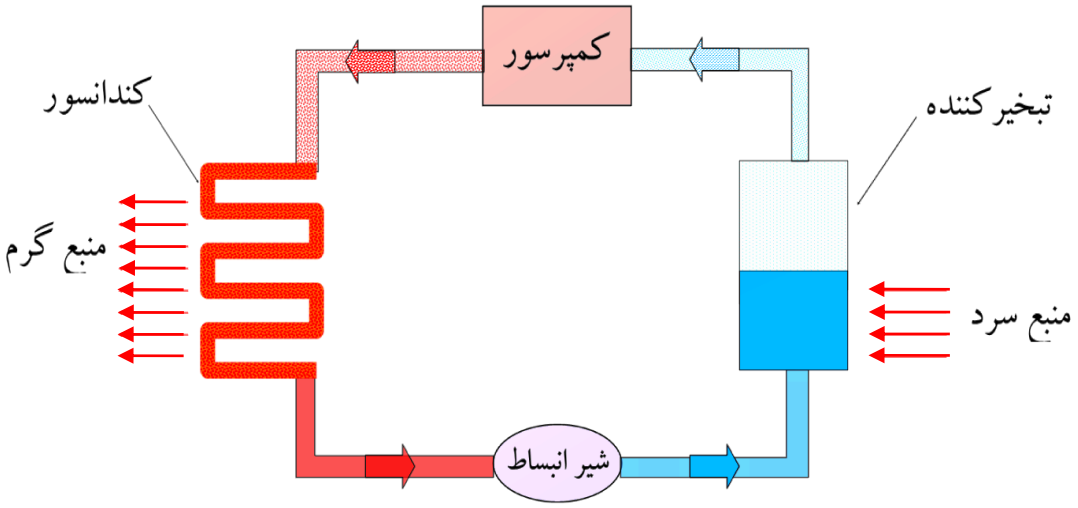
شکل ۱-۲: نمودار دما برحسب انتروپی برای سیکل سرمایشی استاندارد تراکمی [۱]

۱-۲-۲- مکانیسم فرایند تراکمی

سیستم سرمایشی تراکمی از کمپرسور، چگالنده[۱]، تبخیرکننده[۲] و شیر انبساط[۳] تشکیل شده است. کمپرسور قلب یک سیستم تراکمی است که با ایجاد مکشی بخار سیال مبرد را از قسمت تبخیرکننده خارج می‌کند و سپس با متراکم کردن این بخارات سبب بالا رفتن دما و فشار آن‌ها می‌شود. در کمپرسور عمل تراکم بسیار سریع انجام می‌شود. به دلیل کوتاه بودن زمان تراکم و کوچک بودن اختلاف دمای بخار مبرد و دیواره سیلندر، انتقال گرما از مبرد به سیلندر در فرایند تراکم معمولا قابل چشم‌پوشی است. بنابراین فرض می‌شود که تراکم بخار در کمپرسور به صورت آدیاباتیک انجام می‌شود. در فرایند تراکم آدیاباتیک انرژی داخلی گاز به اندازه کاری که برای متراکم کردن آن انجام می‌شود، افزایش می‌یابد. از این‌رو وقتی بخار مبرد در کمپرسور به صورت آدیاباتیک متراکم می‌شود، دما و آنتالپی آن متناسب با مقدار کار انجام شده روی بخار افزایش می‌یابد. هر چه کار تراکم بیشتر باشد، افزایش دما و آنتالپی نیز بیشتر خواهد بود. کمپرسور بخارات سیال مبرد را به قسمت چگالنده می‌فرستد که در آنجا با از دست دادن گرما به مایع تبدیل می‌شود. مایع خروجی از چگالنده با عبور از شیر انبساط به تبخیرکننده برمی‌گردد. چون افت فشار مبرد در شیر انبساط ناگهان رخ می‌دهد، برای انتقال گرما بین مبرد و محیط زمان کافی وجود ندارد. بنابراین کاهش دمای لازم برای مبرد باید از طریق انتقال گرما در خود مبرد صورت گیرد. به همین علت بخشی از مایع مبرد با عبور از شیر انبساط تبخیر می‌شود که گرمای لازم برای تبخیر از مایع باقیمانده گرفته می‌شود و اینکار سبب کاهش دمای مایع مبرد می‌گردد. مایع سرد به تبخیرکننده برمی‌گردد و در آنجا از طریق جذب گرما از منبع سرد تبخیر می‌شود. شکل ۱-۳ نمایش شماتیک از سیکل سرمایشی تراکمی را نشان می‌دهد. این مکانیسم برای یک سیکل سرمایش تراکمی ایده‌ال است. اما به دلیل وجود عواملی از قبیل افت فشار اصطکاکی در سیستم، رفتار غیرایده‌ال گاز و برگشت‌ناپذیری در حین تراکم، اثر زیر سرمایش مایع و فوق گرمایش بخار رفتار یک سیستم سرمایشی از سیکل ایده‌ال انحراف نشان می‌دهد[۱]. کولر گازی از جمله سیستم‌هایی است که در تهویه مطبوع کاربرد دارد و براساس فرایند سرمایش تراکمی کار می‌کند.

---

۱. Condenser
۲. Evaporator
۳. Expansion valve



شکل۱-۳: نمایش شماتیک از سیکل سرمایشی تراکمی

۱-۲-۳- مبرد

مبرد ماده‌ای است که با جذب گرما از ماده دیگر بعنوان سردکننده عمل می‌کند. مبرد در یک سیکل سرمایشی هنگامیکه گرما جذب می‌کند تبخیر می‌شود و با دفع گرما چگالش می‌یابد. پس یک سیال باید مشخصه‌های شیمیایی، فیزیکی و ترمودینامیکی معینی داشته باشد تا بعنوان یک سیال مبرد در سیکل سرمایشی بکار رود[۷]. بطور کلی مبردها به چهار گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند:

۱. **ترکیبات هالوکربنی:** گروه هالوکربنی شامل مبردهایی است که دارای یک یا چند هالوژن نظیر کلر، فلور و یا برم می باشند مانند دی کلرو دی فلورو متان، تری کلرو منوفلورو متان و تری کلرو تری فلورو اتان.

۲. **ترکیبات غیرآلی:** بسیاری از مبردهای اولیه ترکیبات غیرآلی مانند آب، آمونیاک، هوا، دی اکسید گوگرد و دی اکسید کربن بودندکه برخی از آن‌ها تا به امروز اهمیت خود را حفظ کرده‌اند.

۳. **هیدروکربن‌ها:** هیدروکربن‌هایی مانند متان، اتان و پروپان بعنوان مبرد مورد استفاده قرار می‌گیرند.

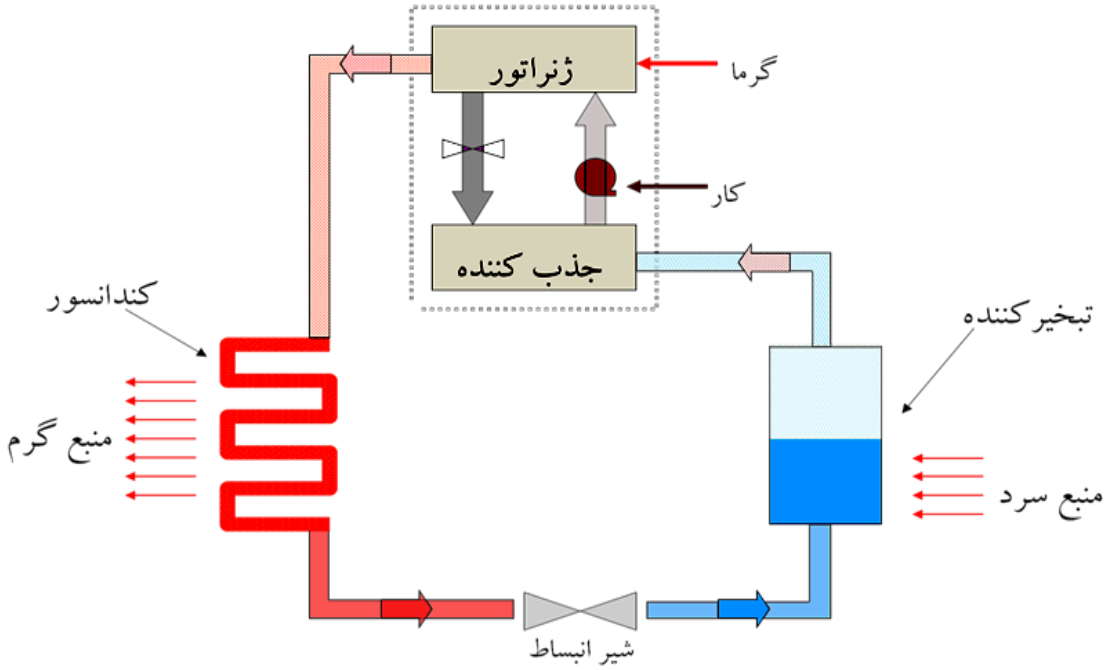
۴. **آزئوتروپ‌ها**[۱]: آزئوتروپ مانند یک ماده خالص تبخیر و تقطیر می‌شود ولی خواصی متفاوت از خواص اجزای تشکیل‌دهنده دارد. معروف‌ترین آزئوتروپ مبردی با نام عددی ۵۰۲ است که مخلوط ۴۸/۸٪ مبرد ۲۲ ($CHClF_2$) و ۵۱/۲٪ مبرد ۱۱۵ ($CClF_2CF_3$) است.

---

۱. Azeotrops

۱-۳- فرایند سرمایش جذبی

در سال ۱۸۶۰ یک فرانسوی به نام فردیناندکاره[۱] سیستم جذبی را اختراع کرد و آن را در امریکا به ثبت رسانید. سیستم خنک‌کننده جذبی از سیکل سرمایشی جذبی پیروی می‌کند. این سیکل مشابه سیکل سرمایشی تراکمی است با این تفاوت که بجای کمپرسور سیکل تراکمی دو قسمت دیگر شامل، جذب-کننده و ژنراتور وجود دارد. شکل ۱-۴ نمایش شماتیک از سیکل سرمایشی جذبی را نشان می‌دهد. مکش بخارات سیال مبرد که در سیکل تراکمی توسط کمپرسور صورت می‌گرفت، در این سیکل توسط ماده جاذب موجود در جذب کننده انجام می‌گیرد. ماده جاذب با جذب بخارات سیال مبرد به صورت محلول رقیقی در می‌آید که هرچه رقت آن بیشترشود قدرت جذب‌کنندگی کمتری خواهد داشت. این محلول توسط یک پمپ به قسمت ژنراتور فرستاده می‌شود تا در آنجا با دادن حرارت، بخارات سیال مبرد از ماده جاذب جدا شود. باید توجه داشت که دما در این قسمت باید کمتر از دمای نقطه جوش ماده جاذب باشد تا فقط سیال مبرد بصورت بخار خارج شود. در واقع خروجی از ژنراتور مانند خروجی از کمپرسور در سیکل تراکمی، بخاراتی با دما و فشار بالا است که در چگالنده مایع شده و گرمای حاصل از عمل میعان به منبع گرم داده می‌شود. مایع بدست آمده در چگالنده قبل از وارد شدن به قسمت تبخیر-



شکل۱-٤: نمایش شماتیک از سیکل سرمایشی جذبی

۱. Ferdinand Carre