بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی مکانیک

گروه حرارت و سیالات

پایان نامه

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک تبدیل انرژی

عنوان:

بررسی عددی میدان جریان و انتقال حرارت در یک مبدل حرارتی دولوله‌ای با نوارهای تابیده

استاد راهنما:

دکتر قنبرعلی شیخ زاده

استاد مشاور:

دکتر علی اکبر عباسیان آرانی

توسط:

سعید خندان سیر

بهمن ۹۳

تشکر و قدردانی

تشکر و سپاس بی‌پایان مخصوص خدایی است که بشر را آفریده و به او قدرت اندیشیدن داده و توانایی‌های بالقوه را در وجود انسان قرار داده و او را امر به تلاش و کوشش نموده و راهنمایانی را برای هدایت بشر فرستاده است.

پس از ارادت خاضعانه به درگاه خداوند بی‌همتا لازم است از استاد ارجمند جناب آقای دکتر **قنبر علی شیخزاده** به‌خاطر سعه صدر و رهنمودهای دلسوزانه که در تهیه این تحقیق داشته‌اند و مرا مورد لطف و عنایت خود قرار دادند، تشکر و قدردانی نمایم، همچنین از استاد گرامی جناب آقای **دکتر علی‌اکبر عباسیان** و مشاور صنعتی شرکت پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران، **جناب آقای مهندس جمکرانی** که با فروتنی بنده را در انجام این پژوهش یاری و مشاوره داده‌اند، صمیمانه سپاسگزارم و در پایان از اساتید گران‌قدر **جناب آقای دکتر رضا مداحیان و جناب آقای دکتر احمد رضا رحمتی** که قبول زحمت نموده و این تحقیق را مطالعه و در جلسه دفاع شرکت نموده‌اند، تشکر می‌نمایم و امید است دانشجوی لایقی برای این اساتید و بزرگواران بوده باشم و بتوانم قطره‌ای از دریای محبت این عزیزان را جبران نمایم، موفقیت همگان را از درگاه احدیت خواهانم.

این پایان نامه تحت حمایت و پشتیبانی مالی شرکت پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران به انجام رسیده است.

تقدیم به دو فرشته زندگی‌ام، آنان که دو بال برایم شدند تا پرواز کردن را بیاموزم.

تقدیم به دو شمع زندگی‌ام، آنان که سوختند تا راه زندگی‌ام را روشن نگاه دارند.

و . . .

تقدیم به پدر و مادر عزیزتر از جانم و خواهر عزیزم،

آنان که بودنشان مایهٔ افتخاریست بر سرم و نامشان عزتیست برای بودنم.

آنان که زندگیشان برایم زندگی و زندگیم برایشان همه زحمت است.

در برابر وجود گرانبهایشان زانوی ادب بر زمین میزنم و با دلی مملو از عشق، محبت و خضوع

بر دستانشان بوسه میزنم.

چکیده

در پروژه حاضر، اثر استفاده از نوارهای تابیده بر میزان انتقال حرارت و افت فشار در مبدل دو لوله‌ای به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، هندسه سه‌بعدی مبدل حرارتی در دو حالت بدون نوار تابیده و با نوار تابیده مدل‌سازی شد. برای بررسی جزئیات اثر نوارها از دو نوع نوار تابیده با نسبت پیچش ۳ و ۵ استفاده شد. ابتدا در نرم‌افزار طراحی گمبیت مدل‌سازی انجام شد و شبکه‌بندی ایجاد شده برای حل به نرم‌افزار فلوئنت فرستاده شد. برای معتبرسازی نتایج بدست آمده، از نتایج تجربی ثبت شده از مبدل حرارتی موجود در واحد پالایشگاه نفت تهران استفاده شد. برای مدل‌سازی تلاطم از روش $k-\varepsilon$ نسخه تحقق‌پذیر استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد، بر مبنای دبی جرمی ورودی ثابت، میزان رشد انتقال حرارت با نوارهای تابیده نسبت به حالت لوله خالی در عدد رینولدز ۵۰۰۰ نزدیک به ۳۶ درصد می‌باشد. از نقطه نظر افت فشار هم بررسی‌های عددی آشکار کرد، میزان افت فشار لوله‌های دارای نوار تابیده نسبت به لوله خالی، در عدد رینولدز ۵۰۰۰ با نسبت پیچش ۳ به میزان ۴۷ درصد و برای نسبت پیچش ۵، به میزان۳۰ درصد ایجاد می‌کند. علاوه بر موارد ذکر شده انتقال حرارت انجام شده بر مبنای تغییر آنتالپی در فرآیند چگالش روی سطح خارجی لوله میانی بوده که شرایط انجام و تحلیل عددی چگالش با استفاده از کدنویسی برای نرم‌افزار فلوئنت انجام شده است. تحلیل و بررسی انجام شده به‌دلیل تراکم شبکه‌بندی با y^+ کمتر از یک صورت گرفته است. علاوه بر این بر مبنای معیار عملکرد مبدل‌های حرارتی مشخص شد، برای نسبت پیچش ۳، در عدد رینولدز ۵۰۰۰ تا ۱۹ درصد افزایش بازدهی نسبت به لوله خالی ایجاد می‌شود، همچنین افزایش عدد رینولدز هم در افزایش بازدهی نوارهای تابیده موثر بوده است.

کلمات کلیدی: نوار تابیده، چگالش، انتقال حرارت، مبدل حرارتی

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱. مقدمه‌ای بر مطالعه ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ معرفی موضوع ۲

۱-۳ معرفی فناوری بکارگیری وسایل افزاینده انتقال حرارت ۲

۱-۴ انواع روش‌های بهبود انتقال حرارت ۳

۱-۴-۱ روش‌های فعال ۳

۱-۴-۲ روش‌های غیرفعال ۳

۱-۵ بهبود شرایط عملیاتی با روش‌های غیرفعال ۴

۱-۵-۱ جریان آرام و آشفته ۴

۱-۵-۲ یخ زدگی و سرمایش سیال ۴

۱-۵-۳ رسوب گرفتگی ۴

۱-۶ انگیزه و هدف از انجام این پروژه ۵

۱-۷ معرفی فصل‌های پایان‌نامه ۶

۲. روش‌های بهبود انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی ۷

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ روش‌های بهبود انتقال حرارت با افزودن سطوح بیرونی ۷

۲-۲-۱ انواع لوله‌های پره‌دار با فین‌های خارجی ۷

۲-۳ بهبود انتقال حرارت در داخل لوله‌ها ۸

۲-۳-۱ فنرها ۹

۲-۳-۲ لوله‌های تابیده ۱۱

۲-۳-۳ نوارهای تابیده ۱۱

۲-۳-۴ شبکه‌های میله‌ای جوشکاری شده ۱۳

۲-۳-۵ شبکه سیمی ۱۴

۲-۴ مقایسه اثر رژیم‌های جریانی بر روش‌های غیرفعال ۱۵

۲-۴-۱ جریان آرام ۱۵

۲-۴-۲ جریان آشفته ۱۵
۲-۵ معرفی و بررسی نوارهای تابیده ۱۵
۲-۵-۱ انواع نوارهای تابیده ۱۶
۲-۶ روش‌های ترکیبی ۱۸

۳. مروری بر کارهای گذشته ۲۰

۳-۱ مقدمه ۲۰
۳-۲ مروری بر کارهای گذشته ۲۰
۳-۲-۱ دسته بندی نوارهای تابیده ۲۱
۳-۲-۲ کارهای آزمایشگاهی ۲۱
۳-۲-۳ کارهای عددی ۲۶
۳-۲-۴ اثر استفاده از نوارهای تابیده در رژیم جریان آرام ۲۸
۳-۲-۵ اثر استفاده از نوارهای تابیده در رژیم جریان آشفته ۳۱

۴. معرفی خط فرآیند و مبدل مورد نظر و ملاحظات مربوط به آن ۳۳

۴-۱ مقدمه ۳۳
۴-۲ سختی آب ۳۳
۴-۳ اثر سختی آب مصرفی در فرآیندهای صنعتی ۳۴
۴-۳-۱ اثر رسوبات در تاسیسات صنعتی ۳۴
۴-۴ رزین‌های تعویض یون ۳۵
۴-۵ رزین‌های آنیون‌گیر ۳۵
۴-۶ بستر مخلوط ۳۶
۴-۷ اثر دما بر عملکرد سیستم احیا ۳۷
۴-۸ معرفی و بیان ضرورت مبدل حرارتی در فرآیند ۳۸
۴-۹ ساختار و مشخصات و شرایط مبدل حرارتی **CE۲۲۰۱** ۳۹
۴-۹-۱ ورودی آب ۴۰
۴-۹-۲ ورودی بخار ۴۱
۴-۹-۳ نحوه عملکرد مبدل حرارتی ۴۲
۴-۹-۴ نکات اجمالی برای تبیین مشکلات و شرایط کنونی مبدل حرارتی ۴۳
۴-۹-۵ راه‌حل‌های کنونی و معایب آن ۴۴

۵. شرایط مسئله و معادلات حاکم ۴۷

۵-۱ مقدمه ۴۷

۵-۲ هندسه حل ۴۷

۵-۳ معادلات حاکم بر جریان سیال ۴۹

۵-۳-۱ معادله بقای جرم ۴۹

۵-۳-۲ معادله اندازه حرکت ۴۹

۵-۳-۳ معادله انرژی ۵۰

۵-۳-۴ مدل اغتشاشی $k-\varepsilon$ ۵۱

۵-۳-۵ مدل اغتشاشی $k-\varepsilon$ تحقق پذیر ۵۲

۵-۴ روابط عبارت‌های‌چشمه برای انتقال جرم و انرژی در بخار ۵۳

۵-۵ شرایط مرزی ۵۳

۵-۵-۱ تابع دیواره استاندارد ۵۶

۵-۵-۲ روش رفتار دیواره پیشرفته ۵۶

۵-۶ محاسبه عدد ناسلت و ضریب اصطکاک ۵۷

۵-۷ روابط انتقال حرارت جابه‌جایی اجباری در جریان آشفته ۵۸

۵-۷-۱ رابطه پتخوف ۵۸

۵-۸ روابط ضریب اصطکاک جریان آشفته ۵۸

۵-۹ تصحیح خواص سیال در مبدل حرارتی ۵۹

۵-۱۰ معیار ارزیابی کلی عملکرد حرارتی ۶۰

۶. محاسبات عددی و شبیه‌سازی مسئله ۶۲

۶-۱ مقدمه ۶۲

۶-۲ روشهای محاسبات عددی ۶۲

۶-۳ مراحل روش حل عددی ۶۳

۶-۴ مدل‌سازی مسئله ۶۳

۶-۵ تراکم مش و توزیع فضایی آن ۶۴

۶-۶ شبکه بندی مسئله ۶۵

۶-۷ مراحل شبیه‌سازی در نرم‌افزار فلوئنت ۶۶

۶-۸ مدل آشفتگی ۶۷

۶-۹ الگوریتم حل میدان فشار ۶۷
۶-۱۰ الگوریتم Coupled ۶۸
۶-۱۱ روش گسسته‌سازی معادلات ۶۹
۶-۱۲ تعیین شبکه مناسب ۶۹

۷. نتایج و جمع‌بندی ۷۳

۷-۱ مقدمه ۷۳
۷-۲ اعتبار سنجی نتایج ۷۳
۷-۲-۱ تعادل حرارتی ۷۴
۷-۳ بررسی چگالش فیلمی ۷۶
۷-۳-۱ بررسی میزان ضخامت لایه آب حاصل از چگالش فیلمی ۷۸
۷-۴ ساختار جریان ۷۹
۷-۴-۱ خط جریان ۷۹
۷-۴-۲ پروفیل سرعت در برش طولی ۸۰
۷-۴-۳ کانتورهای سرعت با برش عرضی ۸۱
۷-۵ پروفیل دما ۸۲
۷-۶ ضریب جابه‌جایی محلی ۸۳
۷-۷ عدد ناسلت ۸۴
۷-۸ ضریب اصطکاک ۸۶
۷-۹ معیار ارزیابی عملکرد ۸۶
۷-۱۰ جمع‌بندی ۸۷
۷-۱۱ پیشنهادها ۸۸
مراجع ۸۸
پیوست‌ها ۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- لوله با پره‌های طولی ۷
شکل ۲-۲- فین روکش‌دار با روکش کرومی ۸
شکل ۲-۳- فنرهای فشرده با گام‌های مختلف ۹
شکل ۲-۴- فنر اسپیرلف ۱۰
شکل ۲-۵- فنر فیکسوتال ۱۱
شکل ۲-۶- لوله‌های تابیده ۱۱
شکل ۲-۷- نمایش نحوه نصب و استفاده از نوارهای تابیده در مبدل های حرارتی ۱۲
شکل ۲-۸- انواع نوارهای تابیده (از سمت راست به چپ: لوله تابیده و نوار تابیده همزمان ، نوارهای تابیده با میله نگهدارنده ، نوارتابیده ساعتگرد ، نوار تابیده پادساعتگرد با ضخامت کم) ۱۳
شکل ۲-۹- شبکه‌های میله‌ای جوشکاری شده ۱۳
شکل ۲-۱۰- شبکه سیمی در امتداد لوله ۱۴
شکل ۲-۱۱- تجهیزات جانبی شبکه سیمی ۱۴
شکل ۲-۱۲- نوار مارپیچی ساده ۱۶
شکل ۲-۱۳- نوارهای تابیده با محور متناوب ۱۷
شکل ۲-۱۴- نوارهای تابیده دندانه‌دار با برش مثلثی ۱۷
شکل ۲-۱۵- نوارهای تابیده دندانه‌دار با برش مستطیلی ۱۷
شکل ۲-۱۶- نوارهای تابیده سوراخ‌دار ۱۸
شکل ۴-۱- شماتیک نحوه انجام فرآیند جداسازی یون‌ها ۳۷
شکل ۴-۲- مبدل حرارتی U شکل در واحد DM در پالایشگاه نفت تهران (نمای روبرو) ۳۹
شکل ۴-۳- مبدل حرارتی U شکل در واحد DM در پالایشگاه نفت تهران (نمای جانبی) ۳۹
شکل ۴-۴- اجکتورهای اختلاط آب و کاستیک در واحد DM در پالایشگاه نفت تهران ۴۱
شکل ۴-۵- خروج بخار از مبدل حرارتی به محوطه اطراف ۴۵
شکل ۴-۶- تله بخار شناوری در خروجی مبدل حرارتی و خط انشعابی در مسیر انحرافی ۴۶
شکل ۵-۱- الف) نمای شماتیک مبدل دولوله‌ای (امتداد لوله) ۴۶
شکل ۵-۱- ب) نمای جانبی شماتیک مبدل دولوله‌ای ۴۷
شکل ۵-۲- لایه‌های مجاور دیواره در یک جریان آشفته ۵۴
شکل ۵-۳- نمایش شبکه در ناحیه دارای رینولدز پایین نزدیک دیواره در روش تابع دیواره ۵۵
شکل ۵-۴- نمایش شبکه در ناحیه دارای رینولدز پایین نزدیک دیواره در حالت رفتار دیواره پیشرفته ۵۶
شکل ۶-۱- نمایش شبکه‌بندی مبدل حرارتی و نوار تابیده با جریان سیال در نرم افزار گمبیت ۶۴
شکل ۶-۲- نمایش سه بعدی نوار تابیده در لوله داخلی مبدل حرارتی دولوله‌ای ۶۵
شکل ۶-۳- الف) نوار تابیده با نسبت پیچش ۳ ۶۵
شکل ۶-۳- ب) نوار تابیده با نسبت پیچش ۵ ۶۵

شکل۶-۴- نمایش فلوچارت الگوریتم حل در روش Coupled..... ۶۷
شکل۶-۵- نمایش فلوچارت الگوریتم حل مسائل دارای تغییر فاز در روش Coupled..... ۶۸
شکل ۶-۶- نمایشی از تراکم شبکه در نزدیکی دو دیواره خارجی و داخلی..... ۶۹
شکل ۶-۷- الف) نمایش شبکه‌بندی با تراکم کم در نزدیک دیواره..... ۷۰
شکل ۶-۷- ب) نمایش شبکه‌بندی متراکم و فشرده در نزدیک دیواره..... ۷۰
شکل ۶-۸- نمایش مقادیر تعداد سلول‌های شبکه و میزان نرخ آب کندانس شده..... ۷۱
شکل ۷-۱- نمایش مقدار نرخ آب چگالیده شده در لوله بیرونی در نرم‌افزار فلوئنت..... ۷۳
شکل ۷-۲- نمایش مقدار نرخ بخار ورودی و خروجی در لوله بیرونی در نرم‌افزار فلوئنت..... ۷۳
شکل ۷-۳- نمایش تعادل حرارتی در بخش گزارش‌های فلوئنت..... ۷۴
شکل ۷-۴- نمایش طیف تغییرات کیفیت بخار در امتداد لوله..... ۷۶
شکل ۷-۵- نمایش متقارن مکان هندسی نقاط دارای کیفیت یکسان..... ۷۷
شکل ۷-۶- نمودارتغییرات کیفیت آب در امتداد لوله روی سطح بیرونی لوله میانی..... ۷۸
شکل ۷-۷- نمودار تغییرات ضخامت لایه مایع چگالش شده بر حسب طول لوله در لبه خارجی لوله میانی.... ۷۸
شکل ۷-۸- نمایش خط جریان سیال با نوارهای تابیده با رینولدز Re = ۵۰۰۰، الف) y/w= ۳ ، ب) y/w=۵ .. ۷۹
شکل ۷-۹- پروفیل توسعه یافته سرعت در مبدل حرارتی برای هر دو جریان سیال..... ۸۰
شکل ۷-۱۰- پروفیل توسعه یافته سرعت برای لایه مایع چگالش شده در ناحیه بخار اشباع..... ۸۱
شکل ۷-۱۱- کانتور سرعت و الگوی خط جریان در لوله میانی با وجود تابیده با رینولدز Re = ۵۰۰۰،
الف) y/w= ۳ ، ب) y/w=۵ ..... ۸۲
شکل ۷-۱۲- کانتور تغییرات دمایی هر دو جریان با برش عمودی از راستای جریان،
الف) z = ۰/۲ ، ب) z = ۰/۷ ..... ۸۲
شکل ۷-۱۳- تغییرات ضریب جابه‌جایی محلی در امتداد لوله با نوارهای تابیده در Re =۵۰۰۰..... ۸۳
شکل ۷-۱۴- تغییرات مقادیر عدد ناسلت محلی در امتداد لوله داخلی در Re = ۵۰۰۰..... ۸۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- جمع بندی از کارهای برجسته تحت رژیم جریان آرام با نوارهای تابیده ۳۰
جدول ۳-۱- جمع بندی از کارهای برجسته تحت رژیم جریان آشفته با نوارهای تابیده ۳۰
جدول ۴-۱- ساختار و مشخصات مبدل حرارتی CE ۲۲۰۱ ..... ۴۰
جدول ۴-۲- داده‌های ثبت شده با حضور در واحد در روزهای مختلف سال ۴۳
جدول ۵-۱- ابعاد مدل‌سازی هندسه مسئله در نرم افزار فلوئنت ۴۸
جدول ۶-۱- خواص و مشخصات سیال در مدل‌سازی مسئله ۶۳
جدول ۷-۱- مقادیر تعادل حرارتی در لوله بخار ۷۵
جدول ۷-۲- تغییرات عدد ناسلت کلی برای اعداد رینولدز ۵۰۰۰ و ۶۰۰۰ ..... ۸۵
جدول ۷-۳- تغییرات ضریب اصطکاک برای اعداد رینولدز ۵۰۰۰ و ۶۰۰۰ ..... ۸۵
جدول ۷-۴- تغییرات مقدار عملکرد حرارتی با نسبت پیچش‌های مختلف ۸۶

فهرست علائم و اختصارات

حروف لاتین

سطح انتقال حرارت (m^2)	A	نرخ انتقال حرارت (W)	q
مقدار لقی (m)	c	شار حرارتی (W/m^2)	q''
ظرفیت حرارتی ویژه (J/kg.K)	c_p	شار حرارتی (W/m^2)	q''
قطر لوله (mm)	D	مقاومت‌حرارتی ($m^2.k/W$)	R
ضریب اصطکاک	f	مقاومت‌حرارتی ($m^2.k/W$)	R
گام نوار مارپیچ (m)	H	عدد رینولدز	Re
ضریب انتقال حرارت ($W/m^2.K$)	h	عدد استانتون	St
قدرت هدایت (W/K)	K	دما (K)	T
ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	k	ضخامت (mm)	t'
طول مبدل حرارتی (m)	l	زمان (s)	t
نرخ جریان جرمی (kg/s)	$\dot{m}$	سرعت (m/s)	u
تعداد لوله	N	ضریب کلی انتقال حرارت ($W/m^2.k$)	U
توان پمپ کردن (W)	P	سرعت اصطکاکی ($N.m^2.k$)	u_2
عدد پرانتل	Pr	طول نوار تابیده	w
فشار (Pa)	p	پهنای نوار مارپیچ (m)	y

حروف یونانی

ضریب ثابت معادلات	~	توده	bulk
ضریب ثابت معادلات		هدایت حرارتی	conv
دلتای کرونکر	$¢_{ij}$	داخلی	i
ضخامت لایه چگالش(mm)	¢	میانگین	m
میزان تغییرات	Δ	خارجی	o
لزجت (Pa.s)	«	زمان اولیه	t
چگالی (kg/m^3)	°	بخار	v
تنش برشی (Pa)	₂	دیواره	w

۱. مقدمه‌ای بر مطالعه

۱-۱ مقدمه

اهمیت مبدل‌های حرارتی و وسعت کاربردهای آنها در صنعت به خصوص در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی باعث شده است که روند تحقیقات و فعالیت‌های پژوهشی در این زمینه‌ها سرعت بیشتری بگیرد. به خصوص در صنایع نفتی که قسمت قابل توجهی از سرمایه‌گذاری، برای تجهیزاتی به طور خاص نظیر مبدل‌های حرارتی صرف می‌شود و بخش زیادی از هزینه‌های مصرف انرژی و بهره برداری، به این تجهیزات تعلق دارد. سیالات متداول در انتقال حرارت مانند آب، اتیلن گلیکول، روغن موتور و... که نقش حیاتی در فرآیند انتقال حرارت دارند، خواص انتقال حرارتی ضعیفی داشته که سبب مشکلات فراوان در طراحی مبدل‌های حرارتی و فشرده کردن و بهبود بازدهی آنها می‌شود. مشکل رسوب از طرفی بر مشکلات قبلی افزوده است. این مشکل در مبدل‌های حرارتی نه تنها در زمینه‌ی انتقال حرارت طراحان را به چالش کشیده، بلکه در عرصه‌های وسیع‌تر اقتصادی مشکلات فراوانی را نیز در برمی‌گیرد.

با توجه به نکات ذکر شده این گونه برمی‌آید که دستاوردها برای کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و رفع مشکلات در حین بهره‌برداری و تعمیرات و نگهداری مبدل‌های حرارتی مورد توجه صاحبان صنایع می‌باشد. در این تحقیق تلاش شده، در ابتدا به روش‌های متداول بهبود انتقال حرارت در مبدل حرارتی پرداخته و سپس شرایط عملیاتی موجود مورد بررسی قرار بگیرد و مشکلات مبدل حرارتی بررسی و اهمیت افزایش دما و بهبود راندمان حرارتی مبدل هم به لحاظ اقتصادی و هم به لحاظ فرآیندی، مشخص شود.

امید است این تحقیق گامی مناسب و عملی در راستای اهداف چشم‌انداز صنایع ذی ربط بوده و بتواند با ارائه راهکاری مناسب طی بررسی‌های دقیق عددی در نهایت هدف اصلی صنایع در کاهش هزینه‌های مبدل‌های حرارتی و افزایش بازدهی و بهبود انتقال حرارت را فراهم آورد.

۱-۲ معرفی موضوع

بخش صنعت با مصرف حدود بیست درصد انرژی کل کشور یکی از بخش‌های اصلی مصرف‌کننده انرژی می‌باشد. در این بخش مبدل‌های حرارتی از پرکاربردترین مصرف‌کننده‌های انرژی هستند که به علت دسترسی به نرم افزارهای طراحی، بررسی شرایط مبدل‌ها به خوبی فراهم شده است. از طرفی هر نوع اصلاح که منجر به افزایش راندمان حرارتی این مبدل‌ها گردد، موجب کاهش قابل ملاحظه‌ی مصرف انرژی می‌شود. در میان این روش‌های اصلاح، به‌کاربردن تکنیک‌های بهبود انتقال حرارت نه تنها باعث کاهش قابل ملاحظه در مصرف انرژی در صنایع فرآیندی می‌گردد، بلکه از مشکلات رسوب در لوله‌ها به میزان قابل توجهی می‌کاهد. در بررسی حاضر به یکی از معروف‌ترین و ساده‌ترین وسایل افزایش انتقال حرارت به نام نوارهای تابیده، برای مبدل حرارتی CE ۲۲۰۱ موجود در واحد آب مقطر بخش توربین گازی واحد شمالی از پالایشگاه نفت شهید تندگویان تهران پرداخته شده است. در فصول بعدی ضمن ارائه شرایط موجود در پالایشگاه و جمع‌آوری داده به بررسی شرایط اصلاح خط فرآیندی مبادرت نموده و راه‌های اساسی برای افزایش بازدهی مبدل‌های حرارتی واحد و کاهش مصرف بخار در فرآیند ارائه می‌گردد.

۱-۳ معرفی فناوری بکارگیری وسایل افزاینده انتقال حرارت

در فرآیندهای شیمیایی مهم‌ترین بخشی که مستقیما با مصرف انرژی در ارتباط است، مبدل‌های حرارتی می‌باشند. تاکنون همواره تلاش شده است تا مبدل‌هایی طراحی گردند، که ضمن داشتن حداکثر بازدهی، در کارکردهای بلند مدت، کمترین مشکلات عملیاتی را داشته باشند. اصولا مبدل‌های حرارتی، به خصوص مبدل‌های از نوع پوسته - لوله دارای دو مشکل عملکرد هستند، بازده حرارتی پایین[1] و رسوب‌گرفتگی[2]، به خصوص در هنگام کارکرد با سیالات کثیف که حساس به دما هم می‌باشند. یکی از روش‌های کاربردی و موثر در بهبود انتقال حرارت و کاهش رسوب گرفتگی استفاده از وسایل افزاینده انتقال حرارت است. این وسایل به آسانی در داخل لوله‌های مبدل پوسته- لوله‌ای نصب می‌شوند. در زمان توقف واحدها به راحتی بیرون کشیده شده و تمیزشده و مجدد نصب می‌گردند.

امروزه این روش کاربردی به عنوان فناوری بهبود دهنده انتقال حرارت شناخته شده است و تحت لیسانس شرکت‌های مختلف نفت و گاز و پتروشیمی، تبلیغ و اجرا می‌گردد. شایان

[1] Thermal efficiency
[2] Fouling

ذکر است که در حال حاضر بیش از ۵۰ واحد پالایشگاهی و ۴۰ واحد پتروشیمی در آمریکا از مزایای این تکنولوژی بهره برده‌اند[۱]. البته استفاده از این تکنولوژی محدود به آمریکا نبوده و در بسیاری از کشورهای اروپایی و آسیایی نظیر تایلند و ژاپن و عربستان از این تکنولوژی استفاده شده است.

۱-۴ انواع روش‌های بهبود انتقال حرارت

روش‌های بهبود انتقال حرارت به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند که در ادامه به معرفی آنها پرداخته می‌شود:

۱-۴-۱ روش‌های فعال[1]

روش‌های فعال برخلاف روش‌های غیرفعال با انرژی خارجی الکتریکی یا مکانیکی سبب بالاتر رفتن انتقال حرارت می‌شوند که برای این زمینه می‌توان، ایجاد میدان الکترواستاتیک برای اختلاط در نزدیکی سطوح جامد، ایجاد سطوح متخلخل و استفاده از روش‌های مکانیکی دهش[2] و مکش[3] جریان سیال اشاره کرد که هر یک، لایه مرزی را دچار آشفتگی می‌کند و مقدار انتقال حرارت را افزوده می‌نماید.

۱-۴-۲ روش‌های غیرفعال [4]

روش‌های غیرفعال به صرف انرژی از منبع خارجی نیازی ندارد و همواره با تغییر هندسه‌ی جریان و تغییر در الگوی جریان باعث بهبود انتقال‌حرارت می‌گردد. این روش با وجود بازدهی بالا و هزینه کمتر در مقایسه با روش فعال، همواره مشکلاتی را برای استفاده از این گونه وسایل برای انجام انتقال‌حرارت بیشتر، پدید آورده است. یکی از این مسائل، افزایش مقدار افت فشار در به‌کارگیری این فناوری‌هاست. با توجه به شرایط اقتصادی و اهمیت صرفه‌جویی در صنایع، روش‌های غیرفعال بیش از فناوری‌های فعال مورد توجه می‌باشد. البته این موضوع هم در طراحی مبدل‌ها مورد توجه طراحان بوده است که فشار در خطوط مبدل‌ها را کاهش دهند، زیرا باعث نشتی در اتصالات و شیرآلات می‌شود. از سوی دیگر در برخی از روش‌های غیرفعال، ناگزیر افت فشار دیده می‌شود.

---

[1] Active methods
[2] Discharge
[3] Suction
[4] Passive methods

۱-۵ بهبود شرایط عملیاتی با روش‌های غیرفعال

همواره مبدل‌های حرارتی با مشکلات جدید عملیاتی خاصی مواجه هستند، که بسیاری از آنها با به‌کارگیری فناوری‌های بهبود انتقال حرارت به طور خاص روش‌های غیرفعال برطرف می‌شود. در ادامه، به تعدادی از این مشکلات و راهکارهای استفاده از روش‌های غیرفعال که از موارد رایج در صنعت بوده به صورت اجمالی اشاره می‌شود:

۱-۵-۱ جریان آرام و آشفته

در داخل لوله‌های مبدل، انتقال رژیم جریان به مشکلات کنترلی فراوان منجر می‌شود. انتقال حرارت در جریان آشفته بازدهی حرارتی بالاتری از جریان آرام دارد. در بعضی از مبدل‌هایی که از یک سوء به دلیل لزجت سیال جریان آرام و در سمت دیگر جریان آشفته درگذر است، کنترل جریان مشکل بوده و دمای ورودی بر رژیم جریان تاثیرگذار است. با استفاده از این روش میزان اختلاف دمایی موجود در سطح داخلی لوله و سطح خارجی آن به حداقل رسیده و از شرایط جریان آرام به جریان‌های چرخشی تغییر پیدا می‌کند.

۱-۵-۲ یخ زدگی و سرمایش سیال

از مشکلات عملیاتی دیگر سرمایش سیال لزج در داخل لوله است. اگر عبور سیال در دمایی پایین‌تر از دمای انجماد سیال باشد، ممکن است سیال در درون لوله یخ بزند. این یخ‌زدگی معمولا در جداره‌های لوله اتفاق می‌افتد و لذا انتقال حرارت به شدت کاهش می‌یابد. در این شرایط نصب پره‌ها و افزایش انتقال حرارت درون لوله‌ای می‌تواند از ساکن شدن سیال بر روی دیواره و یخ زدگی جلوگیری کند و مانع کاهش نرخ انتقال حرارت نیز بشود.

۱-۵-۳ رسوب گرفتگی

مسئله رسوب گرفتگی در مبدل‌ها موضوعی بسیار مشکل‌ساز است که باید مد نظر قرار بگیرد. در بسیاری از مطالعات، شدت جرم گرفتگی، ناشی از دمای دیواره و تنش برشی دیواره است و چون استفاده از دستگاه‌های بهبود دهنده انتقال حرارت بر هر دو عامل تاثیرگذارند، این تجهیزات نقش به‌سزایی در کنترل پدیده رسوب دارند و از تشکیل رسوب در لایه‌های مرزی سیال جلوگیری می‌کند. به طور نمونه، به‌کارگیری پره‌های حلزونی[1] در سمت پوسته به جای پره‌های قطاعی و نیز استفاده از ابزارهای افزاینده انتقال حرارت داخل لوله، مانند نوارهای تابیده شده، فنرها و مفتول‌ها، در بهبود انتقال حرارت نقشی موثر دارند.

[1] Helical baffel

۱-۶ انگیزه و هدف از انجام این پروژه

پس از معرفی روش‌های بهبود انتقال حرارت در سیستم‌های صنعتی و بیان اهمیت فراوان ارتقاء بازدهی مبدل‌های حرارتی، به دلیل اینکه دغدغه روز جهان مشکلات انرژی و تامین سوخت‌های فسیلی بوده و بحث‌های کلان صرفه‌جویی اقتصادی در تمامی حوزه به خصوص صنایع نفت و گاز بسیار مورد توجه قرار گرفته است، افزایش بازدهی هریک از دستگاه‌های صنعتی در حوزه نفت می‌تواند بسیار به صرفه‌جویی اقتصادی سیستم کمک نماید. در کار حاضر، به جستجوی شرایط مناسب و کاربردی برای بهبود راندمان مبدل‌های حرارتی با به‌کارگیری نوارهای تابیده در لوله پرداخته می‌شود. با بررسی اثر زاویه پیچش و گام این نوارها در مبدل‌حرارتی شرایط بهینه برای افزایش راندمان جستجو می‌شود که به عنوان نوآوری طرح محسوب می‌شود. طی بررسی صورت گرفته، مبدل حرارتی CE ۲۲۰۱ موجود در صنعت نفت کشور، واقع در پالایشگاه شهید تندگویان تهران، واحد توربین گازی و تولید آب مقطر مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطالعه میدان جریان و انتقال حرارت در مبدل‌های دولوله‌ای با سیال عامل بخار آب و آب، حاوی این گونه نوارها جنبه جدید این کار بوده است. در این تحقیق، با ارائه نتایج توزیع سرعت، دما، تغییرات عدد ناسلت و افت فشار در لوله‌های مبدل مشخص می‌شود و راه برای اجرایی شدن این روش‌ها به شکل عملیاتی هموار می‌گردد.

اساس این پژوهش بر مبنای شناسایی شرایط بهینه برای بهبود عملکرد مبدل‌های حرارتی مورد استفاده در صنایع مختلف است. در صنایع پالایش نفت مبدل‌های حرارتی زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بهبود عملکرد آنها منجر به نتایج مطلوب زیست محیطی و اقتصادی می‌گردد. استفاده از نوارهای تابیده با قابلیت ایجاد آشفتگی در مسیر جریان، باعث جلوگیری از ته‌نشین شدن و رسوب مواد سنگین خام نفتی در حین انتقال شده و علاوه بر آن انتقال حرارت مناسبی را با افزایش راندمان پدید می‌آورد. البته این موضوع با اثر نامطلوب افزایش افت فشار و توان پمپاژ همراه است. در تحقیق حاضر، به بیان اهمیت و کاربرد این سیستم، بیان معادلات حاکم بر جریان سیال و روش‌های حل عددی پرداخته می‌شود و سپس، به ارائه نتایج کاربردی و عملی برای افزایش راندمان دستگاه‌ها با صرفه اقتصادی مناسب می‌پردازد. به‌هرحال شناخت میزان اثرات مطلوب و نامطلوب می‌تواند در تعیین شرایط بهینه کارکرد مفید باشد و پیشنهاد دهندگان این پژوهش امیدوارند، نتایج این تحقیقات را بتوان در صنعت روز نفت کشور به‌کارگرفت.

۱-۷ معرفی فصل‌های پایان‌نامه

در فصول آتی، ابتدا روش‌های بهبود انتقال حرارت معرفی اجمالی شده و سپس روش مورد بررسی در این پروژه بر مبنای نوارهای تابیده بررسی کامل و معرفی می‌شود. در فصل سوم به معرفی کارهای عددی و آزمایشگاهی انجام شده در گذشته پرداخته شده و کارهای برجسته ارائه می‌شود. در فصل چهارم هم علل و اهمیت بررسی و انتخاب این مبدل حرارتی مشخص و چالش‌های کنونی در خط فرآیند معرفی می‌شود. پس از آن در فصل پنجم به معرفی معادلات حاکم و شرایط مرزی پرداخته شده و در انتها، تحلیل‌های مسئله ارائه و روش‌های حل عددی به همراه نتایج بررسی شده و نیز جمع‌بندی ارائه می‌شود.