بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی، گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.Sc."

گرایش: تبدیل انرژی

عنوان:

بهینه سازی انتقال حرارت در لوله های حرارتی به روش تجربی با استفاده از نانو تیوب های کربنی

استاد راهنما:

دکتر محمد افتخاری یزدی

استاد مشاور:

دکتر آرمن آدامیان

پژوهشگر:

مهدی پورزلفی خانسری

شهریور۱۳۹۳

تشکر و قدردانی

در ابتدا لازم می بینم از اساتید گرانقدر، جناب آقای دکتر افتخاری یزدی و جناب آقای دکتر آرمن آدامیان به جهت تلاش ها، راهنمایی و مساعدت هایشان صمیمانه سپاس گزاری نمایم.

تقدیم به

معلمان زندگی، پدر و مادر

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده..... ۱

مقدمه ۲

فصل اول: کلیات..... ٤

۱-۱ هدف..... ۵

۱-۲ پیشینه تحقیق..... ٦

۱-۲-۱ مدل سازی ماکسول..... ۷

۱-۲-۲ نانوسیالات..... ۸

۱-۲-۳ روش های ساخت نانوسیالات..... ۹

۱-۳ مواد و روش تحقیق..... ۱۰

فصل دوم: ساختار و عملکرد لوله های حرارتی و مروری بر کارهای انجام شده در زمینه بهبود عملکرد لوله حرارتی..... ۱۲

بخش اول: ساختار و عملکرد لوله های حرارتی..... ۱۳

۲-۱ ساختمان و کارکرد لوله های حرارتی..... ۱۳

۲-۲ اجزای لوله حرارتی..... ۱۵

۲-۲-۱ محفظه لوله حرارتی..... ۱۵

۲-۲-۲ سیال کاری (سیال عامل)..... ۱٦

۲-۲-۳ فتیله یا ساختار مویین..... ۱۸

۲-۳ مزایای لوله حرارتی..... ۲۰

۲-٤ محدودیت های لوله حرارتی..... ۲۱

۲-۵ گستره کاری لوله های حرارتی..... ۲۲

بخش دوم: مروری بر کارهای انجام شده در زمینه بهبود عملکرد لوله حرارتی..... ۲٦

۲-٦ تأثیر نانو سیال طلا بر عملکرد حرارتی لوله حرارتی ۲٦

۲-۷ تاثیر نانو سیالات بر عملکرد حرارتی لوله های حرارتی ۲۶
۲-۸ تحقیق تجربی نانو سیال نقره بر عملکرد حرارتی لوله حرارتی ۲۸
۲-۹ تحقیق تجربی نانو سیالات بر روی عملکرد حرارتی لوله های حرارتی sintered ۳۰
۲-۱۰ تحقیقی بر عملکرد لوله حرارتی استوانه ای با استفاده از نانو سیالات ۳۳
۲-۱۱ تاثیر سوسپانسیون نانو تیوب های کربنی بر عملکرد حرارتی ترموسیفون کوچک ۳۵
۲-۱۲ مطالعه تجربی نانو سیال نقره بر عملکرد حرارتی لوله حرارتی مسطح ۳۷
۲-۱۳ تاثیر غلظت نانوسیال بر عملکرد لوله حرارتی استوانه ای ۳۸
۲-۱٤ مطالعه تجربی عملکرد حرارتی ترموسیفون با استفاده از نانو ذرات اکسید آهن ٤۱
۲-۱۵ مطالعه تجربی اثر نانو سیالات بر عملکرد حرارتی با زمان پاسخ لوله حرارتی ٤۲
۲-۱٦ عملکرد حرارتی یک لوله حرارتی با ساختار داخلی روکش نانویی ٤٤
فصل سوم: مواد و روش ها ٤۷
۳-۱ روش های تئوری اندازه گیری هدایت گرمایی نانو سیال ٤۹
۳-۱-۱ فرض اول ٤۹
۳-۱-۲ فرض دوم ۵۱
۳-۱-۳ مکانیسم های میکروسکوپیک افزایش ضریب هدایت گرمایی در نانو سیالات ۵۲
۳-۲ سوسپانسیون نانو تیوب های کربنی ۵۳
۳-۲-۱ مقدمه ای بر نانوتیوب های کربنی ۵۳
۳-۲-۲ تهیه سوسپانسیون CNT در آزمایش ۵۸
۳-۳ دستگاه آزمایش ٦۰
۳-۳-۱ مشخصات لوله حرارتی ٦۰
۳-۳-۲ طراحی قسمت های اوپراتور، آدیاباتیک و کندانسور ٦۲
۳-۳-۳ تجهیزات اندازه گیری آزمایش و لوازم جانبی ٦٤
۳-٤ روش های انجام آزمایش و محاسبات ٦۷
۳-٤-۱ آزمایش در دمای ۱۰°C آب کندانسور ٦۷

۳-٤-۲ آزمایش در دمای ٤۰°C آب کندانسور ٦۹
فصل چهارم: نتایج آزمایش ها ۷۱
٤-۱ تاثیر افزایش بار حرارتی در لوله حرارتی ۷۲
٤-۲ تاثیر غلظت نانو تیوب های کربنی بر توزیع دمایی در سطح لوله حرارتی ۷٤
٤-۲-۱ آزمایش در دمای ۱۰°C کندانسور و عملکرد لوله حرارتی ۷٤
٤-۲-۲ عملکرد لوله حرارتی در دمای ٤۰°C در کندانسور ۷۹
٤-۳ تاثیر نانو تیوب های کربنی بر مقاومت حرارتی در لوله حرارتی ۸۳
٤-٤ اثر دماهای مختلف کندانسور بر عملکرد حرارتی لوله حرارتی ۸۷
٤-۵ اعتبارسنجی نتایج ۹۰
٤-٦ تحلیل عدم قطعیت ۹۳
فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری ۹۵
۵-۱ نتیجه گیری ۹٦
۵-۲ پیشنهادات ۹۹
پیوست ها و ضمائم ۱۰۱
پیوست الف – تجهیزات آزمایش ۱۰۲
پیوست ب – جدول ترمودینامیکی آب اشباع ۱۰۸
فهرست مناب و ماخذ ۱۱۱
فهرست منابع فارسی ۱۱۲
سایت های اطلاع رسانی ۱۱۲
فهرست منابع انگلیسی ۱۱۳
چکیده انگلیسی ۱۱٦

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱ ضریب هدایت حرارتی مواد مختلف در دمای k ۳۰۰.....٦
جدول۲-۱ گستره دمایی سیالات رایج در لوله حرارتی..... ۱۷
جدول ٤-۱ دمای سطح لوله حرارتی (°C) آزمایش آب مقطر - دمای ۱۰°C کندانسور..... ۷۳
جدول٤-۲ دمای سطح لوله حرارتی(°C) آزمایشMWCNTs ۱٪ - دمای10 °C کندانسور.. ۷۳
جدول ٤-۳ دمای لوله حرارتی (°C) آزمایشMWCNTs ۱/۵٪ - دمای٤۰°C کندانسور ۷۳
جدول ٤-٤ مقاومت حرارتی لوله با استفاده از آب ونانوتیوب های کربنی..... ۸٤
جدول٤-۵ الف) نرخ کاهش مقاومت حرارتی سوسپانسیون MWCNTS غلظت ۱/۵٪ نسبت به آب مقطر در دمای چاه حرارتی ۱۰ °C..... ۸۷

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار۲-۱ نمودار عدد مریت مربوط به سیالات مختلف..... ۱۸

نمودار۲-۲ Temperature–Axial heat flux (محدوده مجاز کاری لوله های حرارتی)..... ۲۱

نمودار۲-۳ مقاومت حرارتی لوله حرارتی با آب و نانو سیال در غلظت های متفاوت..... ۲۷

نمودار ۲-٤ مقادیر اندازه گیری شده لوله حرارتی با نانو سیالات در شرایط مختلف..... ۲۹

نمودار ۲-۵ دمای سطح لوله حرارتی در بار حرارتی و غلظت متفاوت..... ۳۲

نمودار۲- ٦ تاثیر غلظت نانو ذرات بر بار حرارتی بیشینه لوله حرارتی در دماهای متفاوت کندانسور..... ۳٤

نمودار۲- ۷ تاثیر سوسپانسیون CNT بر مقاومت حرارتی ترموسیفون..... ۳٦

نمودار۲- ۸ تاثیر غلظت ذرات بر مقاومت حرارتی FHP در بارهای ورودی مختلف..... ۳۸

نمودار ۲-۹ تغییرات مقاومت حرارتی با درصد پرشدگی سیال در غلظت های متفاوت..... ٤۰

نمودار ۲-۱۰ اثر غلظت های مختلف نانو ذرات بر مقاومت حرارتی ترموسیفون..... ٤۲

نمودار ۲-۱۱ زمان واکنش لوله حرارتی..... ٤۳

نمودار ۲-۱۲ کاهش مقاومت حرارتی در آزمایش لوله حرارتی با ساختار داخلی روکش نانویی.. ٤٦

نمودار۳-۱ مقایسه ضریب هدایت حرارتی کربن و سایر مواد..... ٤۹

نمودار٤-۱ عملکرد لوله حرارتی با آب مقطر و MWCNTS در غلظت های مختلف- دمای °C ۱۰ آب کندانسور..... ۷۸

نمودار ٤-۲ عملکرد لوله حرارتی با آب مقطر و MWCNTS در غلظت های مختلف – دمای °C ٤۰ آب کندانسور..... ۸۱

نمودار ٤-۳ دیاگرام T-V آب در فشارهای مختلف..... ۸۳

نمودار ٤-٤ تاثیر غلظت نانو ذرات بر مقاومت حرارتی لوله حرارتی در بارهای ورودی مختلف. ۸۵

نمودار ٤-۵ مقایسه مقاومت حرارتی لوله حرارتی در دو حالت آب و سوسپانسیون نانو تیوب های کربنی..... ۸٦

نمودار٤-٦ تاثیردمای آب کندانسور بر مقاومت حرارتی لوله دربارهای ورودی مختلف..... ۸۹
نمودار٤-۷ نتایج آزمایش سولومون و همکاران بر روی لوله حرارتی در بار های حرارتی (a) ۱۰۰w،
(b) ۱۵۰w، (c) ۲۰۰w..... ۹۱
نمودار٤-۸ تاثیر سوسپانسیون CNT به مقاومت حرارتی ترموسیفون..... ۹۲

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱ شماتیک یک لوله حرارتی..... ۱۳

شکل۲-۲ عملکرد لوله حرارتی..... ۱۵

شکل۲-۳ ساختار داخلی لوله های حرارتی..... ۲۰

شکل ۲-٤ خنک کاری برد الکترونیکی با استفاده از لوله حرارتی..... ۲۳

شکل ۲-۵ مکانیزم لوله حرارتی در استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان چشمه حرارتی..... ۲٤

شکل ۲-٦ تصویر شماتیک یک نوع لوله حرارتی بسته ضربانی..... ۲۵

شکل۳-۱ نانو تیوب کربنی تک دیواره و چند دیواره..... ٥٤

شکل ۳-۲ ساختار اتمی نانو تیوب های کربنی..... ۵۵

شکل ۳-۳ ساختار اتمی زیگزاگ نانو تیوب های کربنی..... ٥٦

شکل ۳-٤ ساختار اتمی آرمیچر نانو تیوب های کربنی..... ۵۷

شکل ۳-۵ تصویر TEM از نانو تیوب های کربنی چنددیواره (MWCNT)..... ۵۹

شکل ۳-٦ شکل a نانو تیوب هایی است که تشکیل سوسپانسیون پایدار نداده و ته نشین شده اند٦۰

شکل۳-۷ لوله حرارتی استفاده شده در آزمایش..... ٦۱

شکل ۳-۸ بلوک مسی استفاده شده در آزمایش..... ٦۳

شکل ۳-۹ تصویر لوله حرارتی و شیر متصل شده بر روی آن در قسمت کندانسور..... ٦٦

شکل ۳-۱۰ شماتیک دستگاه آزمایش..... ٦۷

فهرست علائم و ا ختصارات

ضریب نفوذ گرمایی..... α

ظرفیت گرمایی ذره..... $(\rho c_p)_s$

ظرفیت گرمایی سیال..... $(\rho c_p)_f$

ظرفیت گرمایی نانوسیال..... $(\rho c_p)_{nf}$

نانو تیوب کربنی..... CNT

ثابت نفوذ ذره..... D

قطر ذره..... d

لوله حرارتی مسطح..... FHP

نرخ پرشدگی..... FR

شدت جریان(A) I

رسانندگی حرارتی (W/MK)..... K

ثابت استفان بولتزمن..... K_B

ضریب هدایت حرارتی مخلوط..... K_e

ضریب هدایت حرارتی سیال..... K_m

ضریب هدایت حرارتی ذره..... K_p

ضریب هدایت حرارتی نانوسیال..... K_{nf}

طول لوله حرارتی (mm)..... L

عدد مریت..... M

سوسپانسیون نانوتیوب کربنی..... $MWCNTs$

ویسکوزیته خطی سیال..... μ_f

ویسکوزیته موثرنانوسیال..... μ_{eff}

مقاومت حرارتی $(°C/W)$..... R

شعاع لوله..... r

فشار..... P

فشار اشباع..... P_{sat}

افت فشار مایع..... ΔP_L

افت فشار بخار..... ΔP_V

اختلاف ارتفاع (هد) در لوله..... ΔP_g

نرخ انتقال حرارت (بار حرارتی W)..... Q

دمای اشباع..... T_{sat}

تفاضل دمایی..... ΔT

دمای متوسط سیال..... T^f

دمای ناشی از درهمی جریان..... T'

دمای اواپراتور($^{\circ}C$)..... T_{evp}

دمای کندانسور ($^{\circ}C$)..... T_{con}

سرعت سیال..... v

ولتاژ..... V

مقدار متوسط سرعت ..... u^f

سرعت ناشی از درهمی جریان..... u'

عدم قطعیت کمیتx..... $u(x_i)$

عدم قطعیت استاندارد مرکب..... $u_c(y)$

فاکتور شکل ذره..... Ψ

زاویه ..... θ

چکیده

در این پژوهش به بررسی بهبود عملکرد حرارتی لوله حرارتی بین دو منبع با فاصله کم و اختلاف دمای اندک پرداخته شده است. با استفاده از سوسپانسیون نانوتیوب های کربنی بهبود هدایت حرارتی سیال کاری و شرایط بهینه تعیین شده است. لوله حرارتی استفاده شده در آزمایش از نوع زیر بافت اسفنجی مسی بوده و قطر خارجی ۸mm و طول آن ۲٤۰mm می باشد و ساختار داخلی آن با رینگ های کوچک درگیر است تا سطح تماس و به تبع آن ظرفیت حرارتی بهبود یابد. نانوسیال MWCNTs ازترکیب نانوتیوب های کربنی چند دیواره به قطرnm ۳۰- ۱۰ و طول μm ۲۰-۱۰ و دارای خلوص ۹۵٪ با آب دو بار تقطیر شده تهیه شده است. با طراحی مدل آزمایشگاهی و به دست آوردن متغیر آزمایش یعنی دما، عملکرد لوله حرارتی در بارهای حرارتی مختلف و در دو دمای °C ۱۰ و °C٤۰ محیط کندانسور انجام شده است. MWCNTs در غلظت های ۲/۵-۱ ٪ وزنی سیال در لوله حرارتی آزمایش شده و تا غلظت بحرانی ادامه یافته است. نتایج آزمایش نشان داد در بار ورودی بالاتر از 10 W استفاده از MWCNTs کاهش تفاضل دمایی و به تبع آن کاهش مقاومت حرارتی را نسبت به آزمایش آب مقطر به دنبال دارد. هرچه بر غلظت نانو ذرات اضافه شد عملکرد لوله حرارتی بهتر شد. این روند تا رسیدن به حد غلظت بحرانی MWCNTs یعنی غلظت ۲ % ادامه دارد. غلظت های بیشتر از این حد مقاومت حرارتی لوله را بیشتر می کند. مقدار کمینه مقاومت حرارتی برای دمای°C 40 چاه حرارتی در بار حرارتی 60 w (حداکثر بار ورودی) غلظت بحرانی ۲٪ وزنی نانوذرات به دست آمد که نرخ کاهش مقاومت حرارتی تا ۲۸/۵۷٪ است.

آزمایش ها نشان داده اند دمای سطح لوله در اواپراتور با توجه به دمای آب کندانسور متغیر می باشد. سطح لوله حرارتی در اواپراتور در دمای °C ۱۰ آب کندانسور در دمای پایین تری نسبت به دمای سطح لوله در دمای °C ٤۰ آب کندانسور قرار داشته است. با افزایش دمای کندانسور محدوده اعمال بار حرارتی و هم چنین تفاضل دمایی بین اواپراتور و کندانسور کاهش یافته است.

کلمات کلیدی: لوله حرارتی، سیال کاری، نانوتیوب های کربنی، مقاومت حرارتی، عملکرد حرارتی، غلظت بحرانی

مقدمه

خنک کاری و دفع حرارت تولید شده در تجهیزات صنعتی یکی از نکات مهم در نگهداری، افزایش طول عمر و عملکرد مناسب آن ها می باشد. استفاده از سیستم های خنک کننده مناسب یکی از مهم ترین دغدغه های کارخانه ها و صنایعی است که به نوعی با انتقال گرما رو به رو هستند. در صنایع مختلف نظیر صنایع الکترونیکی، صنعت خودرو، لوازم و تجهیزات مورد استفاده در صنایع هوا فضا و نظیر آن حوادث قابل توجهی تولید می شود که نیاز به دفع و کنترل آن ها می باشد. لوله های حرارتی[1] یکی از وسایل انتقال حرارت می باشند که می توانند حرارت را از نقطه ای به نقطه ی دیگر جا به جا کنند. از این لوله ها در خنک سازی وسایل الکترونیکی، ایجاد تعادل دمایی در ابزارهای ماهواره ای و فضاپیماها، هم چنین در تجهیزات تهویه مطبوع سیستم های خورشیدی و خنک کاری راکتورهای هسته ای استفاده می شود. این وسیله بیشتر به صورت وسیله بازیافت انرژی حرارتی اتلافی مطرح شده است، زیرا که دارای بازده بالا و حجم کمی بوده و نیز آلودگی هم ایجاد نمی کند.

با توجه به بار حرارتی تولیدی در تجهیزات (در بعضی از آن ها تا بیش از ۲۵ kw و شار حرارتی تولید شده بالا در گاهی موارد تا $۲۰۰۰ kw/cm^2$)، نیاز به افزایش راندمان لوله های حرارتی یکی از چالش های اساسی در این زمینه می باشد. به عنوان مثال صنایع الکترونیکی یکی از شاخه هایی است که لوله های حرارتی در آن کاربرد فراوان دارد. این صنایع تراشه هایی با اندازه کوچک تر، سرعت بالاتر و با ویژگی مطلوب تر تولید کرده اند که این تغییرات با افزایش بار حرارتی و شار حرارتی همراه است. این موضوع نیاز به افزایش توانایی انتقال حرارت و عملکرد لوله های حرارتی را نشان می دهد.

مکانیزم های معمول و مرسوم انتقال حرارت در مهندسی به منظور ایجاد سرمایش و گرمایش، نیاز به توان خارجی، صرف هزینه جاری علاوه بر هزینه ساخت اولیه و در اغلب موارد دارای قطعات متحرک هستند. با این وجود، یک لوله حرارتی وسیله ای نسبتا ساده است که بدون هیچ قسمت متحرکی، قابلیت انتقال مقادیر زیادی حرارت را در فواصل مختلف و با سرعت زیاد دارد. جذاب

[1] Heat pipe

ترین مشخصه لوله حرارتی این است که در این سیستم، نیاز به انرژی خارجی نیست و لوله حرارتی فقط با اعمال گرما فعال می شود و در عین حال دارای ضریب رسانایی گرمایی بسیار بالایی است.

فصل اول

کلیات

۱-۱ هدف

هدف اصلی این پروژه، مطالعه انتقال حرارت در لوله های حرارتی و بررسی عملکرد حرارتی آن ها می باشد. در این پروژه خواص سیال کاری به عنوان یکی از اجزای لوله های حرارتی ، مورد مطالعه قرار گرفته و نقش نانوسیالات بر عملکرد لوله حرارتی بررسی می شود .

سیال عامل به عنوان یکی از اجزای این لوله ها نقش مهمی در انتقال حرارت و عملکرد آن ها ایفا می کند که بهبود خواص حرارتی آن با بهبود عملکرد لوله های حرارتی وابسته است. به همین جهت در این پروژه آزمایش ها و تحقیقات تجربی انجام شده بر لوله های حرارتی و تغییرات اعمال شده در سیال عامل و نقش آن ها در انتقال حرارت در لوله های حرارتی مورد توجه قرار گرفته است.

یکی از روش های بهبود خاصیت هدایت حرارتی سیال، افزودن ذرات ریز جامد در ابعاد نانو با هدایت حرارتی زیاد به آن ها می باشد که این روش می تواند ضریب هدایت حرارتی سیال را افزایش داده و توانایی انتقال حرارت آن را بیشتر نماید [۱۸]. هر چه ذرات ریزتر باشند پایداری حرارتی بهتری دارند. نانوسیالات[۱]، سیالاتی هستند که در آن ها ذرات جامد بسیار ریز در ابعاد نانو در سیال پایه ترکیب شده است. ذرات ریز فلزی، اکسید فلزی و یا غیر فلزی با خواص هدایت حرارتی زیاد با درصد وزنی و یا درصد حجمی متفاوت به عنوان نانوذره برای ترکیب در سیال مورد استفاده قرار گرفته و پس از ترکیب موجب افزایش توانایی انتقال حرارت سیال می شود. بالا رفتن هدایت حرارتی سیال این امکان را فراهم می آورد تا از آن به عنوان سیال انتقال حرارت استفاده شود. نانوذرات آلومینیوم، مس، طلا، نقره و آهن مهم ترین نانوذرات مورد استفاده می باشند که در سیالات

[۱] nanofluids