۱۱۳۷۸۱۱

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش : مهندسی شیمی

عنوان :

بررسی هیدرودینامیکی عملکرد مبدل لوله گرمایی در مجاورت گاز های داغ

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر سید حسین نوعی

استاد مشاور :

جناب آقای دکتر سعید زینالی هریس

نگارش :

شهره تاتاری

۱۳۸۹/۳/۱۷

پائیز ۸۸

۱۳۷۸۱۱

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

عنوان :

بررسی هیدرودینامیکی عملکرد مبدل لوله گرمایی در مجاورت گاز های داغ

نگارش :

شهره تاتاری

پائیز ۱۳۸۸

هیئت داوران:

۱- جناب آقای دکتر سید حسین نوعی

۲- جناب آقای دکتر سعید زینالی هرئیس

۳ - جناب آقای دکتر حسن زارع

خدایا مرا وسیله ای برای صلح و آرامش قرار ده

بگذار هر جا تنفر است بذر عشق بکارم، هر جا آزردگی است ببخشایم، هر جا شک حاکم است ایمان، هر جا یاس است امید، هر جا تاریکی است روشنایی، و هر جا غم جاری است شادی نثار کنم .

الهی توفیقم ده که پیش از آنکه مرا بفهمند، دیگران را درک کنم، پیش از آنکه دوستم بدارند، دوست بدارم، زیرا در عطا کردن است که می ستانیم و در بخشیدن است که بخشیده می شویم و در مردن است که حیات ابدی می یابیم.

خداوندا تو را به خاطر همه لطف و مهربانی هایت

تو را به خاطر تمام محبت های بی منتهایت

سپاس می گویم

پدر بزرگوارم

استوارترین تکیه گاهم که وجودم از اوست به او که اسوه صبر و صلابت است

مادر مهربانم

مهربان تر از من با من،

او که عشق را در تمامی لحظات با او بودن تجربه کردم.

همسر عزیزم

او که وجودش سرشار از عشق و آرامش است

و با بودنش هر چند نه از ابتدای راه،

گذر زمان را برایم آسان و خاطره انگیز ساخت

فهرست

صفحه

عنوان

چکیده..... ۱

مقدمه..... ۲

فصل اول :کلیات

۱-۱. هدف..... ۵

۱-۲. پیشینه تحقیق ۵

۱-۳. روش کار و تحقیق ۷

فصل دوم : تاریخچه و تئوری لوله گرمایی

۲-۱. اصول عملکرد لوله های گرمایی..... ۱۰

۲-۲. سیالهای عامل و محدوده دمائی آنها..... ۱۵

۲-۳. انواع لوله های گرمایی..... ۱۶

فصل سوم : کاربردهای لوله گرمایی

۳-۱. محدوده کاربرد لوله های گرمایی..... ۲۴

۳-۲. مقاومت گرمائی موثر..... ۲۴

۳-۳. کاربردهای لوله گرمائی..... ۲۵

فصل چهارم : مدلسازی

۴-۱. مقدمه..... ۳۹

۴-۲. بقای جرم ۴۰

۴-۳. بقای اندازه حرکت ۴۱

۴-۳-۱. شکل کلی معادلات ناویر-استوکس در مختصات کارتزین (سیالات تراکم پذیر)..... ۴۲

۴-۳-۲. شکل کلی معادلات ناویر-استوکس در مختصات کارتزین (سیالات تراکم ناپذیر)..... ۴۲

۴-۳-۳. تبدیل معادلات ناویر-استوکس به معادلات اولری (با حذف پارامتر لزجت سیال)..... ۴۳

۴-۴. مدلسازی جریانهای متلاطم..... ۴۳

۴-۴-۱. مدل متوسط زمانی ۴۴

۴-۴-۱-۱. مدل صفر معادله ای ۴۴

۴-۴-۱-۲. مدل یک معادله ای ۴۴

۴-۴-۱-۳. مدل دو معادله ای $K-\varepsilon$ ۴۴

۴-۴-۱-۳-۱. مدل $K-\varepsilon$ استاندارد ۴۵

۴-۴-۱-۳-۲. مدل $RNG\ \ K-\varepsilon$ ۴۶

۴-۴-۲. مدلهای متوسط حجمی ۴۸

۴-۴-۲-۱. مدل شبیه سازی گردابه های بزرگ..... ۴۸

۴-۴-۲-۲. روش عددی مستقیم ۴۹

۴-۵. جمع بندی مدلسازی جریان متلاطم..... ۴۹

۴-۶ . تئوری معادله انرژی..... ۵۰

۴-۶-۱. معادله انرژی در نواحی جامد ۵۱
۴-۶-۲. هدایت غیر ایزوتروپیک در جامدها..... ۵۲
۴-۶-۳. تعیین شرایط مرزی حرارتی..... ۵۲
۴-۶-۴. تعیین خواص وابسته به دمای مواد ۵۳
۴-۷. خلاصه ای از روشهای عددی مدل..... ۵۴
۴-۷-۱. روشهای حل عمومی ۵۵
۴-۷-۲. خطی سازی (روش ضمنی در برابر روش صریح) ۵۶
۴-۷-۳. گسسته سازی..... ۵۸
۴-۷-۳-۱. روش آپ ویند مرتبه ۱ ..... ۶۰
۴-۷-۳-۲. روش قاعده توانی ۶۰
۴-۷-۳-۳. روش آپ ویند مرتبه ۲ ..... ۶۱
۴-۷-۳-۴. روش آپ ویند مرتبه ۳ ..... ۶۳
۴-۷-۳-۵. فرم خطی شده معادله مجزا ۶۳
۴-۷-۳-۶. زیر تخفیف ۶۴
۴-۷-۴. وابستگی سرعت –فشار..... ۶۴

فصل پنجم: بررسی اثر آرایش لوله های گرمایی بر میزان انتقال حرارت

۵-۱. شرح دستگاه آزمایشگاهی ۶۹
۵-۲. تعیین معادلات مورد نیاز جهت مدلسازی پدیده های انتقال حرارت ۷۲

۵-۳. تعیین شرایط مرزی ۷۳
۵-۳-۱. مقطع ورودی هوا جهت حل معادلات جریان ۷۳
۵-۳-۲. مقطع خروجی هوا جهت حل معادلات جریان ۷۵
۵-۳-۳ .سطوح تبادل حرارت ۷۵
۵-۳-۳-۱. تعیین دمای متوسط دیواره لوله حرارتی در بخش جوشش..... ۷۶
۵-۳-۳-۲. تعیین دمای متوسط دیواره لوله های حرارتی در بخش چگالش ۷۷
۵-۳-۴ . سطوح داخلی دیواره های کانال ۷۸
۵-۴. روش حل عددی و شبکه بندی فضای محاسباتی..... ۷۸

فصل ششم: نتایج و پیشنهادات

۶-۱. مدلسازی جریان و انرژی در مجاورت جداره لوله های گرمایی در بخش چگالش..... ۸۲
۶-۲. مدلسازی جریان و انرژی در مجاورت لوله های گرمایی در بخش جوشش..... ۸۸
۶-۳. بحث و نتیجه گیری..... ۹۱
۶-۴. پیشنهادات..... ۹۱

پیوست

پ-۱ . فهرست نمادها ۹۲
فهرست منابع لاتین ۹۳
چکیده لاتین ۹۷

فهرست جدول ها

عنوان صفحه

۲- ۱. جدول : سیالهای عامل و محدوده های دمایی ۱

۲- ۲. جدول : رایجترین نتایج آزمایشهای هماهنگ ۱۶

۵- ۱. جدول : محدوده دمایی و دبی جریان هوا طی آزمایشات متعدد ۷۰

۶-۱ . جدول : شرایط مدلسازی و نتایج آن در مجاورت بخش گرم کن لوله های حرارتی ۸۲

۶-۲ . جدول : شرایط مدلسازی و نتایج آن در مجاورت بخش سرد کن لوله های حرارتی ۸۹

فهرست نمودارها

عنوان صفحه

۶-۱ . نمودار: اثر افزایش سرعت هوا بر میزان ضریب انتقال حرارت متوسط در اطراف لوله های حرارتی ۸۴

St/Sl>۱ (بخش گرم کن)

۶-۲ . نمودار: اثر افزایش سرعت هوا بر میزان انتقال حرارت متوسط در اطراف لوله های حرارتی ۸۴

St/Sl>۱ (بخش گرم کن)

۶-۳ . نمودار: اثر افزایش سرعت هوا بر میزان ضریب انتقال حرارت متوسط در اطراف لوله های حرارتی ۸۵

St/Sl<۱ (بخش گرم کن)

۶-۴ . نمودار: اثر افزایش سرعت هوا بر میزان انتقال حرارت متوسط در اطراف لوله های حرارتی ۸۵

St/Sl<۱ (بخش گرم کن)

۶-۵ . نمودار: اثر افزایش هوا بر میزان انتقال حرارت در اطراف لوله های حرارتی St/Sl>۱ ..... ۹۰

در بخش سردکن(در دمای ورودی هوا:۳۰۳/۱۵K)

۶-۶ . نمودار: اثر افزایش سرعت هوا بر میزان انتقال حرارت در اطراف لوله های گرمایی St/Sl>۱..... ۹۰

(در دمای ورودی هوا:۳۱۳/۱۵K)

فهرست شکل ها

عنوان صفحه

۱-۱ . شکل : نمای بالای مبدل ۷

۱-۲ . شکل : مبادله کن ترموسیفون ۸

۲-۱. شکل : شماتیک یک لوله گرمایی همراه با نمایش اصول عملکرد و چرخش سیال عامل آن ۱۰

۲-۲ . شکل : مدل مقاومت گرمایی یک لوله گرمایی ۱۲

۲-۳ . شکل : سیکل ترمودینامیکی یک لوله گرمایی ۱۳

۲-۴ . شکل : مقایسه بین لوله گرمایی با فتیله و ترموسیفون ۱۷

۲-۵ . شکل : ترموسیفون (لوله گرمایی بدون فتیله) ۱۸

۲-۶ . شکل : لولهٔ گرمایی استاندارد ۱۹

۲-۷ . شکل : لولهٔ گرمایی حلقوی متحد المرکز و استاندارد ۲۰

۲-۸ . شکل : لولهٔ گرمایی صفحهٔ تخت ۲۰

۲-۹ . شکل : لوله گرمایی گردان (شعاعی) ۲۱

۳-۱ .شکل : برتری استفاده از لوله‌های گرمایی ۲۵

۳-۲ .شکل : کاربرد لوله‌های گرمایی در صنعت هوا- فضا ۲۶

۳-۳ .شکل : سرد کردن وسایل الکترونیکی به وسیله لوله‌های گرمایی ۲۷

۳-۴ . شکل : سرد کردن قالبها در صنعت ریخته گری وقالب ریزی از طریق لوله گرمایی ۲۸

۳-۵ . شکل : شمای کلی مبادله‌کن حرارتی گاز-گاز ۳۲

۳-۶ . شکل : مبادله کن حرارتی لوله گرمایی ۳۳

۴-۱ . شکل : بیان دو روش اولری و لاگرانژی از دیدگاه حجم کنترل ۳۹

۴-۲ . شکل : بیلان ممنتوم ۴۱

۴-۳.شکل : شمایی از اجزاء تشکیل دهنده تلاطم (گردانه) ۴۳

۴-۴ . شکل مقایسه بین زمان و هزینه محاسبات در مدلهای مختلف ۴۹

۵-۴ . شکل : حجم کنترلی مورد استفاده برای مجزا سازی معادله اسکالر انتقال ۵۹

۶-۴ . شکل : تغییرات متغیر ϕ بین X=۰ تا X=L ۶۱

۷-۴ . شکل : حجم کنترل یک بعدی ۶۳

۱-۵. شکل : نمای بالای مبدل ۶۹

۲-۵. شکل: مبادله کن ترموسیفون ۶۹

۳-۵ . شکل : آرایش مستطیلی لوله های حرارتی در محیط GAMBIT ۷۰

۴-۵ . شکل : آرایش مثلثی لوله های گرمایی در محیط GAMBIT ۷۱

۵-۵. شکل: آرایش مستطیلی لوله های حرارتی ۷۹

۶-۵ . شکل: آرایش مثلثی لوله های حرارتی ۷۹

۱-۶ . شکل: بردارهای فشارو سرعت در بین لوله های حرارتی آرایش مستطیلی برای St/Sl>۱ .....۸۶
(سرعت ورودی هوا : ۵۷۹m/s)

۲-۶. شکل: مقایسه گرافیکی ضریب انتقال حرارت بین دو آرایش مستطیلی و مثلثی در حالت St/Sl>۱.....۸۷

۳-۶ . شکل: مقایسه گرافیکی ضریب انتقال حرارت بین دو آرایش مستطیلی و مثلثی در حالت St/Sl<۱ .....۸۸

چکیده

در این پروژه به منظور بررسی اثر چیدمان و آرایش لوله های حرارتی بر میزان تلاطم سیال و متعاقبا ضریب انتقال حرارت جابجایی آن در اطراف جداره های لوله، مدلسازی دینامیک سیالات محاسباتی چهار لوله گرمایی در آرایشهای مستطیلی و مثلثی به طور مجزا صورت پذیرفته و با حل همزمان معادلات حرکت و انرژی و همچنین معادلات انرژی جنبشی سیال (k) و اضمحلال آن (ε) به منظور تعیین میزان تلاطم به روش $k-\varepsilon$ ، نتایج هر یک از آرایشهای مذکور با یکدیگر مقایسه شده است.

نتایج مدلسازی حاکی از آن است که در صورت استفاده از چیدمان مثلثی مادامی که فاصله لوله های موجود در ردیف اول (عمود برمسیر جریان St)کمتر از فواصل لوله های بین هر ردیف (در راستای جریان Sl) باشد، انتقال حرارت از سطوح هر لوله بیشتر از چیدمان مستطیلی خواهد شد و این در حالی است که با افزایش نسبت فوق $(\frac{St}{Sl}>1)$، نتیجه معکوس حاصل می گردد. نتایج این تحقیق نشان می دهد، اثر چیدمان لوله های حرارتی با افزایش سرعت و میزان تلاطم سیال بیرونی، افزایش می یابد.

مقدمه

پیشرفت تکنولوژی و ارتقاء علوم سخت افزاری، راهکارهای نوینی جهت حل مسائل پیچیده مهندسی را در اختیار دانشمندان و محققین واحدهای پژوهشی قرارداده است که این پروژه ها نیز با تکیه بر یکی از فنون مدرن محاسباتی، سعی بر حل یکی از مسائل مطرح در حوزه انتقال حرارت داشته است. وسعت استفاده از مبدل های حرارتی در گستره پهناور صنعت، موجب شده است تا علاوه بر تنوع ساختاری مبدل های مذکور مبحث بهینه سازی آنها نیز از مهمترین مسائل روز مهندسی محسوب گردد. در این بین استفاده از مبدل های لوله حرارتی که زمان زیادی از تولد آن نمی گذرد، جایگاه خود را در بین صنایع گوناگون و عمدتا به منظور بازیافت انرژی گازهای داغ خروجی از دودکش های صنعتی، باز نموده است.

یک مبدل لوله حرارتی، در واقع شبکه ای از لوله های مجزایی است که هر لوله با مقدار مشخصی از یک سیال فرار و در فشاری معین پر شده و طرفین آن مسدود گردیده است. شبکه لوله مذکور به صورت عمودی نسبت به افق و در مسیر حرکت دو سیال درون دو کانال مجزا قرار گرفته به گونه ای که قسمت پایین لوله های فوق در داخل کانال با سیال گرم و قسمت بالای آنها نیز در کانالی با سیال سرد قرار می گیرد. حال اگر دمای اشباع سیال موجود درون لوله ها (در فشار داخل لوله) کمتر از دمای سیال گرم درون کانال پایین باشد، انرژی منتقل شده از طرف سیال گرم (کانال پایین) به سیال موجود در لوله ها، سبب تبخیر آن شده و سطح انرژی مایع اولیه را به سطح انرژی بخار اشباع رسانده و با توجه به تغییر فاز صورت گرفته و همچنین کاهش چگالی سیال، بخار تولید شده به ناحیه بالایی لوله هدایت می گردد. در این ناحیه (بالایی) نیز اگر سیال سرد عبوری از کانال بالایی دارای دمایی کمتر از دمای بخار اشباع سیال موجود در لوله های حرارتی باشد، انرژی آن را جذب نموده و مجددا باعث میعان آن خواهدشد. با تکرار فرآیند مذکور بخش اعظمی از انرژی موجود در کانال پایین (سیال داغ) توسط لوله های حرارتی به سیال موجود در کانال بالا منتقل می گردد. اهم فعالیتهای مطالعاتی که تاکنون بر روی مبدلهای فوق الذکر صورت پذیرفته است، مربوط به جنس لوله و نوع سیال موجود در لوله های حرارتی و همچنین فشار درونی لوله ها بوده و کمتر به اثرات جریان خارجی لوله های حرارتی پرداخته شده است. از آنجا که ژئومتری و شکل هندسی مسیر که وابسته به نوع چیدمان و آرایش لوله های حرارتی می باشد، به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای تعیین شدت تلاطم و متعاقبا ضریب انتقال حرارت جابجایی

محسوب می گردد، لذا بررسی اثر چیدمان و آرایش لوله های حرارتی از اهمیت بسزایی برخوردار بوده که مورد توجه این پروژه قرار گرفته است. رابطه تجربی زیر به عنوان یکی از مراجع اصلی تعیین ضریب انتقال حرارت جابجایی در اطراف لوله های استوانه ای محسوب می گردد:

$$Nu = \frac{hD_H}{K} = C\,\mathrm{Re}^m\,\mathrm{Pr}^n$$

$h =$ ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال

$D_H =$ قطر هیدرولیک لوله

$K =$ ضریب انتقال حرارت هدایت سیال

$\mathrm{Re} =$ عدد بدون بعد رینولدز

$\mathrm{Pr} =$ عدد بدون بعد پرانتل

تعیین پارامتر های ثابتی چون C, m, n مستلزم تعیین نوع الگوی جریان در اطراف لوله های استوانه ای می باشد. این در حالی است که عموما در طول یک مسیر الگو های متفاوتی از جریان وجود داشته و در هر قسمت نیاز به استفاده از پارامترهای سرعت در محاسبه عدد رینولدز به صورت پارامتری اسکالر و در یک فضای سه بعدی، تحت تاثیر سرعتهای نوسانی گردانه های جریان قرار گرفته و جهت محاسبه آن نیازمند حل معادلات ناویر- استوکس و مدل های چند معادله ای تلاطم می باشیم. این پروژه با بهره گیری از روش دینامیک سیالات محاسباتی و توسط یکی از متداول ترین نرم افزارهای آن فلوئنت به این مهم پرداخته و با دیدگاه سیالاتی، نقش آرایش و چیدمان لوله های حرارتی را در شبکه مذکور مورد بررسی و مطالعه قرار داده است. در این پروژه ضمن مروری بر روشهای مدلسازی پدیده هایی نظیر انتقال ممنتوم و انرژی به طور اخص به مدلسازی بخش کوچکی از یک شبکه مبدل حرارتی لوله گرمایی که به منظور انجام مطالعات پایه ای در دانشگاه فردوسی مشهد ساخته شده، پرداخته می شود.

فصل اول

کلیات

۱- ۱ هدف

در این پروژه به منظور بررسی اثر آرایش و چیدمان لوله های حرارتی بر میزان انتقال حرارت، از روش دینامیک سیالات محاسباتی و مدلسازی رفتار سیال در اطراف لوله ها ی حرارتی استفاده شده و جهت واقع گرایی هر چه بیشتر نتایج حاصله، از اطلاعات مکانیکی یک مبدل حرارتی لوله گرمایی استفاده گردید. ضریب انتقال حرارت جابجایی به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای موجود در مطالعات انتقال حرارت، شدیدا دستخوش تغییرات ظاهری جریان از قبیل سرعت، دما، زبری و ژئومتری مسیر قرار گرفته به گونه ای که طراحی بهینه مبدلهای حرارتی نیازمند بررسی اثر بخشی خصوصیات مکانیکی جریان می باشد. دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان ابزاری نوین در مدلسازی پدیده های انتقال، امروزه نقش عمده ای در حصول اهداف فوق ایفا می نماید. اما از آنجا که مدلسازی پدیده های انتقال ممنتوم و حرارت که نیازمند حل همزمان معادلات پیچیده ناویر- استوکس در فضای سه بعدی می باشد، تحت تاثیر محدودیتهای سخت افزاری قرار گرفته است لذا این روش تا کنون پاسخگوی مطالعات پایه و بررسی تئوریهای از پیش تعیین شده در فضای کوچک آزمایشگاهی بوده و مدلسازی جریان در ابعاد بزرگ منطقی به نظر نمی رسد. با توجه به آنچه گفته شد، در این پروژه به بررسی اثر چیدمان و آرایش لوله های گرمایی در کانالهای جریان هوای سرد و گرم (هوای سرد در مجاورت ناحیه چگالش و هوای گرم در ناحیه جوشش) تنها در مقطعی ازیک مبدل حرارتی آزمایشگاهی که شامل چهار لوله حرارتی می باشد، پرداخته شده است.

۱-۲ پیشینه تحقیق

از آنجا که انتقال حرارت یکی از بحث های اصلی در صنایع و کاربردهای حرارتی می باشد، لوله گرمایی را می توان در زمره یکی از بهترین وسایل مورد استفاده در انتقال حرارت به شمار آورد.

یکی از مشخصه های مهم لوله گرمایی قابلیت هدایت حرارتی بالای آن است، که علت آن به جهت بالا بودن حرارت نهان تبخیر می باشد و باعث می شود که مقادیر زیادی گرما با اختلاف دمای کمی انتقال پیدا کند. لوله گرمایی وسیله ای با ظریب هدایت گرمایی بالا می باشد. برتری لوله گرمایی سادگی در ساخت، قابلیت انتقال حرارت بالا، هزینه کم و نداشتن قسمت متحرک می باشد[۱]. لوله گرمایی توسط شخصی به نام پرکین در سال ۱۸۹۷ اختراع شد که به لوله پرکین معروف شد. لوله پرکین لولهٔ بدون فتیله ای است که انتقال گرما توسط تبخیر و چگالش سیال عامل انجام می‌شود.

گاگلر، اولین شخصی بود که از ایده انتقال حرارت توسط تبخیر و چگالش یک سیال برای کاربرد در یخچالهای صنعتی استفاده کرد. او در شرکت جنرال موتور آمریکا فعالیت داشت که در سال ۱۹۴۲ از این ایده جدید استفاده کرد.

گراور و همکارانش نخستین اشخاصی بودند که واژه لوله گرمایی را در سال ۱۹۶۳ معرفی کرده اند. آنها تحقیقات ابتدائی را بر روی این وسیله شروع کردند و کاربردشان را در فن‌آوری بیان کردند. لوله های بدون فتیله (لوله‌های پرکین) مدتها قبل از وجود لوله های گرمایی استفاده می شدند. با این وجود استفاده از نیروی موبینگی در اینگونه هادی ها قطعاً قدم جدیدی در پیشرفت لوله های پرکین بود. آزمایشهای انجام شده در آمریکا، بازده بالای لوله های گرمایی را تأیید کرده‌است. آنها به عنوان شروع کار، یک دوره فعالیت درباره مطالعه، پیشرفت و کاربرد هادیهای جدید در سراسر دنیا انجام دادند.

بعد از آمریکا، کارهای مشابهی نیز در آلمان غربی، انگلیس، فرانسه، ایتالیا، هلند، شوروی و بعضی کشورهای اروپای شرقی انجام شد. در آمریکا بیش از صد شرکت و موسسه تحقیقاتی دراین زمینه فعالیت دارند.

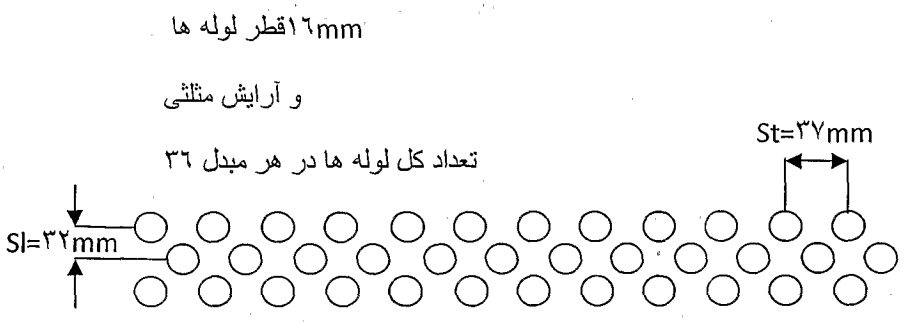
بیشترین علاقه به لوله گرمایی به جهت ضریب هدایت حرارتی بالای آن می باشد. در حقیقت، لوله های گرمایی انتقال حرارتی هزار یا ده هزار برابر بیشتر از هادی‌ترین فلزات مثل نقره و مس دارند. از وقتیکه در این لوله ها از نیروی موبینگی استفاده شده، لوله گرمایی در شرایط بی وزنی نیز مورد استفاده قرار می گیرد. خاصیت هدایت بالا و جرم کم لوله‌های گرمایی امکان استفاده گسترده برای انتقال حرارت در بسیاری از اجزاء وسایل فضایی را امکان پذیر کرده است.

در چند دهه اخیر در کشورهای آسیایی نیز فعالیتهایی در زمینه لوله گرمایی صورت گرفته است. در تایوان از سال ۱۹۷۰ انواع مختلف لوله گرمایی که دارای فتیله می باشند ساخته و مطالعه شده‌است. یک موسسه تحقیقاتی [۱] تحقیقاتش رادر کشور تایوان بر روی لوله گرمایی از سال ۱۹۸۷ شروع کرد. اخیراً این موسسه در زمینه لوله‌های گرمایی ریز پیشرفت زیادی داشته است .

در کشور کره نیز تحقیقات از سال ۱۹۸۰ شروع شده است. تحقیقاتی در زمینه لوله‌های گرمایی ریز، لوله های گرمایی چرخشی و ترموسیفون در صنعت این کشور صورت گرفته است که بسیاری از این نتیجه‌ها در مجله انجمن مهندسین کره چاپ شده است [۲].

۱- ۳ روش کار و تحقیق

مبدل حرارتی لوله گرمایی که در این پروژه مورد مطالعه قرار گرفته است، شامل دو کانال هوای سرد وگرم بوده که هر یک به طور مجزا، توسط فن به داخل آن تزریق می گردد. هوا پس از ورود به کانال های مذکور پس از سپری کردن ناحیه گذرا به صورت توسعه یافته وارد مقطع اصلی مبدل شده که شامل دو ردیف مبدل لوله گرمایی است. هر یک از دسته لوله های مذکور دارای ۳۶ لوله با آرایش مثلثی با مشخصات ذیل می باشد:



شکل۱-۱ نمای بالای مبدل

[۱] Energy Resources Laboratories