



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تحلیلی و تجربی لوله گرمایی مسطح

استاد راهنما :

دکتر محمد حسن کیهانی

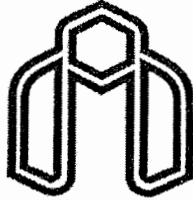
استاد مشاور :

دکتر محمد لایقی

تهیه کننده:

نوید رضایی

صلى الله عليه وسلم



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تحلیلی و تجربی لوله گرمایی مسطح

استاد راهنما :

دکتر محمد حسن کیهانی

استاد مشاور :

دکتر محمد لایقی

تهیه کننده:

نوید رضایی

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش شایسته خداوندی است که مرا مورد محبت خویش قرار داد تا با همراهی بزرگوارانی که مرا در زمینه های مختلف یاری کردند این تحقیق به سر انجام برسد. از این رو ضمن تقدیر و تشکر از این عزیزان ، توفیق روز افزون تک تک آنها را از خداوند منان خواستارم.

بدین وسیله از زحمات بی دریغ اساتید گرامی ، جناب آقای دکتر کیهانی و جناب آقای دکتر لایقی که با رهنمود های ارزشمندشان مرا در انجام هرچه بهتر این پایان نامه یاری فرمودند ، صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر مغربی و جناب آقای دکتر فرزانه که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشته اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان از کلیه دوستان و عزیزانی که مرا در انجام این پایان نامه یاری نموده اند ، خصوصا عزیزان انجمن علمی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج ، سپاسگزارم و برایشان آرزوی موفقیت دارم.

چکیده

لوله های گرمایی به عنوان یکی از مهمترین وسیله های انتقال حرارت در صنعت کاربرد بسیاری دارند. در این پروژه تحلیل ، طراحی و ساخت یک لوله گرمایی مسطح مورد بررسی قرار گرفته است. لوله گرمایی مورد بحث از جنس آلومینیم و با سیال عامل آب مقطر است و در رنج دمایی در حدود ۵۰ تا ۲۰ درجه سانتیگراد کار میکند. مهمترین هدف ما از ساخت چنین وسیله ای ایجاد یک سطح همدمای می باشد .

در این تحقیق ابتدا مروری بر لوله های گرمایی ، اصول کارکرد و کاربرد های آن صورت گرفته است. سپس با استفاده از یک تحلیل دو بعدی نحوه به دست آوردن پروفیل های سرعت و فشار و دما در نواحی بخار و مایع تشریح شده است.

در قسمت بعدی ملاحظاتی که باید در طراحی لوله گرمایی رعایت کرد بیان میگردد. سپس نحوه ساخت اجزا لوله گرمایی مسطح با در نظر گرفتن این ملاحظات و هم چنین نحوه سر هم بندی آنها با جزییات کامل شرح داده شده است. در این قسمت ساخت مهمترین جزء لوله گرمایی که فتیله است نیز ارائه گردیده است. با اندازه گیری خواص فتیله به صورت تجربی مشخص شد که پروسیتی آن در حدود ۸۰ درصد است.

در قسمت تستهای عملکرد لوله گرمایی مسطح ابتدا نحوه تخلیه و شارژ لوله گرمایی مطرح شده و در ادامه پروفیل های دمای سطوح بالایی و پایینی لوله گرمایی با شارهای مختلف رسم گردیده است. نتایج حاصل از این پروفیل ها نشان می دهد که لوله گرمایی به صورت مطلوبی یک سطح همدمای ایجاد می کند

فهرست مطالب

أ	تقدیر و تشکر
ب	چکیده
ج	فهرست مطالب
ز	فهرست اشکال
ط	فهرست علائم و نشانه ها

فصل اول : مروری بر لوله های گرمایی

۱	۱-۱-تاریخچه
۲	۲-۱-مبانی لوله های گرمایی
۴	۱-۲-۱-سیال عامل
۵	۲-۲-۱-فتیله
۶	۳-۲-۱-ماکزیمم فشار موینگی
۷	۳-۱-محدودیت های عملکرد در لوله گرمایی
۸	۱-۳-۱-محدودیت موینگی
۹	۴-۱-مقاومت حرارتی لوله گرمایی
۱۰	۵-۱-ضریب هدایت حرارتی موثر فتیله
۱۱	۶-۱-ضریب تخلخل و نفوذپذیری برای تورهای فلزی
۱۲	۷-۱-مروری بر کاربردهای لوله گرمایی
۱۳	۸-۱-مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه لوله گرمایی مسطح
۱۹	۹-۱-روشهای تحلیل جریان بخار و مایع

۱۹	۱-۹-۱-مدل دو بعدی لوله گرمایی
۲۱	۱-۱-۹-۱-تحلیل فاز بخار
۲۵	۲-۱-۹-۱-تحلیل فاز مایع
۲۶	۳-۱-۹-۱-توزیع دما
۲۸	فصل دوم: ملاحظات طراحی
۲۹	۱-۲-تعریف مسئله
۲۹	۲-۲-طراحی بدنه
۳۱	۳-۲-فتیله
۳۲	۴-۲-انتخاب سیال عامل
۳۳	۵-۲-انتخاب بدنه
۳۴	۶-۲-سازگاری
۳۵	۷-۲-انتخاب اجزا خارجی
۳۵	۱-۷-۲-پمپ خلا
۳۵	۲-۷-۲-شیرهای خلا
۳۶	۳-۷-۲-شلنگهای اتصال
۳۷	۴-۷-۲-هیتر
۳۷	۵-۷-۲-مخزن شارژ سیال
۳۷	۶-۷-۲-ترموتر
۳۸	۷-۷-۲-گیج خلا
۳۸	۸-۲-طراحی سیستم شارژ

۴۰	فصل سوم : ساخت لوله های گرمایی مسطح
۴۱	۱-۳- ساخت لوله گرمایی مسطح
۴۱	۲-۳- ساخت اجزا لوله گرمایی مسطح
۴۲	۱-۲-۳- بدنه
۴۴	۲-۲-۳- فتیله ها
۴۶	۳-۲-۳- شیرهای خلا
۴۷	۴-۲-۳- هیتر و دیمر
۴۸	۵-۲-۳- ترمومتر
۴۹	۶-۲-۳- اارلن خلا
۵۰	۷-۲-۳- گیج خلا
۵۰	۸-۲-۳- پمپ خلا
۵۱	۹-۲-۳- ترازو
۵۱	۱۰-۲-۳- میز دستگاه
۵۲	۳-۳- آشکار سازی نشتی
۵۴	۴-۳- اندازه گرفتن تخلخل به صورت تجربی
۵۶	فصل چهارم : تست لوله گرمایی مسطح
۵۷	۱-۴- تخلیه گازهای ناشی از اوت گسینگ
۵۸	۲-۴- شارژ لوله گرمایی توسط سیال عامل
۶۰	۳-۴- تست لوله گرمایی
۶۱	۴-۴- رسم داده ها

۶۱	۴-۴-۱-آزمایش شماره ۱
۶۳	۴-۴-۲-آزمایش شماره ۲
۶۵	۴-۴-۳-آزمایش شماره ۳
۶۶	۴-۴-۴-نمودارهای مقایسه ای
۶۸	۴-۵-نتیجه گیری
۶۹	۴-۶-پیشنهادات برای تحقیقات آینده

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱)..... مولفه ها و اصول کار لوله گرمایی
- شکل (۲-۱)..... هندسه شعاع انحنای سطح مشترک مایع و بخار
- شکل (۳-۱)..... محدودیت های عملکرد لوله گرمایی
- شکل (۴-۱)..... مقاومت های حرارتی در لوله گرمایی
- شکل (۵-۱)..... مدل های انتقال حرارت سری و موازی برای فتیله اشباع از مایع
- شکل (۶-۱)..... (a) یک لوله گرمایی مسطح (b) پارامترهای ابعادی (c) مختصات استفاده شده
- شکل (۷-۱)..... رژیم های مختلف بخار و مایع برای تحلیل لوله گرمایی
- شکل (۱-۲)..... رنج دمایی کارکرد سیال عامل
- شکل (۲-۲)..... شمایی از شیر خلا مورد استفاده در خلا متوسط
- شکل (۳-۲)..... شماتیکی از یک فشار سنج بخوردن
- شکل (۴-۲)..... شماتیکی از سیستم شارژ لوله گرمایی
- شکل (۱-۳)..... مجموعه بدنه و فتیله های لوله گرمایی قبل از جوشکاری
- شکل (۲-۳)..... یکی از فتیله های تشکیل دهنده لوله گرمایی
- شکل (۳-۳)..... شیر خلا مورد استفاده
- شکل (۴-۳)..... اتصال نری و مادگی کونیک
- شکل (۵-۳)..... هیتر مورد استفاده در این آزمایش
- شکل (۶-۳)..... دیمر مورد استفاده برای کنترل شار حرارتی
- شکل (۷-۳)..... ترمومتر مادون قرمز برای اندازه گیری دمای سطح
- شکل (۸-۳)..... ازلن خلا برای نگهداری سیال عامل

شکل (۳-۹)	گیج خلا برای اندازه گیری فشار داخل مخزن
شکل (۳-۱۰)	پمپ خلا مورد استفاده در این پروژه
شکل (۳-۱۱)	ترازوی دیجیتال برای توزین ارلن خلا
شکل (۳-۱۲)	میز دستگاه برای نصب لوله گرمایی
شکل (۳-۱۳)	(a) نشستی مجازی (b) نشستی واقعی
شکل (۴-۱)	نحوه تخلیه لوله گرمایی از هوا
شکل (۴-۲)	پروفیل تشکیل شده در سطح در هنگام شارژ مایع
شکل (۴-۳)	توزین ارلن خلا پس از شارژ سیال عامل
شکل (۴-۴)	پروفیل دمای سطح پایینی لوله گرمایی مسطح در آزمایش ۱
شکل (۴-۵)	پروفیل دمای سطح بالایی لوله گرمایی مسطح در آزمایش ۱
شکل (۴-۶)	پروفیل دمای سطح پایینی لوله گرمایی مسطح در آزمایش ۲
شکل (۴-۷)	پروفیل دمای سطح بالایی لوله گرمایی مسطح در آزمایش ۲
شکل (۴-۸)	پروفیل دمای سطح پایینی لوله گرمایی مسطح در آزمایش ۳
شکل (۴-۹)	پروفیل دمای سطح پایینی لوله گرمایی مسطح در آزمایش ۳
شکل (۴-۱۰)	مقایسه بین کانتورهای دما در آزمایشات ۱ و ۲

فهرست علائم و نشانه ها

A_e	سطح اوپراتور	T_{ov}^+	دمای بخار اشباع بی بعد ، $T_{ov} h_{fg} / R$
b	نصف عرض هر کانال بخار	ΔT_w	افت دما در عرض فتیله
$f(x)$	مکان ماکزیمم سرعت بخار در هر مقطع	ΔT_{wall}	افت دما در عرض دیواره لوله گرمایی
$f(x^+)$	مکانی بعد شده ماکزیمم سرعت بخار در هر مقطع	ΔT_v^+	افت دمای بخار بی بعد شده ، $T^+ - T_{ov}^+$
h_w	ضخامت فتیله	u_l^+	سرعت مایع بی بعد شده ، u_l / U_{ol}
h_w^+	نصف عرض هر کانال بخاری بعد شده b / h	u_v^+	سرعت بخار بی بعد شده ، u_v / U_{ov}
k_{wall}	هدایت حرارتی فتیله	U_{ov}	ماکزیمم سرعت بخار
κ	نفوذ پذیری	U_v^+	مولفه سرعت بخار بی بعد شده ، جهت x^+
κ^+	نفوذ پذیری بی بعد شده ، κ / h_w^2	v_1	سرعت تزریق بخار
l	طول لوله گرمایی	v_2	سرعت مکش بخار
l^+	طول بی بعد شده لوله گرمایی	v_1^+	سرعت تزریق بخار بی بعد شده ، $v_1 h / v_v$
l_b	عرض لوله گرمایی	v_2^+	سرعت مکش بخار بی بعد شده ، $v_2 h / w$
l_e	طول اوپراتور		حروف یونانی
p_l	فشار مایع	μ_l	ویسکوزیته مایع
p_v	فشار بخار	μ_v	ویسکوزیته بخار
p_l^+	فشار مایع بی بعد شده ، $p_l / \rho_l U_{ol}^2$	μ^+	ویسکوزیته بی بعد شده ، μ_v / μ_l
p_v^+	فشار بخار بی بعد شده ، $p_v / \rho_l U_{ov}^2$	v_v	ویسکوزیته سینماتیکی بخار
Δp_{cap}	هد فشار موینگی فتیله	ρ_l	چگالی مایع
Δp_l	افت کلی فشار مایع	ρ_v	چگالی بخار
Δp_{total}	افت کلی فشار	σ_l	کشش سطحی مایع
Δp_v	افت کلی فشار بخار	ϕ	نسبت طول اوپراتور به کل طول لوله گرمایی
Δp_l^-	افت فشار مایع بی بعد شده $p_l^- - p_{ov}^+$		پانویسها و بالا نویسها
Δp_v^+	افت فشار بخار بی بعد شده $p_v^+ - p_{ov}^+$	c	کندانسور
q_e	شار حرارتی وارده بر اوپراتور	e	اوپراتور
Q	نرخ حرارت منتقله از هیتر	l	فاز مایع
r_w	شعاع تخلخل فتیله	v	فاز بخار
Re_h	عدد رینولدز تزریق	w	فتیله
T_v	دمای بخار	$+$	مقادیر بی بعد شده

فصل اول

مروری بر لوله های گرمایی

۱-۱- تاریخچه :

در سال ۱۹۴۴ گوگلر^۱ یک وسیله انتقال حرارت را به ثبت رساند که در اصل یک لوله گرمایی بود . در حالی که تکنولوژی آن زمان نیاز چندانی به این وسیله احساس نمی کرد و این موضوع سبب شد که این وسیله برای دو دهه مسکوت باقی بماند . این موضوع در سال ۱۹۶۲ توسط ترفتن^۲ در رابطه با یک برنامه فضایی دوباره احیا گردید و توسط وایات^۳ در سال ۱۹۶۳ به صورت یک اختراع کاربردی ثبت شد . در همین زمان گرور^۴ و همکارانش در آزمایشگاه تحقیقاتی لوس آلاموس در سال ۱۹۶۳ نمونه هایی ساختند و این سبب نیروی محرکه این تکنولوژی برای حرکت رو به جلو آن شد . گرور نام لوله گرمایی را بر این وسیله نهاد و بیان داشت : « با وجود محدودیت هایی در کارکرد ، یک لوله گرمایی وسیله ای است که دارای هدایت حرارتی معادلی بزرگتر از هر فلز شناخته شده است . »

اولین لوله گرمایی که توسط گرور ساخته شد ، از آب به عنوان سیال عامل استفاده می کرد که بعداً با لوله گرمایی سدیم مایع که دمای کارکرد آن ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد بود جایگزین شد . هم دماهای بالا و هم دماهای محیط زمینه هایی بودند که بعداً محققان روی آن شروع به کار کردند . این تازمانی بود که در سال ۱۹۶۶ نخستین لوله گرمایی کرایونیک توسط هسکین^۵ در آزمایشگاه دینامیک پرواز نیروی هوایی واقع در پایگاه نیروی هوایی رایت تپرسون^۶ ساخته شد .

¹ Gaugler

² Trefeten

³ Wyatt

⁴ Grover

⁵ Haskin

⁶ Wright - Patterson

مفهوم هدایت حرارتی متغیر و کنترل لوله گرمایی ابتدا توسط هال^۱ در سال ۱۹۶۴ در یک اختراع کاربردی ثبت گردید . اگر چه تأثیر گازهای غیر قابل تقطیر در آثار گرور نشان داده شده بود ولی اهمیت آن در بدست آوردن هدایت حرارتی متغیر هنوز ناشناخته بود . در سالهای بعدی تئوری و تکنولوژی لوله هایی گرمایی با هدایت متغیر به صورت قابل توجهی توسط بینرت^۲ و برنان^۳ و مارکوس^۴ پیشرفت کرد .

در آوریل ۱۹۶۷ نخستین تجربه لوله های گرمایی در گرانش صفر توسط گروهی از مهندسان در آزمایشگاه تحقیقاتی لوس آلاموس انجام شد . اولین تجربه موفق آزمایش پرواز بر تردیدهای بسیاری از طراحان فضا پیماها برای استفاده از این تکنولوژی جدید برای حل کردن مشکلات کنترل دما ، پایان داد . بدین ترتیب ، فضا پیماها بیشتر و بیشتر به تکنولوژی لوله های گرمایی برای کنترل دمای اجزا به صورت جداگانه یا به صورت کلی اعتماد کردند .

گسترش کاربردهای زمینی لوله های گرمایی با سرعت کمتری نسبت به کاربردهای فضایی پیشرفت کرد . در سال ۱۹۶۸ ، RCA یک لوله گرمایی را برای ترانسیستورهای موجود در یک فرستنده هواپیما به کاربرد . این احتمالاً نخستین کاربرد تجاری لوله های گرمایی بوده است . در همین حین ، کاربردهای بسیار دیگری برای لوله های گرمایی بدست آمد که می توانست بسیاری از مشکلات حیاتی در انتقال حرارت و کنترل دما را حل کند .

¹ Hall

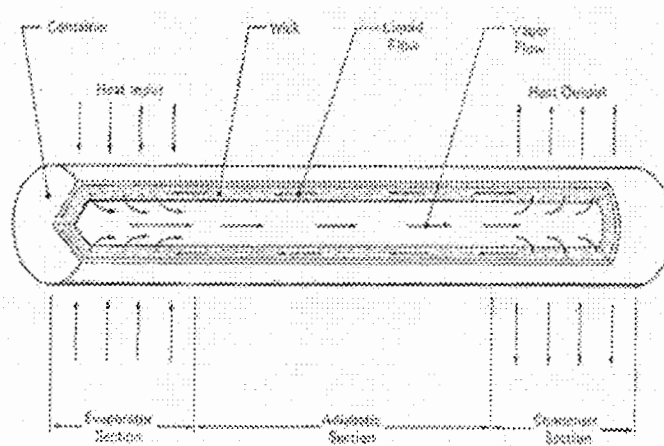
² Bienert

³ Brennan

⁴ Marcus

۲-۱- مبانی لوله های گرمایی

لوله های گرمایی در فرم استاندارد خود (شکل (۱-۱)) یک لوله بسته یا محفظه ای با شکل های مختلف هستند که سطح داخلی آنها با یک فتیله موئین پوشانده شده است. فتیله با فاز مایع اشباع گردیده است و حجم باقیمانده لوله فاز بخار قرار دارد. گرمای وارده در قسمت اواپراتور توسط یک منبع خارجی، سیال عامل را در آن مقطع تبخیر می کند. اختلاف ایجاد شده در فشار سیال را از اواپراتور به کندانسور می راند، جایی که مایعات چگالش یافته گرمای نهان تبخیر را به چاه حرارتی انتقال می دهند. فشار موئینگی مایع چگالش یافته را به قسمت اواپراتور برای تبخیر دوباره پمپاژ می کند. به این دلیل است که لوله گرمایی می تواند به صورت پیوسته گرمای نهان تبخیر را از قسمت اواپراتور به قسمت کندانسور بدون خشک شدن فتیله منتقل نماید. این فرآیند تا موقعی ادامه می یابد که مسیر جریان سیال عامل بسته نشده باشد و فشار موئینگی کافی باقی مانده باشد



شکل (۱-۱): مولفه ها و اصول کار لوله گرمایی [۱۳]

چند فایده مهم استفاده از لوله گرمایی به عنوان یک وسیله انتقال حرارت عبارت است از: سادگی ساختمان آن، انعطاف پذیری استثنایی آن، قابلیت کنترل، توانایی انتقالی حرارت در یک حجم بالا

در یک فاصله قابل ملاحظه و افت دمای بسیار کم. علاوه بر اینها، لوله های گرمایی هیچ توان پمپ کردن خارجی نیاز ندارند.

بر خلاف هادیهای جامد. خواص لوله های گرمایی تنها به سایز، شکل و جنس بستگی ندارند بلکه به ساختمان، سیال عامل و نرخ انتقال حرارت نیز بستگی دارند. علاوه بر آن، لوله های گرمایی دارای محدودیتهایی در انتقال حرارت هستند.

۱-۲-۱- سیال عامل

برای کار کردن لوله های گرمایی، ساختمان فتیله آنها باید فاز مایع سیال عامل اشباع گردد. لوله های گرمایی می توانند بر حسب سیال عامل به گروه های تبریدی، دمای متوسط و فلزات مایع تقسیم بندی شوند. خط تقسیم بین گروه تبریدی و دمای متوسط برابر $240^{\circ}F$ - $(122^{\circ}K)$ و خط تقسیم بین دمای متوسط و فلزات مایع $670^{\circ}F$ - $(628^{\circ}K)$ است.

اختلاف مهم بین این سه دسته بندی لوله های گرمایی، علاوه بر رنج دمایی متناسب آنها، توانایی انتقال حرارت ماکزیمم و افت دما در همان نرخ انتقال حرارت و انتقال حرارت در یک هندسه یکسان است. کشش سطحی زیاد سیال عامل متناظر با توانایی پمپاژ موئینگی زیاد است و گرمای نهان تبخیر زیاد سیال عامل نیز متناسب با انتقال حرارت موثر بیشتر است و هدایت حرارتی بیشتر سیال عامل نیز متناظر با افت دمایی کمتر در فتیله هم در اواپراتور و در کندانسور می باشد.

۱-۲-۲- فتیله

اهداف ما از به کار بردن فتیله عبارتند از:

۱. ایجاد مسیر جریان لازم برای بازگشت مایع چگالش یافته
۲. ایجاد سوراخهای سطحی در مرز مشترک مایع تبخار برای گسترش فشار موئینگی
۳. ایجاد مسیر انتقال حرارت بین دیواره داخلی نگهدارنده و مرز مشترک مایع تبخار

معمولاً یک ساختمان موثر فتیله نیاز به سوراخهای سطحی کوچک برای ایجاد فشار موئینگی زیاد و سوراخهای داخلی بزرگ (در جهت عمود بر جریان مایع) برای مقاومت مینیمم در برابر جریان مایع و یک مسیر با هدایت حرارتی بالا و متوالی در عرض ضخامت فتیله برای افت دمایی کم دارد به خاطر این ملزومات، انواع زیادی از فتیله ها گسترش یافته‌اند.

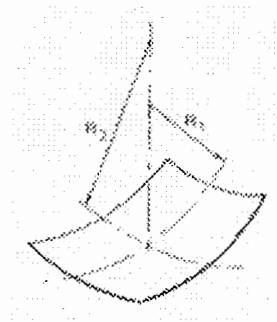
فتیله ها می‌توانند به دو گروه عمومی تقسیم بندی شوند. فتیله های همگن و فتیله های مرکب . فتیله های همگن از یک ماده تشکیل شده اند. ولی فتیله های مرکب از دو یا چند ماده تشکیل شده اند. فتیله های همگن دارای ساختمان های صفحه پیچ، پودر های فلزی، شیار محوری، حلقوی و هلالی هستند فتیله های مرکب نیز دارای ساختمان های کامپوزیت ، تونلی ، تخت هستند.

۱-۲-۳- ماکزیمم فشار موئینگی

موقعی که یک سطح منحنی شکل در مرز مشترک مایع و بخار تشکیل می گردد (شکل (۱-۲))، فشار موئینگی که به صورت $(P_v - P_l)$ تعریف می گردد، می تواند با استفاده از رابطه لاپلاس^۱ و یانگ^۲ محاسبه گردد.

$$P_c = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1-1)$$

که در آن R_1, R_2 شعاع انحنای سطح منحنی شکل و σ ضریب سطحی مایع است .



شکل (۱-۲): هندسه شعاع انحنای سطح مشترک مایع و بخار [۱۱]

¹ Laplace

² Young

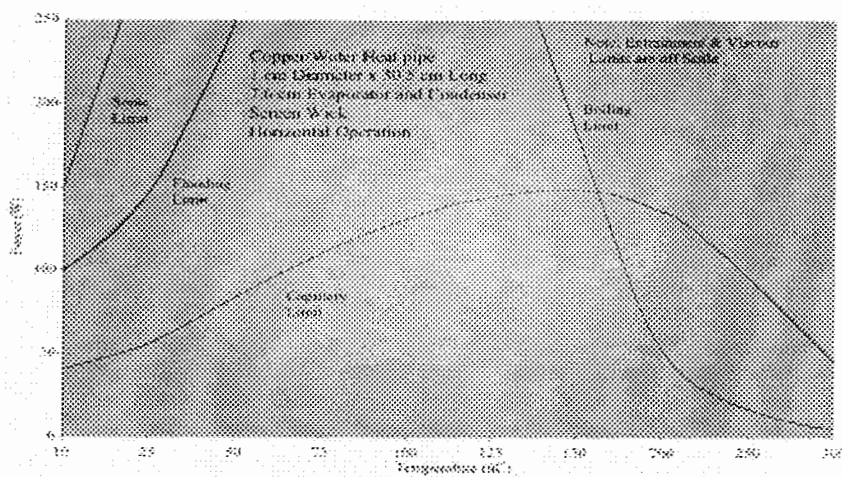
در حال حاضر ما می خواهیم که مقدار ماکزیمم $(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$ را برای انواع مختلف فتیله و در نتیجه آن فشار موینگی ماکزیمم p_{cm} را بیابیم برای راحتی بهتر است که معادله (۱-۱) به صورت زیر نوشته شود .

$$P_{cm} = \frac{2\sigma}{r_c} \quad (۲-۱)$$

شعاع موینگی موثر r_c در این رابطه به صورتی تعریف می گردد که در آن $\frac{2}{r_c}$ برابر ماکزیمم مقدار ممکن $(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$ برای ساختمانهای مختلف فتیله ای باشد . برای فتیله هایی با ساختار ساده هندسی ، در مرز مشترک مقادیر شعاع موثر موینگی می تواند به صورت تئوری مشخص گردد . برای فتیله هایی با ساختار پیچیده هندسی این مقادیر باید به صورت تجربی مشخص گردند .

۳-۱- محدودیتهای عملکرد در لوله های گرمایی

در این قسمت می خواهیم با محدودیتهای عملکرد لوله گرمایی در انتقال حرارت آشنا شویم . شکل (۳-۱) محدودیت های رفتاری لوله حرارتی را نشان می دهد .



شکل (۳-۱) : محدودیت های عملکرد لوله گرمایی [۲۵]

مطابق شکل چهار ناحیه وجود دارد که بر روی انتقال حرارت موثر لوله تاثیر گذاشته و آن را محدود می کند. این چهار ناحیه عبارتند از: محدودیت مویینگی، محدودیت جوشش، محدودیت صوتی، محدودیت نفوذی.

این محدودیتها برای انتقال حرارت یک حداقل دمایی را مشخص می کنند. بزرگی این محدودیتها به سیال عامل، ساختار فتیل و ابعاد لوله گرمایی بستگی دارد. در اینجا به دلیل اهمیت محدودیت مویینگی در باره آن صحبت می کنیم.

۱-۳-۱- محدودیت مویینگی

ماکزیمم انتقال حرارت در لوله گرمایی تحت شرایطی به دست می آید که هد فشار مویینگی بزرگتر یا مساوی مجموع افت فشار در مسیر مایع بخار باشد.

برای اینکه لوله گرمایی درست کار کند موازنه فشار زیر باید ارضا گردد.

$$\Delta P_{c,\max} \geq \Delta P_l + \Delta P_v + \Delta P_{e,\delta} + \Delta P_{c,\delta} + \Delta P_g \quad (3-1)$$

هد فشار مویینگی ماکزیمم برابر است با:

$$P_{c,\max} = \frac{2\sigma}{r_{eff}} \quad (4-1)$$

که در آن r_{eff} شعاع موثر سوراخهاست.

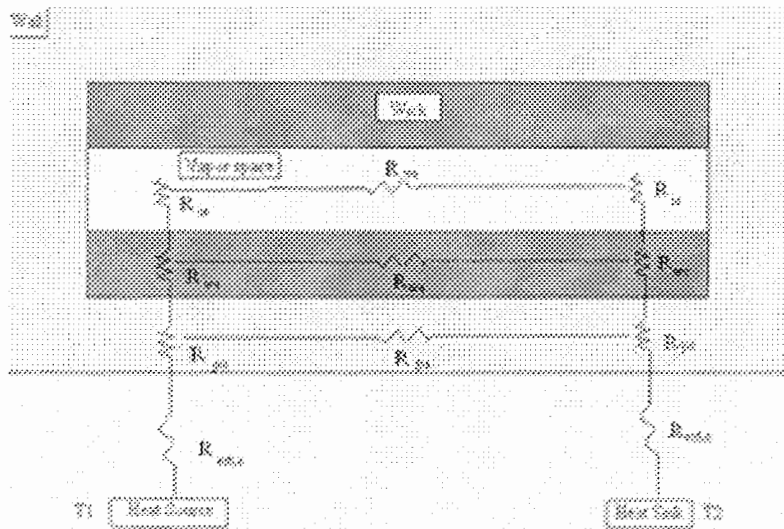
افت فشار بخار در طول لوله گرمایی ΔP_v و افت فشار مایع در طول لوله گرمایی ΔP_l را می توان از روابط تئوری و نمودارها برای هر نوع لوله گرمایی به دست آورد. ΔP_g افت فشار ناشی از جاذبه است که در لوله گرمایی معمولی از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Delta P_g = \rho l g L_i \sin \varphi \quad (5-1)$$

که در آن φ زاویه لوله گرمایی با افق است. $\Delta P_{e,\delta}$ و $\Delta P_{c,\delta}$ افت های فشار ناشی از تبخیر و چگالش در مرز مشترک مایع و بخار است و غالباً میتوان از آنها صرف نظر کرد.

۴-۱- مقاومت حرارتی لوله گرمایی

با استفاده از یک مدارالکتروترمال معادل متشکل از مقاومت‌های سری و موازی (شکل (۴-۱)) می توان افت دما بین اواپراتور و کندانسور در یک لوله گرمایی را تعیین نمود. همان طور که در شکل (۴-۱) مشاهده میشود مقاومت حرارتی کل شامل ۹ مقاومت با ترکیب سری و موازی میباشد



شکل (۴-۱): مقاومت های حرارتی در لوله گرمایی [۴]

دو مقاومت دیگر که در شکل (۴-۱) نشان داده شده اند . نقش مهمی در طراحی در کاربردهای الکترونیک ایفا می کنند. این مقاومتها عبارتند از : مقاومت‌های خارجی یا تماس بین چشمه حرارتی و اواپراتور لوله گرمایی ، $R_{ext,e}$ و مقاومت تماس بین چاه حرارتی و کندانسور $R_{ext,c}$ در بسیاری از کاربردها مرتبه بزرگی ترکیب این دو مقاومت با مقاومت کلی لوله گرمایی برابر است .

مقاومت کلی حرارتی لوله گرمایی معمولی را می توان با صرف نظر از مقاومت‌های طولی به صورت

زیر نوشت :

$$R_{tot} = R_{p,e} + R_{p,c} + R_{w,e} + R_{w,c} = 2 (R_{p,e} + R_{w,e}) \quad (۶-۱)$$

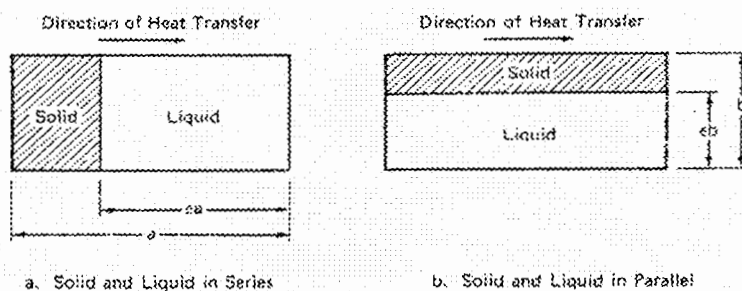
که در آن $R_{p,e}$ مقاومت شعاعی دیواره لوله در قسمت اوپراتور، $R_{p,c}$ مقاومت شعاعی دیواره لوله در قسمت کندانسور، $R_{w,e}$ مقاومت شعاعی فتيله در قسمت اوپراتور، $R_{w,c}$ مقاومت فتيله در قسمت کندانسور می باشد .

۱-۵- ضریب هدایت حرارتی موثر فتيله

با توجه به اینکه اصولاً انتقال حرارت در لوله گرمایی به خاطر سرعت کم مایع داخل فتيله از میان فتيله به صورت هدایت صورت می گیرد . انتخاب نوع فتيله مهم می باشد به طوری که ضریب هدایتی موثر فتيله ، ماکزیمم ضخامت فتيله را مشخص می نماید . ضریب هدایت حرارتی فتيله به ماده سازنده فتيله و نوع سیال عامل بستگی دارد .

ضریب هدایت حرارتی موثر برای یک فتيله ایزوتوپ به طرق مختلفی قابل محاسبه است . مطابق شکل (۱-۵b) اگر هدایت حرارتی در فازهای جامد و مایع به صورت موازی فرض شود ، به طوری که انتقال حرارت بین فاز جامد و مایع وجود نداشته باشد ($T_s = T_l = T$) می توان نشان داد.

$$K_{eff} = (1 - \varepsilon)k_s + \varepsilon k_l \quad (Y-1)$$



شکل (۱-۵) : مدل‌های انتقال حرارت سری و موازی برای فتيله اشباع از مایع [۱۳]

ضریب نفوذپذیری ، κ ، برای مش های فلزی نیز از معادله زیر بدست می آید. [۱۲]

$$k = \frac{d^2 \varepsilon^2}{122(1 - \varepsilon)^2} \quad (10-1)$$

چانگ نیز در سال ۱۹۹۰ رابطه زیر را برای فتیله های توری ارائه کرده است [۴۲]:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\pi AB}{2(1 + A)} \quad (11-1)$$

که در این رابطه $A = \frac{d}{w}$, $B = \frac{d}{t}$ می باشد .

۷-۱- مروری بر کاربردهای لوله گرمایی

از سال ۱۹۶۴ ، لوله های گرمایی کاربردهای زیادی پیدا کرده اند. لوله های گرمایی فلز مایع به طور گسترده ای در خنک سازی راکتورهای اتمی و ایزوتوپ، برای خنک کردن ژنراتورهای الکتریکی و بازیابی حرارتی در طرحهای تبدیل گاز، استفاده می گردد. لوله های گرمایی دما متوسط در صنایع الکترونیکی برای خنک کردن شفت ها، لبه های توربین، ژنراتورها، موتورها و ترانسفورماتورها استفاده می گردد. در بازیاب های حرارتی آنها برای تجمیع حرارت از گازهای خروجی، انرژی خورشیدی و انرژی زمین گرمایی استفاده می گردد. در برش فلزات لوله های گرمایی دما متوسط برای خنک سازی ابزارهای برشی استفاده می گردد. در نهایت در تجهیزات فضایی، لوله های گرمایی برای کنترل دمای وسایل، تجهیزات و فضای داخلی استفاده می گردند. لوله های گرمایی کرایوژنیک در سیستم های ارتباطی برای خنک کردن سنسورهای مادون قرمز، تقویت کننده ها و سیستم های لیزری استفاده می گردد.

۱-۸- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه لوله گرمایی مسطح :

لوله های گرمایی مسطح وسایل انتقال حرارت مؤثری هستند که در صنایع بسیاری کاربرد دارند . آنها نوع خاصی از لوله های گرمایی هستند که معمولاً می توانند مقدار بیشتری شار حرارتی را نسبت به نوع استوانه ای منتقل نمایند . به خاطر خواص خوب آنها لوله های گرمایی مسطح در بسیاری از کاربردها از جمله خنک سازی چپ های نیمه هادی و تجهیزات الکترونیکی کاربرد دارند . در این کاربرد خاص بیشتر از لوله های گرمایی مینیاتوری سطح استفاده می گردد .

باسیولیس^۱ در سال ۱۹۸۶ آزمایشی برای تست لوله گرمایی مسطح جهت خنک کردن بردهای سیمی چاپی انجام داد. ماکزیمم توان ورودی ۱۰۰W و شار حرارتی ۲ W/cm برای این لوله گرمایی تست شده گزارش شده است. [۴۴]

تامسون^۲ نیز در سال ۱۹۸۹ آزمایشاتی را برای بررسی کاربردهای لوله گرمایی مسطح در خنک سازی تقویت کننده های ماهواره ای با قدرت بالا، انجام داد. در این آزمایش، دمای سطح لوله گرمایی نیز در این آزمایش اندازه گیری شده است. در گزارش این آزمایش هیچ نامی از فته عمودی برده نشده است و مسیر برگشت مایع چگالش یافته مشخص نگردیده است. [۴۵]

مون^۳ ، هوانگ^۴ در سال ۲۰۰۲ تحقیقاتی را در زمینه بهبود کارکرد حرارتی لوله های گرمایی مینیاتوری سطح برای استفاده از خنک سازی کامپیوتر های لپ تاپ انجام داده اند . در این تحقیق تستی روی یک MHP انجام شده است تا کارکرد حرارتی آن را با توجه به تغییر ضخامت ، طول کلی لوله گرمایی ، ضخامت دیواره ها ، شار حرارتی و زاویه با افق بسنجند . [۲۹]

رایان^۵ و همکارانش در سال ۲۰۰۴ تحقیقاتی در زمینه مدیریت حرارتی سیستم های الکترونیکی با توان بالا انجام داده اند .

¹ Basiulis

² Thomson

³ Moon

⁴ Hwang

⁵ Ryan

آنها در این پروژه انتقال حرارت دو فازی و تکنولوژی لوله های گرمایی را با جابجایی اجباری هوا و سیستم تقطیر مایع ترکیب کرده اند. آنها هم چنین در این پروژه یک پروژه تحقیقاتی دیگری را انجام داده اند که درباره گسترش میکروکانالها در مبدل‌های حرارتی است. [۴۷]

لفور^۱ و لالمنند^۲ در سال ۲۰۰۶ مدل‌های پیوسته گرمایی و هیدرودینامیک میکرولوله های گرمایی مسطح را برای خنک سازی اجزا دستگاه‌های الکترونیکی بررسی کرده اند. در این بررسی آنها حل تحلیلی جریانهای مایع و بخار را درون یک میکرولوله گرمایی مسطح به صورت همبسته با حل معادلات انرژی انجام داده اند. ماکزیمم توانایی انتقال حرارت یک MHP مسطح که در آن چند منبع حرارتی قرار داده شده است نیز محاسبه گردیده است. ساختمان مویین درون نیز با محیط متخلخل مدل شده است. مدل حرارتی نیز قادر است که قسمتی از حرارت که فقط توسط هدایت حرارتی در دیواره MHP منتقل می شود را محاسبه کند. [۴۸]

کیکوچی^۳ در سال ۱۹۸۱ آزمایشاتی روی لوله های گرمایی مسطح هیدرودینامیک انجام داده است. لوله گرمایی به کار رفته در این آزمایش ۱۰۰ cm طول و ۱۰ cm عرض دارد و سه الکتروود نیز در آن به کار رفته است. جهت قرارگرفتن لوله گرمایی به صورت کاملاً افقی است. فرئون ۱۱ و فرئون ۱۱۳ به طور جداگانه بعنوان سیال عامل مورد استفاده قرار گرفته اند. [۴۶]

آنها دریافته‌اند که فرئون ۱۱ از نقطه نظر انتقال گرما نسبت به فرئون ۱۱۳ برتری دارد. در این آزمایش، توانایی انتقال حرارتی تا ۱۵۰ W ثبت گردیده است.

در مطالعات و تحقیقات قبلی که توسط پرفسور وفایی^۴ و همکارانش در دانشگاه اوهایو صورت گرفته است، هم بررسی‌های تحلیلی و هم بررسی‌های عددی برای جریان مایع و بخار در داخل لوله گرمایی مسطح انجام گرفته است. به علاوه در زمینه خواص انتقال حرارت لوله گرمایی در هنگام شروع به کار و همچنین در پایان کار بررسی‌های مفصلی صورت گرفته است.

¹ Lefevre

² Lallemand

³ Kikuchi

⁴ Vafai

وفایی و وانگ^۱ در سال ۱۹۹۲ تمامی کارکردهای یک لوله گرمایی مسطح مستطیلی متقارن را بررسی کرده‌اند. آنها در ابتدا یک مدل تحلیل سه بعدی را برای جریان مایع و بخار یکنواخت و تراکم ناپذیر، در درون لوله گرمایی مسطح بدست آورده‌اند. آنها جزئیات فیزیکی فرآیندهای انتقال را نیز تشریح کرده‌اند. علاوه بر آن، مقدار ماکزیمم توان انتقال حرارت یک لوله گرمایی را با توجه به حد موینگی و محدودیتهای حاصل از آن، بدست آورده‌اند. [۱۴]

وفایی در یکی دیگر از مقالات خود در سال ۱۹۹۵، با به کار بردن یک تحلیل محافظه کارانه، یک بررسی تحلیل روی جریان یکنواخت و تراکم ناپذیر بخار و مایع در درون یک لوله گرمایی دایروی شکل^۲ انجام داده است. سپس یک مقایسه بین پروفیل سرعت بخار، و توزیع فشار بخار و مایع و توزیع دما در لوله گرمایی دایروی شکل با آنچه که در لوله گرمایی مستطیلی وجود دارد انجام داده است. [۱۵]

وفایی و ژو^۳ در سال ۱۹۹۸ یک بررسی عددی و تحلیلی برای جریان بخار و مایع تراکم ناپذیر پایدار در یک لوله گرمایی مسطح نامتقارن انجام داده اند. آنها در این تحقیق از مدل سه بعدی استفاده کرده و شرایط جریان بخار و مایع را به صورت سه بعدی مشخص کرده اند [۱۶]

ژو و وفایی در سال ۱۹۹۸ همچنین یک مدل تحلیلی برای پیش‌بینی رفتار گرمایی گذرا یک لوله گرمایی مسطح متقارن، در فرآیند شروع به کار را بسط داده‌اند. توزیع دما در داخل دیواره های لوله گرمایی و فتیله‌های اشباع از مایع نیز در این مقاله به صورت تحلیلی بدست آمده است. [۱۷]

وفایی و وانگ، در سال ۲۰۰۰ تحلیلی نیز روی عملکردهای شروع به کار و پایان کار لوله گرمایی مسطح انجام داده‌اند. وابستگی عملکرد گرمایی یک لوله گرمایی مسطح به توان ورودی و ضریب انتقال حرارت در این مقاله بررسی شده و نتایج شبیه سازی شده نیز ارائه گردیده است. [۱۸]

¹ Wang

² Disk-Shaped

³ Zhu

این دو همچنین در سال ۲۰۰۰ عملکرد لوله گرمایی مسطح را در حالت گذرا به صورت تجربی بررسی کرده اند. [۱۹]

وفایی و وانگ در سال ۲۰۰۰ در مقاله ای دیگر یک بررسی آزمایشگاهی روی کارکرد گرمایی یک لوله گرمایی مسطح انجام داده اند. در این مقاله، یک مفهوم به نام ثابت زمانی لوله گرمایی معرفی شده است که برای تشریح کارکرد گذرای یک لوله گرمایی به کار می رود. توزیع دما و ضرایب انتقال حرارت بدست آمده است و در نهایت نتایج تجربی حالت پایدار و یکنواخت با نتایج تحلیلی مقایسه گردیده است. [۲۰]

به جز کیکوچی و دکتر وفایی و همکارانش، افراد دیگری نیز در این زمینه کارهای مختلفی انجام داده اند. به طور مثال تان^۱ و همکارانش در سال ۲۰۰۰ از یک روش تحلیلی برای مطالعه جریان مایع در ساختمان فتیله یک لوله گرمایی مسطح با چندین منبع حرارتی استفاده کرده اند. [۳۰]

در این تحقیق منابع حرارتی به صورت منابع نقطه ای فرض شده اند که از تابع دلتای دیراک برای توزیع حرارت استفاده شده است. توزیع دوبعدی فشار و سرعت در این مقاله نشان داده شده است. هم چنین در این کار تعیین مکان منابع چند گانه حرارت برای کارکرد بهینه لوله گرمایی مورد بررسی قرار گرفته است. کارکرد بهینه لوله گرمایی موقعی اتفاق می افتد که کمترین افت فشار در عرض فتیله اتفاق افتد.

اسارت^۲ و دومیگوئز^۳ در سال ۲۰۰۳ در طی مقاله ای نتایج تجربی خود را درباره کاهش مقاومت حرارتی لوله های گرمایی مسطح ارایه داده و آنها را با نتایج پیش بینی شده توسط تئوری ها مقایسه کرده اند. این تحقیق هم چنین نتایج تأثیر پارامترهای معین را روی کاهش مقاومت حرارتی لوله گرمایی مسطح را نشان داده است. [۳۳]

¹ Tan

² Esarte

³ Domiguez

رایتلی^۱ و همکارانش در سال ۲۰۰۳ یک روش طراحی جدید فتیله میکرولوله های گرمایی را برای افزایش معنی دار هدایت حرارتی لوله گرمایی نسبت به مواد یک تکه ابداع کرده اند . [۴۹]

ژوان^۲ و هونگ^۳ در سال ۲۰۰۴ مکانیسم یک لوله گرمایی مسطح را در حالی که یک لایه از پودرهای مس کلوخه شده روی سطح مورد حرارت به کار رفته است بررسی کرده اند . کارکرد لوله گرمایی مسطح به صورت تجربی تحت شرایط خاص فشارهای حرارتی مختلف ، زوایای لوله گرمایی و مقادیر سیال عامل برای تحقیق درباره تاثیر این عوامل ارائه شده است . بر پایه بعضی از فرضها یک مدل تئوری برای شبیه سازی رفتار دینامیکی و حالت پایدار لوله گرمایی مسطح ارائه شده است . این مدل و شبیه سازی با نتایج تجربی مقایسه گردیده است . شبیه سازی ها نشان داد که رفتار دینامیکی لوله گرمایی مسطح و سینک حرارتی جامد ، نشان داده شد که لوله های گرمایی مسطح پتانسیل بالایی برای خنک سازی اجزا الکترونیکی با مصرف بالا دارند و این به دلیل زمان پاسخ دهی بالا ، بازدهی و خواص همدمای و سبکی وزن آنها است . [۳۲]

تان^۴ ، ونگ^۵ و اوی^۶ در سال ۲۰۰۵ یک حل تحلیلی برای تخمین طول موثر انتقال حرارت یک لوله گرمایی مسطح ارائه داده اند که در آن از منابع حرارتی چند گانه استفاده شده است ، طول موثر مینیمم با بهینه سازی موقعیت های منابع حرارتی به صورتی که در آن حد مویبستگی انتقال حرارت در بالاترین حد باشد و کارکرد آن بهترین باشد بدست می آید . بدین ترتیب در مدیریت حرارتی در سیستم های الکترونیکی این موضوع می تواند با تعیین موقعیتهای بهینه منابع حرارتی روی لوله گرمایی به ما کمک کند تا خنک سازی سیستم های الکترونیکی به صورت موثرتر و پربازده انجام شود . [۳۱]

¹ Rightly

² Xuan

³ Hong

⁴ Tan

⁵ Wong

⁶ Ooi

در سال ۲۰۰۶ بوخانوف^۱ و حداد^۲ و بوفون^۳ نتایج ناشی از بررسی آزمایشگاهی یک لوله گرمایی مسطح را با استفاده از دوربین تصویر برداری مادون قرمز برای تعیین کارکرد حرارتی آن ، اعلام کردند و توزیع دمای پایدار و گذرا سطح اواپراتور یک لوله گرمایی مسطح که با یک منبع حرارتی با شارهای حرارتی مختلف کار می کرد اندازه گیری شده است . برای مقایسه کارکرد همین اندازه گیری های آزمایشگاهی روی یک مکعب مستطیل همسان که با مس ساخته شده بود انجام شد . مشاهده شد که مقاومت حرارتی لوله گرمایی مسطح در حدود ۴۰ بار کمتر از مکعب همسان با خود است . [۵۰]

¹ Boukhanouf

² Haddad

³ Buffone

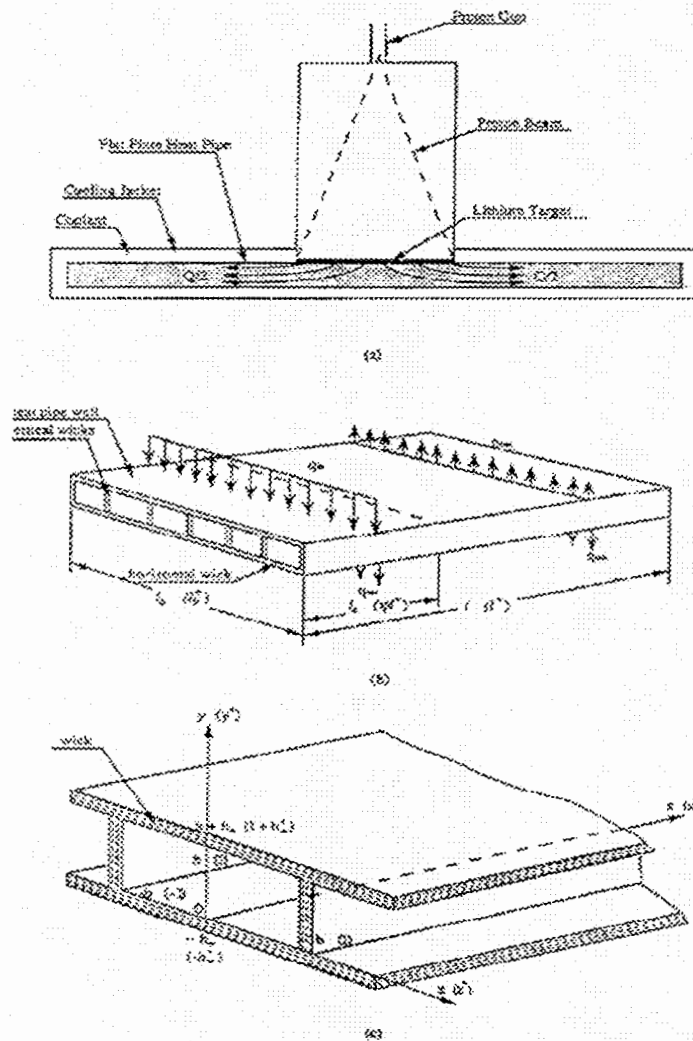
۱-۹-۹- روشهای تحلیل جریان بخار و مایع

تحلیل عملکرد یک لوله گرمایی شامل تحلیل جریان بخار و جریان مایع داخل فتیله و تحلیل فصل مشترک مایع و بخار می باشد. تحلیل در بخش آخر برای بسیاری از لوله های گرمایی مشابه است. در ادامه این قسمت مدل دو بعدی برای تحلیل عملکرد لوله های گرمایی مسطح ارائه می گردد. با استفاده از این مدل می توان عملکرد لوله های گرمایی مسطح را در دماهای معمولی ۵۰-۱۰۰ سانتیگراد ارزیابی نمود. در تعیین ظرفیت حرارتی یک لوله گرمایی لازم است تا افت فشارهای مایع و بخار در قستهای مختلف تعیین گردد.

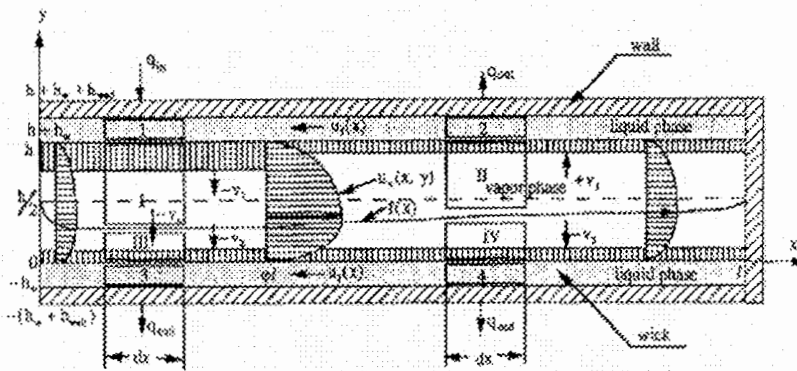
۱-۹-۱- مدل دو بعدی لوله گرمایی

شکل شماتیکی از لوله گرمایی مسطح در شکل (۱-۶) نشان داده شده است. می توان مشاهده کرد که لوله گرمایی به صورت کاملاً متقارن زیر هیترا قرار دارد. در این تحلیل دمای سطح لوله گرمایی به اندازه کافی پایین است که سیال داخل لوله گرمایی می تواند در داخل یک چرخه حرکت کند. همان طور که در شکل (۱-۶) نشان داده شده است. گرمای تولیدی توسط هیترا که بر روی قسمت فوقانی وارد می شود، به صورت مساوی به هر دو طرف لوله گرمایی تقسیم می گردد. چند کانال بخار مستقل و سیستم مختصات مربوط به آنها نیز در شکل (۱-۶) نشان داده شده اند. گرمای تولیدی باعث تبخیر و در نتیجه آن تولید فشار مایع در داخل فتیله می گردد. بخشی از بخار در قسمت روبروی اوپراتور چگالیده می شود، اگرچه بیشتر آن در قسمت کندانسورهای موجود در دو طرف اوپراتور چگالیده می شود.

بدیهی است که جریان بخار در لوله گرمایی یک پروفیل سرعت متقارن ندارد. موقعیت ماکزیمم سرعت بخار در نتیجه تزریق بخار از قسمت گرماده در بالای لوله گرمایی به سمت صفحه پایینی سوق داده می شود. همان طور که بخار به سمت پایین جریان می یابد، موقعیت ماکزیمم سرعت بخار به علت وجود شرایط خنک کنندگی متقارن به سمت خط مرکزی سوق می یابد. فضای بخار توسط چند قتیله عمودی که مایع را از فیتیله بالایی می رسانند به چند کانال مختلف مستطیلی تقسیم گردیده است. در نتیجه پروفیل سرعت در جهت طولی تابعی از جهات x و y و z خواهد بود.



شکل (۱-۶): (a) یک لوله گرمایی مسطح (b) پارامترهای ابعادی (c) مختصات استفاده شده



شکل (۷-۱): رژیمهای مختلف برای بخار و مایع برای تحلیل لوله گرمایی

فیتله متخلخل مویین همیشه توسط فاز مایع سیال عامل اشباع شده است و بخار تنها در قسمت مرکزی، در هنگام کارکردن لوله گرمایی، جریان دارد.

برای بدست آوردن یک حل پیوسته، ما چند فرض ساده که در تحلیل لوله های گرمایی مورد استفاده قرار می گیرد را انجام می دهیم.

الف: جریان مایع و بخار، یکنواخت، آرام و مادون صوت است.

ب: خواص گذرا برای مایع و بخار ثابت در نظر گرفته شده است.

پ: نرخ مکش و تزریق در قسمت های اوپراتور و کندانسور یکنواخت است.

ت: مؤلفه سرعت بخار در جهت z به خاطر عدم تزریق و مکش در فیتله های عمودی قابل صرف نظر است.

۱-۱-۹-۱- تحلیل فاز بخار

یکی از کانالهای داخلی می تواند به عنوان یک واحد ساختمانی لوله گرمایی مسطح در نظر گرفته می شود. (شکل (۶-۱)). در تحلیل ما، موقعیتها، سرعتها و فشارها به صورت

در فاز بخار و $\frac{v_v}{h^1}, U_{ov}, h, h, \frac{h^2 v_{ov}}{v_v}, \rho U_{ov}^2$ در فاز مایع و دما توسط $\rho U_{ol}^2, U_{ol}, \frac{h_w^2 U_{ol}}{v_l}$

فاکتور $\frac{h_{fg}}{R}$ بی بعد گردیده‌اند. که در آن v_l, v_v ویسکوزیته های سینماتیکی و U_{ol}, U_{ov} ماکزیمم سرعت بخار و مایع، ρ_l, ρ_v چگالی بخار مایع و b و h ارتفاع و نصف عرض فضای بخار یکی از کانالهای جریان بخار است. h_w ضخامت فتيله و R ثابت گاز ایده آل است.

بر پایه نتایج عددی که در تحقیقات قبلی انجام شده است. پروفیل سهمی شکل، برای جریان بخار در داخل لوله گرمایی استفاده می‌گردد. توزیع سرعت بی بعد $u_v^+(x^+, y^+, z^+)$ توسط تابعی از جهات x^+, y^+, z^+ ارایه خواهد شد.

$$u_v^+(x^+, y^+, z^+) = U_v^+(x^+) [\alpha_0 + \alpha_1 y^+ + \alpha_2 (y^+)^2] [c_0 + c_1 z^+ + c_2 (z^+)^2] \quad (12-1)$$

که در آن $U_v^+(x^+)$ بر سرعت ماکزیمم $u_v^+(x^+, y^+, z^+)$ روی هر سطح عرضی در طول در محور x^+ دلالت می‌کند. موقعیت سرعت ماکزیمم به علت تزریق بخار از قسمت گرماده صفحه بالایی به سمت پایینی سوق می‌یابد. به خاطر شرایط متقارن در جهت z^+ مؤلفه سرعت در جهت z^+ به سادگی به صورت زیر مشخص می‌گردد.

$$[c_0 + c_1 z^+ + c_2 (z^+)^2] = [1 - (z^+)^2] \quad (13-1)$$

که در آن $z^+ = \frac{z}{b}$ است.

از آنجائیکه مؤلفه سرعت در جهت z^+ مستقل از جهات x^+, y^+ است. پروفیل سرعت در صفحه $x^+ - y^+$ برابر است با :

$$u_v^+(x^+, y^+) = U_v^+(x^+) [\alpha_0 + \alpha_1 y^+ + \alpha_2 (y^+)^2] \quad (14-1)$$

به علت عدم تقارن توزیع سرعت در صفحه $x^+ - y^+$ ، پروفیل سرعت به دو قسمت توسط منحنی

$y^+ = f^+(x^+)$ که در آن $f^+(x^+) = \frac{f(x)}{h}$ است، در جهت y^+ تقسیم می‌گردد. منحنی

$y^- = f^-(x^-)$ موقعیت متناظر با نقاطی در صفحه $x^- - y^-$ است که تنش برشی در آنها صفر

است.

برای قسمت پایین ($0 \leq y^+ \leq f^+(x^+)$) شرایط مرزی عبارتند از :

$$u_v^+(x^+, 0) = 0 \quad u_v^+(x^+, f^+(x^+)) = U_v^+(x^+) \quad \left. \frac{\partial u_v^+(x^+, y^+)}{\partial y^+} \right|_{y^+=f^+(x^+)} = 0$$

با به کار بردن شرایط مرزی فوق برای معادله (۱۴-۱) پروفیل سرعت زیر برای قسمت پائینی حاصل می‌گردد.

$$u_v^+(x^+, y^+) = U_v^+(x^+) \left[2 \frac{y^+}{f^+(x^+)} - \left(\frac{y^+}{f^+(x^+)} \right)^2 \right] \quad (0 \leq y^+ \leq f^+(x^+)) \quad (15-1)$$

برای قسمت بالایی ($f^+(x^+) \leq y^+ \leq 1$) شرایط مرزی عبارتند از :

$$u_v^+(x^+, 1) = 0 \quad u_v^+(x^+, f^+(x^+)) = U_v^+(x^+) \quad \left. \frac{\partial u_v^+(x^+, y^+)}{\partial y^+} \right|_{y^+=f^+(x^+)} = 0$$

با استفاده از شرایط مرزی در معادله (۱۴-۱) پروفیل سرعت زیر برای قسمت بالایی حاصل می‌گردد.

$$u_v^+(x^+, y^+) = U_v^+(x^+) \left[2 \left(\frac{1-y^+}{1-f^+(x^+)} \right) - \left(\frac{1-y^+}{1-f^+(x^+)} \right)^2 \right] \quad (f^+(x^+) \leq y^+ \leq 1) \quad (16-1)$$

برای بدست آوردن توزیع سرعت کامل، دو مجهول $U_v^+(x^+)$ و $f^+(x^+)$ در معادله (۱۵-۱) و (۱۶-۱) باید معین شوند. ابتدا، $U_v^+(x^+)$ را با انتگرال گیری از معادله پیوستگی نسبت به y^+ از صفر تا یک معین می‌شود. در نتیجه عبارت نهایی برای $U_v^+(x^+)$ به صورت زیر است.

$$U_v^+(x^+) = \begin{cases} \frac{3(v_1^+ - v_2^+)}{2} & (0 \leq x^+ \leq \varphi l^+) \\ -3v_2^+(x^+ - l^+) & (\varphi l^+ \leq x^+ \leq l^+) \end{cases} \quad (17-1)$$

همان طور که انتظار می‌رفت $U_v^+(x^+)$ به سرعت‌های تزریق و مکش مرتبط است. علم به اینکه در $x^+ = \varphi l^+$ ، $U_v^+(x^+)$ باید پیوسته باشد، باعث می‌شود که :

$$\varphi = \frac{2v_2^+}{v_1^+ + v_2^+} \quad (18-1)$$

. با استفاده از رابطه (18-1) و تعریف سرعت عرضی بی بعد $v_1^+ = \frac{v_1 h}{\nu}$ به عنوان عدد رینولدز

ترزیق ، Re_h ، که در آن v_1 مرتبط با توان ورودی ، $v_1 = \frac{Q}{\rho_v A_c h_{fg}}$ ، است . معادله (17-1)

می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$U_v^+(x^+) = \begin{cases} \frac{3(1-\varphi)Re_h}{(2-\varphi)} x^+ & (0 \leq x^+ \leq \varphi l^+) \\ -\frac{3\varphi Re_h}{(2-\varphi)} (x^+ - l^+) & (\varphi l^+ \leq x^+ \leq l^+) \end{cases} \quad (19-1)$$

$f^+(x^+)$ با انتگرال گیری از معادله مومنوم در جهت x^+ نسبت به y^+ برای هرکدام از قسمت

بالایی یا پایینی بدست می آید با استفاده از پروفیل سرعت بخار (معادله (15-1)) و فشار متوسط

بخار در هر مقطع عرضی نتیجه می شود:

$$\frac{df^+(x^+)}{dx^+} = \begin{cases} \left[\left[\frac{3(1-\varphi)Re_h}{(2-\varphi)} f^+(x^+) + \frac{5}{f^+(x^+)} - \frac{\varphi Re_h}{3(2-\varphi)} \right] \frac{(1-\varphi)Re_h}{(2-\varphi)} x^+ \right] \left[\frac{(2-\varphi)}{(1-\varphi)Re_h x^+} \right]^2 \\ + \frac{f^+(x^+)}{9} \frac{dp_v^+(x^+)}{dx^+} \end{cases} \\ \begin{cases} \left[\left[-\frac{16\varphi Re_h}{(2-\varphi)} f^+(x^+) + \frac{10}{f^+(x^+)} \right] \frac{\varphi Re_h}{(2-\varphi)} (l^+ - x^+) \right] \left[\frac{(2-\varphi)}{\varphi Re_h (l^+ - x^+)} \right]^2 \\ + \frac{f^+(x^+)}{9} \frac{dp_v^+(x^+)}{dx^+} \end{cases} \quad (20-1)$$

از آنجائیکه $U_v^+(0) = U_v^+(l^+) = 0$ و توزیع سرعت در $x^+ = 0$ و $x^+ = l^+$ یکنواخت هستند

شرایط مرزی برای تابع $f^+(x^+)$ به صورت $f^+(0) = f^+(l^+) = \frac{1}{2}$ در نظر گرفته می شود.

استفاده از معادلات (13-1)، (15-1)، (16-1)، (19-1)، (20-1) در معادله (12-1) پروفیل

سرعت کامل در لوله گرمایی مسطح را به ما می دهد.

برای بدست آوردن توزیع فشار در فاز بخار، معادله مومنتوم انتگرال گیری شده در جهت x^+ استفاده خواهد شد. با در نظر گرفتن فشار بخار متوسط در هر مقطع عرضی و انجام انتگرال داریم:

$$\Delta P_v^+(x^+) = \left\{ \begin{array}{l} -\frac{4(1-\varphi)}{(2-\varphi)} \text{Re}_h \left\{ \left[\frac{16(1-\varphi)}{25(2-\varphi)} \text{Re}_h + \frac{1}{2(h_b^+)^2} \right] (x^+)^2 \right. \\ \left. + \int_0^{x^+} \frac{x^+}{f^+(x^+)(1-f^+(x^+))} dx^+ \right\} \\ \Delta p(\varphi l^+) - \frac{4\varphi}{(2-\varphi)} \text{Re}_h \left\{ \left[\frac{16}{25} \frac{\varphi}{(2-\varphi)} \text{Re}_h - \frac{1}{2(h_b^+)^2} \right] \right. \\ \left. \left[(x^+ - l^+)^2 - (\varphi l^+ - l^+)^2 \right] - \int_0^{x^+} \frac{x^+ - l^+}{f^+(x^+)(1-f^+(x^+))} dx^+ \right\} \end{array} \right. \quad (21-1)$$

حل عددی برای جفت معادلات فشار $\Delta P_v^+(x^+)$ و $f^+(x^+)$ از حل با روش تکرار معادلات (20-1) و (21-1) بدست می آید.

۱-۹-۲- تحلیل فاز مایع

در داخل یک فتیله متخلخل نازک، قانون داریسی به کار برده می شود. قانون داریسی بی بعد شده و به صورت زیر است:

$$\frac{\partial p_l^+}{\partial x^+} = \frac{1}{\kappa^+} u_l^+ \quad (22-1)$$

که در آن $\kappa^+ = \frac{\kappa}{h_w^2}$ است. از شکل (7-1) می توان دید که سرعت مایع u_l^+ به سرعت های تزریق

و مکش بستگی دارد. با اضافه کردن معادلات بقا جرم فتیله های بالایی و پایینی برای قسمت

$0 \leq x^+ \leq \varphi l^+$ توزیع سرعت یک بعدی زیر در جهت x^+ بدست می آید.

$$2 \frac{d}{dx^+} (u_i^+(x^+)) = h_w^+ \mu^+ (v_1^+ - v_2^+) \quad (0 \leq x^+ \leq \phi l^+) \quad (23-1)$$

که در آن $h_w^+ = \frac{h_w}{h}$ و $\mu^+ = \frac{\mu_v}{\mu_l}$ است.

برای قسمت $\phi l^+ \leq x^+ \leq l^+$ ما بدست خواهیم آورد.

$$\frac{d}{dx^+} (v_i^+(x^+)) = -h_w^+ \mu^+ v_2^+ \quad (\phi l^+ \leq x^+ \leq l^+) \quad (24-1)$$

با توجه به شرایط مرزی روبرو:

$$u_i^+(0) = u_i^+(l^+) = 0$$

معادلات فوق توزیع سرعت فاز مایع را به صورت زیر پدید می آورند.

$$u_i^+(x^+) = \begin{cases} \frac{h_w^+ \mu^+ (v_1^+ - v_2^+)}{2} x^+ & (0 \leq x^+ \leq \phi l^+) \\ h_w^+ \mu^+ v_2^+ (l^+ - x^+) & (\phi l^+ \leq x^+ \leq l^+) \end{cases} \quad (25-1)$$

توزیع فشار در فتیله در جهت x^+ با جایگزینی معادله (25-1) در قانون داری بدست می آید. در

نتیجه خواهیم داشت:

$$\Delta p_i^+(x^+) = \begin{cases} \int_0^{x^+} \frac{h_w^+ \mu^+ (v_1^+ - v_2^+)}{\kappa^+} x^+ dx^+ & (0 \leq x^+ \leq \phi l^+) \\ \int_{\phi l^+}^{x^+} \frac{h_w^+ \mu^+}{\kappa^+} v_2^+ (l^+ - x^+) dx^+ & (\phi l^+ \leq x^+ \leq l^+) \end{cases} \quad (26-1)$$

۱-۹-۳- توزیع دما

موقعی که توزیع فشار بخار را بدست آوردیم. توزیع دمای بخار را می توان با استفاده از معادله

کلازیوس^۱ - کلاپیرون^۲ بدست آورد. در اینجا فرض می کنیم که بخار به عنوان یک گاز ایده آل

عمل می کند و حجمی از مایع که درون فاز بخار وجود دارد. قابل صرف نظر است. پروفیل دمای

بی بعد شده بر پایه معادله کلازیوس - کلاپیرون به صورت زیر است:

¹ Clausius

² Clapeyron

$$\Delta T_v^+(x^+) = (T_{ov}^+)^2 \left[\frac{\ln p_w^+(x^+) - \ln p_{ov}^+}{1 - T_{ov}^+ (\ln p_{or}^+ - \ln p_{ov}^+(x^+))} \right] \quad (27-1)$$

که در آن $T_{ov}^+ = \frac{T_{ov} h_{fg}}{R}$ دمای بخار اشباع بی بعد شده است.

فصل دوم

ملاحظات طراحی

۲-۱- تعریف مسئله

هدف اصلی از انجام این پروژه تولید یک سطح همدم با استفاده از لوله گرمایی مسطح بود. در این فصل ملاحظات طراحی تمام اجزا لوله گرمایی مسطح به صورت جزء جزء بررسی می شود. ما در این فصل بر آنیم تا تمام موارد لازم برای طراحی یک لوله گرمایی را به صورت مفصل بیان کنیم.

۲-۲- طراحی بدنه

اندازه لوله گرمایی مسطح بر پایه ابعاد مورد نیاز ما و رنج دمایی که ما می خواستیم در آن کار کنیم بنا نهاده شد. بر همین اساس و طبق تجربه های قبلی این اندازه ها مقادیر $L = 45 \text{ cm}$ $H = 3 \text{ cm}$ $W = 20 \text{ cm}$ انتخاب گردید. رنج دمایی موردنظر ما که لوله گرمایی باید در آن رنج کار می کرد ۲۵-۵۰ درجه سانتیگراد بود. جنس دیواره را نیز از آن جهت آلومینیوم انتخاب کردیم که دارای ضریب هدایت حرارتی بالایی بود و این به تسهیل در انتقال حرارت کمک می کرد و هم چنین با آب مقطر که به عنوان سیال عامل انتخاب شده بود از نظر شیمیایی سازگار بود. همچنین تجربیاتی در زمینه استفاده از آلومینیوم و آب وجود داشت که می توانستیم از آن بهره ببریم. یکی دیگر از گزینه های ما برای انتخاب بدنه مس بود. اما به دلیل آزمایشاتی که دکتر لایقی در مورد لوله های گرمایی حلقوی انجام داده بودند و مشاهده شده بود که اکسید شدن بدنه و فتیله به مقدار زیادی رخ می دهد و در نتیجه از آن صرف نظر شد.

ضخامت ورقه های آلومینیم را ۲,۵ میلیمتر انتخاب کردیم تا هم بتوانیم به راحتی به آن شکل دهیم و هم بدین دلیل که هنگام خلا بتواند نیروی ناشی از خلا را تحمل کند . مشکلی که آلومینیم داشت این بود که جوش دادن ورقه و قطعات به همدیگر بسیار مشکل بود به همین دلیل ما ضخامت ورقه ها را ۲,۵ میلیمتر انتخاب کردیم تا در مقابل جوش مقاومت کافی داشته باشند .

یکی از نکات مهم در طراحی بدنه نحوه طراحی شکل آن بود به طوری که ۱- حداقل جوش برای اتصال ورقها نیاز باشد ۲- درزها طوری طراحی گردند که تجمع حرارت در هنگام جوش دادن در یک نقطه صورت نگیرد تا این موضوع سبب اکسید شدن فتیله در داخل نگردد . به همین دلیل بدنه به صورت دو تکه U شکل که در داخل هم قرار گرفتند طراحی شد تا جوش به صورت پیوسته صورت گیرد .

نکته مهم دیگر در طراحی بدنه ، طراحی اتصالات آن بود . به دلیل احتراز از نشتی ، چند نوع اتصال به بدنه پیشنهاد شد که در نهایت ترکیبی از آنها برای اتصال اجزا به بدنه انتخاب شد . برای اتصال گیج خلا به بدنه از اتصال لوله های پرچی استفاده شد. این بدلیل این بود که چون اتصال ما تقریباً دائمی بود می توانستیم از لحاظ آب بندی از آن مطمئن باشیم . برای اتصال شلنگ ها به بدنه به دلیل باز و بسته شدن مداوم نمی توانستیم از اتصال پرچی استفاده کنیم به همین دلیل اتصالات کونیک رزوه ای انتخاب شد تا هم به راحتی باز و بسته شود و هم از لحاظ نشتی اطمینان کافی را داشته باشد .

برای اتصال اجزا بدنه به همدیگر نیز تنها راه جوش دادن بود که ما به دلیل در دسترس بودن جوش آرگون این نوع جوش را برای اتصال قطعات بدنه به همدیگر انتخاب کردیم . به دلیل حساسیت جوش آرگون آلومینیم به یک نیروی انسانی ماهر نیاز بود تا اتصالات طوری به هم جوش داده شود که هم دمای بدنه بالا نرود و هم از ایجاد سوراخ و شکاف در جوشها جلوگیری شود .

تمیز کردن و تمیز نگاه داشتن قطعات و اجزا بدنه تا قبل و در حین جوشکاری اهمیت فراوانی داشت. به همین دلیل باید چاره ای برای این مشکل اندیشیده می شد تا آلودگی وارد لوله گرمایی نشوند و باعث اکسید شدن بدنه و فتیله ها نگردند.

۲-۳- فتیله

برای انتخاب فتیله ما دارای محدودیتهای فراوانی بودیم. مشکل اول این بود که در ایران چیزی تحت عنوان فتیله های فلزی موجود نیست. به همین دلیل باید فتیله ساخته می شد. در نتیجه ابتدا باید ماده آن انتخاب می شد. چون تصمیم بر آن شد که فتیله ها از توری های فلزی ساخته شود چند نوع توری پیشنهاد شد. توری های مسی به دلیل نایاب بودن و کاربرد آن در بعضی صنایع خاص پزشکی است و همچنین عدم مرغوبیت جنسهای موجود در بازار که با تستهایی که قبلاً شده بود علایم اکسید شدن زیاد را نشان داده بود از انتخابها کنار گذاشته شد. به همین دلیل پیشنهاد شد که از توری های آلومینیم استفاده شود که هم فراوانترند و هم در مقابل اکسید شدن مقاومترند و هم ارزانترند.

نکته بعدی در طراحی فتیله نحوه اتصال این توری ها به هم و شکل دادن به آنها بود. در کارهای قبلی که انجام شده بود توری ها حول یک استوانه پیچیده شده و با قرار دادن هر لایه روی لوله آن لایه به بقیه لایه ها توسط نخهای مسی به هم دوخته شده بود. به دلیل وقتگیر بودن این کار باید چاره ای برای این مشکل اندیشیده می شد تا بتوان راحت تر فتیله ها را تولید کرد.

در ضمن ما باید خصوصیات فتیله را معین می کردیم. این خصوصیات عبارتند از تخلخل و نفوذپذیری و هدایت حرارتی. به همین دلیل باید سیستمی را برای این کار در نظر می گرفتیم تا بتوانیم تخلخل فتیله را اندازه گیری کرده و سپس با توجه به فرمولها و روابط موجود نفوذپذیری و هدایت حرارتی فتیله ها را بدست آوریم.

۲-۴- انتخاب سیال عامل

برای انتخاب سیال عامل ما چند گزینه پیش رو داشتیم که باید با توجه به شرایط یکی از آنها را انتخاب می کردیم . خصوصیات سیال عامل موردنیاز ما عبارتند از :

۱- سازگاری با فتيله ها و دیواره

۲- ثبتمایي خوب

۳- ترکنندگی فتيله و دیواره

۴- فشار بخار آن در طی کارکرد لوله گرمایی بسیار بالا و بسیار پایین نباشد .

۵- گرمای نهان تبخیر بالایی داشته باشد .

۶- هدایت حرارتی خوبی داشته باشد .

۷- ویسکوزیته مایع و بخار پایینی داشته باشد . کشش سطحی بالایی داشته باشد .

همچنین سیال عامل باید رنج دمایی موردنیاز ما را به ما بدهد . برای انتخاب رنج دمایی وسایل

عامل مرتبط با آن از جدول زیر استفاده می کنیم .

MEDIUM	MELTING PT. (°C)	BOILING PT. AT ATM. PRESSURE (°C)	USEFUL RANGE (°C)
Helium	-271	-261	-271 to -269
Nitrogen	-210	-196	-203 to -160
Azmonia	-78	-33	-60 to 100
Acetone	-95	57	0 to 120
Methanol	-98	64	10 to 130
Fluoro PP2	-50	76	10 to 160
Ethanol	-112	78	0 to 130
Water	0	100	20 to 200
Toluene	-95	110	50 to 200
Mercury	-39	361	250 to 650
Sodium	98	882	600 to 1200
Lithium	179	1340	1000 to 1600
Silver	960	2212	1800 to 2300

شکل (۱-۲): رنج دمایی کارکرد سیال های عامل [۱۱]

در طراحی لوله های گرمایی میزان بالایی کشش سطحی به لوله گرمایی برای کارکردن در خلاف جهت جاذبه و تولید یک فشار موئینگی بالا کمک می کند . علاوه بر کشش سطحی بالا ، برای سیال عامل لازم است که فتیله ها و دیواره را به خوبی تر کند . این بدان معناست که زاویه تماس باید صفر باشد یا در نهایت بسیار کوچک باشد .

گرمای نهان تبخیر بالا بدین دلیل موردنیاز است مقدار گرمای بسیار زیادی با جریان بسیار کمی از سیال منتقل می گردد و این سبب افت فشار کمی در طول لوله گرمایی می گردد . هدایت حرارتی بالای سیال نیز یک مزیت سیال عامل محسوب می گردد . زیرا گرادیان دمای شعاعی سیال را مینیمم می کند . همچنین مقاومت در برابر جریان مایع با انتخاب سیال عاملی با ویسکوزیته مایع و بخار کم کاهش می یابد .

سیالهای عاملی که در لوله های گرمایی استفاده می شوند از هلیوم در 4 K تا لیتیم در 2300 K تغییر می کند . شکل (۱-۲) نشان می دهد که در دماهای 350 تا 500 درجه کلونین آب نسبت به بقیه سیالات برتری دارد . در دماهای پایین تر در حدود 250 تا 350 درجه کلونین آمونیاک سیال عامل خوبی است اما احتیاج به دقت در حمل و نقل برای نگه داشتن خلوص بالای آن دارد . استون و الکل گزینه های دیگری برای استفاده در لوله گرمایی هستند که فشار بخار پایینی دارند .

۲-۵- انتخاب بدنه

کارکرد بدنه ایزوله کردن سیال عامل از محیط خارج است . بدنه باید دارای عدم نشتی باشد و همچنین توانایی انتقال حرارت بالایی را داشته باشد . انتخاب جنس دیواره به چندین عامل مهم بستگی دارد :

۱- سازگاری (هم با سیال عامل و هم با فتیله و هم با محیط)

۲- هدایت حرارتی بالا

۳- سهولت در ساخت ، جوشکاری و ماشینکاری و شکل پذیری

۴- ترشدگی بالا

۵- تخلخل

توضیح اینکه ماده باید دارای هدایت حرارتی بالا باشد تا افت دما در عرض منبع حرارتی و فتیله پایین باشد . همچنین باید دارای تخلخل بسیار کمی باشد تا از تولید گاز در لوله گرمایی جلوگیری شود .

۲-۶- سازگاری

سازگاری در ارتباط با سیال عامل فتیله و بدنه لوله گرمایی بحث می شود . از نتایج مهم عدم سازگاری خوردگی و ایجاد گازهای غیر قابل تقطیر در لوله گرمایی است . اگر دیواره یا فتیله در سیال عامل قابل حل شدن باشند . انتقال ذرات جامد بین اواپراتور و کندانسور صورت می گیرد . که این سبب ایجاد نقاط داغ و بسته شدن سوراخهای فتیله می گردد . تولید گازهای غیر قابل تقطیر سبب تجمع آنها در قسمت کندانسور گردیده و باعث از بین رفتن لوله گرمایی می گردد . فولاد زنگ نزن برای استفاده در بدنه و فتیله در هنگام استفاده از استون و آمونیاک و یا فلزات مایع از نقطه نظر سازگاری مناسب است اما هدایت حرارتی پایین آن نامناسب است و از مس و آلومینیوم به علت هدایت حرارتی بالا در بعضی مواقع استفاده می شود. از جداول موجود در کتابها می توان برای تشخیص سازگاری سیال عامل و فتیله ها استفاده کرد .

۲-۷- انتخاب اجزا خارجی

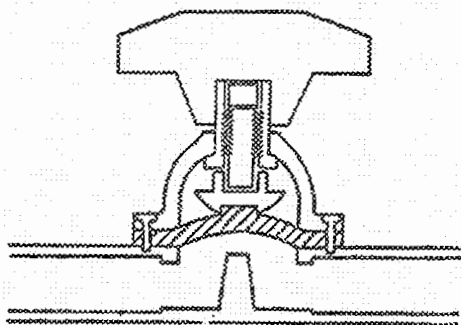
دستگاه تست لوله های گرمایی علاوه بر لوله گرمایی دارای یک سری اجزا خارجی می باشد که در زیر به شرح آنها می پردازیم.

۲-۷-۱- پمپ خلا

برای تولید خلا ما به یک وسیله تولید خلا نیاز داشتیم . در ابتدا پیشنهاد شد که از کمپرسورهای یخچال استفاده شود . ولی بدین دلیل که این کمپرسورها عمق خلا خوبی ایجاد نمی کردند از آنها صرف نظر شد . به همین دلیل تصمیم بر آن شد که از یک پمپ خلا استفاده شود که هم از نظر حجم خلا و هم از نظر عمق خلا مشخصات خوبی داشته باشد . چون ما در رنج خلا متوسط ($10^{-3} Torr$) کار می کردیم لذا باید پمپ موردنظر این عمق خلا را تامین می کرد .

۲-۷-۲- شیرهای خلا

ساده ترین شیر های خلا شیرهایی هستند که در خطوط پشتیبان مورد استفاده قرار می گیرند . این شیرها برای خلاهای متوسط مناسبند . شکل (۲-۲) شمای یکی از این شیرها را نشان می دهد . در این نمونه یک غشای الاستومری جهت تماس با لبه درونی لوله به پایین فرستاده می شود . این شیر کانداکتانس خوبی داشته اما ناحیه بزرگ الاستومر که در معرض تماس قرار می گیرد . نرخ دفع گاز زیادی دارد . زمانی که از این شیر استفاده می شود ، نرخ نشتی کمتر از $10^{-5} Torr.Lit / s$ است . باید توجه داشت که اگر بخواهیم این شیر را در یک طرف با خلا بالا نصب کنیم باید کانداکتانس بالایی داشته باشد و مقدار الاستومری که در مجاورت خلا قرار می گیرد ، مینیمم باشد تا بار گاز حاصل از این منبع کاهش یابد . شکل (۲-۲) شماتیکی از شیر خلا مورد استفاده در خلا های متوسط را نشان می دهد.



شکل (۲-۲): شمایی از شیر خلا مورد استفاده در خلا متوسط [۳]

۲-۷-۳- شلنگ های اتصال

برای اتصال اجزا سیستم به همدیگر دو راه پیش رو بود. یکی استفاده از لوله های آلومینیمی یا مسی که این روش به دلیل نشستی های زیاد آن رد شد. راه دیگر استفاده از شلنگ های لاستیکی مخصوص شارژ گاز در سیستم های برودتی بود که این شلنگ کاملاً آب بند بوده و نشستی ندارند و به سهولت نصب می شوند.

۲-۷-۴- هیتر

برای گرمادهی به قسمت اواپراتور، باید از یک وسیله گرماده استفاده می کردیم. ساده ترین وسیله هیترهای برقی بودند. هیترهای برقی به چند نوع تقسیم بندی می شوند. نوع سیمی آنها به دلیل هندسه نامناسب قابل استفاده نبود. نوع میکایی نیز به دلیل سبکی به خوبی اتصال سطحی با قسمت اواپراتور برقرار نمی کرد. به همین دلیل نوع سرامیکی برای استفاده انتخاب گردید. چون شارهای حرارتی مختلف مورد نیاز بود، تصمیم گرفته شد از یک دیمر در سر راه هیتر برای کنترل شار آن استفاده شود.

۲-۷-۵- مخزن شارژ سیال

چون سیال عامل باید به دور از هر گونه آلودگی نگهداری می‌شود به همین دلیل مخزن باید شیشه ای انتخاب می‌شود. به دلیل وجود خلا در هنگام شارژ کردن این مخزن باید طوری انتخاب می‌شود که مقاومت لازم در برابر خلا را داشته باشد. بدین ترتیب ارلن خلا مناسب ترین ظرف برای نگه داری سیال عامل بود. یکی از مشکلات مهم در انتخاب ظرف نحوه آب بندی آن است که باید کاملاً اتصالات آن آب بندی شده تا از این طریق در هنگام شارژ لوله گرمایی، هوا وارد آن نشود. همچنین سیستم شارژ سیال باید طوری طراحی می‌شود که هوای محلول درون آب نیز تخلیه می‌شود.

نکته مهم در شارژ سیال این است که چگونه بدانیم چه میزان سیال وارد محفظه لوله گرمایی شده است. برای این منظور بهترین راه وزن کردن ارلن خلا بعد و قبل از شارژ کردن است.

۲-۷-۶- ترمومتر

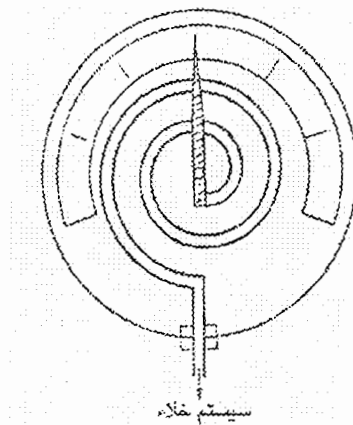
آخرین وسیله موردنیاز در سیستم آزمایش ما، وسیله ای برای اندازه گیری دمای سطح بود. در کارهایی که قبلاً در ایران انجام شده است از سنسورهای PT 100 برای اندازه گیری دما استفاده شده است. معایب استفاده از این سنسورها عبارتند از:

- ۱- عدم دقت کافی در اندازه گیری دما به علت عدم تماس درست با سطح مورد نظر
 - ۲- نیاز به یک سیستم خواندن دما توسط کامپیوتر که همراه با سیم کشی های فراوانی است
 - ۳- عدم توانایی کاربر در اندازه گیری دمای نقاط دیگری از لوله گرمایی
 - ۴- مشکل نصب سنسورها روی سطح
- با توجه به این تجربیات باید روش دیگری در اندازه گیری دما انتخاب می‌شود که با شرایط بازار و امکانات موجود بهترین وسیله ترمومتر مادون قرمز است. خصوصیت بارز این ترمومتر دقت بالا و

سهولت در اندازه گیری دما و پرتابل بودن آن است که این فواید سبب شد که این وسیله در اندازه گیری دما انتخاب گردد .

۲-۷-۷- گنج خلا

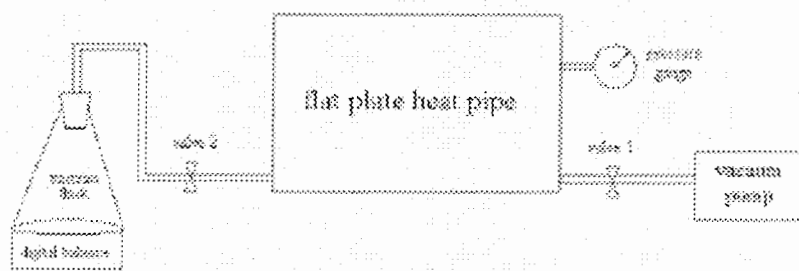
چون در هنگام شارژ دستگاه نیاز به دانستن فشار درون مخزن است از یک فشارسنج باید استفاده گردد . ساده ترین و در دسترس ترین فشارسنج ، فشارسنج بوردن است. چنانچه در شکل مشاهده می کنید این فشارسنج شامل یک کویل مارپیچ با یک لوله بندی با سطح مقطع حلزونی شکل می باشد که یک سر آن آب بندی شده و سر دیگر آن به فشار پایینی که نیاز به اندازه گیری دارد متصل میگردد. اگر که فشار درون لوله بندی افزایش یابد ، سطح مقطع لوله تمایل به دایره ای شدن پیدا میکند و این نیز به نوبه خود باعث میگردد تا شعاع مارپیچ افزایش یابد. چنانچه فشار کم شود ، شعاع مارپیچ نیز کم میشود.



شکل (۲-۳) : شماتیکی از یک فشارسنج بوردن [۳]

۲-۸- طراحی سیستم شارژ :

برای شارژ کردن لوله گرمایی یک سیستم شارژ طراحی شد که شماتیکی از آن را در شکل (۲-۴) مشاهده می کنید .



شکل (۲-۴): شماتیکی از سیستم شارژ لوله گرمایی

جزئیات ساخت این سیستم در فصل بعد ارائه خواهد شد.

فصل سوم

ساخت لوله های گرمایی مسطح

۳-۱- ساخت لوله گرمایی مسطح

تولید لوله های گرمایی شامل مراحل مختلفی است که برای بدست آوردن بهترین کیفیت ممکن باید آنها را به دقت انجام داد. این مراحل که به طور معمول در ساخت لوله گرمایی رعایت می شوند، به صورت خلاصه در زیر آمده است:

- ۱- ماشینکاری بدنه لوله گرمایی که شامل دیواره ها و فتیله می شود.
 - ۲- پاکسازی اجزا لوله های گرمایی از ذرات جامد روغن ها و چربیها و اکسیدها
 - ۳- سرهم بندی لوله گرمایی با استفاده از تکنیک های جوش یا لحیم کاری
 - ۴- چک کردن بدنه لوله گرمایی از لحاظ نشتی
 - ۵- مجهز کردن لوله گرمایی با هیتر، ترمومتر و ...
 - ۶- شارژ کردن لوله گرمایی توسط سیال عامل
- هر کدام از مراحل فوق در زیر به تفصیل شرح داده خواهند شد.

۳-۲- ساخت اجزا لوله گرمایی مسطح

مراحل ساخت اجزا اغلب لوله های گرمایی شبیه هم هستند. اجزا یک سیستم لوله گرمایی عبارتند از:

- ۱- بدنه ۲- فتیله ۳- شیرهای خلا و شلنگ ها ۴- هیتر و دیمر ۵- ترمومتر ۶- ارلن خلا ۷- گیج خلا ۸- پمپ خلا ۹- ترازو ۱۰- میز دستگاه

۳-۲-۱- بدنه

بدنه اصلی لوله گرمایی می تواند از فلزات معمولی و تجاری موجود مثل مس ، آلومینیم و فولاد زنگ نزن ساخته شود . برای کاربردهایی که در آنها دمای کارکرد بسیار بالاست ، فلزات گرانبهایی مانند تیتانیوم یا تنگستن استفاده می شود . برای کاربردهای دما پایین مس و آلومینیم مواد انتخابی هستند در صورتی که برای دماهای بالاتر فولاد زنگ نزن ترجیح داده می شود .

هم چنین باید دقت کرد که فلزات دیواره و فتیله و جوشها با سیال عامل سازگار باشند . مشکلات ناشی از واکنش های شیمیایی بین فلزات آلیاژی و سیال عامل یا واکنشهای گالوانیک بین قطعات فلزی به کار رفته در لوله گرمایی باید به حساب آید .

در این پروژه ما فلز آلومینیم را به عنوان فلز بدنه و فتیله انتخاب کردیم . این انتخاب بدین دلیل بود که فلز مس به علت ناخالصی موجود در آن به سرعت اکسید می شود و روی فرآیند انتقال حرارت تأثیر می گذاشت . هم چنین به علت محدودیت در خرید ورقهای مسی با ضخامت بالا نمی توانستیم به کیفیت جوشها اعتماد کرده و از مس استفاده کنیم . نکته دیگر نایاب بودن توریهای مسی (کاربردهای خاص در صنایع پزشکی) و بی کیفیت بودن همان توری ها بود .

برای ساخت بدنه ابتدا فرم بدنه را به صورت دو قطعه U شکل طراحی کردیم تا جوش به صورت پیوسته انجام شود و انباشت حرارت در یک جا صورت نگیرد . برای ساخت این دو قطعه U شکل ابتدا ورقه های آلومینیم با ضخامت ۲.۵ میلیمتر را در ابعاد لازم با دستگاه برش بریدیم و سپس آنها را از بعضی قسمتها توسط دستگاه خم کاری خم زدیم .

بعد از این مرحله دو سوراخ در طرفین لوله گرمایی برای نصب نری کونیک های شلنگ های اتصال و یک سوراخ در بالا برای نصب گیج خلا تعبیه کردیم . سپس نری کونیک ها را به دو طرف جوش داده و با پرچ کردن یک لوله ۸ آلومینیمی آن را به بالای لوله گرمایی برای نصب گیج خلا جوش دادیم .

نکته بسیار با اهمیت در این مرحله تخصص نیروی انسانی مورد استفاده در فرآیند جوشکاری بود. بدین علت که جوشکاری قطعات آلومینیم با استفاده از جوش آرگون صورت می گیرد و این نوع جوشکاری از مشکلترین نوع جوشکاری ها محسوب می گردد. علاوه بر این ظرافت در جوشکاری و آب بندی صد درصد جوشها بر اهمیت این نکته می افزاید.

برای جوشکاری بدنه باید ابتدا فتیله ها تهیه می شد که در قسمت بعد به شرح آن خواهیم پرداخت.

آلودگی های سطحی بر چند نوع تقسیم بندی می شوند:

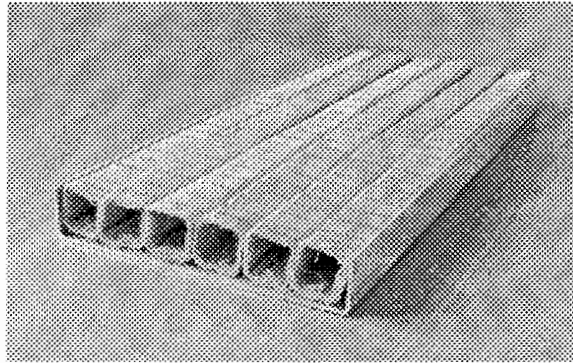
۱- روغنها و چربیهای که ناشی از فرآیند ماشینکاری اند و یا توسط دست انسان ایجاد می شوند که می توانند تر شدگی سطح را کاهش دهند.

۲- اکسیدهای فلزی که روی دیواره و سطوح تشکیل می شوند.

در نتیجه تمیز کردن درست تمام قطعات در اتصال با فضای داخلی لوله گرمایی برای کارکرد ماکزیمم لازم به نظر می رسد. قطعات پس از چربی زدایی و اکسید زدایی در یک کیسه پلاستیکی که ترجیحاً از هوا تخلیه شده و با گاز بی اثر پر شده باشد تا قبل از سرهم بندی باید نگهداری شوند.

قبل از جوشکاری بدنه لوله گرمایی مسطح، ابتدا سطوح خارجی و داخلی بدنه توسط یک سمباده نرم (۸۰۰ ضد آب) کاملاً از آلودگی های ظاهری پاکسازی شد. سپس توسط یک ژل موجود در بازار (مخلوطی از اسید نیتریک و ...) سطح لوله گرمایی کاملاً چربی زدایی شد و قطعات در کیسه های پلاستیکی قرار گرفتند.

در مرحله جوشکاری با قراردادن فتیله ها در داخل بدنه درزها به صورت پیوسته جوش داده شد و کاملاً دقت شد که آلودگی های ناشی از جوشکاری وارد بدنه لوله گرمایی نشوند. هم چنین ضخامت جوش طوری در نظر گرفته شد که شائبه هر گونه نشتی را از بین ببرد.



شکل (۳-۱): مجموعه بدنه و فتیله های لوله گرمایی قبل از جوشکاری

۳-۲-۲- فتیله ها

در لوله های گرمایی انواع مختلفی از فتیله ها مانند صفحات فلزی مشبک ، شیارهای محوری و فتیله های کامپوزیت استفاده می گردد . برای ساخت هر کدام از این نوع فتیله ها روشهای مختلفی وجود دارد . در ایران با توجه به نبود فتیله های آماده باید فتیله ها به صورت دستی ساخته می شد و به همین دلیل از بین انواع فتیله ، فتیله های صفحه فلزی مشبک انتخاب شد . زیرا توری های لازم برای ساخت این نوع فتیله ها در بازار موجود بود .

مهمترین مشکل در راه ساخت این نوع فتیله ها شکل دادن به آنها بود . در تجربه های قبلی روشی که برای ساخت این فتیله ها انجام شده بود ، بریدن صفحات فلزی مشبک در عرض و رول کردن آنها به دور یک لوله و دوختن این لایه ها به همدیگر توسط نخهای فلزی بود . به چند دلیل این کار روش مناسبی نبود .

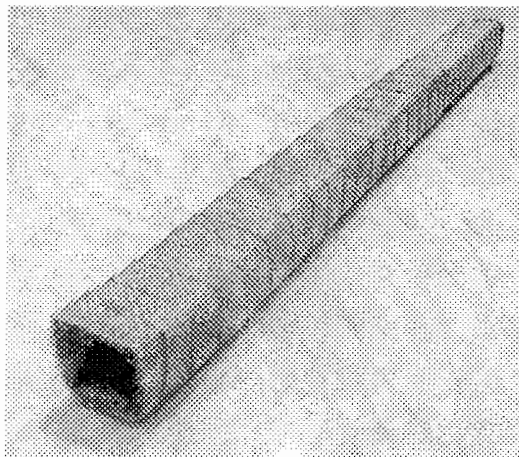
۱- این روش بسیار وقتگیر بوده و اگر به هر دلیل (اکسیداسیون و ...) مجبور به تعویض فتیله شویم زمان بسیار زیادی صرف ساخت یک فتیله دیگر می شود .

۲- این روش برای فتیله هایی که در مقطع دایروی کار گذاشته می شوند تا حدودی مناسب است اما برای مقاطع دیگر روش چندان جالبی نیست .

۳- فتیله ای که در این روش بدست می آید در اغلب موارد به صورت همگن نیست و خواص آن از نقطه ای به نقطه دیگر تفاوت دارد .

در این پروژه چون به یک مقطع مربعی نیاز داشتیم ، در ابتدا توری ها به ابعاد مناسب بریده شده و برای هر فتیله ۱۰ لایه توری را روی هم قرار دادیم . سپس در بعضی نقاط این توری ها به هم دوخته شد . پس از این مرحله توری ها را در پرسکاری زیر پرس ۲۸ تن قرار دادیم تا کاملاً به هم بچسبند . به علت حرکت بعضی از لایه ها در هنگام پرسکاری روی این ۱۰ لایه توری خطوط دقیقی رسم کردیم و از این خطوط توری را برش زدیم . در این مرحله به دلیل اینکه بعداً به داخل فتیله ها دسترسی نداشتیم کاملاً آنها را شسته و چربی زدایی کردیم .

حال با خم زدن این ۱۰ لایه پرس شده از روی خطوط معین به شکل فتیله دلخواه خود دست یافتیم . برای اطمینان از عدم تغییر شکل فتیله ها در مراحل بعدی یک قوطی ۲×۲ از داخل آنها عبور داده و سپس با یک مفتول تیتانیومی (به خاطر زنگ نزدن تیتانیوم انتخاب گردید) دور فتیله ها را محکم بستیم تا فتیله همین شکل خود را حفظ کند .



شکل (۳-۲) : یکی از فتیله های تشکیل دهنده لوله گرمایی

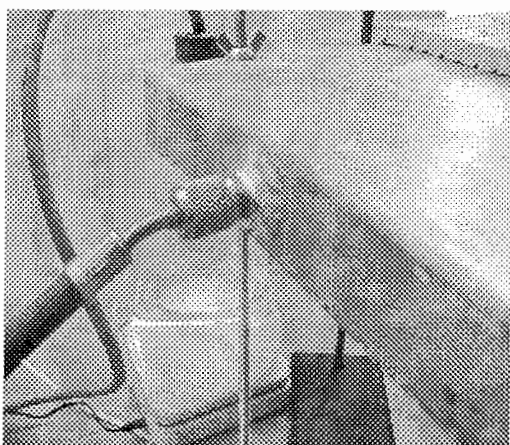
بعد از این مرحله فتیله را به دقت شسته و در کیسه های پلاستیکی نگه داری کردیم تا در مرحله سرهم بندی لوله گرمایی مسطح از آن استفاده کنیم .

۳-۲-۳- شیرهای خلا

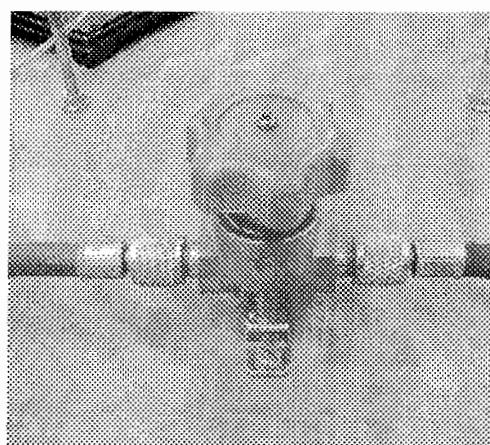
برای انتخاب شیرهای خلا باید چند نکته را در نظر می گرفتیم :

۱- میزان نشتی این شیرها ۲- نحوه اتصال آنها به بدنه ۳- قیمت آنها

شیرهای خلا به کار رفته در این پروژه از بهترین شیرهای موجود در بازار بودند که به شیر دستی 1/4 معروف هستند . کاربرد اصلی این شیرها در صنایع مربوط به گاز نیتروژن یا بعضی صنایع مربوط با سیستم های تبرید است . بعدها در تستهای فشار مشخص شد که این شیرها اصلاً نشتی ندارند . مشکل اصلی در انتخاب این شیرها نحوه اتصال آنها به بدنه بود . به علت برنجی بودن این شیرها نمی توان آنها را مستقیماً به بدنه جوش داد . هم چنین به علت عدم وجود مادگی کونیک آلومینیمی نمی توانستیم آنها را به مادگی بِنَدِیم و مادگی را جوش دهیم . به همین دلایل تصمیم بر آن شد که از شلنگ های رابط استفاده کنیم . بدین ترتیب که یک نری کونیک به لوله گرمایی جوش داده شد . سپس با استفاده از این شلنگ های رابط که مخصوص شارژ گاز به سیستم های تبرید است شیر خلا را به نری کونیک وصل کردیم . بعدها در تست نشتی مشخص شد که مجموعه این اتصالها نشتی ندارد .



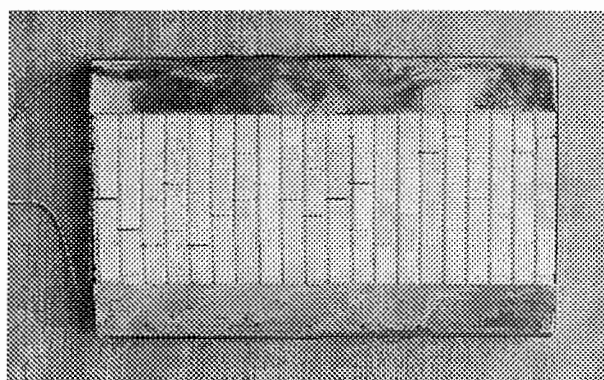
شکل (۳-۴) : اتصال نری و مادگی کونیک



شکل (۳-۳) : شیر خلا مورد استفاده

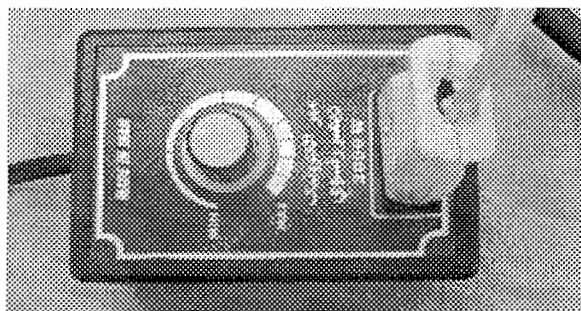
۳-۲-۴- هیتر و دیمر

در این پروژه ما نیاز به یک توان حرارتی حداکثر تا ۱۰۰۰ وات داشتیم . به دلیل هندسه لوله گرمایی باید هیتر خاصی را برای ساخت سفارش می دادیم . با تهیه ابعاد و تعیین وات موردنیاز و تعیین نوع هیتر (سرامیکی) سفارش هیتر داده شد . پس از ساخت با استفاده از فرمول $P=VI$ و اندازه گیری ولتاژ و جریان عبوری از هیتر توان آن در حدود ۱۴۰۰ وات محاسبه شد که بنا به گفته متخصصان ، توان هیترها پس از مدتی استفاده تا ۱۵ درصد کاهش می یابند .



شکل (۳-۵) : هیتر مورد استفاده در این آزمایش

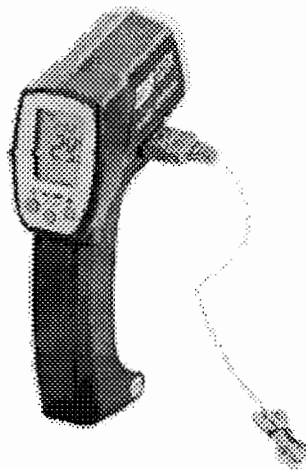
چون در قسمت اواپراتور نیاز شارهای حرارتی متفاوتی بود باید از یک دیمر در سر راه هیتر استفاده می کردیم تا شار حرارتی را تنظیم کنیم . به همین دلیل از یک دیمر مناسب (۲۰۰۰ W) برای این منظور استفاده کردیم .



شکل (۳-۶) : دیمر مورد استفاده برای کنترل شار حرارتی

۳-۲-۵- ترمومتر

به علت مشکلات موجود در راه استفاده از سنسورها برای اندازه گیری دما که در فصل ملاحظات طراحی مطرح شد ، تصمیم بر آن شد که از یک ترمومتر مادون قرمز استفاده شود . این ترمومتر علاوه بر دقت بالا ، دارای سهولت در اندازه گیری دما بود و مشکلات نصب سنسورها را نیز به همراه نداشت .



شکل (۳-۷) : ترمومتر مادون قرمز برای اندازه گیری دمای سطح

مشخصات کلی این وسیله اندازه گیری دما در زیر آمده است .

۱- رنج اندازه گیری دما $500\text{ C} \sim -35$

۲- رزولوشن 0.1 C

۳- دقت اندازه گیری ± 2 درصد دمای اندازه گیری شده

۴- نشانگر لیزری برای تعیین نقطه ای که دمای آن اندازه گیری می شود .

در مدل های بالاتر این ترمومتر ، توانایی خواندن و نگهداری ۵۰ داده و نیز قابلیت تنظیم تشعشع نیز وجود دارد .

۳-۲-۶- ارنلن خلا

به دلایلی که در فصل ملاحظات طراحی بیان شد ، ارنلن خلا انتخابی ما باید دارای جداره ضخیم باشد تا از شکستن آن در حین فرآیند شارژ لوله گرمایی جلوگیری شود . ارنلن موردنظر ما با مارگ بومکس و حجم ۲ لیتر است که مدرج نشده است .

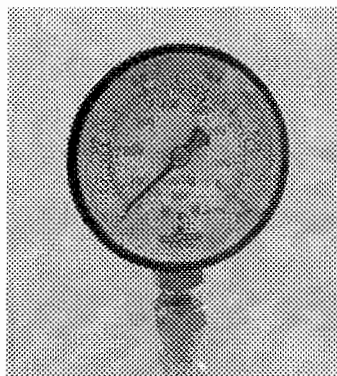
نکته مهم نحوه اتصال شلنگ ها به ارنلن خلا بود . برای حل این مشکل و برای پرهیز از نشتی ابتدا خروجی اصلی ارنلن خلا را با یک درپوش لاستیکی کاملاً می بندیم و با استفاده از چسب سیلیکون درب آن را کاملاً آب بندی می کنیم . سپس درپوش لاستیکی بزرگتری را برای ورودی ارنلن خلا تهیه کرده و آن را به اندازه ای کمی کمتر از قطر شلنگ سوراخ می کنیم . شلنگ را از وسط بریده و داخل این درپوش لاستیکی جا می زنیم و کناره های آن را با چسب سیلیکون کاملاً آب بندی می کنیم . بعد از این مرحله سیال عامل که آب مقطر است به داخل ارنلن خلا ریخته و درپوش لاستیکی را کاملاً جا می زنیم تا حداقل هوا داخل ارنلن خلا باقی بماند .



شکل (۳-۸) : ارنلن خلا برای نگه داری سیال عامل

۳-۲-۷- گیج خلا

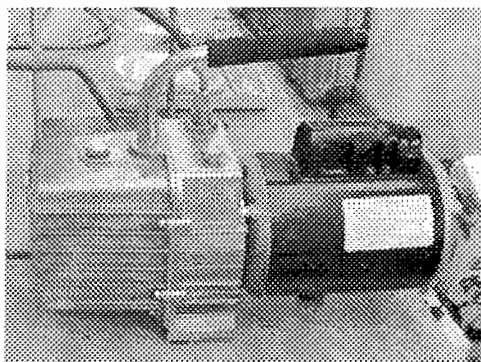
برای اندازه گیری فشار درون لوله گرمایی باید از یک گیج خلا استفاده کنیم . در بازار گیج های مختلفی وجود داشت . به علت اطمینان به کارکرد گیج های خلا بودن این نوع گیج انتخاب شد. گیج مورد نظر ما که در شکل (۳-۹) می بینید دارای دو درجه بندی $mmHg$ و bar است و درجه مبنای آن نیز از فشار جو شروع میشود.



شکل (۳-۹) : گیج خلا برای اندازه گیری فشار داخل مخزن

۳-۲-۸- پمپ خلا

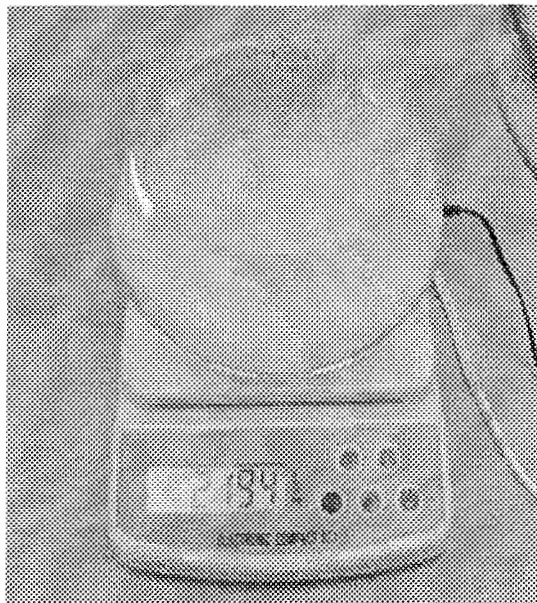
برای ایجاد خلا در مخزن از یک پمپ خلا استفاده کردیم که با مارک JB بوده و توانایی مکش ۴۲ لیتر بر دقیقه را دارا میباشد . توان آن در حدود ۰٫۵ اسب بخار و دور موتور آن 1425 rpm است.



شکل (۳-۱۰) : پمپ خلا مورد استفاده در این پروژه

۳-۲-۹-ترازو

برای اینکه بدانیم چه میزان مایع در هنگام شارژ وارد لوله گرمایی شده است ، دو روش موجود است . یکی اینکه از درجه های روی ارلن خلا بخوانیم که چه مقدار مایع وارد شده است . دوم اینکه ارلن خلا را مدام وزن کنیم . در این پروژه به علت مدرج نبودن ارلن خلا ما روش دوم را به کار بردیم و در نتیجه از یک ترازوی دیجیتال که قابلیت اندازه گیری تا دقت بالا را داشت استفاده کردیم .

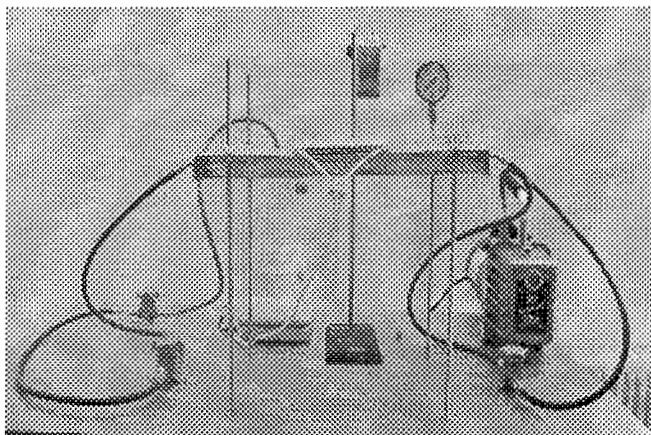


شکل (۳-۱۱) : ترازوی دیجیتال برای توزین ارلن خلا

۳-۲-۱۰-میز دستگاه

برای نصب این قطعات روی یک میز باید نحوه چیدن آنها مشخص می شد . نکته اول اینکه در هنگام نصب شیرها ما یک شیر و شلنگ به سیستم اضافه کردیم و این به علت تخلیه اکسیژن محلول در آب مقطر بود که در قسمتهای بعدی توضیح داده خواهد شد . هم چنین با تعبیه سوراخهایی در میز و در بدنه لوله گرمایی ، پیچ های بلندی را روی میز نصب کردیم تا لوله

گرمایی روی آنها قرار گیرد . مهم ترین فایده این پیچها، قادر ساختن ما برای تست لوله گرمایی در زوایای مختلف نسبت به افق بود . هم چنین ما از یک پایه برای نگه داشتن ترمومتر در یک حالت ثابت روی لوله گرمایی استفاده کردیم .



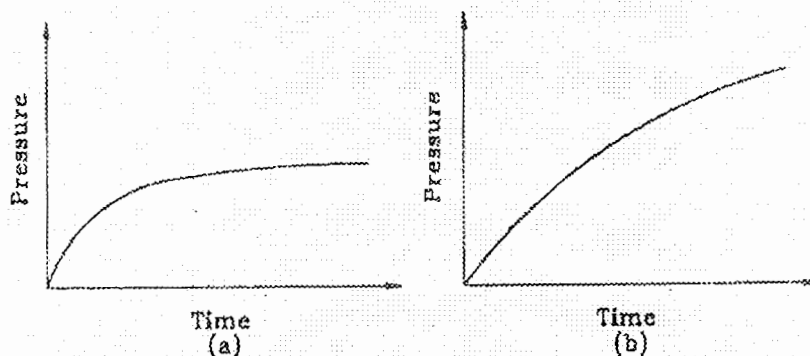
شکل (۳-۱۲) : میز دستگاه برای نصب لوله گرمایی

۳-۳- آشکار سازی نشتی

قبل از شارژ کردن لوله گرمایی باید تشخیص داد که بدنه لوله گرمایی نشتی دارد یا نه. چندین روش برای آشکار سازی نشتی ها با بزرگی مختلف وجود دارد . نشتی های بزرگ را می توان با پر کردن بدنه لوله گرمایی با هوا و مالیدن کف صابون به بدنه یا فرو بردن آن در آب مشخص کرد . روشهای دیگری نیز برای تشخیص نشتی وجود دارد که از آنها بیشتر در صنعت تهویه مطبوع استفاده می شود .

در این آزمایش ما دقیقاً همین کار را برای تست نشتی های بزرگ انجام دادیم و هیچ گونه نشتی یافت نشد .

برای تست نشتی های خلا پایین ، روشهای مختلفی وجود دارد . یکی از این روشها خلا کردن سیستم و رها کردن آن به حال خود است . با چک کردن سیستم پس از چند روز یکی از دو نمودار زیر حاصل می شود .



شکل (۳-۱۳): (a) نشتی مجازی (b) نشتی واقعی

در نمودار (۳-۱۳a) رشد اولیه فشار سریع است. سپس در یک فشار که ناشی از اوت گسینگ^۱ داخل لوله گرمایی است ثابت می شود، این پدیده نشتی مجازی نام دارد که نشتی در بدنه لوله گرمایی نیست بلکه نشان دهنده گازهایی است که در اثر پدیده اوت گسینگ ایجاد می شود. در بیشتر موارد این نوع رفتار لوله گرمایی اجتناب ناپذیر است. یک نشتی واقعی در شکل (۳-۱۳b) نشان داده شده است که در آن فشار با یک نرخ ثابت شروع به رشد کرده و این رشد را هم چنان ادامه می دهد. این موضوع به علت شکاف داخل بدنه است. در این پروژه با تست نشتی خلا پایین مشخص شد که شکافی در درون بدنه وجود ندارد.

لازم به ذکر است که نشتی های خلاهای بالا را با طیف نگار جرمی هلیم مشخص می کنند. اطلاعات بیشتر در مورد آشکار سازی نشتی ها را می توان در مرجع [۱۱] یافت.

^۱ Out gassing

۳-۴- اندازه گرفتن تخلخل به صورت تجربی

در این آزمایش ما باید تخلخل فتیله لوله گرمایی را به دست آوریم. بدین منظور ابتدا به اندازه حجم V_1 در داخل استوانه مدرجی آب ریخته و سپس فتیله را تا ارتفاع H در داخل آن فرو میبریم. حال حجم V_2 را از استوانه مدرج خوانده و در روابط زیر قرار می دهیم تا تخلخل فتیله ε به دست آید.

$$\text{محیط متوسط سطح مقطع فتیله} = 9,6 \text{ cm}$$

$$\text{ضخامت متوسط سطح مقطع فتیله} = 0,4 \text{ cm}$$

$$H \text{ حجم فتیله به ارتفاع } = H * 0,4 * 9,6 = V_{total}$$

$$\text{حجم قسمت جامد فتیله} = V_2 - V_1 = V_{solid}$$

$$\text{حجم فضاهای خالی فتیله} = V_{total} - V_{solid} = V_{pore}$$

$$\text{تخلخل} = \varepsilon = \frac{V_{pore}}{V_{total}}$$

در جدول زیر مقادیر اندازه گیری شده در این آزمایش ثبت شده است. حجم ها بر حسب سی سی و ارتفاع بر حسب سانتی متر است.

	H	V_1	V_2	V_{total}	V_{solid}	V_{pore}	ε
۱	11.5	177	185	44.16	8	36.16	81.88
۲	14.0	177	187	53.76	10	43.76	81.40
۳	14.3	204	214	54.91	10	44.91	81.78
۴	14.5	194	204	55.68	10	45.68	82.04
۵	16.0	202	213	61.44	11	50.44	82.09
۶	17.0	212	224	65.28	12	53.28	81.62

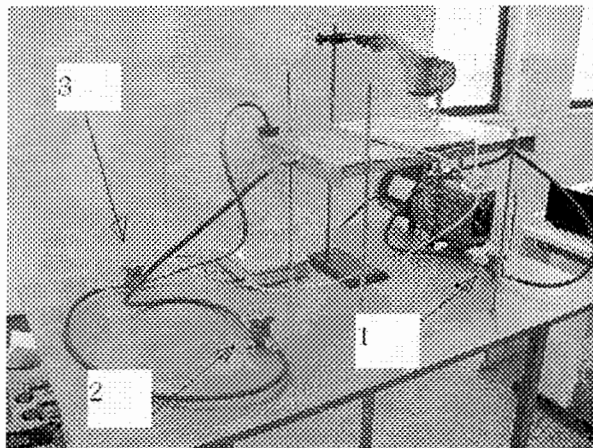
از داده های آزمایش مشاهده میکنیم که متوسط مقدار تخلخل برای فتیله های ما برابر $\varepsilon = 81.8$ شد. باتوجه به رابطه موجود برای نفوذ پذیری فتیله های فلزی می توان κ را برای این فتیله به دست آورد.

فصل چهارم

تست لوله گرمایی مسطح

۴-۱- تخلیه گازهای ناشی از اوت گسینگ

پس از آماده کردن اجزای سیستم آزمایشی و چک کردن آنها از لحاظ نشتی و اکسیداسیون و ... حال باید لوله گرمایی را از لحاظ میزان کار کرد آن آزمایش کرد. برای این کار ابتدا باید فرآیند اوت گسینگ را انجام داد. برای این منظور ابتدا شیرهای ۱ و ۲ را باز کرده و شیر ۳ را می بندیم و پمپ را که به شیر ۱ وصل است ، روشن می کنیم.



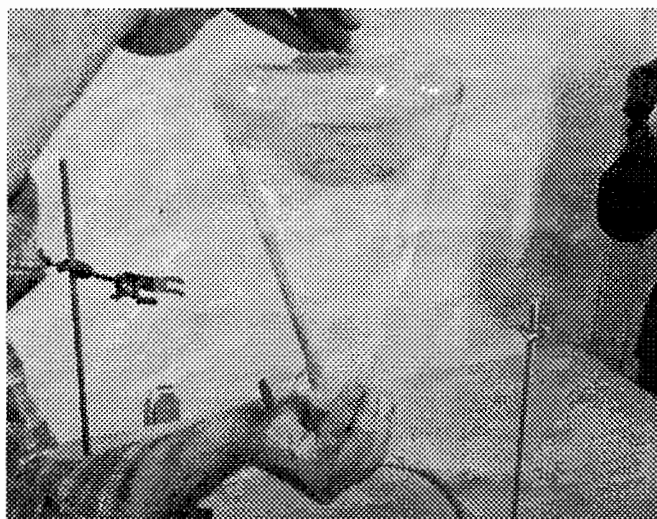
شکل (۴-۱): نحوه تخلیه لوله گرمایی از هوا

پس از حدود ۱۰ دقیقه از روی گیج خلا متوجه می شویم که عمل تخلیه انجام شده است. در این جا شیر ۱ را بسته و پمپ را خاموش می کنیم. لوله گرمایی به مدت ۴۸ ساعت در همین حالت باقی می ماند. در طی این ۴۸ ساعت گازهای جذب شده در سطح فلز و اتصالات خارج شده و

باعث می شوند گیج خلا نیز مقداری فشار را در درون لوله گرمایی نشان دهد. پس از ۴۸ ساعت دوباره پمپ را روشن کرده و شیر ۱ را باز می کنیم تا گازهای ناشی از فرآیند اوت گسینگ خارج شوند. بعد از چندین بار انجام این فرآیند و اطمینان از تخلیه کامل لوله گرمایی فرآیند شارژ را آغاز می کنیم.

۴-۲- شارژ لوله گرمایی توسط سیال عامل

برای فرآیند شارژ ابتدا ارلن خلا را تا دهانه شیر شماره ۳ از آب پر می کنیم تا حداقل هوای ممکن باقی بماند. سپس شیر شماره ۲ را می بندیم و شیر شماره ۳ را باز می کنیم تا خلا در شیلنگ رابط شیرهای ۲ و ۳ هوای محلول موجود در آب مقطر را به صورت حبابهایی که از کف ظرف با قطر کوچک شروع شده و در دهانه ارلن با قطر ماکزیمم وارد شیلنگ می شوند، خارج می کند. بعد از خارج شدن حبابها از درون مایع شیر شماره ۳ را می بندیم و پس از روشن کردن پمپ شیرهای شماره ۱ و ۲ را باز می کنیم تا هوای موجود در شیلنگ رابط شیرهای ۲ و ۳ خارج شود. این عمل را چندین مرتبه تکرار می کنیم تا آب مقطر کاملاً عاری از هوا شود. در این قسمت شیر شماره ۱ را می بندیم و پمپ را خاموش کرده و شیرهای ۲ و ۳ را باز می کنیم. در ابتدا مقدار بسیار کمی از آب تبخیر شد و سریعاً فضای داخل لوله گرمایی را پر می کند. این موضوع سبب می شود مجموع فضای لوله گرمایی و ارلن دارای فضای اشباع بخار آب و مایع باشد که قسمت بخار در درون لوله گرمایی و قسمت مایع در درون ارلن باشد. در نتیجه برای تزریق آب مایع به داخل لوله گرمایی باید ارلن را به شدت تکان دهیم تا آب در اثر ضربه وارد لوله گرمایی شود. در طی این فرآیند ضربه زدن پروفیلی در سطح مایع تشکیل می گردد که مقداری با پروفیل مایع در حالت فشار اتمسفر فرق می کند. تصویر پروفیل تشکیل شده در سطح مایع در شکل (۴-۲) مشخص است.



شکل (۲-۴): پروفیل تشکیل شده در سطح در هنگام شارژ مایع

پس از چند بار ضربه زدن برای اطلاع از میزان آب تزریق شده به داخل لوله گرمایی باید آن را وزن کنیم. وزن کلی ارلن خلا در حدود ۳۲۰۰ گرم است. چون در فرضهای اولیه، فرض شده بود که فتیله باید از مایع اشباع باشد با محاسباتی که در مورد پروسیتی انجام شده است حجم فضاهای خالی فتیله را محاسبه می کنیم. که در حدود ۸۰۰ cc می شود. با افزایش ۲۵٪ آب اضافه برای اطمینان از خیس شدن فتیله ها حدود ۱۰۰۰ gr آب باید به داخل لوله گرمایی تزریق شود.



شکل (۳-۴): توزین ارلن خلا پس از شارژ سیال عامل

پس از تزریق مقدار مایع لازم برای خیس شدن فتیله ها، شیرهای ۲ و ۳ را می بندیم، اکنون لوله گرمایی شارژ شده و آماده تستهای عملکردی است.

۴-۳- تست لوله گرمایی

برای انجام تست لوله گرمایی ابتدا هیتر را روی سطح لوله گرمایی در جای مورد نظر خود قرار می دهیم . بسته به نوع آزمایش هیتر ممکن است در سمت چپ یا وسط یا راست قرار گیرد. سپس زاویه لوله گرمایی با افق را با استفاده از پیچهای تعبیه شده تنظیم می کنیم. در همین حال دیمتر را روی شار حرارتی مورد نظر خود تنظیم کرده و هیتر را روشن می کنیم . زمان سنج را از زمان شروع به کار هیتر فعال کرده و در زمانهای مساوی با استفاده از ترمومتر دمای نقاطی که از قبل روی سطوح بالایی و پایینی لوله گرمایی در فواصل مساوی مشخص شده اند را اندازه گیری می کنیم .

نکته مهم در اندازه گیری دمای سطح این است که به علت فاصله ۱۸ mm نشانگر لیزری با محل دقیق اندازه گیری دما باید جهت قرار گرفتن ترمومتر روی پایه آن در تمام حالات یکسان باشد. پس از ثبت دما در فواصل زمانی مختلف، این قدر این کار را ادامه می دهیم تا سیستم به حالت پایدار برسد. زمان رسیدن به حالت پایدار برای شارهای مختلف متفاوت است. در ضمن چون در این سیستم ما فقط از جابجایی آزاد برای خنک کردن سطح لوله گرمایی استفاده می کنیم ، از یک شار به خصوصی به بالا دیگر سیستم پایدار نخواهد شد و دمای آن مرتباً افزایش پیدا می کند. پس از ثبت دماها چه در حالت گذرا و چه در حالت پایدار در یک جدول مخصوص حال نوبت به رسم این داده ها می گردد.

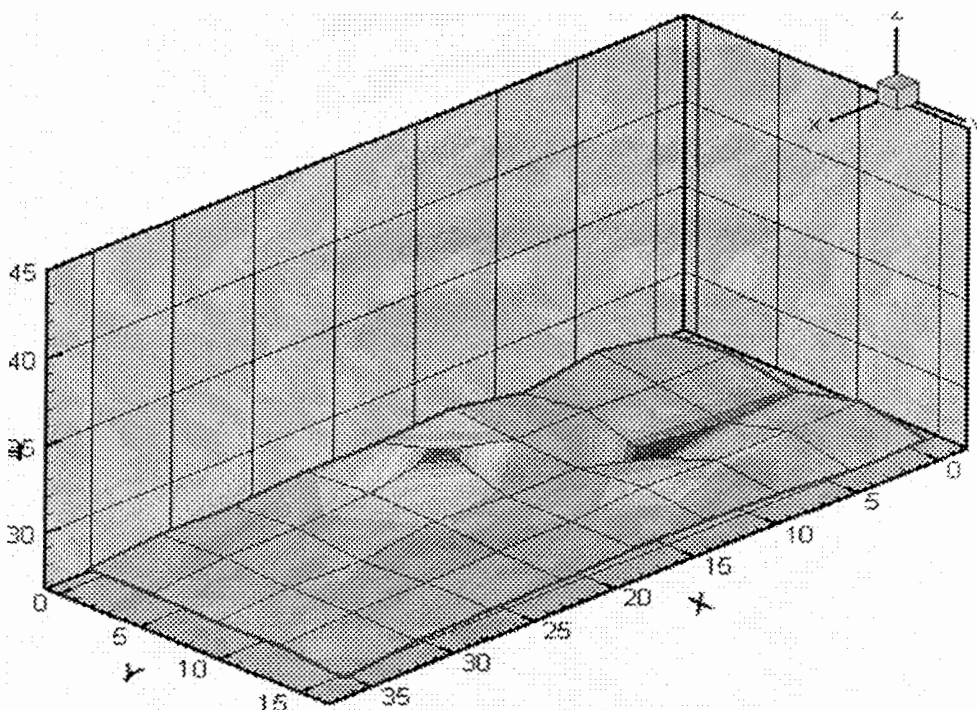
۴-۴- رسم داده ها

پس از راه اندازی سیستم لوله گرمایی و شارژ آن با سیال عامل که آب مقطر میباشد ، نوبت به طراحی و انجام آزمایشات مختلف و رسم داده های آنها می رسد. ما برای اطمینان از صحت عملکرد لوله گرمایی سه آزمایش مختلف روی آن انجام دادیم که نتایج آن در زیر بیان میگردد.

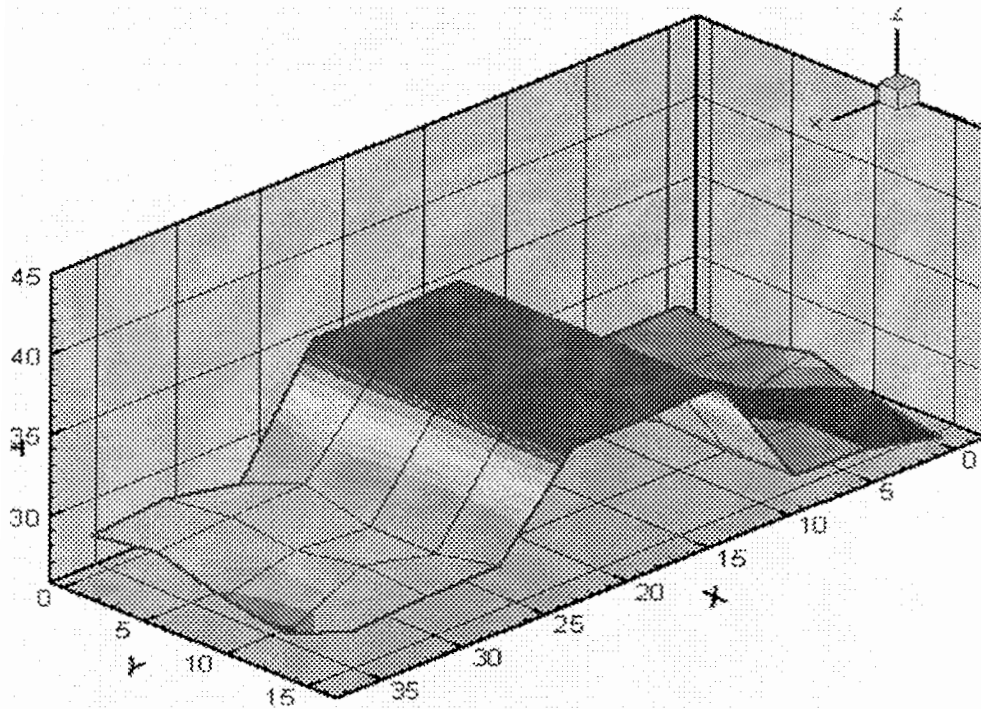
۴-۴-۱- آزمایش شماره ۱

در آزمایش شماره ۱ ما لوله گرمایی را با زاویه صفر درجه نسبت به افق روی پایه ها قرار دادیم. در مراحل قبلی ۱۰۰۰ گرم آب مقطر بدان تزریق شده بود. هیتر در وسط صفحه بالایی لوله گرمایی نصب شده بود و درجه دیمر روی نقطه ۱ تنظیم شده بود.

پس از گذشت ۶۰ دقیقه دماها به صورت پایدار درآمدند. پروفیل ناشی از این دماهای اندازه گیری شده در شکل های زیر رسم شده است.



شکل (۴-۴): پروفیل دمای سطح پایینی لوله گرمایی مسطح در آزمایش ۱



شکل (۴-۵): پروفیل دمای سطح بالایی لوله گرمایی در آزمایش ۱

در شکل (۴-۴) مشاهده می‌کنیم به علت بالاتر بودن دمای هیتر در ورودی آن دمای آن قسمت از سطح پایینی لوله گرمایی نیز کمی بالاتر است. هم چنین دمای سطح به نحو مطلوبی یکنواخت است.

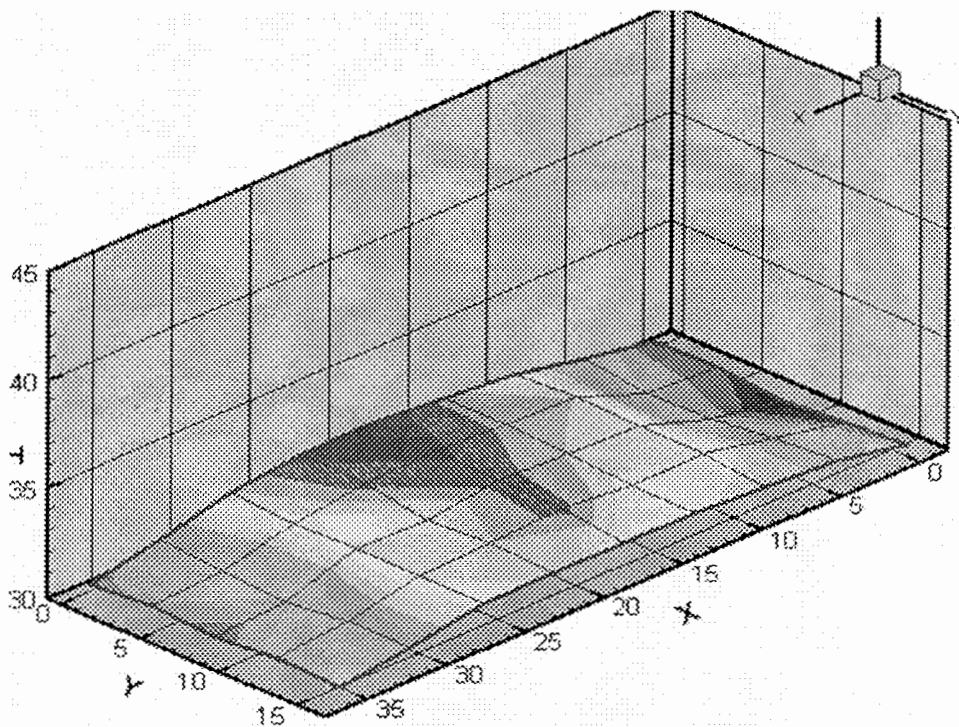
در شکل (۴-۵) نیز می‌بینیم که با وجود بالاتر بودن دمای اوپراتور، دمای قسمت‌های کندانسور پایین تر و یکنواخت می‌باشد. هر چند که این یکنواختی، به علت قرار گرفتن هیتر در سطح بالایی، نسبت به سطح پایینی کمتر است. زیرا به علت وجود نیروی جاذبه مایع در فتيله های کف لوله گرمایی بیشتر جریان دارد.

۴-۴-۲- آزمایش شماره ۲

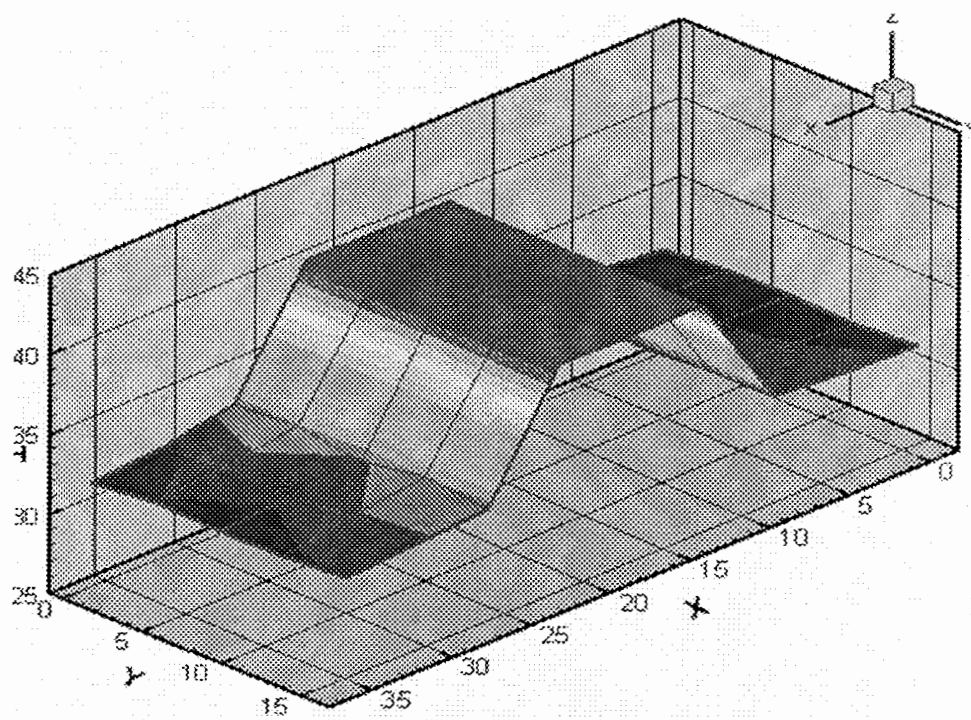
در این آزمایش ما لوله گرمایی را باز به صورت افقی روی پایه ها قرار دادیم. در این مرحله نیز سیال عامل ما آب مقطر و میزان آن ۱۰۰۰ گرم است.

هیتر در وسط صفحه بالایی لوله گرمایی نصب شده بود و درجه دایمر با یک درجه اختلاف نسبت به آزمایش ۱ روی نقطه ۲ تنظیم شده بود. در نتیجه شار حرارتی بیشتری وارد می شد.

دمای سطح لوله گرمایی پس از حدود ۹۰ دقیقه به حالت پایدار رسید. پروفیل رسم شده توسط دماهای سطح در زیر آمده است.



شکل (۴-۶): پروفیل دمای سطح پایینی لوله گرمایی مسطح در آزمایش ۲



شکل (۷-۴): پروفیل دمای سطح بالایی لوله گرمایی مسطح در آزمایش ۲

با توجه به شکل (۶-۴) می بینیم که دمای سطح پایینی لوله گرمایی نسبت به آزمایش شماره ۱ رشد کرده است. باز هم همانطور که در شکل (۶-۴) پیداست به علت یکنواخت نبودن دمای هیتر در همه قسمت ها دمای سطح پایینی لوله گرمایی تا ۲ درجه نوسان دارد.

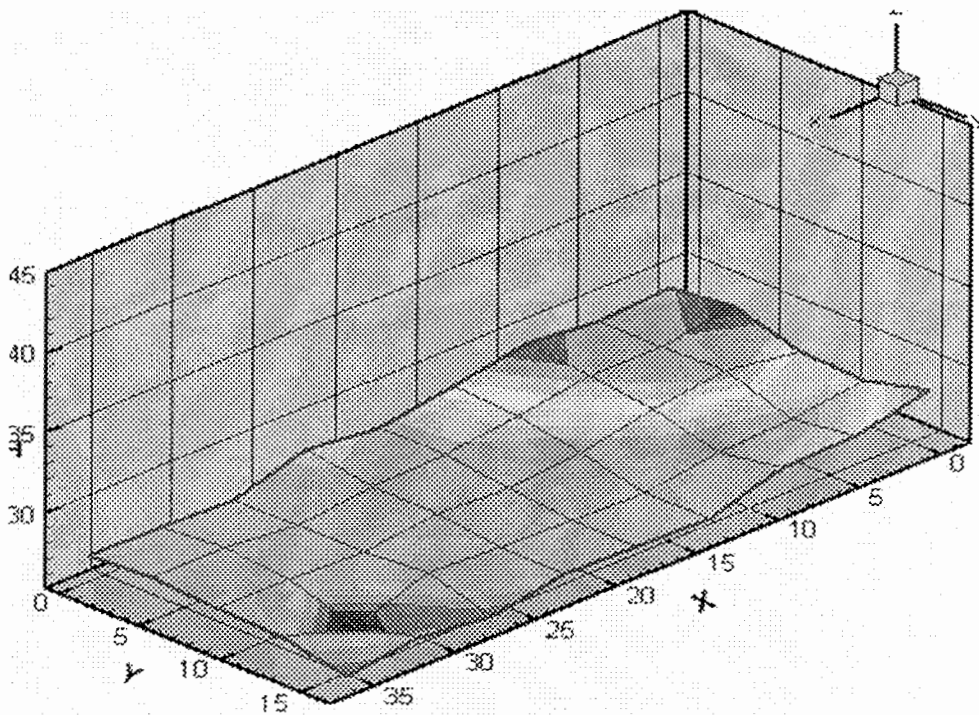
هم چنین با توجه به شکل (۷-۴) می بینیم که به علت بالا رفتن شار ورودی و افزایش سرعت بخار در لوله گرمایی دمای سطح بالایی یکدست تر از آزمایش شماره ۱ است.

۴-۴-۳- آزمایش شماره ۳

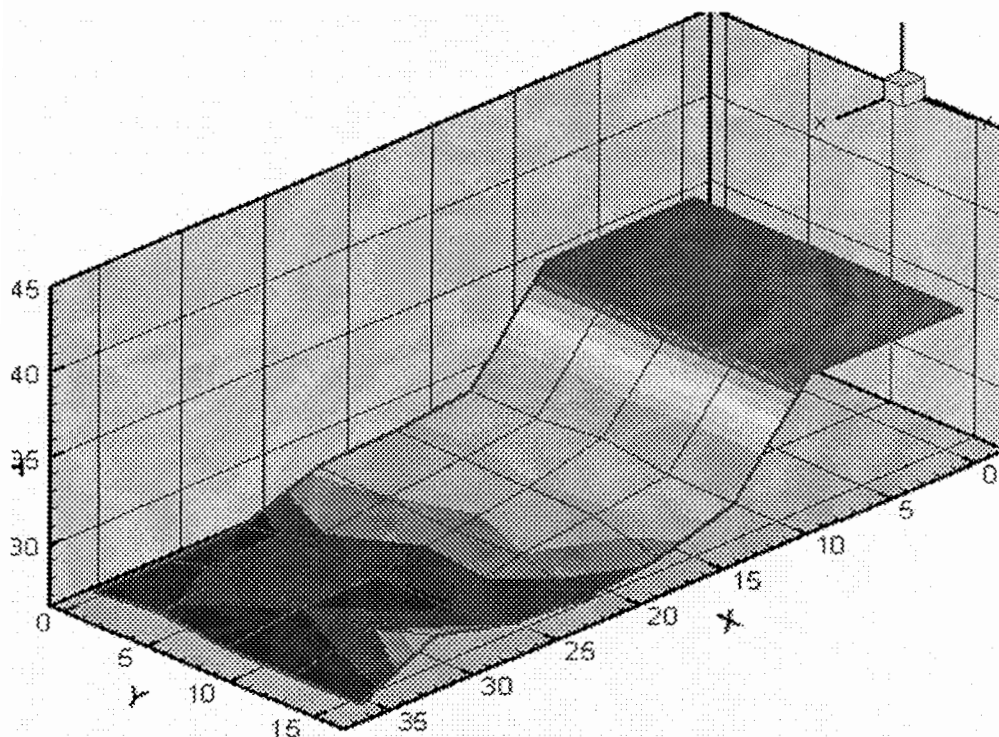
در این آزمایش نیز ما لوله گرمایی را باز به صورت افقی روی پایه ها قرار داده ایم. سیال عامل ما آب مقطر و جرم آن ۱۰۰۰ گرم است.

هیتر برخلاف آزمایشات قبلی در گوشه سمت راست صفحه بالایی لوله گرمایی نصب شده بود و درجه دیمر مانند آزمایش ۲ روی نقطه ۲ تنظیم شده بود. در نتیجه شار حرارتی یکسانی نسبت به آزمایش ۲ وارد می شد.

دمای سطح لوله گرمایی پس از حدود ۱۲۰ دقیقه به حالت پایدار رسید. پروفیل رسم شده توسط دماهای سطح در زیر آمده است.



شکل (۴-۸): پروفیل دمای سطح پایینی لوله گرمایی مسطح در آزمایش ۳



شکل (۴-۹): پروفیل دمای سطح بالایی لوله گرمایی مسطح در آزمایش ۳

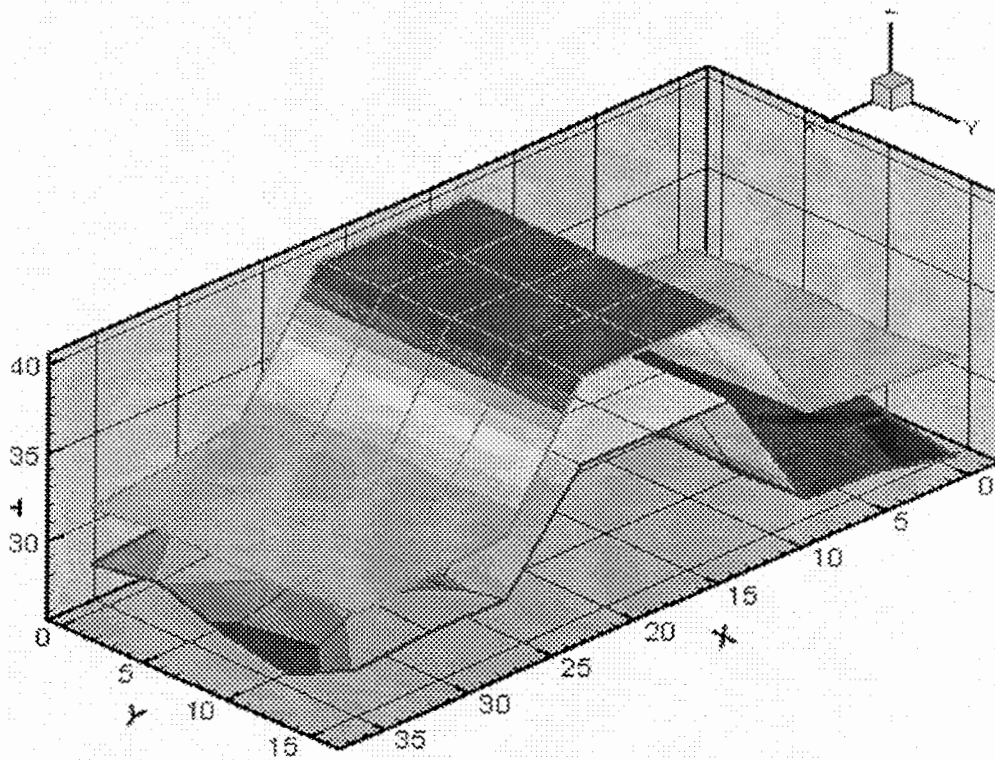
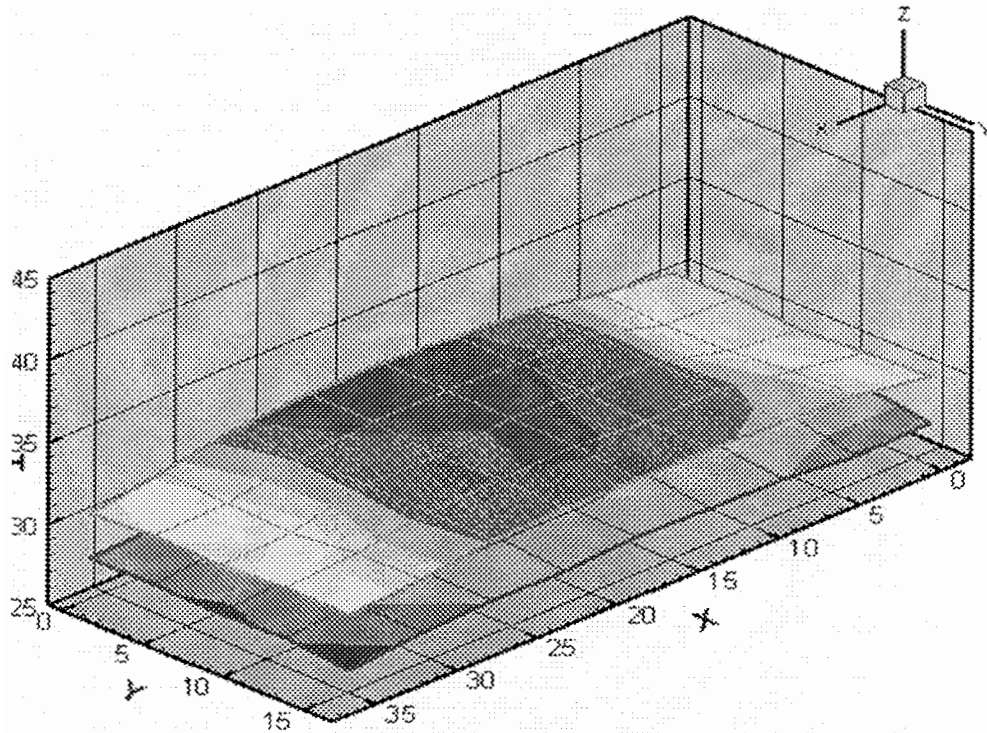
از شکل (۴-۸) مشاهده می‌کنیم که متوسط دمای سطح پایینی در این حالت از متوسط دمای سطح پایینی در آزمایش ۲ کمتر است. این موضوع ممکن است به علت افزایش طول کندانسور باشد. همچنین در این آزمایش نیز تاثیر عدم حرارت دهی یکنواخت هیتر را روی پروفیل دما مشاهده می‌کنیم.

در این آزمایش شاهد طولانی‌تر شدن زمان یکنواخت شدن دما هستیم. این بدین دلیل می‌تواند باشد که به علت بلندتر شدن طول کندانسور زمان بیشتری صرف چرخه حرکتی سیال عامل بین اواپراتور و کندانسور می‌گردد.

۴-۴-۴- نمودار های مقایسه ای

در این قسمت ما با مقایسه کانتور های دما در آزمایشات ۱ و ۲ مشاهده می‌کنیم که با افزایش شار حرارتی متوسط دمای پایدار سطوح بالایی و پایینی لوله گرمایی افزایش یافته است.

هم چنین می بینیم که با افزایش شار دما در سطوح بالایی یکدست تر و یکنواخت تر میگردد .



شکل (۴-۱۰): مقایسه بین کانتورهای دما در آزمایشات ۱ و ۲

۴-۵- نتیجه گیری

در این تحقیق فرایند تحلیل ، طراحی ، ساخت و تست عملکرد یک لوله گرمایی مسطح آب و آلومینیم به صورت مختصر شرح داده شد . فتیله لوله گرمایی از توری های آلومینیمی به هم فشرده تهیه شد و پروسیتی آن به صورت تجربی در حدود ۸۰ درصد اندازه گیری شد . سیال عامل نیز به خاطر سازگاری با آلومینیم و سهولت استفاده در آزمایشگاه آب مقطر انتخاب گردیده است . لوله گرمایی در هوای آزاد و در شارهای حرارتی مختلف و با حالات مختلف تست گردیده است.

مشاهده گردید که لوله گرمایی مسطح با توزیع دمای تقریباً یکنواختی چه در سطح بالایی و چه در سطح پایینی به صورت خوبی کار میکند.

هم چنین دریافتیم که برای شارهای بالاتر نیاز به یک خنک کاری مایع برای کنترل موثر دمای داریم .

۴-۶- پیشنهادات برای تحقیقات آینده

با توجه به تجربی بودن پروژه به منظور ادامه ، تکمیل و بهبود آن پیشنهادات زیر برای پروژه های آتی ارایه میگردد :

۱. حل معادلات حاکم بر جریان بخار و مایع در لوله گرمایی مسطح به صورت تحلیلی و عددی و مقایسه آنها با یکدیگر
۲. طراحی و ساخت یک لوله گرمایی مسطح با فلزات دیگر و تعویض سیال عامل آن
۳. ساخت انواع فتیله های فلزی و به دست آوردن خواص آنها به صورت تجربی و مقایسه این اعداد با مقادیر تئوری آن
۴. بررسی تاثیر پارامترهای مختلف طراحی بر کارکرد لوله گرمایی مسطح
۵. بررسی تجربی رفتار دمایی لوله گرمایی مسطح در حالت گذرا

مراجع

منابع:

- [۱]. جک فیلیپ هولمن ، (۱۹۹۸) . انتقال حرارت . ویرایش هشتم ، ترجمه مهندس کاشانی حصار ، چاپ دوم ، انتشارات نما
- [۲]. فرانک اینکروپرا ، دیوید دویت ، (۱۹۹۶) . مقدمه ای بر انتقال گرما . ویرایش سوم ، جلد دوم ، ترجمه دکتر علی اصغر رستمی ، چاپ اول ، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان
- [۳]. مهندس تیمور رفیعی زاده ، (۱۳۸۳) . تکنولوژی خلا . چاپ اول ، انتشارات طراح
- [۴]. محمد لایقی ، (۱۳۸۴) . آنالیز و شبیه سازی لوله های گرمایی حلقوی . پایان نامه دکتری تبدیل انرژی ، دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف
- [۵]. رسول محبی ، (۱۳۸۴) . لوله های حرارتی . پایان نامه کارشناسی مهندسی مکانیک ، دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود
- [۶]. پدram حنفی زاده ، (۱۳۸۳) . تاثیر نسبت قطر به طول لوله در عملکرد حرارتی ترموسیفون. پایان نامه کارشناسی ارشد تبدیل انرژی ، دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

[۷]. احسان شکیب ، (۱۳۸۵) . ساخت و مطالعه آزمایشگاهی اثرات مشخصه

موثر بر عملکرد لوله گرمایی . پایان نامه کارشناسی ارشد تبدیل انرژی ،

دانشکده مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

[۸]. محمد مهدی غلامی بنادی کوکی ، (۱۳۷۸) . طراحی و ساخت لوله گرمایی و

بررسی اثر شیب بر عملکرد لوله گرمایی مزبور . پایان نامه کارشناسی ارشد

تبدیل انرژی ، دانشکده مکانیک دانشگاه تربیت مدرس

[۹]. حمید رضا کامروا ، (۱۳۷۳) . مقایسه کارایی حرارتی لوله گرمایی پره دار و

سینک متداول پره دار . پایان نامه کارشناسی ارشد تبدیل انرژی ، دانشکده

مکانیک دانشگاه تربیت مدرس

[10]. A. Faghri, (1995). **Heat Pipe Science and Technology** .Taylor &

Francis, Washington.

[11]. P. D. Dunn, D. A. Reay, (1982). **Heat Pipes**. Pergamon Press, New

York.

[12]. G.P. Peterson, (1994). **An Introduction to Heat Pipes Modeling,**

Testing and Applications. John Wiley, New York.

[13]. S.W. Chi, (1976). **Heat Pipe Theory and Practice**. McGraw-Hill,

New York.

- [14]. K. Vafai, W. Wang, (1992). **Analysis of flow and heat transfer characteristics of an asymmetrical flat plate heat pipe.** International Journal of Heat and Mass Transfer ,vol 35: 2087-2099
- [15]. K. Vafai, N. Zhu, (1995). **Analysis of asymmetric disk-shaped and flat plate heat pipes.** Journal of Heat Transfer, vol 117 : 209-218
- [16]. K. Vafai, N. Zhu, (1998) .**Vapor and liquid flow in an asymmetrical flat plate heat pipe: a three dimensional analytical and numerical investigation.** International Journal of Heat and Mass Transfer , vol 41 : 159-174
- [17]. K. Vafai, N. Zhu, (1998). **Analytical modeling of the startup characteristic of asymmetrical flat plate and disk-shaped heat pipes.** International Journal of Heat and Mass Transfer, vol 41 : 2619-2637
- [18]. K. Vafai, Y. Wang, (2000). **Transient characterization of flat plate heat pipes during startup and shutdown operations.** International Journal of Heat and Mass Transfer, vol 43 : 2641-2655
- [19]. K. Vafai, Y. Wang, (2000). **An experimental investigation of the transient characteristics of a flat plate heat pipe during startup and shutdown operations.** Journal of Heat Transfer, vol 122 : 2641-2655
- [20]. Y. Wang, K. Vafai, (2000). **An experimental investigation of the thermal performance of an asymmetrical flat plate heat pipe.** International Journal of Heat and Mass Transfer, vol 43 : 2657-2668

- [21]. N. Zhu, K. Vafai, (1997). **Numerical and analytical investigation of vapor flow in a disk-shaped heat pipe incorporating secondary flow.** International Journal of Heat and Mass Transfer, vol 40 : 2887-2900
- [22]. N. Zhu, K. Vafai, (1996). **The effect of liquid-vapor coupling and non darcian transport on asymmetrical disk-shaped heat pipes.** International Journal of Heat and Mass Transfer , vol 39 : 2095-2113
- [23]. N. Zhu, K. Vafai, (1996). **Optimization of asymmetrical disk-shaped heat pipes.** AIAA Journal of Thermo physics and Heat Transfer , vol 10 : 179-182
- [24]. H. Van Ooijen, C. J. Hoogendoorn, (1979). **Vapor flow calculation in a flat plate heat pipe.** AIAA Journal, vol 17 :1251-1259
- [25]. L.L. Vasiliev, (2005). **Review heat pipe in modern heat exchangers.** Applied Thermal Engineering, vol 25:1-19
- [26]. L.L. Vasiliev, (2006). **Micro and miniature heat pipes-Electronic component coolers.** Applied Thermal Engineering, vol 26 : 21-28
- [27]. Yu. F. Maydanik, (2005). **Review loop heat pipes.** Applied Thermal Engineering, vol 25: 635-657
- [28]. S. W. Kang, S. H. Tsai, M. H. Ko, (2004). **Metallic micro heat pipe spreader fabrication.** Applied Thermal Engineering, vol 24: 299-309
- [29]. S. H. Moon, G. Hwang, H. G. Yun, T. G. Choy, Y.Kang, (2002). **Improving thermal performance of miniature heat pipe for notebook PC cooling.** Microelectronics Reliability, vol 42: 135-140

- [30]. B. K. Tan, X. Y. Hwang, T. N. Wang, K.T. Ooi, (2000). **A study of multiple heat sources on a flat plate heat pipe using a point source approach**. International Journal of Heat and Mass Transfer, vol 43 : 3755-3764
- [31]. B. K. Tan, T. N. Wang, K.T. Ooi, (2005). **Analytical effective length study of a flat plate heat pipe using point source approach**. Applied Thermal Engineering, vol 25: 2279-2284
- [32]. Yimin Xuan, Yuping Hong, Qiang Li, (2004). **Investigation on transient behaviors of flat plate heat pipes**. Experimental Thermal and Fluid Science, vol 28: 249-255
- [33]. J. Esarte, M. Dominguez, (2003). **Experimental analysis of a flat heat pipe working against gravity**. Applied Thermal Engineering, vol 23: 1619-1627
- [34]. Richard R. Williams, Daniel K. Harris, (2003). **Cross-plane and in-plane porous properties measurements of thin metal felts: application in heat pipe**. Experimental Thermal and Fluid Science, vol 27 : 227-235
- [35]. Y. Wang, A. Amiri, K. Vafai, (1999). **An experimental investigation of melting process in a rectangular enclosure**. International Journal of Heat and Mass Transfer, vol 42 : 3659-3672
- [36]. A. Faghri, S. Thomas, (1989) .**Performance characteristic of a concentric annular heat pipes: part II vapor flow analysis**. International Journal of Heat Transfer, vol 111 : 851-857

- [37]. D. R. Adkins, T. A. Moss, C. A. Andraka, (1995). **An examination of metal felt wick for heat pipe application.**
- [38]. L. Rayleigh, (1892) **.On the influence of obstacles arranged in rectangular order upon the properties of a medium.** Philosophical magazine, vol LVI : 481-502
- [39]. J. Amour, J. Cannon, (1968). **Fluid flow through woven screens.** AICHE journal ,vol 14 : 415-420
- [40]. B. D. Marcus, (1972). **Theory and design of variable conductance heat pipes.** NASA CR 2018
- [41]. Anon, (1979). **Heat pipes properties of common small pore wicks.** Engineering science data unit , No 79013
- [42]. W. S. Chang, (1990). **Porosity and effective thermal conductivity of wire screens.** Journal of Heat Transfer, vol 112 : 5-9
- [43]. A. Faghri, M. Buchko, (1991) **.Experimental and numerical analysis of low temperature heat pipes with multiple source.** Journal of Heat Transfer, vol 113 : 728-734
- [44]. A. Basiulis, H. Tanzer, S. McCabe, (1986). **Thermal management of high power pwbs through the use of heat pipe substrate.** In : Sixth Annular International Electronic Packaging Conference , San Diego, CA, 501-515
- [45]. M. Thomson, C. Ruel, M. Donato, (1989). **Characterization of a flat plate heat pipe for electronic cooling in space environment.** In :

- National Heat Transfer conference , Heat Transfer in Electronics, vol 111 :59-65
- [46]. K. Kikuchi, (1981). **Large scale EHD heat pipe experiments**. In : D. A. Reay, Advances in heat pipe technology , Oxford , pergamon press
- [47]. R. G. McGlen, R. Jachuk, S. Lin,(2004). **Integrated thermal management techniques for high power electronic devices**. Applied Thermal Engineering, vol 24: 1143 -1156
- [48]. F. Lefevre, M. Lallemand, (2006). **Coupled Thermal and hydrodynamics models of a flat micro heat pipes for the cooling of multiple electronic components**. International Journal of Heat and Mass Transfer, vol 49 : 1375-1383
- [49]. M. J. Rightley, C. P. Tigges, R. C. Givler, C. V. Robino, J. J. Mulhall, P. M. Smith, (2003).**Innovative wick design for multi source flat plate heat pipe**. Microelectronic Journal , vol 34: 187-194
- [50]. R. Boukhanouf, A. Haddad, C. Buffone, (2006). **Experimental investigation of a flat plate heat pipe performance using an IR thermal imaging camera**. Applied Thermal Engineering, vol 26: 2148 -2156

Abstract:

Heat pipes have many applications in industries. In this project analysis, design and manufacturing of an aluminum water flat plate heat pipe is briefly described. The working fluid has been selected distilled water due to its availability and simple use in laboratory.

In this thesis we have a review on heat pipe fundamentals and its applications, and then the velocity, pressure and temperature profiles in vapor and liquid regions were described by using of 2D analysis.

Heat pipe design consideration was discussed in next stage. By this consideration flat plate heat pipe component manufacturing was accomplished and also their assembling was described completely. In this section the wick fabrication which is the most important part of heat pipe were presented. The wick porosity determined experimentally about 80 %.

In performance test of flat plate heat pipe, vacuuming and charging of heat pipe was described preliminary and then temperature profiles of upper and lower surfaces with various heat fluxes were plotted. The results of this profiles show that flat plate heat pipe make an isothermal surface.