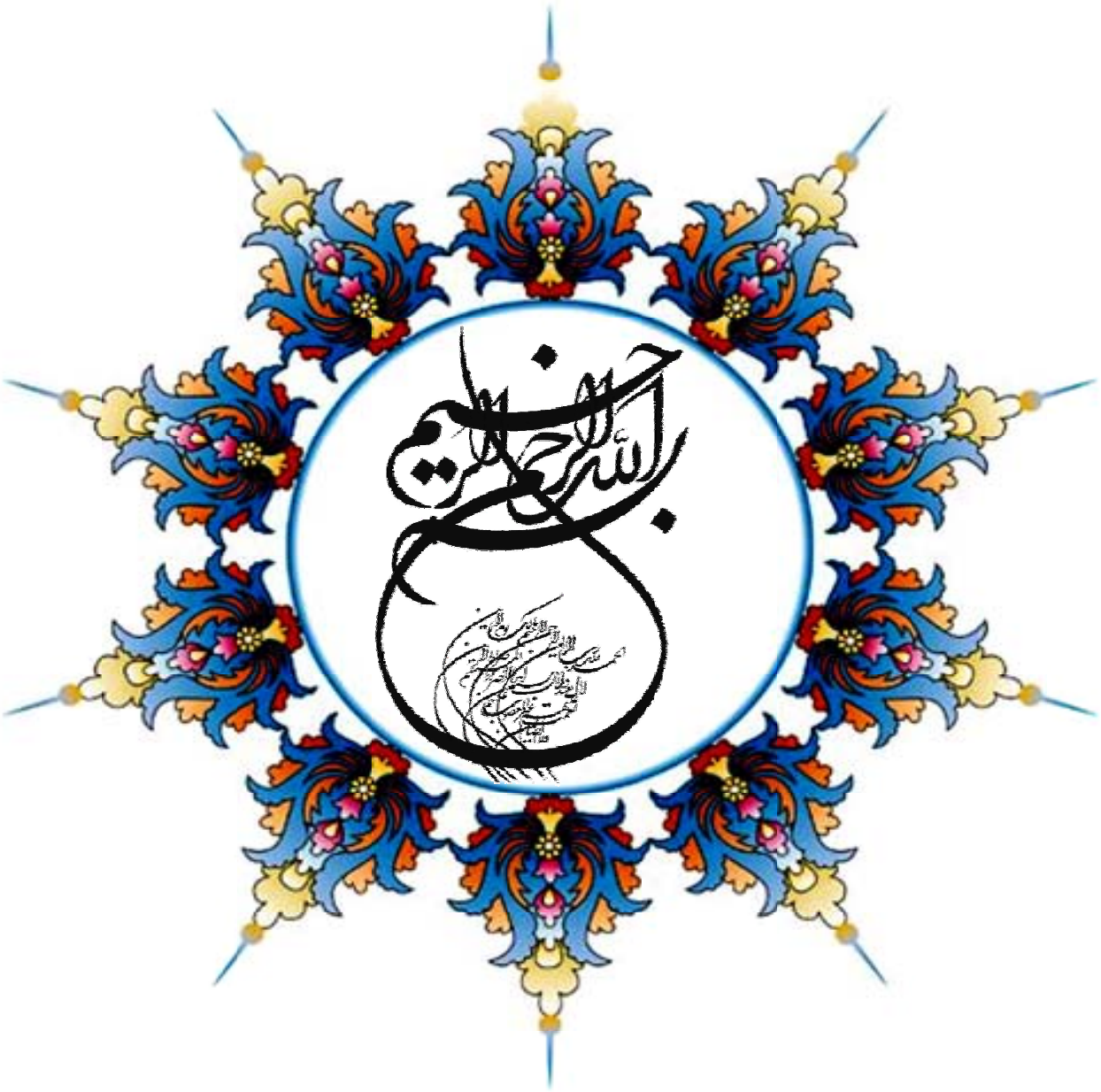


دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

بررسی تجربی تعداد ردیف‌های مبدل لوله‌گرمایی به صورت سری با سیال‌های عامل متفاوت در سیستم تهویه مطبوع

پایان نامه کارشناسی ارشد پدیده‌های انتقال و جداسازی فرآیندها

هما کاظمی تربقان

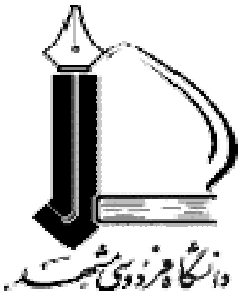
استاد راهنمای اول

دکتر سید مصطفی نوعی باغبان

استاد راهنمای دوم

پرفسور سید حسین نوعی باغبان

۱۳۹۰



دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی (پدیده‌های انتقال و جداسازی فرآیندها) خانم

هما کاظمی تربقان

تحت عنوان

بررسی تجربی تعداد ردیف‌های مبدل لوله‌گرمایی به صورت سری با سیال‌های عامل متفاوت در سیستم تهویه مطبوع

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای اول پایان نامه	دکتر سید مصطفی نوعی باغبان
۲- استاد راهنمای دوم پایان نامه	پرفسور سید حسین نوعی باغبان
۳- استد داور خارجی	دکتر محمد جواد مغربی
۴- استاد داور داخلی و نماینده تحصیلات تکمیلی	دکترسعید زینالی هریس

مدیر گروه مهندسی شیمی **دکتر مهدی پور افشاری**

سپاسگزاری

اینک که به یاری خداوند متعال این رساله به پایان رسیده است، نگارنده بر خود لازم می‌داند از زحمات دلسوزانه و بی‌دریغ استاد محترم **جناب‌آقای سید مصطفی نوعی** و راهنمایی‌های ارزنده ایشان در زمینه انتخاب موضوع، تهیه منابع و تدوین پایان‌نامه سپاسگزاری نماید. هم‌چنین از **جناب‌آقای پرفسور سید حسین نوعی** که در طول دوره از حضورشان بهره گرفته است، صمیمانه قدردانی نموده و توفیق‌روز افزون آنها را از درگاه خداوند منان آرزو دارد.

اینجانب هما کاظمی تربقان دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده پایان نامه: بررسی تجربی تعداد ردیف‌های مبدل لوله‌گرمایی به صورت سری با سیال‌های عامل متفاوت در سیستم تهویه مطبوع، تحت راهنمایی آقای دکتر سید مصطفی نوعی باغبان متعهد می شوم:

- **تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.**
- **در استفاده از نتایج محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.**
- **مطالب مندرج درپایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.**
- **کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه فردوسی مشهد ویا Ferdowsi University of Mashhad به چاپ خواهد رسید.**
- **حقوق معنوی تمام افرادی که در بدست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.**
- **در کلیه مراحل این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.**
- **در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.**

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد مي باشد. این مطلب باید به نحو مقتضي در تولیدات علمی مربوطه ذکر گردد.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمي باشد.

تاریخ

امضای دانشجو

تقدیـم بـه :

از اولین نفس تا آخرین وداع مدیون الطاف بیکران

دو گوهر نایاب زندگی‌ام هستم و این تلاش را به مانند تمامی داشته‌های زندگی‌ام با جان و دل تقدیمشان می‌دارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده..... ۱

فصل اول: مقدمه..... ۲

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- تاریخچه..... ۳

۱-۳- تئوری لوله گرمایی..... ۴

۱-۳-۱- اجزای لوله گرمایی..... ۶

۱-۳-۲- سیال عامل..... ۸

۱-۴- سازگاری اجزای لوله گرمایی..... ۹

۱-۵- طبقه بندی لوله‌های گرمایی برحسب دمای عملیاتی..... ۱۱

۱-۶- انواع لوله‌های گرمایی..... ۱۱

۱-۷- مزایای لوله‌های گرمایی..... ۱۲

۱-۸- محدودیت‌های انتقال حرارت در لوله‌های گرمایی..... ۱۲

۱-۸-۱- حد موئینگی..... ۱۲

۱-۸-۲- حد صوتی..... ۱۳

۱-۸-۳- حد جوشش..... ۱۳

۱-۸-۴- حد ماندگی..... ۱۴

۱-۹- کاربردهای لوله‌های گرمایی..... ۱۴

۱-۱۰- مواد سازنده لوله‌های گرمایی و روش‌های ساخت آن..... ۱۵

۱-۱۱- مبادله کن‌های لوله گرمایی..... ۱۵

۱-۱۲- ویژگی‌های مبادله کن لوله گرمایی..... ۱۶

۱-۱۳- لزوم تهویه..... ۱۷

۱-۱۴- توسعه و موقعیت کنونی صنعت تهویه مطبوع..... ۱۷

۱-۱۵- دو چالش عمده سال‌های آتی..... ۱۷

۱-۱۶- هدف از تهویه مطبوع..... ۱۸

۱-۱۷- مفهوم دمای موثر..... ۱۸

۱-۱۸- مزایا و معایب استفاده از کولر گازی..... ۱۹

فصل دوم: تحقیقات انجام شده ۲۰
۲-۱- استفاده از مبدل‌های لوله گرمایی در سیستم‌های تهویه مطبوع ۲۰
۲-۲- بررسی اثر شیب مبادله‌کن لوله‌گرمایی بر عملکرد آن ۲۵
۲-۳- استفاده از مبدل‌های لوله‌گرمایی جهت کاهش مصرف انرژی ۲۶
۲-۴- عوامل موثر در طراحی مبادله‌کن لوله‌گرمایی ۳۲

فصل سوم: طراحی مبادله‌کن‌های لوله‌گرمایی ۳۵
۳-۱- معیارهای طراحی مبادله‌کن‌های لوله‌گرمایی ۳۵
۳-۲- روش‌های طراحی و مدلسازی مبادله‌کن‌ها ۳۷
۳-۲-۱- روش اختلاف دمای متوسط لگاریتمی ۳۹
۳-۲-۲- روش تعداد واحدهای انتقال ۴۰
۳-۳- نمونه محاسبات پروژه ۴۲

فصل چهارم: شرح دستگاه آزمایشگاهی ۴۵
۴-۱- شرح دستگاه آزمایشگاهی ۴۵
۴-۲- نحوه عملکرد دستگاه ۴۷
۴-۲-۱- دمنده ۴۷
۴-۲-۲- گرمکن‌های الکتریکی ۴۸
۴-۲-۳- رطوبت ساز ۴۸
۴-۲-۴- مبادله‌کن‌های لوله‌گرمایی ۴۹
۴-۲-۵ سیستم تبرید (کولرگازی) ۵۳
۴-۲-۶- سنسورها و نمایشگر دما ۵۴
۴-۲-۷- کانال‌های هوا ۵۶
۴-۲-۸- سرعت سنج ۵۶
۴-۳- نحوه انجام آزمایش‌ها ۵۷

فصل پنجم: نتیجه گیری ۵۹
۵-۱- مقدمه ۵۹
۵-۲- نتایج تحقیق ۶۰
۵-۲-۱- داده‌های مربوط به سیال عامل متانول ۶۰
۵-۲-۲- داده‌های مربوط به سیال عامل اتانول ۶۹
۵-۲- مقایسه بین سیال‌های عامل ۷۷

فصل ششم: جمع بندی و پیشنهادات.....۷۹
۶-۱- نتیجه گیری.....۸۲
۶-۲- پیشنهاداتی برای ادمه کار.....۸۴

منابع.....۸۵

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول (۱-۱) سیال‌های عامل و محدوده دمایی در فشار اتمسفر..... ۹
جدول (۱-۲) سازگاری مواد ساختاری با سیال‌های عامل..... ۱۰
جدول (۳-۱) پارامترهای کلی موثر در طراحی مبادله‌کن‌های حرارت..... ۳۸
جدول (۳-۲) پارامترهای مهم، حاصل ادغام پارامترهای کلی..... ۳۹
جدول (۴-۱) مشخصات دمنده..... ۴۷
جدول (۴-۲) ابعاد فیزیکی مبادله‌کن..... ۵۰
جدول (۴-۳) ابعاد ترموسیفون..... ۵۱
جدول(۵-۱) دمای جریان‌های ورودی و خروجی به هر مبدل در دمای $40^{o}C$ و رطوبت نسبی ۷۰٪ با سیال عامل متانول..... ۶۱
جدول(۵-۲) دمای جریان‌های ورودی و خروجی به هر مبدل در دمای $50^{o}C$ و رطوبت نسبی ۶۰٪ با سیال عامل متانول..... ۶۱
جدول (۵-۳) دمای جریان‌های ورودی و خروجی به هر مبدل در دمای $40^{o}C$ و رطوبت نسبی ۷۰٪ با سیال عامل اتانول..... ۶۹
جدول(۵-۴)) دمای جریان‌های ورودی و خروجی به هر مبدل در دمای $50^{o}C$ و رطوبت نسبی ۶۰٪ با سیال عامل اتانول..... ۶۹
جدول (۵-۵) داده‌های مربوط به سیال عامل متانول برای ۳ ردیف ازمبدل لوله‌گرمایی..... ۷۷
جدول (۵-۶) داده‌های مربوط به سیال عامل اتانول برای ۳ ردیف از مبدل لوله‌گرمایی..... ۷۷
جدول (۵-۷) مشخصات مربوط به تک تک ردیف‌های مبدل لوله‌گرمایی در دمای $40^{o}C$ و رطوبت نسبی ۷۰٪..... ۷۹
جدول (۵-۸) مشخصات مربوط به تک تک ردیف‌های مبدل لوله‌گرمایی در دمای $50^{o}C$ و رطوبت نسبی ۶۰٪..... ۸۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱) شماتیک یک لوله‌گرمایی همراه با نمایش اصول عملکرد و چرخش سیال عامل آن..... ۴
شکل (۱-۲) انواع فتیله در لوله‌های گرمایی..... ۵
شکل (۱-۳) (a) شماتیک لوله‌گرمایی، (b) ترموسیفون ۶
شکل (۱-۴) سیکل حرارتی لوله‌گرمایی..... ۷
شکل (۱-۵) شماتیک مبدل لوله‌گرمایی..... ۱۶
شکل (۲-۱) (a) سیستم تهویه مطبوع مرسوم.(b) سیستم تهویه مطبوع با مبدل لوله‌گرمایی..... ۲۱
شکل (۲-۲) شماتیک سیستم تهویه مطبوع با مبدل لوله‌گرمایی افقی..... ۲۲
شکل (۲-۳) شماتیک مبدل لوله‌گرمایی احاطه کننده کویل سرد ساز..... ۲۵
شکل (۲-۴) شماتیک مبدل حرارتی شیب دار..... ۲۶
شکل (۲-۵) (a) سیستم تهویه مطبوع مرسوم. (b) سیستم تهویه مطبوع همراه با دو مبدل لوله‌گرمایی..... ۲۸
شکل (۲-۶) (a) سیستم تهویه مرسوم گلخانه. (b) سیستم تهویه گلخانه با لوله‌های گرمایی در داخل زمین و دیوارها..... ۲۹
شکل (۲-۷) سیستم تهویه مطبوع برای کاهش دمای هوا در کندانسور ۳۰
شکل (۴-۱) سیستم تهویه مطبوع مورد آزمایش..... ۴۶
شکل (۴-۲) شماتیک سیستم تهویه مطبوع..... ۴۶
شکل (۴-۳) دمنده..... ۴۸
شکل (۴-۴) شماتیک مبدل لوله‌گرمایی..... ۴۹
شکل (۴-۵) مبادله‌کن لوله‌گرمایی ساخته شده برای آزمایش‌ها..... ۵۰
شکل (۴-۶) نحوه آب‌بندی مبدل‌های لوله‌گرمایی در داخل کانال..... ۵۲
شکل (۴-۷) قسمت آدیاباتیک مبدل لوله‌گرمایی..... ۵۳
شکل (۴-۸) سیستم تبرید (کولر گازی) مورد استفاده در سیستم آزمایشگاهی..... ۵۴
شکل (۴-۹) سنسورهای نوع PT100,class B..... ۵۵
شکل (۴-۱۰) نمایشگرهای دما..... ۵۵
شکل (۴-۱۱) سرعت سنج..... ۵۷
شکل (۵-۱) نحوه نامگذاری دمای جریان‌ها..... ۶۱
شکل (۵-۲) اختلاف دمای سمت تبخیرکننده و چگالنده لوله‌گرمایی با سیال عامل متانول
بر حسب تعداد ردیف در $40^{o}C$ و رطوبت نسبی ۷۰٪..... ۶۲

شکل (۵-۳) بازده مبادله‌کن لوله‌گرمایی با سیال عامل متانول بر حسب تعداد ردیف در دمای
$40^{o}C$و رطوبت نسبی ۷۰٪..... ۶۳
شکل (۵-۴) میزان بازیافت انرژی بر حسب تعداد ردیف سمت تبخیرکننده مبدل لوله‌گرمایی با سیال عامل متانول
در دمای $40^{o}C$ و رطوبت نسبی ۷۰٪..... ۶۴
شکل (۵-۵) میزان بازیافت انرژی بر حسب تعداد ردیف سمت چگالنده مبدل لوله‌گرمایی با سیال عامل متانول
در دمای $40^{o}C$ و رطوبت نسبی ۷۰٪..... ۶۵
شکل (۵-۶) اختلاف دمای سمت تبخیر کننده و چگالنده لوله‌گرمایی با سیال عامل متانول
بر حسب تعداد ردیف در$50^{o}C$ و رطوبت نسبی ۶۰٪..... ۶۶
شکل (۵-۷) بازده مبادله‌کن لوله‌گرمایی با سیال عامل متانول برحسب تعداد ردیف در دمای
$50^{o}C$ و رطوبت نسبی ۶۰٪..... ۶۶
شکل (۵-۸) میزان بازیافت انرژی بر حسب تعداد ردیف سمت تبخیرکننده مبدل لوله‌گرمایی با سیال عامل متانول
در دمای $50^{o}C$ و رطوبت نسبی ۶۰٪..... ۶۷
شکل (۵-۹) میزان بازیافت انرژی بر حسب تعداد ردیف سمت چگالنده مبدل لوله‌گرمایی با سیال عامل متانول
در دمای $50^{o}C$ و رطوبت نسبی ۶۰٪..... ۶۸
شکل (۵-۱۰) اختلاف دمای سمت تبخیرکننده و چگالنده مبدل‌های لوله‌گرمایی با سیال عامل اتانول
در دمای $40^{o}C$ و رطوبت نسبی ۷۰٪..... ۷۰
شکل (۵-۱۱) بازده مبادله‌کن لوله‌گرمایی با سیال عامل اتانول بر حسب تعداد ردیف در دمای
$40^{o}C$ و رطوبت نسبی ۷۰٪..... ۷۰
شکل (۵-۱۲) میزان بازیافت انرژی بر حسب تعداد ردیف سمت تیخیرکننده مبدل لوله‌گرمایی
با سیال عامل متانول در دمای $40^{o}C$ و رطوبت نسبی ۷۰٪..... ۷۱
شکل (۵-۱۳) میزان بازیافت انرژی بر حسب تعداد ردیف سمت چگالنده مبدل لوله‌گرمایی
با سیال عامل اتانول در دمای $40^{o}C$ و رطوبت نسبی ۷۰٪..... ۷۲
شکل (۵-۱۴) اختلاف دمای سمت تبخیرکننده و چگالنده مبدل‌های لوله‌گرمایی با سیال عامل اتانول
در دمای $50^{o}C$ و رطوبت نسبی ۶۰٪..... ۷۳
شکل (۵-۱۵) بازده مبادله‌کن لوله‌گرمایی با سیال عامل اتانول بر حسب تعدا ردیف در دمای
$50^{o}C$ و رطوبت نسبی ۶۰٪..... ۷۴
شکل (۵-۱۶) میزان بازیافت انرژی بر حسب تعداد ردیف سمت چگالنده مبدل لوله‌گرمایی
با سیال عامل اتانول در دمای $50^{o}C$ و رطوبت نسبی ۶۰٪..... ۷۵
شکل (۵-۱۷) میزان بازیافت انرژی بر حسب تعداد ردیف سمت تبخیرکننده مبدل لوله‌گرمایی
با سیال عامل اتانول در دمای $50^{o}C$و رطوبت نسبی ۶۰٪..... ۷۵

چکیده

بازیافت حرارت نه تنها به واسطه کاهش هزینه‌های سوخت، که به علت مسایل زیست محیطی از جمله کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای حائز اهمیت است. از جمله وسایل موثر در زمینه بازیافت حرارت استفاده از مبادله‌کن‌های حرارتی بر اساس لوله‌گرمایی، ترموسیفون، است.
مبادله‌کن‌های ترموسیفون با توجه به هدایت حرارتی بسیار بالا و اختلاف دمای کم بین بخش تبخیرکننده و چگالنده دارای اهمیت بسزایی است و بهترین تکنیک جهت بازیافت انرژی و کاهش مصرف آن در سیستم‌های تهویه مطبوع می‌باشند. هم‌چنین عدم وجود هر نوع پمپ و یا منبع اضافی نیرو جهت انتقال حرارت از چشمه حرارتی به حفره حرارتی بر ارزش این سیستم افزوده است. از جمله خصوصیات مهم مبادله‌کن‌های ترموسیفون، امکان کنترل دما و شار حرارتی است.
با توجه به اینکه سیال عامل در مبدل‌های لوله‌گرمایی نقش بسزایی در عملکرد این وسیله دارد و هم‌چنین تعداد ردیف لوله‌های مبدل، یک پارامتر مهم در میزان انتقال حرارت محسوب می‌شود، لذا در این پروژه دستگاه تهویه مطبوع ساخته شد تا اثر دو پارامتر فوق راروی بازده مبادله‌کن‌ها و میزان بازیافت انرژی در این سیستم مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق ۳ مبادله‌کن ۲ ردیفی با آرایش مثلثی در داخل کانال قرار داده شد تا با ایجاد جریان متلاطم، مقدار ضریب جابجایی (h) بالا برده شود و راندمان مبادله‌کن افزایش یابد.
آزمایش‌ها برای دو شرایط مختلف از دما و رطوبت $40^{o}c$، رطوبت نسبی۷۰٪ و دمای $50^{o}c$، رطوبت نسبی ۶۰٪ و برای تعداد ردیف ۲ ، ۳ ، ۴ و ۵ با سیال عامل‌های متانول و اتانول صورت گرفته است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در۳ ردیف برای هردو شرایط و سیال عامل، بیشترین بازده و بازیافت انرژی را داریم. هم‌چنین اتانول برای شرایط $40^{o}c$ ، سیال عامل مناسبی نیست. بازده مبادله‌کن‌ها و میزان بازیافت انرژی هنگامی که از سیال عامل متانول استفاده می‌کنیم بهتر از اتانول است.
میزان بازیافت انرژی در سمت تبخیرکننده برای سیال عامل متانول و ۳ ردیف در شرایط $40^{o}c$ ، رطوبت نسبی ۷۰٪ ،۰.۰۹ و برای سمت چگالنده، ۰.۴۵ است. این مقادیر برای شرایط $50^{o}c$ ، رطوبت نسبی۶۰٪ ،به ترتیب، ۰.۱ و ۰.۹۲ است. برای سیال عامل اتانول و ۳ دریف از مبادله‌کن‌ها در شرایط $40^{o}c$ ، رطوبت نسبی ۷۰٪ میزان بازیافت انرژی سمت تبخیرکننده و چگالنده به ترتیب، ۰.۰۶ و ۰.۳۳ است که این مقادیر برای شرایط $50^{o}c$، رطوبت نسبی ۶۰٪ به ترتیب، ۰.۰۷ و ۰.۶۳ است.

کلمات کلیدی: تهویه مطبوع، مبدل‌های ترموسیفونی، بازیافت انرژی، دمای هوا، رطوبت نسبی

فصل اول :
مقدمه

۱-۱ مقدمه

مکانیزم‌های معمول و مرسوم انتقال حرارت در مهندسی به منظور ایجاد سرمایش و گرمایش، نیاز به توان خارجی، صرف هزینه جاری علاوه بر هزینه ساخت اولیه دارند و در اغلب موارد دارای قطعات متحرک هستند. با این وجود، یک لوله حرارتی[۱] وسیله‌ای نسبتا ساده است که بدون هیچ قسمت متحرکی، قابلیت انتقال مقادیر زیادی حرارت را در فواصل مختلف دارد. جذاب‌ترین مشخصه لوله حرارتی این است که در این سیستم، نیاز به انرژی خارجی نیست و لوله حرارتی فقط با اعمال گرما فعال می‌شود و در عین حال دارای ضریب رسانایی گرمایی موثر و بسیار بالایی است.

۱- Heat pipe

۱-۲ تاریخچه

از سال ۱۸۳۱ تا ۱۸۹۲، اس. پرکین و آنجیر مارچ پرکین طرحی را ارائه دادند که آن را لوله پرکین نامیدند، که اساسا یک لوله‌گرمایی بود و لوله‌های‌گرمایی تک فاز و دو فاز را برای کاربرد بویلرها به کار گرفتند. آنجیر مارچ پرکین در انتهای قرن هجدهم در ماساچوست ایالات متحده به دنیا آمد و در سال۱۸۲۷به انگلستان مهاجرت کرد تا بتواند تحقیقات بیشتری روی بویلرها و سیستم‌های توزیع حرارت انجام دهد. کار بر روی لوله‌ی پرکین که وسیله‌ای با جریان دو فازی بود به شکل اختراع به پسر آنجیر پرکین نسبت داده می‌شود، در حالی که عمده کارهای ابتدایی آن توسط آنجیر پرکین در نیمه‌ی قرن نوزدهم انجام شد. پرکین روی سیستم‌های توزیع حرارت تک فاز کار می‌کرد.

مقاله‌ای که در سال۱۸۹۸ منتشر شد بیان می‌کند که پرکین در سال۱۸۳۱ اولین اختراعش را با عنوان سیستم گرمایش پرکین توسط لوله های آهنی باریک به ثبت رساند. این سیستم اساسا یک بویلر با لوله‌های سر بسته بود که آب درون لوله ها (به صورت تک فاز در فشار بالا) بین کوره و دیگ بخار گردش کرده و یک سیستم گرمایش غیر مستقیم ایجاد می‌کرد. این بویلر با لوله‌های بسته بیش از صد سال در مقیاس تجاری تولید می‌شد. مشخصه‌های این سیکل بسته گرمایشی آب داغ، استفاده از آن را برای تبخیر کننده‌های تصفیه شکر، برای بویلرهای بخار و هم‌چنین فرآیندهای بسته گرمایشی آب داغ و فرآیندهای مختلفی که فلزات مذاب را برای آلیاژ کاری و کار با فلزات در دمای بالا نیاز داشتند، پیشنهاد می‌کرد. به این دلیل که در این سیستم، آب داغ پر فشاری با دمای دیواره بیش از $۱۵۰^{o}C$ تولید می‌شد.

در سال۱۸۳۹ یک بویلر لوله‌ای هم مرکز اختراع شد. این سیستم در لوکومتیوهای بخار و بویلرهای بزرگی که بر این اساس کار می‌کنند، شامل تعداد زیادی لوله‌های بزرگ می‌شود که از یک طرف بسته شده‌اند. ثابت شد که این سیستم سریع‌ترین تولید کننده بخار فوق داغ بود که توسط شرکت پرکین ساخته شد.

در سال۱۹۲۹اف. دبلیو.گری یک بازبینی انجام داد و در آن تعدادی از لوله‌های پرکین پره‌دار یا ترموسیفون‌ها در مبادله‌کن حرارتی لوله گرمایی گاز به گاز تعبیه شدند به صورتی که بخش تبخیرکننده به طور عمودی در زیر بخش چگالنده قرار گرفت.

در سال۱۹۴۲، گاگلر مفهوم لوله‌گرمایی را در مهندسی سردسازی پیش برد. وی هم‌چنین نظریه لوله گلوله‌ای را در همان سال مطرح نمود و در سال۱۹۶۳، گروور این نظریه را به اجرا رسانید.

اولین لوله‌گرمایی در سال۱۹۴۴ توسط، گاگلر در کمپانی جنرال موتور در ایالت متحده در قالب ثبت اختراع به شماره ۲۳۵۰۳۴۸ ارایه گردید. در این طرح خصوصیات موبینگی برای بازگشت سیال به قسمت اواپراتور استفاده شده بود. اما کمپانی جنرال موتور طرح مورد نظر را به کار نگرفت.

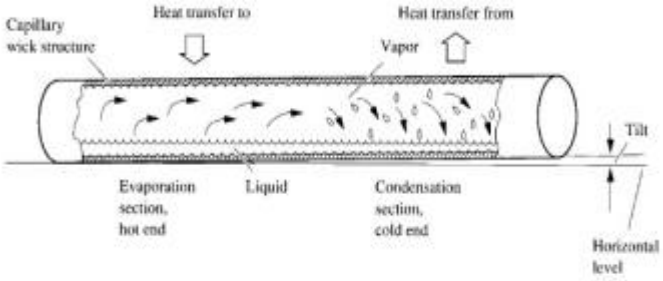
در سال۱۹۶۴،جی. ام. گاگلر و همکارانش یک لوله فولاد زنگ نزن را با یک فتیله مشبک سیمی درون آن و سدیم به عنوان سیال عامل[۱]، به عنوان لوله‌گرمایی مطرح کردند[۱].

۱-Working fluid

لوله‌های بدون فتیله[1] (لوله پرکین) مدت‌ها قبل از وجود لوله‌های گرمایی استفاده می‌شدند. با این حال استفاده از نیروی موبینگی در این لوله‌ها، قدم جدیدی در پیشرفت لوله‌های پرکین بود.
آزمایش‌های انجام شده در آمریکا، راندمان بالای لوله‌های گرمایی را تایید کردند، آن‌ها به عنوان شروع کار یک سری فعالیت‌هایی در زمینه مطالعه، پیشرفت و کاربرد رساناهای جدید در سراسر دنیا انجام دادند. بعد از آمریکا کارهای مشابهی در آلمان غربی، انگلیس، فرانسه، ایتالیا، هلند، شوروی و بعضی از کشورهای اروپای شرقی انجام شد.
اولین کنفرانس بین‌المللی لوله های‌گرمایی در آلمان غربی در سال۱۹۷۳، دومین کنفرانس در ایتالیا و سومین کنفرانس در آمریکا برگزار گردید.
در چند دهه اخیر، در کشورهای آسیایی نیز فعالیت‌هایی در زمینه لوله‌های گرمایی صورت گرفته است. در تایوان از سال ۱۹۷۰ انواع مختلف لوله‌های گرمایی که دارای فتیله می‌باشند، ساخته و مطالعه شده است.
موسسه تحقیقاتی ERL[2] تحقیقاتش را در کشور تایوان بر روی لوله‌گرمایی از سال۱۹۸۷شروع کرده است. در کشور کره نیز تحقیقات از سال ۱۹۸۰شروع شده است. تحقیقاتی در زمینه لوله‌های گرمایی خیلی ریز، ترموسیفون و لوله‌های گرمایی چرخشی در صنعت صورت گرفته است، که بسیاری از این نتایج در مجله انجمن مهندسین کره (KMSE) چاپ شده است[۲].

۱-۳ تئوری لوله‌گرمایی

یک لوله‌گرمایی لوله‌ای است که دو سر آن بسته بوده و داخل آن فتیله قرار دارد. البته ترموسیفون‌ها فاقد فتیله هستند[۳]. نحوه عملکرد یک لوله‌گرمایی با به کار بردن یک سیستم استوانه‌ای که در شکل (۱-۱) آورده شده است به آسانی قابل درک می‌باشد.

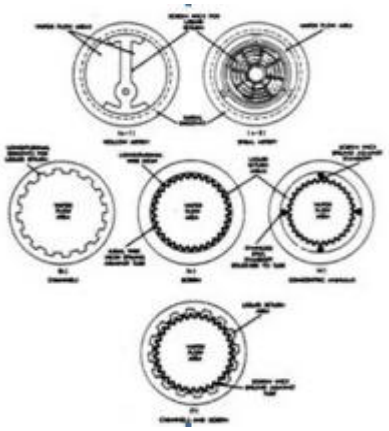


شکل ۱-۱:شماتیک یک لوله‌گرمایی همراه با نمایش اصول عملکرد و چرخش سیال عامل آن[۲]

1-Wick
2- Energy Reserves Laboratories

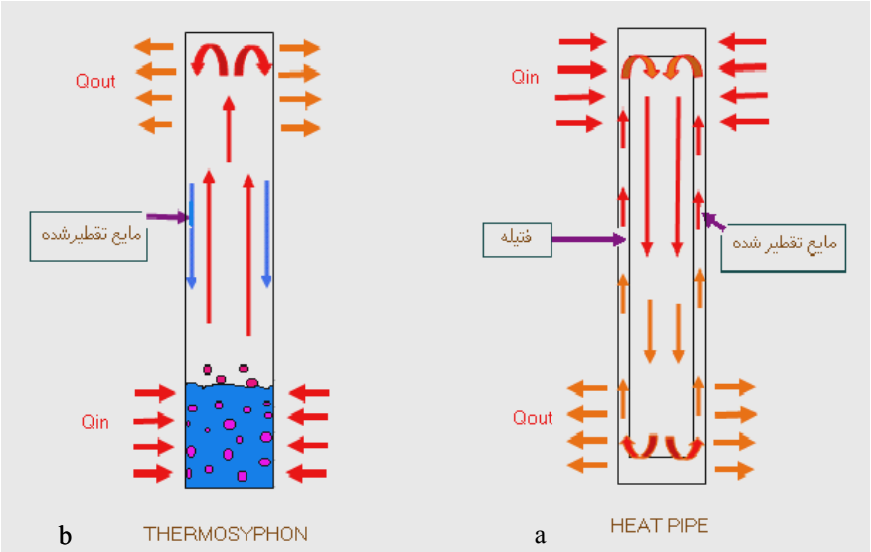
اجزاء یک لوله‌گرمایی به ترتیب عبارت اند از: محفظه آب بندی شده (دیواره لوله و کلاهک‌های انتهایی)، یک سازه فتیله‌ای و مقدار کمی سیال عامل که در تعادل با بخارش قرار دارد[۲].

فتیله معمولا در کنار دیواره لوله‌های‌گرمایی نصب می‌شود و می‌تواند اشکال هندسی مختلفی داشته باشد که در شکل (۱-۲) نمونه‌هایی از آن را مشاهده می‌نمایید.



شکل۱-۲ انواع فتیله در لوله های‌گرمایی[۲]

لوله‌ها پس از تخلیه هوا، توسط مقدار جزئی از سیال عامل، پر می‌شوند. تفاوت لوله‌گرمایی و ترموسیفون در این است که لوله‌گرمایی به علت وجود فتیله و نیروی موئینگی، می‌تواند افقی قرار بگیرد و یا حتی قسمت تبخیرکننده در بالا و قسمت چگالنده در پایین قرار گیرد. درترموسیفون‌ها چون عامل بازگشت مایع به قسمت تبخیرکننده، نیروی جاذبه می‌باشد، بنابراین قسمت چگالنده باید بالاتر از قسمت تبخیرکننده قرار گیرد[۳].



شکل ۱-۳ (a) شماتیک لوله‌گرمایی، (b) ترموسیفون [۳]

۱-۳-۱ اجزای لوله گرمایی

یک لوله‌گرمایی به طور کلّی از ۳ بخش اصلی زیر تشکیل شده است:

الف) تبخیرکننده[۱]

این بخش از لوله‌گرمایی قسمت پایین ترموسیفون بوده که در چشمه گرمایی قرار می‌گیرد که باعث تبخیر سیال عامل محتوی لوله می‌شود. بنابراین در این بخش گرما دریافت می‌شود.

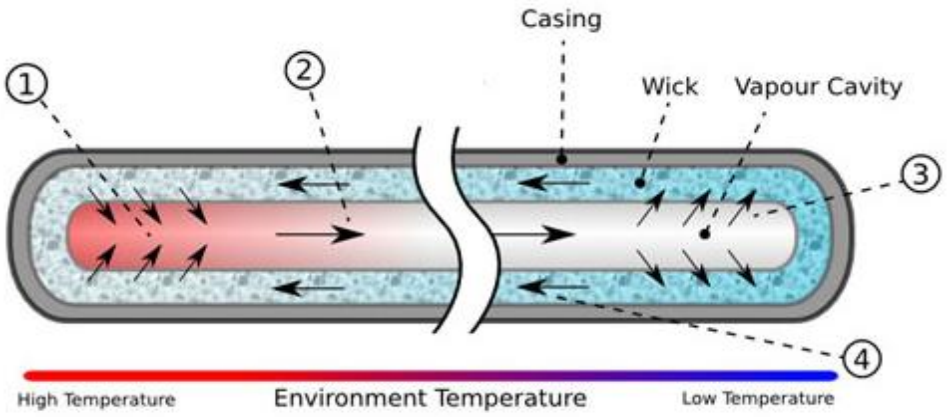
ب) قسمت آدیاباتیک[۲]

در این قسمت از لوله‌گرمایی انتقال حرارتی نداریم.

ج) قسمت چگالنده[۳]

این بخش از لوله‌گرمایی که قسمت بالای ترموسیفون می‌باشد، در چاه گرمایی قرار دارد. در این قسمت بخار به مایع تبدیل می‌شود و گرمای نهان تبخیر آزاد می‌شود.

۱-Evaporator
۲-Adiabatic
۳-Condenser



شکل ۱-٤ سیکل حرارتی لوله گرمایی

۱) سیال عامل با دریافت انرژی به بخار تبدیل می شود.
۲) بخار در طول لوله به سمت بخش دمای پایین حرکت می کند.
۳) بخار با از دست دادن حرارت خود تبدیل به مایع می شود و توسط فتیله جذب می شود.
۴) سیال عامل به بخش دمای بالا بر می گردد.

گرمای وارد شده به تبخیرکننده که توسط یک چشمه خارجی تأمین می‌گردد، از میان دیواره لوله و سازه فتیله ای هدایت شده و سبب تبخیر سیال عامل می‌گردد. فشار بخار به وجود آمده سبب انتقال بخار از میان قسمت آدیاباتیک به چگالنده می‌گردد و در آنجا بخار حاصله چگالیده شده و گرمای نهان تبخیر، گرمای چاه را تأمین می‌سازد. فشار موئین ایجاد شده در فتیله، سبب حرکت سیال چگالیده شده به تبخیرکننده می‌گردد. بنابراین، لوله‌گرمایی می‌تواند به طور پیوسته گرمای نهان بخار را از تبخیرکننده به چگالنده انتقال دهد. این فرآیند تا زمانی که یک فشار موئین کافی برای انتقال سیال چگالیده شده به تبخیرکننده موجود باشد، ادامه خواهد یافت[۴].

لازم به ذکر است که برای بازگشت سیال چگالیده شده در چگالنده به بخش تبخیرکننده، روش‌های زیر وجود دارد:

- فتیله (لوله‌گرمایی استاندارد)
- وزن (لوله‌گرمایی ترموسیفون)
- نیروی گریز از مرکز(لوله‌گرمایی گردشی)
- نیروهای حجمی مغناطیسی(لوله‌گرمایی هیدرودینامیکی مغناطیسی)
- نیروهای اسمزی (لوله‌گرمایی اسمزی)
- پمپ حبابی (لوله‌گرمایی ترموسیفون بر عکس)[۵]

با افزایش حجم سیال عامل درون لوله، اثر افزایش نقطه جوش حاکم شده و انتقال حرارت به تدریج کاهش

می‌یابد. این موضوع به وسیله پژوهشگران دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته است[۶].

۱-۳-۲ سیال عامل

سیال عامل در لوله حرارتی به عنوان واسطه اصلی حمل و نقل گرما، نقش ویژه‌ای در انتقال حرارت بر عهده دارد. اولین نکته در شناسایی یک سیال عامل مناسب، گستره دمای کاری بخار در لوله حرارتی است. ممکن است در یک بازه دمایی تقریبی چند سیال عامل وجود داشته باشد.
در موارد باید مشخصه‌های متفاوتی برای تعیین سیال‌های عامل قابل قبول مورد توجه قرار بگیرد.

خواسته‌های اولیه از یک سیال عامل مناسب بصورت زیر می باشد:
- سازگاری با فتیله و جنس دیواره
- پایداری دمایی خوب
- رطوبت‌پذیری از فتیله و ماده دیواره بدنه
- فشار بخار متناسب با گستره دمای کاری
- گرمای نهان بالا
- ضریب هدایت گرمایی بالا
- ویسکوزیته پایین مایع و بخار
- کشش سطحی بالا

هم‌چنین انتخاب سیال عامل باید براساس ملاحظات ترمودینامیکی انجام شود.

در طراحی لوله حرارتی، بالا بودن کشش سطحی بسیار مورد توجه است چون سبب می‌شود که لوله حرارتی بر خلاف میدان جاذبه عمل کند و یک نیروی محرکه موئینگی رو به بالا ایجاد شود. هم‌چنین گرمای نهان تبخیر بالا به این علت مورد توجه قرار می‌گیرد که مقدار زیادی گرما را با مقدار کمی جریان سیال انتقال داده و از این رو موجب افت فشار کمی در لوله حرارتی می‌شود.

در طراحی لوله حرارتی، بالا بودن کشش سطحی بسیار مورد توجه است.

در جدول (۱-۱) مشخصات بعضی از سیال‌های عامل در فشار ۱ اتمسفر آورده شده است.