**دانشگاه صنعتی اصفهان**
دانشکده‌ی مهندسی مکانیک

# افزایش انتقال حرارت در کندانسور R-404A توسط سیم پیچ

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی

**حسام غلامی**

استاد راهنما

**دکتر محمدرضا سلیم‌پور**

۱۳۹۰

**دانشگاه صنعتی اصفهان**
دانشکده‌ی مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک _ تبدیل انرژی

حسام غلامی

تحت عنوان

# افزایش انتقال حرارت در کندانسور R-404A توسط سیم پیچ

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

| | |
|---|---|
| ۱- استاد راهنمای پایان‌نامه | دکتر محمد رضا سلیم‌پور |
| ۲- استاد مشاور پایان‌نامه | دکتر علی اکبر عالم رجبی |
| ۳- استاد داور | دکتر ابراهیم شیرانی |
| ۴- استاد داور | دکتر محمود اشرفی زاده |
| ۵- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده | دکتر محمدرضا سلیم‌پور |

**کلیه‌حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،**
**ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع**
**این پایان‌نامه(رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی**
**اصفهان است.**

## فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


فهرست مطالب ..... شش

چکیده ..... ۱

**فصل اول: مقدمه**

۱-۱- مقدمه بر مبدل‌ها ..... ۲

۱-۲- افزایش انتقال حرارت در چگالش جابجایی اجباری داخلی ..... ۳

۱-۳- تعریف مسئله ..... ۴

۱-۴- اهداف این مطالعه ..... ۴

**فصل دوم: انتقال حرارت افزایشی**

۲-۱- مقدمه ..... ۶

۲-۲- انواع روش‌های افزایش انتقال حرارت ..... ۹

۲-۲-۱ – روش‌های غیر فعال ..... ۹

۲-۲-۲- روش‌های فعال ..... ۱۶

۲-۲-۳- تکنیک‌های مرکب ..... ۱۷

۲-۳- قابلیت بکارگیری سطوح افزایشی ..... ۱۸

**فصل سوم: بررسی منابع موجود**

۳-۱- مقدمه ..... ۱۹

۳-۲- چگالش بخار در داخل لوله‌های صاف ..... ۲۰

۳-۳- ضریب انتقال حرارت دوفازی براساس الگوی جریان ..... ۲۵

۳-۴-افزایش انتقال حرارت در چگالش بخار داخل لوله (بجز استفاده از سیم‌پیچ) ..... ۲۷

۳-۴-۱- گزارش‌های تخصصی در مورد انتقال حرارت دو فاز ..... ۲۸

۳-۴-۲- نوار پیچیده شده ..... ۲۸
۳-۴-۳- سطوح گسترده ..... ۳۱
۳-۴-۴- وسایل افزایشی جابجا شونده ..... ۳۴
۳-۴-۵- سطوح زبر ..... ۳۵
۳-۵- افزایش انتقال حرارت جریان‌های داخلی تکفاز و دو فاز (بجز چگالش) توسط سیم‌پیچ ..... ۳۷
۳-۵-۱- جریان تک‌فاز ..... ۳۸
۳-۵-۲- جوشش ..... ۴۲
۳-۶- افزایش انتقال حرارت در چگالش بخار داخل لوله با استفاده از سیم‌پیچ ..... ۴۴
۳-۷- افت فشار دوفازی ..... ۴۵
۳-۷-۱ مدل همگن ..... ۴۵
۳-۷-۲ مدل ناهمگن ..... ۴۶
۳-۸- افت فشار چگالشی در لوله‌های مجهز به سیم پیچ ..... ۵۴

**فصل چهارم: مبردها**

۴-۱- مقدمه ..... ۵۶
٤-۲- معیارهای ماده مبرد ..... ۵۷
۴-۳-اثرات زیست محیطی مبردها ..... ۵۷
۴-۳-۱- پتانسیل تخریب لایه ازن ..... ۵۷
۴-۳-۲- پتانسیل گرم شدن زمین ..... ۵۷
۴-۴- انواع مبردها ..... ۵۸
۴-۵- مبردهای آزئوتروپیک / زئوتروپیک ..... ۵۹
۴-۵-۱- مبردهای مخلوط آزئوتروپیک ..... ۵۹
۴-۵-۲- مبردهای مخلوط زئوتروپیک ..... ۵۹
۴-۶- مشکلات بالقوه ناشی از مبردهای زئوتروپیک ..... ۶۰
۴-۷- مبرد R 404A ..... ۶۰
۴-۸- تاریخچه‌ای مطالعات صورت گرفته بر روی مبرد R 404A ..... ۶۰

**فصل پنجم: شرح دستگاه آزمایش**


۵-۱- سیستم آزمایشگاهی ..... ۶۳

۵-۲- ملاحظات طراحی ..... ۶۷

۵-۲-۱- کندانسور اصلی ..... ۶۷

۵-۲-۲- پیش کندانسور ..... ۶۸

۵-۲-۳- کندانسور ثانویه ..... ۶۸

۵-۲-۴- روتامتر ..... ۷۰

۵-۲-۵- اختلاف فشار سنج دیفرانسیلی ..... ۷۰

۵-۳- سیم پیچ‌های مورد استفاده ..... ۷۰


**فصل ششم: دستورالعمل آزمایش و کار با داده‌ها**


۶-۱- عملکرد ..... ۷۳

۶-۲- تعیین نشتی و شارژ سیستم ..... ۷۳

۶-۳-کالیبره کردن ترموکوپلها ..... ۷۴

۶-۴-دقت اندازه‌گیری ..... ۷۴

۶-۵-دستورالعمل آزمایش ..... ۷۵

۶-۶- جمع‌آوری داده‌ها ..... ۷۶

۶-۷- تکرار پذیری آزمایش ..... ۷۷

۶-۸- موازنه حرارتی ..... ۷۸

۶-۹-شیوه محاسبه ..... ۷۹

۶-۹-۱- محاسبه ضریب انتقال حرارت ..... ۷۹

۶-۹-۲- محاسبه کیفیت بخار ..... ۸۰

۶-۹-۳- محاسبه قطر معادل ..... ۸۱


**فصل هفتم: تشریح نتایج**


۷-۱- مقدمه ..... ۸۳

۷-۲- تعیین رژیم جریان (یک تخمین) ..... ۸۴
۷-۳- نتایج انتقال حرارت در لوله صاف ..... ۸۵
۷-۳-۱- تغییرات ضریب انتقال حرارت در لوله‌های صاف ..... ۸۵
۷-۳-۲- مقایسه داده ها با روابط لوله صاف ..... ۸۷
۷-۴- نتایج انتقال حرارت چگالشی در لوله های مجهز به سیم پیچ ..... ۹۰
۷-۴- ۱- ویژگی‌های کلی ..... ۹۰
۷-۴-۲- افزایش انتقال حرارت ..... ۹۱
۷-۴-۳- اثر کیفیت بخار ..... ۹۶
۷-۴-۴- اثر سرعت جرمی ..... ۹۶
۷-۴-۵- اثر خصوصیات هندسی سیم پیچ ..... ۹۶
۷-۴-۶- رابطه پیشنهادی برای جریان داخل لوله‌های دارای سیم پیچ ..... ۹۸
۷-۵- افت فشار در لوله صاف ..... ۱۰۰
۷-۵-۱- تغییرات افت فشار در لوله صاف ..... ۱۰۰
۷-۵-۲- مقایسه داده‌های افت فشار با روابط لوله صاف ..... ۱۰۰
۷-۶- افت فشار چگالشی در لوله های مجهز به سیم پیچ ..... ۱۰۳
۷-۶- ۱- افزایش افت فشار ..... ۱۰۴
۷-۶-۲- اثر کیفیت بخار ..... ۱۰۹
۷-۶-۳- اثر سرعت جرمی ..... ۱۰۹
۷-۶-۴- اثر خصوصیات هندسی سیم پیچ ..... ۱۰۹
۷-۶-۵- رابطه پیشنهادی برای تعیین افت فشار جریان داخل لوله های مجهز به سیم پیچ ..... ۱۰۹
۷-۷- ارزیابی عملکرد سیم پیچ ..... ۱۱۲

**فصل هشتم: نتیجه گیری**

۸-۱- رفتار انتقال حرارت چگالشی ..... ۱۱۴
۸-۲- رفتار افت فشار چگالشی ..... ۱۱۵
۸-۳- پیشنهادات ..... ۱۱۶

پیوست (الف) ..... ۱۱۷
پیوست (ب) ..... ۱۲۲
پیوست (ج) ..... ۱۲۶
مراجع ..... ۱۳۳
چکیده انگلیسی ..... ۱۳۶

## فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**


جدول ۳-۱ ضرایب A و B مورد استفاده در رابطه (۳-۷۳) برای مبردهای مختلف ..... ۳۴

جدول ۷-۱ ابعاد مشخصه لوله های مجهز به سیم پیچ ..... ۹۰

جدول الف-۱ شرایط آزمایشی و خطای موازنه حرارتی تعدادی از آزمایشات لوله صاف ..... ۱۱۷

جدول الف-۲ شرایط آزمایشی و خطای موازنه حرارتی تعدادی از آزمایشات لوله A ..... ۱۱۸

جدول الف-۳ شرایط آزمایشی و خطای موازنه حرارتی تعدادی از آزمایشات لوله B ..... ۱۱۸

جدول الف-۴ شرایط آزمایشی و خطای موازنه حرارتی تعدادی از آزمایشات لوله C ..... ۱۱۹

جدول الف-۵ شرایط آزمایشی و خطای موازنه حرارتی تعدادی از آزمایشات لوله D ..... ۱۲۰

جدول الف-۶ شرایط آزمایشی و خطای موازنه حرارتی تعدادی از آزمایشات لوله E ..... ۱۲۱

## فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


شکل۲-۱ لوله با پره طولی مستقیم در جهت جریان ..... ۸

شکل۲-۲- (الف) مقطع یک پوشش متخلخل برای جوشش.(ب) ذرات متصل شده به سطح جهت افزایش چگالش لایه ای ..... ۱۰

شکل۲-۳- (الف) زبری داخل لوله برای جریان تکفاز و دوفاز.(ب) سطح زبر جهت جوشش هسته ای (ج) سیم پیچ ..... ۱۱

شکل ۲-۴ سطوح افزایشی گازها، (الف) پره های مورداستفاده در مبدل های حرارتی صفحه پره ای، (ب)پره های مورد
استفاده در مبدل های حرارتی اتومبیل، (ج)پره مورد استفاده جهت لوله های دایروی، (د)لوله های آلومینیومی دارای
پره های یکپارچه،(ه)پره صفحه لوله، (و)پره های موج دار مورد استفاده در بازیاب های دوار ..... ۱۲

شکل ۲-۵-(الف) پره های یکپارچه در سطح خارجی لوله، (ب)لوله های دارای پره داخلی (پره های محوری و مارپیچ)،
(ج) سطح مقطع لوله های چند دارای پره داخلی(د)لوله دارای یک قطعه ستارهای آلومینیومی ..... ۱۳

شکل ۲-۶-الف ابزار دارای قطعات دیسکی، (ب)ابزار دارای قطعات دوکی شکل، (ج)سیم پیچ قابل جابجا شدن ..... ۱۴

شکل ۲-۷ دو نوع از وسایل ایجاد کننده جریان چرخشی،(الف) نوار پیچیده شده، (ب)ابزار دارای پره های مارپیچ ..... ۱۵

شکل ۲-۸ مبدل حرارتی با لوله های مارپیچ ..... ۱۵

شکل ۲-۹-(الف)نحوه عملکرد کشش سطحی در تخلیه مایع،(ب)لوله شیاردار برای استفاده در جهت عمودی ..... ۱۶

شکل٤-۱ رفتار ترمودینامیکی مبردهای مخلوط آزئوتروپیک ..... ۵۹

شکل٤-۲ رفتار ترمودینامیکی مبردهای مخلوط زئوتروپیک ..... ۶۰

شکل٤-۳ انباشتگی مبردهای مخلوط قابلیت تقطیر پایین روی سطح انتقال حرارت ..... ۶۰

شکل٥-۱ دیاگرام شماتیک سیستم آزمایشگاهی ..... ۶۴

شکل٥-۲ نمایی از سیستم آزمایشگاهی ..... ۶۵

شکل٥-۳ نمایی از سیستم آزمایشگاهی ..... ۶۵

شکل٥-٤ نمایی از سیستم آزمایشگاهی ..... ۶۶

شکل٥-٥ اواپراتور سیستم آزمایشگاهی ..... ۶۶

شکل٥-٦ موقعیت کندانسورهای سیستم آزمایشگاهی ..... ۶۷

شکل٥-۷ پروفیل دما در کندانسور های حاوی مبرد زئوتروپیک با مدل جریان نا همسو ..... ۶۸

شکل٥-۸ رژیم دما در فرایند زیر سرد سازی با جزئیات روی نمودار $\log P/h$ و نمودار دما ..... ۶۹

شکل٥-۹ آثار زیر سردسازی مایع مبرد روی دیاگرام $\log P/h$ ..... ۶۹

شکل۵-۱۰ روتامترهای سیستم آزمایشگاهی ..... ۷۱
شکل۵-۱۱ اختلاف فشار سنج سیستم آزمایشگاهی ..... ۷۱
شکل ۵-۱۲: خصوصیات ابعادی سیم پیچ ها ..... ۷۲
شکل۶-۱ وسایل مورد استفاده جهت شارژ دستگاه ..... ۷۴
شکل۶-۲ کالیبراسیون ترموکوپل ها ..... ۷۵
شکل۶-۲ تکرار پذیری آزمایش برای لوله صاف ..... ۷۷
شکل ۶-۳ تکرار پذیری آزمایش برای لوله مجهز به سیم پیچ ..... ۷۸
شکل ۶-۴ موقعیت پیش کندانسور، کندانسور اصلی و کندانسور ثانویه ..... ۷۹
شکل ۷-۱ تغییرات ضریب انتقال حرارت بر حسب کیفیت بخار برای سرعت های جرمی مختلف ..... ۸۷
شکل ۷-۲ تغییرات ضریب انتقال حرارت بر حسب کیفیت بخار برای سه سرعت جرمی مختلف ..... ۸۷
شکل ۷-۳ مقایسه ضرایب انتقال حرارت آزمایشگاهی لوله صاف با پیش بینی های اخوان بهابادی ..... ۸۹
شکل ۷-۴ مقایسه ضرایب انتقال حرارت آزمایشگاهی لوله صاف با پیش بینی های سارما ..... ۸۹
شکل ۷-۵ مقایسه ضرایب انتقال حرارت آزمایشگاهی لوله صاف با پیش بینی های ایکرز ..... ۹۰
شکل ۷-۶ مقایسه ضرایب انتقال حرارت آزمایشگاهی لوله صاف با پیش بینی های بویکو و کروژیلین ..... ۹۰
شکل ۷-۷ مقایسه ضرایب انتقال حرارت لوله های D و E برای یک سرعت جرمی خاص مبرد ..... ۹۱
شکل ۷-۸ مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ A، B، C، F
در سرعت جرمی ۸۹ ($kg/m^2 s$) ..... ۹۲
شکل ۷-۹ مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ A، B، C، F
در سرعت جرمی ۱۰۶/۸ ($kg/m^2 s$) ..... ۹۲
شکل ۷-۱۰ مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ A، B، C، F
در سرعت جرمی ۱۲۴/۶ ($kg/m^2 s$) ..... ۹۳
شکل ۷-۱۱ مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ A، B، C، F
در سرعت جرمی ۱۴۲/۴ ($kg/m^2 s$) ..... ۹۳
شکل ۷-۱۲ مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ C، D، E، F
در سرعت جرمی ۷۱/۲ ($kg/m^2 s$) ..... ۹۴

شکل ۷-۱۳ مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ C، D، E، F
در سرعت جرمی ۸۹ ($kg/m^2 s$) ..... ۹۴
شکل ۷-۱۴ مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ C، D، E، F
در سرعت جرمی ۱۰۶/۸ ($kg/m^2 s$) ..... ۹۵
شکل ۷-۱۵ مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ C، D، E، F
در سرعت جرمی ۱۲۴/۶ ($kg/m^2 s$) ..... ۹۵
شکل ۷-۱۶ تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار برای سرعت های جرمی مختلف لوله C ..... ۹۷
شکل ۷-۱۷ مقایسه بین داده های پیش بینی شده با رابطه جدید و داده های آزمایشگاهی ضریب انتقال حرارت ..... ۹۹
شکل ۷-۱۸ تغییرات افت فشار چگالشی در لوله صاف بر حسب کیفیت بخار برای سرعت جرمی های مختلف ..... ۱۰۱
شکل ۷-۱۹ مقایسه نتایج افت فشار آزمایشگاهی لوله صاف با پیش بینی های مولر ..... ۱۰۱
شکل ۷-۲۰ مقایسه نتایج افت فشار آزمایشگاهی لوله صاف با پیش بینی های لومباردی ..... ۱۰۲
شکل ۷-۲۱ مقایسه نتایج افت فشار آزمایشگاهی لوله صاف با پیش بینی های چیشلم ..... ۱۰۲
شکل ۷-۲۲ مقایسه افت فشار برای لوله های مجهز به سیم پیچ A، B، C، F در سرعت جرمی ۸۹ ($kg/m^2 s$) ..... ۱۰۵
شکل ۷-۲۳ مقایسه افت فشار برای لوله های مجهز به سیم پیچ A، B، C، F در سرعت جرمی ۱۰۶/۸ ($kg/m^2 s$) ..... ۱۰۵
شکل ۷-۲۴ مقایسه افت فشار برای لوله های مجهز به سیم پیچ A، B، C، F در سرعت جرمی ۱۲۴/۶ ($kg/m^2 s$) ..... ۱۰۶
شکل ۷-۲۵ مقایسه افت فشار برای لوله های مجهز به سیم پیچ A، B، C، F در سرعت جرمی ۱۴۲/۴ ($kg/m^2 s$) ..... ۱۰۶
شکل ۷-۲۶ مقایسه افت فشار برای لوله های مجهز به سیم پیچ C، D، E، F در سرعت جرمی ۸۹ ($kg/m^2 s$) ..... ۱۰۷
شکل ۷-۲۷ مقایسه افت فشار برای لوله های مجهز به سیم پیچ C، D، E، F در سرعت جرمی ۱۰۶/۸ ($kg/m^2 s$) ..... ۱۰۷
شکل ۷-۲۸ مقایسه افت فشار برای لوله های مجهز به سیم پیچ C، D، E، F در سرعت جرمی ۱۲۴/۶ ($kg/m^2 s$) ..... ۱۱۲
شکل ۷-۲۹ مقایسه افت فشار برای لوله های مجهز به سیم پیچ C، D، E، F در سرعت جرمی ۱۴۲/۴ ($kg/m^2 s$) ..... ۱۰۸
شکل ۷-۳۰ تغییرات افت فشار با کیفیت بخار برای سرعت های جرمی مختلف لوله C ..... ۱۱۰
شکل ۷-۳۱ مقایسه بین داده های پیش بینی شده با رابطه جدید و داده های آزمایشگاهی افت فشار ..... ۱۱۱
شکل ۷-۳۲ نسبت $R_{\Delta P}/R_h$ بر حسب سرعت جرمی برای سیم پیچ های مختلف ..... ۱۱۳

**چکیده**

پایان‌نامه حاضر به منظور بررسی تجربی افزایش انتقال حرارت و افت فشار توسط سیم پیچ در چگالش بخار R-404A داخل لوله‌های افقی به انجام رسید. همچنین مقایسه‌ای نیز بین لوله صاف و روابط موجود صورت گرفت. سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده یک سیکل تبرید تراکمی بخار R-404A مجهز به کلیه ابزار اندازه‌گیری لازم می‌باشد که در آزمایشگاه طراحی و ساخته شد. این سیستم شامل یک کندانسور اصلی است که آزمایشات بر روی آن صورت می‌پذیرد. این کندانسور از نوع دو-لوله‌ای جریان-مخالف بوده و از آب به عنوان سیال خنک کن استفاده می‌کنند. بعلاوه به منظور دستیابی به کیفیت بخارهای مطلوب از پیش کندانسور و کندانسور ثانویه استفاده شده است. آزمایشات بر روی لوله صاف و لوله‌هایی با پنج نوع سیم پیچ متفاوت صورت گرفت. در هر آزمایش پارامترهای گوناگونی از قبیل سرعت جرمی مبرد، دمای آب ورودی مبرد و خروجی از کندانسور، فشار مبرد و ... اندازه‌گیری گردید. با استفاده از داده‌های حاصله، ضرایب انتقال حرارت و افت فشار برای لوله‌های مختلف محاسبه شد. نتایج بدست آمده برای لوله صاف با روابط موجود مقایسه شد و روابطی که بهترین تطابق را با نتایج آزمایشگاهی مربوط به ضریب انتقال حرارت و افت فشار داشت بعنوان رابطه مبنا برای توسعه روابط جدید برای پیش‌بینی ضریب انتقال حرارت و افت فشار برای لوله‌های مجهز به سیم پیچ در نظر گرفته شد. با بررسی نتایج حاصله برای لوله‌های دارای سیم پیچ معلوم شد که با افزایش قطر و همچنین با کاهش گام، انتقال حرارت و نیز افت فشار افزایش می‌یابد. استفاده از سیم پیچ ضریب انتقال حرارت متوسط و افت فشار را بترتیب تا حدود ۶۰٪ و ۱۲۰۰٪ نسبت به لوله صاف افزایش می‌دهد. در نهایت با استفاده از نتایج حاصل از لوله‌های مجهز به سیم پیچ و با مبنا قرار دادن روابط مذکور، روابط جدیدی برای محاسبه ضریب انتقال حرارت و افت فشار در لوله‌های مجهز به سیم پیچ بدست آوردیم.

**کلمات کلیدی**: افزایش انتقال حرارت، افت فشار، چگالش، سیم پیچ

# فصل اول

## مقدمه

### ۱-۱ مقدمه بر مبدل‌ها

مبدل‌های حرارتی کاربردهای گوناگونی در صنعت و مهندسی دارند. فرایند طراحی مبدل‌های حرارتی کاملا پیچیده است زیرا صرفنظر از بررسی عملکرد و صرفه اقتصادی تجهیزات نیاز به تحلیل دقیق شدت انتقال حرارت و افت فشار دارد. دغدغه اصلی در طراحی یک مبدل حرارتی سوار کردن تجهیزات بطور فشرده و جمع و جور در کنار یکدیگر و بدست آوردن شدت انتقال حرارت بالاتر با استفاده از کمترین توان مصرفی (پمپینگ) می‌باشد. تکنیک‌هایی که برای بهبود انتقال حرارت بکار می‌رود بستگی به کاربردهای مهندسی دارد.در سال‌های اخیر قیمت بالای انرژی مواد منجر به تلاش فزاینده ای در جهت تولید مبدل های حرارتی پربازده‌تر شده است. بعلاوه بعضی اوقات (مثلا در کاربردهای فضایی) در کنار لزوم به افزلیش انتقال حرارت نیاز به کوچک سازی مبدل حرارتی وجود دارد. بعنوان مثال یک مبدل حرارتی در زمینه تبدیل انرژی حرارتی اقیانوس نیاز به یک سطح انتقال حرارت در اندازه ($m^2/MW$) ۱۰۰۰۰ دارد. بنابراین افزایش در عملکرد مبدل حرارتی در خلال تکنیک های بهبود ممکن است منجر به صرفه جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه مواد می‌شود. بعلاوه چنانچه یک مبدل فرسوده شود مقاومت برای انتقال حرارت افزایش می‌یابد این مشکلات برای مبدل های مورد استفاده در کاربردهای دریانوردی وصنایع شیمیایی خیلی

رایج می‌باشد. در مواردی که مبدل حرارتی با سیالاتی با هدایت حرارتی پایین (گازها و روغن‌ها) و قابلیت املاح گیری پایین کار می‌کنند نیاز به افزایش در شدت انتقال حرارت وجود دارد. شدت انتقال حرارت را می توان با بوجود اوردن یک اغتشاش در جریان سیال بهبود بخشید (بریدن لایه مرزی لزج و حرارتی) اما این فرایند بوضوح توان مصرفی را افزایش می‌دهد که در نهایت هزینه‌های مصرفی را افزایش می‌یابد. بنابراین بمنظور حصول شدت انتقال حرارت مورد نظر برای یک مبدل حرارتی در یک توان مصرفی که از نظر اقتصادی بصرفه باشد در سال‌های اخیر تکنیک‌های گوناگونی پیشنهاد شده است.

## ۱-۲ افزایش انتقال حرارت در چگالش جابجایی اجباری داخلی

روش‌های مورد استفاده جهت افزایش انتقال حرارت در فصل دوم مفصلا بررسی شده‌اند و در اینجا به طور خلاصه در مورد مزایای استفاده از سیم پیچ که در مطالعه حاضر از آن استفاده شده بحث می‌شود.

سیم پیچ مانند سایر تجهیزات درون لوله‌ای نسبتا ارزان بوده و به راحتی قابل نصب و برداشتن است. تجهیزات درون لوله‌ای با استفاده از یکی از مکانیزم‌های زیر یا ترکیبی از آنها باعث افزایش انتقال حرارت می شود:

۱- از رشد لایه مرزی جلوگیری کرده وباعث افزایش اغتشاش در جریان می‌شود.

۲- سطح موثر انتقال حرارت را در اثر تماس موثر باسطح لوله افزایش می‌دهد.

۳- جریان چرخشی یا ثانویه ایجاد می کند.

لازم به ذکر است که سیم پیچ بیشتر با استفاده از مکانیزم اول انتقال حرارت را افزایش می‌دهد.

### ۱-۳ تعریف مسئله

بررسی منابع موجود نشان داد که تحقیقات وسیعی در زمینه بهبود انتقال حرارت در چگالش اجباری داخل لوله‌های افقی صورت گرفته است. با این وجود در زمینه بررسی اثر سیم پیچ بر دو کمیت انتقال حرارت و افت فشار چگالشی مطالعات چندانی انجام نشده است. اگرچه مطالعه اثر سیم پیچ بر انتقال حرارت در جریان‌های تک‌فاز و جوششی زیاد بوده است (بنسال (۱۹۸٦) و چیو[۱] (۱۹۸۷)) ، با این‌حال بررسی اثر آن بر چگالش داخل لوله بسیار محدود بوده (آگراوال[۲] و همکاران (۱۹۹۸)، اخوان بهابادی و همکاران (۲۰۰۸)) و مطالعه‌ای در مورد استفاده از آن در مورد مبرد R-404A صورت نگرفته است.

---

[۱] Chiou J. P.

[۲] K. N. Agrawal

باتوجه به اینکه گاز R-404A از فرئونهایی است که لایه ازن را تخریب نمی‌کنند و مطالعات کمی بر روی آن صورت گرفته است به همین دلیل مطالعه حاضر بر روی این مبرد صورت گرفته است. بنابراین این مطالعه برای بدست آوردن داده‌های انتقال حرارت و افت فشار آزمایشگاهی در چگالش R-404A در داخل یک لوله مسی دارای سیم پیچ انجام شده است.

**۱-۴ اهداف این مطالعه**

اهداف این مطالعه عبارتند از:

۱- جمع آوری داده‌های انتقال حرارت و افت فشار در چگالش جابجایی اجباری R-404A داخل لوله صاف در محدوده وسیعی از دبی جرمی و کیفیت بخار.

۲- مقایسه روابط مربوط به محاسبه ضریب انتقال حرارت و افت فشار در لوله صاف با داده‌های آزمایشگاهی و انتخاب رابطه‌ای که بهترین تطابق را با داده‌ها داراست.

۳- بدست آوردن داده‌های آزمایشگاهی مربوط به میزان انتقال حرارت و افت فشار در چگالش جابجایی اجباری در داخل لوله‌های مجهز به سیم پیچ

۴- تحلیل نتایج بدست آمده بمنظور بررسی رفتار عمومی ضرایب انتقال حرارت و افت فشار در لوله های صاف و لوله های مجهز به سیم پیچ

۵-بررسی افزایش نرخ انتقال حرارت وافت فشار چگالشی هنگامی که از سیم پیچ‌هایی با قطر و گام‌های متفاوت استفاده می‌شود.

۶- استخراج رابطه‌ای بمنظور پیش‌بینی ضریب انتقال حرارت و افت فشار در کندانسورهای افقی که از سیم پیچ استفاده می‌نمایند.

۷- ارزیابی عملکرد لوله‌های مجهز به سیم پیچ در مقایسه با لوله صاف.

# فصل دوم
# انتقال حرارت افزایشی

## ۲-۱ مقدمه

موضوع کاربرد انتقال حرارت افزایشی[۳] در مبدل‌های حرارتی بطور جدی دنبال می شود. صنایع تبرید و اتومبیل سازی معمولا از سطوح افزایشی در مبدل‌های حرارتی خویش بهره می‌برند. صنایع فرایندی نیز به شدت در این زمینه فعالیت می‌نمایند. اگرچه می‌توان از سطوح افزایشی در تمام مبدل‌های حرارتی استفاده نمود ولی باید دید این استفاده بصرفه است یا خیر.

سطوح افزایشی انتقال حرارت هندسه خاصی دارند که حاصلضرب hA بیشتری نسبت به سطوح صاف ایجاد می کنند.

اگر مبدلی دو سیالی با جریان مخالف را در نظر بگیریم نرخ انتقال حرارت برای این مبدل برابر است با:

$$Q = UA(\Delta T_m) \qquad (۱-۲)$$

[۱] Enhanced heat transfer

جهت نشان دادن فواید افزایش سطح رابطه ۲-۱ را در طول کل لوله (L) ضرب و تقسیم می کنیم.

$$Q = \frac{LUA}{L}(\Delta T_m) \qquad (۲-۲)$$

عبارت L/UA، مقاومت حرارتی کلی بر واحد طول لوله بوده توسط رابطه زیر تعریف می شود:

$$\frac{L}{UA} = \frac{L}{\eta_1 h_1 A_1} + \frac{L t_m}{k_w A_m} + \frac{L}{\eta_2 h_2 A_2} \qquad (۲-۳)$$

که پانویس۱ و ۲ مربوط به سیال ۱ و ۲ می باشد و $\eta$ بازده سطح گسترش یافته است.

جهت ساده‌سازی از مقاومت‌های حرارتی رسوب صرف نظر شده است که می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد. با کاهش $\frac{L}{UA}$ عملکرد مبدل حرارتی افزایش خواهد یافت. برای ازدیاد هر کدام از hA/L ها، می‌توان از سطوح افزایشی استفاده نمود.که این عمل مقاومت حرارتی بر واحد طول لوله، $\frac{L}{UA}$، کاهش می‌دهد. کاهش $\frac{L}{UA}$ بمنظور انجام یکی از اهداف زیر صورت می گیرد:

۱- کاهش اندازه: اگر نرخ انتقال حرارت مبدل (Q) ثابت نگه داشته شود و طول ناحیه تبادلی را می‌توان کاهش داد که منجر به مبدل حرارتی با ابعاد کوچکتر می‌شود.

۲- افزایش UA: این مورد از دو طریق محقق می شود:

الف- کاهش $\Delta T_m$: اگر Q و طول کلی لوله L ثابت بمانند، $\Delta T_m$ کاهش می‌یابد که این امر منجر به افزایش راندمان ترمودینامیکی و کاهش هزینه‌های کاربری می گردد.

ب- افزایش تبادل حرارت: اگر L را ثابت نگه داریم افزایش $\frac{UA}{L}$ منجر به افزایش نرخ تبادل حرارت برای درجه حرارت‌های ثابت سیال ورودی می‌شود.

۳- کاهش توان پمپ برای انتقال حرارت ثابت: اگرچه شاید عجیب باشد که سطوح افزایشی باعث کاهش توان مصرفی پمپ شوند، اما از نظر تئوری این امکان پذیر است. لیکن این مستلزم آنست که مبدل حرارتی افزایشی، نسبت به نوع مشابه با سطوح صاف با سرعت کمتری کارکند که این امر باعث افزایش سطح پیشانی[۴] مبدل می-شود که معمولا مطلوب نیست.

اصل مهمی که باید به آن توجه داشت این است که یک سطح افزایشی می‌تواند جهت هر یک از مقاصد فوق بکار رود. اینکه کدام بهبود حاصل شود به نظر طراح بستگی دارد. مثلا طراح الف ممکن است بخواهد مبدل حرارتی را کوچک کند در حالی که طراح ب راندمان ترمودینامیکی بهتری را خواهان باشد.

---

[۱] Frontal area