بسم الله الرحمن الرحيم

٣١٠٤١

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

۱۳۷۹ /۸/ ۱

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی
بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مکانیک

تحت عنوان

بررسی عددی انتقال حرارت جریان آرام و دائمی در برخورد به یک مانع روی یک سطح صاف و بدست آوردن ضریب انتقال حرارت جابجایی

مولف

حمیدرضا فرخیان

18439

استاد راهنما

دکتر سید حسین منصوری

شهریور ماه ۱۳۷٤

ب ۳۱۰۴۱

بسمه تعالی

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد مکانیک

بـه

بخش مهندسی مکانیک

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته‌نمی شود

دانشجو : حمیدرضا فرخیان

استاد راهنما : دکتر سید حسین منصوری

داور ۱ : دکتر علی کشاورز

داور ۲ : مهندس محمد رهنما

دانشگاه شهید باهنر
کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

حق چاپ محفوظ و مخصوص مولف است.

بیاد پدرمهربانم

و

تقدیم به مادرعزیزم

سپاس

بارالها:

سپاس ترا که به من قدرتی عطا فرمودی تا بتوانم دربارهٔ قطره‌ای از دریای بیکران علم، به مطالعه و پژوهش بپردازم و به یمن عنایت بی‌انتهایت تحقیق خود را به نگارش درآورده و با یاری تو و همکاری و تلاش اساتید محترم که همیشه ودر همه حال مرا همراهی و از هیچ تلاشی دریغ نفرموده با موفقیت به اتمام برسانم.

برخود واجب می‌دانم از زحمات ارزشمند کلیه این محترمان سپاسگزاری نمایم، خصوصاً از جناب آقای دکتر منصوری و جناب آقای مهندس رهنما اساتید راهنمای این پایان‌نامه که در طول تهیه و تدوین این مهم مرا رهنمون بوده و از ارائه پیشنهادات و نظریات سازندهٔ خود در تکمیل این پژوهش کمال سعی و کوشش را نموده‌اند تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر سینایی ریاست محترم بخش مکانیک و جناب آقای دکتر کشاورز داور این پایان‌نامه و کلیه دوستان که در انجام این پژوهش کمال همکاری را نمودند تشکر و قدردانی می‌کنم.

لازم می‌دانم از مساعدت‌های مختلف مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی (ماهان کرمان) به هنگام انجام این پروژه قدردانی نمایم.

درخاتمه از مؤسسه کامپیولیزرتایپ جهت همکاری صمیمانه‌شان، در نگارش و تایپ این پایان‌نامه کمال امتنان و تشکر را دارم.

چکیده

هدف این مطالعه بررسی و حل معادلات دو بعدی حاکم بر جریان آرام و دائمی در برخورد به یک مانع روی یک سطح صاف و مطالعه نحوه تأثیرگذاری مانع بر انتقال حرارت می‌باشد. وجود یک مانع در سر راه عبور جریان باعث پیدایش چرخش جریان شده و چرخش جریان باعث تغییر در ضریب انتقال حرارت جابجایی و در نتیجه میزان انتقال حرارت می‌شود.

در این مسئله معادلات پیوستگی، مومنتم و انرژی بر مبنای حجم کنترل با استفاده از روش کوئیک ($Quick$) به شکل معادلات جبری درآمده و با استفاده از روش شبکهٔ نقاط جابجاشده ($Staggered$) و استفاده از الگوریتم سیمپل ($Simple$) حل شده‌اند در مسئله فوق ابتدا توزیع سرعت و بعد با استفاده از آن توزیع دما بدست آمده و در پایان ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد نوسلت در محدوده برآمدگی بدست خواهد آمد. شبکه نقاط انتخاب شده به دلیل وجود ناحیه چرخش، غیریکنواخت بوده و به گونه‌ای است که در مجاورت با سطوح تمرکز نقاط داشته باشیم. شکل هندسی برآمدگی مورد نظر به صورت چهارضلعی بوده و محاسبات برای نسبت طول به ارتفاع ۱، ۲، ۴ و عدد رینولدز بین محدوده $۶۰ < Re < ۲۶۰$ انجام شده است.

تأکید این تحقیق بر استفاده از روش کوئیک در مجزا سازی جمله جابجایی در معادلات می‌باشد روش کوئیک یک روش تفاضل محدود ضمنی ($Explicit\ finite\ difference$) است که برای مواقعی که مقدار جملهٔ جابجائی قابل ملاحظه باشد طرّاحی شده است. بطور کلی این روش پایدارتر از روش تفاضل مرکزی ($Central\ Schem$) دقیق‌تر از روش بالادست ($Upwind\ Schem$) بوده و برای حالت جابجائی خالص از دقّت مرتبه سه برخوردار می‌باشد حتی برای ترکیب جابجائی زیاد و هدایت روش دارای دقّت مرتبه سه است بنابراین بعضی اوقات، بعنوان روش بالادست از مرتبه سه ($third-order\ Upwinding$) شناخته می‌شود.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱ تاریخچه	۱
۱.۱ مقدمه	۲
۲.۱ تاریخچه مقالات	۳
فصل ۲ معادلات حاکم	۷
۱.۲ مقدمه	۸
۲.۲ معادلات بقاء	۸
۳.۲ شرایط مرزی	۹
۴.۲ دامنه محاسبات	۱۰
فصل ۳ روش انفصال	۱۱
۱.۳ مفهوم انفصال	۱۲
۲.۳ ساختمان معادله انفصال	۱۲
۳.۳ روشهای بدست آوردن معادلات انفصال	۱۳
۴.۳ بدست آوردن معادله انفصال با استفاده از حجم کنترلی	۱۳
۵.۳ روش کوئیک (Quick)	۱۴
۱.۵.۳ الگوریتم کوئیک	۱۴
۲.۵.۳ رابطه دوبعدی کوئیک با توزیع نقاط غیریکنواخت	۱۷
۳.۵.۳ دقت و پایداری روش کوئیک	۲۱
۴.۵.۳ مقایسه روش کوئیک از نظر دقت با دیگر روشها	۲۵
۵.۵.۳ مقایسه روش کوئیک از لحاظ زمان محاسبات با روشهای دیگر (نرخ همگرائی)	۲۶
۶.۵.۳ نتیجه گیری	۲۹
فصل ۴ حل عددی معادلات دیفرانسیل	۳۱
۱.۴ برنامه کامپیوتری	۳۲
۲.۴ شبکه نقاط	۳۳
۳.۴ لزوم استفاده از شبکه نقاط جابجاشده	۳۳

۴.۴ چاره‌جویی: شبکه جابجاشده ... ۳۵
۵.۴ معادلات مومنتم ... ۳۷
۶.۴ تصحیح فشار و سرعت ... ۴۰
۷.۴ معادله تصحیح فشار ... ۴۱
۸.۴ الگوریتم سیمپل ... ۴۲
فصل ۵ بحث و نتیجه‌گیری ... ۴۳
۱.۵ حل عددی جریان بین دو صفحه موازی ... ۴۴
۲.۵ جدایش: جریان برگشتی ... ۴۷
۳.۵ میدان جریان ... ۴۸
۴.۵ محاسبه عدد نوسلت ... ۵۱
۵.۵ محاسبه گرادیان درجه حرارت در نزدیکی سطح ... ۵۱
۶.۵ عدد نوسلت ... ۵۳
۷.۵ مقایسه نتایج این پایان نامه با نتایج ارائه شده در مقالات ... ۵۵
۸.۵ نحوه تأثیر تغییر نسبت طول به ارتفاع بر آمدگی بر انتقال حرارت ... ۶۲
۹.۵ خطوط همدما ... ۶۲
مراجع ... ۶۶
ضمیمه ... ۶۷
فلوچارت برنامه کامپیوتری ... ۶۸
برنامه کامپیوتری ... ۶۹

فصل اول

تاریخچه

۱.۱ مقدمه

حجم بسیار بالای تبادل حرارتی بین سطوح و سیّالات در مبدّلهای حرارتی مورد استفاده در نیروگاهها، راکتورهای هسته‌ای، توربین‌ها، صنایع شیمیائی و دیگر سیستم‌های حرارتی این نیاز اساسی و دائم را ایجاد می‌نماید که بتوانیم بار حرارتی انتقال یافته به ویا از واحد سطح را افزایش داده و از این طریق ضمن کوچکتر نمودن ابعاد مبدّلها در هزینه‌های ساخت، استفاده و تعمیر و نگهداری این سیستم‌های حرارتی صرفه‌جوئی نمائیم.

مسئله یافتن راه حل‌هائی برای افزایش بار حرارتی انتقال یافته از سطوح که تعریف ساده‌ای از توسعه انتقال حرارت می‌باشد موضوع شاخه مهمی از تحقیقات انجام شده در زمینه علوم حرارتی بوده است و مجموعه نسبتاً بزرگی از کارهای تئوری و تجربی انجام شده در این زمینه در کارنامه مهندسین و پژوهشگران نیم قرن گذشته وجود دارد.

روشهای زیادی برای افزایش میزان انتقال حرارت بر روی سطوح و کانالها وجود دارد که هر کدام از طریق متفاوتی انتقال حرارت را بهبود می‌بخشند در یکی از این روشها جریان سیال را از طریق اضافه نمودن قطعاتی به سطوح و یا از طریق تغییر شکل آنها تحت تأثیر قرار داده و میزان تبادل حرارت را افزایش می‌دهند این افزایش انتقال حرارت همیشه همراه با افزایش افت فشار و ضریب اصطکاک می‌باشد که در پایان نیرو و هزینه لازم برای رانش سیال را افزایش خواهد داد.

در یکی از این روشها با زبر کردن سطوح معمولا با ایجاد خم، زانو و دندانه‌دار کردن سطوح و یا احداث برآمدگی‌های متوالی لایه آرام مجاور سطح را به هم زده و از این طریق، عمل افزایش میزان انتقال حرارت را انجام می‌دهند.

موضوع مورد بحث در این تحقیق درباره حالت خاص جدایش جریان در حالت دوبعدی در عبور جریان از روی یک سطح که دارای برآمدگی است می‌باشد در این مسئله جریان کاملاً آرام است یعنی نه تنها جریان در نزدیکی برآمدگی بلکه در ناحیه جدایش آرام می‌باشد نتایج حاصل از حل عددی چنین مسئله‌ای ممکن است اطلاعات لازم برای طرّاحی در سیستم خنک‌سازی داخلی پره‌های توربین و وسایل الکترونیکی و مبدّلهای حرارتی را فراهم نماید.

۲.۱ تاریخچه مقالات:

برای حل مسائل مکانیک سیالات و انتقال حرارت سه روش تجربی، نظری و عددی وجود دارد. روش تجربی واقعی‌ترین روش و روش نظری یا تئوریک اطلاعات عمومی مرتبی که غالباً بصورت فرمول بیان شده است را ارائه می‌دهد. روش عددی علاوه بر عدم محدودیت در خطی بودن، فیزیک‌های پیچیده را در بر می‌گیرد و می‌توانیم تحولات زمانی جریان را مورد بررسی قرار دهیم. پیشرفت و گسترش کامپیوترهای با سرعت بالا تأثیر عمیقی بر چگونگی اعمال مبانی علوم مکانیک سیّالات و انتقال حرارت در مسائل کاربردی و طرّاحی عملی مهندسی جدید داشته است.

امروزه استفاده از روشهای عددی در محاسبات کامپیوتری از اهمیت زیادی برخوردار بوده و به عنوان ابزاری کارآمد در طرّاحی وسایل مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد بدون شک، قسمت عمده‌ای از پیشرفت تکنولوژی و صنعت در سالهای اخیر مدیون کاربرد کامپیوتر و گسترش و تکامل روشهای عددی می‌باشد در زمینه انتقال حرارت و مکانیک سیّالات نیز محاسبات عددی مورد استفاده بسیاری از محقّقان و طرّاحان قرار گرفته و حل بسیاری از مسائل پیچیده بدون استفاده از روشهای عددی و کامپیوتری امکان‌پذیر نیست.

حل عددی مسئله مورد نظر به چند روش انجام و نتایج در مقالات مختلفی ارائه شده که مبنای مقایسه ما با حل به روش کوئیک می‌باشد.

توسعه کار بر روی مبدّلهای حرارتی و سیستم خنک‌سازی تجهیزات الکترونیکی نیاز به اطلاعات کمّی درباره نرخ انتقال حرارت در ناحیه جدایش جریان را بیان می‌نماید به این منظور کارهای زیادی در این مورد انجام شده است که در زیر به ذکر چند نمونه می‌پردازیم.

مطالعه و تحقیق در مورد حالت خاص جدایش جریان دوبعدی در حالت عبور جریان دائمی و آرام روی یک سطح که دارای برآمدگی است توسط شوشینگ و دیگران [۱] در سال ۱۹۸۷ انجام گرفته است. در این تحقیق توزیع سرعت و درجه حرارت در سرتاسر میدان حل، به روش عددی هیبرید $(Hybrid)$ و الگوریتم سیمپل محاسبه و با عنایت به اینکه تمام دیواره‌ها در یک درجه حرارت یکنواخت قرار دارند محاسبات برای نسبت پهنا به ارتفاع ۱، ۲، ۴ به ازاء سه عدد رینولدز ۲۵۴، ۱۲۷، ۶۳/۵ و جریان کاملاً آرام انجام شده است. نتایج مقاله فوق نشان می‌دهد که متوسط عدد نوسلت در مجاورت برآمدگی تابعی از عدد رینولدز و نسبت پهنا به ارتفاع برآمدگی می‌باشد که می‌تواند توسط رابطه زیر به هم مربوط شود.

$$\bar{N}U_t = (0.0731RE_s)^{0.49}(W/S)^{0.25} \qquad (۱_۱)$$

در عبارت فوق W, S به ترتیب ارتفاع و پهنای برآمدگی و RE_s عدد رینولدز جریان ورودی با طول مشخصهٔ برابر با ارتفاع برآمدگی می‌باشد.

همچنین در این مقاله آمده است که هنگامیکه لایه مرزی به یک برآمدگی به شکل مستطیل نزدیک می‌شود امکان وجود سه ناحیه چرخش وجود دارد. اولین ناحیه از دیوار بالادست نزدیک برآمدگی تا دیوار جلوی برآمدگی که اغلب زیر گوشه تیز قرار دارد. دومین ناحیه از دیوار عقب برآمدگی تا پائین دست و سومین ناحیه چرخش ممکن است در بالای برآمدگی وجود داشته باشد که وجود آن بستگی به عدد رینولدز و نسبت پهنا به ارتفاع برآمدگی دارد رفتار عدد نوسلت در مجاورت برآمدگی به این صورت ذکر شده است که در روی دیوار بالادست مقدار عدد نوسلت در ناحیه جدایش در ابتدای برآمدگی کمترین مقدار و هر چه به قسمت بالای برآمدگی نزدیک شده افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار عدد نوسلت روی دیوار بالادست متعلق به قسمت بالای برآمدگی می‌باشد. در روی دیوار پائین دست وضعیتی مشابه دیوار بالادست داشته و بیشترین مقدار عدد نوسلت در قسمت بالای برآمدگی می‌باشد و بطور کلی عدد نوسلت روی دیوار بالادست از دیوار پائین‌دست بزرگتر می‌باشد.

در مورد سطح قبل از برآمدگی با نزدیک شدن به برآمدگی به دلیل نزدیک شدن به ناحیه چرخش عدد نوسلت کاهش می‌یابد. بر روی سطح بعد از برآمدگی با دورشدن از برآمدگی به دلیل دور شدن از ناحیه چرخش، عدد نوسلت افزایش می‌یابد در مورد سطح روی برآمدگی بسته به وجود یا عدم ناحیه چرخش نحوه رفتار عدد نوسلت متفاوت می‌باشد. در صورت وجود ناحیه چرخش، بیشترین مقدار عدد نوسلت در ابتدای برآمدگی بوده و با نزدیک شدن به ناحیه چرخش عدد نوسلت کاهش و کمترین مقدار عدد نوسلت در ناحیه چرخش خواهد بود و با دورشدن از ناحیه چرخش مجدداً عدد نوسلت افزایش می‌یابد. در صورت عدم وجود ناحیه چرخش مانند حالت قبل عدد نوسلت بیشترین مقدار خود را در ابتدای برآمدگی داشته و با دور شدن از آنجا عدد نوسلت کاهش و کمترین مقدار را در انتهایی برآمدگی خواهد داشت.

حل عددی معادلات حاکم بر مسئله فوق بوسیله مجزّاسازی جملات جابجائی در معادلات، با روش بالادست برای اعداد پکلت $(Peclet - Number)$بزرگتر از دو و استفاده از روش تفاضل مرکزی برای عدد پکلت کوچکتر یا برابر دو و مجزاسازی جملهٔ پخش در معادلات با استفاده از روش تفاضل مرکزی توسط یات‌سن و دیگران [۲] در سال ۱۹۸۷ انجام شده است. آنچه به عنوان نتیجه آمده، این است که شروع ناحیه چرخش در عدد رینولدز بالاتر زودتر از عدد رینولدز پائین اتفاق می‌افتد و طولی که جریان بعد از برآمدگی مجدداً پیوسته می‌شود افزایش می‌یابد به این معنی که در عدد رینولدز بالادر فاصله دورتری از برآمدگی جریان پیوسته می‌شود.

همچنین مقاله فوق بیان می‌کند که بیشترین سرعت برگشتی در قسمت بالادست از بیشترین سرعت برگشتی در قسمت پائین دست بزرگتر است هر چند که طول ناحیه چرخش در قسمت پائین دست بزرگتر از طول آن در قسمت بالادست می‌باشد.

در بررسی فوق، طول ناحیه جریان برگشتی بصورت تابعی از عدد رینولدز در قسمت پائین دست برآمدگی، فشار استاتیک به ازاء فاصله از پائین دست برآمدگی، اثر برآمدگی روی ضریب درگ و همچنین اثر نسبت پهنا به ارتفاع برآمدگی روی ضریب درگ $(DragCoefficient)$ نمایش داده شده است و در پایان نحوهٔ تأثیرگذاری عدد رینولدز و نسبت پهنا به ارتفاع بر ضریب درگ توسط رابطه زیر بیان شده است.

$$C_d = 0.127(RE_s)^{0.393}(W/S)^{0.033} \qquad (۲_۱)$$

بررسی اثر عدد رینولدز و نسبت پهنا به ارتفاع برآمدگی و نسبت ارتفاع اولیهٔ لایه مرزی به ارتفاع برآمدگی بر روی عدد نوسلت بوسیله حل عددی مسئله فوق با استفاده از روش قاعده نمائی $(Power - Law)$ توسط شوشینگ و دیگران [۳] در سال ۱۹۹۰ انجام شده است. در این مقاله معادلات حاکم بر حسب تابع جریان (ψ) و چرخش $(Vorticity)$ نوشته شده و حل دستگاه معادلات بصورت ADI و روش ماتریس سه قطری می‌باشد. خطوط جریان و عدد نوسلت موضعی برای عدد رینولدز برابر با ۲۰۰ و نسبت پهنا به ارتفاع ۱ تا ۴ و نسبت ارتفاع اولیه لایه مرزی به ارتفاع برآمدگی برابر با ۰/۴ در مجاورت برآمدگی ارائه شده است. در این مقاله عدد نوسلت متوسط بصورت تابعی از سه متغیر مختلف بصورت زیر بیان شده است.

$$\overline{NU}_{av} = 0.44(R\epsilon_s)^{0.465}(d/s)^{-0.36}(W/S)^{-0.265} \qquad (۳_۱)$$

در عبارت فوق d ارتفاع اولیه لایه مرزی می‌باشد همچنین تحقیق فوق بیان می‌کند که با کاهش نسبت ارتفاع اولیه لایه مرزی به ارتفاع برآمدگی، عدد نوسلت در قبل از برآمدگی افزایش می‌یابد.

حل عددی جریان آرام و دائمی در برخورد به یک مانع روی یک سطح صاف و بررسی اثر نسبت‌های پهنای برآمدگی و ارتفاع اولیه لایه مرزی به ارتفاع برآمدگی و همچنین عدد رینولدز بر روی طول ناحیه چرخش و طول ناحیه جریان برگشتی توسط هونگ و دیگران [۴] در سال ۱۹۹۱ انجام شده است در این مقاله معادلات دیفرانسیل حاکم برحسب تابع جریان (ψ) و چرخش $(Vorticity)$ نوشته شده و به روش قاعده نمائی مجزا شده‌اند.

خطوط جریان، توزیع فشار در طول x، طول نواحی چرخش در قبل و بعد از برآمدگی به ازاء تغییر در عدد رینولدز و نسبتهای پهنای برآمدگی و ارتفاع اولیه لایه مرزی به ارتفاع برآمدگی نشان داده شده است.

حل عددی جریان مغشوش و بررسی انتقال حرارت در فضای بین لوله های هم محور با برآمدگی‌های مکعب مستطیل شکل حلقوی بوسیله مدل $(k - \varepsilon)$ توسط آقای لی و دیگران [۵] در سال ۱۹۸۸ انجام شده است معادلات حاکم با استفاده از دو روش هیرید و کوئیک مجزّا و بوسیله الگوریتم سیمپل حل شده‌اند توزیع سرعت محوری در فضای بین دو لوله برای عدد رینولدز در محدوده ۳۰۰۰۰ و توزیع درجه

حرارت بین دوبرآمدگی متوالی نمایش داده شده است.

نمایش عدد نوسلت موضعی برای فاصله بین دو برآمدگی نشان دهنده این است که بیشترین مقدار آن در بین دو برآمدگی در محلی که به بالادست نزدیکتر است واقع می‌شود.

وجود برآمدگی درون یک کانال که مجرای عبور سیّال می‌باشد می‌تواند رفتار سیّال را به مقدار زیادی تحت‌تأثیر قرار دهد چگونگی رفتار سیّال دربرخورد به یک مانع درون یک کانال توسط آچاریا و دیگران [۶] در سال ۱۹۹۴ بیان شده است در این تحقیق جریان مغشوش و مدل حل $(k-\varepsilon)$ می‌باشد. روش حل براساس حجم کنترل و استفاده از الگوریتم سیمپلر بوده و طول توسعه یافته و توزیع سرعت مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی نحوهٔ انتقال حرارت جریان مغشوش بین دو صفحه موازی در حالتی که منبع‌های حرارتی به شکل ردیفی از برآمدگی‌ها، بر سر راه عبور جریان قرار دارند توسط کیم و دیگران [۷] در سال ۱۹۹۴ انجام شده است الگوریتم حل سیمپلر $(Simpeler)$ و مجزّاسازی معادلات حاکم بر مسئلهٔ فوق بوسیله روشی مرکب از هیبرید و نمائی انجام شده است. ابتدا عوامل مستقل حاکم بر مسئله فوق مشخص و اثر آنها بر روی سرعت درجه حرارت مورد بحث قرار می‌گیرد. در این مقاله نحوهٔ انتقال حرارت این مجموعه با بحث بر روی عدد نوسلت بررسی می‌شود.

از این بررسیها چنین نتیجه‌گیری می‌شود که جریان آرام سیال در برخورد با مانع کوچک مستطیل شکل چسبیده به سطح، از لحاظ عددی بررسی شده و توزیع دما و ضریب انتقال حرارت محاسبه شده است. آنچه که کار حاضر را از سایر کارهای انجام شده در این زمینه متمایز می‌سازد استفاده از روش کوئیک در شکل انفصال جمله جابجائی در معادلات می‌باشد. همانطور که در قسمت نتایج ذکر شده با استفاده از این روش به نتایج مشابهی مانند کارهای دیگران می‌توان دست یافت بطوریکه رفتار جریان سیال و انتقال حرارت شبیه مقالات مذکور است.

فصل دوم

معادلات حاکم