

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک ، گرایش تبدیل انرژی

عنوان

طراحی بهینه مبدل حرارتی پیش گرمکن نفت خام با استفاده از مدل شبکه عصبی رسوب و

الگوریتم ژنتیک

دانشجو

هاشم فردین نژاد

استاد راهنما

دکتر جمشید خورشیدی

استاد مشاور

دکتر یونس بخشان

اسفند ماه ۱۳۹۳

تقدیم به

پیشگاه مقدس مهدی موعود (عج)

تقدیم به

همه شهدای ایران عزیز

آنان که از همه هستی شان گذشته تا امانیت و عزت ما پدیدار بماند

تقدیم به پدر، مادر و خانواده عزیزم

که با رنج و محنت بی دریغشان و دعای خیرشان اسباب علم آموزی بنده را فراهم ساختند.

سپاس از

زحمات و راهمناپی های اساتید گروه مهندسی مکانیک دانشگاه هرمزگان، بالأخص استاد راهمنا و استاد مشاور

این اثر، دکتر خورشیدی و دکتر نشان که یاری کربنی دینغ بنده بوده اند.

همچنین بر خود لازم می دانم از زحمات برادران عزیزم: مهندس فرزاد نادمی، در راستای راهمناپی های

ایشان در روند برنامه نویسی این پروژه و مهندسین محترم پالایشگاه نفت بندرعباس در واحد مهندسی

مکانیک و مهندسی پالایش و بازرسی فنی، آقایان نعمتی، پسرزاده و باقریان، در راستای جمع آوری

اطلاعات و راهمناپی های صنعتی، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

و تشکر می کنم از همه افرادی که به هر نوع، یاری کربنده بوده اند.

چکیده

در پژوهش حاضر با استفاده از روابط طراحی مبدل به روش بل (Bell)، برنامه‌ای در نرم‌افزار متلب (MATLAB) نوشته شده و مدل خطی تشکیل رسوب نفت‌خام مبدل حرارتی E01010A واحد تقطیر پالایشگاه بندرعباس، با استفاده از اطلاعات واحد عملیاتی (مستخرج از سیستم DCS پالایشگاه)، ارائه شده است. ارزیابی عملکرد این مبدل از نظر رسوب‌گرفتگی و طراحی حرارتی نشان می‌دهد که میزان رسوب این مبدل در طی گذشت حدود پنج ماه، از میزان مجاز آن $7/42$ برابر بیشتر شده و در نتیجه بار حرارتی آن $13/9$ درصد کاهش یافته است. همچنین در این پژوهش یک مدل جدید مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی نرخ تشکیل رسوب نفت‌خام ارائه شده است؛ با استفاده از این مدل و با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک و روابط (به روش بل) و متغیرهای استاندارد طراحی مبدل (به گونه‌ای که نتیجه آن یک طراحی معتبر از نظر استاندارد TEMA باشد)، یک برنامه بهینه‌سازی با استفاده از یک کد محاسباتی ارائه شده است؛ در این برنامه با به‌کارگیری مدل شبکه عصبی رسوب، هزینه رسوب مبدل محاسبه می‌شود و مبدل بهینه‌ای طراحی می‌گردد که هزینه کل آن (شامل هزینه اولیه، هزینه عملیاتی ناشی از افت فشار و هزینه رسوب) نسبت به سایر طراحی‌های ممکن کمینه باشد. همچنین مدل رسوب ارائه شده، پیش‌بینی با خطای 10% را ارائه می‌کند که نسبت به آخرین مدل شبکه عصبی ارائه شده در پژوهش‌های پیشین، به دلیل انتخاب پارامترهای تأثیرگذار در تشکیل رسوب به عنوان ورودی شبکه و قدرت بالای شبکه عصبی در پیش‌بینی مسائل پیچیده، 8% و نسبت به مدل‌های شناخته شده آستانه رسوب، بین 45 تا 75 درصد بهتر می‌باشد. جهت ارزیابی و مقایسه (در مقیاس صنعتی) نتایج مدل ارائه شده، از نتیجه ضریب رسوب مبدل E01010A که با استفاده از داده‌های عملیاتی پالایشگاه بندرعباس حاصل شده بود، استفاده شده است. در نهایت امر، برنامه بهینه‌سازی فوق‌الذکر برای مبدل E01010A براساس شرایط فرآیندی طراحی اولیه، اجراء شده و نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که هزینه کل مبدل طراحی شده به این روش تا حدود 30% نسبت به هزینه طراحی اولیه (در مجموع هزینه‌های خرید و هزینه عملیات) کمتر می‌باشد. لذا این روش می‌تواند ابزار قدرتمندی در طراحی مبدل محسوب شود.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، مبدل پیش‌گرمکن، نفت‌خام، رسوب، شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک

فهرست مطالب

فهرست مطالب	۱
فهرست شکل‌ها	۵
فهرست جدول‌ها	۵
فهرست علائم	ح
۱- مقدمه	۲
۱-۱- معرفی مبدل‌های حرارتی	۲
۲-۱- دسته‌بندی مبدل‌های حرارتی	۳
۳-۱- اهمیت و کاربرد مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله	۴
۴-۱- اجزای مختلف مبدل‌های پوسته و لوله	۴
۵-۱- انواع مبدل‌های پوسته‌لوله بر اساس تقسیم بندی TEMA	۶
۶-۱- اصول طراحی مبدل‌های حرارتی	۸
۶-۱-۱ تعیین ویژگی‌ها و شرایط فرآیندی	۸
۷-۱- اهمیت مطالعه رسوب در مبدل‌های حرارتی پوسته‌لوله	۹
۸-۱- علل، مکانیسم‌ها و مراحل تشکیل رسوب	۱۳
۹-۱- اهداف پژوهش حاضر	۱۳
۱۰-۱- فرضیه‌های پژوهش حاضر	۱۶
۲- مروری بر منابع و پیشینه تحقیق	۱۹
۱-۲- مقدمه	۱۹
۲-۲- مدل‌های رسوب‌گذاری	۱۹
۱-۲-۲ مدل رسوب‌گذاری خطی	۱۹
۲-۲-۲ مدل‌های رسوب‌گذاری غیرخطی	۲۰
۳-۲-۲ مدل رسوب‌گذاری کریتندن و کلازکوسکی	۲۰
۴-۲-۲ مدل‌های نیمه‌تجربی آستانه رسوب‌گذاری	۲۲
۳-۲-۳ بهینه‌سازی مبدل حرارتی پوسته و لوله	۳۶
۱-۳-۲ بهینه‌سازی مبدل پوسته و لوله با الگوریتم‌های تکاملی و تابع هدف نوع اول	۳۷
۲-۳-۲ بهینه‌سازی مبدل پوسته و لوله با الگوریتم‌های تکاملی و تابع هدف نوع دوم	۴۱
۳- روابط حاکم بر طراحی و بهینه‌سازی مبدل حرارتی پوسته و لوله	۴۴

۴۴	۱-۳- مقدمه
۴۴	۲-۳- روابط حاکم بر طراحی حرارتی
۴۵	۱-۲-۳- روابط محاسبه دمای معیار جهت محاسبه خواص ترموفیزیکی سیال
۴۶	۲-۲-۳- رابطه تعیین دمای دیواره لوله
۴۷	۳-۲-۳- روابط کلی انتقال حرارت
۵۰	۳-۲-۴- روابط ضریب انتقال حرارت جابجایی سمت لوله
۵۰	۵-۲-۳- روابط ضریب انتقال حرارت جابجایی سمت پوسته
۵۶	۳-۳- روابط حاکم بر طراحی هیدرولیکی
۵۶	۱-۳-۳- روابط افت فشار سمت لوله
۵۷	۲-۳-۳- روابط افت فشار سمت پوسته
۵۸	۴-۳- روابط محاسبه هزینه مبدل
۶۲	۴- داده‌ها و موارد مطالعاتی پژوهش
۶۲	۱-۴- معرفی مبدل E01010A/B واحد پیش گرمکن نفت خام پالایشگاه بندرعباس
۶۲	۲-۴- داده‌های پژوهش جهت مدل‌سازی رسوب نفت خام در مبدل E01010A/B
۶۲	۱-۲-۴- اطلاعات مکانیکی مورد نیاز مبدل E01010A/B جهت مدل‌سازی رسوب
۶۴	۲-۲-۴- داده‌های فرآیندی مورد نیاز مبدل E01010A/B جهت مدل‌سازی رسوب
۶۶	۳-۴- داده‌های پژوهش جهت مدل‌سازی رسوب نفت خام با استفاده از شبکه عصبی
۷۰	۴-۴- معرفی موارد مطالعاتی پژوهش جهت مقایسه نتایج مدل‌سازی و بهینه‌سازی
۷۰	۱-۴-۴- موارد مطالعاتی جهت مقایسه و ارزیابی نتایج مدل شبکه عصبی رسوب
۷۱	۲-۴-۴- معرفی مورد مطالعاتی صنعتی، جهت ارزیابی و مقایسه نتایج بهینه‌سازی مبدل
۷۳	۵- الگوریتم‌های مدل‌سازی و بهینه‌سازی پژوهش
۷۳	۱-۵- الگوریتم مدل‌سازی رسوب نفت خام در مبدل E01010A/B پالایشگاه بندرعباس
۷۴	۲-۵- الگوریتم مدل‌سازی رسوب نفت خام با استفاده از شبکه عصبی
۷۴	۱-۲-۵- مقدمه‌ای بر شبکه عصبی مصنوعی
۷۴	۱-۱-۱- اصول محاسباتی شبکه‌های عصبی مصنوعی
۷۵	۲-۱-۱- معماری شبکه
۷۶	۲-۲-۵- معرفی شبکه عصبی پژوهش حاضر
۷۷	۳-۵- الگوریتم بهینه‌سازی مبدل با استفاده از شبکه عصبی رسوب و الگوریتم ژنتیک

۷۸	-----	۱-۳-۵ مقدمه‌ای بر الگوریتم ژنتیک
۸۰	-----	۲-۳-۵ مراحل بهینه‌سازی نوع اول، الگوریتم ژنتیک با به‌کارگیری متغیرهای استاندارد طراحی
۸۴	-----	۳-۳-۵ مراحل بهینه‌سازی نوع دوم، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌عصبی رسوب با متغیر طراحی استاندارد
۸۹	-----	۶- نتایج و بحث
۸۹	-----	۱-۶ نتایج مدل‌سازی رسوب نفت‌خام
۸۹	-----	۱-۱-۶ نتایج مدل‌سازی رسوب نفت‌خام در مبدل حرارتی E01010A/B پالایشگاه بندرعباس
۹۸	-----	۲-۱-۶ مدل شبکه‌عصبی رسوب نفت‌خام
۱۰۳	-----	۲-۶ نتایج ارزیابی و بهینه‌سازی مبدل
۱۰۴	-----	۱-۲-۶ نتایج ارزیابی و بهینه‌سازی مبدل E01010A/B
۱۱۳	-----	۷- نتیجه‌گیری و پیشنهاد
۱۱۳	-----	۱-۷ نتیجه‌گیری
۱۱۶	-----	۲-۷ پیشنهادها
۱۱۷	-----	پیوست الف: معرفی مبدل‌های حرارتی واحد تقطیر پالایشگاه نفت بندرعباس
۱۲۰	-----	پیوست ب: نمودار و روابط محاسبه فاکتور انتقال حرارت و ضریب افت‌فشار سمت پوسته به روش بل
۱۲۸	-----	مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: دستگاه تبادل گر حرارت یا مبدل حرارتی (از نوع پوسته‌لوله) [۱]..... ۲
- شکل ۲-۱: نمودار درختی تقسیم‌بندی مبدل‌ها بر اساس ساختار مکانیکی [۳]..... ۳
- شکل ۳-۱: اجزای کلی مبدل پوسته‌لوله [۴]..... ۵
- شکل ۴-۱: تصویر چند مجموعه لوله ساخته‌شده با بافل‌های قطاعی [۲]..... ۵
- شکل ۵-۱: نمایش کلگی جلو، عقب و پوسته در مبدل نوع BEM با یک گذر پوسته و یک گذر لوله [۴]..... ۶
- شکل ۶-۱: مبدل نوع AES [۶]..... ۶
- شکل ۷-۱: انواع مبدل‌های پوسته و لوله بر اساس استاندارد TEMA [۵]..... ۷
- شکل ۸-۱: مبدل نوع BEU [۶]..... ۷
- شکل ۹-۱: دیاگرام شماتیک زنجیره پیش‌گرمکن نفت‌خام [۸]..... ۱۰
- شکل ۱۰-۱: رسوب‌گرفتنی در سمت پوسته یک مبدل حرارتی [۹]..... ۱۱
- شکل ۱۱-۱: مبدل‌های پوسته‌لوله پالایشگاه تبریز در زمان تمیزکاری، الف) بافل‌های قطاعی، ب) بافل‌های هلیکال [۱۰]..... ۱۲
- شکل ۱۲-۱: رسوب‌گرفتنی در دهانه ورودی لوله‌های مبدل پالایشگاه اصفهان [۱۱]..... ۱۲
- شکل ۱-۲: مقایسه دمای آستانه پیش‌بینی شده توسط مدل پلی با داده‌های آزمایشگاهی نادسن [۱۵]..... ۲۶
- شکل ۲-۲: چگونگی بدست آوردن انرژی اکتیواسیون از دمای فیلم و نرخ رسوب [۱۴]..... ۲۹
- شکل ۳-۲: نمودار تغییرات بازده حرارتی و اختلاف دمای سمت پوسته و سمت لوله در پژوهش رادهاکریشن [۲۲]..... ۳۰
- شکل ۴-۲: مقایسه اختلاف‌دمای واقعی و پیش‌بینی شده با مدل شبکه عصبی در پژوهش رادهاکریشن [۲۲]..... ۳۱
- شکل ۵-۲: مقایسه بازده حرارتی واقعی و بازده پیش‌بینی شده با مدل شبکه عصبی در پژوهش رادهاکریشن [۲۲]..... ۳۱
- شکل ۶-۲: نمودار مقایسه نتایج مدل شبکه‌عصبی امینیان (۲۰۰۸) و نتایج مدل‌های آستانه [۲۳]..... ۳۲
- شکل ۷-۲: نمودار مقایسه حساسیت پارامترهای ورودی در مدل شبکه عصبی امینیان [۲۳]..... ۳۲
- شکل ۸-۲: نمودار آستانه رسوب بدست آمده از مدل شبکه‌عصبی رسوب امینیان [۲۴]..... ۳۴
- شکل ۹-۲: نتایج بهینه‌سازی مبدل در پژوهش کاپوتو و همکاران [۲۵]..... ۳۸
- شکل ۱۰-۲: نمودار آنالیز حساسیت طول لوله در هزینه و بازدهی مبدل در روش بهینه‌سازی پژوهش صنایع و همکاران [۲۶]..... ۳۹
- شکل ۱۱-۲: مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم فاخته در پژوهش اسدی و همکاران با سایر الگوریتم تکاملی [۳۰]..... ۳۹
- شکل ۱۲-۲: نمودار گردشی روش بهینه‌سازی مبدل در پژوهش کاپوتو و همکاران [۳۴]..... ۴۱
- شکل ۱۳-۲: نمودار تأثیر ضریب رسوب در دوره شست‌وشوی مبدل [۳۴]..... ۴۲
- شکل ۱-۳: محاسبه گرافیکی ضریب مربوط به دمای کالریک [۳۵]..... ۴۵
- شکل ۲-۳: ضریب انتقال حرارت داخل لوله بر حسب سطح خارجی لوله [۳۵]..... ۴۸
- شکل ۳-۳: مدار جریان حرارت در یک مبدل پوسته‌لوله [۳]..... ۴۹

- شکل ۳-۴: جریان متقاطع در سمت پوسته [۶]..... ۵۱
- شکل ۳-۵: جریان کنارگذر و نوار نشستی‌گیر جهت کاهش آن [۶]..... ۵۱
- شکل ۳-۶: الگوی جریان سمت پوسته در روش بل [۴]..... ۵۲
- شکل ۳-۷: نمای جریان نشستی نوع A برای یک لوله [۴]..... ۵۳
- شکل ۳-۸: جریان عرضی مابین لوله‌ها، جریان نوع B [۴]..... ۵۳
- شکل ۳-۹: نمای برش خورده نوار نشستی‌گیر جهت کاهش جریان کنارگذر نوع C [۴]..... ۵۳
- شکل ۳-۱۰: نمای ایزومتریک نوار نشستی‌گیر [۴]..... ۵۴
- شکل ۳-۱۱: نمایش مفهومی جریان نشستی بین پوسته و انتهای بافل، جریان نوع E [۴]..... ۵۴
- شکل ۳-۱۲: جریان کنارگذر نوع F در مجموعه لوله شش‌گذره [۴]..... ۵۴
- شکل ۳-۱۳: جریان کنارگذر نوع F در مجموعه لوله دوگذره [۶]..... ۵۵
- شکل ۴-۱: ساختار کلی فرآیندی- مکانیکی مبدل حرارتی E01010A/B..... ۶۲
- شکل ۴-۲: نمای شماتیک وضعیت قرارگیری بافل‌ها و پارامترهای اندازه‌گیری فواصل مربوطه [۳۶]..... ۶۳
- شکل ۴-۳: نمای برش خورده از پوسته و مجموعه لوله جهت نمایش اندازه پارامترهای مربوطه [۳۶]..... ۶۳
- شکل ۴-۴: معرفی پارامترهای فرآیندی مورد استفاده در مدل‌سازی رسوب نفت‌خام مبدل E01010A/B..... ۶۴
- شکل ۴-۵: نمودار گرانش ویژه (چگالی نسبی) مواد نفتی بر حسب دما و گرانش ویژه معیار [۵]..... ۶۸
- شکل ۵-۱: نمودار گردشی روند محاسبه ضریب رسوب در مبدل حرارتی E01010A..... ۷۳
- شکل ۵-۲: نحوه‌ی پردازش داده‌ها توسط نرون‌ها در شبکه عصبی مصنوعی [۴۰]..... ۷۴
- شکل ۵-۳: ابزار آموزش شبکه عصبی در متلب در حین فرآیند آموزش شبکه عصبی مدل پژوهش حاضر..... ۷۷
- شکل ۴-۵: نقاط بهینه محلی و بهینه کلی [۴۲]..... ۷۹
- شکل ۵-۵: نمودار گردشی الگوریتم ژنتیک استفاده شده در پژوهش حاضر..... ۸۱
- شکل ۵-۷: نمودار جریانی برنامه بهینه‌سازی نوع دوم، الگوریتم ژنتیک با استفاده از مدل شبکه عصبی رسوب..... ۸۵
- شکل ۶-۱: نمودار واقعی و برازش شده مقاومت جرم‌گرفتگی مبدل E01010A بر حسب زمان..... ۹۰
- شکل ۶-۲: نمودار تغییرات سرعت متوسط نفت‌خام در لوله‌ها در دوره زمانی مورد مطالعه..... ۹۱
- شکل ۶-۳: نمودار تغییرات دمای ورودی نفت‌خام به مبدل حرارتی E01010A بر حسب زمان..... ۹۱
- شکل ۶-۴: تغییرات بار حرارتی جریان سرد (نفت‌خام) در مبدل E1010A بر حسب زمان..... ۹۳
- شکل ۶-۵: نمودار تغییرات عدد رینولدز و پرانتل سمت لوله و پوسته مبدل E01010A در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۹۴
- شکل ۶-۶: نمودار میله‌ای بار حرارتی متوسط مبدل E1010A در یک ماه ابتدا، انتها و کل دوره مطالعه..... ۹۵
- شکل ۶-۷: نمودار تغییرات دمای دیواره لوله مبدل E01010A/B بر حسب زمان..... ۹۷
- شکل ۶-۸: نمودار میله‌ای درصد خطای مدل‌های پیش‌بینی رسوب..... ۹۹
- شکل ۶-۹: مقایسه هزینه کل مبدل طراحی شده به روش‌های بهینه‌سازی پژوهش حاضر..... ۱۱۰
- شکل ۶-۱۰: مقایسه افت فشار سمت لوله طراحی اولیه و طراحی بهینه ارائه شده..... ۱۱۱

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱: اصطلاحات لاتین مربوط به ساختار مبدل پوسته و لوله [۶]..... ۸
- جدول ۱-۲: نتایج آزمایش‌های نادسن [۲۱]..... ۲۴
- جدول ۲-۲: روابط محاسبه خواص نفت‌خام [۱۵]..... ۲۴
- جدول ۳-۲: نتایج داده‌های نادسن و معادله ابرت در $Tb = 204^{\circ}C$ [۱۵]..... ۲۵
- جدول ۴-۲: مقایسه دمای آستانه پیش‌بینی شده توسط مدل پلی با داده‌های آزمایشگاهی نادسن [۱۵]..... ۲۵
- جدول ۵-۲: مقایسه نرخ رسوب به‌دست آمده با مدل پلی و نتایج آزمایشگاهی نفت اکسون [۱۵]..... ۲۶
- جدول ۶-۲: مقایسه نرخ رسوب به‌دست آمده با مدل پلی و نتایج آزمایشگاهی پالایشگاه شل وود ریور (نفت خام مایا) [۱۵]..... ۲۶
- جدول ۷-۲: مقایسه نرخ رسوب به‌دست آمده با مدل پلی و نتایج آزمایشگاهی نادسن [۱۵]..... ۲۷
- جدول ۸-۲: مقایسه نرخ رسوب به‌دست آمده با مدل پلی و نتایج آزمایشگاهی پالایشگاه شل وستلو (نفت‌خام مایا) - قسمت اول [۱۵]..... ۲۷
- جدول ۹-۲: مقایسه نرخ رسوب به‌دست آمده با مدل پلی و نتایج آزمایشگاهی پالایشگاه شل وستلو (نفت‌خام مایا) - قسمت دوم [۱۵]..... ۲۸
- جدول ۱۰-۲: مقایسه نرخ رسوب به‌دست آمده با مدل پلی و نتایج آزمایشگاهی پالایشگاه شل وستلو (نفت خام مایا) - قسمت سوم [۱۵]..... ۲۸
- جدول ۱۱-۲: مجموعه داده‌های مورد استفاده در مدل شبکه‌عصبی امینیان و شاه‌حسینی [۲۳]..... ۳۳
- جدول ۱۲-۲: روابط محاسبه خواص نفت‌خام در مدل شبکه‌عصبی رسوب امینیان [۲۴]..... ۳۴
- جدول ۱۳-۲: مجموعه داده‌های مورد استفاده در مدل شبکه‌عصبی امینیان و شاه‌حسینی [۲۴]..... ۳۵
- جدول ۱۴-۲: موارد مطالعاتی استفاده شده در پژوهش کاپوتو و همکاران [۲۵]..... ۳۷
- جدول ۱۵-۲: متغیرهای طراحی در روش بهینه‌سازی پژوهش صنایع و همکاران [۲۶]..... ۳۸
- جدول ۱۶-۲: قطر داخلی و خارجی استاندارد مورد استفاده در روش بهینه‌سازی پژوهش صنایع و همکاران [۲۶]..... ۳۸
- جدول ۱۷-۲: معرفی و محدوده متغیرهای طراحی بهینه مبدل در پژوهش خسروی و همکاران [۳۱]..... ۴۰
- جدول ۱-۳: تاثیر جریان کنارگذر و نوار نشتی‌گیر در ضریب انتقال حرارت و افت فشار سمت پوسته [۶]..... ۵۱
- جدول ۲-۳: کسر هریک از جریان‌های A,B,C,E از جریان کل در رژیم‌های آرام و درهم [۴]..... ۵۵
- جدول ۱-۴: اطلاعات مکانیکی مورد نیاز در روش ارائه شده جهت مدل‌سازی رسوب نفت‌خام مبدل پیش-گرمکن..... ۶۳
- جدول ۲-۴: اطلاعات مکانیکی مستخرج از برگ‌طراحی و نقشه‌های مکانیکی مبدل E01010A/B..... ۶۴
- جدول ۳-۴: معرفی داده‌های فرآیندی مستخرج از واحد کنترل پالایشگاه بندرعباس جهت مدل‌سازی رسوب نفت‌خام مبدل E01010A/B..... ۶۴
- جدول ۴-۴: معرفی داده‌های فرآیندی ثبت نشده در واحد کنترل پالایشگاه بندرعباس، مورد نیاز جهت مدل‌سازی رسوب نفت‌خام مبدل E01010A/B..... ۶۵
- جدول ۵-۴: پارامترهای ورودی و خروجی معرفی شده به شبکه‌عصبی..... ۶۷
- جدول ۶-۴: اطلاعات آزمایشگاهی مورد استفاده جهت آموزش و آزمون شبکه‌عصبی [۱۵] و [۱۹]..... ۶۹

جدول ۴-۷: روابط کلی مورد مطالعاتی ۱: مدل‌های پانچال، پلی و نصر، جهت مقایسه نتایج شبکه عصبی رسوب [۲۴].....	۷۰
جدول ۴-۸: شرایط فرآیندی مورد مطالعاتی، جهت بهینه‌سازی مبدل E01010A.....	۷۱
جدول ۵-۱: پارامترهای ورودی تعریف شده برای مدل‌سازی رسوب با استفاده از شبکه عصبی.....	۷۶
جدول ۵-۲: معرفی و بازه تغییرات متغیرهای ژنتیک برنامه بهینه‌سازی نوع اول.....	۸۰
جدول ۵-۳: تعریف و تعداد حالات متغیرهای گسسته طراحی برنامه بهینه‌سازی نوع اول و دوم.....	۸۲
جدول ۵-۴: قطرهای استاندارد لوله برحسب اینچ، مورد استفاده در برنامه بهینه‌سازی نوع اول و دوم.....	۸۳
جدول ۵-۵: قطرهای استاندارد پوسته بر حسب اینچ، مورد استفاده در برنامه بهینه‌سازی نوع اول و دوم.....	۸۳
جدول ۵-۶: قیدهای طراحی برنامه بهینه‌سازی نوع اول و دوم.....	۸۳
جدول ۵-۷: معرفی و بازه تغییرات متغیرهای ژنتیک برنامه بهینه‌سازی نوع دوم.....	۸۵
جدول ۶-۱: خلاصه نتایج تشکیل رسوب مبدل E01010A/B در بازه زمانی مورد مطالعه.....	۹۷
جدول ۶-۲: مقایسه نرخ تشکیل رسوب صنعتی و پیش‌بینی شده با شبکه عصبی.....	۹۹
جدول ۶-۳: نتایج پیش‌بینی شده مدل شبکه عصبی ارائه شده و مقایسه با نتایج سایر مهم‌ترین مدل‌ها (۱).....	۱۰۰
جدول ۶-۴: نتایج پیش‌بینی شده مدل شبکه عصبی ارائه شده و مقایسه با نتایج سایر مهم‌ترین مدل‌ها (۲).....	۱۰۱
جدول ۶-۵: مقایسه نرخ تشکیل رسوب صنعتی، شبکه عصبی و اطلاعات ناسن.....	۱۰۲
جدول ۶-۶: شرایط فرآیندی و اطلاعات مکانیکی مبدل‌های E01010A و E01010B.....	۱۰۴
جدول ۶-۷: نتایج ارزیابی مبدل E01010A از نظر میزان رسوب مجاز.....	۱۰۶
جدول ۶-۸: بارحرارتی ارزیابی شده برای مبدل‌های E01010A و E01010B براساس شرایط برگ طراحی.....	۱۰۷
جدول ۶-۹: نتایج بهینه‌سازی مبدل E01010A به روش‌های بهینه‌سازی نوع اول و دوم.....	۱۰۹
جدول ۶-۱۰: نتایج بهینه‌سازی مورد مطالعاتی ۲ با استفاده از بهینه‌سازی نوع دوم با شرط حد سرعت مجاز بیشتر.....	۱۱۰

فهرست علائم

واحد	نماد	تعریف
m	D_s	قطر داخلی پوسته
m	d_i	قطر داخلی لوله
m	d_o	قطر خارجی لوله
kJ/mol	E	ضریب اکتیواسیون
m	L_{ts}	ضخامت تیوب شیت
m	L_{to}	طول کلی لوله
----	N_t	تعداد تیوب‌ها
m	d_{otl}	قطر مجموعه لوله‌ها
m	N_{ss}	تعداد نوارهای نشستی‌گیر
m	P_t	گام لوله
----	S	تعداد گذر لوله
m	l_{sb}	لقی قطری بین پوسته و بافل
m	l_{tb}	لقی قطری بین لوله و بافل
m	l_{bc}	فاصله بین بافل‌ها (مرکزی)
m	l_{bi}	فاصله تیوب شیت ابتدایی تا اولین بافل
m	l_{bo}	فاصله تیوب شیت انتهایی تا آخرین بافل
$\text{w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	U_d	ضریب کلی انتقال حرارت مبدل کثیف
----	F	ضریب تصحیح دمای
m^2	A	سطح انتقال حرارت
$^\circ\text{C}$	$LMTD$	اختلاف دمای متوسط لگاریتمی
$\text{w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	U_c	ضریب کلی انتقال حرارت مبدل تمیز
w	Q	بار حرارتی
$\text{w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	h_{io}	ضریب انتقال حرارت سیال سمت لوله بر حسب سطح خارجی لوله
$\text{w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	h_o	ضریب انتقال حرارت سیال سمت پوسته
$\text{w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	h_i	ضریب انتقال حرارت سیال سمت لوله
----	Re_t	عدد بدون بعد رینولدز سیال سمت لوله
$\text{w/m} \cdot ^\circ\text{C}$	k_i	ضریب هدایت حرارتی سیال سمت لوله
N.s/m^2	μ	لزجت سیال
kg/m^3	ρ	چگالی سیال
----	pr_i	عدد بدون بعد پراتل سیال سمت لوله

$w/m^2 \cdot ^\circ C$	h_{id}	ضریب انتقال حرارت ایده آل سمت پوسته
----	j	فاکتور تصحیح ضریب انتقال حرارت سمت پوسته
$kg/s \cdot m^2$	G_m	سرعت جرمی سیال سمت پوسته
$j/kg \cdot ^\circ C$	C_{po}	ظرفیت گرمایی ویژه سیال سمت پوسته
----	pr_o	عدد بدون بعد پرانتل سیال سمت پوسته
$m^2 \cdot k/w$	R_f	مقاومت رسوب
m/s	V_i	سرعت سیال سمت لوله
$^\circ C$	T	دما
day	t	زمان
$^\circ C$	t_c	دمای کالریک جریان سرد مبدل
$^\circ C$	T_c	دمای کالریک جریان گرم مبدل
m	x_f	ضخامت لایه رسوب
$m^2 \cdot k/w$	$R_{f\infty}$	مقاومت رسوب در زمان بی نهایت

علائم یونانی

φ_s	ضریب تصحیح لزجت سیال سمت پوسته
φ_t	ضریب تصحیح لزجت سیال سمت لوله
α, β, γ	ضرایب مربوط به مدل تشکیل رسوب
τ	تنش برشی

زیرنویس ها

s	پوسته
t	لوله
i	سمت لوله
o	سمت پوسته
f	رسوب
w	دیواره
c	تمیز
d	کثیف
∞	زمان بی نهایت

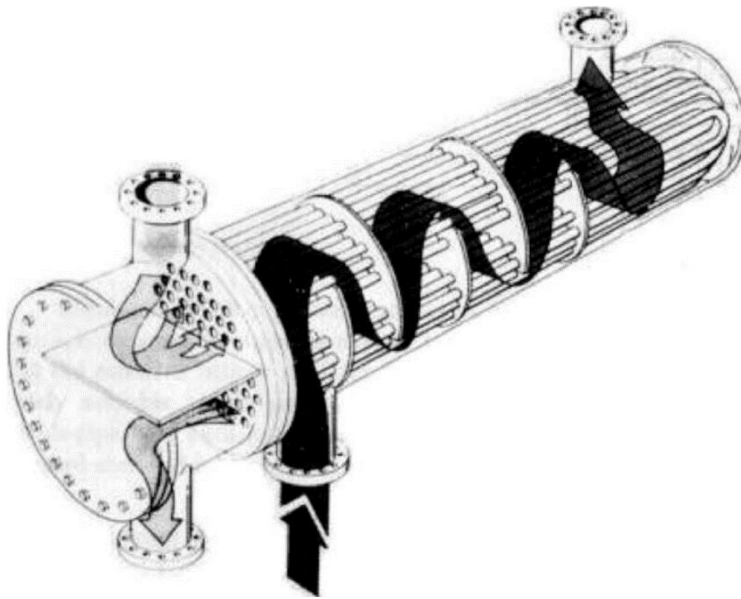
فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

۱-۱- معرفی مبدل‌های حرارتی

انتقال حرارت در سیال‌های فرآیندی یکی از ضروری‌ترین بخش‌ها در اغلب فرآیندهای شیمیایی است. مبدل حرارتی (دستگاه تبادل گر حرارت) مطابق شکل ۱-۱، وسیله‌ای است که انرژی حرارتی را از یک سیال به یک یا چند سیال دیگر که درجه حرارت‌های متفاوتی دارند، منتقل می‌کند.



شکل ۱-۱: دستگاه تبادل گر حرارت یا مبدل حرارتی (از نوع پوسته‌لوله) [۱]

کاربرد مبدل حرارتی بسیار وسیع است و در صنایع مختلفی مانند نیروگاه‌های تولید برق، پالایشگاه‌ها، صنایع غذایی، داروسازی، پتروشیمی، سردخانه‌ها و سیستم‌های گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها و به طور کلی هر جا که مسئله تبادل انرژی و حرارت مطرح باشد، استفاده می‌شود.

لزوم صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از اتلاف آن و توجه به مسائل آلودگی محیط-زیست نیز نقش مبدل‌های حرارتی را روشن‌تر می‌کند. مبدل‌های حرارتی به صورت‌هایی مختلف مانند جوش‌آورها^۱، تبخیرکننده‌ها^۲، سردکن‌ها^۳ و ... وجود دارند. کلمه مبدل در واقع برای تمام تجهیزاتی به کار می‌رود که در آن‌ها حرارت منتقل می‌شود. اگر در یک فرآیند، جریان فرآیندی سرد یا گرم

¹ Reboiler

² Condenser

³ Evaporator

شود، به مبدل خنک کننده یا گرم کننده می گویند و اگر جریان فرآیندی تبخیر گردد، به مبدل تبخیر کننده گفته می شود. زمانی که در پایین برج تقطیر استفاده می شود، جوش آور و هنگامی که برای تغلیظ یک محلول به کار می رود، تبخیر کننده نام می گیرد [۲].

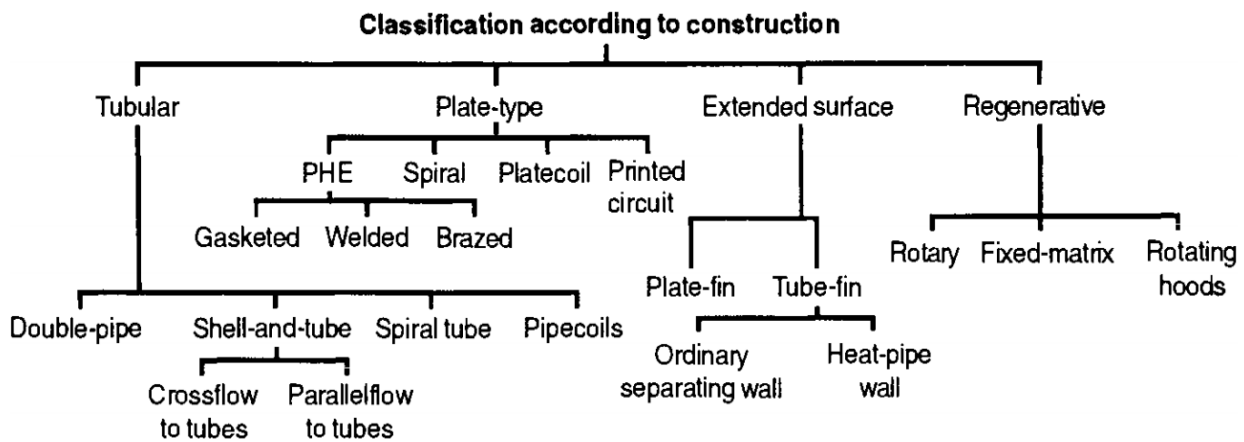
۲-۱- دسته بندی مبدل های حرارتی

مبدل های حرارتی را می توان از جنبه های مختلف به چهار گروه دسته بندی کرد [۳]:

- بر اساس نوع و سطح تماس سیال سرد و گرم
- بر اساس جهت جریان سیال سرد و گرم
- بر اساس مکانیزم انتقال حرارت بین دو سیال سرد و گرم
- بر اساس ساختمان مکانیکی آن ها

نمودار درختی تقسیم بندی مبدل ها بر اساس ساختار مکانیکی آن ها در شکل ۲-۱ ارائه شده-

است [۳].



شکل ۲-۱: نمودار درختی تقسیم بندی مبدل ها بر اساس ساختار مکانیکی [۳]

انواع مبدل های مربوط به هر یک از دسته بندی های فوق و توضیحات مربوط به آن، به تفصیل در پایان نامه ها و کتب مختلفی که در این زمینه ارائه شده اند، ذکر گردیده و در پژوهش حاضر، بیشتر به بحث و بررسی مبدل های حرارتی پوسته و لوله و فرآیند تشکیل رسوب در آن، (بالأخص فرآیند تشکیل رسوب نفت خام در مبدل های پوسته و لوله پیش گرمکن نفت خام) پرداخته می شود.

۱-۳- اهمیت و کاربرد مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله

متداول‌ترین و پرکاربردترین نوع مبدل حرارتی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد مبدل حرارتی پوسته‌لوله می‌باشد که برای کاربردهای مختلف و در اندازه‌های گوناگون، طراحی و ساخته می‌شود. از این نوع مبدل‌ها به منظور تبخیر یک مایع یا کندانس کردن یک بخار و یا انتقال حرارت بین دو مایع استفاده می‌شود. با توجه به گزارش‌ها، پیشرفت و توسعه مبدل‌های حرارتی پوسته‌لوله، جایگاه مهمی را در صنایع امروزی دارد. در حال حاضر، بیش از ۵۰ درصد مبدل‌های حرارتی صنعت از نوع پوسته‌لوله‌اند. از دلایل عمده این انتخاب، تحمل فشار و درجه حرارت‌های بالاست. اما بازده آن‌ها از مبدل‌های حرارتی فشرده^۱ ۲۰ تا ۳۰ درصد کم‌تر است. مبدل‌های پیش‌گرمکن نفت‌خام در پالایشگاه‌های نفت و کندانسور نیروگاه‌های بخار از مهمترین و پرستفاده‌ترین کاربرد این نوع مبدل‌ها می‌باشند. طبق تحقیقات سال ۱۹۹۴، این نوع مبدل فروش سالانه ۶۵۰ میلیون دلاری داشته‌است. این مبدل‌ها با ساختمان بزرگشان به آسانی نگهداری می‌شوند و به راحتی نیز قابل توسعه‌اند [۲].

هم‌چنین باید به این مهم نیز توجه کرد که تأمین بسیاری از خدمات صنعتی نیازمند به کارگیری تعداد زیادی مبدل دو لوله‌ای از نوع دو شاخه است. این مبدل‌ها سطح قابل توجهی را اشغال کرده و در نقاط بسیاری امکان نشت سیال در آن‌ها وجود دارد. هنگامی که سطح تبادل حرارت زیادی مورد نیاز باشد با استفاده از مبدل‌های پوسته و لوله ای می‌توان سطح لازم را بدست آورد. در مبدل‌های پوسته و لوله، لوله‌ها درون یک صفحه نگهدارنده قرار گرفته و به دلیل پهن شدگی لوله در سوراخ‌های این صفحه نگهدارنده نوعی آب بندی ایجاد می‌گردد که تحت شرایط عملیاتی مناسب، نشت صورت نمی‌گیرد [۲].

۱-۴- اجزای مختلف مبدل‌های پوسته و لوله

در این بخش برای آشنایی کلی با اجزای مختلف مبدل‌های پوسته و لوله توضیحات کلی داده شده است. لازم به ذکر است با توجه به تنوعی که این مبدل‌ها دارند، ممکن است برخی از اجزا فقط در یک نوع خاص از مبدل‌ها وجود داشته‌باشد. اما به طور کلی مبدل‌های پوسته و لوله دارای اجزای زیر می‌باشند؛ شماره هر قسمت بر روی شکل ۱-۳ نشان داده شده‌است. [۴]

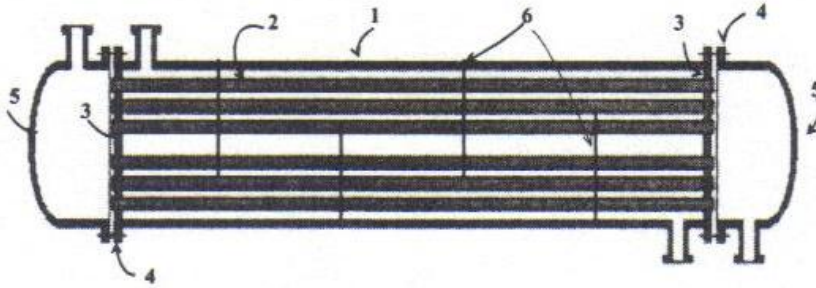
۱- پوسته^۲ و نازل‌های^۳ روی آن

^۱ Compact heat exchangers

^۲ Shell

^۳ Nozzel

- ۲- لوله‌ها
- ۳- صفحه لوله‌ها^۱
- ۴- مجاری سیالات^۲
- ۵- درپوش‌های مجرا^۳
- ۶- بافل‌ها^۴
- ۷- میله‌های مهار و فاصله انداز بافل‌ها^۵ :



شکل ۱-۳: اجزای کلی مبدل پوسته‌لوله [۴]

موارد ذکر شده در بالا، اجزائی هستند که در همه مبدل‌های پوسته و لوله وجود دارند و ممکن است در یک نوع خاص مبدل، اجزای دیگری نیز وجود داشته‌باشد. همچنین در شکل ۱-۴ تصویر چند مجموعه لوله مربوط به یک مبدل پوسته‌لوله، ساخته‌شده با بافل قطعی ارائه شده‌است.

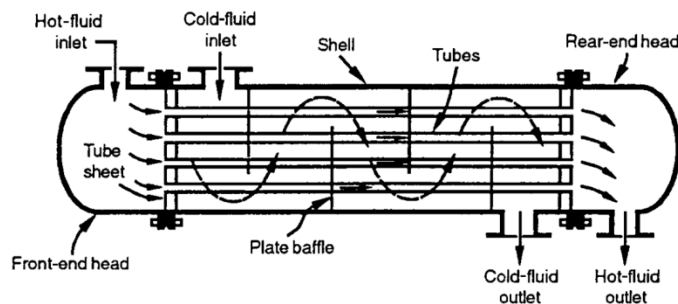


شکل ۱-۴: تصویر چند مجموعه لوله ساخته‌شده با بافل‌های قطعی [۲]

¹ Tube sheet
² Channel
³ Channel Cover
⁴ Baffle
⁵ Baffle spacers or Tierool

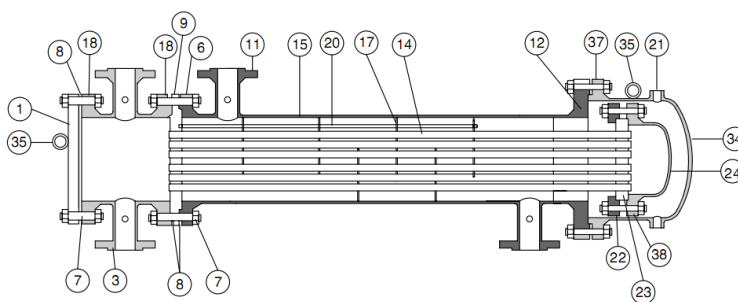
۵-۱- انواع مبدل‌های پوسته‌لوله بر اساس تقسیم بندی TEMA

در شکل ۱-۷، انواع مختلف کلگی جلو^۱ و عقب^۲ و پوسته^۳ که در ساخت مبدل‌های پوسته و لوله مورد استفاده قرار می‌گیرد، بر اساس استاندارد تما^۴ (اتحادیه سازندگان مبدل‌های حرارتی لوله‌ای) ارائه شده است [۵]. آشنایی با واژه‌ها و اصطلاحات فنی^۵ سازندگان تجهیزات انتقال حرارت برای یک مهندس فرآیند و طراح مبدل بسیار مهم است. بر اساس نحوه نام‌گذاری TEMA، بر حسب اینکه اجزای مختلف یک مبدل چگونه انتخاب و ساخته شوند نام‌گذاری صورت می‌پذیرد. برای نام هر مبدل، سه حرف اختصاری بکار می‌رود. حرف اول و سوم نوع کلگی جلو و عقب و حرف وسط نوع پوسته و تعداد مسیر گذرهای آن را معین می‌نماید [۵]. در شکل (۳-۳) سه قسمت اصلی یک مبدل براساس استاندارد فوق معین شده‌است.



شکل ۱-۵: نمایش کلگی جلو، عقب و پوسته در یک مبدل نوع BEM با یک گذر پوسته و یک گذر لوله [۴]

در شکل ۱-۶ و شکل ۱-۸ نیز چند نمونه دیگر از انواع مبدل‌ها بر اساس استاندارد TEMA آورده شده است. اجزای تشکیل دهنده مبدل‌های مذکور در شکل‌های مختلف شماره گذاری شده است. در جدول ۱-۱ نام هریک از اعداد متناظر با قطعات مبدل، ذکر شده است [۶].



شکل ۱-۶: مبدل نوع AES [۶]

- 1 Front End
- 2 Rear End
- 3 Shell
- 4 TEMA : Tubular Exchanger Manufacturers Association
- 5 Terminology