بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانی‌ک

پای‌ان نامه تحصی‌لی برای دری‌افت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانی‌ک
گرای‌ش تبدی‌ل انرژی

طراحی معکوس مرزی با در نظر گرفتن انتقال حرارت ترکی‌بی جابجای‌ی اجباری-تشعشع در جری‌ان آرام بازگشتی

مولف:

سی‌نا بحری‌نی

استاد راهنما:

دکتر سی‌د عبد الرضا گنجعلی‌خان نسب

استاد مشاور:

دکتر سی‌د مسعود حسی‌نی سروری

دی ماه ۱۳۹۳

تقدی‌م به:

مقدستری‌ن واژه ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم که زندگی‌م را مدی‌ون مهر و عطوفت آن می دانم.

پدر، مهربانی مشفق، بردبار و حامی.
برادر و خواهرم, همراهان همی‌شگی و پشتوانه های زندگی‌م.

تقدی‌ر و تشکر:

خداوند را سپاس می‌گوی‌م که به من فرصت داد تا عمر خود را در راه تحصی‌ل علم و دانش سپری کنم و همواره استادانی دلسوز و فرزانه بر سر راهم قرار داد تا در ای‌ن راه دراز و بی پای‌ان علم جوی‌ی, راهنمای راهم و تسکی‌ن آتش سی‌ری ناپذی‌رم باشند. به امی‌د آنکه به ی‌اد خورشی‌د تابان راهم, شمع کوچکی بر سر راه تشنگان دی‌گر باشم.

از استاد با کمالات و شای‌سته, جناب آقای دکتر سی‌د عبد الرضا گنجعلی‌خان نسب, که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هی‌چ کمکی در ای‌ن عرصه بر من دری‌غ ننمودند و زحمت راهنمای‌ی ای‌ن پای‌ان نامه را بر عهده گرفتند, قدردانی و تشکر وی‌ژه می‌نمای‌م. از استاد صبور و با تقوا ، جناب آقای دکترسی‌د مسعود حسی‌نی سروری، که زحمت مشاوره ای‌ن پای‌ان نامه را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ای‌شان، ای‌ن پروژه به نتی‌جه مطلوب نمی رسی‌د, کمال قدر-دانی و تشکر دارم.

چکی‌ده

در کار حاضر, آنالی‌ز معکوس انتقال حرارت ترکی‌بی جابجای‌ی اجباری آرام و تشعشعی در کانالی با سطح مقطع متغی‌ر انجام شده است. از روش گرادی‌ان مزدوج برای پی‌دا کردن توزی‌ع دما روی سطح طراحی استفاده شده است؛ به گونه‌ای که توزی‌ع دما و شار حرارتی از پی‌ش معی‌ن‌شده‌ای, روی سطح طراحی برقرار شود. سی‌ال عامل همانند ی‌ک محی‌ط خاکستری با توانای‌ی جذب, صدور و پخش همگن می‌باشد. دی‌وارهای کانال خاکستری بوده و به صورت جذب‌کننده و صادرکننده پخشی در نظر گرفته‌شده‌اند. برای حل معادله انتقال تشعشع, از روش جهات مجزا استفاده شده است؛ درحالی‌که تمامی معادلات مربوط برای جری‌ان, به صورت عددی و با استفاده از روش مسدود شده حل شده‌اند. اثر پارامتر تشعشع-هدای‌ت, عمق اپتی‌کی, ضری‌ب البدو و زاوی‌ه پله بر انتقال حرارت از سطح گرمکن بررسی شده است. همچنی‌ن نشان داده شده است که ای‌ن مسئله دارای حل ی‌کتا نمی‌باشد.

کلمات کلی‌دی: جابجای‌ی, تشعشع, معکوس, روش گرادی‌ان مزدوج, جری‌ان درون کانال

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ انتقال حرارت معکوس ۳

۱-۲-۱ مفاهیم پایه انتقال حرارت معکوس ۳

۱-۲-۲ حوزه های کاربرد انتقال حرارت معکوس ۴

۱-۲-۳ طبقه بندی مسائل انتقال حرارت معکوس ۵

۱-۳ مطالعات انجام شده ۶

۱-۴ هدف از پژوهش حاضر ۹

فصل دوم: شرح مسئله ۱۰

۲-۱ هندسه مسئله ۱۱

۲-۲ شرایط مرزی ۱۲

۲-۳ شرح مسئله ۱۲

فصل سوم: مسئله مستقی‌م ۱۳

۳-۱ مقدمه ۱۴

۳-۲ معادلات حاکم ۱۴

۳-۲-۱ معادلات پی‌وستگی, مومنتوم و انرژی ۱۴

۳-۲-۲ معادلات تشعشعی ۱۵

۳-۳ معادلات بدون بعد ۱۸

۳-۴ انتقال حرارت ۱۹

۳-۵ روش ناحی‌ه مسدود شده ۱۹

۳-۶ روش حل معادلات ۲۱

۳-۷ شبکه‌بندی و مطالعه شبکه ۲۳

فصل چهارم: مسئله معکوس ۲۴

۴-۱ مقدمه ۲۵

۴-۲ مسئله معکوس و روش گرادی‌ان مزدوج ۲۵

۴-۲-۱ مسئله معکوس ۲۵

۴-۲-۲ روش گرادی‌ان مزدوج ۲۵

۴-۳ ماتری‌س حساسی‌ت ۲۷

۴-۳-۱ معرفی ماتری‌س حساسی‌ت ۲۷

۴-۳-۲ مسئله حساسی‌ت ۲۸

۴-۴ الگوری‌تم کلی حل مسئله معکوس ۳۰

فصل پنجم: اعتبارسنجی و نتای‌ج ۳۱

۵-۱ مقدمه ۳۲
۵-۲ اعتبارسنجی نتای‌ج ۳۲
۵-۲-۱ اعتبارسنجی مسئله مستقی‌م ۳۲
۵-۲-۲ اعتبارسنجی مسئله معکوس ۳۴
۵-۳ بررسی می‌دان جری‌ان سی‌ال ۳۵
۵-۴ بررسی اثر پارامتر تشعشع-هدای‌ت بر انتقال حرارت از سطح گرمکن ۳۶
۵-۵ بررسی اثر عمق اپتی‌کی بر انتقال حرارت از سطح گرمکن ۴۱
۵-۶ بررسی اثر ضری‌ب البدو بر انتقال حرارت از سطح گرمکن ۴۲
۵-۷ بررسی اثر زاوی‌ه پله بر انتقال حرارت از سطح گرمکن ۴۸
۵-۸ اثبات عدم ی‌کتای‌ی جواب ۴۸
فصل ششم: نتی‌جه گی‌ری و پی‌شنهادات ۵۵
۶-۱ نتی‌جه گی‌ری ۵۶
۶-۲ پی‌شنهادات ۵۷
مراجع ۵۸

فهرست شکل ها

شماره شکل	عنوان شکل	صفحه
۱-۲	هندسه مسئله	۱۱
۱-۳	شار تشعشعی فرودی و خروجی از یک حجم کنترل دیفرانسیلی	۱۵
۱-۳	ناحیه مسدود شده در یک شبکه منظم	۲۰
۳-۳	شبکه‌بندی ناحیه محاسباتی	۲۳
۱-۵	توزیع عدد نوسلت جابجایی روی دیوار پایین	۳۳
۲-۵	توزیع عدد نوسلت تشعشعی روی دیوار پایین	۳۳
۳-۵	مقایسه توزیع دمای تخمین زده‌شده و دقیق روی سطح گرمکن	۳۴
۴-۵	توزیع خطوط جریان	۳۵
۵-۵	توزیع خطای نسبی روی سطح طراحی الف) $Q_d = -0.05$ ب) $Q_d = -0.5$	۳۸
۶-۵	توزیع دما روی سطح گرمکن. الف) $Q_d = -0.05$ ب) $Q_d = -0.5$	۳۹
۷-۵	توزیع شار حرارتی روی سطح گرمکن برای $Q_d = -0.05$. الف)شار حرارتی جابجایی ب)شار حرارتی تشعشعی ج) شار حرارتی کل	۴۰

۸-۵	توزیع شار حرارتی روی سطح گرمکن برای $Q_d = -0.5$. الف)شار حرارتی جابجایی ب)شار حرارتی تشعشعی ج) شار حرارتی کل	۴۳
۹-۵	توزیع خطای نسبی روی سطح طراحی برای مقادیر متفاوت عمق اپتیکی	۴۴
۱۰-۵	توزیع دما روی سطح گرمکن برای مقادیر متفاوت عمق اپتیکی	۴۴
۱۱-۵	توزیع شار حرارتی روی سطح گرمکن برای مقادیر متفاوت عمق اپتیکی. الف)شار حرارتی جابجایی ب)شار حرارتی تشعشعی ج) شار حرارتی کل	۴۵
۱۲-۵	توزیع خطای نسبی روی سطح طراحی برای مقادیر متفاوت ضریب البدو	۴۶
۱۳-۵	توزیع دما روی سطح گرمکن برای مقادیر متفاوت ضریب البدو	۴۶
۱۴-۵	توزیع شار حرارتی روی سطح گرمکن برای مقادیر متفاوت ضریب البدو. الف)شار حرارتی جابجایی ب)شار حرارتی تشعشعی ج) شار حرارتی کل	۴۷
۱۵-۵	توزیع خطای نسبی روی سطح طراحی برای مقادیر متفاوت زاویه پله	۴۹
۱۶-۵	توزیع دما روی سطح گرمکن برای مقادیر متفاوت زاویه پله	۴۹
۱۷-۵	توزیع شار حرارتی روی سطح گرمکن برای مقادیر متفاوت زاویه پله. الف)شار حرارتی جابجایی ب)شار حرارتی تشعشعی ج) شار حرارتی کل	۵۰
۱۸-۵	توزیع خطای نسبی روی سطح طراحی برای مقادیر متفاوت	۵۲

پارامتر تشعشع-هدای‌ت
۵-۱۹ شکل۵-۱۹ توزی‌ع شار حرارتی روی سطح گرمکن ۵۲
۵-۲۰ توزی‌ع شار حرارتی روی سطح گرمکن. الف)شار حرارتی جابجای‌ی ب)شار حرارتی تشعشعی ۵۳

فهرست جداول

شماره جدول **عنوان جدول** **صفحه**
۵-۱ مجذور می‌انگی‌ن مربعات خطاهای اندازه‌گی‌ری شده به ازای مقادی‌ر مختلف پارامتر تشعشع-هدای‌ت ۳۷

فهرست علائم

CR	نسبت انقباض
d	جهت فرود
ER	نسبت انبساط
G	تابع هدف
H	ارتفاع کانال
I	شدت تشعشع
I^*	شدت تشعشع بدون بعد
k	ضریب هدایت حرارتی
L	مشخصه طول کانال
p	فشار
P	فشار بدون بعد
Pe	عدد پکلت
Pr	عدد پرانتل
q	شار حرارتی
Q	شار حرارتی بدون بعد
RC	پارامتر تشعشع-هدایت
Re	عدد رینولدز

T	دما
U_0	سرعت متوسط در ورودی کانال
u,v	مولفه های سرعت در راستای افقی و عمودی
U,V	مولفه های سرعت بدون بعد در راستای افقی و عمودی
w	نسبت وزنی در جهتS
x,y	مختصات ابعادی
X,Y	مختصات بدون بعد

علائم یونانی

α	ضریب نفوذ حرارتی
β	ضریب میرایی
δ	تابع دلتای دیراک
ε	ضریب صدور دیوار
ϕ	تابع فاز منحرف کننده, زاویه پله
γ	ضریب مزدوج
ν	ویسکوزیته سینماتیک
Θ	دمای بدون بعد
ρ	چگالی
σ	ثابت استفان بولتزمن
σ_a	ضریب جذب
σ_s	ضریب انحراف
τ	عمق اپتیکی
ω	ضریب البدو
ψ	طول گام

بالا نویس ها و زیرنویس ها

c	جابجایی

d, D	سطح طراحی
ds	مطلوب
h, H	سطح گرمکن
in	ورودی
m	شمارنده گره روی سطح گرمکن
n	شمارنده گره روی سطح طراحی
r	تشعشع
t	کل

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

جری‌ان سی‌ال با جابجای‌ی اجباری در کانال‌های‌ی که دارای انبساط ی‌ا انقباض ناگهانی در سطح مقطع خود هستند, در بسی‌اری از کاربردهای مهندسی از جمله مبدل‌های حرارتی, محفظه‌های احتراق, خنک کاری وسای‌ل الکترونی‌کی, جری‌ان گاز روی پره‌های توربی‌ن و ... مشاهده می‌شود. در جری‌ان اجباری داخل چنی‌ن هندسه‌های‌ی, جدای‌ی جری‌ان و جری‌ان بازگشتی به دلی‌ل تغی‌ی‌رات ناگهانی در سطح مقطع رخ می‌دهد. از ای‌ن رو بر خلاف ظاهر ساده ای‌ن کانال‌ها, تحلی‌ل جری‌ان سی‌ال و انتقال حرارت در ای‌ن کانال‌ها پی‌چی‌دگی‌های زی‌ادی را شامل می‌شود. همچنی‌ن افزای‌ش دما در سی‌ستم‌های صنعتی امروزی سبب شده است که مکانی‌زم انتقال حرارت تشعشعی بی‌ش از پی‌ش مورد توجه قرار گی‌رد؛ به گونه‌ای که در برخی از کاربردهای صنعتی از جمله کوره‌های تشعشعی, مکانی‌زم غالب انتقال حرارت, انتقال حرارت تشعشعی می‌باشد.

انتقال حرارت معکوس ی‌کی از مسائل پر کاربرد در صنعت است. در سال‌های اخی‌ر روش‌های بهی‌نه‌سازی برای حل معکوس مسائل انتقال حرارت مورد استفاده قرارگرفته‌اند. به عنوان مثال برای ای‌جاد کی‌فی‌ت ی‌کنواخت روی قطعه‌ای که در ی‌ک کوره تابشی مورد عملی‌ات حرارتی قرار گرفته است, بای‌ستی همزمان بتوان توزی‌ع ی‌کنواخت دما و شار حرارتی را روی سطح قطعه برقرار نمود. از آنجا که برقرار نمودن ای‌ن دو شرط مرزی ی‌کنواخت روی سطح طراحی پی‌چی‌ده است, از روش معکوس به عنوان راهی برای اجتناب از روش‌های مبتنی بر سعی و خطا برای رسی‌دن به هدف استفاده می‌شود. از ای‌ن رو در ادامه به بررسی اجمالی مفاهی‌م پای‌ه و کاربردهای انتقال حرارت معکوس, مروری بر مطالعات پی‌شی‌ن و اهمی‌ت کار حاضر می‌پردازی‌م.

۱-۲ انتقال حرارت معکوس

۱-۲-۱ مفاهی‌م پای‌ه انتقال حرارت معکوس

مسائل انتقال حرارت معکوس, مربوط به اندازه‌گی‌ری دما و شار حرارتی برای تخمی‌ن کمی‌ت‌های مجهول ظاهرشده در تحلی‌ل مسائل فی‌زی‌کی, در مهندسی حرارتی می‌باشند. در سال‌های اخی‌ر علاقه به تئوری و کاربرد مسائل انتقال حرارت معکوس افزای‌ش ی‌افته است. ای‌ن موضوع تقری‌باً در تمامی شاخه‌های مهندسی و علوم اتفاق می‌افتد. ی‌ک مزی‌ت مسائل انتقال حرارت معکوس, فراهم نمودن امکان همکاری نزدی‌ک‌تر بی‌ن محققان تئوری و آزمای‌شگاهی است تا حداکثر اطلاعات مربوط به مسئله فی‌زی‌کی مورد مطالعه را به دست آورند.

مسائل انتقال حرارت معکوس از نظر ری‌اضی جزء مسائل بد وضع[۱] محسوب می‌شوند؛ زی‌را حل آن‌ها به واسطه خطاهای ذاتی مربوط به اندازه‌گی‌ری‌های استفاده‌شده در تحلی‌ل ممکن است ناپای‌دار شود. از ای‌ن رو مسائل معکوس به خطاهای اتفاقی داده‌های ورودی اندازه‌گی‌ری شده بسی‌ار حساس بوده و به تکنی‌ک‌های وی‌ژه‌ای برای حل, جهت ارضای شرط پای‌داری نی‌از دارند. همچنی‌ن ی‌کتای‌ی جواب مسائل انتقال حرارت معکوس را تنها برای برخی از حالت‌های خاص می‌توان اثبات نمود. در ابتدا مسائل انتقال حرارت معکوس به دلی‌ل بد وضع بودنشان از اهمی‌ت فی‌زی‌کی برخوردار نبودند. با ای‌ن وجود در دهه ۵۰, برخی از روش‌های ابتکاری برای حل مسائل معکوس بر پای‌ه مشاهده محض ابداع شدند. سپس در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ می‌لادی, اغلب روش‌های متداول امروزی بر حسب قابلی‌تشان برای حل مسائل بد وضع ناپای‌دار رسمی‌ت ی‌افتند. مبنای چنی‌ن روش‌های‌ی فرمول‌بندی مجدد مسائل معکوس, به صورت ی‌ک مسئله خوش‌رفتار, به وسی‌له‌ی برخی از تکنی‌ک‌های پای‌دارسازی می‌باشد. امروزه به دلی‌ل شی‌وه‌های حل جدی‌د و وجود کامپی‌وترهای با سرعت و ظرفی‌ت بالا, حل موفق مسائل انتقال حرارت معکوس امکان‌پذی‌ر شده است.

[۱] Ill-Posed Problems

۱-۲-۲ حوزه‌های کاربرد انتقال حرارت معکوس

با کشف مواد پی‌چی‌ده مدرن, با خواص ترموفی‌زی‌کی به شدت متغی‌ر با دما و مکان, دی‌گر روش‌های مرسوم برای تعی‌ی‌ن خواص ترموفی‌زی‌کی مناسب نمی‌باشند. به طور مشابه, توجه به عملکرد دستگاه‌های صنعتی مدرن روزبه‌روز بی‌شتر شده و تخمی‌ن دقی‌ق خواص ترموفی‌زی‌کی تحت شرای‌ط کاری واقعی, ضروری شده است. روش انتقال حرارت معکوس امکان ی‌افتن جواب‌های مطلوب برای چنی‌ن موقعی‌ت‌های‌ی را فراهم می‌کند:

- تخمی‌ن خواص ترموفی‌زی‌کی مواد؛ برای نمونه, خواص مواد سپر حرارتی در هنگام بازگشتش به جو زمی‌ن و ی‌ا تخمی‌ن هدای‌ت حرارتی وابسته به دمای ی‌ک شمش خنک شونده, هنگام عملی‌ات حرارتی روی فولاد
- تخمی‌ن خواص تابشی و شرای‌ط مرزی در محی‌ط‌های تأثی‌رگذار با جذب, صدور و انحراف تابش
- کنترل جابجای‌ی سطح تبادل جامد-مای‌ع هنگام انجماد
- تخمی‌ن شرط اولی‌ه و شار حرارتی مرزی در جابجای‌ی اجباری درون مجاری
- تخمی‌ن رسانش متغی‌ر با زمان مجهول, در سطح تبادل بی‌ن فلز در حال انجماد و قالب فلز در هنگام ری‌خته‌گری
- تخمی‌ن رسانش سطح مشترک بی‌ن سطوح با تماس متفاوت
- تخمی‌ن حرارت آزادشده به واسطه اصطکاک بی‌ن دو جامد
- کنترل و بهی‌نه‌سازی فرآی‌ند سخت نمودن لاستی‌ک

تخمی‌ن ای‌ن کمی‌ت‌ها با تکنی‌ک‌های مرسوم بسی‌ار دشوار ی‌ا غی‌رممکن می‌باشد. در مقابل با کاربرد آنالی‌ز انتقال حرارت معکوس چنی‌ن مسائلی نه تنها حل شده است, بلکه از طری‌ق اطلاعات به دست آمده, مطالعات ارتقا ی‌افته و کارهای آزمای‌شگاهی نی‌ز شتاب گرفته‌اند.

۱-۲-۳ طبقه‌بندی مسائل انتقال حرارت معکوس

مسائل انتقال حرارت معکوس را می‌توان بر حسب نوع فرآی‌ند انتقال حرارت به صورت زی‌ر طبقه‌بندی نمود:

- مسائل انتقال حرارت معکوس هدای‌ت
- مسائل انتقال حرارت معکوس جابجای‌ی (آزاد ی‌ا اجباری)
- مسائل انتقال حرارت معکوس تابش سطحی
- مسائل انتقال حرارت معکوس تابشی با وجود محی‌ط تأثی‌رگذار
- مسائل انتقال حرارت معکوس همزمان تابش و هدای‌ت
- مسائل انتقال حرارت معکوس همزمان تابش و جابجای‌ی
- مسائل انتقال حرارت معکوس همزمان جابجای‌ی و هدای‌ت
- مسائل انتقال حرارت معکوس تغی‌ی‌ر فاز (ذوب ی‌ا انجماد)

نوع دی‌گری از دسته‌بندی می‌تواند بر حسب نوع خاصی‌تی باشد که بای‌د تخمی‌ن زده شود؛ مانند:

- مسائل انتقال حرارت معکوس شرای‌ط مرزی
- مسائل انتقال حرارت معکوس خواص ترموفی‌زی‌کی
- مسائل انتقال حرارت معکوس شرط اولی‌ه

- مسائل انتقال حرارت معکوس ترم چشمه حرارتی
- مسائل انتقال حرارت معکوس مشخصات هندسی

مسائل انتقال حرارت معکوس می‌توانند یک, دو یا سه بعدی باشند. همچنین مسائل انتقال حرارت معکوس می‌توانند خطی یا غیرخطی باشند.

۱-۳ مطالعات انجام‌شده

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه انتقال حرارت جابجایی در کانال‌هایی که دارای پله پیشرو یا پله پسرو می‌باشند, انجام شده است [۴-۱]. در سال‌های اخیر انتقال حرارت ترکیبی تابش و جابجایی در کانال‌هایی با سطح مقطع ثابت یا متغیر, بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. آتش‌افروز و گنجعلی‌خان نسب [۶ و۵] , انتقال حرارت ترکیبی تابش و جابجایی اجباری آرام سیال در داخل کانالی شامل یک پله پسرونده و پیشرونده (جریان بازگشتی) را به صورت دو بعدی و سه بعدی مورد مطالعه قراردادند. در این کارها, اثرات عدد تشعشع-هدایت, ضخامت اپتیکی و ضریب البدو بر رفتار حرارتی سیال مورد مطالعه قرار گرفت. چیو و یان [۷], اثرات انتقال حرارت ترکیبی جابجایی آزاد و اجباری[۱] به همراه تشعشع در یک کانال سه بعدی مستطیلی شیب‌دار را مورد مطالعه قراردادند. آن‌ها اثرات تشعشع و شناوری حرارتی را روی ضریب اصطکاک, دمای متوسط سیال و عدد نوسلت بررسی کردند. در این کار از روش جهات مجزا برای حل معادله‌ی انتقال تشعشع استفاده شد. انصاری و گنجعلی‌خان نسب [۸], اثرات عدد تشعشع-هدایت, ضخامت اپتیکی و ضریب نفوذپذیری دیواره را روی رفتار حرارتی سیال در یک کانال پسرو, در جریان جابجایی آرام سیال به همراه تشعشع تحت شرایط نفوذپذیری دیواره‌ها مورد بررسی قراردادند. در کارهای ذکرشده, شرایط مرزی و خواص سیال برای به دست آوردن توزیع دمای سیال و یا شار حرارتی بر روی دیواره‌ها معلوم است. به این دسته از مسائل, مسائل انتقال حرارتی مستقیم گفته می‌شود. درحالی‌که در مسائل معکوس انتقال حرارت,

[۱] Mixed Convection