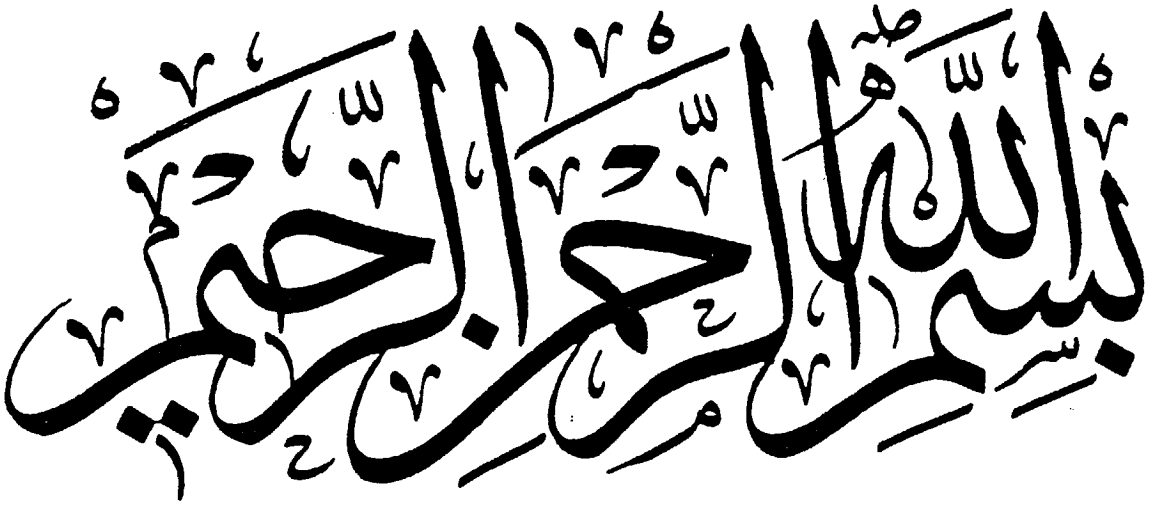

٢٦٧٩٥

۱۳۷۸ /۷/ ۱۲

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تقدیم به مادران

دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشکده مکانیک

روش CVBFEM در هندسه های پیچیده

امیر ذاکر شبیری

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک
گرایش تبدیل انرژی

4073/2

استاد راهنما: دکتر حسینعلی‌پور

پاییز ۱۳۷۷

۲۶۷۶۵

تقدیم به :

پدر و مادر بزرگوارم

چکیده

هدف از انجام این پروژه در ابتدا سعی در معرفی و رسیدن به‌اصل‌روش حجم‌کنترل برمبنای روش المان محدود (Control Volume Based Finite Element Method) و سپس‌ارائه یک‌الگوریتم برای حل یک مسئله‌انتقال حرارت رسانایی (conduction type problem) دریک هندسه پیچیده توسط‌این روش و پس‌ازآن نیزارائه برنامه‌ای جهت‌اجرادررایانه برمبنای‌این‌الگوریتم می‌باشد.روش حجم‌کنترل برمبنای روش المان محدودیااختصاراCVBFEM روشی است که نسبت به روش المان محدودوروش حجم کنترل قدمت کمتری داردودرواقع ازآمیختن دوروش مذکوروبسط مبانی ریاضی آنهابوجودآمده‌است.هدف‌ازایجاداین روش رسیدن به مزایای دوروش المان محدودوحجم کنترل ورفع معایب‌آنها میباشد . سازگاری وهمچنین کارایی‌این روش به هنگام برخوردباهندسه های پیچیده مزیتی‌است که روش CVBFEM ازروش المان محدودبه‌ارث برده‌است ونیزاعمال قوانین بقاوسادگی محاسبات مزایایی هستندکه این روش‌ازروش حجم کنترل گرفته است.آمیختگی دوروش حجم کنترل والمان محدوددرروش CVBFEM درواقع باعث رفع معایب‌این دوروش نیزشده‌است‌که‌ازجمله آنهاعدم اعمال قوانین بقاوپیچیدگی محاسبات درروش‌المان محدودوعدم سازگاری مناسب باهندسه های پیچیده وعدم دخالت همه نقاط مجاوریک‌المان درمحاسبه گرمای ورودی به المان درروش حجم کنترل می‌باشد.

درقسمت‌اول‌این پروژه پس ازبحث پیرامون مبانی ریاضی روش ورسیدن به‌الگوریتم‌این‌روش ، مقایسه مختصربین روش CVBFEM باروش حجم کنترل والمان‌محدود شده‌است.سپس به کمک برنامه رایانه‌ای‌نوشته شده برمبنای الگوریتم CVBFEM چندمیدان دماکه دارای جواب تحلیلی می‌باشندمانندااستوانه ومستطیل‌بدست آمده‌است که نشان دهنده درستی الگوریتم وبرنامه‌نوشته شده برمبنای‌آن‌است.پس ازحل مسائل دارای جواب تئوری چندمسئله‌دارای میدانهای دمای پایدارولی باهندسه پیچیده وشرایط مرزی پیچیده‌توسط برنامه رایانه‌ای حل شده‌است‌که نتایج‌این قسمت کاملا منطقی به نظرمی‌رسند.همچنین به عنوان مشاهده درستی الگوریتم دربدست آوردن میدانهای دمای ناپایدارقسمتی ازنمودارهای

سرمایش وگرمایش Heisler بدست آمده‌است‌که تطبیق بسیارنزدیک این نمودارهابانمودارهای موجوددرمراجع به خوبی کارایی روش CVBFEM ودرستی‌الگوریتم وبرنامه نوشته‌شده‌رادرحالت ناپایدارنشان می‌دهد.

درقسمت دوم این پروژه‌به‌مسئله انتقال حرارت درموادمرکب پرداخته شده‌است.موادمرکب هرروزه هم ازلحاظ تنوع وهم ازلحاظ دامنه کاربردگسترش بیشتری پیدامی‌کنندوهمچنین به منظوررسیدن به ویژگیهای برترمانندااستحکام کششی بالاتر،کاهش وزن بیشتروپایین تربودن قیمت هرروزپیچیدگی بیشتری‌ازلحاظ ساختاری‌پیدامی‌کنند.موادمرکب دربسیاری مواردغیرایزوتروپ هستندواین موضوع بررسی انتقال حرارت درآنهارامشکل می‌کند.برای مثال چنانچه درنظرباشدکه دریک ماده‌مرکب که ایزوتروپ است ضریب انتقال حرارت رابدست آورد،دومشکل وجودخواهدداشت.اول آنکه ایجادشرایط واقعی درآزمایشگاه‌اغلب مشکل‌وپرهزینه‌است‌ودیگرآنکه چنانچه ماده مرکب مزبوردرعمل وجودنداشته باشدوکاردرمرحله طراحی ماده مرکب باشداین اجباروجوددارد‌که به منظوررسیدن به خواص حرارتی موردنظرتوسط روش ساخت‌وسعی وخطاپیش رفت.درزمانی که ماده مرکب موردنظرایزوتروپ نیزنباشد،مشکلات ذکرشده چندین برابرخواهندبود.اماچنانچه بتوان توسط الگوریتم های عددی چگونگی انتقال حرارت دراین موادراپیشبینی کرد،نه تنهادرهزینه هاوزمان صرفه جویی زیادی خواهدشدبلکه توانایی طراحی این موادقبل ازمرحله ساخت نیزبسیارگسترده‌ترمی‌شود.ازآنجایی که روش CVBFEM توانایی بالایی دربررسی‌انتقال حرارت‌درهندسه های پچیده رادارد‌وهمچنین دراین روش کنترل زیادی برگرمای عبوری ازمرزمشترک دوماده‌مختلف‌بادوضریب‌انتقال حرارت مختلف وجوددارددربخش دوم پروژه سعی شده‌است که انتقال حرارت دربعضی ازانواع موادمرکب توسط این روش موردبررسی قرارگیردوتمرکزاصلی دراینباره برروی بدست آوردن ضریب‌انتقال حرارت‌موادمرکب می‌باشد.الگوریتم کلی که دراین پروژه به منظوربدست آوردن ضریب انتقال حرارت معادل ماده مرکب درپیش گرفته شده‌است‌دارای چندمرحله اساسی‌است به‌این صورت که‌درابتداساختارداخلی‌ماده‌مرکب‌ازلحاظ وضعیت قرارگرفتن موادمختلف درکناریکدیگربررسی می‌شودوسپس‌این ساختارازلحاظ هندسی مدل شده واین

مدل توسط بعضی فرضهاساده‌سازی می‌شودوپس‌ازآن نیزکل محیط مدل شده‌توسط روش ساخت شبکه گرید دیفرانسیلی شبکه‌بندی می‌شود.این شبکه‌بندی برروی یک قطعه تخت (Slab) فرضی ازماده مرکب اعمال می‌شود.درمرحله بعدبااعمال دودمای ثابت به دوسراین قطعه تخت میدان دماپایدارتوسط روش CVBFEM دراین قطعه بدست‌آمده‌وباداشتن میدان دمای پایداروسحاسبه گرمای عبوری ازمحیط به کمک این میدان دما،مقدارضریب‌انتقال حرارت معادل برای این قطعه تعریف می‌شود.لازم به ذکراست که شکل Slab فقط به منظورراحتی کارانتخاب شده ولی درواقع هیچ محدودیت خاصی درانتخاب هندسه محیط به منظور بررسی انتقال حرارت درآن توسط این روش وجودندارد.پس‌ازبه دست آوردن نتایج درمواردی که نتایج آزمایشی ویاتئوری وجوددارندمانند ضریب انتقال حرارت درموادمرکب باذرات کروی وغلظت های حجمی پایین،بین نتایج تئوری ونتایج روش بکاربرده شده مقایسه‌ای شده‌است‌که نتیجه این مقایسه بسیاررضایت بخش می‌باشد.درمواردی نیزکه نتایج تئوری ویاآزمایشی وجودنداردربارد معقولیت جوابهاوسازگاری آنهابافیزیک مسئله بحث شده است که این نتایج نیزبسیارقابل قبول بنظرمی‌رسند.

فهرست علائم

T : دما

V : حجم

x,y,z : سیستم مختصات عمودی

ρ : جرم حجمی

σ : ضریب استفان بولتزمن

η,ω,ξ : سیستم مختصات غیرعمودی

c : گرمای ویژه

h : ضریب انتقال حرارت همرفتی

i,j : اندیسهای موقعیت‌ماتریسی

k : ضریب انتقال حرارت

N_i : iامین تابع شکل

q : جریان گرما

S_c : ترم ثابت منبع حرارتی

S_p : ضریب ترم متغیرمنبع حرارتی

s,t,u : سیستم مختصات محلی

t : زمان

تقدیر و تشکر:

بر خود لازم می دانم ، از استاد محترم جناب آقای دکتر مصطفی حسینعلیپور که با ارائه راهنمایی های مدبرانه و دلسوزانه خود ، نظارت و سرپرستی این پروژه را به عهده داشته اند ، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین ازاعضای هیات داوری بخاطر حضوردرجلسه دفاعیه و فراهم نمودن امکان ارائه پربار آن ، صمیمانه تشکر نموده و سپاس خود را به حضور شان تقدیم می دارم.

پاییز ۷۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱ : روش CVBFEM ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تاریخچه ۳

۱-۳- مبانی ریاضیات حاکم بر روش ۴

۱-۴- روش ایجادالمان های حجم کنترل ۵

•المان های فضای دوبعدی ۵

•المان های فضای سه بعدی ۵

۱-۵- گسسته‌سازی معادلات ۷

۱-۶- تبدیل میدان حل به حالت منحنی - تکه خطی ۸

•مختصات محلی وتوابع شکل درفضای دوبعدی ۹

•مختصات محلی وتوابع شکل درفضای سه بعدی ۱۱

۱-۷- روش بدست آوردن بردارجریان گرما $\vec{q}_i$ ۱۲

۱-۸- نقاط انتگرال گیری ۱۴

•نقاط انتگرال گیری درحالت دوبعدی ۱۴

•نقاط انتگرال گیری درحالت سه بعدی ۱۴

۱-۹- روش گسسته سازی ترم‌انباشتگی ۱۵

۱-۱۰ - گسسته سازی ترم منبع حرارتی ۱۶

۱-۱۱- مرتب کردن معادلات ۱۷

•حالت دو بعدی ۱۷

•حالت سه بعدی ۱۸

•صریح یاضمنی بودن معادلات ۱۹

•مقایسه بین ضریب وزنی نقاط داخلی ومجاوریک‌المان درمحاسبه‌گرمای

ورودی به‌المان ۱۹
۱-۱۲-اثبات رابطه $\sum a_{ip} + a_p = 0$ ۲۰
۱-۱۳-الگوریتم بدست آوردن ضرایب دیفیوژن گرمایی ۲۱
•حالت دوبعدی ۲۲
•حالت سه بعدی ۲۳
•بدست آوردن سطوح درحالت دوبعدی ۲۴
•بدست آوردن سطوح درحالت سه بعدی ۲۴
•بدست آوردن حجم درحالت دو بعدی ۲۴
•بدست آوردن حجم درحالت سه بعدی ۲۵
•روش بدست آوردن ضرایب دیفیوژن ۲۵
•حالت دوبعدی ۲۵
•حالت سه بعدی ۲۶
۱-۱۴-حل چند میدان دمای پایدار به روش CVBFEM ۲۶
۱-۱۴-۱-حل میدان دمای پایدار یک بعدی در استوانه ۲۷
۱-۱۴-۲-حل میدان دمای پایدار یک بعدی در قطعه تخت (Slab) ۲۷
۱-۱۴-۳-حل میدان دمای پایدار دوبعدی در یک فضای مربع شکل . ۲۸
۱-۱۴-۴-حل میدان دمای پایدار در یک شیپوره(نازل) ۲۹
۱-۱۴-۵-حل میدان دمای پایدار در یک پره‌درجریان گازگرم ۳۱
۱-۱۵-حل‌میدان‌مای‌ناپایداربه‌روش‌CVBFEM ۳۳
۱-۱۵-۱-نمودار Heisler ۳۳
۱-۱۶-بحث عدم وابستگی به شبکه گرید(Grid Inconsistency) ۳۴
۱-۱۷-نتیجه گیری وپیشنهاد ۳۶
فصل ۲ :کاربردروش CVBFEM درمحاسبات انتقال حرارت درمواد مرکب ۳۷
۲-۱-مقدمه ۳۸
۲-۲-تاریخچه ۳۸

۲-۳- بررسی اجمالی مواد مرکب ۳۹

۲-۴- روش CVBFEM درانتقال حرارت درمرزمشترک دوماده باضریب انتقال حرارت مختلف ۴۰

۲-۵- بدست آوردن ضریب انتقال حرارت معادل در غلظت‌های حجمی پایین در مواد مرکب نوع اول. ۴۲

۲-۵-۱- مدل ماده مرکب ۴۴

۲-۵-۲- بررسی نتایج حاصل ازاعمال مدل ۴۶

۲-۵-۲-۱- ذرات کروی ۴۶

۲-۵-۲-۲- ذرات غیر کروی ۴۷

۲-۶- بدست آوردن ضریب انتقال حرارت معادل به روش مدل‌سازی مستقیم ماده‌مرکب ۴۹

۲-۶-۱- انتقال حرارت در جهت عمود بر الیاف با مقطع دایره در ماده‌مرکب ۴۹

۲-۶-۲- نتایج اعمال مدل ۵۰

۲-۶-۳- انتقال حرارت عمود بر الیاف با شکل سطح مقطع غیرهندسی ۵۲

۲-۶-۴- انتقال حرارت عمود بر الیاف دارای پوشش واسطه. ۵۴

۲-۶-۴-۱- نتایج حاصل از اعمال مدل ۵۵

۲-۷- مسئله مقدار تغییر ρc در نقاط مختلف ماده مرکب ۵۶

۲-۸- تکنیک اعمال ضرایب انتقال حرارت مختلف در بررسی محیط ماده مرکب. ۵۸

۲-۹- نتیجه‌گیری و پیشنهاد ۵۹

فهرست تصاویر

شکل	عنوان	صفحه
	فصل اول :	
۱-۱	نمایش المان حجم کنترل دوبعدی	۵
۱-۲	نمایش یک هشتم المان سه بعدی	۶
۱-۳	نمایش المان سه بعدی	۷
۱-۴	نمایش یک قطعه از شبکه نقاط	۹
۱-۵	نمایش عملکرد توابع شکل بطورشماتیک	۱۰
۱-۶	نمایش مرزهای المان ومحورهای مختصات محلی	۱۱
۱-۷	نقاط انتگرال گیری درحالت دوبعدی	۱۵
۱-۸	نمایش دمای معادل درالمان	۱۶
۱-۹	نمایش گرمای ورودی به المان دوبعدی	۱۸
۱-۱۰	نمایش اندیسهای معادل	۱۸
۱-۱۱	مقایسه بین روشهای مختلف	۲۰
۱-۱۲	وضعیت بردار نرمال سطح درحالت دوبعدی	۲۴
۱-۱۳	نمایش بردارسطح درحالت سه بعدی	۲۵
۱-۱۴	نمایش یک چهارم یک المان دربعدی	۲۶
۱-۱۵	شبکه حل میدان دمای پایداراستوانه	۲۷
۱-۱۶	مقایسه جوابهای تحلیلی وعددی دراستوانه	۲۸
۱-۱۷	مقایسه جوابهای تحلیلی وعددی در Slab	۲۸
۱-۱۸	میدان دمای دوبعدی مربع شکل	۲۹
۱-۱۹	مقطع طولی شیپوره	۳۰
۱-۲۰	شبکه جهت حل میدان دمای شیپوره	۳۱
۱-۲۱	شبکه میدان دمای پره	۳۲

۱-۲۲	شبکه وشرایط مرزی جهت رسم نمودار Heisler	۳۵
۱-۲۳	نمودار Heisler	۳۶

فصل دوم:

۲-۱	شکل شماتیک پنج نوع اصلی موادمرکب	۴۱
۲-۲	وضعیت المانهای مرزی دارای دوجنس مختلف	۴۲
۲-۳	المان استوانه ای حاوی ذره	۴۴
۲-۴	شبکه المان حاوی ذره	۴۴
۲-۵		۴۵
۲-۶	المان مکعب مستطیل حاوی ذره	۴۶
۲-۷	مدل ماده مرکب ذره‌ای	۴۷
۲-۸	نمودارضریب انتقال حرارت معادل	۴۸
۲-۹	تاثیرشعاع ذرات برمیزان ضریب انتقال حرارت معادل	۴۹
۲-۱۰	شبکه مربوط به ذرات بیضیگون	۵۰
۲-۱۱	ضریب انتقال حرارت المان حاوی ذره بیضیگون	۵۰
۲-۱۲	شبکه جهت موادمرکب باالیاف‌باسطح مقطع هندسی	۵۲
۲-۱۳	ضریب انتقال حرارت ماده مرکب باالیاف موازی همقطر	۵۳
۲-۱۴	شبکه جهت موادمرکب باالیاف‌باسطح مقطع غیرهندسی	۵۶
۲-۱۵	نتایج حاصل ازاعمال مدل	۵۶
۲-۱۶	ساختمان موادمرکب دارای الیاف با پوشش	۵۷
۲-۱۷	شبکه حل میدان دمای ماده مرکب باالیاف باپوشش	۵۸
۲-۱۸	نتایج حاصل ازاعمال مدل	۵۹
۲-۱۹	نمایش المان دارای دو جنس مختلف	۶۱
۲-۲۰	نتایج حل میدان دمای ناپایدار	۶۱

فهرست ضمائم

ضمیمه	عنوان	صفحه
ضمیمه ۱	الگوریتم برنامه بدست آوردن ضرایب دیفیوژن	۶۳

فصل ۱

روش

C V B F E M

۱-۱- مقدمه

روش حجم کنترل برمبنای المان محدود CVBFEM یکی‌ازروش های نسبتا"جدید دردانش حرارت سیالات عددی می باشد.این روش ازآمیختن دوروش حجم کنترل والمان محدود و به منظور رسیدن به مزایای هردو روش و نیز رفع معایب آنهابدست‌آمده‌است.روش حجم کنترل‌این مزیت را دارد که قوانین بقا در آن ارضامی‌شوند واین مزیت بسیاربزرگی است که استفاده کننده ازاین روش همواره ازتعادل انرژیهای ورودی به المانها مطمئن است واین تعادل انرژیها باعث کاهش خطامی شود.از طرفی‌این روش ساده‌بوده ودارای محاسبات کمی می‌باشد و نیز از طرفی ماتریس ضرایب مجهول دراین روش درحالت دوبعدی پنج ودرحالت سه بعدی هفت قطری‌است که‌این مسئله در هنگام بدست آوردن میدان دما و حل معادلات تعدادمحاسبات کمتری داشته و در نتیجه حافظه و زمان کمتری راازرایانه طلب می‌کند واما‌این روش دارای معایبی نیز می‌باشدکه‌اولامشکل‌این روش دربرخورد با هندسه های پیچیده و عدم انطباق مناسب با مرزهای پیچیده دراین گونه هندسه ها می‌باشد.به منظور رفع این مشکل وبالا بردن دقت در این گونه حالات این‌اجبار وجود دارد که معادلات را به سیستم مختصات غیر عمودی منتقل کرد واین کارپیچیدگی های زیادی را باعث می‌شودوراه حل دیگر این مسئله پله‌ای درنظر گرفتن مرزهای منحنی ونیزنادیده گرفتن بعضی ازالمانها درمرزمی باشدکه این مسئله باعث ایجاد خطا درمحاسبات بوده و لازم می شود که به منظورکم کردن این خطا،تعداد نقاط بیشتری درمرز متراکم شوندواین مسئله یعنی تعداد محاسبات بالاترونیازبه وقت وحافظه بیشتررایانه ای.یکی دیگر از معایب این روش عدم دخالت دادن همه نقاط مجاور یک المان از شبکه در محاسبه گرمای ورودی به آن المان است یعنی ضریب وزنی نقاط گوشه‌ای درمحاسبه گرمای ورودی به المان صفر می باشدکه این مسئله با واقعیت کاملا منطبق نیست.از طرفی روش المان محدود دارای سازگاری خوبی با هندسه های پیچیده می باشد واز آنجا که اغلب مسائل واقعی دارای هندسه های پیچیده می باشنداین موضوع مزیت بزرگی برای روش المان محدود است.از دیگر مزایای این روش دخالت دادن تمام نقاط اطراف یک المان در محاسبه گرمای ورودی به آن المان می باشد.یعنی ضریب وزنی نقاط گوشه ای دراین روش صفرنیست.اما‌این روش دارای پیچیدگی محاسبات است و در زمان حل ماتریس مجهول تعداد