بسم الله الرحمن الرحيم

٣٠٩٩٩

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تفکیک 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 جریان متلاطم در برخورد با صفحه ضخیم

-8499

مولف

محمد مهدی نوذری

استاد راهنما

دکتر علی کشاورز

شهریور ماه ۱۳۷٤

۳۰۹۹۹

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 شناخته نمی شود

دانشجو : محمد مهدی نوذری

استاد راهنما : دکتر علی کشاورز

داور ۱ : دکتر سید حسین منصوری

داور ۲ : مهندس محمد رهنما

دانشگاه شهید باهنر
کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

حق چاپ محفوظ و مخصوص مولف است.

تقدیم به پدرم ، مادرم ، همسر فداکارم

و

بیاد اسطوره نیکخواهی و رحمت
شادروان مهندس علیرضا افضلی پور
بنیانگذار دانشگاه کرمان

تشکر و قدردانی

در اینجا لازم می دانم که از راهنمایی های استاد محترم جناب آقای مهندس محمد رهنما کمال تشکر را داشته و از زحمات دلسوزانه ایشان در طی این پروژه نهایت سپاسگذاری را داشته باشم. همینطور امتنان خود را از اساتید محترم آقایان دکتر سید حسین منصوری و دکتر علی کشاورز معروض می دارم. منتهای تشکر قلبی خود رانسبت به همسر بردبارم که مرا در حین انجام این پروژه مورد حمایت کامل قرار داد و همچنین زحمت تایپ آن را متقبل گردید ، ابراز می دارم. درخاتمه جا دارد بپاس مساعدتهای مختلف مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی (ماهان کرمان) به هنگام انجام این پروژه قدردانی نمایم.

چکیـده

در این پژوهش ، جریان دوبعدی و متلاطم سیال غیر قابل تراکم داخل کانال در برخورد بـا صفحـه ضخیم با طول نیمه بی نهایت به شیوه عددی مورد بررسی قرارگرفتـه اسـت. هـدف اصلـی ایـن پژوهـش تعیین میدان جریان سیال بوده و بررسی مشخصات ناحیه چرخشی واقع در روی صفحه (به ویـژه طـول این ناحیـه) بیش از هر چیزی مورد توجه قرارگرفته است. بـرای تبـدیل معـادلات دیفرانسیـل حـاکم (پیوستگی ، ممنتوم ، انرژی جنبشی تلاطم k و نـرخ تلفـات انـرژی جنبشـی تلاطـم ε) بـه معـادلات جبری از روش احجـام مـحدود (Finite Volume Method) استفاده شده است. برای انفصال جمـلات جابجایی در معادلات ممنتوم ، از طرح پیوندی مورب محدود BSHD استفاده شـده اسـت. کـارآیی و برتری این طرح انفصال نسبت به طرحهای انفصال استانداردی نظیر طرح پیوندی HD نشان داده شـده است. برای مدل سازی تلاطم ، از مـدل دو معادلـه ای k-ε کمـک گرفتـه شـده اسـت. حـل دسـتگاه معادلات جبری با بهره گیری از روش توماس TDMA انجام شده است. الگوریتم حل مـورد اسـتفاده ، الگوریتم سیمپلر SIMPLER بوده است.

برای اطمینان از توانایی برنامه کامپیوتری ، با استفاده از این برنامه جریان آرام و متلاطم سیال بین دو صفحه موازی و همچنین جریان آرام در برخورد با صفحه ضخیم حل شده اند. تطـابق خـوب نتـایج حاصل با نتایج قبلی ، سبب حصول اطمینان نسبت به عملکرد برنامه شده است. سـپس جریـان متلاطـم در عدد رینولدز ۵×۱۰٤ و نسبت انسداد ۵/٦٪ در اطراف صفحه ضخیم حل شده است. نتایج حاصل نشان میدهد که طول و ارتفاع ناحیه چرخشی کمتر از مقادیر تجربی پیش بینی شده است ، امـا بهبـود نتایج نسبت به جوابهای مبتنی بر طرح انفصال پیوندی قابل ملاحظه و چشمگیر میباشد. در مجموع از این پژوهش میتوان نتیجه گرفت که طرح پیوندی مورب محدود بـرای این مسئله و مسائل مشابه کارآیی خوبی دارد ، اما مدل k - ε استاندارد در مدل سازی تلاطم با نواقص و کاستی هایی همراه میباشد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱ مقدمه	۱
فصل ۲ تاریخچه	٤
۲-۱ پژوهش های تجربی	٥
۲-۲ پژوهش های عددی	۷
فصل ۳ معادلات دیفرانسیل حاکم و شرایط مرزی	۱۰
۳-۱ مقدمه	۱۱
۳-۲ مقادیر متلاطم کمیت ها	۱۱
۳-۳ مدل سازی تلاطم	۱۳
۳-۳-۱ مدل های تک معادله ای جبری	۱٤
۳-۳-۲ مدل های دیفرانسیلی یک معادله ای	۱۷
۳-۳-۳ مدل های دیفرانسیلی دو معادله ای	۱۸
۳-۳-٤ مدل های چند معادله ای	۲۲
۳-٤ معادلات حاکم	۲۳
۳-٤-۱ معادله پیوستگی	۲۳
۳-٤-۲ معادلات ممنتوم	۲٤
۳-٤-۳ معادله انرژی جنبشی تلاطم (k)	۲۸
۳-٤-٤ معادله نرخ تلفات انرژی جنبشی (ε).....	۳٤
۳-٤-٥ معادله جبری لزجت تلاطم	۳٦
۳-٤-٦ فرم کلی معادلات دیفرانسیل حاکم	۳۷

عنوان	صفحه
۳-۵ شرایط مرزی	۳۸
۳-۵-۱ دیواره جامد	۳۸
۳-۵-۲ محور تقارن	۴۲
۳-۵-۳ مرز ورودی	۴۲
۳-۵-۴ مرز خروجی	۴۲
فصل ۴ محاسبات عددی	۴۳
۴-۱ مقدمه	۴۴
۴-۲ شبکه حل جریان	۴۴
۴-۳ فرم کلی معادله انفصال	۴۵
۴-۳-۱ فرم اختلاف محدود معادله دیفرانسیل کمیت ϕ	۴۵
۴-۳-۲ طرحهای انفصال نمایی ، پیوندی و قاعده توانی ...	۵۱
۴-۳-۳ طرح انفصال پیوندی مورب محدود	۵۸
۴-۳-۴ خطی کردن جمله چشمه	۶۶
۴-۳-۵ تکنیک زیر تخفیف	۶۶
۴-۳-۶ معادله نهایی انفصال	۶۷
۴-۴ فرم انفصال جمله چشمه معادلات دیفرانسیل حاکم	۶۸
۴-۴-۱ معادله ممنتوم در راستای x	۶۸
۴-۴-۲ معادله ممنتوم در راستای y	۷۰
۴-۴-۳ تصحیح سرعت و فشار	۷۲
۴-۴-۴ معادله تصحیح فشار	۷۳
۴-۴-۵ معادله فشار	۷۴
۴-۴-۶ معادله انرژی جنبشی تلاطم (k)	۷۶
۴-۴-۷ معادله نرخ تلفات انرژی جنبشی (ε)	۷۸
۴-۵ شرایط مرزی	۸۰
۴-۵-۱ معادله ممنتوم در راستای x	۸۰

عنوان	صفحه
٤-٥-٢ معادله ممنتوم در راستای y	٨٤
٤-٥-٣ معادله انرژی جنبشی تلاطم (k)	٨٥
٤-٥-٤ معادله نرخ تلفات انرژی جنبشی (ε)	٨٨
٤-٦ حل دستگاه معادلات	٩٠
٤-٧ الگوریتم حل	٩٢
فصل ٥ ارائه نتایج و بحث بر روی آنها	٩٤
٥-١ مقدمه	٩٥
٥-٢ فرایند همگرایی	٩٥
٥-٢-١ معیار همگرایی	٩٥
٥-٢-٢ آرایش نقاط شبکه	٩٧
٥-٢-٣ ضرایب زیر تخفیف	٩٨
٥-٣ بررسی درستی عملکرد برنامه	٩٩
٥-٣-١ تکامل جریان آرام بین دو صفحه موازی	٩٩
٥-٣-٢ تکامل جریان متلاطم بین دو صفحه موازی	١٠١
٥-٣-٣ جریان آرام داخل کانال دربرخورد با صفحه ضخیم	١٠٢
٥-٤ جریان متلاطم داخل کانال در برخورد با صفحه ضخیم	١٠٦
٥-٤-١ بررسی ها و محاسبات مقدماتی	١٠٦
٥-٤-٢ اثر ریزکردن شبکه نقاط	١٠٨
٥-٤-٣ پیش بینی های عددی و مقایسه آنها با نتایج	١٠٩
محققین قبلی	
٥-٤-٤ هزینه های محاسباتی	١١٥
٥-٤-٥ نتیجه گیری	١١٥
پیشنهادات	١١٦
مراجع	١١٧
پیوست	١٢٠

فصل ۱

مقدمه

نظر به وجود جریانهای جدا شده و چسبیده (Separated and Reattached) ، بخصوص در اطراف اجسام با مقطع مربع مستطیل در طیف گسترده ای از کاربردهای مهندسی و محیطی ، شاهد علاقه روزافزونی به بررسی و مطالعه اینگونه جریانها هستیم. دلیل این تمایل ، تأثیر شدید نواحی جریان برگشتی (حباب جدایی) بر روی کل فرآیند است.

به عنوان مثال از اثر جریان برگشتی بر عملکرد ایرفویلها ، دیفیوزرها ، مبدل های حرارتی و محفظه های احتراق و همچنین نقش تعیین کننده جریانهای جدا شده در نیروی پسا در وسایط نقلیه جاده ای و مشخصه بودن در جریانهای جوی روی ساختمانها ، دیوارها و تپه ها میتوان نام برد. ضمناً این جریانها فاکتوری حساس و بحرانی در طراحی سازه های قابل ارتعاشی همچون پل ها میباشند. این جریان ها در صنایع الکترونیک ، هنگام خنک سازی تراشه ها به طور وسیعی اتفاق میافتند و حائز اهمیت فوق العاده ای هستند. با توجه به مطالب فوق تعیین میدان جریان در این دسته از مسائل شرط لازم برای محاسبه نیروی پسا ، ضریب انتقال حرارت ، میزان انتقال حرارت و ... و به تبع آن نیاز اساسی برای بهینه سازی فرآیندهای مربوطه میباشد.

جریانهای جدا شده و چسبیده دو بعدی و غیر قابل تراکم در اطراف صفحه ضخیم ، نمونه ای از جریانهای فوق الذکر میباشند. در اینگونه جریانها سه ناحیه مهم قابل مشاهده و بررسی است ، این نواحی عبارت از ناحیه جدایی ، ناحیه چرخشی (حباب جدایی) و ناحیه تکامل مجدد میباشند. همچنین طول ناحیه چرخشی (فاصله نقطه چسبیدن مجدد جریان از لبه صفحه) مهمترین پارامتر مورد بررسی در جریان های فوق میباشد. در این قبیل جریانها شرایط زیر برقرار است :

۱ـ صفحه ضخیم است ، به نحوی که از صفحه نازک متمایز میباشد.

۲ـ صفحه را از نظر طولی میتوان نیمه بی نهایت فرض کرد.

۳ـ زاویه محور صفحه با جریان آزاد صفر میباشد ، یعنی جریان در اطراف صفحه متقارن است.

٤ـ جریان آزاد

الف) آرام با توزیع یکنواخت میباشد.

ب) مغشوش با نوسانات خاص و توزیع یکنواخت میباشد.

جریانهای جدا شده و چسبیده در اطراف صفحه ضخیم با طول نیمه بی نهایت دارای ویژگیهای بارز زیر هستند :

۱ـ جدایی جریان

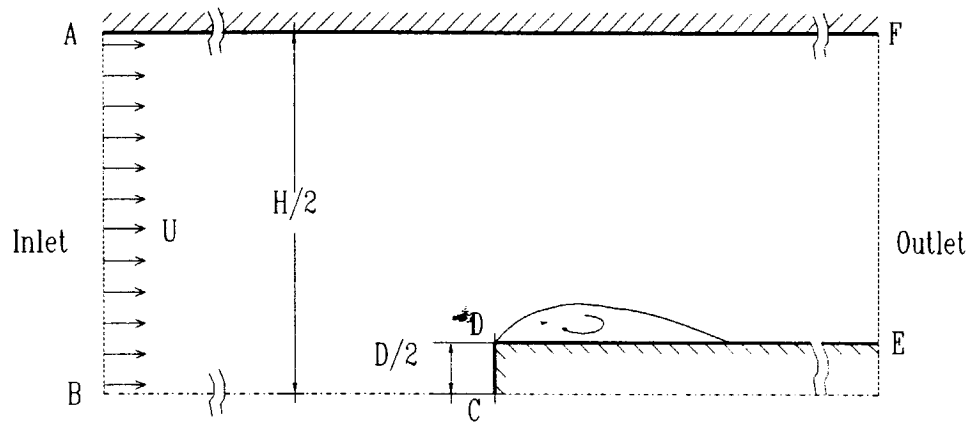
۲ـ چرخش جریان

۳ـ گرادیان قوی فشار

٤ـ کم بودن ضخامت لایه برشی در مقایسه با ابعاد حباب جدایی

ه_ تفاوت بین جریان آرام و مغشوش

با توجه به اینکه جریان در اطراف صفحه ضخیم کاربرد گسترده ای دارد و از آنجایی که پژوهشهای عددی در این زمینه بسیار اندک بوده اند ، لذا زمینه ای جدید محسوب میشود و بررسی بر روی آن حائز اهمیت میباشد. با در نظر داشتن مطالب فوق در این تحقیق جریان دوبعدی و غیر قابل تراکم متلاطم سیال در اطراف صفحه ضخیم با طول نیمه بی نهایت با استفاده از طرح انفصال پیوندی مورب محدود BSHD ، الگوریتم حل سیمپلر SIMPLER و شبکه نقاط متمرکز مورد بررسی قرار میگیرد. هندسه مسئله و میدان حل محاسباتی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ جریان متلاطم دراطراف صفحه ضخیم در داخل کانال

فصل ۲

تاریخچه

جریانهای جدا شده و چسبیده در اطراف صفحه ضخیم ، به دلایل عدیده ای از قبیل غیر خطی بودن معادلات حاکم و ساختار پیچیده تلاطم (در مورد جریانهای متلاطم) و ... ، با استفاده از دانش امروز لایه مرزی ، از طریق تحلیلی قابل حل نمیباشند. با توجه به این امر قریب به اتفاق کارهای انجام گرفته را می توان به دو بخش اصلی تقسیم کرد :

۱) پژوهش های تجربی

۲) پژوهش های عددی

که در زیر هریک از این زمینه ها به تفصیل مورد بررسی قرار میگیرد.

۱-۱ پژوهش های تجربی

لن و همکارش (Lane and Loehrke) [۱] در یک تحقیق تجربی جریان جدا شده و چسبیده در اطراف صفحه ضخیم با زاویه صفر و طول های مختلف را در محدوده اعداد رینولدز پائین مورد بررسی قرار دادند. آنها برای تجسم جریان در اطراف صفحه از مواد رنگی استفاده کردند و نتایج خود را این چنین گزارش کرده اند : جریان در اطراف همه صفحاتی که نسبت طول به ضخامت آنها بزرگتر یا مساوی ۸ باشد ($L/t \geq 8$) ، از نظر کمی مشابه میباشد و برای این صفحات اولین مرتبه ناحیه چرخشی در عدد رینولدز (بر مبنای ضخامت صفحه) برابر Re=۱۰۰ مشاهده میگردد. محل شروع ناحیه چرخشی در فاصله ای به اندازه یک چهارم ضخامت صفحه از لبه صفحه میباشد و تا فاصله ای به اندازه نصف ضخامت صفحه از لبه صفحه ادامه مییابد. با افزایش عدد رینولدز حباب جدایی در دو جهت بالادست و پائین دست جریان رشد میکند و در عدد رینولدز ۱۲۵ ابتدای حباب به لبه صفحه میرسد. از این به بعد با زیاد شدن عدد رینولدز ، هیچ تغییری در محل شروع حباب دیده نمیشود و انتهای حباب در جهت پائین دست جریان شروع به حرکت مینماید. بزرگترین طول حباب پایدار در عدد رینولدز ۳۲۵ حاصل میشود. از این پس افزایش عدد رینولدز باعث ناپایداری لایه برشی شده و نقطه چسبیدن به صفحه (Reattachment Point) حول مقدار ماکزیمم آن شروع به نوسان میکند. بیشتر شدن عدد رینولدز از ۳۸۰ سبب میشود که ساختار اتفاقی (Random) بر جریان حاکم شود که نشانگر تغییر رژیم جریان از آرام به متلاطم میباشد. همین موضوع سبب کوچکتر شدن حباب جدایی میگردد. برای اعداد رینولدز بزرگتر از ۵۰۰ جریان کاملاً متلاطم شده و تغییرات طول ناحیه چرخشی با افزایش عدد رینولدز بسیار کم میباشد ، که بامشاهدات گزارش شده توسط سایر پژوهشگران مطابقت دارد. همچنین تحقیقات انجام شده در مورد صفحات کوتاهی که نسبت طول به ضخامت آنها کوچکتر یا مساوی ٤ ($L/t \leq 4$) میباشد ، گویای این مطلب است که ناحیه حباب جدایی در روی صفحه با یک ناحیه بزرگ چرخشی بعد از صفحه ترکیب میشود.

اثر رینولدز برروی جریان در اطراف صفحه ضخیم با طول زیاد بوسیله اتا و همکارانش (Ota , Asano and Okawa) [۲] مورد بررسی قرار گرفته است. آنها از پودر آلومینیم برای تجسم جریان استفاده کردند و سه رژیم جریان را مشاهده نمودند : الف) رژیم جدایش آرام ـ چسبیدن آرام ، که در تطابق با مشاهدات لن [۱] دیده میشود. در این رژیم طول ناحیه چرخشی با افزایش عدد رینولدز زیاد میگردد. ب) رژیم جدایش آرام ـ چسبیدن مغشوش ، که بوسیله ناپایداری در لایه برشی در نزدیکی محل جدایی و تبدیل این ناپایداری به حالت مغشوش قبل از چسبیدن به صفحه مشخص میشود. ج) رژیم جدایش مغشوش ـ چسبیدن مغشوش ($Re \geq ۲۰۰۰۰$) ، که در آن لایه برشی بلا فاصله بعد از محل جدایی متلاطم میشود. در این نوع رژیم ، عدد رینولدز هیچ اثری بر روی طول ناحیه چرخشی ندارد.

رژیم مستقل از عدد رینولدز همچنین توسط هیلیر وچری (Hiilier and Cherry) [۳] دیده شده است. آنها متذکر شده اند که جریان در محدوده $۳٤۰۰۰ < Re < ۸۰۰۰۰$ اساساً به عدد رینولدز وابسته نمیباشد. برای اعداد رینولدز $Re \geq ۸۰۰۰۰$ ، یک افزایش ناچیز در طول ناحیه چرخشی مشاهده شده است. همچنین مشاهده کردند که جریان نسبت به میزان تلاطم جریان آزاد حساس میباشد. به عنوان مثال اگر شدت تلاطم جریان آزاد از ۱٪ به ٦/٥٪ افزایش یابد ، طول حباب جدایی از $٤/۸۸ D$ به $۲/۷۲ D$ کاهش میابد.

اتا وایتاساکا (Ota and Itasaka) [٤] جریان دو بعدی جدا شده و چسبیده متلاطم برروی صفحه ضخیم با طول زیاد را بصورت تجربی مورد آزمایش قرار دادند. با استفاده از اندازه گیریهای سرعت وجهت ، وضعیت جریان در نواحی جدا شده و چسبیده در محدوده اعداد رینولدز مورد بررسی ($۲۱۰۰۰ \leq Re \leq ٦٦٦۰۰$) تعیین شده است. نقطه چسبیدن به صفحه در فاصله ای حدود ٤ تا ٥ برابر ضخامت صفحه از لبه صفحه بدست آمده است ، که مستقل از عدد رینولدز میباشد. تکامل مجدد جریان در لایه مرزی در پائین دست نقطه چسبیدن بوسیله اندازه گیریهای سرعت و فشار ، به وضوح نشان داده شده است. آنها یادآور شده اند که برای تکامل یافته شدن جریان ، یک فاصله طولانی متجاوز از ۲۰ برابر ضخامت صفحه از لبه آن ، مورد نیاز میباشد. نتایج بدست آمده بوسیله آنها با نتایج سایر بررسی های مشابه تطابق دارد.

جریان دو بعدی هوای متلاطم در اطراف صفحه ضخیم با طول بلند توسط اتا و کن (Ota and Kon) [٥] مورد بررسی قرار گرفته است. اندازه گیریهای آنها در نواحی جدا شدن ، چسبیدن و تکامل مجدد جریان انجام گرفته است. آنها گزارش کرده اند که چسبیدن جریان در فاصله ای در حدود ٤ برابر ضخامت صفحه از لبه صفحه در پائین دست اتفاق میافتد و این فاصله در محدوده اعداد رینولدز بررسی شده ($۲۷۲۰ \leq Re \leq ۱۷۹۰۰$) ، مستقل از عدد رینولدز میباشد.