٣٣٠٨٤

۱۰ /۱۲/ ۱۳۷۹

دانشگاه مازندران

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تقدیم مدارک

دانشگاه مازندران

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه

۱۰۲۴۱

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

موضوع:

تحلیل عددی جریان وانتقال حرارت سیال داخل یک کانال دو بعدی پره گذاری شده

استاد راهنما : دکتر مفید گرجی

استاد مشاور : دکتر احمد علی شهدائی

نگارش :

حسن اکبرزادگان نجار

آذر ۱۳۷۹

۳۳۰۸۴

منت خدای را عز و جل .....

تشکر و قدردانی

انجام این پروژه بیش از همه مدیون استادان ارجمند آقایان دکتر مفید گرجی ودکتر احمدعلی شهدایی است که در تمام مراحل راهنمائیهای ایشان راهگشای انجام کار بوده است .

همچنین لازم می دانم از استاد گرامی جناب آقای دکتر حسن خالقی که دلسوزانه مرا در دوره کارشناسی ارشد راهنمایی نموده اند تشکر و قدردانی نمایم. و نیز مراتب تشکر و سپاس عمیق خود را نسبت به آقای دکتر محمود مقدم ابراز می دارم.

در آخر از کسانی که مرا در تهیه و تدوین این رساله یاری نمودند کمال امتنان را دارم .

محمد رضا اکبرزادگان -

تقدیم به ....

پدر بزرگوارم

قله شکوهمند تلاش،

غرور، گذشت و

ایستادگی درزندگی

و

مادر مهربانم

آئینه مهر،

صفا و

پارسائی

که هرچه دارم،

از وجود پروجود آنهاست.

محمدرضا اکبرزادگان

تقدیم به :

همسر عزیز و فداکارم که بدون زحمات وتلاشهای بی وقفه او
پیمودن این راه میسر نبود
و نیز تقدیم به فرزند دلبندو امید زندگیم نگین

که تمام وجودم برای آنهاست.

محمدرضا اکبرزادگان

بسم الله الرحمن الرحیم

چکیده

به دلیل افزایش روزافزون استفاده از مبدل های حرارتی فشرده ، ارائه روش ها و ابزارهایی که بتوان با استفاده از آنها جریان سیال و انتقال حرارت را در چنین وسایلی تحلیل نمود ضروری می باشد . یکی از روش هایی که برای تحلیل این گونه مسایل در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته و در این پروژه نیز انجام شده است روش حل عددی جریان سیال و انتقال حرارت در یک کانال دو بعدی پره گذاری شده می باشد . کانال مورد بحث از دو صفحه تخت موازی تشکیل شده که به منظور افزایش نرخ انتقال حرارت تعدادی پره (FIN) به صورت یک در میان (Staggered) در آن قرار داده شده است و هر دو صفحه و پره ها در یک دمای ثابت یکسان قرار دارند . حالت خاصی که در این رساله برای این نوع کانال ها در نظر گرفته شده است جریان آرام سیال (اعداد رینولدز کوچک) می باشد . این حالت از نظر فیزیکی در مبدل های حرارتی فشرده پیش می آید . در اعداد رینولدز پایین گرادیان های عادی دما به اندازه کافی بزرگ نیستند تا ضرایب انتقال حرارت به اندازه کافی بزرگ و مورد نظر برای طراحی را برآورده سازند. از این رو در ساخت این گونه مقاطع با تغییر شکل هندسی سعی در افزایش ضریب انتقال حرارت می نمایند .

برای حل مسئله مورد نظر به یک نرم افزار توانمند که با استفاده از یک روش عددی مناسب معادلات میدان جریان را حل نماید ، نیاز داریم . در این پروژه این نرم افزار با استفاده از الگوریتم SIMPLER نوشته شده و به صورت یک کد در آمده است . از مزایای این نرم افزار انعطاف پذیری آن در تغییر شرایط مرزی و شکل کانال و پارامترهای مختلف مرتبط به انتقال حرارت و جریان سیال (از قبیل عدد رینولد و عدد پرانتل و ...) می باشد . نتایج به دست آمده حاکی از این است که با افزایش ارتفاع پره ها ضریب انتقال حرارت و افت فشار افزایش می یابند . بنابراین برای طراحی این گونه کانال ها باید شرایط بهینه از نظر افزایش انتقال حرارت در مقابل افت فشار بدست آید تا در ملاحظات اقتصادی طراحی لحاظ گردد . با استفاده از نرم افزار نوشته شده بررسی این مسائل امکان پذیر می باشد .

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
- مقدمه	۵
-حروف و علائم	۸
۱- فصل اول : معرفی مسئله	
۱-۱) تعریف هندسه مسئله	۱۱
۱-۲) بررسی کارهای تئوری و تجربی انجام یافته	۱۱
۲- فصل دوم : بررسی فیزیک مسئله و معادلات حاکم بر جریان سیال	
۲-۱) فرضیات مسئله	۱۶
۲-۲) معادلات حاکم بر جریان سیال	۱۶
۳- فصل سوم : روش عددی مناسب جهت حل معادلات حاکم بر جریان سیال	
۳-۱) مقدمه	۲۰
۳-۲) معادله دیفرانسیل کلی	۲۱
۳-۳) ساختمان معادله انفصال	۲۲
۳-٤) روش های بدست آوردن معادلات انفصال	۲۲
۳-٤-۱) استفاده از سری تیلور	۲۲
۳-٤-۲) روش حساب تغییرات	۲۳
۳-٤-۳) روش باقی مانده های وزنی	۲۳
۳-٤-٤) روش حجم محدود	۲٤
۳-۵) معادله انفصال برای انتقال حرارت ازطریق هدایت با استفاده از روش حجم محدود	۲۵
۳-۶) چهار قاعده اصلی	۲۸

٤- فصل چهارم : گسسته سازی معادله جابجایی - پخش

٤-١) گسسته سازی معادله جابجایی - پخش یک بعدی پایدار ٣٠
٤-١-١) روش تفاضل مرکزی ٣١
٤-١-٢) روش up wind ٣٢
٤-١-٣) حل دقیق ٣٤
٤-١-٤) طرح نمایی ٣٥
٤-١-٥) طرح پیوندی ٣٧
٤-١-٦) طرح قاعده توانی ٣٩
٤-٢) رسیدن به یک رابطه کلی ٤٠
٤-٣) معادله انفصال کلی برای حالت دوبعدی ٤٤
٤-٤) حل معادلات جبری خطی ٤٧

٥- فصل پنجم : محاسبه میدان جریان

٥-١) تعمیم روش حجم محدود به معادلات مومنتوم ٥١
٥-٢) نیاز به دستورالعملی خاص ٥١
٥-٣) معادلات مقدار حرکت ٥٣
٥-٤) تصحیح فشار و سرعت ٥٥
٥-٥) معادله تصحیح فشار ٥٦
٥-٥) شرایط مرزی برای معادله تصحیح فشار ٥٨

٦- فصل ششم : الگوریتم حل معادلات حاکم بر میدان جریان

٦-١) الگوریتم Simple ٦٢
٦-٢) الگوریتم Simpler ٦٣
٦-٣) الگوریتم Simplec ٦٥
٦-٤) الگوریتم انسداد ٦٦

٧- فصل هفتم : برنامه کامپیوتری

٧-١) معرفی برنامه کامپیوتری ٦٩
٧-٢) فلوچارت برنامه ٧١
٧-٣) برنامه کامپیوتری ٧٢

۸- فصل هشتم : ارائه و تحلیل نتایج

۸-۱) مقدمه ۸۷

۸-۲) میدان جریان ۸۷

۸-۳) میدان فشار ۸۸

۸-٤) میدان دما ۸۸

۹- فصل نهم : جمع بندی ۱۰٤

۱۰- فصل دهم : ضمائم

- ضمیمه الف : روش حل دستگاه معادلات سه قطری ۱۰۷

- ضمیمه ب : روش حل دستگاه معادلات پنج قطری ۱۰۹

۱- روش خط به خط (line - by - line) ۱۰۹

۲- روش نقطه به نقطه (point - by - point) ۱۱۰

- مراجع ۱۱۲

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ : هندسه مسئله ۱۱
شکل ۱-۲ : دامنه فیزیکی کانال مطالعه شده توسط پتنکار و کلکار ۱۲
شکل ۱-۳ : مبدل حرارتی بررسی شده توسط Chen و همکاران ۱۳

شکل ۳-۱ : روند حل عددی معادلات حاکم برجریان سیال ۲۰
شکل ۳-۲ : سه گره متوالی استفاده شده برای بسط سری تیلور ۲۳
شکل ۳-۳ : دسته گره استفاده شده برای مسئله یک بعدی ۲۶
شکل ۳-٤ : حجم کنترل برای وضعیت دو بعدی ۲۷

شکل ٤-۱ : شبکه یک بعدی برای گسسته سازی میدان سرعت ۳۱
شکل ٤-۲ : جواب دقیق برای مسئله جابجائی= پخش یک بعدی[۹] ۳۵
شکل ٤-۳ : تغییرات ضریب a_E نسبت به عدد پکلت[۹] ۳۷
شکل ٤-٤ : شار کلی J بین دو گره شبکه ٤۱
شکل ٤-۵ : تغییرات B و A نسبت به عدد پکلت[۹] ٤۲
شکل ٤-۶ : حجم کنترلی برای وضعیت دو بعدی ٤٤

شکل ۵-۱ : مکانهای جابجا شده برای $\mathbf{u}$ و $\mathbf{v}$ ۵۳
شکل ۵-۲ : حجم کنترلی برای $\mathbf{u}$ ۵۳
شکل ۵-۳ : حجم کنترلی برای $\mathbf{v}$ ۵۳
شکل ۵-٤ : حجم کنترلی برای معادله پیوستگی ۵۷
شکل ۵-۵ : حجم کنترلی مرزی برای معادله پیوستگی ۵۹

شکل ۷-۱ : استقرار شبکه برای حل عددی جریان سیال ۸۵
شکل ۷-۲ : استقرار شبکه برای حل عددی میدان دما ۸۵

شکل ۸-۱ : اثر عدد رینولدز بر جریان سیال برای F/H = 0.5 ۹۰
شکل ۸-۲ : خطوط جریان برای F/H=0.5 در رینولدزهای مختلف ۹۱
شکل ۸-۳ : تاثیر ارتفاع پره بر جریان سیال برای Re=200 ۹۲
شکل ۸-٤ : خطوط جریان برای Re=200 در ارتفاعهای مختلف پره ها ۹۳
شکل ۸-۵ : پروفیل سرعت در مقاطع مختلف کانال برایRe=200 ۹٤
شکل ۸-۶ : کانتور فشار برای Re=200 و F/H متفاوت ۹۵
شکل ۸-۷ : اثر ارتفاع پره بر افت فشار ۹۶
شکل ۸-۸ : تاثیر عدد رینولدز بر افت فشار ۹۷
شکل ۸-۹ : کانتور دما در کانال برای Re=200 و F/H متفاوت ۹۸
شکل ۸-۱۰ : تاثیر ارتفاع پره بر دمای خروجی سیال در Re=200 ۹۹
شکل ۸-۱۱ : کانتور دما برای اعداد رینولدز مختلف در F/H = 0.5 ۱۰۰
شکل ۸-۱۲ : شکلهای مربوط به مرجع [۲] ۱۰۱
شکل ۸-۱۳ : شکلهای مربوط به مرجع [۷] ۱۰۲
شکل ۸-۱٤ : بردارهای سرعت برای عدد رینولدز Re=150 مرجع [۷] ۱۰۳

مقدمه

امروزه استفاده از روش های عددی در محاسبات کامپیوتری از اهمیت زیادی برخوردار بوده و به عنوان ابزاری کارآمد در طراحی وسایل مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد . بدون شک ، قسمت عمده ای از پیشرفت تکنولوژی و صنعت در سال های اخیر مدیون کاربرد کامپیوتر و گسترش و تکامل تکنیک های عددی می باشد . درزمینه انتقال حرارت و مکانیک سیالات نیز محاسبات عددی مورد استفاده بسیاری از محققان و طراحان قرار گرفته و حل بسیاری از مسایل پیچیده بدون استفاده از روش های عددی و کامپیوتر امکان پذیر نیست .

مطالب این رساله مربوط می شود به انتقال حرارت و جریان سیال . تقریباً تمام روش های تولید قدرت شامل جریان سیال و انتقال حرارت به عنوان فرایند های اصلی می باشند . همین فرایند ها در گرمایش و تهویه مطبوع ساختمان ها نقش اساسی دارند . در بخش های مهمی از صنایع شیمیایی و متالوژی شامل قسمت هایی همچون کوره ها ، مبدلهای حرارتی و کندانسورها فرایند انتقال حرارت و جریان سیال بکار گرفته می شود . مبدل های حرارتی با اعداد رینولدز پایین [1] در صنعت کاربردهای زیادی یافته اند . استفاده از تبادل گرماهای حرارتی فشرده [2] به دلیل زیاد بودن مقدار انتقال حرارت نسبت به حجم و وزن روز به روز در حال افزایش می باشد در این مبدل ها عمدتاً به دلیل کوچک بودن مقاطع عبور جریان سیال ، عدد رینولدز پایین بوده و بنابراین معمولاً گرادیان های عادی سرعت و دما به اندازه کافی بزرگ نمی باشند تا ضرایب انتقال حرارت به قدر کافی بزرگ و مورد نظر برای طراحی این نوع مبدل ها را برآورده نمایند . از این رو در این گونه مقاطع برای افزایش ضریب انتقال حرارت از یکی از روش های بهبود انتقال حرارت [3] بهره گرفته می شود .

1- Low Reynolds Number Flow Heat Exchanger
2- Compact Heat Exchangers
3- Heat Transfer Augmentation

روش های بهبود انتقال حرارت را می توان به دو دسته تقسیم نمود :

۱- روش های فعال [1] بهبود انتقال حرارت

۲- روش های غیر فعال [2] بهبود انتقال حرارت

در روش های فعال بهبود انتقال حرارت از یک منبع تولید یا جذب حرارت جهت افزایش نرخ انتقال حرارت کمک گرفته می شود (المنت ، گرمکن ، سرد کن و ...)

در روش های غیر فعال بهبود انتقال حرارت با استفاده از تغییر شکل هندسی سیستم سعی در افزایش انتقال حرارت می شود . به عنوا ن مثال برای روش های غیر فعال بهبود انتقال حرارت می توان به موارد زیر اشاره نمود :

۱- استفاده از سطوح گسترده [3] با اشکال هندسی مختلف مانند انواع پره ها

۲- استفاده از گذرگاهی که دارای زبری سطح بیشتری باشد

۳- استفاده از شیارهای جناقی شکل [4] و ...

در این رساله به بررسی یکی از روش های بهبود انتقال حرارت با هندسه ای خاص که از نوع سطوح گسترده می باشد پرداخته می شود . می دانیم که مسایل لایه مرزی و همینطور جریان های چرخشی [5] پدیده هایی ذاتاً غیر خطی هستند . حال با استفاده از تبدیلات تشابهی [6] و یا فرمولاسیون انتگرالی و فرض یک پروفیل تقریبی ، می توان معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزیی را به معادلات دیفرانسیل معمولی تبدیل کرد . البته پس از اینکه حد توانایی و محدوده پوشش دهی روش حل تشابهی مشخص شد ، عمده تلاش ها بر حل معادلات از طریق روش انتگرالی معطوف شد و دراین بین مسائل بسیاری حتی برای حالات نسبتاً پیچیده حل شدند . اما واقعیت این است که برای حالات عمومی جریان آرام و لایه مرزی و همچنین جریانهای آشفته با مدل های یک و یا دو معادله ای ، لزوماً باید معادلات دیفرانسیل غیر خطی با مشتقات جزیی حل شوند .

افزایش توانایی کامپیوتر ها و همچنین پیشرفت های علمی در زمینه حل عددی معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزیی باعث شده که امروزه تقریباً تمام تلاش ها به حل مستقیم معادلات غیرخطی با مشتقات جزیی با استفاده از روش های عددی معطوف گردد . اکنون دیگر روش های عددی به کرات امتحان خودرا پس داده وبه شکل ابزاری مطمئن و نسبتاً سهل الوصول درآمده اند .

روشهای عددی در کلی ترین تعریف عبارتند از نسخه منفصل شده روش های تحلیلی . با این

1- Active
2- Passive
3- Extended surfaces
4- Rib Shoped grooves
5- Recirculating flow
6- Similarity transformation

تعریف، منفصل سازی های دیفرانسیلی به روش های تفاضل محدود [1] [۱۹] و منفصل سازی های کلی (از جمله روش های انتگرالی ، حساب تغییرات یا روش های باقیمانده وزنی) به روش اجزاء محدود [2] منتهی می گردند . البته هر دو این روشها در نهایت منجر به حل عددی یک سری معادلات جبری خواهند شد . روش اجزاء محدود ابتدا جهت تحلیل سازه ها و تحلیل تنش در مکانیک جامدات ابداع شد و سپس دامنه کاربرد آن به مبحث مکانیک سیالات و انتقال حرارت جابجایی کشیده شد . اگر چه این روش با یک دامنه منفصل شده داده شده ، نسبت به روش تفاضل محدود دقیق تر است ، لیکن هم تئوری و هم کاربرد آن مشکل تر از روش تفاضل محدود است و از طرف دیگر ، طبیعت منفصل سازی آن به گونه ای است که ایده آل برای پوشش دهی دامنه های فیزیکی پیچیده و غیر معمول است و از آنجاییکه این قبیل اشکال عموماً در مباحث انتقال جابجایی بندرت پیش می آیند ، لذا عمده مسایل انتقال حرارت جابجایی توسط روش های تفاضل محدود حل می گردند . روش های تفاضل محدود به طور مستمر در تحلیل عددی دستگاه های انتقال حرارت بکار رفته است و خصوصاً در تحلیل عملکرد مبدل های حرارتی یکی از ابزارهای کار آمد به شمار می رود . در این پروژه ما قصد تحلیل عددی یک گذرگاه تبادل حرارت را با استفاده از روش حجم محدود [3] داریم .

1- Finite difference
2- Finite element
3- Finite volume

حروف و علائم

مساحت	A
ظرفیت حرارتی ویژه سیال	C_P
جرم حجمی سیال	ρ
لزجت دینامیکی سیال	μ
لزجت سینماتیکی سیال	ν
ضریب نفوذ	Γ
ضریب نفوذ برای متغیر Φ	Γ_φ
متغیر مجهول	Φ
متغیر Φ در گره های همسایه	Φ_{nb}
شار کلی در جهت x	J_x
شار کلی در جهت y	J_y
طول کانال	L
ارتفاع کانال	H
ارتفاع پره	F
ضخامت پره	t
قطر هیدرولیکی	$D_h = 2.H$
دمای دیواره	Twall
دمای ورودی سیال	Tin
دمای سیال	T
فشار سیال	P
تصحیح فشار	P'
فشار بدون بعد	$p^* = \frac{P - P\infty}{\rho \times u_\infty^2}$