

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی انرژی

دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی سیستمهای انرژی - تکنولوژی انرژی

عنوان

# **بهینه سازی انرژی اقلافی از گاز خروجی کوره های صنعتی با بکارگیری مبدل حرارتی (طراحی و آنالیز)**

استاد راهنما:

دکتر مجتبی میرزایی

پژوهشگر:

جهاندار زعفری

زمستان ۹۷

تقدیم به:

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

## سپاس و قدردانی

( لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق )

با سپاس از تمامی استادان عزیزم ( بشرح ذیل ) که راه درخشان علم را برایم روشن نموده اند .

آقایان دکتر: میرزایی - یاسی - جلیلیان



## موسسه آموزش عالی انرژی

### فرم تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب **جهاندار زعفری** دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته .....  
 که در تاریخ ..... از پایان نامه خود با عنوان .....  
 با کسب نمره ..... و درجه ..... دفاع نموده ام بدینوسیله اعلام می کنم:

- این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و...) استفاده کرده‌ام، مطابق ضوابط موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست منابع ذکر و درج نموده‌ام.
- این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایینتر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و مؤسسات آموزش عالی داخلی و خارجی ارائه نشده است.

ضمناً متعهد میشوم:

- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ مقاله، کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه را داشته باشم، از استاد محترم راهنما، گروه آموزشی مربوطه و معاونت پژوهشی مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و موسسه آموزش عالی انرژی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام، هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نتایج تحقیقات مندرج در این پایان نامه و دستاوردهای مادی و معنوی ناشی از آن (شامل فرمول ها، توابع کتابخانه ای، نرم افزارها، سخت افزارها و مواردی که قابلیت ثبت اختراع دارد) متعلق به موسسه آموزش عالی انرژی است. هیچ شخصیت حقیقی یا حقوقی بدون کسب اجازه از موسسه آموزش عالی انرژی حق فروش و ادعای مالکیت مادی یا معنوی بر آن یا ثبت اختراع از آن را ندارد. همچنین کلیه حقوق مربوط به چاپ، تکثیر، نسخه برداری، ترجمه، اقتباس و نظائر آن در محیط های مختلف اعم از الکترونیکی، مجازی یا فیزیکی برای موسسه آموزش عالی انرژی محفوظ است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضاء:

## چکیده:

این پژوهش به بررسی گرمایش آب صنعتی به کمک حرارت خروجی از آگزوز کوره در مبدل پرداخته شده است. که آب داغ با دبی  $3000 \text{ kg/h}$  در خروجی مبدل بدست آمد. گاز نیز گرما از دست داد و به دما  $148.2$  درجه سانتیگراد رسیده و در مبدل انرژی حرارتی معادل  $160.4 \text{ kw}$  انتقال یافت. همینطور مشخصات هندسی و طراحی مبدل نیز بدست آمد تا این شبیه سازی به واقعیت و در صنعت امکان پذیر باشد. مشخصات ترمودینامیکی و جریانی و گاز در خروجی نیز استحصال شد که رسوبات موجود در لوله ی حاوی جریان گاز باعث افت فشار و کاهش سرعت می شوند که بررسی شده است. با توجه به نتایج، دمای  $300$  درجه گاز ورودی به مبدل و دبی ورودی آب  $3000 \text{ Kg/h}$  بهینه ترین ورودی برای گرم کردن آب  $20$  درجه سانتی گراد به  $60$  درجه ی سانتی گراد می باشد. که هم در مصرف انرژی صرفه جویی شده هم مبدل با قیمت مناسب فراهم خواهد شد. و از مصرف  $129600$  متر مکعب سوخت فسیلی در سال جهت تامین  $160.4 \text{ kw}$  انرژی جلوگیری به عمل آمده و محیط زیست سالم تری خواهیم داشت.

واژه های کلیدی: مبدل حرارتی، انرژی، بهینه سازی، کوره، آگزاست

## فهرست مطالب

فصل اول : کلیات پژوهش.....	۱
۱-۱ - مقدمه.....	۱
۱-۲ - بیان مسئله.....	۳
۱-۳ - فرضیه‌های تحقیق.....	۳
۱-۴ - اهداف تحقیق.....	۴
فصل دوم : مبانی نظری و پیشینه پژوهش.....	۵
۲-۱ - مفاهیم و اصطلاحات.....	۵
۲-۱-۱ - انواع روشهای بهینه سازی.....	۵
۲-۱-۲ - روش های کاهش مصرف انرژی.....	۶
۲-۱-۳ - نمونه های عملی بهینه سازی مصرف انرژی.....	۱۲
۲-۱-۴ - راه های اتلاف انرژی.....	۱۶
۲-۱-۴-۱ - گاز خروجی از دودکش.....	۱۶
۲-۱-۴-۲ - گرمای تشعشعی.....	۱۸
۲-۱-۴-۳ - تخلیه.....	۱۸
۲-۱-۴-۴ - کنترلها.....	۱۹
۲-۱-۴-۵ - بازیافت گرما.....	۲۰

۲۰	۱-۴-۶- گرمکن اولیه
۲۱	۱-۴-۷- گرمکن هوا
۲۱	۲-۱-۵- سیستمهای تولید بخار
۲۲	۲-۲- پیشینه تحقیق
۲۶	فصل سوم : روش اجرای پژوهش
۲۶	۳-۱- مقدمه
۲۹	۳-۲- معادلات حاکم
۳۳	۳-۳- مدل سازی و شبیه سازی فرآیند
۳۴	۳-۴- مدل سازی فرآیند
۳۴	۳-۵- شبیه سازی فرآیند
۴۴	۳-۷- روش حل معادلات در ASPEN EDR
۴۶	۳-۸- روش حل در این تحقیق
۶۵	فصل چهارم : تحلیل یافته ها
۶۵	۴-۱- مقدمه
۶۵	۴-۲- انرژی اتلافی در کوره
۶۶	۴-۳- تغییرات فشار در مبدل
۶۶	۴-۳-۱- تغییرات فشار در پوسته و لوله



۶۸	۴-۴- مشخصات جریان
۶۸	۴-۴-۱- نرخ تولید آب گرم
۶۸	۴-۴-۲- آنالیز جریان
۷۰	۴-۴-۳- بررسی چگالی و لزجت
۷۳	۴-۵- مقدار گرمای مبادله شده
۸۰	۴-۶- تغییرات و محاسبه فشار
۸۱	۴-۷- تغییرات سرعت و سطح مقطع
۸۲	۴-۸- هندسه و مشخصات فنی مبدل
۸۵	۴-۹- مقایسه مشخصات دو نمونه با دبی ها و دما های متفاوت
۸۸	فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۸	۵-۱- نتیجه گیری
۹۲	۵-۲- پیشنهادات
۹۳	مراجع
۹۵	پیوستها

## فهرست جداول

جدول (۳-۱) دیتا واقعی از یکی از اگزاست کوره های شرکت سایپا .....	۲۹
جدول (۳-۲) معایب و مزایای روش (EQUATION ORIENTED) .....	۴۵
جدول (۳-۳) معایب و مزایای روش (SEQUENTIAL MODULAR) .....	۴۵
جدول (۴-۱) مشخصات فشار دراجزای مبدل .....	۶۷
جدول (۴-۲) مشخصات سرعت در مبدل .....	۶۹
جدول (۴-۳) مشخصات حرارتی در مبدل .....	۷۴
جدول ( ۴-۴ ) محاسبات فشار .....	۸۰
جدول (۴-۵) تغییرات سرعت .....	۸۱
جدول (۴-۶) اطلاعات جانبی مبدل .....	۸۳
جدول (۴-۷) مقایسه دو نمونه بهینه سازی شده .....	۸۶
جدول (۵-۱) مستندات .....	۸۹
جدول (۵-۲) نتیجه .....	۹۰

## فهرست اشکال و نمودار

- وارد نرم افزار ASPEN شده به منظور طراحی مبدل پوسته لوله گزینه NEW را انتخاب کرده و گزینه اول را تیک می زنیم شکل (۳-۱) ..... ۴۶
- در کادر محاوره ای زیر مرحله ای که باید طراحی کنیم گام به گام چیده شده است شکل (۳-۲) ..... ۴۷
- شکل (۳-۳) انتخاب واحد اندازه گیری بر حسب SI ..... ۴۸
- شکل (۳-۴) محل قرار گیری جریان گرم و متود محاسباتی ..... ۴۸
- شکل (۳-۵) انتخاب معادله ی اصلی حل و معادله حل آب در چرخه ..... ۴۹
- شکل (۳-۶) شرایط نخستین و محیطی ..... ۴۹
- شکل (۳-۷) انتخاب و وارد کردن عناصر مورد محاسبه در قسمت TUBE ..... ۵۰
- شکل (۳-۸) انتخاب و وارد کردن عناصر مورد محاسبه در قسمت SHELL ..... ۵۱
- شکل (۳-۹) مرحله ی RUN نرم افزا ..... ۵۲
- شکل (۳-۱۰) شماتیک مبدل حرارتی ..... ۵۲
- شکل (۳-۱۱) شماتیک کلی از فرآیند شبیه سازی شده در نرم افزار ASPEN ..... ۵۳
- شکل (۳-۱۲) انتخاب پوشه ی RESULT SUMMARY ..... ۵۴

شکل (۳-۱۳) پوشه های درختی THERMAL/HYDROLIC SUMMARY و	۵۵
MECHANICAL SUMMARY	
نمودار (۴-۱) چگالی آب بر حسب دما	۷۰
نمودار (۴-۲) چگالی گاز بر حسب دما	۷۱
نمودار (۴-۳) لزجت آب بر حسب دما	۷۲
نمودار (۴-۴) لزجت گاز بر حسب دما	۷۲
نمودار (۴-۵) گرمای ویژه ی گاز بر حسب دما	۷۵
نمودار (۴-۶) رسانش گرمایی گاز بر حسب دما	۷۶
نمودار (۴-۷) آنتالپی ویژه گاز بر حسب دما	۷۶
نمودار (۴-۸) آنتالپی ویژه ی آب بر حسب دما	۷۷
نمودار (۴-۹) گرمای ویژه ی آب بر حسب دما	۷۷
نمودار (۴-۱۰) رسانش گرمایی آب بر حسب دما	۷۸
شکل (۴-۱) شکل کلی از مبدل پوسته لوله	۸۳
شکل (۴-۲) شماتیک فنی و هندسی از مبدل طراحی شده	۸۴
شکل (۴-۳) شماتیک فنی و هندسی از لایه ی لوله ها و وزن و هزینه در مبدل	۸۵

## فصل اول : کلیات پژوهش

### ۱-۱ - مقدمه

پدیده گرمایش زمین و مشکلات عدیده ایجاد شده ناشی از آن و نیز افزایش قیمت انواع سوخت در طی دهه های اخیر بحران های اقتصادی را در سراسر جهان ایجاد نموده که در کشور ما نیز در صنایع و یا حتی در زندگی آحاد مردم جنبه های مختلفی از این بحران را شاهد هستیم. کاهش ایجاد گازهای گلخانه ای با راهکارهای مختلفی از قبیل استفاده از انرژی های غیر فسیلی و نو و افزایش بازده تجهیزات مصرف کننده انرژی های فسیلی در دستور کار اغلب کشورهای صنعتی قرار گرفته که پیمان کیوتو یکی از این موارد می باشد. از سوی دیگر افزایش شدید قیمت انرژی های فسیلی رویکرد تغییر منابع تأمین انرژی به سوی انرژی های سبز یا انرژی های پاک نظیر انرژی خورشیدی، برق آبی، زمین گرمایی، باد و ... را تحمیل نموده است. علی رغم این تغییرات، هزینه های مورد نیاز جهت استفاده از انرژی های نو، استفاده از انرژی های فسیلی را در رأس تأمین مصارف انرژی در اغلب کشورها قرارداده است. لیکن افزایش بازده استفاده از انرژی های فسیلی راهکاری است که باید بدان توجه کرد. افزایش بازده در کوره ها با روشهای مختلفی انجام می شود که موارد زیر از آن جمله می باشند :

۱- بازیافت انرژی اتلافی از کوره با استفاده از مبدل های حرارتی پوسته و لوله ای

۲- استفاده از پیشگرم کن هوا

۳- استفاده از مشعلهای دو و یا چند مرحله ای با بازده بالا و هوای اضافی مورد نیاز پائین

۴- بازگردان گاز دودکش به ورودی کوره با مشعلهای مخصوص

۵- کنترل هوای اضافی در محفظه احتراق

۶- در دیگهای بخار پائین آوردن املاح آب جبرانی با بالا بردن سیکل تغلیظ به نحو قابل

توجهی حجم مواد شیمیایی مصرفی و میزان تخلیه را کاهش می دهد.

یکی از اساسی ترین و مؤثرترین روشها جهت افزایش بازده بند ۵ یا کاهش میزان هوای

اضافی می باشد. جهت تعیین میزان بازده کوره ها و دیگهای بخار دو روش مستقیم" با

استفاده موازنه انرژی روی دو بخش مصرف کننده و تامین کننده انرژی " و غیر مستقیم

" با استفاده از میزان اکسیژن باقی مانده و دمای گاز دودکش " معمول می باشد. روش محاسبه

مستقیم بازده زمانبر و به علت خطاهای ممکن دارای دقت پایینی است. در روش غیر

مستقیم نیز که توسط دستگاه های قابل حمل Test Orsat انجام می شود، مبنای محاسباتی

مشخص نمی باشد.

## ۱-۲ - بیان مسئله

در سال‌های اخیر روند رو به رشد مصرف انرژی، پدیده بحران انرژی را در جهان به وجود آورده است. مصرف روز افزون انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی اگرچه رشد اقتصادی جوامع مختلف را به همراه داشته است اما به واسطه انتشار آلاینده‌های حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی در افزایش دی اکسید کربن در اتم سفر و پیامدهای ناشی از آن، جهان را با تهدیدهای جدی روبرو ساخته است. از دیگر سو محدودیت منابع فسیلی، غیر قابل تجدید پذیر بودن این منابع و پیش بینی افزایش قیمت‌ها، موجب گردیده است تا سیاست‌گذاران و برنامه ریزان بخش انرژی حرکت به سوی سوخت‌های پاک و بهینه سازی انرژی‌های اتلافی و ... را در رئوس برنامه‌های کاری خود قرار دهند. کوره‌ها در فرآیندهای مختلف صنعت از مهمترین مصرف کننده‌های انرژی هستند لذا روش‌های بهینه‌سازی انرژی و بازیافت آن و صرفه جویی در مصرف سوخت در اولویت می‌باشد. کاهش هزینه‌های انرژی مصرفی به طور مستقیم و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، اندازه تجهیزات و مصرف انرژی تجهیزات جانبی همگی از مزایای غیرمستقیم بازیافت حرارت از جریان‌های خروجی می‌باشد.

## ۱-۳ - فرضیه‌های تحقیق

در این پروژه سعی بر آن شده که از سیستم مبدل حرارتی و نصب در اگزاست کوره‌ها جهت تولید آب گرم به منظور استفاده برای سیستم‌های گرمایشی و بهداشتی در سالن‌های تولیدی و اداری بکار برد.

## ۱-۴- اهداف تحقیق

هدف اصلی در این تحقیق شبیه‌سازی بازیافت انرژی اتلافی از کوره و استفاده مجدد از انرژی گازهای خروجی با استفاده از مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله می‌باشد. بکارگیری این رویکرد جهت رسیدن به راندمان بالاتر و کاهش سوخت مصرفی و جلوگیری هر چه بیشتر از انتشار گازهای گلخانه‌ای و امکان سنجی این سیستم توسط اکونومايزرها و دیگر مبدل‌ها و به قطع و یقین رسیدن جهت عملی شدن پروژه است. در واقع به کمک این رویکرد می‌توان از انرژی اتلافی به صورت بهینه استفاده کرد. روش اجرای پروژه به این گونه است که در ابتدا باید مبدل حرارتی را به کمک نرم افزار فرایند محور ASPEN طراحی کرد و سپس با شبیه‌سازی فرایند از انرژی هدر رفت گازهای خروجی برای تامین حرارتی دیگر واحدها، اعم از بویلر و دیگر تجهیزاتی که به انرژی حرارتی نیاز دارند، استفاده نمود.



## فصل دوم : مبانی نظری و پیشینه پژوهش

### ۲-۱- مفاهیم و اصطلاحات

#### ۲-۱-۱- انواع روش‌های بهینه‌سازی

واژه بهینه‌سازی ترجمه کلمه Optimization است که در ریاضیات مفهوم خاص خود را دارد و در کشور ما نیز در زمینه‌های مختلف از جمله انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. بهینه‌سازی مصرف انرژی برای یک فرایند می‌تواند به صورت موضعی و یا بصورت جامع برای یک سیستم که متشکل از چندین فرایند است، انجام شود. بر اساس تئوری بهینه‌سازی، نتیجه بهینه‌سازی برای چندین فرایند به صورت جداگانه الزاما برابر با نتیجه بهینه‌سازی به صورت جامع نیست و بنابر تعریف، بهینه‌سازی به صورت جامع می‌تواند در برگرفته ترکیبی از دو فرآیند و یا چندین فرآیند باشد. اعمال بهینه‌سازی بصورت جامع نیاز به درک صحیح دینامیک انرژی بری تجهیزات هر یک از فرایندها دارد و به مراتب پیچیده‌تر از به کارگیری روش بهینه‌سازی موضعی می‌باشد. روشهای کنترل که بر اساس دینامیک انرژی بری و نظارت بر تمامی فرایندها کار می‌کنند و با تکنولوژی Pinch که مبتنی بر اصل کاهش مصرف انرژی از طریق ترکیب فرآیندها و یا Integration Process است، از جمله روش‌های بهینه‌سازی به صورت جامع است. به غیر از تقسیم بندی روش‌های بهینه‌سازی به موضعی و جامع، تقسیم بندی دیگری نیز وجود دارد که بر اساس هزینه‌های لازم برای انجام بهینه‌سازی می‌باشد و عبارتند از روش‌های با هزینه پایین یا بدون هزینه (مانند انتخاب سوخت و یا

حامل انرژی بهتر، تنظیم ساعات کاری، تنظیم نورپردازی، روش‌های با هزینه متوسط و روش‌های با هزینه بالا است [۱].

## **۲-۱-۲- روش‌های کاهش مصرف انرژی**

از جمله کارهای علمی و کاربردی که می‌توان برای کاهش مصرف انرژی پیشنهاد داد را می‌توان تحت عناوین زیر دسته بندی نمود.

### **بازیافت انرژی گازهای خروجی از کوره با استفاده از مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله**

با توجه به آنکه در کوره‌های خشک کن رنگ مصرف انرژی حرارتی بسیار زیاد می‌باشد، لذا یکی از روشهای مورد نظر مهندسین فرآیند ارایه راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی در این واحد است. یکی از مواردی که به وفور در صنایع ایران می‌توان یافت، اتلاف انرژی به صورت حرارت است. در صنایع خودروسازی برای خشک کردن رنگ بدنه‌های خام نیاز به مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد، و در این کوره‌ها با حجم بالایی از گازهای احتراق با دمای بالا مواجه هستیم که در گازهای خروجی از این کوره‌ها اتلاف انرژی زیادی دیده می‌شود. با استفاده از بازیافت این حرارت می‌توان به منظور گرمایش و تامین آب گرم، پیش گرمایش مواد ورودی به کوره و افزایش راندمان کوره، تامین حرارت مورد نیاز بویلرها و ... استفاده نمود.

## **استفاده از تکنولوژی‌های جدید و مواد اولیه بهتر و سازگار با محیط زیست**

یکی از مواردی که باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود استفاده از تکنولوژی‌های جدید و مواد اولیه با کیفیت بالا می‌باشد. اکثر واحدهایی که در کشور وجود دارند قدیمی بوده و نشتی‌های زیادی در قسمت‌های مختلف آنها وجود دارد یا راندمان آنها پایین است و در مواردی کیفیت محصولات تولیدی قابل قیاس با مشابه‌های خارجی نیست. لذا بایستی واحدهایی که انرژی بالایی مصرف می‌کنند شناسایی شوند و در راه تغییر فرآیند و کارهای دیگر اقدام شود [۲]. از جمله کارهایی که در این زمینه انجام شده استفاده از MDEA در صنایع پالایش گاز و شیرین‌سازی است. در صورت استفاده از این ماده، ظرفیت واحد بالا، انرژی مورد نیاز کم و در نتیجه سرمایه‌گذاری کاهش می‌یابد. این آمین نسبت به DEA و MEA در غلظت‌های بالاتر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، در نتیجه به علت کاهش جریان برگشتی، توان کمتری برای کار پمپ‌ها لازم است. همچنین در ریویلر به خاطر اینکه انرژی کمتری برای شکستن پیوند بین آمین و گاز اسیدی لازم است، انرژی کمتر مصرف می‌شود. از طرف دیگر انتخاب پذیری بالای MDEA باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می‌شود و نیز به علت خاصیت خوردندگی کم آن، طول عمر تجهیزات افزایش می‌یابد و هزینه‌های نگهداری نیز کمتر می‌شود [۳].

## **استفاده بهینه از مواد و بازیابی آنها در صنایع مختلف**

در بیشتر صنایع کشور به خاطر ناقص انجام گرفتن واکنش‌ها، قدیمی بودن دستگاه‌ها، تکنولوژی‌های قدیمی و تخصصی نبودن مسئولیت‌ها مواد با ارزش زیادی در پساب‌های واحدها وارد شده و دور ریخته می‌شوند. در این زمینه هم می‌توان با انجام تحقیقات لازم اقدام

به بازیابی این مواد کرد [۲]. از کارهای انجام گرفته در این زمینه می توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) بازیابی فلزات با ارزش از کاتالیزورهای مستعمل: سالیانه مقدار زیادی از کاتالیزورهای مورد استفاده در صنایع پالایشگاهی و پتروشیمی ها به صورت مستعمل انبار می شوند که دارای فلزات با ارزشی همچون پلاتین، کبالت، مولیبدن و ... می باشند. این فلزات قابل بازیابی بوده و بازیافت آنها از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه است و با احداث واحدهای می توان این کار را انجام داد [۴].

ب) بازیابی و استفاده مجدد متانول مصرفی: در واحد خالص سازی پروکسید هیدروژن FMC توانستند با استفاده از روش تقطیر بخار تا ۹۰ درصد متانول را از پساب بازیابی کنند. استفاده از این روش باعث کاهش تولید پسابهای حاوی متانول و کاهش مصرف انرژی می گردد.

### **بهینه سازی و مدل کردن واحدهای صنعتی و افزودن تجهیزات اضافی**

در این زمینه می توان با انجام تغییراتی در واحد و یا اضافه کردن تجهیزاتی و یا انجام کارهایی مثل شبیه سازی، مدل سازی و کنترل واحدها در مصرف کمتر انرژی، کیفیت بالای محصولات و حداقل کردن هزینه ها قدم برداشت. در اغلب واحدهای شیمیایی که واکنش-های شیمیایی صورت می گیرد برای بهینه کردن انرژی باید سعی شود که واکنشها تا حد امکان در جهت کامل شدن بروند و از دیگر پارامترها هم مدیریت انرژی است که با مشاهدات و کنترلهای خود می تواند فرآیندهای پیچیده صنعتی را در جهت بهینه شدن پیش

ببرد (مثل انتخاب سیستم، پارامترهای فرایند که باید نشان داده شوند، تجهیزات اندازه گیری که باید استفاده شوند و...) [۲]. نمونه کارهای صورت پذیرفته عبارتند از:

الف) بهینه سازی مصرف انرژی در برج‌های تقطیر: در صنعت نفت، برج تقطیر یا واحد تقطیر یکی از کلیدی‌ترین واحدهای مصرف کننده انرژی است که به وسیله شبیه سازی‌ها و مدل‌های کامپیوتری می توان مصرف انرژی را در این بخش به حالت بهینه درآورد. امروزه کاهش مصرف انرژی در عملیات تقطیر در کاهش قیمت تمام شده محصولات بیشتر موثر است [۵]. کلیه فعالیت‌ها در این رابطه را می توان به سه گروه تقسیم بندی کرد. گروه اول، روش‌هایی که سرمایه مورد نیاز آنها کم است: تنظیم جریان برگشتی به برج، محل ورودی خوراک، بهبود در تعمیرات و روش‌های تعمیراتی، فشار داخل برج. گروه دوم، روش‌های با سرمایه‌گذاری متوسط: مثل استفاده از روش‌های بازیافت اتلاف حرارتی، عایق کاری، جابجایی سینی‌ها با تجهیزات موثر مشابه (پرکن ها با کارایی بیشتر، ارتفاع معادل کمتر وافت فشار کمتر). گروه سوم، روش‌های با سرمایه گذاری بالا: این روش‌ها منجر به بازیافت انرژی زیادتری نسبت به دو مرحله قبل می‌شوند که از آن جمله موارد، بهینه سازی یا تعویض سیستم کنترل و ابزار دقیق و همچنین میعان دو مرحله ای در بخش بالا اشاره کرد.

ب) اضافه کردن تجهیزاتی برای بازیابی انرژی: در بیشتر صنایع می توان با افزودن تجهیزاتی انرژی قابل ملاحظه ای را بازیابی کرد. به عنوان نمونه با استفاده از توربو اسکرابرها در خروجی دودکش‌های صنعتی می توان حرارت گازهای خروجی را بازیابی کرد.

مورد دیگر استفاده از تکنولوژی HBT برای مبدل‌های لوله- پوسته است. در مبدل‌های لوله - پوسته ، در قسمت‌های مختلف مقداری انرژی گرمایی به هدر می رود. تحقیقات نشان داده است که هرچه ضخامت لوله ها و درصد مکش بیشتر شود، گرمای بیشتری در این واحدها به هدر می رود. بنابراین باید روی طراحی ، استحکام و دوام این قسمت‌ها برای بهینه سازی انرژی دقت بالایی منظور شود. یکی دیگر از موارد، رسوب ناخالصی‌ها درون لوله ها است که سرعت انتقال گرما را کاهش می دهد و علیرغم مصرف بیشتر انرژی، بازده پایین می باشد. در تکنولوژی HBT توپ‌های اسفنجی که در درون لوله های کندانسور نصب می شود تا ناخالصی‌های سیال در حال گردش را بگیرد، حکم فیلتر را دارد و از رسوب این مواد در بدنه داخلی لوله جلوگیری می کند. در نتیجه نرخ حرارتی خوبی داشته و انرژی هدر نمی رود. یکی دیگر از مواردی که کاربرد فراوانی در صنایع دارند و مصرف انرژی آنها بالا است، فن ها و فیلترها هستند. با استفاده از وسایل کمکی که به طور اتوماتیک سرعت فن ها را با توجه به کاری که بایستی توسط آنها انجام پذیرد، تنظیم نماید مصرف انرژی کاهش می یابد [۶].

### **یافتن کاربردهای جدید برای موادی که فعلا کاربرد خاصی ندارند**

مواد اولیه زیادی وجود دارند که فعلا برای آنها کاربرد خاصی وجود ندارد و یا به صورت ناخواسته تولید می گردند. در این زمینه می توان کارهایی انجام داد و کاربردهایی برای آنها پیدا کرد [۲].

### **استفاده از انرژی های نو و تجدید پذیر**

در این زمینه کارهای زیادی می توان انجام داد که نیازمند این است تا مشخصات جغرافیایی مناطق مختلف از لحاظ مقدار تابش خورشید، بادهای منطقه و ... به خوبی تعیین شود و بر اساس آنها تصمیمات لازم اتخاذ شود. نمونه ای از این موارد استفاده از انرژی خورشیدی مثل سلول خورشیدی و انرژی باد مثل توربینهای بادی است [۲].

### **آموزش روش های صرفه جویی در انرژی به کارکنان**

یکی از موارد مهم فرهنگ سازی مصرف انرژی در بین کارکنان در صنعت می باشد. این امر از طریق برگزاری کلاس های آموزشی و یا رسانه های جمعی امکانپذیر می باشد.

## ۲-۱-۳- نمونه های عملی بهینه سازی مصرف انرژی

در اینجا به منظور درک بهتر امر بهینه سازی مصرف انرژی و روش های عملی کاهش آن به بررسی چند نمونه عملیاتی می پردازیم.

الف- پروژه های بهینه سازی مصرف انرژی در شرکت پالایشگاه نفت اصفهان [۷] شامل:

نصب ایستگاه ثانویه کاهش فشار به منظور جایگزینی سوخت مایع با سوخت گاز طبیعی که اثرات آن عبارتند از: کاهش آلودگی هوا، بالا بردن بازدهی کوره ها، حذف مصرف بخار پودرکننده.

نصب مبدل های حرارتی Packinox در واحدهای تبدیل کاتالیستی که اثرات آن کاهش مصرف سوخت، افزایش عمر کاتالیست و امکان افزایش خوراک با کاهش بار حرارتی کولرهای هوایی است.

نصب و راه اندازی واحد جدید تولید ازت مایع نیز کاهش مصرف انرژی (به دلیل افزایش راندمان تولید ازت)، کاهش آلودگی محیط زیست و تولید ازت با خلوص بالاتر را سبب شده است. تصفیه آب های آلوده با املاح بالا به روش اسمز معکوس از دیگر فعالیت های در جهت بهینه سازی مصرف انرژی بوده که آب های آلوده با املاح بالا تصفیه و دوباره استفاده می شود. پروژه نوسازی واحد تقطیر که باعث کاهش دمای خروجی کوره، کاهش مصرف انرژی، ایجاد پتانسیل افزایش خوراک و تفکیک بهتر محصولات در برج تقطیر در خلا می شود.

نصب نگارنده های درجه حرارت بر روی دودکش کوره ها به منظور بهبود عملکرد کوره ها، اندازه گیری اکسیژن و منوکسید کربن خروجی از دودکش ها، نصب جریان سنج روی مسیر



سوخت مصرفی و ترمیم عایق کاری کوره ها و دیگ های بخار. انجام این عملیات باعث کاهش مصرف سوخت و بهینه شدن عملیات احتراق در کوره ها می شود. پروژه جایگزینی آب بند روغنی با آب بند گازی در کمپرسورهای واحد آیزوماکس و تبدیل کاتالیستی که موجب کاهش روغن آب بندی مصرفی، کاهش مصرف انرژی در کمپرسورهای مربوط و کاهش هزینه های تعمیرات و نگهداری می گردد.

#### ب) پروژه بهینه سازی انرژی کوره ها [۸]

یک نمونه از تجهیزات که در صنایع به خصوص صنعت نفت و گاز دارای اهمیت ویژه ای است کوره می باشد. بیشتر کوره ها تا دهه ۶۰ میلادی فقط دارای بخش تشعشعی با راندمان حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد بودند ولی با افزایش قیمت سوخت روش هایی برای کاهش انرژی و افزایش راندمان کوره ها ارائه گردید و پس از آن کوره هایی با بخش جا به جایی ساخته شدند. با افزایش بیشتر قیمت سوخت و شدت گرفتن مقررات زیست محیطی تمهیدات بیشتری برای استفاده هر چه بیشتر از انرژی هدر رفتی صورت پذیرفت که با این تغییرات در حال حاضر راندمان کوره ها به ۹۲ درصد نیز رسیده است.

روش هایی که برای کاهش مصرف انرژی در کوره ها ارائه گردیده عبارتند از:

کاهش افت از بدنه کوره : دو عامل قابل بررسی است، یکی کاهش دمای جداره که با بهبود کیفیت و همچنین ترمیم قسمت های آسیب دیده عایق و نسوز کوره حاصل می گردد و دیگری ضریب تشعشع کوره است که با جلوگیری از زنگ زدگی سطح کوره که سبب افزایش

ضریب صدور سطح می شود می توان آن را کاهش داد و این امر باعث کاهش افت بدنه کوره می گردد.

کاهش هوای اضافی : در محدوده دمای کوره حدوداً افزایش هر ۱۰ درصدی هوای اضافی باعث کاهش راندمان در حدود ۱/۵ درصد خواهد شد. از طرفی مقدار هوای اضافی برای گاز طبیعی کمتر از سوخت مایع است. با توجه به این موضوع برای یک ماده یکسان محفظه احتراق، گازی کردن کوره از هوای اضافی کاسته و مصرف انرژی را کاهش می دهد.

کاهش دمای گازهای خروجی از دودکش: کاهش هر ۲۰ درجه دمای دودکش یک درصد راندمان کوره را افزایش می دهد. لیکن در کاهش دمای دودکش بایستی به نقطه شبنم اسید سولفوریک موجود در گازهای خروجی نیز توجه شود.

استفاده از انرژی گازهای داغ خروجی از کوره : بهترین و ساده ترین راه، استفاده از انرژی گازهای داغ خروجی جهت پیش گرمایش هوای احتراق است. مورد دیگر کاربرد آن تولید بخار است.

#### ج: کاهش مصرف انرژی در سیستم بخار [۹]

در بسیاری از تاسیسات صنعتی، سیستم بخار بزرگترین مصرف کننده انرژی می باشد. برنامه های مدیریت انرژی در سیستم های بخار با ارزیابی بازدهی سیستم بخار فعلی شروع شده و با اجرای راهکارهای صرفه جویی انرژی ادامه می یابد. راهکارهای صرفه جویی انرژی در سیستم بخار عبارتند از:

- ۱- کار کردن در پایتترین فشار یا دمای عملکردی بویلر بر اساس تقاضای مورد نیاز
  - ۲- کارکردن در حداکثر بار سیستم جهت رسیدن به ماکزیمم بازدهی بویلر
  - ۳- تنظیم صحیح مشعل بویلر و تنظیم نسبت سوخت به هوا و کنترل درصد هوای اضافه
  - ۴- عایقکاری سطوح بدون عایق
  - ۵- تنظیم فشار بهینه داخل بویلر
  - ۶- نصب اکونومایزر
  - ۷- تمیز کردن سطوح کثیف در بویلر جهت بهبود انتقال حرارت
  - ۸- بازیافت حرارت اتلافی گازهای داغ خروجی جهت پیشگرم کردن هوای احتراق
- راه حل نهایی در سیستم بویلر، جایگزینی سیستم فعلی ناکارا با بویلر با بازدهی انرژی بالا می باشد.

در سیستم انتقال و توزیع بخار راهکارهای مهم صرفه جویی انرژی عبارتند از:

- ۱- استقرار سیستم تعمیرات و نگهداری تله های بخار
- ۲- شناسایی و برطرف نمودن نشتی های بخار و میعانات
- ۳- عایقکاری سطوح
- ۴- بهبود سیستم بازیافت میعانات
- ۵- کاهش فشار و دمای سیستم انتقال و توزیع بخار در صورت امکان
- ۶- کاهش طول سیستم لوله کشی
- ۷- نصب سیستمهای شبیه سازی و کنترلی

۸- انتخاب اندازه مناسب لوله ها در سیستم

۹- تخلیه هوای موجود در سیستم بخار

بررسی ها نشان می دهد، افزایش بازدهی بویلر، فلش میعانات به بخار LP ، بازیافت میعانات و افزایش عایقکاری سیستم لوله کشی و تجهیزات بیشترین تاثیر مثبت را در کاهش هزینه های انرژی دارند . تغییر شرایط بخار سوپرهیت منجر به افزایش هزینه های انرژی و به تبع آن سایر پارامترها می شود که دلیل آن افزایش سوخت مصرفی در بویلر جهت تامین بخار مورد نیاز می باشد. همچنین فلش میعانات به بخار LP بیشترین تاثیر را در کاهش نرخ بخار بویلر و بازیافت میعانات بیشترین تاثیر را در کاهش نرخ آب ورودی به سیستم دارد

## **۲-۱-۴- راه های اقلان انرژی**

### **۲-۱-۴-۱- گاز خروجی از دودکش**

بزرگترین منبع هدر رفت انرژی در بویلرهای متداول که از سوخت زغال سنگ استفاده می کنند انرژی همراه گازهای خروجی از دودکش می باشد. این اتلاف می تواند تا ۳۰٪ سوخت مصرفی در شرایط بسیار نامطلوب برسد. گرمای اتلافی از این طریق به سه راه زیر اندازه گیری می شود:

۱- گرمای هدر رفته همراه گاز خشک

۲- گرمای هدر رفته در اثر رطوبت موجود در سوخت

### ۳- اتلافات حاصل از سوختن هیدروژن در سوخت و تولید بخار آب

میزان این اتلاف انرژی به دما و حجم گازهای خروجی بویلر بستگی دارد. بنابراین کاهش هریک از این متغیرها میزان گرمای اتلافی را کاهش خواهد داد. محدوده عملی دمای گاز خروجی از دودکش ۳۰۰ درجه فارنهایت می باشد. که بسته به نوع سوخت متغیر است. دمای پایین تر از این حد میتواند بخارات اسید سولفوریک همراه گاز را روی سطح سرد دیواره مایع نماید و باعث خوردگی شدید گردد. بعضی از اتلافات دودکش اجتناب ناپذیر است، اما جهت جلوگیری از هدر رفتن کامل گرما باید دمای گازهای خروجی را تا دمای محیط اطراف پایین آورد، که عملاً ناممکن است سه استراژی پایه ای جهت کاهش اتلاف انرژی از دودکش به قرار زیر است.

#### ۱- حداقل سازی درصد هوای اضافی

#### ۲- تمیز نگهداشتن سطوح انتقال حرارت

افزایش تجهیزات بازیافت حرارت از گازهای خروجی در حالی که کلیه راههای نفوذ هوا به بویلر کاملاً گرفته شده است. با کاهش هوای اضافی حجم گازهای خروجی از دودکش کم می شود و بنابراین دمای این گازها نیز بدلیل کاهش سرعت حرکت آنها و زمان ماند بیشتر جهت انتقال حرارت کاهش می یابد. از نظر اقتصادی جذاب است. بر اساس یک قانون سر انگشتی راندمان کوره به ازاء کاهش ۱۵٪ هوای اضافی یک درصد افزایش می یابد. همچنین این افزایش معادل ۳/۱ درصد کاهش اکسیژن و ۴۰ درجه فارنهایت کاهش دمای گاز خروجی از دودکش می باشد. تمیز نگه داشتن سطوح انتقال حرارت در داخل لوله ها قویاً

به تصفیه آب بستگی دارد. نشست خاکستر روی دیواره لوله های آب پیش گرمکن<sup>۱</sup> و داخل تیوب های<sup>۲</sup> بویلر و رسوب ناخالصی های روی دیواره طرف آب لوله ها مانند یک عایق حرارتی عمل نموده و جذب حرارت از گازهای خروجی توسط آب بویلر را کاهش می دهد. قابل پیش بینی است که دمای گازهای خروجی بالاتر از مقداری که باید باشد و راندمان آن کمتر است Fouling و slogging با استفاده مناسب از دودپاک کن<sup>۳</sup> روی هوای احتراق و اضافی قابل کنترل می باشد. نشست رسوبات با تصفیه کامل آب ورودی و استفاده مناسب از تخلیه<sup>۴</sup> قابل کنترل است.

#### **۲-۱-۴-۲- گرمای تشعشی**

قسمتی از گرمای احتراق از طریق دیواره های کوره بدون اینکه جذب آب بویلر گردد فرار می کند. مقداری از این هدرروی اجتناب ناپذیر است. با تکنیکهای عایق بندی مناسب و تعمیرات لایه های عایق اتلاف حرارت از این طریق را می توان کنترل نمود. برای اطلاعات بیشتر که در تعمیر عایقها باید نگران چه بود گرمای هدر رفته از یک بویلر عایق بندی شده مناسب وقتی با بار کامل کار می کند.

#### **۲-۱-۴-۳- تخلیه**

هدر رفت گرما به طرق دیگر نیز وجود دارد ولی معمولاً کم است. بجز تخلیه<sup>۵</sup> مقداری تخلیه جهت جلوگیری از تجمع جامدات معلق در آب بویلر مورد نیاز است اما چون این جامدات گرما جذب نموده اند تخلیه اضافی باعث اتلاف گرما می شود زیرا انرژی جذب

---

<sup>۱</sup> . slagging  
<sup>۲</sup> . fouling  
<sup>۳</sup> . blower soot  
<sup>۴</sup> . down blow

<sup>۵</sup> . down blow

شده دور ریخته می شود. بعنوان یک مبنا ساده یک سیستم بازیافت گرما در تخلیه مداوم برای بویلرهایی که حداقل 500 hr/lbs تخلیه می نمایند می تواند این مقدار اتلاف را کاهش دهد.

## ۲-۱-۴-۴- کنترلها

از سال ۱۹۵۰ به بعد گام‌های بلندی در خصوص تکنولوژی کنترل دیگ‌های بخار انجام پذیرفته است و پیشرفت قابل توجهی در خصوص بهره برداری بویلرها و راندمان آن بدست آمده است. مالکان و مدیران به صورت گسترده ای سیستم های کنترل قدیمی پنوماتیک و برقی آنالوگ را با سیستم های دیجیتال، کامپیوتری و سیستم های کنترل گسترده DCS تعویض نموده اند همچنین در فرایندها آموخته شده است که می توانند طول زمان کارکرد بویلرها را افزایش داد. پیشرفت های اخیر به دلیل تغییر استراتژی های کنترلی بر پایه تغییرات نرم افزاری از تغییرات طاقت فرسا سخت افزاری بهره برداران در زمان قدیم می باشد. دیگر مزیت های سیستم کنترل نرم افزاری قابل اعتماد بودن آنها می باشد. انواع کامپیوترها مورد استفاده ذاتاً خود-شناخت می باشند و گستردگی مدل‌های کنترل که با کامپیوتر کار می کنند اجازه می دهد هر مدلی خود را در یک فرکانس مشخص چک کند. خطاها به راحتی ایزوله می گردند و عکس العمل‌های درست به طور خودکار انجام می گردد. در حقیقت سیستم کنترل در عمل خود را بازبینی می نماید. از زمان معرفی سیستم‌های کنترل پایه کامپیوتری در سال ۱۹۷۰ با واکنشگرهای بزرگتر جایگزین سیستم های قدیمی به صورت پیوسته گشته اند. یک دلیل برای این همگرایی کمیاب شدن قطعات سیستم های قدیمی و نیروی انسانی

آشنا به سرویس سیستم های کنترل قدیمی با پایه پنوماتیک یا آنولوگ می باشد. همچنین دلایل دیگری نیز وجود دارد.

## **۲-۱-۴-۵- بازیافت گرما**

تجهیزات بازیافت حرارتی انواع مختلفی از مبدل های حرارتی را شامل می شوند که در جایی که می توانند گرما را از گازهای احتراق بعد از عبور از سوپر هیترها و تولید کننده بخار در بویلر جذب نمایند قرار می گیرند.

## **۲-۱-۴-۶- گرمکن اولیه**

پیش گرمکن به بهبود راندمان بویلر بوسیله جذب گرما از گازهای خروجی که از سوپر هیتر های نهایی بویلر خارج می شوند، کمک می کند. گرما به آب ورودی انتقال می یابد که در دمای خیلی پایین تر از دمای بخار اشباع وارد می گردد. اکونومایزر یک سری قطعات لوله ای افقی است و می تواند لوله های ساده یا از نوع سطح گسترده مانند فین تیوب ها باشد. تیوب های ساده معمولاً شامل اندازه های متغیر می باشند که می توانند به صورت مارپیچی یا دارای حلقه های چندتایی باشند. لوله هایی که سطوح انتقال حرارت را تشکیل می دهند معمولاً از کربن استیل ساخته شده اند زیرا استیل حتی در حضور غلظت پایین اکسیژن خورده می شود. آب باید عملاً صد در صد از هوا عاری باشد. در نیروگاه های مرکزی و دیگر واحدهای بزرگ استفاده از هوا زدا جهت گرفتن اکسیژن مرسوم است. بویلرهای کوچک با فشار پایین ممکن است پیش گرمکن هایی از جنس چدن که مستعد خوردگی نیستند استفاده شود.



## ۲-۱-۴-۷- گرمکن هوا

گرمکن ها ی هوا گازه‌ای خروجی را قبل از اینکه به اتمسفر وارد شوند سرد می کنند، راندمان سوخت را افزایش می دهند و دمای ورودی هوای احتراق را افزایش می دهند. در بویلرهای صنعتی کم فشار گازی یا نفتی گرمکن شبیه سردکننده گاز عمل می کند که نیاز به پیش گرم کردن نفت یا گاز برای سوختن ندارد. کوره های با سوخت زغال سنگ پودر شده نیاز به استفاده گرم کن هوا یا پیش گرم کن جهت تبخیر رطوبت در زغال سنگ قبل از جرقه زدن را دارد. این هوای گرم همچنین جهت حمل سوخت پودر به کوره استفاده می گردد. بویلرهای با سوخت زغال stoker نیاز به هوای پیش گرم ندارند تا زمانی که درصد رطوبت زغال سنگ از ۲۵٪ بیشتر شود. خوردگی بزرگترین مشکل همراه با بهره برداری از گرم کن هوا به صورت کارا می باشد. سولفور موجود در سوخت، رطوبت همراه گازها و نوع سوخت همگی یک نقش در خوردگی دارند. در حالیکه طراحی خوب اغلب می تواند خوردگی را کاهش یا از آن جلوگیری نماید. تکنیکهای تغییراتی مشخص اغلب جهت بهره برداری با راندمان بالا از گرم کن هوا استفاده می شود که شامل دود زدایی و شستشوی با آب می باشد.

## ۲-۱-۵- سیستم‌های تولید بخار

تولید بخار از جمله اصلی ترین و ابتدایی ترین وظایف اکثر سیستم های بویلر می باشد. از آنجائی که ۴۰-۶۰ درصد از کل انرژی برای تولید بخار در بویلرهای با سوخت مستقیم با بازیافت حرارت اتلافی مصرف می شود. با کارکرد مؤثر و تعمیرات روتین و مناسب بویلرها می توان پتانسیل عظیمی از ذخیره انرژی را بدست آورد. به عنوان مثال در صورت نبودن

برنامه روتین و منظم تعمیرات معمولاً دیده می شود که حدود ۲۰-۱۵ (درصد تله بخارها)<sup>۶</sup> درست عمل نمی کنند. از دیگر طرق اتلاف انرژی نشت بخار می باشد که فرایند تولید بخار را حدود ۳-۵ درصد کاهش می دهد. عایق بندی نامناسب می تواند سبب ۵-۱۰ درصد اتلاف بخار در زمان های بارش های طوفانی<sup>۷</sup> شود چون عایق مرطوب شده در نتیجه عملکرد آن کاهش می یابد. رسوب در توربین ها و مبدل های حرارتی می تواند باعث شود بیشتر از ۲۵ درصد اتلاف راندمان رخ دهد. در بحث پیرامون سیستم های بخار، بسیاری از موضوعات مربوط به دستورالعمل بهره برداری و تعمیرات با یکدیگر هم پوشانی دارند. برای مثال، در تصفیه آب : اضافه نمودن آمین ها برای بالا نگه داشتن PH آب کندانس (آب مقطر) و جلوگیری از حمله اسید را مورد بحث قرار می دهد. این موضوع در ارتباط با خوردگی در تله های بخار<sup>۸</sup> است که یکی از مشکلات خاص خوردگی سطح در سیستم های بخار می باشد. گذشته از کاربرد بخار در بسیاری فرایندهای صنعتی، در تولید الکتریسیته و همچنین برای به حرکت درآوردن پمپها و کمپرسورها و برای جلوگیری از یخ زدگی تجهیزات در زمستان از آن استفاده می گردد. بهره برداری از سیستم بخار بدلیل تولید و گستردگی کاربرد در فشارهای مختلف پیچیده می باشد.

## ۲-۲- پیشینه تحقیق

محمد خواجه و درویشی در سال ۱۳۹۴، به بررسی در حوزه تخصصی انرژی در صنایع پتروشیمی همکاری کرده اند ، که در مورد شیوه های صرفه جویی در انرژی و فن آوری

---

<sup>۶</sup> . trap steam

<sup>۷</sup> . rainstorm

<sup>۸</sup> . trap steam

های کار آمد انرژی می باشد که می تواند دراجزا فرآیند، تاسیسات و سطوح سازمانی پیاده گردد. در این مقاله سعی بر آنست تا با ارائه راهکارهای فرایندی جهت استفاده از انرژی اتلافی دیواره کوره ۴۰۱ واحد الفین پتروشیمی آبادان از هدر رفت مقدار Kcal/ day 36802771 انرژی که معادل ۲۶/۷ بشکه نفت در روز می باشد جلوگیری شود [۱۰].

توانی و طباطبایی، سعی بر آنست تا با ارائه راهکارهای فرایندی جهت استفاده از انرژی اتلافی دیواره کوره بویلر ۲۰۰۱ واحد ۲۰۰ پتروشیمی آبادان از هدر رفت مقدار ۵۶۱۲۹۴۷ کیلو کالری انرژی معادل ۴ بشکه نفت در روز می باشد جلوگیری شود [۱۱].

جعفرنیا و احمدی در سال ۱۳۹۰، در این مقاله جنبه های تئوری، فنی و عملی اجرای سیستم کنترل خودکار میزان هوای اضافی مورد بحث قرار گرفته و پس از تعیین نیازمندی های اجرای آن تحلیل اقتصادی آن نیز ارائه گردیده است. اجرای این سیستم نه تنها سهولت راهبری تجهیزات را فراهم می نماید بلکه باعث کاهش قابل توجه مصرف انرژی و کاهش انتشار آلاینده ها می شود. جالب توجه است هزینه های مورد نیاز در کمتر از ۶ ماه با صرفه جویی ایجاد شده در سوخت مصرفی بازیافت می شود [۱۲].

ناصر و نعمتی در سال ۱۳۹۴، در این مقاله پس از اینکه مبدل های پیش گرمکن و انواع آن به اختصار مورد بررسی قرار می گیرد، با استفاده از آنالیز گازهای خروجی از کوره ۱۰۱ واحد کراکینگ پتروشیمی مروارید طراحی و شبیه سازی مبدل پیش گرمکن حرارتی جهت کوره مذکور صورت می پذیرد. طراحی با استفاده از محاسبات ریاضی و بر مبنای قوانین انتقال حرارت در مبدل های حرارتی و نیز بهره گیری از استانداردهای جهانی موجود استاندارد

( TEMA ) ، قابل اجرا می باشد و شبیه سازی نیز با بکارگیری نرم افزار ASPEN EDR

که از زیر مجموعه های ASPEN HTFS+ است، صورت می پذیرد. نتایج حاصل از طراحی و شبیه سازی در جداولی جداگانه تهیه و ارائه گردیده است که امکان مقایسه آن ها را نیز فراهم می سازد [۱۳].

شعبانی و همکاران در سال ۱۳۹۲، در این مقاله پس از اینکه رکوپراتورهای حرارتی و انواع آن به اختصار مورد بررسی قرار می گیرد، با استفاده از آنالیز گازهای خروجی از کوره

H-101 پالایشگاه تهران طراحی و شبیه سازی رکوپراتورهای حرارتی جهت کوره مذکور صورت می پذیرد. طراحی با استفاده از محاسبات ریاضی و بر مبنای قوانین انتقال حرارت در مبدل های حرارتی و نیز بهره گیری از استانداردهای جهانی موجود ( استاندارد TEMA ) ، قابل اجرا می باشد و شبیه سازی نیز با بکارگیری نرم افزار ASPEN EDR که از زیر مجموعه های ASPEN HTFS+ است، صورت می پذیرد. نتایج حاصل از طراحی و شبیه سازی در جداولی جداگانه تهیه و ارائه گردیده است که امکان مقایسه آن ها را نیز فراهم می سازد [۱۴].

عسکری در این مقاله در ابتدا به انواع روشهای بهینه سازی انرژی اشاره گردیده است. در ادامه روشهای کاهش مصرف انرژی به صورت طبقه بندی شده ارائه گردیده و برای هر یک از موارد مثالهایی در صنعت نفت و گاز آورده شده است. در انتها به منظور درک بهتر و عملیاتی موضوع، چگونگی بهینه سازی مصرف انرژی چند نمونه تجهیزاتی که در صنعت کاربرد زیادی دارند و انرژی زیادی مصرف می کنند مطرح گردیده است [۱۵].

جاودان در این مقاله نشان داده می شود که با اجرای این راهکار جهت حذف کوره گرمایش روغن علاوه بر کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری کوره معادل ۷۰۵ کیلوگرم بر ساعت در مصرف سوخت صرف هجویی خواهد شد. پروژه از میزان IRR معادل ۳۷ درصد و زمان بازگشت سرمایه ای معادل ۲ سال برخوردار خواهد بود [۱۶].

حاجی زاده و همکاران در سال ۱۳۸۶، سعی شده است کلیه راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در کلیه دستگاه های انرژی بر کارخانه که هم مصرف انرژی الکتریکی و هم سوخت های فسیلی دارند بطور خلاصه ارائه گردد [۱۷].

## فصل سوم: روش اجرای پژوهش

### ۳-۱- مقدمه

در سالهای اخیر روند رو به رشد مصرف انرژی، پدیده بحران انرژی را در جهان به وجود آورده است. مصرف روز افزون انرژی حاصل از سوختهای فسیلی اگرچه رشد اقتصادی جوامع مختلف را به همراه داشته است اما به واسطه انتشار آلاینده های حاصل از احتراق سوختهای فسیلی در افزایش دی اکسید کربن در اتمسفر و پیامدهای ناشی از آن، جهان را با تهدیدهای جدی روبرو ساخته است. از دیگر سو محدودیت منابع فسیلی، غیر قابل تجدید پذیر بودن این منابع، و پیش بینی افزایش قیمت ها، موجب گردیده است تا سیاست گذاران و برنامه ریزان بخش انرژی حرکت به سوی سوختهای پاک و بهینه سازی انرژی های اتلافی و ... را در رؤس برنامه های کاری خود قرار دهند. کوره ها در فرآیندهای مختلف صنعت از مهمترین مصرف کننده های انرژی هستند لذا رو شهای بهینه سازی انرژی و بازیافت آن و صرفه جویی در مصرف سوخت در اولویت میا شد. "کیفیت حرارت" در کنار کمیت انرژی موجود در جریان خروجی، یکی از متغیرهای اصلی تأثیرگذار روی میزان توجیه پذیری اقتصادی طرح های بازیافت و بهینه سازی حرارت نیز می باشد. کاهش هزینه های انرژی مصرفی به طور مستقیم و کاهش آلودگیهای زیست محیطی، اندازه تجهیزات و مصرف انرژی تجهیزات جانبی همگی از مزایای غیرمستقیم بازیافت حرارت از جریان های خروجی می باشد. حتی در برخی از کاربردها، بازیافت حرارت از جریانهای خروجی منجر به افزایش ظرفیت تولید در واحد صنعتی می شود. سیستمهای Energy Loss Optimization امروزه

در صنعت بسیار بکار گرفته شده است مخصوصا در صنایع سیمان، کوره های آجر پزی، سرامیک و .... که ما برآن شدیم از انرژی های اتلافی یکی از کوره های رنگ سایپا به صورت نمونه که به مقدار قابل توجهی انرژی به صورت بالاستفاده به اتمسفر هدایت میکند استفاده بهینه کرده باشیم تا بتوانیم با این انرژی هدر رفت، مقدار زیادی آب گرم ۶۰ درجه تولید کرده که در شرکت مورد استفاده قرار گیرد ( نحوه استفاده توضیح داده خواهد شد ) و به همان اندازه موتورخانه و بویلرهای شرکت از زیر بار خارج شده و باعث کاهش مصرف انرژی، و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای گردیم، که در ذیل به صورت آماری و شبیه سازی شده و دیتا برداری از روی یکی از کوره ها، عملیات به تفصیل شرح داده خواهد شد. در ابتدا توضیح مختصری از مبدل مربوطه داده میشود که به قرار زیر میباشد.

### **مبدل های حرارتی پوسته و لوله**

مبدل های پوسته و لوله، از لوله های با مقطع دایره ای که در پوسته های استوانه ای بزرگ نصب شده اند، ساخته می شوند به طوری که محور لوله ها موازی با محور پوسته است. این مبدل ها به صورت وسیعی به عنوان خنک کن های روغن، چگالنده ها و پیش گرمکن ها در نیروگاه ها، و به عنوان مولدهای بخار در نیروگاه های هسته ای و در کاربرد های صنایع فرآیندی و شیمیایی استفاده می شوند. در مبدل های دارای بافل ( تیغه ها و صفحات هدایت کننده جریان )، جریان سمت پوسته به صورت متقاطع با لوله ها در بین دو بافل مجاور جهت داده می شود و در حالیکه از فاصله مابین دو بافل به فاصله بعدی منتقل می شود، موازی با لوله ها، جهت می یابد. بسته به کاربرد مبدل های حرارتی پوسته و لوله، تفاوت زیادی در شکل و ساختمان آنها وجود دارد. اهداف اصلی طراحی در این مبدل ها، در نظر گرفتن

انبساط حرارتی پوسته و لوله ها ، تمیز کردن آسان مجموعه ، و در صورت با اهمیت نبودن سایر جنبه ها ، کم هزینه ترین روش ساخت و تولید آنهاست. در مبدل های حرارتی پوسته و لوله با صفحه لوله های ثابت ( Fixed tube sheet ) ، پوسته به صفحه لوله جوش داده شده است و هیچ گونه دسترسی به خارج از دسته لوله ، برای تمیز کاری وجود ندارد. این انتخاب کم هزینه و دارای انبساط گرمایی محدود است که می تواند اندکی توسط فانوسی های انبساط ، افزایش یابد. در این نوع از مبدلها ، تمیز کردن لوله ها ، ساده است. مبدل های حرارتی پوسته و لوله با دسته لوله U شکل دارای کم هزینه ترین ساختار است ، زیرا در آن فقط به یک صفحه لوله نیاز است. سطح داخلی لوله ها به دلیل خم U شکل تند ، نمیتواند با وسایل مکانیکی تمیز شود. در این مبدل ها تعداد زوجی از گذرهای لوله به کار می رود ولی محدودیتی از نظر انبساط گرمایی وجود ندارد. آرایش های مختلف جریان در سمت پوسته و لوله ، بسته به ظرفیت گرمایی ، افت فشار ، سطح فشار ، تشکیل رسوب ، شیوه های ساخت و هزینه بری ، کنترل خوردگی و مسائل تمیز کاری ، استفاده می شوند. بافل ها برای افزایش ضریب انتقال حرارت در سمت پوسته و برای نگه داشتن لوله ها استفاده میگردند. مبدل های پوسته و لوله ، بر حسب نیاز ، برای هر ظرفیت و شرایط کارکرد ، طراحی می شوند. این مشخصه مبدل های پوسته و لوله ، متفاوت با بسیاری از انواع دیگر مبدل ها می باشد.



جدول (۳-۱) دیتا واقعی از یکی از اگزاست کوره های شرکت سایپا

ردیف	تاریخ نمونه برداری	محل نمونه برداری	نام دستگاه	سنجش گاز های خروجی از دودکش (منابع ثابت) شرکت سایپا													
				Fuel	Tg	Ta	Vg	DK	EFFG	E.AIR	SO2	NOx	NO	NO2	CO	CO2	O2
				°C	°C	m/s	Cm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%		
۷	۹۶/۰۸/۳۰	خروجی کوره زیاده سوز شماره ۱۳ واحد UBS قسمت رنگ ۲	Testo	گاز	۲۹۳	۲۲/۸	۵/۹	۸۰	۲۸/۱	۶۴۸	۰	۴۹	۴۷	۲	۲۴	۱/۵۹	۱۸/۱۹
	غلظت تصحیح شد									۰	۲۴۵	۲۳۰	۱۵	۱۰۹	-	-	
ارتفاع دودکش از محل ورود گاز ها: ۱۲م      ارتفاع محل نمونه برداری از محل ورود گاز ها: ۸م																	

### ۳-۲ - معادلات حاکم

در این پژوهش با توجه به اهمیت محاسبات و حجم و دقت آن از معادلات مختلف و کاربردی استفاده شده است که رابطه (۳-۱) فرآیندهای حرارتی پیوسته، انرژی جریان گازهای خروجی می باشد:

$$Q = V A D C \Delta T \quad (۳-۱)$$

Q: انرژی جریان گازهای خروجی بر حسب کیلو ژول بر ساعت

V: سرعت متوسط گاز خروجی بر حسب متر بر ثانیه که از دیتا برداری در چند نقطه به دست آمده است.

A: سطح مقطع دودکش بر حسب متر مربع

D: چگالی گاز بر حسب کیلو گرم متر مکعب

C: گرمای ویژه بر حسب کیلو ژول بر کیلو گرم درجه سانتیگراد

$\Delta T$ : اختلاف دما بر حسب سانتی گراد

لازم به ذکر است که سرعت 5.9 متر بر ثانیه سرعت ماکزیمم میباشد که ما سرعت متوسط را

نیاز داریم و پس از دیتا برداری از چند نقطه و به دست آوردن برآیند آنها سرعت متوسط را 5

متر بر ثانیه در نظر میگیریم.

گرمای محسوس ناشی از خروج گاز های داغ از دودکش

$$Q = mc_p \Delta T \quad (2-3)$$

$m$ : دبی جرمی محصولات بر حسب کیلو گرم بر ثانیه

$c_p$ : گرمای ویژه آب بر حسب ژول بر کیلوگرم درجه سانتی گراد

قانون اول ترمودینامیک

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \quad (3-3)$$

$\Delta U$ : تغییرات انرژی

$\Delta Q$ : نرخ تغییرات تبادل حرارتی

$\Delta W$ : نرخ تغییرات کار انجام شده

راندمان احتراق در دودکش کوره

$$E_{ff} = 89.4 - (0.001123 + 0.0195 \times E.A)(T_g - T_a) \quad (4-3)$$

$$E.A = 1 + \frac{E \times A}{100}$$

$E.A$ : فاکتور هوای اضافی

$T_g$ : دمای دود خروجی از دودکش

$T_a$ : دمای نسبی محیط

تلفات حرارتی آب در گردش کوره

$$Q = MC(T_a - T_b) \quad (5-3)$$

$Q$ : نرخ تلفات حرارتی

$M$ : متوسط دبی جرمی آب مصرفی

$C$ : گرمای ویژه آب

$T_a$ : دمای خروجی آب در گردش

$T_b$ : دمای ورودی آب در گردش

پس از انجام محاسبات انرژی اتلافي برابر است با

$$Q = 9000 \frac{m^3}{h} \times 0.4 \frac{kg}{m^3} \times 1 \frac{kJ}{kg^\circ C} \times 270 = 270000 \frac{J}{s}$$

حرارت قابل بازیافت پس از کسر دمای نقطه شبنم

$$Q = 9000 \frac{m^3}{h} \times 0.4 \frac{kg}{m^3} \times 1 \frac{kJ}{kgc^\circ} \times 160 = 160000 J/s$$

که با این مقدار انرژی نرخ آب ۶۰ درجه بدست خواهد آمد .

$$Q = mc_p \Delta T$$

$$m : \text{دبی جرمی آب گرم } 60 \text{ درجه سانتیگراد برابر است با } 3.42 \frac{m^3}{h}$$

### ۳-۳- مدل سازی و شبیه سازی فرآیند

شبیه سازی با مدل سازی ریاضی در واقع تبدیل کیفیت های فیزیکی و رابطه ی متقابل این کیفیت ها به کمیت های عددی و ریاضی است. بدین ترتیب یک مدل ریاضی شامل متغیر ها و مجموع معادلات وابسته به آن هاست که می تواند تاثیر متقابل این متغیرها را همان طور که در دنیای واقعی اتفاق می افتد را نشان دهند. از این رو یک معادله ی ریاضی یک وسیله ی بسیار مناسبی درست , دست تحلیل گری است که با توسل به آن می تواند رفتار یک سیستم را پیش از اعمال واقعی تغییرات پیش بینی کند . این خاصیت بخصوص در مورد سیستم هایی

که امکان اعمال واقعی تغییرات در آن هامحدود است. به طور کلی در شبیه سازی یک فرایند مهم ترین قسمت انتخاب مدل های خواص فیزیکی برای پیش بینی خواص فیزیکی و ترمو دینامیکی سیستم است . زیرا خواص فیزیکی در محاسبات مربوط به تمامی مدل های توصیف کننده سیستم دخالت دارند و هر نوع خطای احتمالی در انتخاب مدل مناسب بر هر خاصیت فیزیکی موجب بروز خطا در نتایج کل سیستم خواهد شد . در این میان مهم ترین خواص مورد نیاز برای انجام محاسبات اصلی بر اساس یک معادله حالت بدست می آید .

### **۳-۴- مدل سازی فرآیند**

منظور از مدل سازی فرآیند توصیف ماهیت سیستم تولید در قالب معادلات ریاضی است. این نوع معادلات عموماً غیر خطی و به شکل معادلات جبری، دیفرانسیلی یا مخلوط آن هاست که این معادلات همگی به صورت اطلاعات کتابخانه ای در نرم افزار شبیه سازی ذخیره شده اند که از کنار هم قرار دادن این معادلات ، مدلی از فرایند ساخته می شود.

### **۳-۵- شبیه سازی فرآیند**

منظور از شبیه سازی فرآیند یعنی بدست آوردن اطلاعات خروجی از طریق حل معادلات بر اساس اطلاعات ورودی و اطلاعات مربوط به دستگاهای فرآیندی است

### ۳-۶- معرفی نرم افزار ASPEN

در سال 1972 تعدادی از دانشجویان دانشگاه MIT اقدام به نوشتن برنامه ی کامپیوتری برای شبیه سازی فرآیندهای شیمیایی کردند. با گذشت زمان و موفقیت هایی که در این زمینه حاصل شد در سال 1982 اقدام به پایه گذاری شرکت ASPEN TECH نمودند. در حال حاضر این شرکت بزرگترین شرکت فعال شبیه سازی فرآیندهای شیمیایی در جهان است. نرم افزار ASPEN جز کاملترین و قوی ترین مجموعه های نرم افزاری شبیه سازی است . بسته نرم افزاری ASPEN EDR از مهم ترین بسته های مستقل این مجموعه می باشد و به عنوان پایه ی سایر بسته های ASPEN استفاده می گردد. بدین معنی که می توان شبیه سازی دقیق تر و تخصصی فرآیندهای مختلف از قبیل ستون های تقطیر، مبدل های حرارتی، راکتورها و... را در داخل بسته های مربوطه انجام داده و نتایج حاصله را در ASPEN EDR جایگزین نمود.

### آشنایی با نرم افزار ASPEN EDR

نرم افزار ASPEN EDR برنامه ای برای طراحی ، ارزیابی ، و شبیه سازی مبدل های پوسته و لوله در کلیه کاربردهای صنعتی نظیر انتقال حرارت بدون تغییر فاز ، میعان و تبخیر می باشد.

۱- در حالت طراحی ( Design Mode ) ، نرم افزار مبدل حرارتی بهینه را با بار حرارتی مشخص و با در نظر گرفتن محدوده های افت فشار مجاز ، سرعت ، قطر پوسته ، طول لوله و دیگر محدودیت هایی مشخص شده ، طراحی می نماید.

۲- در حالت ارزیابی ( Rating Mode ) ، نرم افزار کارآیی یک مبدل موجود (ساخته شده ) را در شرایط عملیاتی مورد نظر بررسی می کند. در این حالت نرم افزار مشخص می کند که آیا سطح انتقال حرارت موجود در شرایط مورد نظر اهداف را برآورده می سازد یا خیر.

۳- در حالت شبیه سازی ( Simulation Mode ) ، نرم افزار با مشخص کردن ساختار مبدل و شرایط ورودی ها ، شرایط جریان های خروجی را پیش بینی می کند.

نرم افزار ASPEN EDR دارای بانک اطلاعاتی وسیعی است که می توان از اطلاعات آن به عنوان پیش فرض استفاده نموده و بدین طریق امکان راحتی با حداقل داده های ورودی را فراهم ساخت. برای حالت پیچیده که همراه با تغییر فاز در سیال خروجی است ( میعان و یا تبخیر ) ، برنامه نیاز به داده های تعادلی بخار - مایع و خواص ترموفیزیکی در گستره دمای عملیاتی دارد که به دو طریق می توان این نیاز را برآورده ساخت :

۱- به طور مستقیم توسط طراح وارد شود

۲- نرم افزار به صورت خودکار داده های تعادلی مایع و بخار را محاسبه کند

نرم افزار قادر به طراحی مکانیکی اولیه برای مشخص کردن ضخامت پوسته و کلگی ها می باشد. همچنین ضخامت صفحه لوله را به صورت تخمینی معین می کند . برنامه ASPEN EDR برآوردی از هزینه ساخت و هزینه تغییرات طراحی را نیز ارائه می دهد. نرم افزار ASPEN EDR یک برنامه هوشمند است به این معنی که امکان ارزیابی تغییرات طراحی را



در حین اجرای برنامه فراهم کرده و طراح را در وارد کردن داده های ورودی ، محاسبات ، نمایش نتایج ، تغییرات طراحی و پرینت خروجی های مورد نظر ، راهنمایی می نماید.

### نحوه کار نرم افزار در حالت طراحی

نرم افزار EDR در حالت طراحی به جستجوی ساختارهای مناسبی برای مبدل می پردازد تا شرایط عملیاتی مورد انتظار را فراهم کند. در این جستجو نرم افزار از برخی متغیرهای هندسی به عنوان متغیرهای تصمیم گیری استفاده می نماید. در نهایت آنچه نرم افزار به عنوان نتیجه نهائی ارائه می دهد مجموعه ای از مبدل ها با ساختارهای متفاوت است که هر یک از آنها می تواند شرایط عملیاتی مورد نیاز را پوشش دهد ( نرم افزار به طور اتوماتیک مبدلی با هزینه کم را به عنوان یکی از نتایج گزارش میدهد ). لذا در این میان وظیفه طراح میباشد که با استفاده از علم مهندسی خود مبدل خاصی را به عنوان بهترین مبدل انتخاب کند.

نرم افزار موارد زیر را در طراحی به عنوان تابع هدف در نظر می گیرد :

- سطح انتقال حرارت کافی برای بار حرارتی مورد نظر
- محدودیت افت فشار در دو بخش پوسته و لوله
- ابعاد امکان پذیر و معقول
- دامنه سرعت سیال قابل قبول برای دو بخش پوسته و لوله
- محدودیت های عملی ساخت

علاوه بر توابع هدف بالا ( که بهتر است گفته شود محدودیت ) ، نرم افزار EDR هزینه نهایی ساخت مبدل و همچنین وضعیت مبدل را از لحاظ لرزش ، برای تمامی مبدل هایی که در نهایت ارائه کرده است ، بعنوان یکی از نتایج ( بصورت مزایا و یا معایب ) اعلام می نماید. دانستن این نکته حائز اهمیت است که نرم افزار در انتخاب و ارائه مبدل هایی که برای شرایط عملیاتی مورد نظر پیشنهاد کرده است دو فاکتور بالا را دخالت نداده ، و این وظیفه بر عهده طراح می باشد. بنابراین نرم افزار EDR در جستجو ، تنها از برخی متغیرها که از فرآیند ، عملیات ، نگهداری و ملاحظات ساخت مستقل باشند ، بعنوان متغیرهای تصمیم گیری استفاده می نماید. در زیر لیست متغیرهای مذکور آورده شده است..

- قطر پوسته ( Shell diameter )
- فضای بین بافلها ( Baffle spacing )
- نوع آرایش مسیرها ( Pass layout type )
- طول لوله ( Tube length )
- تعداد بافلها ( Number of baffles )
- تعداد مبدل هایی که به باید طور موازی به کار گرفته شوند ( Exchangers in parallel )
- تعداد لوله ها ( Number of tubes )
- تعداد مسیرهای لوله ( Tube passes )
- تعداد مبدلهایی که باید به طور سری به کار گرفته شود ( Exchangers in series )

## بهینه سازی قطر پوسته

یکی از متغیرهای بسیار مهم در حالت طراحی ، قطر پوسته می باشد. برنامه بهینه سازی نرم افزار ، کوچکترین قطر لازم را برای تامین سطح مورد نیاز انتقال حرارت ، افت فشار مجاز پوسته و حداکثر سرعت مجاز سیال پوسته جستجو می کند. محدوده جستجو از مینیمم قطر شروع میشود و در صورت برآورده نشدن شرایط ، قطر با یک گام معینی افزایش خواهد یافت.

## بهینه سازی فاصله بافل ها

نرم افزار EDR ، مینیمم فاصله مرکز به مرکز بافل ها را طوری تعیین می کند که در آن حداکثر افت فشار مجاز و حداکثر سرعت مجاز پوسته رعایت شده و در عین حال با افزایش سرعت پوسته موجب افزایش ضریب فیلم حرارتی شود. افزایش سرعت سیال پوسته موجب کاهش جرم گرفتگی نیز خواهد شد ولی این مساله جزء متغیرهای بهینه سازی نمی باشد.

## بهینه سازی تعداد بافل ها

نرم افزار EDR ، ماکزیمم تعداد بافل هایی را که می توان بین مسیر دو نازل ورودی و خروجی پوسته قرار داد جستجو می نماید. از آنجا که موقعیت دقیق نازل های ورودی و خروجی را طراحی مکانیکی مشخص می کند ، نرم افزار با تخمین اولیه ضخامت صفحه لوله ها و هم چنین ضخامت رینگ فلنج ها ، تعداد مورد نیاز بافل ها را تعیین می نماید. مقدار عدد بدست آمده ، مجموع بافل ها و نگهدارنده ها می باشد.

## بهینه سازی طول لوله

در حالت طراحی، هر بار که قطر پوسته تغییر می کند، متناسب با آن کمترین طول لوله مطابق با استاندارد موجود انتخاب می گردد.

## بهینه سازی تعداد گذرهای لوله

نرم افزار، ماکزیمم تعداد مسیرهای لوله را طوری تعیین می کند که حداکثر فشار مجاز و حداکثر سرعت رعایت گردد. با افزایش تعداد مسیرهای لوله، سرعت در بخش لوله ها افزایش یافته و در نتیجه ضریب انتقال فیلمی داخل لوله ها افزایش می یابد. ماکزیمم تعداد مسیرهای لوله معمولاً تابعی از قطر پوسته و قطر خارجی لوله هاست. همچنین این متغیر می تواند تابعی از نوع سرویس بخش لوله ها و کلگی عقب باشد. به عنوان مثال برای کلگی نوع W تنها دو گذر لوله باید استفاده شود، همچنین برای کندانسورهایی که سیال، داخل لوله کندانس می گردد، حداکثر باید از دو گذر لوله استفاده کرد.

## بهینه سازی تعداد لوله ها

برنامه EDR، از یک برنامه جهت طراحی صفحه لوله استفاده می کند. با استفاده از این برنامه تعداد دقیق لوله محاسبه می گردد برنامه با تغییر آرایش مسیرهای لوله و انجام آنالیز آن، بیشترین تعداد لوله را در یک صفحه لوله طراحی می نماید.

## محاسبات نازل

در صورتی که قطر نازل ها به عنوان ورودی از طرف طراح وارد نگردد ، برنامه بر اساس ماکزیمم سرعت ، قطر نازل ها را تعیین خواهد نمود.

## کمترین سرعت سیال

اگرچه برنامه EDR مینیمم سرعت را به عنوان یک ورودی دریافت می کند ، اما این ورودی بطور مستقیم جزء محدودیت های بهینه سازی قرار نمی گیرد. از سوی دیگر برنامه با افزایش سرعت سیال ( نه بطور مستقیم - مثلاً با قرار دادن بافل بیشتر ) در محدوده افت فشار مجاز ، سعی در افزایش ضریب انتقال حرارت فیلمی و کاهش سطح مبدل دارد. نرم افزار ، ورودی طراح را برای سرعت مینیمم ( یا مقدار پیش فرض سرعت مینیمم ) با سرعت محاسبه شده مقایسه کرده و بعنوان هشدار چاپ می نماید.

## بیشترین سرعت سیال

دانستن حداکثر سرعت مجاز در داخل پوسته و لوله برای طراح بسیار مهم است. انتخاب صحیح ماکزیمم سرعت سیال برای قسمت پوسته ، از لرزش مبدل جلوگیری کرده و احتمال سایش و خستگی مکانیکی لوله ها را می کاهد. همچنین برای بخش لوله کار کردن زیر سرعت ماکزیمم موجب محدود شدن سایش لوله و کاهش فرسایش اتصالات لوله به صفحه لوله میشود. در صورتی که ماکزیمم سرعت به عنوان ورودی در اختیار نرم افزار قرار نگیرد ، یک مقدار پیش فرض که مستقل از جنس لوله است ، برای آن محاسبه می شود. همانطور که در بالا

اشاره شد ، متغیرهای دیگری نیز وجود دارند که بر روی طراحی مبدل تاثیر گذار می باشند اما در توابع هدف و محدودیت های مدل طراحی مبدل نقش ندارند و این وظیفه مهندس طراح است که با توجه به محدودیت های موجود و تجربیات شخصی خود این متغیرها را تعیین نماید ( لازم به ذکر است که برای این متغیرها نرم افزار معمولاً مقدار پیش فرضی را دارد). متغیرهای دیگر که تصمیم گیری در مورد آنها بر عهده طراح است عبارتند از : نوع پوسته ، قطر خارجی لوله ، نوع کلگی عقب ، گام و آرایش لوله ها ، اندازه نازل ، نوع لوله ، تعیین موقعیت مبدل، نوع صفحه لوله ، نوع بافل ، مواد ، برش بافل ، تخصیص سیال، ضخامت دیواره لوله

### محیط نرم افزار ASPEN EDR

در شاخه EDR دو زیر شاخه اصلی Input و Results وجود دارد که هر یک دارای زیر شاخه های مربوط به خود است. در شاخه Input ، نرم افزار اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی را از طراح دریافت خواهد نمود. این اطلاعات شامل موارد زیر است :

- تعریف مساله ( Problem Definition )
- اطلاعات خواص فیزیکی ( Physical property data )

- ساختار مبدل ( Exchanger Geometry )

- داده های طراحی ( Design data )

- تنظیمات برنامه ( Program Options )

### تعریف مساله ( Problem Definition )

اولین اطلاعاتی که لازم است در اختیار نرم افزار قرار گیرد تعریف مساله ای است که قرار است طراحی برای آن انجام گیرد. در شاخه تعریف مساله ، اطلاعات لازم در قالب سه فرم زیر دریافت می گردد :

- فرم توضیحات ( Description Form )

- فرم انتخاب نوع سیستم مورد مطالعه ( Application options Form )

- فرم داده های فرآیندی ( Process data Form )

فرم توضیحات شامل سه زیر شاخه می باشد :

سربرگ ( Heading ) ، نام جریان ها ( Fluid name ) و ملاحظات ( Remarks ).

هدف از این بخش وارد کردن اطلاعاتی است که مبدل در فرآیند با آنها شناخته می شود.

این اطلاعات شامل نام و محل شرکت ، مشخصات سرویس ، ID مربوط به مبدل ، تاریخ

، شماره Revision و نام سیال بخش پوسته و لوله می باشد که معمولاً در بالای برگ

داده ها ( Data sheet ) نوشته می شود. همچنین در این بخش سه سطر برای تذکرها و توضیحات وجود دارد که باید توضیحات لازم وارد شود.

**هدف از فرم Application options تعیین موارد زیر است :**

- نوع فرآیند موجود در دو بخش پوسته و لوله

- نحوه محاسبه موارد ویژه تبخیر و کندانس شدن ( در صورت وجود )

- نوع کندانسور و یا تبخیر کننده ( در صورت وجود )

- حالت نرم افزار

- تعیین سیال پوسته و لوله

### **۳-۷- روش حل معادلات در ASPEN EDR**

در این نرم افزار به دو روش حل پی در پی (modular sequential) و روش حل هم زمان (equation simultaneous or oriented) دسته معادلات را حل می کند. در نسخه های جدید روش حل پیش فرض حل پی در پی (modular sequential) می باشد ,

طبق جداول زیر .



جدول (۲-۳) معایب و مزایای روش (Equation Oriented)

معایب	<p>برای حل به تعداد زیادی حدس اولیه نیاز دارد</p> <p>جهت همگرایی به حدس اولیه خوبی نیاز دارد</p> <p>به حافظه ی محاسباتی زیادی نیاز دارد</p>
مزایا	<p>در الگوریتم محاسباتی آن هیچ حلقه ای وجود ندارد</p>

جدول (۳-۳) معایب و مزایای روش (sequential modular)

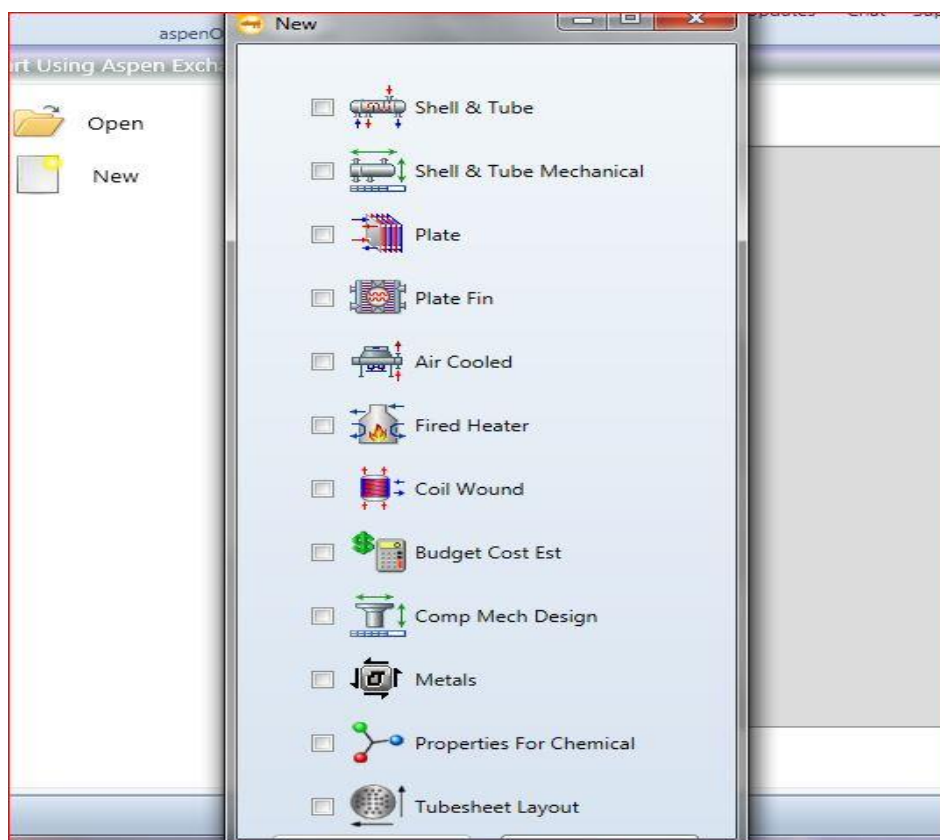
معایب	<p>حل مسایل بهینه سازی در آن دشوار تر است</p> <p>در حل جریان های برگشتی خوب عمل نمی کند</p>
مزایا	<p>روش حل آن ساده تر است</p> <p>به حافظه ی محاسباتی زیادی نیاز ندارد</p>

### ۳-۸- روش حل در این تحقیق

در این پژوهش از نرم افزار ASPEN EDR نسخه ۱۰ که آخرین نسخه ی موجود حال حاضر در ایران می باشد استفاده شده است. که با استفاده از این نرم افزار شبیه سازی ترمو شیمیایی انجام شده است و نتایج را به صورت نمودار و هم چنین جدول بدست آمده است. که به ترتیب زیر شروع و در ادامه نحوه ی کار و استفاده از متدها و مواد توضیح داده شده است.

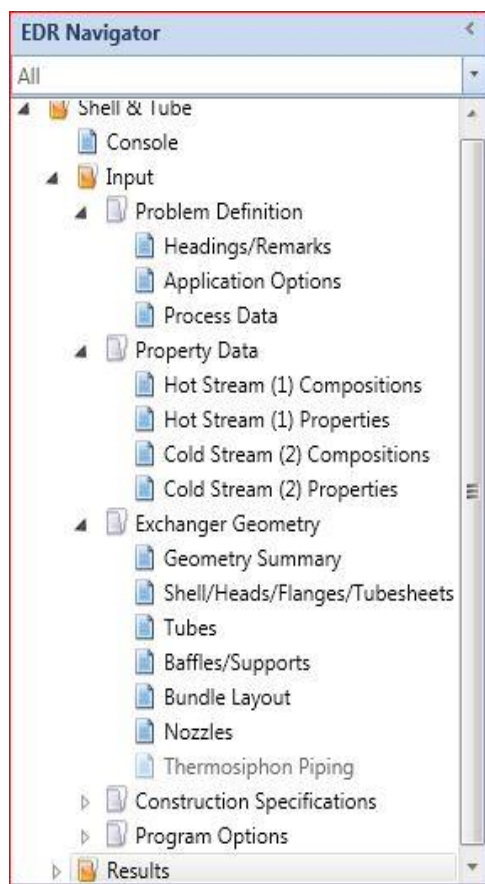
### ۳-۹- نحوه شبیه سازی با ASPEN EDR

وارد نرم افزار ASPEN شده به منظور طراحی مبدل پوسته لوله گزینه NEW را انتخاب کرده و گزینه اول را تیک می زنیم شکل (۳-۱)



شکل (۳-۱)

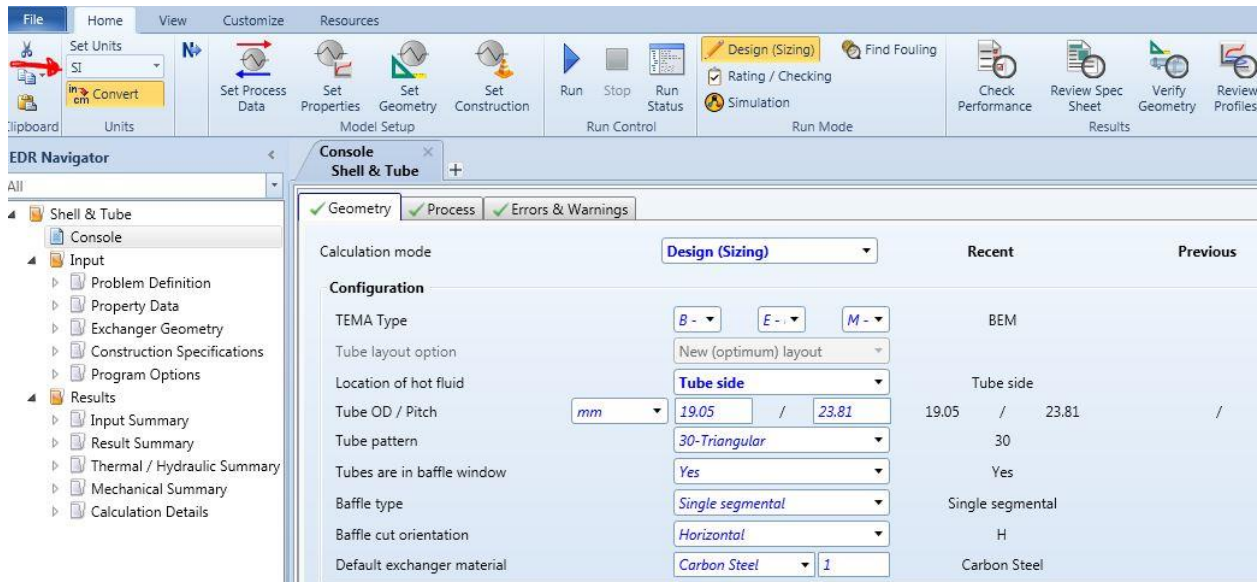
در کادر محاوره ای زیر مراحل که باید طراحی کنیم گام به گام چیده شده است شکل (۲-۳)



شکل (۲-۳)

با توجه به حساسیت و دقت در شبیه سازی حتما باید نحوه ی حل و نوع عناصر تاثیر گذار در روند حل به دقت انتخاب شود. از این رو طبق شکل (۳-۳) دیده می شود که برای شروع واحد استاندارد بین المللی SI انتخاب شده است. در شکل (۳-۴) نیز بهترین محل جریان داغ و روش حل را برای انتخاب نشان می دهد. برای حل نیز از معادله ی SRK که مخصوص مخلوط آب و هیدروکرن ها و عناصر گازی می باشد نیز استفاده شده است که بنا

بر شکل (۳-۴) می بینیم انتخاب گشته و همچنین در شکل (۳-۵) برای آب در این چرخه معادله ی STEAMNBS که برای محدوده ی ۲۷۳ تا ۲۰۰۰ درجه کلوین کاربرد دارد.



شکل (۳-۳) انتخاب واحد اندازه گیری بر حسب SI



شکل (۳-۴) محل قرار گیری جریان گرم و متود محاسباتی

**Aspen Properties Databank**

Aspen property method: **SRK**

Aspen free-water method: **STEAMNBS**

Aspen water solubility: **1**

Aspen flash option: **Vapor**

شکل (۵-۳) انتخاب معادله ی اصلی حل و معادله حل آب در چرخه

شرایط اولیه و مخصوص سیستم با توجه به شکل (۳-۶) در نظر گرفته شده است در قسمت PROCCESS DATA میزان فشار، دما و دبی ورودی نیز طبق استاندارد وارد شده است. گاز داغ با فشار، دبی و دمای ورودی 0.5 bar ، 3900 kg/h و 300 درجه ی سانتی گراد و آب با فشار، دبی و دمای ورودی ۳ bar ، 3000 kg/h و 20 درجه ی سانتی گراد در نظر گرفته شده اند.

	Hot Stream (1) Tube Side		Cold Stream (2) Shell Side	
	In	Out	In	Out
Fluid name	gas		water	
Mass flow rate	kg/h	3900	3000	
Temperature	°C	300	20	60
Vapor mass fraction		1	0	0
Pressure (absolute)	bar	0.5	3	2.87
Pressure at liquid surface in column				
Heat exchanged	kW			
Exchanger effectiveness				
Adjust if over-specified	Heat load		Flowrate	
Estimated pressure drop	bar	0.1	0.13	
Allowable pressure drop	bar	0.1	0.5	
Fouling resistance	m <sup>2</sup> -K/W	0	0	

شکل (۳-۶) شرایط نخستین و محیطی

در شکل (۷-۳) و (۸-۳) عناصر مهم و مورد محاسبه در این تحقیق را از قسمت component با وارد کردن علامت شیمیایی یا نام کامل وارد کرده که مانند شکل زیر به نمایش در خواهد آمد. عناصر وارد شده برحسب مقدار درصد جرمی بوده و در شبیه سازی شرکت می کنند در قسمت PROPERTY DATA.

Hot side composition specification		Weight flowrate or %	
	Aspen Component Name	Aspen Composition	Aspen Formula
1	OXYGEN	18.9	O2
2	CARBON-DIOXIDE	1.59	CO2
3	CARBON-MONOXIDE	0.0024	CO
4	NITROGEN-DIOXIDE	0.0002	NO2
5	NITRIC-OXIDE	0.0047	NO
6	NITROGEN-TRIOXIDE	0.0049	N2O3

شکل (۷-۳) انتخاب و وارد کردن عناصر مورد محاسبه در قسمت *TUBE*

Physical property package Aspen Properties

Cold side composition specification Weight flowrate or %

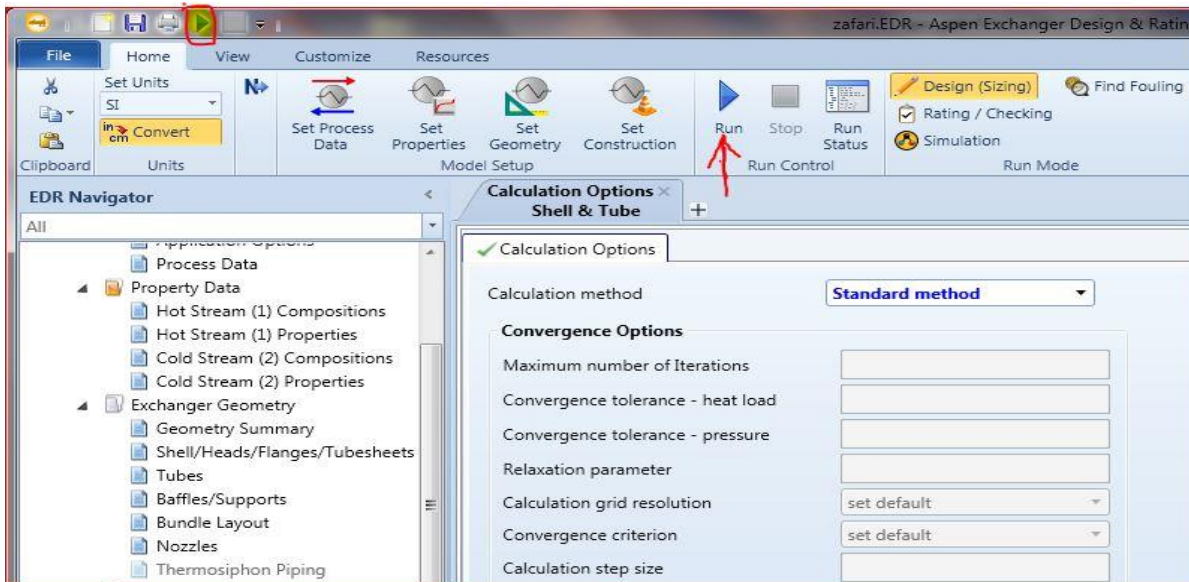
	Aspen Component Name	Aspen Composition	Aspen Formula
1	OXYGEN		O2
2	CARBON-DIOXIDE		CO2
3	CARBON-MONOXIDE		CO
4	NITROGEN-DIOXIDE		NO2
5	NITRIC-OXIDE		NO
6	NITROGEN-TRIOXIDE		N2O3
7	WATER	1	H2O
8			
9			
10			
11			

Search Databank... Delete Row

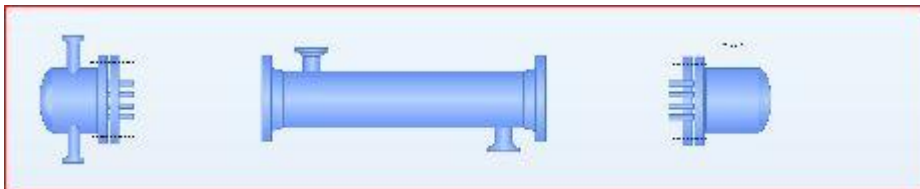
شکل (۳ - ۸) انتخاب و وارد کردن عناصر مورد محاسبه در قسمت Shell

با وارد کردن مشخصات و داده های اولیه در قسمت پوسته که آب جریان دارد و همچنین در قسمت لوله که گاز داغ در جریان است مطابق شکل (۳-۹) می توان شروع شبیه سازی محاسبه و طراحی مبدل را آغاز کرد و از نرم افزار Run گرفت و دیگر پارمترهای طراحی از قبیل ساختار مبدل ، جنس ، ابعاد ، نوع و غیره به خود نرم افزار سپرده میشود تا بهینه آنها را انتخاب نماید. پس از اتمام شبیه سازی در مبدل گاز های خروجی همراه آب که هر کدام با جریان های جدا از هم و به ترتیب از لوله و پوسته خارج شده و اطلاعات نهایی را در قسمت نتیجه ها می دهد . گاز های داغ که شامل گاز های ( $O_2, CO_2, NO_2, NO, NO_x, SO_2$ ) برای آب خروجی  $H_2O$  به مبدل حرارتی وارد شده ، که مبدل حرارتی ( HEAT-EX ) نیز

حرارت گاز های خروجی را گرفته و طی تبادل گرمایی آب را گرم کرده که نتایج بدست آمده در فصل بعدی توضیح داده می شود. شکل (۳-۱۰) و (۳-۱۱) به ترتیب شماتیک مبدل و شماتیک چرخه ی فرآیند را نشان می دهند .

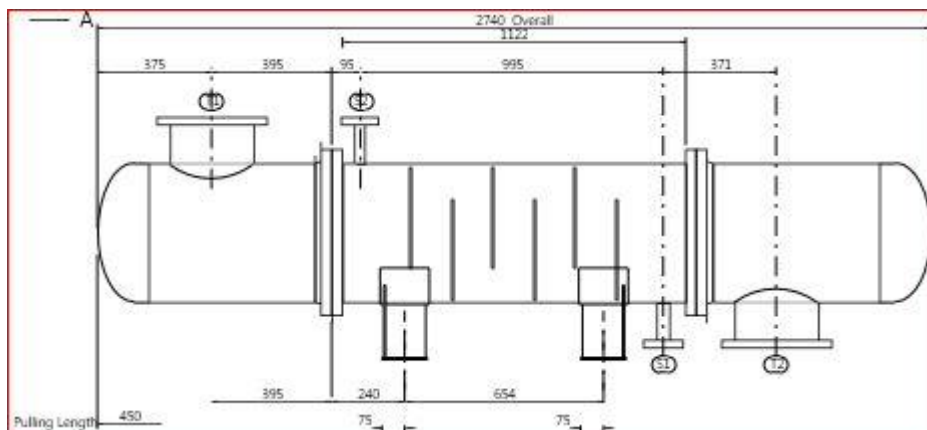


شکل (۳-۹) مرحله ی run نرم افزا



شکل (۳-۱۰) شماتیک مبدل حرارتی

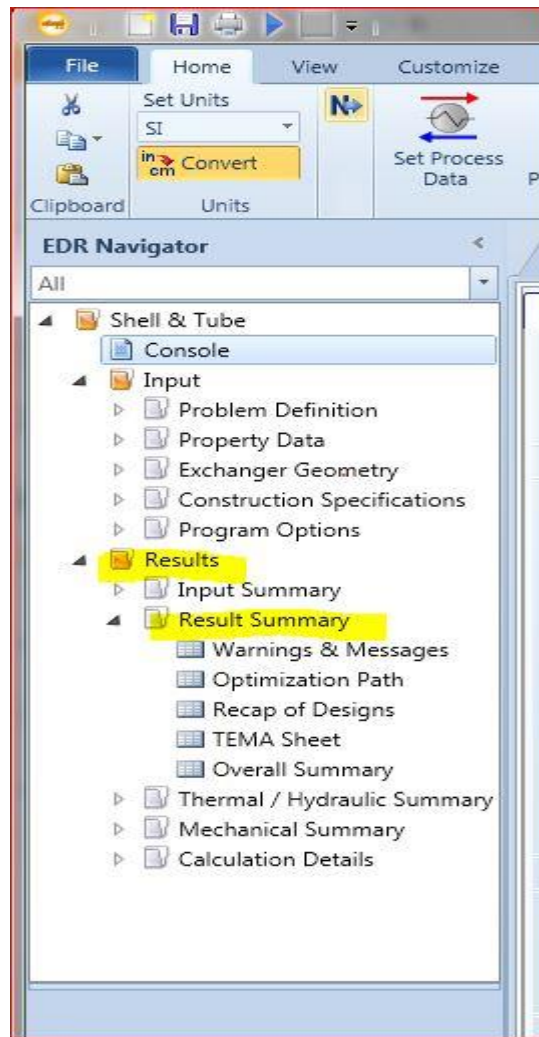




شکل (۱۱-۳) شماتیک کلی از فرآیند شبیه سازی شده در نرم افزار ASPEN

بعد از وارد کردن اطلاعات اولیه و کامل کردن فیلدهای درخواستی و اجباری نرم افزار برای شروع انجام محاسبات و عملیات شبیه سازی کرده و سپس برای در اختیار گرفتن نتایج شبیه سازی طبق شکل

(۱۲-۳) از کرکره ی درختی سمت راست نرم افزار پوشه ی Result و سپس Result summary را انتخاب کرده و تحلیل و نتایج مورد نظر استخراج شده و بدست می آیند.



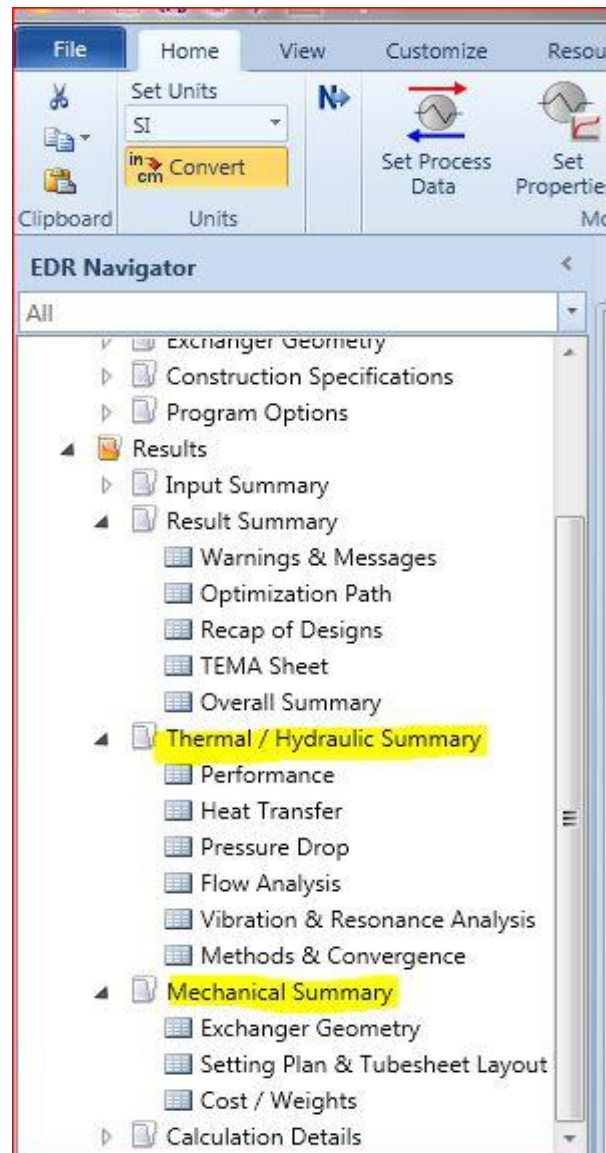
شکل (۱۲-۳) انتخاب پوشه ی **Result summary**

برای دیدن نتایج بیشتر اعم از نتایج ترمودینامیکی مضاعف و همینطور اطلاعات مربوط به

Thermal/hydrolic هندسه ی مبدل طراحی شده و نقشه ها می توان به پوشه های درختی

summary و Mechanical summary همانطور که در شکل (۱۳-۳) آورده شده

مراجعه کرد.



شکل (۳-۱۳) پوشه های درختی Thermal/hydraulic summary و Mechanical summary

## نتایج ( Results )

نتایج اجرا و محاسبات نرم افزار به چهار قسمت اصلی تقسیم می شوند که عبارتند از :

- خلاصه وضعیت طراحی ( Design Summary )
- خلاصه وضعیت حرارتی ( Thermal Summary )

- خلاصه وضعیت مکانیکی ( Mechanical Summary )

- جزئیات محاسبه ( Calculation Details )

### خلاصه وضعیت طراحی

بخش خلاصه وضعیت طراحی به نوبه خود به چهار قسمت تقسیم می شود که عبارتند از :

الف) خلاصه داده های ورودی ( Input Summary )

ب) مسیر بهینه سازی ( Optimization Path )

ج) مرور طراحی ها ( Recap of Designs )

د) اخطارها و پیام ها ( Warnings & Messages )

### الف) خلاصه داده های ورودی

این بخش برای طراح خلاصه ای از اطلاعات مشخص شده در فایل ورودی را فراهم می کند. پیشنهاد می شود که طراح داده های ورودی را به عنوان بخشی از خروجی که برای سهولت در استفاده مجدد در طراحی به کار می رود ، پرینت کند.

### ب) مسیر بهینه سازی

این بخش از خروجی مربوط به قسمت استدلال نرم افزار است و بعضی از مبدل های حرارتی را که نرم افزار ارزیابی کرده است و سعی در ایجاد شرایطی برای طراحی رضایت بخش داشته ، نشان می دهد. این طرحی های میانی می تواند محدودیت هایی را که در کنترل طراحی وجود دارند و همچنین پارامترهایی را که طراح می تواند جهت بهینه سازی بیشتر تغییر دهد ، نشان دهند. برای کمک به طراح که بداند چه محدودیت هایی در حال کنترل طراحی هستند ،

شرایطی که مشخصات مورد نظر طراح را تامین نمی کنند با یک ستاره (\*) در کنار مقدار مورد نظر نشان داده شده است. اگر مبدل سطح کمی داشته باشد، علامت ستاره در کنار طول مورد نیاز لوله و اگر از حداکثر مجاز تجاوز کند، در کنار افت فشار ظاهر می شود.

### ج) مرور طراحی ها

طراح در این مرحله شکل هندسی و کارایی همه طراحی ها را تا نقطه مورد نظر مرور می کند. این مقایسه دقیق به کاربر اجازه می دهد تا تاثیر تغییرات طراحی های مختلف را مشخص کند و بهترین مبدل را برای کاربرد مورد نظر انتخاب کند. فرض بر این است که این مرور همان خلاصه اطلاعات را که در بخش مسیر بهینه سازی نشان داده شده ، برای طراح فراهم می کند. طراح می تواند با گزینه Customize اطلاعاتی را که در این برگه نشان داده می شود تغییر دهد. طراح می تواند با مراجعه به فهرست Recap و انتخاب گزینه Select Case موردی را که می خواهد طراحی کند ، انتخاب نماید. نرم افزار نتایج طراحی را برای موردی که انتخاب شده مجدداً ایجاد می کند.

### د) اخطارها و پیام ها

در صورتی که نرم افزار مشکلات مستتر در طراحی پیدا کند ، این تذکرات ، محدودیت ها ، اخطارها و پیام های خطا در این بخش از خروجی نشان داده می شوند. این پیام ها در شرایطی اعلام می شوند که مشکلی به وجود آید ، البته نرم افزار به کار خود ادامه می دهد.

- پیغام های هشدار : این پیغام ها به بروز مشکلاتی اشاره می کنند که با وجود آن ها برنامه به کار خود ادامه خواهد داد.

- پیغام خطا : این پیغام نشان دهنده ایجاد شرایط غیرقابل قبول برای برنامه می باشد.  
در صورتی که پیام خطا داده شود ، نرم افزار اجازه ادامه کار خود را ندارد.
- پیغام حد : بدین معنی است که شرایط طراحی خارج از محدوده تعریف شده برای برنامه می باشد
- پیغام یادداشت ها : شرایطی است که برای یافتن طراحی و ارائه راهکار مناسب باید بدان توجه نمود برای مثال محدوده های سرعت مجاز سیال
- پیغام پیشنهادی : در این پیغام ها پیشنهادهایی برای بهبود طراحی داده می شود.

### خلاصه وضعیت حرارتی

این بخش محاسبات انتقال حرارت ، افت فشار و سطوح مورد نیاز را خلاصه می کند. برای اینکه طراح بتواند تصمیم ها لازم را برای طراحی حرارتی اتخاذ کند ، اطلاعات کافی برای او فراهم می شود.

بخش خلاصه وضعیت حرارتی به چهار قسمت زیر تقسیم می شود :

الف) عملکرد ( Performance )

ب) ضرایب و اختلاف دمای میانگین ( Coefficients & MTD )

ج) افت فشار ( Pressure Drop )

د) برگه TEMA (TEMA Sheet)

## الف) عملکرد

این بخش خلاصه ای از شرایط مورد نیاز فرآیند ، مقادیر اساسی انتقال حرارت و ضرایب انتقال حرارت را فراهم می کند. این بخش از نتایج به صورت دو برگه عملکرد عمومی و تحلیل مقاومت گرمایی می گردد که در اینجا به توضیح آن ها پرداخته می شود.

### • عملکرد عمومی

در این بخش سرعت های سیال به تفکیک گاز و مایعات ورودی و خروجی برای داخل و خارج لوله نشان داده می شوند. برای کاربردهای تغییر فاز ، دماهای ورودی و خروجی هر دو طرف مبدل همراه با دماهای نقطه شبنم و حباب داده میشود. در حالتی که در مبدل حرارتی تغییر فاز اتفاق می افتد ، ضرایب فیلم انتقال حرارت داخل و خارج لوله ، به صورت میانگین وزنی آنها گزارش می گردد. در کاربردهای تک فازی ، سرعت بر مبنای دانسیته میانگین می باشد. سرعت در کندانسورها بر مبنای شرایط ورودی و در تبخیرکننده ها بر مبنای شرایط خروجی است. پارامترهای کلی عملکرد مثل مقدار تبادل حرارت ، اختلاف دمای میانگین با هر ضریب تصحیح مورد قبول و سطح کلی موثر داده می شوند. در کاربردهای تغییر فاز چند جزئی ، میانگین وزنی اختلاف دمای میانگین بر پایه منحنی گرمایی محاسبه می گردد. ساختار مبدل که در خلاصه وضعیت تهیه می شود ، شامل : نوع TEMA ، مکان مبدل ، تعداد پوسته های موازی و متوالی ، اندازه مبدل ، تعداد لوله ها و قطر خارجی لوله ، نوع و برش بافل و تعداد گذرهای لوله می باشد.

## • تحلیل مقاومت گرمایی

این بخش به طراح اطلاعاتی می دهد تا به او در ارزیابی سطوح مورد نیاز در شرایط تمیز ، رسوب پیش بینی شده و بیشترین شرایط رسوب کمک کند. شرایط تمیز فرض می کند که هیچ رسوبی وجود ندارد و ضریب کلی شامل مقاومت رسوب نیست و با استفاده از این ضریب کلی تمیز ، سطوح توسعه یافته مورد نیاز برآورده گردد. شرایط رسوب پیش بینی شده ، به طور مختصر ، عملکرد مبدل را با ضریب کلی بر اساس رسوب پیش بینی شده بیان می کند. نرم افزار در حالت بیشترین وضعیت رسوب دهی ، از فاکتورهای رسوب استفاده می کند و بسته به سطح موجود انتقال حرارت و افزایش آن ( اگر مبدل سطحی بیش از نیاز داشته باشد ) و یا کاهش آن ( اگر مبدل سطحی کمتر از نیاز داشته باشد ) مقدار حداکثر رسوب مجاز را محاسبه می کند. توزیع مقاومت کلی به طراح اجازه می دهد تا به راحتی مقاومت های حرارتی را ارزیابی کند. طراح باید به ستون Clean نگاه کند تا تعیین کند که کدام ضریب فیلم در حال محدود کردن است ، سپس باید به Spec.Foul نگاه کند تا تاثیر مقاومت های رسوب را ببیند. تفاوت بین سطح اضافی در وضعیت تمیز و وضعیت رسوب پیش بینی شده ، مقدار سطحی است که به دلیل حضور رسوب اضافه می شود. طراح باید عملی بودن مقاومت های رسوب مشخص را زمانی که آنها بخش وسیعی از سطح یعنی بیش از ۵۰٪ از سطح را اشغال می کنند ، ارزیابی کند.

## ب) ضرایب و اختلاف دمای میانگین

این بخش اجزای مختلف هر ضریب فیلم را نشان می دهد. بسته به کاربرد ، یک یا بیشتر ضرایب انتقال حرارت تبرید بخار داغ ، میعان ، ضریب انتقال حرارت گرمای محسوس بخار و مایع ، ضرایب جوشش و مایع سرد زیر اشباع نشان داده خواهد شد. عدد رینولدز به راحتی به



طراح کمک می کند که نوع جریان را تعیین کند. ضریب بازدهی پره که در تصحیح مقاومت حرارتی فیلم و مقاومت رسوب داخل لوله به کار می رود. دمای میانگین فلز میانگین دماهای ورودی و خروجی خارج لوله است. این دما تابعی از ضریب فیلم هر دو طرف است و در طراحی مکانیکی استفاده می شود. اختلاف دمای میانگین تصحیح شده برای کاربردهای بدون تغییر فاز حاصلضرب میانگین لگاریتمی اختلاف دما در ضریب تصحیح است. برای کاربردهای تغییر فاز ، فرآیند به چند بازه تقسیم می شود و برای هریک از آنها ، یک اختلاف دمای میانگین تعیین می شود. اختلاف دمای میانگین کلی مبدل حرارتی ، بر اساس میانگین وزنی این بازه ها بر مبنای بار گرمایی محاسبه می شود. شار گرمایی عبارت است از حرارت منتقل شده در واحد سطح که در کاربردهای جوشش که شار گرمایی بالا می تواند منجر به تشکیل پوشش بخار بین دیواره لوله و مایع شود ، اهمیت دارد. مقدار بیشترین شار گرمایی ورودی که طراح تعیین می کند بر شاری که نرم افزار محاسبه می کند ارجحیت دارد.

### ج) افت فشار

توزیع افت فشار یکی از مهمترین بخشهای خروجی است که باید مورد تحلیل قرار گیرد. طراح باید توجه کند که آیا افت فشار در جاهایی که انتقال حرارت ناچیزی وجود دارد ( مثل ورودی نازل ، ورودی دسته لوله ، در میان دسته لوله ، خروجی دسته لوله و خروجی نازل ) رخ می دهد یا نه. اگر در نازل افت فشار زیادی رخ دهد ، افزایش اندازه نازل باید لحاظ شود و در صورتی که ورودی و خروجی دسته لوله زیاد باشد ، افزایش سطح دسته لوله باید در نظر گرفته

شود. نرم افزار افت فشار حالت رسوب دار را که در لوله با تخمین ضخامت برای رسوب که بر مبنای مقاومت طرف رسوب بوده و باعث کاهش سطح مقطع جریان میشود ، محاسبه می کند. توزیع سرعت بین نازل ورودی و خروجی برای مراجعه طراح نشان داده می شود. برای کاربردهای دوفازی سرعت های جریان متقاطع ، بر مبنای بیشترین جریان بخار در میان بافل ها و یا لوله ها ، می باشد.

### **خلاصه وضعیت مکانیکی**

بخش خلاصه وضعیت مکانیکی به سه بخش تقسیم می شود :

( الف ) ابعاد مبدل ( Exchanger Dimensions )

( ب ) آنالیز ارتعاش و تشدید ( Vibration & Resonance Analysis )

( ج ) نقشه نصب و آرایش صفحه لوله ها ( Setting Plan & tubesheet Layout )

### **الف) ابعاد مبدل**

ابعاد پوسته ، کلگی جلویی ، نازل ، لوله ها و دسته لوله ها به طور خلاصه در این خروجی توضیح داده شده است. برخی از آیتم های این شاخه عبارتند از : قطر سیلندر ، نازل ها ، تعداد و طول لوله ها ، برش بافل

### **ب) آنالیز ارتعاش و تشدید**

ارتعاش لوله بر اثر جریان بر پوسته مبدل حرارتی می تواند باعث آسیب های جدی بر دسته لوله شود. این نکته حائز اهمیت است که با انجام تغییراتی در مراحل طراحی ، امکان وقوع

ارتعاش را محدود کرد تا از آسیب های ارتعاش احتمالی جلوگیری شود. استاندارد نرم افزار شامل دو راه برای تحلیل ارتعاش می باشد که در برنامه های EDR انجام می شود.

(ج) نقشه نصب و آرایش صفحه لوله ها

نقشه نصب یک ترسیم کلی از مبدل حرارتی ایجاد می کند که در آن نوع کلگی ها ، نوع فلنج ها ، موقعیت نازل ها و جایگاه واقعی بافل ها را در کنار نازل های ورودی و خروجی پوسته مشخص می شود.

نقشه آرایش لوله ها یک ترسیم کلی از چیدمان انتخاب شده لوله ها ایجاد می کند که در آن نازل های پوسته ، لوله ها ، صفحه نگهدارنده ، برش بافل ، مسیر گذرها ، آرایش لوله ، گام لوله و تعداد لوله در هر ردیف مشخص می شود. این نقشه برای فهمیدن و حل کردن مشکلات سرعت های بالا در ورودی و خروجی پوسته و دسته لوله مفید است.

### جزئیات محاسبه ( Calculation Details )

شاخه جزئیات محاسبه به شش بخش تقسیم می شود :

تحلیل بازه های داخل لوله ( Interval Analysis – Tube Side )

تحلیل بازه های داخل پوسته ( Interval Analysis – Shell Side )

منحنی تعادلی بخار- مایع طرف گرم ( VLE – Hot Side )

منحنی تعادلی بخار- مایع طرف سرد ( VLE – Cold Side )

حداکثر ارزیابی ( Maximum Rating )

حدود دمای خواص ( Property Temperature Limits )

## تحلیل بازه های داخل لوله / پوسته

بخش تحلیل بازه ها ، جدولی با مقادیر خواص مایع ، خواص بخار ، عملکرد ، ضرایب انتقال حرارت و بار گرمایی در محدوده دمایی بخش لوله را برای طراح فراهم می کند. این اطلاعات به صورت برگه هایی به شرح نشان داده خواهند شد :

- خواص مایع
- خواص بخار
- عملکرد
- ضریب انتقال حرارت- تک فازی
- ضریب انتقال حرارت- میعان
- ضریب انتقال حرارت - تبخیر
- بار گرمایی

## فصل چهارم : تحلیل یافته ها

### ۴-۱- مقدمه

با توجه به خواسته ی مساله که در فصل اول توضیح داده شد، به کمک نرم افزار ASPEN EDR مبدل مورد نظر با مشخصات بدست آمده از صنعت شبیه سازی شد. پارامترهایی نظیر نرخ آب گرم شده، میزان توان مصرفی مبدل، انرژی اتلاف شده، مقدار آنتالپی آب خروجی و همچنین مختصات مبدلی که برای این کار مناسب است همراه خروجی های ترمودینامیکی موثر، بدست آمد و نتایج همراه نمودار ها، جداول و شکل ها در ادامه فصل تحلیل و بررسی گشت. مروری بر محاسبات قبل که مهندسی و حدودی میباشد .

### ۴-۲- انرژی اتلافی در کوره

کوره برای اینکه به دمای مطلوب کاری خود برسد نیازمند منبع انرژی می باشد که این انرژی از طریق مشعل نصب شده و مقدار  $1200000 \text{ J/s}$  انرژی به کوره منتقل می کند که دمای 300 درجه در خروجی کوره که اگزوز نصب می باشد را تامین کند. بر مبنای فرمول  $(Q = V A D C \Delta T)$  انرژی اتلافی از کوره محاسبه می شود که برابر است با :

$$Q = 270000 \text{ J/s}$$

همچنین انرژی قابل بازیافت از جریان خروجی کوره نیز محاسبه گشته و به صورت زیر است که طریقه محاسبه آن قبلاً توضیح داده شده است.

$$Q = 160000 J/s$$

$$m = \text{دبی جرمی آب گرم } 60 \text{ درجه سانتیگراد برابر است با } 3.42 \frac{m^3}{h}$$

#### ۴-۳- تغییرات فشار در مبدل

در مبدل به دلیل وجود داشتن سطح مقطع های مختلف و تغییر مسیر جریان همچنین عملیات حرارتی قطعا اختلاف فشار و تغییرات فشار وجود خواهد داشت. که این تغییرات شامل عوامل فیزیکی درون مبدل اعم از لوله های موجود و پوسته و همچنین جریان گاز و مایع ما و نیز خود عناصر می شود که به ترتیب به بررسی و تحلیل هر کدام پرداخته شده است.

#### ۴-۳-۱- تغییرات فشار در پوسته و لوله

مبدل در نظر گرفته شده همانطور که گفته شد پوسته لوله ( **fire tube** ) می باشد و در لوله جریان گازی گرم که در ابتدای ورود دارای دمای **300** درجه ی سانتی گراد و فشار اولیه **0.5 bar** می باشد. در پوسته نیز جریان آب با دمای اولیه و ورودی **20** درجه ی سانتی گراد و فشار **3 bar** جریان دارد.

با توجه به جدول (۴-۱) در خروجی مقدار فشار دچار افت شده و این مقدار افت در لوله میزان بیشتری نسبت به پوسته داشته است. مهمترین عوامل موثر در افت فشار را می توان مقدار رسوبات در لوله و پوسته و نیز شکل هندسی آنها عنوان نمود. که بنابراین در لوله به دلیل وجود عناصر خورنده و نیز تعداد بالای آنها رسوب گذاری بیشتری وجود داشته و لوله ها که گاهی با خمیدگی همراه هستند بر شدت میزان افت فشار افزوده می شود. در پوسته نیز آب شهری جاری می باشد که خوردنگی و رسوب گذاری کمتری را نسبت به گازهای داغ موجود در لوله دارد. همین موضوع صدق می کند به این صورت رسوبات در پوسته نیز فشار را در خروجی کاهش داده است اما این میزان به نسبت خروجی در لوله کمتر می باشد.

جدول (۴-۱) مشخصات فشار در اجزای مبدل

فشار (bar)				
در پوسته		در لوله		اجزا
ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	
3	2.87775	0.5	0.44099	کل
0.1		0.5		حداکثر افت مجاز
0.00686	0.01434	0.00901	0.00541	افت فشار در نازل

#### ۴-۴- مشخصات جریان

در مبدل دو جریان مجزا از هم و در دو فاز متفاوت وجود دارد که هر کدام مشخصات ترمودینامیکی و سیالاتی خاص خود را دارا می باشد. هر جریان دارای دبی ، سرعت ، چگالی، لزجت می باشد که هر کدام محاسبه شده اند.

#### ۴-۴-۱- نرخ تولید آب گرم

نرخ جریان ورودی آب با دمای 20 درجه ی سانتی گراد به مبدل 3000 kg/h و بخار داغ با دمای 300 درجه ی سانتی گراد 3900 kg/h می باشد. که در خروجی مبدل آب گرم با دمای 60 درجه و نرخ 3000 kg/h و گاز نیز با همان نرخ ورودی، خارج می شود. بعبارت دیگر در هر ساعت می توان آب 60 درجه سانتی گراد را در خروجی استحصال کرد:

3000 kg/h

#### ۴-۴-۲- آنالیز جریان

در جدول (۴-۲) سرعت ورودی و خروجی به مبدل برای هر قسمت (پوسته و لوله) آورده شده است که در پوسته سرعت خروجی بیشتر از سرعت ورودی می باشد و در لوله بر عکس



که می توان مهمترین عامل را در لوله دما و همینطور افت فشار محسوس عنوان کرد. از

قسمت **Thermal flow Analysis** در این صفحه پارامتر  $Rho v^2$  مربوط به جریانهای

ورودی و خروجی در مبدل میشود که برای جلوگیری از خوردگی , ارتعاش و تنشهای وارده

بر مبدل پارامتر بسیار مهمی است . طبق جدول مقادیر پیشنهادی برای هر کدام در ستون مقابل

آورده شده است که اگر مقادیر محاسبه شده در محدوده استاندارد نباشند برنامه خطای آن را

گزارش خواهد کرد .

جدول (۴-۲) مشخصات سرعت در مبدل

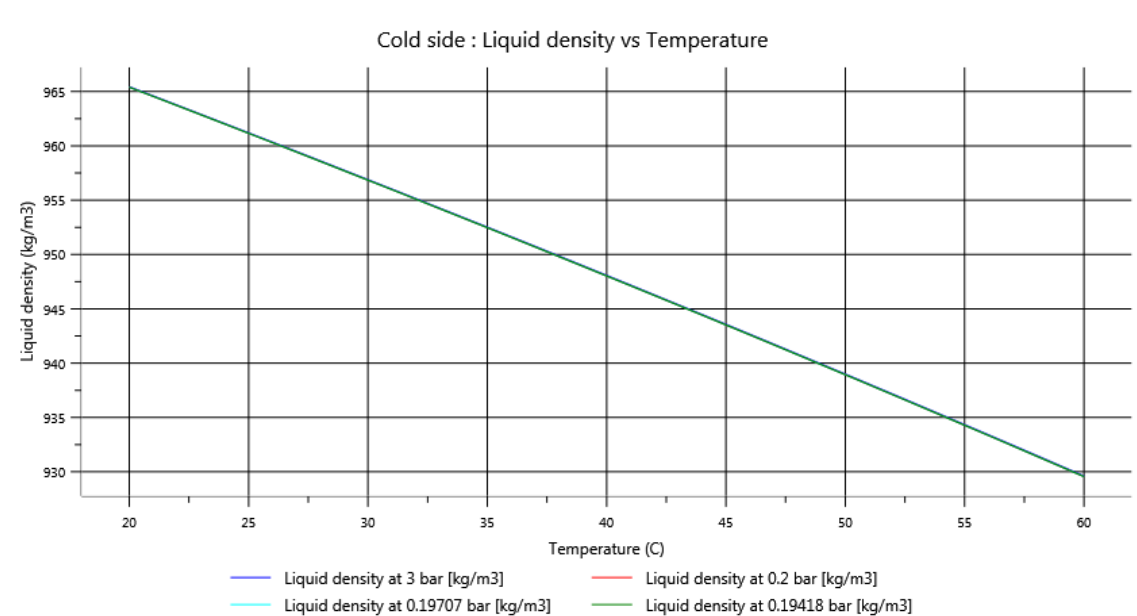
Flow Analysis Thermosiphons and Kettles					
Shell Side Flow Fractions	Inlet	Middle	Outlet	Diameter Clearance mm	
Crossflow (B stream)	0.55	0.4	0.55	0.79 3.18 12.7	
Window (B+C+F stream)	0.64	0.44	0.64		
Baffle hole - tube OD (A stream)	0.21	0.31	0.21		
Baffle OD - shell ID (E stream)	0.15	0.25	0.15		
Shell ID - bundle OTL (C stream)	0.09	0.04	0.09		
Pass lanes (F stream)	0	0	0		

Rho*V2 Analysis	Flow Area mm <sup>2</sup>	Velocity m/s	Density kg/m <sup>3</sup>	Rho*V2 kg/(m-s <sup>2</sup> )	TEMA limit kg/(m-s <sup>2</sup> )
Shell inlet nozzle	965	1.13	965.45	1239	2232
Shell entrance	2958	0.37	965.45	132	5953
Bundle entrance	18620	0.06	965.45	3	5953
Bundle exit	18620	0.06	929.62	3	5953
Shell exit	2227	0.51	929.62	242	5953
Shell outlet nozzle	558	2.04	929.62	3855	
	mm <sup>2</sup>	m/s	kg/m <sup>3</sup>	kg/(m-s <sup>2</sup> )	kg/(m-s <sup>2</sup> )
Tube inlet nozzle	50874	76.44	0.34	2003	
Tube inlet	41683	93.29	0.34	2984	
Tube outlet	41683	76.9	0.42	2460	
Tube outlet nozzle	50874	69.46	0.38	1820	

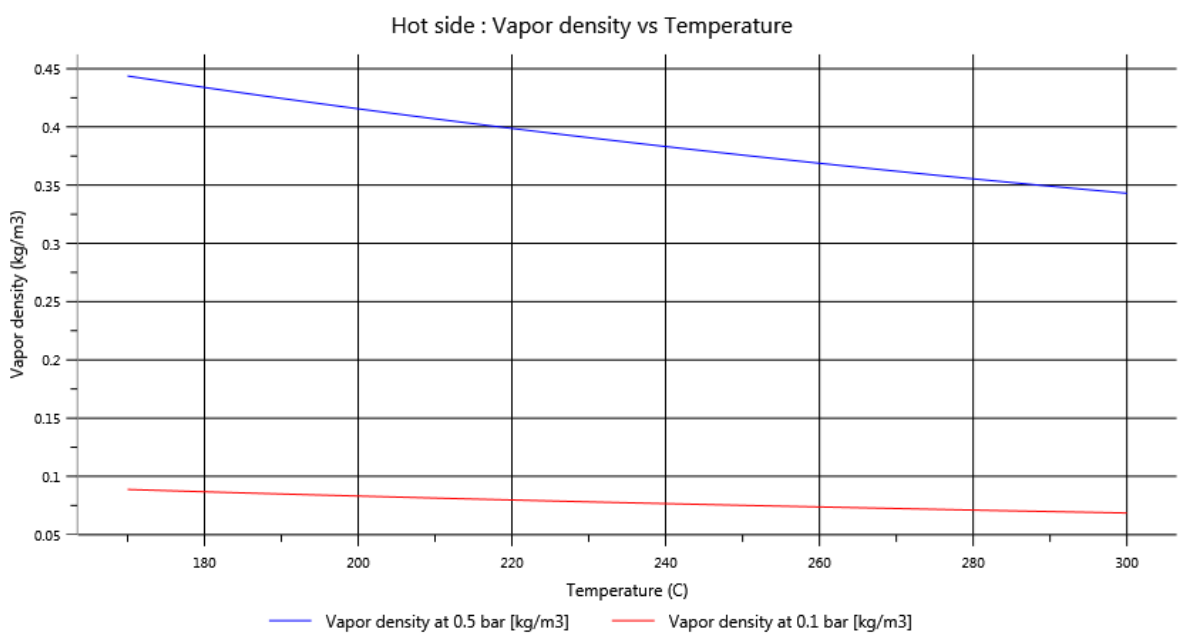
#### ۴-۴-۳- بررسی چگالی و لزجت

چگالی و لزجت دو مشخصه ی مهم ترمودینامیکی هستند که تابع دما نیز می باشند. وبا افزایش دما تغییرات چگالی آب روند نزولی پیدا کرده و چگالی کاهش می یابد. دلیل این اتفاق طبق رابطه ی  $\rho = \frac{m}{v}$  این است که هر عنصر با افزایش دما افزایش حجم پیدا کرده و چگالی آن نیز پایین می آید. در نمودار (۴-۱) نیز شاهد این موضوع می باشیم.



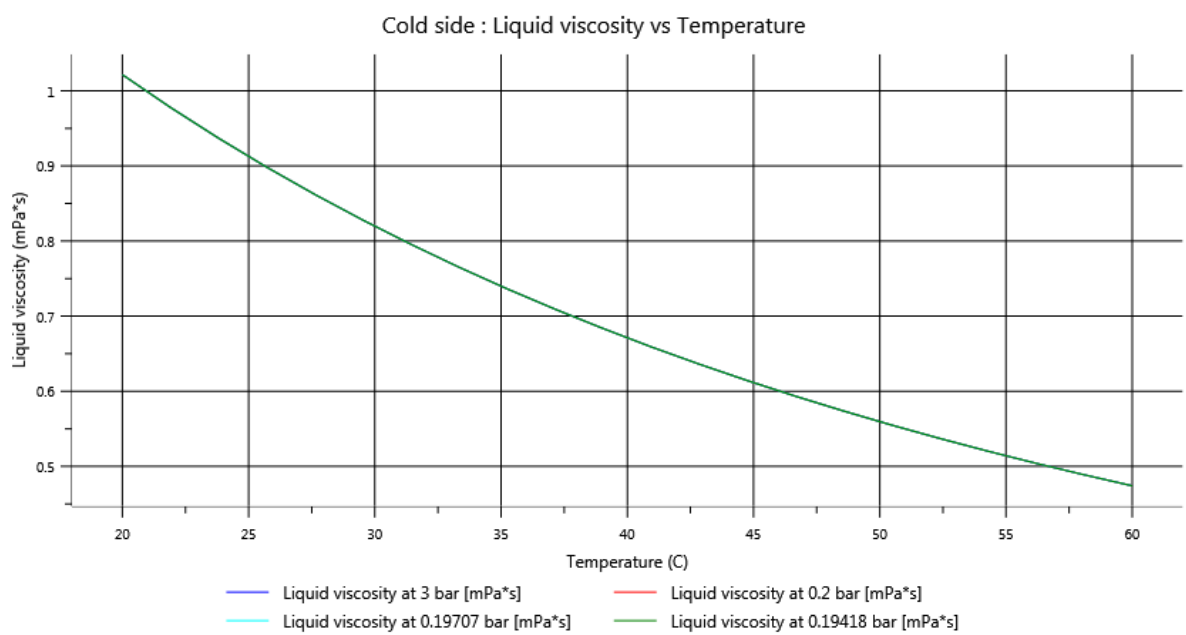
نمودار (۴-۱) چگالی آب بر حسب دما

در نمودار (۴-۲) افزایش میزان چگالی گاز مختلط با کاهش میزان دما نشان داده شده است. همانطور که گفته شد طبق معادله ی  $\rho = \frac{m}{v}$  زمانی که دما کاهش می یابد سبب انقباض سیال شده در نتیجه حجم آن نیز کاهش می یابد، با کاهش حجم نیز باعث افزایش چگالی می گردد.

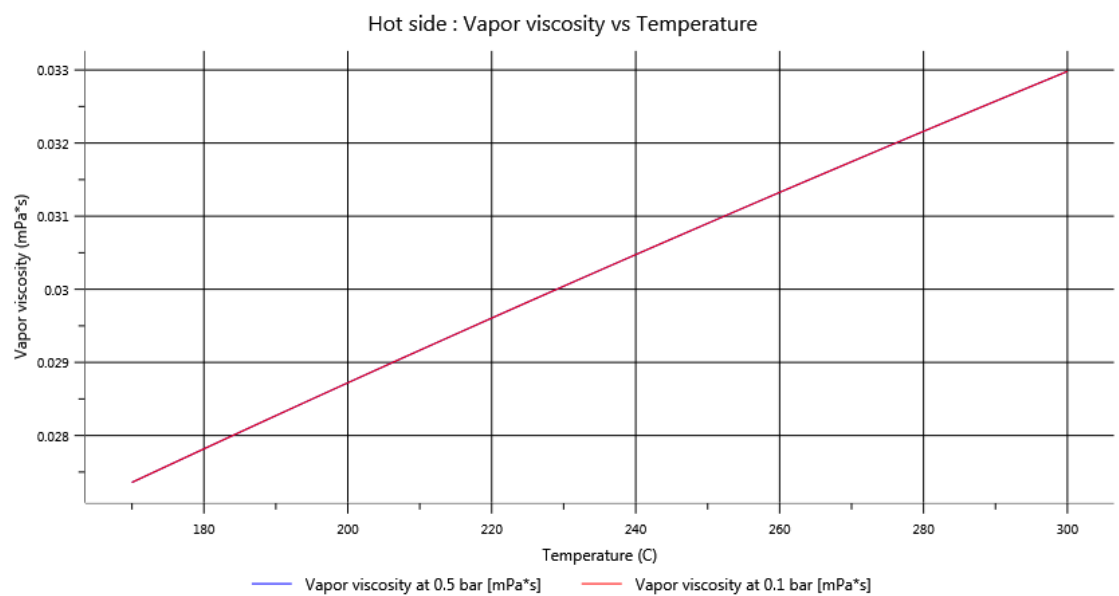


نمودار (۲-۴) چگالی گاز بر حسب دما

لزجت خاصیت مقاومت سیال در برابر نیروهای وارد بر آن و ایجاد تنش برشی است که تابع دما و نیز عامل موثر در سرعت سیال می باشد نقش مهمی در این تحقیق را داراست که طبق نمودارهای (۳-۴) و (۴-۴) که به ترتیب تغییرات لزجت آب بر حسب دما و تغییرات لزجت گاز بر حسب دما نشان داده شده است . در گازها با کاهش دما تعداد برخوردها کمتر شده و در نتیجه تبادل مومنتوم مولکولی کاهش می یابد در نتیجه لزجت نیز کاهش می یابد در مایعات با افزایش دما نیروی بین مولکولی کاهش یافته و لزجت نیز کاهش می یابد .



نمودار (۳-۴) لزجت آب بر حسب دما



نمودار (۴-۴) لزجت گاز بر حسب دما

#### **۴-۵- مقدار گرمای مبادله شده**

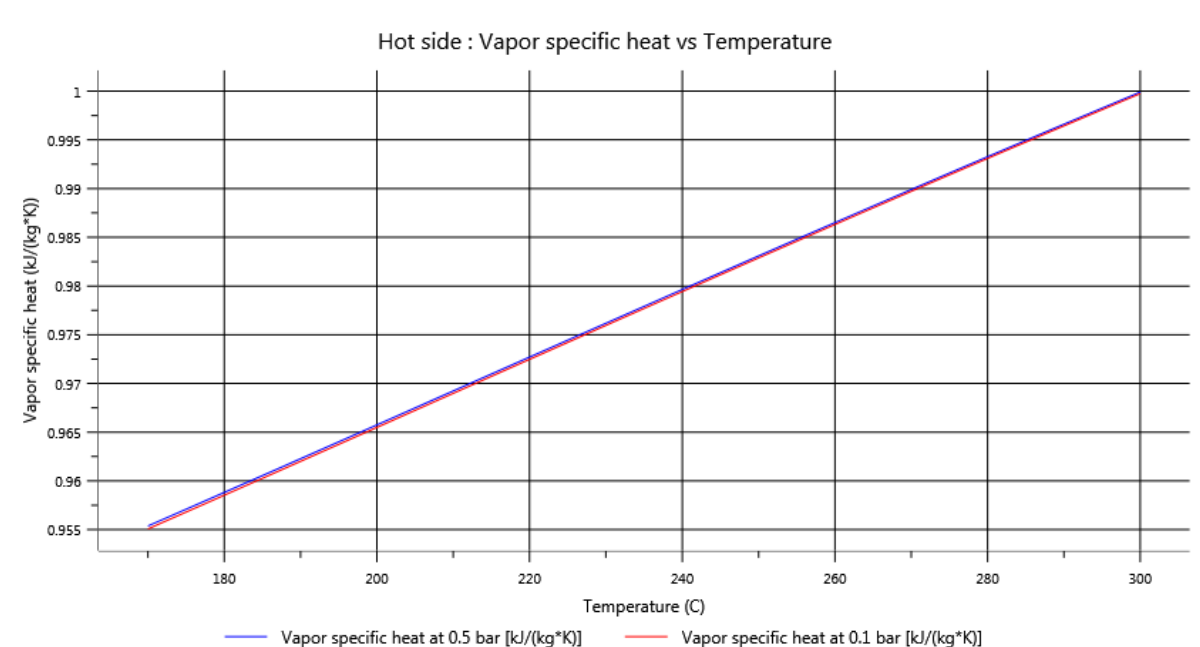
برای اینکه گازداغ موجود در لوله با دمای 300 درجه ی سانتی گراد آب جاری در پوسته با دمای 20 درجه سانتی گراد را گرم کرده و به دمای 60 درجه برساند نیاز باید انرژی و حرارت از دست بدهد که نرم افزار این مقدار را محاسبه کرده و مقادیر بدست آمده در جدول

(۴-۳) آمده است. از قسمت **results recap of designs**

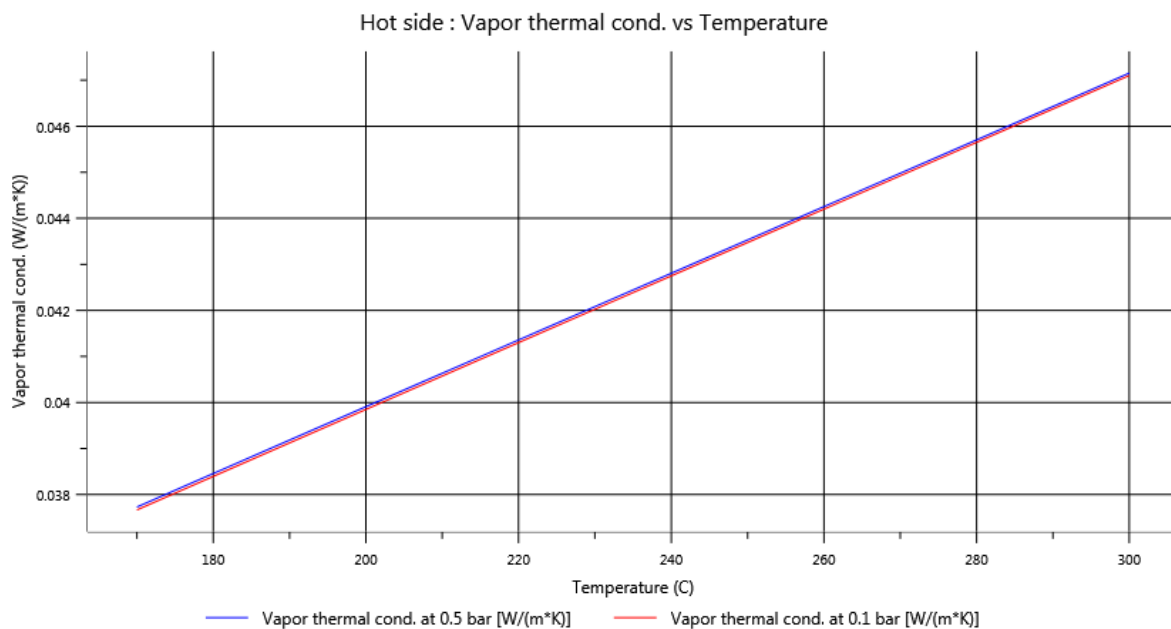
جدول (۳-۴) مشخصات حرارتی در مبدل

		A	B	C
Flow rate vapor in, SS	kg/s	0	0	0
Flow rate vapor in, TS	kg/h	4800	3900	3900
Flow rate vapor out w/o noncondensables, SS	kg/s	0	0	0
Flow rate vapor out w/o noncondensables, TS	kg/h	4800	3900	3900
Flow rate vapor out, SS	kg/s	0	0	0
Flow rate vapor out, TS	kg/h	4800	3900	3900
Flux, actual	kW/m <sup>2</sup>	15.6	13.3	14.6
Heat load	kW	203.2	182.9	160.4
Pressure drop, SS	bar	0.02225	0.02106	0.02521
Pressure drop, TS	bar	0.05901	0.05118	0.04557
Program mode		Design (Sizing)	Design (Sizing)	Design (Sizing)
Temperature in, SS	°C	20	20	20
Temperature in, TS	°C	300	300	300
Temperature out, SS	°C	60	60	60
Temperature out, TS	°C	143.68	126.52	148.2

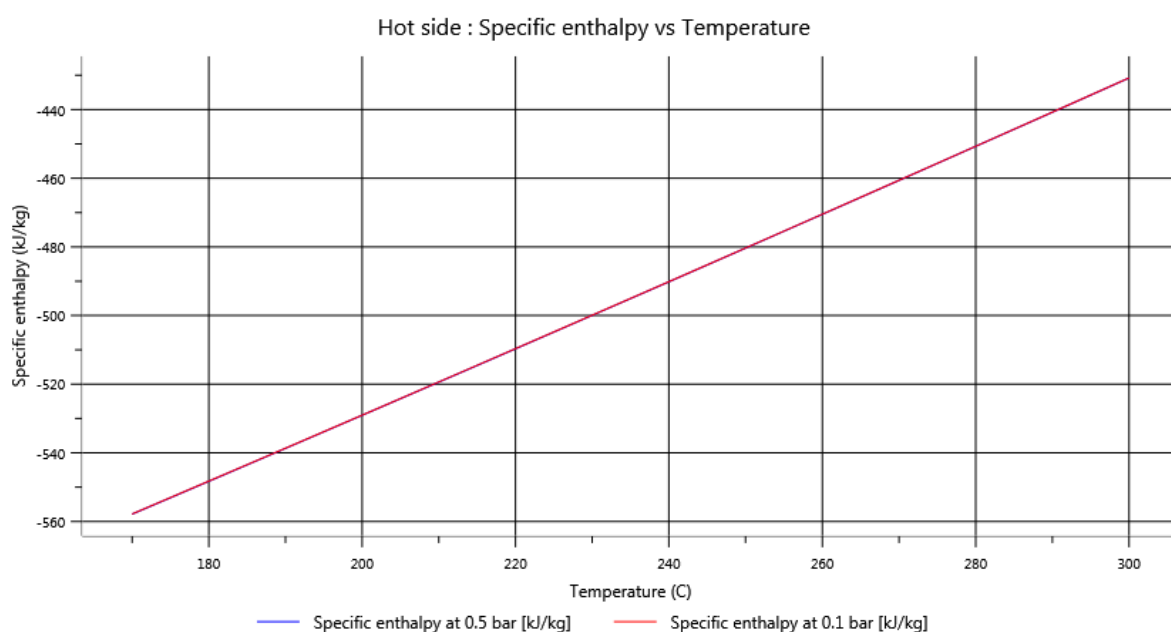
در جدول فوق همانطور که مشاهده می شود مقدار **160.4 kw** تبادل حرارتی صورت گرفته است که علامت منفی در لوله نشان دهنده ی ازدست دادن این مقدار می باشد و از لوله گرفته شده است و به آب انتقال یافته . با توجه به خاصیت رسانش آب و ثابت دی الکتریک آب رسانایی حرارتی آب مقدار بیشتری نسبت به گاز ها می باشد زیرا در رسانش گرمایی با توجه به دمایی پایین تر آب نسبت به گاز ها ظرفیت انتقال حرارت بیشتری برای کسب گرما دارد و نیز می توان به این موضوع اشاره کرد که آب به دلیل مایع بودن دارای سطح و تراکم بیشتر مولکولی است و همین امر باعث بیشتر بودن رسانش گرمایی می شود که با بالا رفتن دما به تدریج این مقدار کاهش می یابد.



نمودار (۴-۵) گرمای ویژه ی گاز بر حسب دما

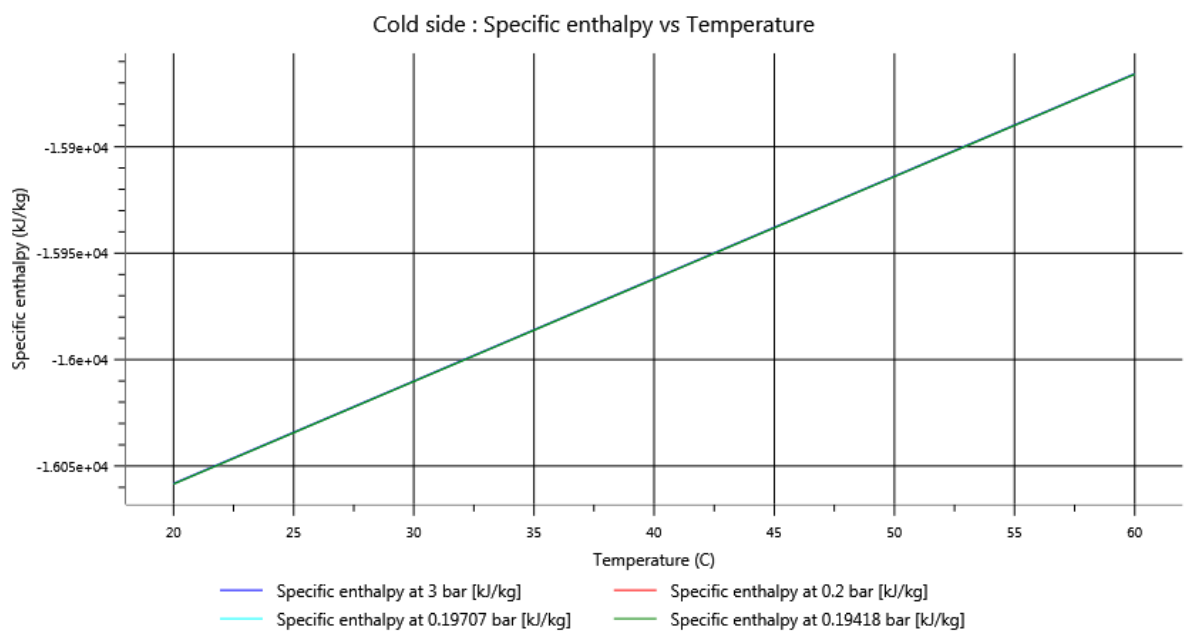


نمودار (۶-۴) رسانش گرمایی گاز بر حسب دما

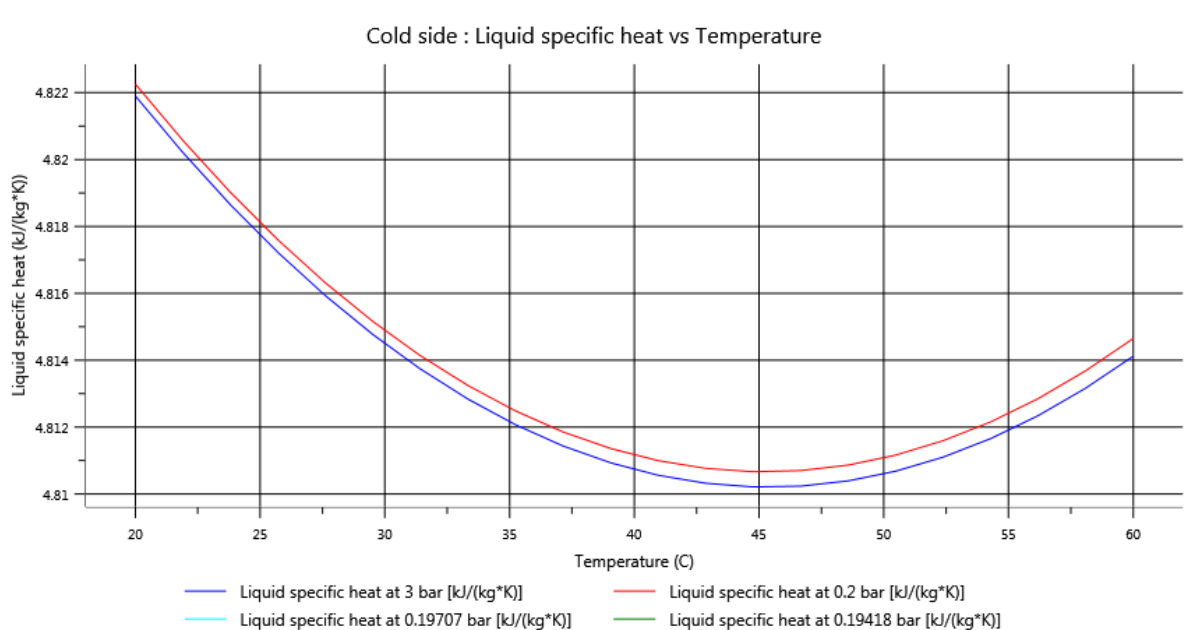


نمودار (۷-۴) آنتالپی ویژه گاز بر حسب

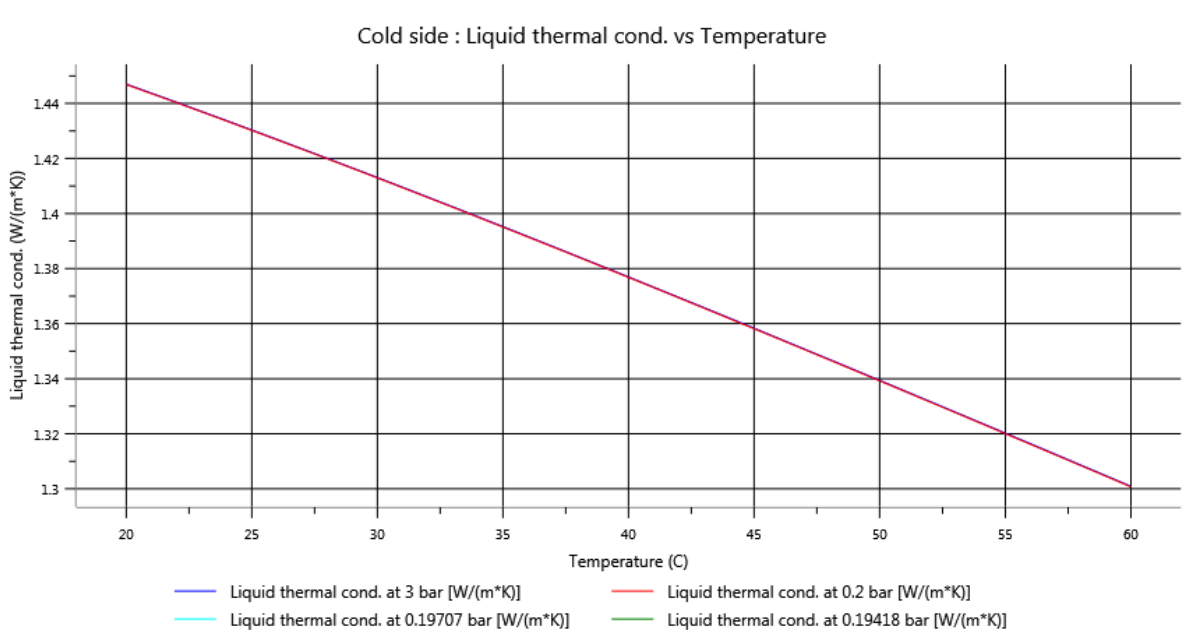




نمودار (۸-۴) آنتالپی ویژه ی آب بر حسب دما



نمودار (۹-۴) گرمای ویژه ی آب بر حسب دما



نمودار (۱۰-۴) رسانش گرمایی آب بر حسب دما

در نمودار های (۶-۴) و (۱۰-۴) که مربوط به رسانش گرمایی می باشد و به ترتیب رسانش گرمایی در گاز ها و آب را نشان می دهند. رسانش به معنای انتقال انرژی جنبشی ذرات است و در همه ی شکل های ماده رخ می دهد. یعنی خود به خود گرما تمایل دارد از جسمی با دمای بیشتر به جسم دیگر با دمای کمتر شارش کند. از این رو در جامدات مقدار رسانش گرمایی بیشتر از مایعات و در مایعات این میزان بیشتر از گاز هاست اما آب به دلیل خاصیت پیوند هیدروژنی و ثابت دی الکتریک رسانای خوبی برای گرما نیست به همین دلیل در نمودار (۱۰-۴) باافزایش دما این مقدار روند کاهشی پیدا کرده و بر عکس در نمودار (۶-۴) در گازها با افزایش دما رسانش گرمایی بیشتر میشود. آنتالپی ویژه ی آب همان حرارت محسوس آب

است به این معنی مقدار انرژی لازم برای افزایش ۱ کیلوگرم آب با دمای ۱ درجه ی سانتی گراد است در نمودار (۴-۸) نشان می دهد که با افزایش دما این مقدار نیز افزایش یافته پس با تعرف آنتالپی ویژه برای آب و اثر دما بر این مولفه باید افزود که فشار نیز نقش مهمی در کاهش و افزایش مقدار آنتالپی ویژه دارد. آنتالپی ویژه برای گازها برابر است با انرژی حاصل در فشار ثابت در جرم مشخص و دمای مشخص است که در گاز ها نیز با توجه به نمودار (۴-۷) و وابستگی به جرم، فشار و دما که بر این مقدار موثر می باشند و لازم به ذکر است علامت منفی نشان دهنده ی گرمازا بودن سیستم و واکنش ها است. ظرفیت ویژه ی گرمایی از مشتق گیری آنتالپی سیستم نتیجه می شود. ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت بدست می آید. مولکول ها در گازها از سرعت بالایی برخوردارند و تغییر کمی در دمای یک گاز منجر به افزایش حجم آن می شود. به این دلیل ظرفیت گرمایی ویژه در گاز ها پایین است و طبق نمودار (۴-۵) با کاهش دما گرمای ویژه گازها نیز کاهش پیدا کرده است. افزایش حرکت مولکول ها و حجم مایعات در اثر افزایش دما کمتر از گازهاست بنابراین ظرفیت گرمای ویژه آنها از گاز ها بیشتر است. در نمودار (۴-۹) به دلیل پیوند هیدروژنی مستحکم در آب تا دمای **45** درجه سانتیگراد مقیاس ناچیز کاهش می یابد و بعد از آن که در حال گرم شدن و نزدیک شدن به دمای جوش است با افزایش دما میزان ظرفیت گرمایی نیز افزایش می یابد.

#### ۴-۶- تغییرات و محاسبه فشار

بنا بر اینکه فشار مولفه ی مهمی در این پژوهش می باشد و ورودی های ما با فشار مشخص به مبدل وارد می شوند. و بر خیلی از عوامل ترمودینامیکی تاثیر می گذارد درجدول زیر مولفه های فشار خروجی و افت فشار و دیگر عوامل آورده شده است.

#### Results pressure drop از قسمت

جدول ( ۴-۴ ) محاسبات فشار

Pressure Drop	Shell Side				Tube Side			
Maximum allowed	0.5				0.1			
Total calculated	0.02225				0.05901			
Gravitational	0				0			
Frictional	0.02225				0.05901			
Momentum change	0				0			
Pressure drop distribution	m/s		bar	%dp	m/s		bar	%dp
	Near Inlet	Near Outlet			Near Inlet	Near Outlet		
Inlet nozzle	1.13		0.00686	30.81	76.44		0.00901	15.27
Entering bundle	0.06				93.29		0.00754	12.77
Inside tubes					93.29	76.9	0.02849	48.29
Inlet space Xflow	0.06		0.00025	1.11				
Bundle Xflow	0.04	0.05	0.00051	2.29				
Baffle windows	0.03	0.03	9E-05	0.42				
Outlet space Xflow	0.06		0.00021	0.94				
Exiting bundle	0.06				76.9		0.00856	14.5
Outlet nozzle	2.04		0.01434	64.44	69.46		0.00541	9.17
Liquid outlet nozzle								
Vapor outlet nozzle								
Intermediate nozzles								

با مشاهده ی جدول (۴-۴) می توان دریافت میزان افت فشار در گازها بیشتر از مایعات بوده است. از آنجا که گاز با کاهش دما انرژی از دست داده و الزاما برخورد ذرات کمتر می شود. و سطح ارتفاع ورودی و خروجی نیز بر آن تاثیر می گذارد. اما در مایعات با توجه به اینکه گرما

دریافت می کند مقدار ناچیزی افت فشار دارد که آن هم می تواند به دلیل رسوبات یا اختلاف سطح ورودی و خروجی باشد.

#### ۴-۷- تغییرات سرعت و سطح مقطع

مولفه ی سرعت چه در خروجی و ورودی مبدل و چه در لوله و پوسته کمیت مهمی است که بر میزان نرخ تولید و کیفیت آن تاثیر می گذارد. از این رو در جدول (۴-۵) به سرعت در مبدل و همچنین سطح مقطع ورودی و خروجی پرداخته شده است. از قسمت

#### Results thermal flow analysis

جدول (۴-۵) تغییرات سرعت

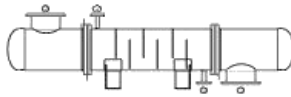
Rho*V2 Analysis	Flow Area mm <sup>2</sup>	Velocity m/s	Density kg/m <sup>3</sup>	Rho*V2 kg/(m·s <sup>2</sup> )	TEMA limit kg/(m·s <sup>2</sup> )
Shell inlet nozzle	963	1.13	965.43	1239	2232
Shell entrance	2936	0.37	965.43	132	5933
Bundle entrance	18620	0.06	965.43	3	5933
Bundle exit	18620	0.06	929.62	3	5933
Shell exit	2227	0.51	929.62	242	5933
Shell outlet nozzle	558	2.04	929.62	3833	
	mm <sup>2</sup>	m/s	kg/m <sup>3</sup>	kg/(m·s <sup>2</sup> )	kg/(m·s <sup>2</sup> )
Tube inlet nozzle	50674	76.44	0.34	2003	
Tube inlet	41663	93.29	0.34	2964	
Tube outlet	41663	76.9	0.42	2460	
Tube outlet nozzle	50674	69.46	0.38	1820	

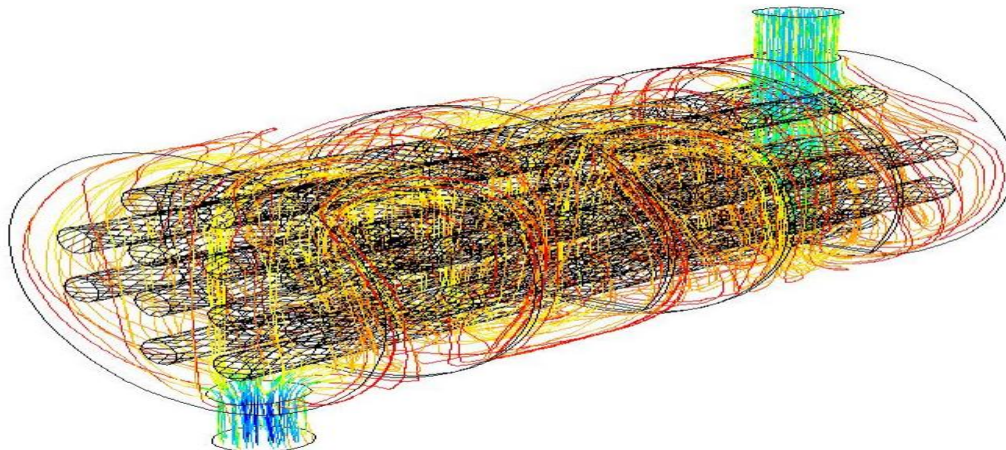
در جدول (۴-۵) در یافته می شود که میزان سرعت خروجی از ورودی کمتر است. مهمترین علت وجود رسوبات موانع و هندسه ی پوسته و لوله می باشد که امر طبیعی و واقعی می باشد.

#### ۴-۸- هندسه و مشخصات فنی مبدل

در مبدل های حرارتی معمولا دوسیال بدون تماس جرمی با یکدیگر تبادل حرارتی می کنند. سیال سردتر در تماس با سیال گرم انرژی حرارتی گرفته و دمای آن بالا می رود و در عوض سیال گرم تر با از دست دادن حرارت سرد می شود. این تبادل بر اساس اصول ابتدایی انتقال حرارت یعنی رسانش گرمایی و همرفت قابل توصیف است. در مبدل ها در حالت ایده آل و بدون در نظر گرفتن پرت انرژی مقدار گرمایی که سیال گرم از دست می دهد و مقدار گرمایی که سیال سرد می گیرد برابر بوده و طبق رابطه بنیادی  $q_h = m_h c_h \Delta T_h$  و  $q_c = m_c c_c \Delta T_c$  که  $q_h$  و  $q_c$  گرمای مبادله ای سرد و گرم،  $m_h$  و  $m_c$  نشان دهنده ی دبی جرمی سیال می باشد. برای رسیدن به دما، سرعت، فشار، دبی حجمی و انرژی حراری مورد نظر باید تبدیلی با ظرفیت و مشخصات مناسب در نظر گرفته شود. از این رو برای این پژوهش مبدل مناسب طراحی و در نظر گرفته شد. در شکل (۴-۱) و (۴-۲) و (۴-۳) بترتیب شماتیک و مشخصات هندسی و فنی مبدل و لایه ی لوله ها و وزن و هزینه ساخت نشان داده شده است.

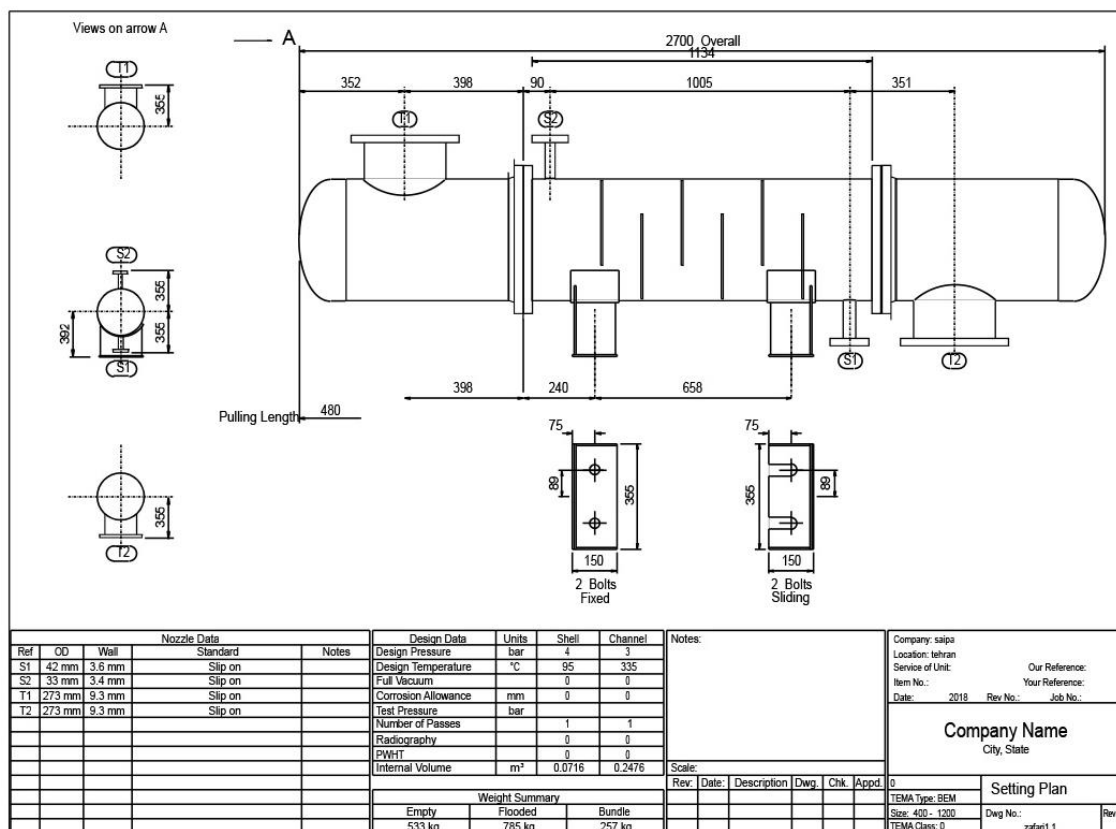
جدول (۶-۴) اطلاعات جانبی مبدل

CONSTRUCTION OF ONE SHELL											<div>Sketch</div> 	
		Shell Side					Tube Side					
Design/Vacuum/test pressure		bar	4 / /					3 / /				
Design temperature		°C	95					335				
Number passes per shell			1					1				
Corrosion allowance		mm	0					0				
Connections	In	mm	1	31.75	/	-	1	254	/	-		
Size/Rating	Out		1	25.4	/	-	1	254	/	-		
Nominal	Intermediate		/ -					/ -				
Tube #: 214      OD: 19.05    Tks. Average 1.65      mm    Length: 1200      mm    Pitch: 23.81      mm    Tube pattern: 30												
Tube type: Plain		Insert: None					Fin#:		#/m		Material: SS 304	
Shell	SS 304	ID	400	OD	410	mm	Shell cover		-			
Channel or bonnet		SS 304						Channel cover		-		
Tubesheet-stationary		SS 304	-					Tubesheet-floating		-		
Floating head cover		-						Impingement protection		None		
Baffle-cross	SS 304	Type	Single segmental		Cut(%d)	29.38		H Spacing: c/c		135	mm	
Baffle-long	-	Seal Type					Inlet		229.98		mm	
Supports-tube		U-bend	0		Type							
Bypass seal		Tube-tubesheet joint					Expanded only (no groove)(App.A 'k')					
Expansion joint		-	Type					None				
RhoV2-Inlet nozzle		1239	Bundle entrance		3	Bundle exit		3	kg/(m·s <sup>2</sup> )			
Gaskets - Shell side		-	Tube side					Flat Metal Jacket Fibe				
Floating head		-										
Code requirements		ASME Code Sec VIII Div 1					TEMA class	R - refinery service				
Weight/Shell		533.1	Filled with water	785	Bundle		256.9	kg				



شکل (۴-۱) شکل کلی از مبدل پوسته لوله

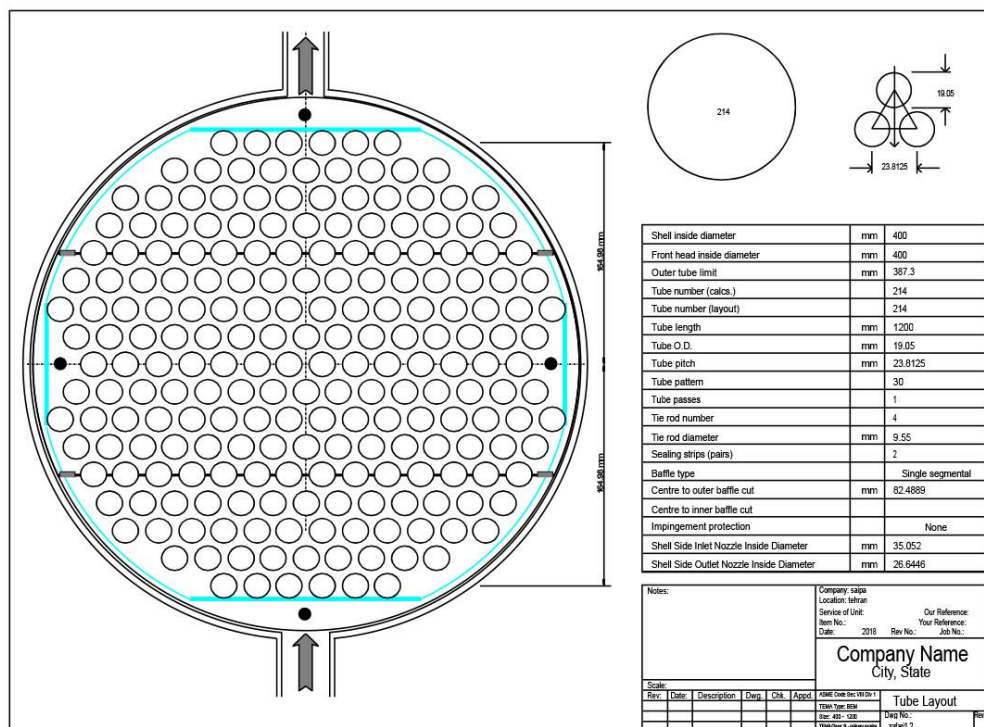
## Setting Plan



شکل (۴-۲) شماتیک فنی و هندسی از مبدل طراحی شده



## Tubesheet Layout



## Costs/Weights

Weights	kg	Cost data	Dollar(US)
Shell	119.9	Labor cost	15343
Front head	77.7	Tube material cost	1203
Rear head	78.6	Material cost (except tubes)	5019
Shell cover			
Bundle	256.9		
Total weight - empty	533.1	Total cost (1 shell)	21565
Total weight - filled with water	785	Total cost (all shells)	21565

شکل (۳-۴) شماتیک فنی و هندسی از لایه ی لوله ها و وزن و هزینه در مبدل

## ۴-۹- مقایسه مشخصات دو نمونه با دبی ها و دما های متفاوت

برای اینکه دید جامع تری نسبت به طراحی و شبیه سازی انجام شده با حالت های دیگر همراه ورودی های متفاوت وجود داشته باشد. همین شبیه سازی در دمای 350 درجه گاز ورودی به

لوله و دبی **6000 kg/h** و برای آب دبی **2000 kg/h** انجام شد و نتایج آن در جدول

مقایسه ای (۷-۴) آمده است. که حالت اولیه **A** و دومی را **B** نامیده شد.

جدول (۷-۴) مقایسه دو نمونه بهینه سازی شده

موضوع	واحد	A	D
دبی آب ورودی	Kg/h	3000	4800
دبی آب خروجی	Kg/h	3000	4800
دبی گاز ورودی	Kg/h	3900	6000
دبی گاز خروجی	Kg/h	3900	6000
شار حرارتی واقعی	KW/m <sup>2</sup>	15.6	20
انتقال حرارت	KW	160	265.7
دمای گاز ورودی به لوله	°C	300	350
دمای گاز خروجی از لوله	°C	143.68	194.2
افت فشار در لوله	Bar	0.059	0.0577

نتایج در جدول نشان میدهد که با بالا بردن مقدار کم دما و مقدار متوسط دبی در نتیجه پژوهش و حتی نوع مبدل چه میزان تاثیر قابل توجهی می گذارد. و مصرف انرژی را بالاتر می برد. بنا براین اهمیت هر مولفه این که کدام از آنها مهم هست و در انتخاب اولویت دارد می توان این طور بیان کرد که شبیه سازی **A** با میزان تبادل حرارتی کم می توان مقدار مطلوبی آب گرم با دمای خواسته شده را بدست آورد. اما در قسمت **B** با صرف تبادل حرارتی خیلی بیشتر و دبی بیشتر، که دمای خروجی گاز از مبدل بالا رفته و از انتشار گازهای گل خانه ای جلوگیری به عمل نیامده و ما باید طوری مبدل را طراحی کنیم دمای خروجی اگزاست به کمترین مقدار خود برسد.

## فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

### ۵-۱- نتیجه گیری

در فصل ۴ نتایج حاصل از شبیه سازی اعم از مشخصات ترمودینامیکی و سیالاتی و نیز هندسی، در قالب جدول و نمودار بررسی و ارایه شد. از آنجا که هدف اصلی صرفه جویی در مصرف سوخت جهت گرم کردن آب صنعتی تا دمای 60 درجه ی سانتی گراد به بوسیله ی حرارت خروجی از کوره ی رنگ بود در جدول (۴-۳) قابل مشاهده می باشد. برای گرم کردن آب شهری با دمای میانگین 20 درجه ی سانتی گراد در مبدل حرارتی با کمک گرفتن از گاز خروجی اگزوز کوره با دمای 300 درجه ی سانتی گراد 160.4 kw انرژی حرارتی انتقال یافت. به این معنی که این اتفاق صورت بگیرد 160.4 kw انرژی نیاز می باشد که باید یا از طریق سوخت فسیلی یا الکتریسیته تامین شود. این کار صرفه جویی 160.4 kw در مصرف انرژی و نیز کاهش آلودگی محیط زیست می شود. با این مقدار انتقال انرژی حرارتی می توان 3000 kg/h آب با دمای 60 درجه سانتی گراد بدست آورد. برای بدست آمدن چنین مشخصاتی نیز باید تبدلی با ظرفیت و توانایی در خورد انتخاب و طراحی کرد که مشخصات آن در شکل (۴-۲) آمده است و باید چنین تبدلی انتخاب گردد . با توجه به جدولهای زیر

جدول (۱-۵) مستندات

میزان انتشار گازهای آلاینده به ازای تولید هر کیلو وات ساعت الکتریسیته در نیرو گاههای کشور	
<b>Co2</b>	<b>700 gr</b>
<b>Sox</b>	<b>22.1 gr</b>
<b>Nox</b>	<b>3.2 gr</b>

در نتیجه

جدول (۵-۲)

میزان کاهش انتشار گازهای آلاینده از بازیافت 160.4 kw انرژی حاصل از پروژه در سال	
<b>Co2</b>	<b>970000 kgr</b>
<b>Sox</b>	<b>30627 kgr</b>
<b>Nox</b>	<b>4434 kgr</b>

و با توجه به این که هر یک متر مکعب گاز میتواند انرژی معادل 8600 K Cal تولید نماید , در نتیجه پس از تقسیم مقدار انرژی قابل بازیافت بر 8600 مقدار گاز مصرفی جهت تولید 160.4 kw انرژی بدست می آید , که در حدود  $15 \text{ m}^3/h$  می باشد . این مقدار گاز میزان صرفه جویی این پروژه میباشد , که در سال 129600 میشود و هر متر مکعب گاز به قیمت ۱۵۰ تومان که در نهایت 19440000 میلیون تومان ذخیره میگردد. مبدل از ابتدا پوسته و لوله در نظر گرفته شده بود و آب در پوسته و گاز در لوله جریان دارد، از این رو مولفه های

دمایی، فشاری و سرعت در نرخ تولید آب گرم و حتی میزان انتقال حرارت تاثیر گذار است، بررسی شد و افت سرعت و حتی فشار در این پژوهش نشان دهنده ی وجود رسوبات در مسیر جریان دارد و در صنعتی سازی باید مورد توجه ویژه قرار گیرد.

با مقایسه دو نمونه شبیه سازی شده با اطلاعات ورودی متفاوت این نتیجه حاصل شد که با افزایش نسبی دمای گاز و بالابردن قابل توجه دبی جریان ورودی علاوه بر بالا رفتن دبی خروجی آب گرم میزان انرژی حرارتی مورد نیاز افزایش بسیار چشم گیری می کند، از این رو اگر اولویت با صرفه جویی در مصرف انرژی و صرفه ی اقتصادی باشد حالت دوم چندان مطلوب نمی باشد و باید دبی و دما در این باقی بماند . و از طرفی اگر تولید آب گرم اولویت اول باشد باید دما و دبی ورودی آب و گاز به مبدل به نحو قابل چشمگیری افزایش یابند. میزان آب گرم تولیدی با دمای 60 درجه ی سانتی گراد که با نرخ تولید 3000 kg/h بدست آمده است را می توان برای گرمایش و سیستم بهداشتی استفاده کرد. برای بالا بردن دما و یا افزایش نرخ تولید باید دمای گاز و دبی آب ورودی را افزایش داد و نیز مبدلی با شرایط موجود انتخاب و طراحی کرد.

## ۵-۲- پیشنهادات

این پژوهش در موضوع مربوطه به طراحی مبدل و گرم کردن آب صنعتی بوسیله حرارت خروجی از اگزوز کوره و مشخصات و خواص ترمودینامیکی و سیالاتی وابسته به آن پرداخته است. با توجه به گستردگی موضوع می توان پیشنهاداتی برای ادامه این کار ارائه داد:

- ۱- بررسی کاهش آلاینده‌گی گاز خروجی مبدل
- ۲- قرار دادن توربین در مسیر گاز خروجی از اگزوز و استحصال انرژی
- ۳- بررسی اثر رسوبات در مسیر جریان و ارائه راهکار برای کاهش رسوب گذاری در مسیر جریان
- ۴- به حداکثر رساندن دمای آب با انرژی حرارتی موجود در گاز خروجی از اگزوز



- [1] Chemical process design and integration, R.Smith, 2005 John Wiley & Sons, Ltd.
- [2] NALCO, Guide to Boiler Failure Analysis.
- [3] Oil refineries in the 21st century, by Ozen Ocic, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [4] ENERGY EFFICIENCY & CONSERVATION: A REFINERS PERSPECTIVE ANDY BRITAIN REGIONAL DISCIPLINE LEADER, EUROPE, MIDDLE EAST & AFRICA CARBON & ENERGY MANAGEMENT CONSULTANCY SHELL GLOBAL SOLUTIONS INTERNATIONAL B.V.
- [5] A Review of Control System Technologies in the Field of Energy Management, F. Hourfar(1), (2), K. Salahshoor(2), B.Moshiri(3), M.G. Ayat(4).
- [6] Economic assessment of Replacing the Current Running Industrial Burners with High Efficiency Burners in Various Industries, Sepehr Sanaye, Hossein Babaie, Touski Hamzeh, Jafar Karimi.
- [7] محمدی اردهالی مرتضی، مفاهیم بهینه سازی مصرف انرژی، مجله اقتصاد انرژی، آبان ۱۳۹۱.
- [8] فاتحی فر اسماعیل، پاک نیا سعید، کشاورز پیمان، ارائه راهکارهایی برای صرفه جویی در مصرف انرژی، دانشگاه شیراز دانشکده مهندسی شیمی.
- [9] سلطان محمد زاده جعفر صادق، فاتحی فر اسماعیل، بازیابی فلزات با ارزش از کاتالیزورهای مستعمل پالایشگاهی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز ۱۳۸۰.
- [۱۰] محمد خواجه، همایون؛ درویشی، پرویز، (۱۳۹۴)، بهینه سازی بازیافت و انرژی اتلافی ازدیواره‌های کوره ۴۰۱ واحد الفین آبادان پتروشیمی، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی فرآیند، پالایش و پتروشیمی، ۷ خرداد ۹۴، تهران.

[۱۱] توانی، سید مرتضی؛ طباطبایی قمشه‌ای، سید مصطفی، بهینه سازی و بازیافت انرژی اتلافی از دیواره های کوره بویلردوجدید واحد ۲۰۰ پتروشیمی آبادان، اولین کنفرانس ملی نفت و گاز، پتروشیمی و توسعه پایدار.

[۱۲] جعفرنیا، سید هادی؛ احمدی، غلام محمد، (۱۳۹۰)، افزایش بازده کوره ها و دیگهای بخار با سیستم های کنترلی هوای اضافی، نخستین همایش مشعل و کوره های صنعتی، ۲۳ تیرماه ۱۳۹۰، ایران.

[۱۳] ناصر، ایرج؛ نعمتی صیاد، حامد، (۱۳۹۳)، طراحی و شبیه سازی مبدل حرارتی پیش گرمکن هوایی جهت کوره های واحد الفین شرکت پتروشیمی مروارید با هدف بهینه سازی مصرف انرژی، ششمین کنفرانس مبدل‌های گرمایی.

[۱۴] شعبانی، حامد؛ ناصر، ایرج؛ رفیع‌زاده، مهدی، (۱۳۹۲)، طراحی و شبیه سازی رکوپراتور حرارتی جهت کوره H-101 پالایشگاه تهران، پنجمین همایش مبدل‌های گرمایی.

[۱۵] عسکری، مهدی، بهینه سازی مصرف انرژی در صنایع نفت و گاز.

[۱۶] گوگل، مهدی؛ جاودان، حمیدرضا، امکان سنجی حذف عملیاتی کوره گرمایش روغن با استفاده از گاز داغ خروجی از توربین های گاز، ماهنامه نفت و انرژی.

[۱۷] حاجی‌زاده، خاطره؛ ترکی، فروغ؛ حاجی آقا معمار، مرضیه؛ مسائلی، حمیدرضا، (۱۳۸۶)، بررسی راهکارهای صرفه جویی مصرف انرژی در صنعت آجر، ششمین همایش ملی انرژی.

شماره: ۹۶/۲۶۶۹  
تاریخ: ۹۶/۱۲/۱۲  
پیوست:



ARVIN BOKHAR  
HEATING INDUSTRIES

صنایع حرارتی آروین بخار

شماره ثبت: ۱۰۶۹۸۵

از: شرکت صنایع حرارتی آروین بخار

به: شرکت سایا

جناب آقای زعفری

احتراماً عطف به درخواست حضرتعالی پیشنهاد مالی ساخت یک دستگاه اکونومایزر به شرح ذیل حضورتان تقدیم میگردد.

ردیف	شرح	مبلغ (ریال)
۱	یک دستگاه اکونومایزر از نوع فین دار فولادی با قابلیت نصب روی دودکش کوره زباله سوز با ظرفیت $1,200,000 \text{ Btu/hr}$ بدون شیر آلات و ابزار دقیق	۲۶۵,۰۰۰,۰۰۰
۲	شیر آلات و ابزار دقیق مورد نیاز اکونومایزر	۳۰,۰۰۰,۰۰۰
	جمع کل	۲۹۵,۰۰۰,۰۰۰
	۹٪ مالیات بر ارزش افزوده	۲۶,۵۵۰,۰۰۰
	جمع کل با احتساب ۹٪ مالیات بر ارزش افزوده	۳۲۱,۵۵۰,۰۰۰

با توجه به دمای خروجی اگزوز (۳۰۰ درجه سانتیگراد) و دبی ۱۲,۰۰۰ متر مکعب بر ساعت مجموع انرژی قابل بازیافت ۳۰۰,۰۰۰ کیلوکالری خواهد بود که به شکل یک دستگاه مبدل حرارتی (اکونومایزر فین دار) ساخته و نصب میگردد و توان گرمایش ۶۰۰۰ لیتر آب در ساعت به صورت غیر مستقیم از دمای ۱۰ درجه سانتیگراد به ۶۰ درجه سانتیگراد را خواهد داشت. طراحی سطح حرارتی مناسب و محاسبات دبی جریان سیال واسطه توسط فروشنده تضمین میگردد.

با تشکر

صنایع حرارتی آروین بخار



کارخانه: جاده تهران - ساوه، شهرک صنعتی پرند  
بلوار صنعت، تقاطع بلوار خزر جنوبی  
و گلبهار شرقی، پلاک ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶  
info@arvinbokhar.net  
www.arvinbokhar.com  
تلفن: ۵۶۴۱۷۱۲۱

دفتر مرکزی: تهران، بلوار ستاری، نرسیده به تقاطع لاله  
نبش شقایق ۱۵، ساختمان شماره ۲، پلاک ۵۹، واحد ۷  
تلفن: ۴۴۴۶۵۸۱  
۴۴۴۷۳۴۱۹ - ۴۴۴۷۳۴۵۳  
۴۴۴۸۷۴۶  
فکس: ۴۵۸۶۸  
(خط ویژه)

پیشنهاد مالی

الف) جدول پیشنهاد قیمت :				
ردیف	شرح کالا	تعداد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
۱	بویلر آبگرم بازتاب حرارتی آبگرم با ظرفیت خروجی 350.000 کیلوکالری بر ساعت با فشار کاری 6 بار دارای تمام متعلقات کنترلی، ابزار دقیق، شیرآلات، تابلو برق و ...	۱	۴۷۲,۰۰۰,۰۰۰	۴۷۲,۰۰۰,۰۰۰
۲	سیستم By Pass	۱	Later	Later
جمع کل (ریال)			۴۷۲,۰۰۰,۰۰۰	

ب) توضیحات:

- ❖ مالیات بر ارزش افزوده بر عهده خریدار محترم می باشد.
- ❖ این شرکت جهت ساخت بویلر ها از مرغوبترین متریال موجود در بازار استفاده می نماید.
- ❖ آموزش ۲ نفر از پرسنل خریدار به عهده فروشنده می باشد.
- ❖ نقشه جانمایی و فوندانسیون یک هفته پس از ثبت سفارش و درخواست کتبی به خریدار ارائه خواهد شد.
- ❖ دفترچه تعمیر و نگه داری بویلر در زمان تحویل دستگاه به خریدار ارائه خواهد شد.
- ❖ کارشناسان فنی شرکت پاکمن اعلام آمادگی خود را برای برگزاری هرگونه جلسه فنی اعلام می دارند.
- ❖ ظرفیت، حجم آبگیری و تجهیزات نصب شده بر روی بویلر حتی تا ۵۰ درصد روی قیمت تمام شده تاثیر دارد.
- ❖ این حق برای خریدار محفوظ است تا قبل از خرید و در حین ساخت دستگاه از مراحل ساخت و متریال مصرفی بازدید به عمل آورد.

نحوه پرداخت

- ۵۰ درصد از مبلغ قرارداد بعنوان پیش پرداخت در حین عقد قرارداد.
- ۵۰ درصد از مبلغ قرارداد هنگام آمادگی شرکت پاکمن جهت تحویل دستگاهها.

زمان تحویل

- زمان تحویل بویلر دو ماه کاری می باشد.

مکان و نحوه تحویل کالا

فروشنده موظف است کالای مذکور را طبق استاندارد ساخت محصول پس از تست نهایی و تأیید نماینده خریدار در بسته بندی مناسب به همراه یک جلد دفترچه نصب و نگهداری در درب کارخانه فروشنده واقع در شهر اصفهان تحویل نماینده خریدار نماید.

021 - 42362

021 - 88737131

تهران، خیابان بخارست، دهم غربی، پلاک ۳، طبقه چهارم

www.packmangroup.com/info@packman.ir

## **Abstract**

This study examines the industrial water heating by using the heat removed from the exhaust furnace in the converter . Hot water with a flow of 3000 kg/h was obtained at converter output. The gas also lost its heat , reaching 148.2 c , and the thermal energy transfered to the the converter was 160.4 kW. Also , the geometric specifications and the design of the converter were made to make this simulation real and possible in industry. The thermodynamic and flow characteristics of the gas were extracted at the outlet , and the deposits contained in the gas flow pipe cause a drop in pressure and a drop in speed , which has been investigated. according to the results of a temperature of 300c to the converter and in flow of 3000 kg/h water , the optimum input for heating the water at 20 c to 60 c is to save energy and to fit it , the converter will be provided at a reasonable price . Meanwhile , the burning of 129600 cubic meter of fossil fuels and 160.4 kW energy per year will be prevented and we will have a healthier environment.

**Key words** : heat exchanger, energy, optimization, furnace, exhaust



Energy Institute For Higher Education

Faculty Of Engineering

Department Of Energy System Engineering - Energy Technology

Thesis For

Degree Of Master Of Science (M . Sc)

Title:

# Energy loss optimization of gas industrial furnaces exhaust with the use of heat exchanger (Design & Analyze)

Supervisor:

Dr. Mojtaba Mirzae

By:

Jamadar zafari

Winter/2019