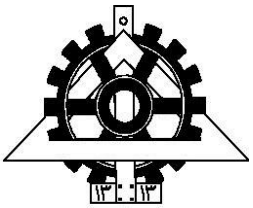

دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

انتقال حرارت جریان جوششی R-۱۳۴a داخل لوله میکروفین‌دار با شیب‌های مختلف

نگارش

سید مهدی رضوی نسب

استاد راهنما

دکتر محمد علی اخوان بهابادی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در

رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

مهر ۱۳۸۷

تقدیم به

پدر آسمانیم،

مادر عزیزم

و همسر مهربانم

چکیده

در این تحقیق، مطالعه آزمایشگاهی بر روی ضرایب انتقال حرارت جوششی جریان مبرد R-۱۳۴a داخل لوله میکروفین‌دار با شیب‌های مختلف لوله نسبت به افق ، α ، صورت گرفته است (α زاویه بین بردار سرعت مبرد و سطح افقی در جهت مثلثاتی می‌باشد). دستگاه مورد استفاده در این بررسی، یک سیستم تبرید تراکمی بخار مجهز به کلیه وسایل اندازه‌گیری مورد نیاز است. این سیستم شامل یک اواپراتور تست که از یک لوله میکروفین دار استاندارد و از جنس مس می باشد. گرمای مورد نیاز برای تبخیر مبرد R-۱۳۴a در این اواپراتور به وسیلهٔ المنت حرارتی که به دور آن پیچیده شده است ، تأمین می‌شود. در این مطالعه داده‌های تجربی برای قرار گرفتن لوله در هفت شیب و برای چهار سرعت جرمی متفاوت مبرد جمع‌آوری گردید. تحلیل داده‌ها نشان داد که تغییر شیب لوله در سرعت‌های جرمی پایین تأثیر زیادی بر انتقال حرارت جوششی دارد و مشخص شد که در تمامی سرعت‌های جرمی بالاترین ضریب انتقال حرارت میانگین در شیب $\alpha = +۹۰^{\circ}$ اتفاق می‌افتد. در ضمن در سرعت جرمی پایین مبرد و کیفیت پایین بخار بالاترین ضریب انتقال حرارت جوششی که مربوط به شیب $\alpha = +۹۰^{\circ}$ می‌باشد حدوداً ۱/۷۱۴ برابر پایین‌ترین ضریب انتقال حرارت در شیب $\alpha= -۹۰^{\circ}$ می‌باشد.

تشکر وقدردانی:

بدینوسیله از زحمات و راهنمایی‌های جناب آقای دکتر محمد علی اخوان بهابادی که بنده را در تمامی مراحل انجام این پایان‌نامه یاری فرمودند تشکر می‌کنم. همچنین از جناب آقای سعید محسنی گرکانی ، آقای مسعود جمالی و آقای امیر محمد پور نیز که با نظرات خود مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نمودند قدردانی می‌کنم. و در آخر نیز از جناب آقای امیر نوروز تکنسین آزمایشگاه ترمودینامیک که مرا در ساخت دستگاه و انجام آزمایشات کمک نمودند، سپاسگزاری می‌نمایم.

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول ـ مقدمه ۱

۱-۱- انتقال حرارت در جوشش جابجایی اجباری در داخل لوله ۲

۱-۲- تعریف مسأله ۳

۱-۳- اهداف این مطالعه ۳

۱-۴- روش اجرای طرح ۴

فصل دوم ـ انتقال حرارت افزایشی ۵

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- روش های افزایش انتقال حرارت ۸

۲-۲-۱- روش های غیر فعال ۹

۲-۲-۲- روش های فعال ۱۶

۲-۳- مزایای افزایش انتقال حرارت ۱۷

۲-۴- قابلیت بکارگیری سطوح افزایشی ۱۹

۲-۵- مبردها ۱۹

۲-۵-۱- مبردهای آزئوتروپیک ۱۹

۲-۵-۲- مبردهای زئوتروپیک ۲۰

۲-۵-۳- تغییر به مبردهای نو ۲۰

۲-۵-۴- مبردهای جدید جایگزین مبردهای فعلی ۲۱

فصل سوم- مروری بر کارهای انجام شده ۲۳

۳-۱- جوشش بخار در داخل لوله های صاف ۲۴

۳-۱-۱- رابطه چن ۲۴

۳-۱-۲- رابطه شاه ۲۶

۳-۱-۳- رابطه جانگر و وینترتون ۲۷

۳-۱-۴- رابطه جدید جانگر و وینترتون ۲۸

۳-۱-۵- رابطه جانگ و همکارانش ۲۸

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

۳-۱-۶- رابطه لیو و وینترتون ۲۹
۳-۱-۷- اکلز و پیت ۲۹
۳-۱-۸- هامبراس ۳۰
۳-۱-۹- تریکوشی و ابیسو ۳۱
۳-۱-۱۰- مارولیت ۳۱
۳-۱-۱۱- تریکوشی و ابیسو ۳۲
۳-۱-۱۲- واتلت و همکارانش ۳۲
۳-۱-۱۳- مک نیل و تچوا ۳۳
۳-۱-۱۴- کاتان و تام ۳۴
۳-۱-۱۵- یو ون و شینگ ۳۴
۳-۱-۱۶- یانگ شین و همکارانش ۳۶
۳-۱-۱۷- رابطه لیو ۳۶
۳-۱-۱۸- کاتان و تام ۳۷
۳-۱-۱۹- کندلیکر ۳۸
۳-۱-۲۰- گروکو و وانولی ۴۰
۳-۲- اثرشیب وجهت جریان بر جوشش بخاردرداخل لوله ها..... ۴۱
۳-۲-۱- مقدمه..... ۴۱
۳-۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده ۴۲
۳-۳- جوشش بخار درداخل لوله‌های میکرفین دار..... ۴۸
۳-۳-۱- مقدمه..... ۴۸
۳-۳-۲- مطالعات تجربی جریان جوششی در لوله‌های میکروفین‌دار..... ۵۱
۳-۳-۳- روابط تجربی جریان جوششی در لوله‌های میکروفین‌دار..... ۶۰
۳-۳-۳-۱- رابطه مینگ هیو یو و همکاران..... ۶۰
۳-۳-۳-۲- رابطه جانگر و وینترتون (۱۹۸۵)..... ۶۱
۳-۳-۳-۳- رابطه جدید جانگر و وینترتون(۱۹۸۷)..... ۶۲
۳-۳-۳-۴- رابطه تام و همکارانش..... ۶۲
۳-۳-۳-۵- رابطه کاوالینی..... ۶۳

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

۳-۳-۳-۶- رابطه کویاما و همکاران ۶۵
۳-۳-۳-۷- رابطه ویلسنت و وملینگ ۶۶
۳-۴- نقشه الگوی جریان جوششی در لوله های افقی و عمودی ۶۹
۳-۵- نقشه الگوی جریان جوششی در لوله های میکروفین دار افقی ۷۵
۳-۶- مطالعه تئوری انتقال حرارت جوششی در لوله های میکروفین دار افقی ۷۷
۳-۶-۱- تحلیل مدل جریان جدا شده ۸۰
۳-۶-۲- پروفیل طبقه مایع جدا شده ۸۱
۳-۶-۳- پروفیل فیلم مایع در سطح مقطع بین فین ها ۸۳
۳-۶-۴- پروفیل فیلم مایع در ناحیه فیلم نازک بین فین‌ها ۸۵
۳-۶-۵- دمای دیواره و ضریب انتقال حرارت ۸۸
۳-۶-۶- مطالعه تئوری جدید ونگ و همکارانش ۹۰
۳-۶-۶-۱- ناحیه ۱ در مدل جریان جدا شده ۹۲
۳-۶-۶-۲- ناحیه ۲ در مدل جریان جدا شده ۹۳
۳-۶-۶-۳- مدل جریان حلقوی ۹۳
۳-۶-۷- نتیجه‌گیری ۹۴

فصل چهارم ـ دستگاه آزمایش ۹۶
۴-۱- ملاحظات طراحی ۹۶
۴-۲- ساختار آزمایش ۹۶
۴-۲-۱- اواپراتور تست ۱۰۰
۴-۲-۲- اواپراتور اولیه و اواپراتور ثانویه ۱۰۰
۴-۲-۳- کندانسور ۱۰۱
۴-۲-۴- وسایل اندازه گیری ۱۰۱
۴-۲-۴-۱- دبی سنج ۱۰۱
۴-۲-۴-۲- دستگاه اندازه گیری دما ۱۰۱
۴-۲-۴-۳- وات متر ۱۰۲

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

۴-۳- لوله میکروفین‌دار ۱۰۲
۴-۴- نصب ترموکوپل بر روی تست اواپراتور ۱۰۲

فصل پنجم ـ دستورالعمل آزمایش و جمع آوری داده ها ۱۰۵
۵-۱- عملکرد ۱۰۵
۵-۲- تعیین نشتی و شارژ سیستم ۱۰۵
۵-۳- کالیبراسیون وسایل اندازه گیری ۱۰۷
۵-۴- دقت اندازه گیری ۱۰۷
۵-۵- دستورالعمل آزمایش ۱۰۷
۵-۶- جمع آوری داده ها ۱۰۸
۵-۷- تکرارپذیری آزمایش ۱۰۹
۵-۸- شیوه محاسبه ۱۱۰
۵-۸-۱- محاسبه ضریب η ۱۱۱
۵-۸-۲- محاسبه کیفیت بخار ۱۱۱
۵-۸-۳- محاسبه ضریب انتقال حرارت h ۱۱۳

فصل ششم ـ تشریح نتایج ۱۱۶
۶-۱- مقدمه ۱۱۶
۶-۲- تعیین الگوی جریان ۱۱۶
۶-۳- تغییرات درجه حرارت دیواره ۱۱۸
۶-۴- نتایج تغییرات ضریب انتقال حرارت درلوله میکروفین دار ۱۲۲
۶-۴-۱-بررسی اثر کیفیت بخار ۱۲۳
۶-۴-۲- بررسی اثر سرعت جرمی ۱۲۸
۶-۴-۳ بررسی اثر تغییر شیب لوله ۱۳۳
۶-۵- نتیجه‌گیری مربوط به انتقال حرارت درلوله میکروفین دار با شیب های مختلف ۱۳۵
۶-۲- مقایسه داده های مطالعهٔ حاضر با روابط تجربی برای لوله میکروفین دار ۱۳۷

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل هفتم ـ نتیجه گیری ۱۴۵

۷-۱- انتقال حرارت جوششی در جریان داخل لوله میکروفین دار.....۱۴۵
۷-۲- پیشنهاد برای کارهای آینده ۱۴۷

منابع و مآخذ ۱۵۰
پیوست «الف» ۱۵۹
پیوست «ب» ۱۷۴
پیوست «ج» ۱۷۹

فهرست اشکال

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱- (الف) مقطع یک پوشش متخلخل برای جوشش(ب) ذرات متصل شده به سطح جهت افزایش چگاش لایه ای ۹

شکل ۲-۲- (الف) زبری داخل لوله برای جریان تکفاز یا دوفاز(ب) سطح زبر جهت جوشش هسته ای (ج) سیم پیچ ۱۰

شکل ۲-۳- سطوح افزایشی گازها (الف) پره های مورد استفاده در مبدل های حرارتی صفحه پره ای(ب) پره های مورد استفاده در مبدل های حرارتی اتومبیل. (ج) پره های مورد استفاده جهت لوله های دایروی. (د) لوله آلومینیومی دارای پره های یکپارچه. (ه) پره صفحه لوله ای(و) پره های موج دار مورد استفاده در بازیاب های دوار ۱۲

شکل ۲-۴-(الف) پره های یکپارچه در سطح خارجی لوله. (ب) لوله های دارای پره داخلی (پره های محوری و مارپیچ) (ج) سطح مقطع لوله های چندگانه دارای پره داخلی. (د) لوله دارای یک قطعه ستاره ای آلومینیومی ۱۳

شکل ۲-۵- (الف) ابزار دارای قطعات دیسکی. (ب) ابزار دارای قطعات دوکی شکل. (ج) سیم پیچ قابل جابه جا شدن ۱۳

شکل ۲-۶- سه نوع از وسایل ایجاد کننده جریان چرخشی. (الف) نوار پیچیده شده. (ب) ابزار دارای پره های مارپیچ. (ج) میکسر استاتیکی ۱۴

شکل ۲-۷- مبدل حرارتی با لوله های مارپیچ ۱۵

شکل ۲-۸- (الف) لوله شیاردار برای استفاده در چگالش در جهت عمودی. (ب) نحوه عملکرد کشش سطحی در تخلیه مایع ۱۵

شکل ۲-۹- روش های مورد استفاده جهت ساخت لوله های با افزایش دوگانه. (الف) پره های مارپیچ در سطح داخلی و پره های یکپارچه در سطح خارجی. (ب) پره های داخلی در درون و سطح پوشش داده شده (سطح متخلخل برای جوشش) در بیرون. (ج) نوار پیچیده شده در داخل و پره های یکپارچه در سطح خارجی. (د) سطوح موج دار در داخل و خارج. (ه) نوارهای موج دار پیچیده و جوش داده شده ۱۸

شکل ۳-۱- ضریب انتقال حرارت R-۱۳۴a و R-۱۲ بوسیله اکلز و پیت (۱۹۹۱)..... ۳۰

شکل ۳-۲- ضرایب جوشش محلی برای R-۱۳۴a بوسیله هامبراس (۱۹۹۱) ۳۰

شکل ۳-۳- داده های جوشش جریانی واتلت در دمای $5^{\circ}C$ برای R-۱۳۴a و R-۱۲ ..... ۳۳

شکل ۳-۴- تغییرات ضریب انتقال حرارت با سرعت جرمی مخلوط R-۱۳۴a و روغن RL۶۸S ۳۵

فهرست اشکال

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۳-۵- ضریب انتقال حرارت متوسط به عنوان تابعی از فشار تبخیر برای مبردهای مختلف ۴۰

شکل ۳-۶- هندسه میکروفین تیوب‌های الف) استاندارد (مارپیچ) ب) متقاطع.....۵۰

شکل ۳-۷- نمودار ضریب انتقال حرارت - کیفیت بخار در میکروفین تیوب های متقاطع توسط ویلسنت و وملینگ(۲۰۰۵) ۵۶

شکل ۳-۸- رژیم های جریان جوششی در لوله افقی (کولیر و تام ۱۹۹۴)..... ۶۹

شکل ۳-۹- رژیم های جریان جوششی در لوله عمودی رو به بالا (کولیر و تام ۱۹۹۴)..... ۶۹

شکل ۳-۱۰- رژیم های جریان جوششی در لوله عمودی رو به بالا (کولیر و تام ۱۹۹۴)..... ۷۰

شکل ۳-۱۱- مقطع عرضی و نسبت های محیطی در لوله دایروی ۷۲

شکل ۳-۱۲- نتایج آزمایشگاهی فوجی و همکارانش برای میکرفین تیوب بر روی نقشه الگوی جریان بیکر....۷۵

شکل ۳-۱۳- نتایج آزمایشگاهی اسپیندلر و استاینهاگن برای میکرفین تیوب بر روی نقشه الگوی جریان کتان- تام – فاورات، الف) برای R ۱۳۴a و ب) برای R ۴۰۴a ۷۷

شکل ۳-۱۴- مقطع طولی میکروفین تیوب در مدل جریان جدا شده..... ۸۰

شکل ۳-۱۵- مقطع عرضی میکروفین تیوب در مدل جریان جدا شده ۸۰

شکل ۳- ۱۶- مقطع عرضی فین ۸۰

شکل ۳-۱۷- پروفیل فیلم مایع در مقطع عرضی فین در ناحیه ۸۰

شکل ۳-۱۸- حل عددی پروفیل فیلم مایع در مقطع عرضی فین در الف) $xa = ۱۵۰\ \mu m$ ب) $xa = ۱۳۰\mu m$ ۸۸

شکل ۴-۱- نمای شماتیک سیستم آزمایشگاهی ۹۸

شکل ۴-۲- نمایی عکس دستگاه آزمایشگاهی ۹۹

شکل ۴-۳- لوله میکروفین‌دار آزمایش شده و مشخصات آن..... ۱۰۲

شکل ۴-۴- محل نصب ترموکوپل ها بر روی اواپراتور تست..... ۱۰۳

شکل ۵-۱- نمای شماتیک سیلندر ، پمپ خلاء و کمپرسور ۱۰۶

شکل ۵-۲- تکرارپذیری آزمایش در شرایط مشابه برای سرعت جرمی $G = ۵۳\ \ kg/m^۲s$ و $x= ۰/۶۲$ و شیب ۰ درجه (جریان افقی) ۱۱۱

شکل ۵-۳- نمودار جریان عبوری از شیر سوزنی و اواپراتورها ۱۱۲

فهرست اشکال

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۶-۱- تغییرات درجه حرارت های فوقانی و تحتانی دیواره لوله اواپراتور آزمایش شده در G=۵۳ kg/m۲s و X= ۰/۶ و شیب ۰ درجه (جریان افقی) ۱۱۹

شکل ۶-۲- تغییرات درجه حرارت های فوقانی و تحتانی دیواره لوله اواپراتور آزمایش شده در G=۱۳۵ /۷۶ kg/m۲s و X= ۰/۶۲ و شیب ۰ درجه (جریان افقی)..... ۱۱۹

شکل ۶-۳- تغییرات درجه حرارت های فوقانی و تحتانی دیواره لوله اواپراتور آزمایش شده در G=۵۳/۲۶ kg/m۲s و X= ۰/۴ و شیب ۳۰- درجه ۱۲۰

شکل ۶-۴- تغییرات درجه حرارت دو پهلوی دیواره لوله اواپراتور آزمایش شده در G=۵۳/۲۶ kg/m۲s و X= ۰/۷۵ و شیب ۶۰+ درجه ۱۲۱

شکل ۶-۵- تغییرات درجه حرارت دو پهلوی دیواره لوله اواپراتور آزمایش شده در G=۱۳۵/۶۸ kg/m۲s و X= ۰/۷۲ و شیب ۹۰- درجه (جریان عمودی رو به پایین) ۱۲۱

شکل ۶-۶- تغییرات درجه حرارت دو پهلوی دیواره لوله اواپراتور آزمایش شده در G=۱۳۵/۶۸ kg/m۲s و x= ۰/۶۲ و شیب ۹۰+ درجه (جریان عمودی رو به بالا) ۱۲۲

شکل۶-۷- تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار برای سرعت جرمی ۵۳ kg/m۲s در شیب های مختلف ۱۲۴

شکل۶-۸- تغییرات ضریب انتقال حرارت باکیفیت بخار برای سرعت جرمی ۸۰ kg/m۲s در شیب های مختلف ۱۲۴

شکل۶-۹- تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار برای سرعت جرمی ۱۰۷ kg/m۲s در شیب های مختلف ۱۲۵

شکل۶-۱۰- تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار برای سرعت جرمی ۱۳۶ kg/m۲s در شیب های مختلف ۱۲۵

شکل۶-۱۱- نحوه تغییرات مکانیزمهای جوشش(هسته‌ای و جابجایی) با کیفیت بخار ۱۲۶

شکل ۶-۱۲- تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار و برای سرعت‌های جرمی مختلف ، در شیب ۰ درجه (جریان افقی) ۱۲۹

شکل ۶-۱۳- تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار و برای سرعت‌های جرمی مختلف ، در شیب ۳۰ + درجه... .....۱۲۹

فهرست اشکال

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۶-۱۴- تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار و برای سرعت‌های جرمی مختلف ، در شیب ۶۰ + درجه ۱۳۰

شکل ۶-۱۵- تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار و برای سرعت‌های جرمی مختلف ، در شیب ۹۰ + درجه (عمودی رو به بالا) ۱۳۰

شکل ۶-۱۶- تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار و برای سرعت‌های جرمی مختلف ، در شیب ۳۰ - درجه ۱۳۱

شکل ۶-۱۷- تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار و برای سرعت‌های جرمی مختلف ، در شیب ۶۰ - درجه ۱۳۱

شکل ۶-۱۸- تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار و برای سرعت‌های جرمی مختلف ، در شیب ۹۰- درجه (عمودی رو به پایین) ۱۳۲

شکل ۶-۱۹- مقایسه ضرایب انتقال حرارت آزمایشگاهی لوله میکروفین دار افقی با پیش بینی کویاما و همکاران (۱۹۹۵) ۱۳۸

شکل ۶-۲۰- مقایسه ضرایب انتقال حرارت آزمایشگاهی لوله میکروفین دار افقی با پیش بینی اول جانگر و وینترتون (۱۹۸۵) ۱۳۹

شکل ۶-۲۱- مقایسه ضرایب انتقال حرارت آزمایشگاهی لوله میکروفین دار عمودی با پیش بینی اول جانگر و وینترتون (۱۹۸۵) ۱۳۹

شکل ۶-۲۲- مقایسه ضرایب انتقال حرارت آزمایشگاهی لوله میکروفین دار افقی با پیش بینی دوم جانگر و وینترتون (۱۹۸۷) ۱۴۰

شکل ۶-۲۳- مقایسه ضرایب انتقال حرارت آزمایشگاهی لوله میکروفین دار عمودی با پیش بینی دوم جانگر و وینترتون (۱۹۸۷) ۱۴۰

فهرست جداول

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۳-۱- ثابت های رابطه انتقال حرارت جوششی R-۱۳۴a لیو (۱۹۹۷) ۳۷

جدول ۳-۲- پارامتر سطح - سیال F_{FL} برای مبردهای مختلف در لوله های مسی و برنجی..... ۳۹

جدول ۳-۳- تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده بر روی جوشش جریانی درلوله‌های میکروفین دار..... ۵۱

جدول ۳-۴- مقادیر ثوابت استفاده شده در رابطه کاوالینی ۶۵

جدول ۳-۵- مشخصات میکروفین تیوب های آزمایش شده در تحلیل تئوری هندا و ونگ ۸۴

جدول ۳-۶- مشخصات میکروفین تیوب ها در تحلیل تئوری ویلسنت و وملینگ ۹۲

جدول ۶-۱- الگوی جریان در دبی های مختلف ۱۱۷

جدول الف-۱ شرایط آزمایشی در لوله با شیب $\alpha= ۰^{\circ}$ ۱۵۹

جدول الف-۲- شرایط آزمایشی در لوله با شیب $\alpha= +۳۰^{\circ}$ ۱۶۱

جدول الف-۳- شرایط آزمایشی در لوله با شیب $\alpha= +۶۰^{\circ}$ ۱۶۳

جدول الف-۴- شرایط آزمایشی در لوله با شیب $\alpha= +۹۰^{\circ}$ ۱۶۵

جدول الف-۵- شرایط آزمایشی در لوله با شیب $\alpha= -۳۰^{\circ}$ ۱۶۷

جدول الف-۶- شرایط آزمایشی در لوله با شیب $\alpha= -۶۰^{\circ}$ ۱۶۹

جدول الف-۷- شرایط آزمایشی در لوله با شیب $\alpha= -۹۰^{\circ}$ ۱۷۱

فهرست علایم و اختصارات

مفهوم نماد	نماد

نمادهای لاتین

سطح	A
نسبت افزایش سطح میکروفین تیوب به لوله صاف	AR
فاصله بین فین‌ها	b
سرعت	C
ثابتهای مجهول	$a_1,\ldots,a_5$, $b_1,\ldots,b_5$, $c_1,\ldots,c_5$
ظرفیت گرمایی ویژه	C_P
قطر	d
قطر داخلی لوله	D
نسبت افزایش	E
پارامتر تصحیح	F
عدد فرود	Fr
سرعت جرمی	G
شتاب جاذبه	g
ارتفاع فین	h
ضریب انتقال حرارت جابه جایی	h
انتالپی	h
انتالپی نهان تبخیر	h_{fg}
ضریب هدایت حرارتی	k
ارتفاع فین	l
طول مبدل حرارتی (لوله اواپراتور)	L
طول کل ناحیه تحت جوشش	L
جرم	m
دبی جرمی	$\dot{m}$
دبی جرمی	M
عدد نوسلت	Nu
تعداد فین ها	n
تعداد متغیرها	n
فشار استاتیک	P
افت فشار	ΔP
عدد پرانتل	Pr

فهرست علایم و اختصارات

مفهوم نماد	نماد
میزان انتقال حرارت	Q
شار حرارتی شعاعی	q
شعاع انحنا	r
مختصه شعاعی	R
عدد رینولدز	Re
اختلاف درجه حرارت متوسط لگاریتمی	ΔT_m
درجه حرارت دیواره لوله	t
ضخامت دیواره لوله	t
درجه حرارت مبرد	t
درجه حرارت متوسط دیواره داخلی	t_{wi}
درجه حرارت متوسط دیواره خارجی	t_{wo}
درجه حرارت موضعی دیواره خارجی	t_{ws}
ضریب انتقال حرارت کلی	U
سرعت	U
خطای اندازه گیری	U_R
خطای متغیر V_i	U_{V_i}
متغیر مستقل	V_i
حجم مخصوص	v
مختصه در امتداد شیارها	w
شار حرارتی	W
عدد وبر	We
مختصه	X
پارامتر مارتینلی	X_{tt}
کیفیت بخار	x
تغییر در کیفیت بخار	Δx

نمادهای یونانی

زاویه کندانسور نسبت به افق	α
ضریب وید	α
زاویه	β

فهرست علایم و اختصارات

مفهوم نماد	نماد
زاویه مارپیچ فین‌ها	β
نسبت افزایش سطح میکروفین تیوب به لوله صاف	εa
راندمان سطح ، راندمان انتقال حرارت در اواپراتور	η
لزجت دینامیکی	μ
لزجت سینماتیکی	υ
ضخامت لایه مایع	δ
چگالی	ρ
زاویه مارپیچ فین‌ها	γ
کشش سطحی	σ
زاویه تر شدگی	ζ
ضریب دوفازی	ϕ
نصف زاویه رأس فین	θ
کیفیت بخار	χ
زاویه	ψ
زاویه	ω

زیرنویس ها

مولفه محوری	a
متوسط	*av*
تحتانی	B
پایه فین	*b*
جوشش جابجایی	C
بحرانی	cr
معادل	eq
مایع	f
گاز	g
داخلی	i
ورودی	in
مایع	*l*
متوسط	m
جوشش هسته ای	NCB

فهرست علایم و اختصارات

مفهوم نماد	نماد
خارجی	o
خروجی	o
خروجی	out
لوله صاف	P
کاهش یافته	r
مبرد	R
جریان چرخش	s
اشباع	sat
مولفه مماسی	t
فوقانی	T
دو فاز	TP
دیواره	W

بالانویس ها

مقدار متوسط	–
درجه	°

اعداد بی بعد

عدد جوشش	$Bo = \frac{q}{Gh_{fg}}$
عدد فرود	$Fr = \frac{G^2}{\rho^2 gD}$
عدد نوسلت	$Nu = \frac{hD}{k}$

فهرست علایم و اختصارات

مفهوم نماد	نماد
عدد پرانتل	$\Pr = \frac{\mu C_p}{k}$
عدد رینولدز	$\mathrm{Re} = \frac{GD}{\mu}$
عدد وبر	$We = \frac{G^2 D}{\rho \sigma}$
پارامتر مارتینلی	$X_{tt} = \left(\frac{1-x}{x}\right)^{0.9} \left(\frac{\rho_g}{\rho_f}\right)^{0.5} \left(\frac{\mu_f}{\mu_g}\right)^{0.1}$