

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۸۷, ۱, ۱۰۸۸۸۱

۸۸-۱۳۴



دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

طراحی و شبیه‌سازی کندانسورهای هوا خنک با استفاده از  
لوله‌های گرمایی جهت استفاده در چیلرهای جذبی آب-آمونیاک

توسط

احسان رادمهر

استاد راهنما

دکتر علی‌اکبر گل‌نشان

استاد راهنما  
دکتر علی‌اکبر گل‌نشان

۳۳۸ / ۱ / ۲۱

شهریور ماه ۱۳۸۷

۱۱۱۱۱۹

به نام خدا

طراحی و شبیه‌سازی کندانسورهای هوا خنک با استفاده از لوله‌های گرمایی جهت استفاده در  
چیلرهای جذبی آب-آمونیاک

به وسیله‌ی:

احسان رادمهر

پایان‌نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ  
درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه: عالی

دکتر علی‌اکبر گل‌نشان، استادیار بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز (رئیس کمیته).....

دکتر خسرو جعفرپور، دانشیار بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز.....

دکتر محمود یعقوبی، استاد بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز.....

شهریور ماه ۱۳۸۷

تقدیم به

دو کوکب فروزان آسمان قلبم،  
پدر و مادر عزیزم  
و کهکشانی از آنها که  
دوستشان دارم.

## سپاسگزاری

... با سپاس از الطاف بی‌کران آن ذات یگانه ازلی و با سپاس از زحمات بی‌شائبه و دلسوزانه پدر و مادر عزیزم که کژتابی‌های رفتارم را شکیبا بودند و همواره و در همه حال مرا یاری نمودند و با تشکر از :

- استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر علی‌اکبر گل‌نشان که همواره چون پدری دلسوز و معلمی مهربان با توصیه‌ها و اندرزهایشان چراغی فراسوی راهم بوده و هستند.
- اساتید محترم، جناب آقای دکتر محمود یعقوبی و جناب آقای دکتر خسرو جعفرپور که با مشاوره‌های ارزنده‌شان مرا در هرچه بهتر شدن این پایان‌نامه رهنمون گشتند.
- جناب آقای دکتر خراطی استاد محترم بخش آمار که در مراحل پایانی این پایان‌نامه مرا یاری فرمودند.
- دوستان گرامی جناب آقای دکتر زمانی، دکتر قناعتیان و برادرانم محمد و محسن که وجود و راهنمایی‌هایشان باعث دلگرمی من بود.

## چکیده

### طراحی و شبیه‌سازی کندانسورهای هوا خنک با استفاده از لوله‌های گرمایی جهت استفاده در چیلرهای جذبی آب-آمونیاک

به وسیله‌ی

احسان رادمهر

افزایش ضریب عملکرد سیکل‌های جذبی از جمله تلاش‌هایی است که در زمینه بهبود عملکرد این سیستم‌ها صورت پذیرفته است. در سیکل‌های جذبی آب-آمونیاک، در یک دمای ثابت کارکرد ژنراتور، افزایش فشار عملکرد سیکل و در نتیجه کندانسور موجب کاهش میزان حرارت انتقالی در کندانسور می‌گردد و به این ترتیب می‌توان با بالا بردن فشار ضریب عملکرد سیکل را افزایش داد؛ این موضوع مستلزم آن است که ضخامت لوله‌های کندانسور افزایش یابد تا موجب پارگی و از هم گسیختگی آنها نگردد. افزایش ضخامت لوله‌های کندانسور موجب می‌شود که مقاومت حرارتی کندانسور افزایش یافته و از طرف دیگر باعث افزایش وزن آن می‌گردد. همچنین در سیکل‌های جذبی آب-آمونیاک مقدار حرارتی که در کندانسور به محیط بیرون داده می‌شود زیاد است و لذا سطح و حجم مورد نیاز کندانسورهای هوا خنک فشرده روی سیستم‌های جذبی و دبی هوای خنک‌کن مورد نیاز جهت تقطیر بخار آب-آمونیاک در کندانسورهای موجود زیاد می‌باشد. این مساله موجب شده است که سیکل‌های جذبی هوا خنک با تناژ پایین، عمدتاً در محیط‌های کم دما مفید باشند و در محیط‌های گرم از کارآمدی آنها به شدت کاسته شود.

در این تحقیق با توجه به کارایی بالای لوله‌های گرمایی در انتقال حرارت بین دو محیط با اختلاف درجه حرارت کم و به کمک آنالیز حرارت، آنالیز افت فشار و روابط حاکم بر مخلوط آب-آمونیاک، کندانسورهای لوله‌گرمایی هوا خنکی جهت استفاده در چیلرهای جذبی آب-آمونیاک شبیه‌سازی و طراحی گردیده و آنگاه انرژی تولیدی در آنها محاسبه شده است. در این کندانسورها به دلیل اینکه فشار مخلوط آب-آمونیاک به جداره خارجی لوله‌های گرمایی اعمال می‌شود و فشار داخل لوله گرمایی نیز به دلیل محدوده‌ی عملکرد دمایی کندانسور پایین است، لذا می‌توان لوله‌های گرمایی را از جنس آلومینیم، با ضخامت پایین انتخاب نمود. به این ترتیب وزن، حجم و سطح کندانسور نسبت به کندانسورهای موجود کاهش می‌یابد. از طرف دیگر مقاومت حرارتی کندانسور نیز به دلیل استفاده از لوله‌های گرمایی کاهش یافته و به دنبال آن دبی هوای خنک‌کن مورد نیاز کاهش می‌یابد؛ لذا دستگاه مکنده‌ای کوچک‌تر و با توانی کمتر از دستگاه‌های مکنده کندانسورهای موجود مورد نیاز می‌باشد. با توجه به آنالیزهای انجام شده، یک کندانسور لوله‌گرمایی جهت استفاده در چیلر جذبی آب-آمونیاک با تناژ ۵ تن تبرید و کارکرد در شرایط محیطی ۴۵ درجه سانتیگراد و پایین‌تر، طراحی گردید.

در بخش دیگری از این تحقیق، به کمک روابط حاکم بر مخلوط آب-آمونیاک، عملکرد یک سیکل جذبی به‌گونه‌ای شبیه‌سازی شده است که با داشتن شرایط طراحی شامل، دماهای عملکرد ژنراتور، کندانسور، تبخیرکننده و جذب‌کننده می‌توان شرایط کارکرد هر یک از اجزاء و ضریب عملکرد سیکل را نیز بدست آورد.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- مقدمه.....
۲	۱-۱- انواع سیستم‌های سرمایش جذبی.....
۳	۱-۱-۱- چیلرهای آب- آمونیاک.....
۳	۱-۱-۲- چیلرهای آب و لیتیم برماید.....
۴	۱-۱-۳- سیستم آب و آمونیاک و هیدروژن.....
۵	۱-۱-۴- ویژگی‌های محلول آب- آمونیاک.....
۶	۱-۱-۵- کندانسور در سیکل‌های سرمایش جذبی.....
۷	۲- مروری بر تاریخچه.....
۷	۲-۱- سیستم جذبی.....
۱۱	۲-۱-۱- چیلرهای جذبی با تناژ سرمایشی پایین.....
۱۲	۲-۲- مبدل‌های حرارتی لوله گرمایی.....
۱۵	۲-۳- هدف تحقیق حاضر.....
۱۶	۳- سیکل‌های جذبی و مبدل‌های لوله گرمایی.....
۱۶	۳-۱- خواص ترمودینامیکی سیالات مخلوط.....
۱۶	۳-۱-۱- روابط بین خواص یک سیستم با اجزاء مشخص.....
۱۸	۳-۱-۲- روابط بین خواص یک سیستم باز.....
۲۰	۳-۱-۳- معادلات حالت.....

- ۲۰ ..... ۴-۱-۳- حجم مخلوط
- ۲۱ ..... ۵-۱-۳- انتالپی مخلوط
- ۲۲ ..... ۶-۱-۳- گرمای ویژه فشار ثابت
- ۲۲ ..... ۷-۱-۳- انتقال حرارت و تقطیر یک سیال دو جزئی
- ۲۴ ..... ۸-۱-۳- دیاگرام دما بر حسب نسبت جرمی (T-x)
- ۲۶ ..... ۹-۱-۳- دیاگرام انتالپی بر حسب نسبت جرمی (h-x)
- ۲۸ ..... ۲-۳- سیکل سرمایشی تراکمی
- ۲۹ ..... ۳-۳- سرمایش جذبی
- ۳۱ ..... ۱-۳-۳- ژنراتور
- ۳۱ ..... ۲-۳-۳- ستون تقطیر
- ۳۲ ..... ۳-۳-۳- جذب کننده
- ۳۲ ..... ۴-۳-۳- کندانسور
- ۳۳ ..... ۴-۳- طراحی سیکل
- ۳۵ ..... ۱-۴-۳- پیش سردکن
- ۲-۴-۳- تعیین شرایط ورودی به کندانسور و میزان غلظت محلول غلیظ مورد نیاز
- ۳۶ ..... سیستم
- ۴۲ ..... ۳-۴-۳- محاسبه‌ی کار پمپ
- ۴۲ ..... ۴-۴-۳- جذب کننده
- ۴۴ ..... ۵-۳- مبدل حرارتی لوله گرمایی
- ۴۴ ..... ۱-۵-۳- مبدل‌های حرارتی
- ۴۵ ..... ۲-۵-۳- لوله‌های گرمایی
- ۴۵ ..... ۳-۵-۳- عملکرد لوله‌های گرمایی
- ۴۷ ..... ۴-۵-۳- انواع لوله‌های گرمایی
- ۴۸ ..... ۵-۵-۳- دامنه دمایی و سیال کاری به کار رفته در لوله‌های گرمایی
- ۵۰ ..... ۶-۵-۳- مبدل‌های حرارتی لوله گرمایی



- ۳-۵-۷- کاربردهای مبدل‌های حرارتی لوله گرمایی..... ۵۱
- ۳-۶-۶- طراحی مبدل‌های حرارتی لوله گرمایی..... ۵۳
- ۳-۶-۱- آنالیز انتقال حرارت در مبدل‌های لوله گرمایی..... ۵۳
- ۳-۶-۲- محاسبه‌ی ضریب انتقال حرارت کلی..... ۵۵
- ۳-۶-۳- محاسبه مقاومت‌های جابجایی خارجی..... ۵۷
- ۳-۶-۴- محاسبه مقاومت‌های جابجایی داخلی..... ۵۹
- ۳-۶-۵- آنالیز افت فشار..... ۶۱
- ۴- مدلسازی..... ۶۳
- ۴-۱- روابط و فرمول‌های شبیه‌سازی شده، حاکم بر خواص ترمودینامیکی و ترموفیزیکی
- مخلوط آب- آمونیاک..... ۶۳
- ۴-۱-۱- مقدمه..... ۶۳
- ۴-۱-۲- کمیت‌های ثابت اجزاء مخلوط..... ۶۴
- ۴-۱-۳- تعادل مایع \_ بخار و خواص ترمودینامیکی..... ۶۴
- ۴-۱-۴- فشار و دمای بحرانی مخلوط..... ۶۸
- ۴-۱-۵- گرمای ویژه مایع مخلوط در فشار ثابت..... ۶۸
- ۴-۱-۶- ضریب هدایت گرمایی مخلوط در حالت مایع..... ۷۱
- ۴-۱-۷- ویسکوزیته دینامیکی مخلوط در حالت مایع..... ۷۵
- ۴-۱-۸- محاسبه چگالی مخلوط در حالت مایع اشباع..... ۷۸
- ۴-۱-۹- ضریب هدایت مخلوط در حالت بخار..... ۸۰
- ۴-۱-۱۰- ویسکوزیته دینامیکی مخلوط آب- آمونیاک در فاز بخار..... ۸۲
- ۴-۱-۱۱- چگالی مخلوط اشباع در حالت بخار..... ۸۴
- ۴-۱-۱۲- ظرفیت گرمای ویژه مخلوط اشباع در حالت بخار..... ۸۵
- ۴-۱-۱۳- محاسبه ضریب هدایت حرارتی آب خالص..... ۸۶
- ۴-۱-۱۴- محاسبه‌ی ویسکوزیته دینامیکی آب خالص..... ۸۷
- ۴-۱-۱۵- محاسبه‌ی ویسکوزیته آمونیاک..... ۸۸

- ۹۰-۱-۴-۱۶- انتروپی مایع و بخار آب- آمونیاک در حالت اشباع.....
- ۹۲-۲-۴- مراحل شبیه‌سازی و طراحی کامپیوتری یک سیکل جذبی تک مرحله‌ای با استفاده  
چند جمله‌ای‌ها.....
- ۹۳-۳-۴- مدلسازی کندانسور لوله گرمایی جهت استفاده در چیلر جذبی آب- آمونیاک با  
ظرفیت سرمایش ۵ تن.....
- ۹۷-۱-۳-۴- مراحل انجام کار.....
- ۹۸-۵- نتایج و بحث در نتایج.....
- ۱۰۵-۱-۵- عملکرد کندانسور در فشارهای مختلف.....
- ۱۱۴-۲-۵- اثر افزایش طول قسمت سرد لوله گرمایی بر وزن کندانسور.....
- ۱۱۶-۳-۵- اثر افزایش طول قسمت تبخیرکننده لوله گرمایی بر مشخصات کندانسور.....
- ۱۱۸-۴-۵- اثر افزایش قطر لوله‌های گرمایی بر وزن کندانسور.....
- ۱۱۹-۵-۵- اثر تغییرات قطر فین بر مشخصات کندانسور.....
- ۱۲۱-۶-۵- توزیع دما و حرارت در طول کندانسور.....
- ۱۲۲-۷-۵- طراحی کندانسور برای محیط‌های گرم (۴۵ درجه سانتیگراد).....
- ۱۲۳-۸-۵- ارائه رابطه‌ای جهت محاسبه تعداد ردیف‌های یک کندانسور لوله گرمایی.....
- ۱۲۳-۹-۵- بحث و نتیجه‌گیری.....
- ۱۲۵-۱۰-۵- پیشنهادات.....
- ۱۲۵-۶- مراجع.....
- ۱۲۶-۷- پیوست ۱.....
- ۱۳۰-۸- پیوست ۲.....
- ۱۳۵-۹- پیوست ۳.....
- ۱۳۶-۱۰- پیوست ۴.....

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۴.....	شکل ۱-۱. شماتیکی از سیکل یخچال های آب و آمونیاک و هیدروژن
۷.....	شکل ۱-۲. ادوات تست فاراده.....
۸.....	شکل ۲-۲. شماتیک یک سیکل جذبی دو سیالی.....
۱۰.....	شکل ۳-۲. نمودار بهینه سازی چیلرهای آمونیاکی.....
۱۰.....	شکل ۴-۲. سیستم پیشنهادی کاستلز.....
۱۲.....	شکل ۵-۲. نمونه ای از چیلر جذبی آب- آمونیاک ساخت شرکت ROBUR.....
۱۲.....	شکل ۶-۲. محصولات شرکت AMBINA.....
۱۹.....	شکل ۱-۳. پتانسیل شیمیایی یک مخلوط ایده آل.....
۲۱.....	شکل ۲-۳. حجم بر اساس نسبت جرمی مخلوط.....
۲۳.....	شکل ۳-۳. شماتیکی از تقطیر یک مخلوط دوتایی.....
۲۴.....	شکل ۴-۳. شماتیکی از دیاگرام دما-بر حسب نسبت جرمی در فشار ثابت.....
۲۵.....	شکل ۵-۳. دیاگرام دما-نسبت جرمی برای یک فرایند تقطیر.....
۲۷.....	شکل ۶-۳. دیاگرام انتالپی- نسبت جرمی مخلوط آب- آمونیاک.....
۲۸.....	شکل ۷-۳. شماتیک سیکل سرمایه ش تراکمی ساده.....
۲۹.....	شکل ۸-۳. بخشی از یک سیکل جذبی که به جای کمپرسور در سیکل تراکمی عمل می کند.....
۳۰.....	شکل ۹-۳. شماتیک یک سیکل جذبی ساده.....
۳۰.....	شکل ۱۰-۳. شماتیک یک سیکل جذبی پیشرفته.....
۳۴.....	شکل ۱۱-۳. دیاگرام شماتیک فرایند تبخیر.....
۳۵.....	شکل ۱۲-۳. بدست آوردن شرایط پیش سردکن.....
۳۶.....	شکل ۱۳-۳. تعیین شرایط ورودی به کندانسور.....
۳۸.....	شکل ۱۴-۳. تعیین غلظت محلول غلیظ.....
۳۹.....	شکل ۱۵-۳. انتقال حرارت و جرم از ژنراتور و ستون تقطیر.....

- شکل ۳-۱۶. دیاگرام Ponchon-Savarit که شرایط عملکرد ژنراتور و ستون تقطیر را برای
- ۴۰..... محلول آب- آمونیاک در فشار ۱۰ بار نشان می‌دهد.....
- شکل ۳-۱۷. حجم کنترل در یک ستون تقطیر..... ۴۱.....
- شکل ۳-۱۸. جذب کننده..... ۴۲.....
- شکل ۳-۱۹. پدیده اختناق بر روی مایع رقیق خروجی از ژنراتور در شیر انبساط و
- همچنین عملکرد جذب کننده..... ۴۳.....
- شکل ۳-۲۰. شکل عمومی یک لوله گرمایی..... ۴۶.....
- شکل ۳-۲۱. سیکل ترمودینامیکی یک لوله گرمایی..... ۴۶.....
- شکل ۳-۲۲. نمودار دما بر حسب انترپی در یک لوله گرمایی..... ۴۷.....
- شکل ۳-۲۳. نمایی از یک ترموسیفون..... ۴۸.....
- شکل ۳-۲۴. شکل عمومی یک واحد مبدل حرارتی لوله‌ی گرمایی..... ۵۱.....
- شکل ۳-۲۵. بازیافت حرارتی با استفاده از مبدل حرارتی لوله گرمایی (گاز-گاز)..... ۵۲.....
- شکل ۳-۲۶. بازیافت حرارتی از دیگ بخار نیروگاه‌های حرارتی (گاز-مایع)..... ۵۲.....
- شکل ۳-۲۷. یک نمونه دیگر از سیستم بازیافت حرارت تلف شده در دیگ تولید بخار..... ۵۲.....
- شکل ۳-۲۸. شبکه مقاومت حرارتی معادل در یک لوله گرمایی..... ۵۴.....
- شکل ۴-۱. نمودار تعادلی بخار - مایع در فشار ۵ و ۱۸ بار..... ۶۶.....
- شکل ۴-۲. دیاگرام P-T-X برای مخلوط آب- آمونیاک..... ۶۷.....
- شکل ۴-۳. خطوط همدم و همفشار در نمودار انتالپی بر حسب نسبت جرمی آمونیاک..... ۶۷.....
- شکل ۴-۴. دما و فشار بحرانی مخلوط بین مدل ارائه شده توسط پتیت و همکارانش با مدل
- ال- سید و داده‌های تجربی ساسن و همکاران..... ۶۸.....
- شکل ۴-۵. ظرفیت گرمای ویژه آمونیاک اشباع..... ۶۹.....
- شکل ۴-۶. ظرفیت گرمای ویژه آب اشباع..... ۷۰.....
- شکل ۴-۷. ظرفیت گرمای ویژه مخلوط آب- آمونیاک در فشار ثابت..... ۷۰.....
- شکل ۴-۸. مقایسه ضریب هدایت مخلوط با داده‌های تجربی و فرمول‌های تقریبی..... ۷۱.....
- شکل ۴-۹. مقایسه ضریب هدایت گرمایی مخلوط به روش جامیسون، برانو و همکارانش..... ۷۲.....
- شکل ۴-۱۰. مقایسه روش ارائه شده توسط IAWPS با دیگر روش‌های توضیح داده شده..... ۷۳.....
- شکل ۴-۱۱. ضریب هدایت آب- آمونیاک در دماهای متفاوت توسط روش IAWPS..... ۷۳.....
- شکل ۴-۱۲. ضریب هدایت گرمایی آمونیاک اشباع در حالت مایع بر حسب چگالی..... ۷۴.....
- شکل ۴-۱۳. ضریب هدایت آب اشباع در حالت مایع..... ۷۵.....
- شکل ۴-۱۴. مقایسه ویسکوزیته دینامیکی مخلوط مایع محاسبه شده توسط رابطه (۴-۱۸)
- با داده‌های تجربی..... ۷۶.....

- شکل ۴-۱۵. ویسکوزیته دینامیکی آب اشباع در حالت مایع بین نقاط سه گانه و بحرانی ..... ۷۷
- شکل ۴-۱۶. ویسکوزیته دینامیکی آمونیاک اشباع ..... ۷۷
- شکل ۴-۱۷. مقایسه چگالی مخلوط در حالت مایع اشباع از رابطه (۴-۲۱) با داده‌های تجربی تیلنر-روت و همکاران ..... ۷۹
- شکل ۴-۱۸. چگالی آب اشباع در حالت مایع و بخار ..... ۷۹
- شکل ۴-۱۹. چگالی آمونیاک اشباع در حالت مایع و بخار ..... ۸۰
- شکل ۴-۲۰. ضریب هدایت مخلوط آب- آمونیاک اشباع در فاز بخار در فشارهای ۵ و ۱۸ بار ..... ۸۱
- شکل ۴-۲۱. ضریب هدایت بخار اشباع آمونیاک ..... ۸۱
- شکل ۴-۲۲. ضریب هدایت بخار اشباع آب ..... ۸۲
- شکل ۴-۲۳. ویسکوزیته دینامیکی مخلوط اشباع در حالت بخار در فشارهای ۵ و ۱۸ بار ..... ۸۳
- شکل ۴-۲۴. ویسکوزیته دینامیکی بخار آب ..... ۸۳
- شکل ۴-۲۵. چگالی مخلوط اشباع در حالت بخار در فشارهای ۵ و ۱۸ بار ..... ۸۵
- شکل ۴-۲۶. ظرفیت گرمایی ویژه مخلوط اشباع ..... ۸۶
- شکل ۴-۲۷. شماتیکی از کندانسور طراحی شده ..... ۹۹
- شکل ۴-۲۸. حجم کنترل اطراف لوله گرمایی (ژیک)ام ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱. مقایسه ضریب عملکرد مبدل حرارتی لوله گرمایی هوا- هوای شبیه‌سازی شده در این پایان‌نامه با مبدل حرارتی طراحی شده توسط لوکیتوبودی و همکاران بر حسب تغییرات دمایی هوا در طول مبدل ..... ۱۰۶
- شکل ۵-۲. مقایسه ضریب عملکرد مبدل حرارتی لوله گرمایی هوا- هوای شبیه‌سازی شده در این پایان‌نامه با مبدل حرارتی طراحی شده توسط لوکیتوبودی و همکاران بر حسب تفاوت دمایی هوای گرم و سرد ورودی ..... ۱۰۶
- شکل ۵-۳. مقایسه حرارت انتقالی در کندانسور سیکل جذبی شبیه‌سازی شده در این پایان‌نامه با نتایج دا- ون سان در دمای کارکرد ژنراتور ۹۰ درجه سانتیگراد ..... ۱۱۱
- شکل ۵-۴. مقایسه حرارت انتقالی در کندانسور سیکل جذبی شبیه‌سازی شده در این پایان‌نامه با نتایج دا- ون سان در دمای کارکرد ژنراتور ۸۰ درجه سانتیگراد ..... ۱۱۱
- شکل ۵-۵. مقایسه حرارت انتقالی در کندانسور سیکل جذبی شبیه‌سازی شده در این پایان‌نامه با نتایج دا- ون سان در دمای کارکرد ژنراتور ۷۰ درجه سانتیگراد ..... ۱۱۲
- شکل ۵-۶. مقایسه حرارت انتقالی در کندانسور سیکل جذبی شبیه‌سازی شده در این پایان‌نامه با نتایج دا- ون سان در دمای کارکرد ژنراتور ۶۰ درجه سانتیگراد ..... ۱۱۲
- شکل ۵-۷. نمودار وزن کندانسور بر حسب فشارهای مختلف عملکرد آن ..... ۱۱۵

- شکل ۵-۸. نمودار دبی هوای خنک کن بر حسب فشارهای مختلف عملکرد آن ..... ۱۱۵
- شکل ۵-۹. نمودار نرخ تولید انترویی در کندانسور بر حسب فشارهای مختلف عملکرد آن ..... ۱۱۶
- شکل ۵-۱۰. اثر افزایش طول قسمت سرد لوله گرمایی بر وزن آن ..... ۱۱۷
- شکل ۵-۱۱. نرخ تولید انترویی در کندانسور بر حسب تغییر طول قسمت سرد لوله گرمایی ..... ۱۱۷
- شکل ۵-۱۲. اثر افزایش طول قسمت تبخیرکننده (قسمت گرم) لوله گرمایی بر وزن کندانسور ..... ۱۱۸
- شکل ۵-۱۳. نرخ تولید انترویی در کندانسور بر حسب تغییر طول تبخیر کننده (قسمت گرم) لوله گرمایی ..... ۱۱۹
- شکل ۵-۱۴. اثر افزایش قطر لوله‌های گرمایی بر وزن کندانسور ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۱۵. اثر افزایش قطر لوله‌های گرمایی بر تعداد ردیف‌های مورد نیاز لوله گرمایی ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۱۶. اثر تغییرات قطر فین بر وزن کندانسور ..... ۱۲۱
- شکل ۵-۱۷. توزیع حرارت در طول کندانسور ..... ۱۲۲
- شکل ۵-۱۸. توزیع درجه حرارت در طول کندانسور ..... ۱۲۲

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱. خصوصیات سیال معمول در سیکل جذبی.....	۲
جدول ۱-۳. ثابتهای مورد استفاده در روابط ۵-۱۴ و ۵-۱۵.....	۳۷
جدول ۲-۳. سیالهای کاری مختلف و دامنه دمایی آنها.....	۴۹
جدول ۳-۳. نتایج تجربی سازگاری سیال کاری با جنس ظرف لوله گرمایی.....	۵۰
جدول ۳-۴. پارامتر عملکرد یک نمونه مبدل لوله گرمایی در بازیافت حرارتی از دیگ بخار.....	۵۲
جدول ۳-۵. ثابتهای بکار رفته در معادلات (۳-۱۰۹) و (۳-۱۱۱)، برای جریان بر روی دسته لوله‌هایی با آرایش خطی و مثلثی و تعداد ۱۰ و یا بیشتر ردیف لوله ها ..	۵۸
جدول ۳-۶. ضریب تصحیح $C_2$ ، در معادله‌ی (۳-۱۲۲).....	۵۹
جدول ۳-۷. مقادیر $C_{s,f}$ برای ترکیبات مختلف سیال - سطح.....	۶۰
جدول ۴-۱. ضرایب مورد استفاده در رابطه‌ی (۴-۹).....	۶۹
جدول ۴-۲. ضرایب مورد استفاده در رابطه‌ی (۴-۲۵).....	۷۸
جدول ۴-۳. ضرایب مورد استفاده در رابطه‌ی (۴-۳۷).....	۸۴
جدول ۴-۴. ضرایب $L_{ij}$ برای استفاده در فرمول محاسبه ضریب هدایت حرارتی آب.....	۸۷
جدول ۴-۵. ضرایب $H_i$ برای استفاده در معادله‌ی (۴-۴۹).....	۸۸
جدول ۴-۶. ضرایب $G_{ij}$ برای استفاده در معادله‌ی (۴-۵۰).....	۸۸
جدول ۴-۷. ضرایب $c_{\mu}$ ، $a_{\mu}$ جهت محاسبه ویسکوزیته دینامیکی آمونیاک.....	۹۰
جدول ۴-۸. ضرایب $d_{\mu}$ برای مدل ویسکوزیته دینامیکی آمونیاک.....	۹۰
جدول ۵-۱. نتایج حاصل از برنامه شبیه‌سازی شده سیکل جذبی.....	۱۰۷
جدول ۵-۲. نتایج شبیه‌سازی شده سیکل جذبی توسط دا-ون سان.....	۱۰۹
جدول ۵-۳. نتایج سیکل شبیه‌سازی شده در این پایان‌نامه با سیکل شبیه‌سازی شده توسط ویکاتوس.....	۱۱۳
جدول ۵-۴. عملکرد کندانسور در فشارهای مختلف.....	۱۱۴

- جدول ۵-۵. عملکرد کندانسور در فشارهای مختلف..... ۱۱۴
- جدول ۵-۶. اثر تغییر طول قسمت سرد لوله گرمایی بر مشخصات کندانسور..... ۱۱۶
- جدول ۵-۷. اثر افزایش طول قسمت تبخیرکننده لوله گرمایی بر مشخصات کندانسور..... ۱۱۸
- جدول ۵-۸. اثر افزایش قطر لوله گرمایی بر مشخصات کندانسور..... ۱۱۹
- جدول ۵-۹. اثر تغییرات قطر فین بر مشخصات کندانسور..... ۱۲۱
- جدول ۵-۱۰. نتایج طراحی بر اساس دمای محیط  $45^{\circ}\text{C}$ ..... ۱۲۳



## علائم اختصاری

$A$	سطح انتقال حرارت
$A_{ff}$	حداقل مساحت سطح مقطع جریان آزاد مسیر فین دار
$A_{fr}$	مساحت سطح مقطع روبری مبدل (عمود بر جریان)
$C_p$	گرمای ویژه فشار ثابت
$COP$	ضریب عملکرد
$f$	ضریب اصطکاک
$g$	انرژی آزاد گیبس
$G$	ماکزیمم سرعت جرمی
$h$	انتالپی، ضریب انتقال حرارت جابجایی
$J_H$	ضریب کلبورن
$k$	ضریب انتقال حرارت هدایت
$m$	دبی جرمی
$N$	تعداد مول
$Nu$	عدد ناسلت
$P$	فشار
$Pr$	عدد پرانتل
$Q, q$	گرما بر واحد جرم، گرما
$R$	مقاومت حرارتی
$Re$	عدد رینولدز
$S, s$	انتروپی
$T$	درجه حرارت
$u$	انرژی داخلی
$U$	ضریب کلی انتقال حرارت
$v$	حجم ویژه
$V$	حجم، سرعت
$W, w$	کار بر واحد جرم، کار
$x$	نسبت جرمی در فاز مایع
$y$	نسبت جرمی در فاز بخار

اندیس‌ها:

$c$	: سرد
$C$	: بحرانی
$f$	: رسوب، فین
$h$	: گرم
$in$	: ورودی
$l$	: مایع
$m$	: مخلوط، میانگین
$max$	: ماکزیمم
$out$	: خروجی
$P$	: پمپ
$v$	: بخار
$Wi$	: فتیله (درون لوله‌های گرمایی)

حروف یونانی

$\sigma$	: کشش سطحی
$\varepsilon$	: بازده
$\eta_0$	: راندمان کلی فین
$\mu$	: ضریب ویسکوزیته دینامیکی
$\nu$	: ضریب ویسکوزیته استاتیکی
$\rho$	: چگالی

## ۱- مقدمه

سیستم‌های سرمایشی که در تهویه مطبوع، نگهداری مواد غذایی یا موارد دیگر به کار می‌روند را می‌توان به سیستم‌های سرمایش الکتریکی، گرمایی و یا ترکیبی از الکتریکی- گرمایی تقسیم نمود. سیستم‌های سرمایشی ترموالکتریک، مغناطیسی، گازی و تراکمی بخار نمونه‌هایی از سیستم‌های سرمایش الکتریکی و چیلرهای جذبی نمونه‌ای از سیستم‌های سرمایشی گرمایی محسوب می‌شوند.

سرمایش تولیدی در سیستم‌های سرمایشی با واحدهای کیلو وات یا تن سرمایش سنجیده می‌شود. هر تن سرمایش برابر است با سرمایشی که بتواند طی ۲۴ ساعت یک تن آب صفر درجه را به یک تن یخ صفر درجه تبدیل کند. این میزان سرمایش برابر  $12000 \text{ Btu/hr}$  یا  $3/5 \text{ kW}$  است.

در سیستم‌های سرمایشی، چیلرهای جذبی یکی از بهترین و در عین حال بادوام‌ترین نوع در بین دستگاه‌های تهویه مطبوع کلاسیک محسوب می‌گردند.

به علت بالا بودن هزینه اولیه این سیستم‌ها، با وجود امتیازات زیاد و بکارگیری ارزان آن پس از نصب، سال‌ها فقط برای ساختمان‌های بزرگ و لوکس از جمله ساختمان‌های دولتی، هتل‌ها و سینماها مورد استفاده قرار می‌گرفت. گرانی قیمت اولیه دستگاه‌های تهویه جذبی قدیمی بیشتر به خاطر احتیاج به مولد بخار بود که بتواند انرژی مورد نیاز برای برودت را تأمین کند. این گرانی برای دستگاه‌های بزرگ از نظر هزینه قابل توجیه بود، اما برای دستگاه‌های با ظرفیت کم مقرون به صرفه نبود تا اینکه در چند سال اخیر ابتدا در آمریکا و سپس در ژاپن نتیجه تحقیقات متخصصان منجر به استفاده مستقیم از سوخت برای تولید برودت و حذف کامل مولد بخار شد، در نتیجه یک دستگاه با دو منظور تهیه گرما و سرما ساخته شد. با توجه به این امر که در ایران مشتقات نفتی ارزان تر از انرژی برق است و با علم به اینکه پروژه گازرسانی در تمام شهرهای ایران انجام می‌گیرد، استفاده از سیستم چیلرهای جذبی با استفاده از سوخت ارزان،

مقرون به صرفه خواهد بود. چیلرهای جذبی امروزه در مدل‌های مختلف با ظرفیت کم و زیاد و کاربری اتوماتیک و نیمه‌اتوماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## ۱-۱- انواع سیستم‌های سرمایش جذبی

عملکرد، بازدهی سیکل، قیمت اولیه و هزینه کارکرد یک سیکل جذبی به شدت به خصوصیات سیال عامل بستگی دارد. خلاصه‌ای از خصوصیات دو سیال کاری معمول در جدول ۱-۱ آمده است.

جدول ۱-۱. خصوصیات سیال معمول در سیکل جذبی (Herold, Radermacher and Kelein 1996).

Property	Ammonia/Water	Water/Lithium Bromide
<b>Refrigerant</b>	<b>Ammonia</b>	<b>Water</b>
High Latent Heat	Too low	Good
Moderate vapor pressure	Excellent	Limited application
Low viscosity	Good	Good
<b>Absorbent</b>	<b>Water</b>	<b>Lithium Bromide</b>
Low vapor pressure	Poor	Excellent
Low viscosity	Good	Good
<b>Mixture</b>		
No solid phase	Excellent	Limited application
Low toxicity	Poor	Good
High affinity between refrigerant and absorbent	Good	Good

از جمله خصوصیات مهم و مورد نیاز سیال سرما ساز، داشتن کشش زیاد نسبت به ماده جاذب و بالا بودن گرمای نهان تبخیر آن است که باعث کاهش میزان جریان سیال مورد نیاز در داخل سیکل مربوطه می‌شود. از آنجا که هیچ دو سیال کاملاً غالبی وجود ندارد که تمام خصوصیات را در سطح عالی ارائه دهد، لذا بنا به موقعیت باید از یکی از سیالات موجود شناخته‌شده، استفاده کرد.

امروزه سه نوع سیستم سرمایش جذبی در مقیاس صنعتی و تجاری مطرح است:

- ۱- سیستم آب- آمونیاک
- ۲- سیستم آب و لیتیم برماید
- ۳- سیستم آب و آمونیاک و هیدروژن