دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

مدلسازی عددی انتقال حرارت در مبدل های حرارتی صفحه ای

پایان نامه کارشناسی ارشد تبدیل انرژی

راضیه حسن زهرائی

اساتید راهنما

دکتر احمدرضا عظیمیان **دکتر احمد صداقت**

۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته تبدیل انرژی خانم راضیه حسن زهرائی

تحت عنوان

مدلسازی عددی انتقال حرارت در مبدل های حرارتی صفحه ای

در تاریخ ۱۳۸۷/۳/۲۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر احمدرضا عظیمیان
۲- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر احمد صداقت
۳- استاد مشاور پایان نامه	دکتر علی اکبر عالم رجبی
۴- استاد داور	دکتر احمد صابونچی
۵-استاد داور	دکترمحمدرضا سلیم پور
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکترمهدی کشمیری

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تاریخچه ای در مورد مبدل های حرارتی صفحه ای ۳

۱-۳ کاربردهای مبدل حرارتی صفحه ای ۴

۱-۴ مروری بر تحقیقات محققین در رابطه با آرایش های گوناگون مبدل حرارتی صفحه ای ۵

۱-۵ دور نمایی از پروژه ۸

فصل دوم: ساختمان و پارامترهای بیان کننده آرایش مبدل های حرارتی صفحه ای

۲-۱ ساختمان مبدل های حرارتی صفحه ای گازکت شده یا صفحه و شاسی ۱۱

۲-۱-۱ جنس و اندازه صفحات ۱۲

۲-۱-۲ انواع موج دهی صفحات ۱۲

۲-۱-۳ واشر ۱۵

۲-۱-۴ قاب ۱۶

۲-۱-۵ منفذها ۱۷

۲-۱-۶ پیچ های مبدل ۱۹

۲-۱-۷ صفحات متصل کننده ۱۹

۲-۲ معیار انتخاب و مزایای مبدل حرارتی صفحه ای گازکت شده ۲۰

۲-۲-۱ هزینه سرمایه گذاری و عملیات ۲۰

۲-۲-۲ سهولت تعمیر و نگهداری در فضای کمتر ۲۰

۲-۲-۳ یکنواخت بودن اختلافات و توزیع درجه حرارت ۲۱

۲-۲-۴ ضریب انتقال حرارت بالا ۲۱

۲-۲-۵ قابلیت انطباق با نوع فرآیند ۲۱

۲-۲-۶ استفاده بیش از دو سیال در مبدل ۲۲

۲-۲-۷ اتلاف حرارتی ناچیز ۲۲
۲-۲-۸ مقاومت در برابر شوک حرارتی ۲۲
۲-۲-۹ عدم وجود ناحیه راکد و مرده در بین صفحات ۲۲
۲-۲-۱۰ وزن و حجم کم مبدل و کاهش هزینه اتصالات جانبی ۲۲
۲-۲-۱۱ سهولت و کاهش دفعات تمیزکردن مبدل ۲۳
۲-۲-۱۲ عدم اختلاط دو سیال ۲۳
۲-۳ محدودیت عملکرد و معایب مبدل حرارتی صفحه ای ۲۳
۲-۴ مقایسه مبدل حرارتی صفحه ای با نوع رایج مبدل ها (پوسته و لوله ای) ۲۴
۲-۵ انواع جریان سیال درون مبدل ۲۶
۲-۵-۱ گذرها ۲۶
۲-۵-۲ آرایش (۱/۱) ۲۶
۲-۵-۳ آرایش (۲/۲) ۲۷
۲-۵-۴ آرایش (۲/۱) ۲۷
۲-۶ مشخصات و پارامترهای بیان کننده آرایش مبدل های حرارتی صفحه ای ۲۸
۲-۶-۱ تعداد کانال ها (N_C) ۲۸
۲-۶-۲ تعداد گذرها در سمت I و II $(P^I \ , \ P^{II})$ ۲۸
۲-۶-۳ موقعیت نسبی تغذیه ورودی (ϕ) ۲۹
۲-۶-۴ موقعیت سیال گرم ورودی (Y_h) ۳۰
۲-۶-۵ نحوه حرکت جریان در کانال (Y_f) ۳۰
۲-۷ تساوی آرایش ها ۳۱
۲-۸ نامگذاری مبدلهای حرارتی صفحه ای ۳۳
۲-۹ تعریف پارامتر (v_P) ۳۳

فصل سوم: تحلیل و بررسی حرارتی مبدل حرارتی صفحه ای

۳-۱ هندسه صفحه ۳۴
۳-۱-۱ زاویه چورون ۳۴

۳-۱-۲ طول مؤثر صفحه ۳۵
۳-۱-۳ فاصله متوسط کانال جریان ۳۶
۳-۱-۴ مساحت کانال جریان ۳۶
۳-۱-۵ قطر معادل کانال ۳۷
۳-۲ محاسبات انتقال حرارت و افت فشار ۳۷
۳-۲-۱ ضریب انتقال حرارت ۳۷
۳-۲- ۲ افت فشار کانال ۴۰
۳-۲-۳ افت فشار دهانه ۴۱
۳-۳ اختلاف دمای مؤثر ۴۳
۳-۴ بازده حرارتی مبدل و ضریب تصحیح اختلاف دمای متوسط لگاریتمی ۴۴
۳-۵ ضریب انتقال حرارت کلی ۴۶
۳-۶ سطح انتقال حرارت ۴۷
۳-۷ آرایش مبدل ۴۷
۳-۷-۱ صفحات با θ ی کوچک و θ ی بزرگ ۴۸
۳-۷-۲ حرارت ناشی از ترکیب ۴۸

فصل چهارم: معادلات ریاضی حاکم و مدل ها

۴-۱ معادلات حاکم ۵۰
۴-۲ مدل های اغتشاشی ۵۱
۴-۲-۱ مدل $k-\varepsilon$ استاندارد ۵۱
۴-۲-۲ مدل $k-\varepsilon$ (RNG) ۵۳
۴-۲-۳ اثر دیوار ۵۳

فصل پنجم: روشهای عددی

۵-۱ مقدمه ۵۶
۵-۲ روش حل تفکیکی ۵۷
۵-۳ خطی سازی ۵۷
۵-۳-۱ روش ضمنی ۵۸

۵-۴ گسسته سازی ۵۸
۵-۴-۱ ضرایب زیر تخفیف ۵۸
۵-۵ معیارهمگرایی ۵۹
۵-۶ شرایط مرزی ۶۰
۵-۷ روش حل ۶۰
۵-۷-۱ مدل اغتشاشی ۶۰
۵-۷-۲ مرتبه گسسته سازی معادلات ۶۱
۵-۷-۳ ضرایب زیر تخفیف ۶۱
۵-۷-۴ الگوریتم حل تؤام سرعت و فشار ۶۱
۵-۷-۵ معیار همگرائی ۶۲

فصل ششم: شبیه سازی مبدل های حرارتی صفحه ای و تحلیل نتایج

۶-۱ مدل هندسی مبدل حرارتی صفحه ای ۶۳
۶-۱-۱ هندسه مبدل با صفحات تخت ۶۳
۶-۱-۲ هندسه مبدل با صفحات شیاردار ۶۵
۶-۲ شبکه بندی مبدل حرارتی صفحه ای ۶۹
۶-۲-۱ شبکه بندی مدل مبدل حرارتی با صفحات تخت ۶۹
۶-۲-۲ شبکه بندی مدل مبدل حرارتی با صفحات شیاردار ۷۰
۶-۳ جریان سیال درون مبدل حرارتی صفحه ای ۷۱
٦-٤ فرض ها و محدودیت های مدل مبدل حرارتی صفحه ای ۷۱
۶-۵ شرایط مرزی ۷۲
۶-۶ تحلیل نتایج ۷۳
۶-۷ بررسی صحت شبیه سازی های انجام شده ۷۴
۶-۷-۱ نمونه اول ۷۴
۶-۷-۲ نمونه دوم ۷۶
۶-۷-۳ نمونه سوم ۷۸
۶-۸ تعیین حداقل تعداد کانال ۸۰

٦-٨-١ نمونه چهارم..... ٨٠
٦-٨-٢ نمونه پنجم..... ٨١
٦-٨-٣ نمونه ششم..... ٨٢
٦-٨-٤ بحث و بررسی بر روی نتایج..... ٨٢
٦-٩ بررسی آرایشها ی مختلف مبدل حرارتی صفحه ای بر روی عملکرد مبدل..... ٨٤
٦-٩-١ گروه اول، مبدل حرارتی صفحه ای با جریان غیر هم جهت در ورودی..... ٨٤
زیر گروه اول: ١٢ و ٦ و ٤ و ٣ و ٢ و ١ $P^{\Pi}P^{I}=$ ٨٤
بحث و بررسی بر روی نتایج زیر گروه اول..... ٩٦
زیر گروه دوم: $P^{I}<4$ و $1\le P^{\Pi}<4$ یا $P^{\Pi}\neq P^{I}$ ٩٩
بحث و بررسی بر روی نتایج زیر گروه دوم..... ١٠٣
زیر گروه سوم: $P^{I}\ge 4$ و $P^{\Pi}\ge 4$ و $P^{\Pi}\neq P^{I}$ ١٠٥
بحث و بررسی بر روی نتایج زیر گروه سوم..... ١٠٧
٦-٩-٢ گروه دوم، مبدل حرارتی صفحه ای با جریان هم جهت در ورودی..... ١٠٩
زیر گروه اول: $P^{I}\ge 3$ و $P^{\Pi}\ge 3$ ١٠٩
مقایسه توزیع دما، انتقال حرارت کلی و کارایی در کانال های دو مبدل با آرایش٣-٣ به ازای دو مقدار ٢ $=\phi$ و ٣ $=\phi$ ١١١
بحث و بررسی بر روی نتایج زیر گروه اول..... ١١٥
زیر گروه دوم: $P^{I}\ge 2$, $P^{\Pi}=2$ یا $P^{\Pi}\ge 2$, $P^{I}=2$ ١١٦
بحث و بررسی بر روی نتایج زیر گروه دوم..... ١١٩
زیر گروه سوم: $P^{I}\ge 2$, $P^{\Pi}=1$ یا $P^{\Pi}\ge 2$, $P^{I}=1$ ١٢١
بحث و بررسی بر روی نتایج زیر گروه سوم..... ١٢٣
زیر گروه چهارم: $P^{\Pi}=1$ یا $P^{I}=1$ ١٢٥
مقایسه توزیع دمای سیال در سه کانال اول گذر اول سیال گرم، در دو مبدل با آرایش ١-١ و٣-١ (٢ $=\phi$)..... ١٢٦
مقایسه توزیع دمای سیال در سه کانال اول گذر اول سیال گرم، در دو مبدل با آرایش ١-١ و٣-٣ (٢ $=\phi$)..... ١٢٧
بحث و بررسی بر روی نتایج زیر گروه چهارم..... ١٢٨
٦-٩-٣ بررسی تغییرات عملکرد مبدل با تعویض گذرهای دو سیال و تغییر موقعیت ورودی سیال II ١٢٨
٦-١٠ مدل مبدل حرارتی صفحه ای با جریان عمودی در کانال..... ١٣٥

۶-۱۱ شبیه سازی و تحلیل نتایج سه نوع صفحه شیار دار..... ۱۳۷
۶-۱۱-۱ نمونه سی و پنجم..... ۱۳۸
۶-۱۱-۲ نمونه سی و ششم..... ۱۳۹
۶-۱۱-۳ نمونه سی و هفتم..... ۱۴۰
۶-۱۱-۴ بحث و بررسی بر روی نتایج شبیه سازی مبدل های صفحه ای شیار دار..... ۱۴۰

فصل هفتم: نتیجه گیری

۷-۱ جمع بندی کلی نتایج..... ۱۴۲
۷-۲ پیشنهادات..... ۱۴۵

مراجع..... ۱۴۶

چکیده

در بررسی عملکرد یک مبدل حرارتی صفحه ای نوع آرایش جریان، یکی از مهمترین عوامل تاثیر گذار در کارایی مبدل است. یکی از مزایای این نوع مبدل حرارتی قابلیت انطباق با نوع فرآیند است که به واسطه ی تنوع در آرایش گذرها، می توان به میزان انتقال حرارت و دمای سیال خروجی مورد نظر دست یافت و مبدل را برای انجام فرآیند های گوناگون آماده کرد. لازم به ذکر است که ناهمواریها و شیارهای روی صفحات و نیز فاصله بسیار کم آنها از یکدیگر سبب ازدیاد اغتشاش در کانالها می شود بگونه ای که جریان سیال در رینولدزهای پایین نیز مغشوش است. پارامترهایی که نوع آرایش جریان را تعیین می کنند تعدادکانال ها، تعداد گذر هریک از دو سیال، مکان نسبی ورودی تغذیه، موقعیت سیال گرم ورودی و نحوه حرکت سیال درون کانال ها است که از رهگذر تغییر این عوامل، جریان های همسو و ناهمسو، سری و موازی و ... ایجاد می شوند.

در این پایان نامه سه نوع مبدل حرارتی صفحه ای شیار دار و نیز آرایش های مختلف یک مبدل صفحه ای با ۲۴ کانال، (به عنوان نماینده ای که بتواند نتایج را به مبدل های صنعتی تعمیم دهد) مدلسازی و پارامتر های مؤثر در عملکرد مبدل، مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین کانتورهای دما و سرعت و نیز پروفیلهای دما در طول کانالها در تعدادی از آرایش ها تشریح می شود. در کار حاضر حل عددی معادلات پیوستگی، اندازه حرکت و انرژی از طریق یک کد تجاری، به روش حجم محدود و با استفاده از مدل اغتشاشی $(k-\varepsilon)$ ، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و صحت نتایج بدست آمده توسط نتایج تجربی، تحقیق می شود.

نتایج بدست آمده نشان می دهد که افزایش تعداد گذر و تعداد کانال ها با جریان ناهمسو، موجب افزایش کارائی مبدل می شود اما روند تغییر تعداد مسیر های ناهمسو، در همه آرایش ها نمی تواند تعیین کننده روند تغییر میزان انتقال حرارت و کارایی مبدل باشد. می توان گفت افزایش توأم این دو پارامتر، افزایش انتقال حرارت در مبدل را به همراه دارد. میزان کارایی در مبدل هایی با آرایش مشابه، برای جریان غیر هم جهت در ورودی، بیشتر از میزان کارایی در مبدل با جریان هم جهت در ورودی است. نقش ورودی جریان سیال دوم، در بعضی مسائل حتی از تعداد گذر نیز بیشتر است. در یک مبدل با تعداد کانال ثابت، افزایش تعداد گذر منجر به افزایش دبی سیال عبوری از کانال ها شده و افت فشار در مبدل را افزایش می دهد. همچنین با افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی، ضریب انتقال حرارت کلی را بالا برده و در نهایت منجر به انتقال حرارت بیشتر در کل مبدل می گردد. هرگاه تعداد کانال های یک گذر بیشتر از یکی باشد، دبی سیال آن گذر بین کانال ها تقسیم می شود. این تقسیم بندی به نسبت کاملا مساوی صورت نمی گیرد، اما دمای سیال ورودی به کانال های یک گذر دقیقا مساوی دمای سیال ورودی به مبدل است. میزان کارایی در مبدل با جریان عمودی، با اختلاف کمی از میزان کارایی در مبدل با جریان قطری و با آرایش مشابه آن، کمتر است.

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

مبدل های حرارتی وسایلی هستند که برای تسهیل، تسریع و حتی افزایش انتقال حرارت بین دو و یا چند سیال به کار می روند. در زندگی روزمره با نمونه های زیادی که هر یک به نحوی با تبادل انرژی معرف مبدل های حرارتی هستند مواجه ایم. هر موجود زنده به طریقی به مبدل حرارتی مجهز است. پستانداران مبدل های حرارتی پیچیده ای دارند. مهمترین این مبدل ها شش ها هستند که با اشباع هوای بازدم از بخار آب بدن را خنک می کنند. شش ها علاوه بر این به عنوان یک مبدل جرمی هم عمل می کنند که اکسیژن را از هوا گرفته و گاز کربنیک را به آن پس می دهند. به استثناء شتر همه ی پستانداران فقط در یک درجه حرارت معین می توانند به طور طبیعی فعالیت نمایند و تغییر چند درجه دمای بدن آنها به بالا یا پائین، اختلالات فیزیولوژیکی شدیدی به وجود می آورد. پوست بدن با تغییر ظاهر فیزیکی خود با توجه به دما، رطوبت و سرعت هوای محیط به سان یک مبدل حرارتی، انتقال حرارت از بدن را کنترل می کند.

مبدل های حرارتی صنعتی از پیچیدگی کمتری برخوردارند ولی به دست آوردن تکنولوژی ساخت آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. مبدل های حرارتی در محدوده ی وسیعی از کاربردها استفاده می شوند. این کاربردها در صنعت برق و نیروگاه ها شامل انواع متعددی از دیگ های بخار با سوخت های فسیلی، مولدهای بخار با سوخت

هسته ای، چگالنده های بخار، بازیاب ها و برج های خنک کن، در صنایع فرآیندی شامل مبدل ها با جریان دوفاز برای تبخیر، چگالش و انجماد در کریستالیزاسیون[۱] ، در صنایع شیمیایی، غذایی و الکترونیک با کاربرد در رایانه ها، تبدیل و تقویت کننده ها، در مهندسی محیط زیست و بازیابی گرمای استفاده نشده شامل خنک کاری به کمک آبهای دور ریز و استفاده از انرژی زمین گرمایی، صنایع ساخت و تولید ، تبرید و تهویه مطبوع و کاربردهای فضایی می باشد.

در مجموع مبدل های حرارتی در صنعت به صور مختلفی از جمله دیگ بخار، کندانسور، اواپراتور، برج خنک کن، پیش گرم کن هوا، بازیاب، فن کویل، هواساز، گرم کن آب تغذیه، سوپرهیتر و غیره بکار می روند.

در سال های اخیر مبدل های حرارتی کاربرد روزافزونی در برخی صنایع بخصوص صنایع شیمیایی، غذایی و داروسازی یافته است. این امر موجب شده تا توجه بسیاری از محققین به سمت این نوع مبدل و بررسی رفتار عمومی آن معطوف گردد. مبدل های حرارتی صفحه ای که موضوع تحقیق حاضر است کاربرد توسعه یافته ی خود را مرهون طرح مطلوب و مقرون به صرفه خود است. ضریب انتقال حرارت بالا، طرح جمع و جور و فشرده، سهولت عملیات نظافت، رسوب زدایی و بسیاری از موارد دیگر از جمله مزایای این نوع از مبدل هاست.

از سال ۱۹۷۰ به بعد مقالات گوناگونی برای مدل سازی و شبیه سازی این نوع مبدل انتشار یافته است ولی با توجه به تازگی و پیچیدگی موضوع کمبودهایی در این زمینه احساس می شود . روش های گوناگونی برای شبیه سازی ارائه می شود که هر یک براساس تئوری های متفاوت و روش های مختلف حل معادلات و تکنیک های عددی یا بعضاً تحلیلی می باشند. در بسیاری از مقالات دهه ی اخیر شبیه سازی مبدل حرارتی صفحه ای تخت[۲] به کمک حل معادلات عددی از طریق برنامه نویسی رایانه ای و با شرایط مرزی تکرار شونده وابسته به نوع جریان انجام گرفته است. در این پژوهش سعی کرده ایم به کمک دو نرم افزار رایانه ای موارد متنوع و عمده ای از انواع آرایش جریان و همچنین موارد خاصی از صفحات شیاردار در مبدل حرارتی صفحه ای را مورد بررسی و کنکاش قرار دهیم.

۱-۲ تاریخچه ای در مورد مبدل های حرارتی صفحه ای

اختراع اولیه ی مبدل حرارتی صفحه ای به قرن نوزدهم باز می گردد. نخستین بار در سال ۱۸۷۰ مبدل حرارتی صفحه ای ساخته و مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۸۹۰ نیز گزارشی در مورد پیشرفت مبدل حرارتی صفحه ای منتشر شد. تا زمانی که دکتر ریچارد سلیگمان[۳] موسس شرکت APV اولین طراحی موفق صنعتی مبدل را در سال ۱۹۲۳ ارائه نمود از این مبدل بهره برداری صنعتی نشده بود. مبدل های اولیه از مفرغ ساخته شده بودند ولی از اوایل ۱۹۳۰ صفحات از جنس فولاد ضد زنگ ساخته شدند. طراحی این مبدل ها در دهه ی ۱۹۶۰ با تکامل مؤثر هندسه

[1] -cristallization
[۲]-flat plate heat exchanger
[3] -Richard Seligman

صفحات، مونتاژ اجزا و مواد بهبود یافته ی وا شر، کارآمد گشت. شرایط عملیاتی مبدل های اولیه محدود به فشار ۲ اتمسفر و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد بود. اگرچه اصول طراحی های اولیه تغییر زیادی نکرده است ولی توسعه های انجام گرفته در این زمینه از شش دهه ی قبل در مورد افزایش فشار و دمای عملیاتی تا ۳۰ بار و ۱۸۰ درجه سانتی گراد، ساخت مبدل های بزرگتر و استفاده از فلزات مختلف بوده است. در اوایل کاربرد مبدل های حرارتی صفحه ای مربوط به فرآیندهای غذایی، آشامیدنی و به ویژه صنایع لبنی می شد. امروزه با توجه به امکان تنوع در طراحی این نوع مبدل ها برای صفحات و آرایش های مختلف که می توانند برای وظایف گرمایی متفاوتی مناسب باشند، طراحی مبدل های حرارتی صفحه ای جنبه ی تخصصی به خود گرفته است. برخلاف مبدل های حرارتی لوله ای که برای آنها داده ها و روش های طراحی به سادگی در دسترس هستند طراحی مبدل های حرارتی صفحه ای همچنان ماهیتاً اختصاصی (و در انحصار و تملک شرکت ها ی تولیدکننده) می باشد. سازندگان در پی آن هستند که روش های طراحی رایانه ای خود را که قابل استفاده برای طراحی مبدل های عرضه شده توسط ایشان است، تکامل بخشند.

۱-۳ کاربردهای مبدل حرارتی صفحه ای

اگرچه مبدل های صفحه ای ابتدا برای سرویس های مایع – مایع به کار میرفتند اما در سال ۱۹۸۴ گری[1] محدوده شرایطی را که طی آن مبدل های حرارتی صفحه ای به خوبی جهت کندانس نمودن بخارات و نیز به عنوان بویلر به کار رفتند را تشریح کرد. البته در کاربرد مبدل به عنوان کندانسور، بخار کندانس شونده به عنوان واسط گرم کننده مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر سرویس های مایع – مایع با اغتشاش بالا، برای سیالات خیلی لزج که ممکن است در مبدل های لوله ای جریان آرام به وجود آید در مبدل های صفحه ای به احتمال زیاد مغشوش خواهد شد. مبدل های حرارتی صفحه ای به طور خیلی گسترده ای در سیستم های سرمایش مرکزی مورد استفاده قرار می گیرند. نحوه استفاده به این صورت است که آب تمیز در یک سیستم مدار بسته، بخشی از سیال فرایند را خنک می کند. سپس این آب تمیز در یک سیستم دیگر توسط آب غیر تمیز یا همان آب رودخانه یا دریا که به وفور یافت می شود توسط یک مبدل حرارتی صفحه ای دیگر حرارت خود را از دست می دهد. آب دریا خورنده است و املاح زیادی هم دارد . به همین دلیل برای خنک کردن سیال اصلی مورد استفاده قرار نمی گیرد . مبدل صفحه ای که برای آب دریا استفاده می شود از صفحاتی با جنس تیتانیم ساخته می شود زیرا صفحات از موادی هستند که تا مدت درازی از تأثیر خورندگی آب دریا ، رودخانه و غیره محفوظ می مانند.

مسائل تشکیل رسوب، می تواند با توجه به قابلیت بازکردن مبدل گرمای صفحه ای، برای تمیزکاری، در هر زمانی که ضروری باشد حل شوند. بنابراین مبدل گرمای صفحه ای برای کاربردهای ساحلی و در کشتی ، ایده آل است. علاوه

[1] -Gary

بر موراد ذکر شده ، مبدل های صفحه ای در پتروشیمی های بزرگ ، نیروگاه های برق، فرایندهای خالص سازی فلزات، صنایع وابسته به تولید سودا ، صنایع شیمیایی ، صنایع تولید رزین ها، تولید ماشین آلات صنعتی، کارخانجات اتومبیل سازی، صنایع غذایی، صنایع ریسندگی، صنایع رنگرزی، صنایع تولید ابریشم مصنوعی، صنایع تولید کاغذ، صنایع تولید سلفون کاربردهای فراوانی دارند.

از طرف دیگر این مبدل ها به علت داشتن وزن کمتر، اندازه ی کوچکتر و همچنین داشتن صفحاتی که در مقابل خوردگی مقاوم هستند، دارای ویژگی هایی هستندکه آنها را برای استفاده در سواحل، مناسب می سازند. این مبدل ها توانایی آن را دارند که در مقابل فشارهای واردشده از طرف امواج مقاومت کنند به همین دلیل در کشتی ها از این مبدل ها در بخش های مختلف استفاده می شود. در سال ۱۹۸۲ ، هاموند[1] توضیح داد که چگونه شش مبدل حرارتی پوسته و لوله در سکوهای دریای شمال به مدت یکسال دچار مشکل شدند. و وقتی این مبدل ها را با چهار مبدل صفحه ای کوچکتر جایگزین نمودند، مشاهده کردند که کارایی شش مبدل پوسته و لوله را دارد. و در مدت ۷ سالی که در سرویس بود نیز هیچ مشکلی برای آنها به وجود نیامد.

مبدل گرمای صفحه ای واشردار ، بصورت وسیع در صنایع غذایی و لبنی استفاده می شود که این امر به دلیل سادگی باز کردن این مبدل گرما برای تمیزکاری و استرلیزه کرردن است تانیازهای بهداشتی و سلامتی ، تأمین شوند ، این مبدل ها بعنوان گرمکن ها و خنک کن های معمول فرایندی و به عنوان چگالنده ها ، استفاده می شوند

لیست مبدل های صفحه ای که در صنایع شیمیایی و غیرشیمیایی به کار رفته اند بی انتها است. اما می توان گفت هر جایی که نیاز به راندمان بالا ست و همچنین خوردگی مشکل بزرگی ایجاد می کند مبدل های حرارتی صفحه ای می توانند به عنوان یک انتخاب خوب مطرح باشند به علاوه مبدل های صفحه ای خیلی آسان برای بارهای حرارتی بزرگتر قابل توسعه می باشند. البته باید محدودیت های درجه حرارت و فشار کارکرد را نیز در نظر گرفت.

۱-۴ مروری بر تحقیقات محققین در رابطه با آرایش های گوناگون مبدل حرارتی صفحه ای:

محققانی که بر روی آرایش های گوناگون مبدل حرارتی صفحه ای کار کرده اند، هر کدام به طریقی این مبدل ها را دسته بندی و نامگذاری نموده اند. در زیر بر تحقیقاتی که توسط محققان بر روی مبدل های حرارتی صفحه ای با آرایش متفاوت انجام شده، اشاره می شود.

تروپ و جکسون[2] [۲۲]مبدل های صفحه ای با ترکیب های ۱-۱ و ۲-۲ با جریان همسو و ناهمسو و مبدل ۴-۴ با جریان ناهمسو را آنالیز نموده اندو نتایج را برای $۰,۳ \le NTU \le ۱۲$ و $\frac{C_{\min}}{C_{\max}} = ۱، ۰,۷۵، ۰,۵، ۰,۲۵$ و تعداد

[1] -Hammond
[2] -Jackson & Troupe

صفحات N_p بالای ۵ عدد، به دست آورده اند. از آنجائیکه N_p به طور معمول بیشتر از ۴۰ می باشد. بنابراین برای کمتر از ۵ کاربرد ندارد.

ماریوت[1] [۱۳] نیز فاکتورهای ضریب تصحیح دمای متوسط لگاریتمی تجربی را برای آرایش های جریان ۱-۱ ، ۱-۲، ۲-۲ . ۱-۳ به عنوان تابعی بر حسب $NTU_1 \leq 11$ و $0,7 \leq R_1 \leq 1,4$ مشخص کرده است. اما هیچ گونه اطلاعاتی در مورد چگونه به دست آوردن فاکتورهای تجربی و تعداد صفحات به کار گرفته، بیان نکرده است. آنچه مسلم است تعداد صفحات حرارتی نمی تواند برای این نتایج خیلی زیاد باشد. به دلیل این که در $N_p \to \infty$ برای آرایش های جریان ناهمسوی ۱-۱ و ۲-۲ مقدار $F=1$ می باشد و از آنجاییکه نتایج به دست آمده توسط ماریوت مقادیر F مخالف ۱ را نتیجه می دهد، پس تعداد صفحات نمی تواند خیلی زیاد باشد.

کندلیکار[2] [۲۷] آرایش جریان های ناهمسوی مبدل های صفحه ای با ترکیب ۱-۱، ۱-۲، ۲-۲ و ۱-۳ و همچنین آرایش جریان های همسوی ۱-۱ و ۲-۲ را بررسی نموده است. بیشتر نتایج برای تعداد صفحات ۳ و ۵ به دست آمده اند. نتایجی که کندلیکار به دست آورد در سال ۱۹۸۸ توسط کندلیکار و شاه[3] [۸و۹] برای آرایش های ۱-۱ ، ۱-۲ و ۱-۳ گسترش یافت که در آن نتایج P_1 و F برای مقادیر N_p از ۳ تا بی نهایت، NTU_1 از ۰,۲ تا ۱۰ و R_1 از ۱ تا ۶ بسته به آرایش مبدل، بدست آورده شد. NTU تعداد واحد های انتقال حرارت در مبدل حرارتی است.

بونپان[4] [۲۳] نمودار $F=f(Re)$ را براساس آزمایش های تجربی برای کانال های با جریان سری و موازی برای تعداد صفحات بین ۲ تا ۱۷ به دست آورده است.

$ALFA\ LAVAL$ تولید کننده شناخته شده مبدل های حرارتی صفحه ای روابط $E\text{-}NTU$ مبدل های پوسته و لوله ای با چند گذر را برای محاسبه پارامترهای مربوط به مبدل های حرارتی صفحه ای پیشنهاد نموده است.

زالسکی و وارداس[5] [۲۷] دو نوع نمودار ارائه داده اند که یکی از آنها نمودار F بر حسب تعداد کانال ها برای دو مقدار متفاوت NTU_1 و یک مقدار R_1 (R_1=۱) می باشد و دیگری نمودار F بر حسب R_1 برای چندین مقدار NTU می باشد.

پیگنوتی و تمبورنا[6] [۲۰و۲۱] یک تحلیل مقایسه ای بر روی آرایش های متفاوت مبدل های صفحه ای انجام داده اند. آنها تمام ترکیبات مبدل های صفحه ای را کلاس بندی نموده اند و نشان دادند که برای یک ترکیب مشخص از مبدل های صفحه ای ممکن است چند آرایش گوناگون وجود داشته باشد که بعضی از این آرایش ها گرچه به ظاهر

---

[1] -Marriott
[2] -Kandlikar
[3] -Kandlikar & Shah
[4] -Buonopane
[5] -Zaleski & Wadas
[6] -Pignotti & Tamborenea

با یکدیگر متفاوتند ولی دارای یک مقدار اثر هستند. یعنی اگرچه ممکن است در وهله اول آرایش آنها متفاوت به نظر آید ولی در اصل با یکدیگر تفاوتی ندارند و کارایی آنها یکسان است و در این پروژه به آن اشاره می شود. آنها همچنین نمودارهایی از P برحسب NTU برای ترکیب های ۲-۲، ۳-۲، ۴-۲، ۳-۳ و ۴-۴ ارائه داده اند که این نمودارها برای۲ و R_1= ۰,۵ و N_C=۱۷،۱۶،۱۵ و چهار آرایش مختلف از هر کدام از ترکیب ها فراهم شده است.

مک کیلوپ و دوبلی[1] [۲۷] برای برخی از آرایش های مبدل حرارتی صفحه ای با فرضیات ساده کننده ای در شرایط یکنواخت به دست آورده اند. حل تقریبی مبدل حرارتی به وسیله ستلاری و ونارت[2] به شکل پلی نومیال و به وسیله زالسکی و کلپاکا[3] [۷] به شکل نمایی توسعه داده شده است. هر دو مدل به تقریب های خوبی از حل دقیق منتهی می شود. لیکن زمانی که یک اختلاف بزرگی بین ظرفیت های حرارتی دو سیال وجود داشته باشد زیاد قابل اعتماد نیستند. حل تحلیلی سیستم معادلات به شکل ماتریس توسط زالسکی و جارزبسکی[4] [۲۷] برای مبدل هایی با آرایش های جریان سری و موازی ارائه شده است.

گات و پینتو[5][۱] در جدید ترین مقاله خود با مدلسازی یک مبدل صفحه ای با صفحات تخت و حل عددی جریان سیال در آن بکمک مدل اغتشاشی $k-\varepsilon$، به بررسی میزان انطباق نتایج حاصل از مدلسازی با نتایج تجربی برای جریان مغشوش در این مبدل ها پرداخته اند.

محققان دیگری نیز بر روی آرایش های متفاوت مبدل های صفحه ای کار نموده اند که از جمله می توان به جورجدیس و ماچیتو[6] [۶]، ریبیرو و آندرد[7] [۵] اشاره نمود.

آنچه مشخص است این است که روش های طراحی دقیق مربوط به مبدل های حرارتی صفحه ای به اندازه روش های طراحی موجود برای مبدل های پوسته و لوله ای در دسترس نیستند.

۱-۵ دورنمایی از پروژه

این پایان نامه در ۷ فصل تدوین و نگارش شده است .

در فصل دوم ساختمان مبدل حرارتی صفحه ای را تشریح کرده و انواع صفحات بکار رفته در مبدل را بررسی می کنیم. پس از آن به ذکر معیار انتخاب ، مزایا و محدودیتهای مبدل حرارتی صفحه و شاسی پرداخته و به انجام مقایسه ای بین این نوع مبدل و مبدل پوسته و لوله می پردازیم. همچنین انواع جریان سیال درون مبدل حرارتی

---

[1] -Mc killop & Dubley
[2] -Setlari & Venart
[3] -Zaleski & Klepaka
[4] - Zaleski & Jarzebski
[5] -J.M.Pinto & J.A.W.Gut
[6] -Georgiudis & Macchietto
[7] -Andrade & Ribeiro

صفحه ای در گذرها و آرایشها را توضیح خواهیم داد. در قسمت بعد این فصل به بررسی مشخصات و پارامترهای آرایش جریان در مبدلهای حرارتی صفحه ای پرداخته و آرایشهای مساوی را شرح می دهیم. بعد از آن به نامگذاری مبدلهای صفحه ای بر اساس نوع آرایش پرداخته و پارامتر v_P را تعریف می کنیم.

در فصل سوم در مورد موجدهی نوع چورون و روابط هندسی مبدل حرارتی صفحه ای توضیح می دهیم و پس از آن کاوشهای محققین مختلف در مورد روابط و معادلات ضریب انتقال حرارت ،جابجایی و افت فشار را بررسی نموده و به روابط مقدار اثر و ضریب تصحیح اختلاف دمای متوسط و... نیز اشاره خواهیم کرد. توضیح کوتاهی در رابطه با صفحات با θی کوچک و θی بزرگ و حرارت ناشی از ترکیب آنها را بیان می کنیم.

در فصل چهارم در رابطه با معادلات ریاضی حاکم ، مدل های اغتشاشی ، اثر دیوار و تابع دیوار استاندارد صحبت می کنیم. همچنین هندسه مبدل را در دو حالت هندسه مبدل با صفحات تخت و شیار دار شرح داده و شیوه های شبکه بندی آن ها، جریان سیال درون مبدل و شرایط مرزی توضیح می دهیم.

فصل پنجم به بررسی روشهای عددی پرداخته و در مورد خطی سازی، گسسته سازی و معیار همگرایی مطالبی ذکر نموده و در پایان نیز روش حل مسئله شرح داده می شود.

فصل ششم که در حقیقت هدف اصلی این پروژه است، شامل چندین بخش می باشد:

در بخش اول با مدلسازی و حل عددی جریان در ۳ مبدل حرارتی صفحه ای و مقایسه نتایج آن با تحقیقات جورجیادیس و مچیتو[۱] [۶] و ریبیرو و آندرد[۲] [۵] به بررسی صحت شبیه سازی های انجام شده می پردازیم.

در بخش دوم با مدلسازی و حل عددی جریان در ۳ مبدل با تعداد کانال های متفاوت، به انتخاب حداقل تعداد کانال مبدل حرارتی صفحه ای که بتواند نتایج شبیه سازی را به مبدل های بزرگ صنعتی تعمیم دهد می پردازیم.

در بخش سوم نقش آرایشها ی مختلف مبدل حرارتی صفحه ای بر عملکرد مبدل حرارتی صفحه ای با تعداد کانال مناسب را، که به عنوان نماینده سایر مبدل ها با تعداد کانال های بالاتر انتخاب شده، مورد بررسی قرار می دهیم. همچنین کانتور های دما و سرعت را در تعدادی از آرایش ها رسم نموده و با یکدیگر مقایسه می کنیم.

در بخش چهارم با مدلسازی وحل عددی جریان در یک مدل مبدل حرارتی صفحه ای باجریان عمودی درکانال های آن، به بررسی میزان انتقال حرارت کلی و کارایی این مبدل در مقایسه با مبدل مشابه با جریان قطری در کانال های آن، می پردازیم.

---

[۱] -Georgiadis & Macchietto

[2] -Andrade & Ribeiro

در بخش آخر به شبیه سازی سه مدل مبدل حرارتی صفحه ای با صفحات شیار دار در سه حالت

۱. شیارهای افقی
۲. شیارهای جناقی با زاویه چورون ٤٥ درجه
۳. شیارهای عمودی

می پردازیم.

فصل هفتم نیز به نتیجه گیری نتایج شبیه سازی های انجام شده در این پروژه و ارائه پیشنهادات برای ادامه کار اختصاص می یابد.

فصل دوم

ساختمان و پارامترهای بیان کننده آرایش مبدل های حرارتی صفحه ای

۲-۱ ساختمان مبدل های حرارتی صفحه ای واشر شده[1] یا صفحه و شاسی[2] [۲۴]

مبدل های حرارتی صفحه و قاب از قرارگرفتن یک سری صفحات فلزی در کنار یکدیگر در داخل یک قاب فلزی ساخته می شوند. این صفحات در داخل قاب توسط میله های بلندی بهم فشرده می شوند. طول این میله ها فاصله ی بین دو درپوش را طی می کنند و توسط مهره به درپوش محکم می گردند. واشر هایی در شیارهای اطراف هر صفحه قرارداده می شوند تا جریان سیال ها را در مجرای خیلی باریکی بین صفحات هدایت نماید و همچنین از نشت آنها به بیرون جلوگیری کند. در گوشه های هر صفحه محل هایی جهت ورود و خروج سیال گرم و سرد در نظر گرفته شده است و موقعیکه صفحات روی هم فشرده می شوند این محل های سوراخ شده در یک خط مستقیم قرار می گیرند و بدینوسیله مجراهای توزیع سیال در طول مبدل را به وجود می آورند. (شکل۲-۱)

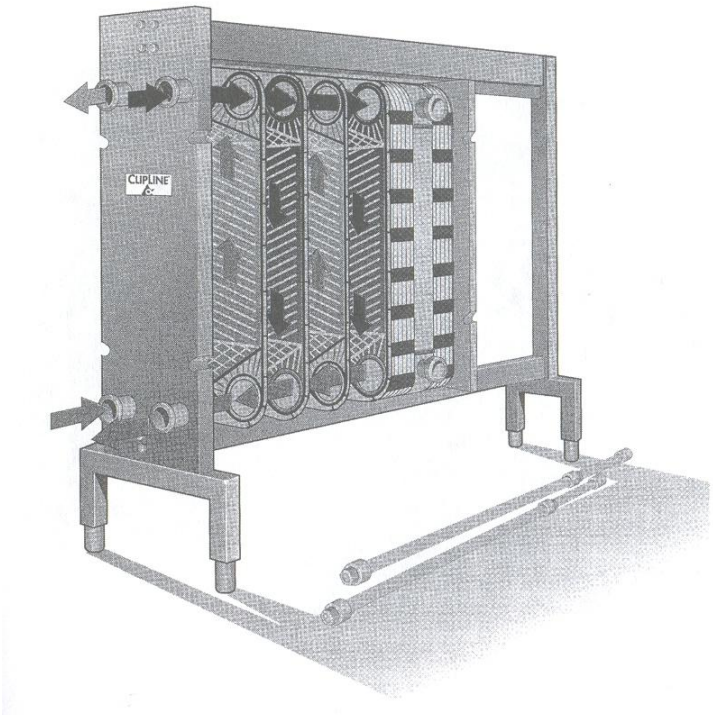
صفحات می توانند از هر فلزی با ابعاد معین ساخته شوند، آنگاه نقوش مختلف توسط پرس و قالب های مخصوص روی صفحات چاپ می گردد. هنگامیکه این صفحات در محل خود در کنار یکدیگر قرار می گیرند شیارهای موجود روی صفحات متوالی تشکیل یک سری کانال های باریک جریان می دهند و سیال ها از طریق این مجاری خیلی باریک و ظریف بین صفحات متوالی عبور می نمایند. نحوه ی توزیع و یا عدم توزیع سیال ها از یک صفحه به

[1] -Gasketed Plate Heat Exchangers
[2] -Plate and Frame

صفحه بعدی با اضافه کردن و یا برداشتن قسمتی از واشرهای محیطی که صفحات را از هم جدا نگه می دارند ممکن می شود. نازل های ورودی و خروجی برای سیال ها در انتهای ثابت مبدل تعبیه می شود به طوریکه از داخل در امتداد سوراخ های صفحات قرار می گیرند و از خارج به سیستم لوله کشی سیال ها متصل می گردند. هرکدام از سیال ها از طریق نازل های ورودی وارد مبدل شده و سپس از کانال های بین دو صفحه به صورت یک در میان و به صورت سری یا موازی حرکت می کنند. در یک سری از این کانال ها، واشر سوراخ ورودی بین صفحات را نمی پوشانند و اجازه می دهد که سیال از طریق این ایستگاه وارد محفظه ی بین دو صفحه گردد در حالیکه به سیال دیگر به علت وجود واشر حول سوراخ مربوطه اجازه ورود به این محفظه داده نمی شود. و به جای آن وارد محفظه ی بعدی می گردد.

صفحات به کار رفته در این مبدل ها می توانند دارای نقوش مختلفی باشند. وجود این ناهمواری ها و شیارها روی صفحه باعث ازدیاد توربولانس می شود به طوریکه جریان سیال در عدد رینولدز ۲۰۰ و یا حتی کمتر مغشوش است و به این ترتیب ضریب انتقال حرارت و اصطکاک نسبتاً بزرگ خواهد شد. دانسیته سطح انتقال حرارت این مبدل ها برای واحد حجم بین $\frac{m^2}{m^3}$ ۱۲۰ تا ۲۵۰ می باشد. همچنین صفحاتی که اندازه های اصلی آنها یکی است اما دارای طرح و نقوش مختلف هستند می توانند در یک مبدل با هم مخلوط شوند.

در ادامه به بررسی اجزاء ساختمان مبدل حرارتی صفحه ای می پردازیم.



شکل (۲-۱) ساختمان مبدل های حرارتی صفحه ای صفحه و شاسی