بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

دانشکده علوم ریاضی

تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

اعضای هیأت داوران نسخهٔ نهایی پایان‌نامه **خانم زهرا کلاته‌بجدی** رشته **ریاضی‌کاربردی** به شماره دانشجویی ۸۸۵۲۶۴۱۰۰۸ تحت عنوان: «**حل عددی معادله انتقال گرما در لایه‌های نازک و ارتباط آن با اثرات یک موج‌بر در کنترل منبع الکترومغناطیس**» را از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و آن را برای اخذ درجهٔ کارشناسی‌ارشد مورد تأیید قرار دادند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام‌خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر علاءالدین ملک	دانشیار	
۲- استاد مشاور	دکتر حجت‌اله مؤمنی‌ماسوله	استادیار	
۳- استاد ناظر داخلی	دکتر سیدمحمد حسینی	استاد	
۴- استاد ناظر خارجی	دکتر علی ذاکری	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر سیدمحمد حسینی	استاد	

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته ریاضی کاربردی است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده علوم ریاضی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر علاءالدین صفت ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر حمیدالله موحدی ساوجی و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب زهرا کاشانی دانشجوی رشته ریاضی کاربردی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: زهرا کاشانی

تاریخ و امضا:

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب ..... دانشجوی رشته ..... ورودی سال تحصیلی ۸۸-۸۹ .....
مقطع ..... دانشکده ..... متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: .....

تاریخ: .....

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم ریاضی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی

حل عددی معادله انتقال گرما در لایه‌های نازک و ارتباط آن با اثرات یک موج‌بر در کنترل منبع الکترومغناطیس

توسط

زهرا کلاته بجدی

استاد راهنما

دکتر علاءالدین ملک

استاد مشاور

دکتر سید حجت‌اله مومنی ماسوله

بهمن ماه ۱۳۹۰

تقدیم به:

روح پاک پدرم

که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

و به مادرم

دریای بی‌کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

قدردانی

با درود فراوان به روح پر فتوح پدر بزرگوارم و سپاس بیکران بر همدلی و همراهی و همگامی مادر دلسوز و مهربانم که سجده‌ی ایثارش گل محبت را در وجودم پروراند و دامان گهربارش لحظه‌های مهربانی را به من آموخت و با تقدیر و تشکر شایسته از اساتید فرهیخته جناب دکتر علاءالدین ملک و جناب دکتر سید حجت‌اله مومنی ماسوله که با نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلند، صحیفه‌های سخن را علم پرور نمودند و همواره راهنما و راه‌گشای نگارنده در اتمام پایان‌نامه بوده‌اند.

تقدیم به خواهران و برادرانم که بدون یاری آن‌ها اتمام این پایان‌نامه امکان پذیر نبود.

زهرا کلاته بجدی

بهمن ماه ۱۳۹۰

چکیده

در این پایان‌نامه روش ترکیبی هم‌محلی–تفاضلات متناهی، برای حل عددی معادلات انتقال گرما به‌کار گرفته شده است که روش هم‌محلی برای گسسته سازی مکانی و تفاضلات متناهی برای گسسته سازی زمانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. حل عددی برای معادله انتقال گرما در فضای سه بعدی در لایه نازک با ابعاد میکرومتر بدون منبع گرمایی، با استفاده از پایه‌های مثلثاتی و کاردینال چبیشف، حل عددی معادله انتقال گرما در فضای سه بعدی در یک ذره با منبع گرمایی سه بعدی، با استفاده از پایه‌های مثلثاتی، و حل عددی معادله گرمای زیستی پنس یک بعدی با پایه‌های مثلثاتی و کاردینال چبیشف، ارائه شده است. در پایان، میدان الکتریکی در کنترل منبع الکترومغناطیس دریایی، با حل عددی معادله تأخیر فاز دوگانه با روش عددی هم‌محلی، با پایه‌های کاردینال چبیشف، بدست آورده شده است.

واژه‌های کلیدی : روش هم‌محلی، تفاضلات متناهی، معادله انتقال گرما، فیلم نازک، معادله گرمای زیستی پنس، الکترومغناطیس.

فهرست مندرجات

۱ مبانی انتقال گرما ۱

۱.۱ مقدمه ۱

۲.۱ روش های انتقال گرما ۲

۱.۲.۱ هدایت ۲

۲.۲.۱ همرفت ۳

۳.۲.۱ تشعشع ۳

۳.۱ دیدگاه ترمودینامیکی انتقال انرژی ۴

۱.۳.۱ قانون اول و دوم ترمودینامیک ۵

۴.۱ توزیع دما ٦

۵.۱ قانون هدایت گرمایی فوریه ۷

۶.۱ معادله عمومی هدایت گرمایی ۹

۷.۱ مدل تاخیر فاز دوگانه ۱۰

۲ معادلات حاکم ۱۳

۱.۲ مقدمه ۱۳

۲.۲ معادله انتقال گرما در یک لایه نازک با ضخامت میکرومتر ۱۴

۳.۲ معادله انتقال گرما در یک ذره ۱۶

۴.۲ معادله انتقال گرمای زیستی ۱۷

۳ روش ترکیبی هم‌محلی–تفاضلات متناهی و پیاده‌سازی آن ۱۹

۱.۳ مقدمه ۱۹

۲.۳ روش ترکیبی هم‌محلی–تفاضلات متناهی ۲۰
۱.۲.۳ پایه‌های مثلثاتی ۲۰
۲.۲.۳ پایه‌های کاردینال چبیشف ۲۱

۳.۳ گسسته سازی معادله انتقال گرما در یک لایه نازک با ضخامت میکرومتر ۲۳
۱.۳.۳ فرم کلی ماتریس‌ها ۲۵
۲.۳.۳ سازگاری، پایداری و همگرایی ۲۷

۴.۳ گسسته سازی معادله انتقال گرما در یک ذره ۳۱
۱.۴.۳ فرم کلی ماتریس‌ها ۳۳
۲.۴.۳ سازگاری، پایداری و همگرایی ۳۴

۵.۳ گسسته سازی معادله انتقال گرمای زیستی ۳۵
۱.۵.۳ سازگاری، پایداری و همگرایی ۳۶

۴ نتایج عددی ۳۹

۱.۴ حل عددی معادله انتقال گرما در یک لایه نازک با ضخامت میکرومتر ۳۹

۱.۱.۴ حل عددی معادله انتقال گرما در لایه نازک با استفاده از پایه‌های مثلثاتی ۴۰
۲.۱.۴ حل عددی معادله انتقال گرما در لایه نازک با استفاده از پایه‌های کاردینال چبیشف ۴۴

۲.۴ حل عددی معادله انتقال گرما در یک ذره ۴۹

۳.۴ حل عددی معادله انتقال گرمای زیستی ۵۳
۱.۳.۴ حل عددی معادله انتقال گرمای زیستی با استفاده از پایه‌های مثلثاتی ۵۳
۲.۳.۴ حل عددی معادله انتقال گرمای زیستی با استفاده از پایه‌های کاردینال چبیشف ۵۵
۳.۳.۴ نتیجه گیری ۵۷

۵ بررسی ارتباط معادله انتقال گرما با اثرات یک موج‌بر در کنترل منبع الکترومغناطیس ۶۰

۱.۵ مقدمه ۶۰

۲.۵ پیاده سازی روش عددی ۶۳

۳.۵ نتایج عددی ٦٥

۴.۵ نتیجه گیری ۷۰

واژه نامه فارسی به انگلیسی ۷٦

واژه نامه انگلیسی به فارسی ۸۰

فهرست اشکال

شکل ۱.۴ قدرمطلق مقادیر ویژه ماتریس P_N برای $N_۱ = N_۲ = N_۳ = ۷$، برای الف) $\Delta t = ۰/۱$ و ب) $\Delta t = ۰/۰۱$ ۴۱

شکل ۲.۴ الف. نمودار لگاریتم ماکزیمم خطا برای گام‌های زمانی مختلف ۴۱

شکل ۲.۴ ب. نمودار لگاریتم خطای وزن‌دار شده، برای گام‌های زمانی مختلف ۴۲

شکل ۳.۴ نمودار دما نسبت به x، $(۰ \le x \le ۰/۱mm)$، در $y = \frac{۵۰۰}{۷}\mu m$، $z = \frac{۵}{۷۰۰}\mu m$ و $t = ۱/۵$ ۴۲

شکل ۴.۴ نمودار دما نسبت به y، $(۰ \le y \le ۰/۱mm)$، در $x = \frac{۵۰۰}{۷}\mu m$، $z = \frac{۵}{۷۰۰}\mu m$ و $t = ۱/۵$ ۴۲

شکل ۵.۴ نمودار دما نسبت به z، $(۰ \le z \le ۱۰^{-۵}mm)$، در $x = \frac{۵۰۰}{۷}\mu m$، $y = \frac{۵۰۰}{۷}\mu m$ و $t = ۱/۵$ ۴۳

شکل ۶.۴ توزیع دما در $t = ۱/۵$ و $x = \frac{۵۰۰}{۷}\mu m$ با گام زمانی $\Delta t = ۰/۰۰۱$ ۴۳

شکل ۷.۴ توزیع دما در $t = ۱/۵$ و $y = \frac{۵۰۰}{۷}\mu m$ با گام زمانی $\Delta t = ۰/۰۰۱$ ۴۳

شکل ۸.۴ توزیع دما در $t = ۱/۵$ و $z = \frac{۵}{۷۰۰}\mu m$ با گام زمانی $\Delta t = ۰/۰۰۱$ ۴۴

شکل ۹.۴ قدرمطلق مقادیر ویژه ماتریس P_N برای $N_۱ = N_۲ = N_۳ = ۱۰$، برای الف) $\Delta t = ۰/۰۱$ و ب) $\Delta t = ۰/۰۰۱$ ۴۵

شکل ۱۰.۴ نمودار لگاریتم ماکزیمم خطا برای $\Delta t = ۰/۱, ۰/۰۱, ۰/۰۰۱$ ۴۵

شکل ۱۱.۴ نمودار لگاریتم ماکزیمم خطا با پایه‌های مثلثاتی و کاردینال چبیشف برای $\Delta t = ۰/۰۱, ۰/۰۰۱$ ۴۶

شکل ۱۲.۴ نمودار دما نسبت به x، $(۰ \leq x \leq ۰/۱mm)$، در $y = ٦۵/۵\mu m$، $z = ۰/۰۰٦۵۴۵\mu m$ و $t = ۱/۵$ ۴٦

شکل ۱۳.۴ نمودار دما نسبت به y، $(۰ \leq y \leq ۰/۱mm)$، در $x = ٦۵/۵\mu m$، $z = ۰/۰۰٦۵۴۵\mu m$ و $t = ۱/۵$ ۴٦

شکل ۱۴.۴ نمودار دما نسبت به z، $(۰ \leq z \leq ۱۰^{-۵}mm)$، در $x = ٦۵/۵\mu m$، $y = ٦۵/۵\mu m$ و $t = ۱/۵$ ۴۷

شکل ۱۵.۴ توزیع دما در $t = ۱/۵$ و $x = ٦۵/۵\mu m$ با گام زمانی $\Delta t = ۰/۰۰۱$ ۴۷

شکل ۱٦.۴ توزیع دما در $t = ۱/۵$ و $y = ٦۵/۵\mu m$ با گام زمانی $\Delta t = ۰/۰۰۱$ ۴۷

شکل ۱۷.۴ توزیع دما در $t = ۱/۵$ و $z = ۰/۰۰٦۵۴۵\mu m$ با گام زمانی $\Delta t = ۰/۰۰۱$ ۴۸

شکل ۱۸.۴ قدرمطلق مقادیر ویژه ماتریس P_N با $\Delta t = ۰/۵\ fs$ برای الف) $N_۱ = N_۲ = N_۳ = ۱۰$ و ب) $N_۱ = N_۲ = N_۳ = ۱۲$ ۵۰

شکل ۱۹.۴ الف. نمودار دما در $x = y = ۲۵۰nm$ و $z = ۰$ با استفاده از سه تقسیم بندی متفاوت و گام زمانی $\Delta t = ۰/۵fs$

ب. تغییرات نرمال شده دما در $x = y = ۲۵۰nm$ و $z = ۰$ با استفاده از سه تقسیم بندی متفاوت و گام زمانی $\Delta t = ۰/۵fs$ ۵۱

شکل ۲۰.۴ توزیع دما در $t = ۰/۲۵ps$ برای $N_۱ = N_۲ = N_۳ = ۱٦$ با گام زمانی $\Delta t = ۰/۵fs$ ۵۲

شکل ۲۱.۴ توزیع دما در $t = ۰/۵ps$ برای $N_۱ = N_۲ = N_۳ = ۱٦$ با گام زمانی $\Delta t = ۰/۵fs$. ۵۲

شکل ۲۲.۴ مقادیر ویژه ماتریس $\hat{A}_N$ به ازای ۸۰ و $N = ۴۰, ٦۰$ ۵۴

شکل ۲۳.۴ تغییرات دما در پوست در جهت t در $x = ۰/۰۰۲۱m$ ۵۴

شکل ۲۴.۴ تغییرات دما در پوست در جهت x در $t = ۱۵۰s$ ۵۴

شکل ۲۵.۴ قدرمطلق مقادیر ویژه ماتریس $\tilde{A}_N$ الف) $\kappa(x) = ۰/۷(۱ + ۰/۳x)$ و
ب) $\kappa(x) = ۰/۵ - (۱۰۰x - ۰/۶)(۱۰۰x - ۰/۵)$ ۵۵
شکل ۲۶.۴ تغییرات دما در پوست در جهت t در $x = ۰/۰۰۲۱m$ با $\kappa(x) = ۰/۷(۱ + ۰/۳x)$. ۵۶
شکل ۲۷.۴ تغییرات دما در پوست در جهت x در $t = ۱۵۰s$ با $\kappa(x) = ۰/۷(۱ + ۰/۳x)$ ۵۶
شکل ۲۸.۴ تغییرات دما در پوست در جهت t در $x = ۰/۰۰۲۱m$ با
$\kappa(x) = ۰/۵ - (۱۰۰x - ۰/۶)(۱۰۰x - ۰/۵)$ ۵۶
شکل ۲۹.۴ تغییرات دما در پوست در جهت x در $t = ۱۵۰s$ با
$\kappa(x) = ۰/۵ - (۱۰۰x - ۰/۶)(۱۰۰x - ۰/۵)$ ۵۷
شکل ۳۰.۴ تغییرات دما در پوست در جهت t در $x = ۰/۰۰۲۱m$ با $\kappa(x) = ۰/۷(۱ + ۰/۳x)$. ۵۸
شکل ۳۱.۴ تغییرات دما در پوست در جهت x در $t = ۱۵۰s$ با $\kappa(x) = ۰/۷(۱ + ۰/۳x)$ ۵۸
شکل ۳۱.۴ تغییرات دما در پوست در جهت t در $x = ۰/۰۰۲۱m$ با
$\kappa(x) = ۰/۵ - (۱۰۰x - ۰/۶)(۱۰۰x - ۰/۵)$ ۵۹
شکل ۳۲.۴ تغییرات دما در پوست در جهت x در $t = ۱۵۰s$ با
$\kappa(x) = ۰/۵ - (۱۰۰x - ۰/۶)(۱۰۰x - ۰/۵)$ ۵۹
شکل ۱.۵ طرح اولیه کنترل منبع الکترومغناطیس دریایی ۶۱
شکل ۲.۵ مقدار پاسخ میدان الکتریکی نسبت به $d_۲$ در $\sigma_۲ = ۰/۰۱$ ۶۵
شکل ۳.۵ مقدار پاسخ میدان الکتریکی نسبت به $\sigma_۲$ در $d_۲ = ۱۲۲$ ۶۶
شکل ۴.۵ مقدار پاسخ میدان الکتریکی نسبت به $d_۲$ در $\sigma_۲ = ۰/۰۳$ ۶۶
شکل ۵.۵ مقدار پاسخ میدان الکتریکی نسبت به $\sigma_۲$ در $d_۲ = ۲۳۸$ ۶۷
شکل ۶.۵ نمودار ماکزیمم خطا نسبت به $d_۲$ با نقطه شروع $\sigma_۰ = ۵ \times ۱۰^{-۳}$ ۶۷

شکل ۷.۵ نمودار ماکزیمم خطا نسبت به σ_2 با نقطه شروع $\sigma_0 = 5 \times 10^{-3}$ ۶۸

شکل ۸.۵ نمودار ماکزیمم خطا نسبت به d_2 با نقطه شروع $\sigma_0 = 5 \times 10^{-6}$ ۶۸

شکل ۹.۵ نمودار ماکزیمم خطا نسبت به σ_2 با نقطه شروع $\sigma_0 = 5 \times 10^{-6}$ ۶۹

شکل ۱۰.۵ مقدار پاسخ میدان الکتریکی نسبت به d_2 برای ضریب هدایت‌های متفاوت ۷۰

فصل ۱

مبانی انتقال گرما

۱.۱ مقدمه

علم انتقال گرما یا انتقال حرارت به تحلیل آهنگ انتقال گرما در یک سیستم می‌پردازد. انتقال گرما، گذر انرژی بر اثر اختلاف دماست. در واقع هرگاه میان دو جسم یا دو محیط مجاور اختلاف دما وجود داشته باشد، انتقال گرما روی خواهد داد. تبادل انرژی را به عنوان گرما تعریف می‌کنیم. به عبارت دیگر گرما، همان انرژی انتقال یافته است که اختلاف دما باعث انتشار و افزایش آن می‌شود. اگر دو سیستم مجاور یکدیگر هم دما نباشند، گرما از ناحیه با دمای بالاتر به ناحیه با دمای پایین‌تر جریان می‌یابد. این جریان تا زمانی ادامه می‌یابد که دو سیستم هم دما شوند. چون گرما به دلیل وجود گرادیان دمایی شارش می‌یابد، دانستن توزیع دما ضروری است. در این صورت، کمیتی موسوم به شار گرمایی تعیین می‌شود. گرما، انرژی در حال انتقال است، پس می‌توان درباره میزان انتقال گرما و یا جریان گرما صحبت کرد. انتقال انرژی از طریق شارش گرما را نمی‌توان به‌طور مستقیم اندازه گیری کرد، ولی این انتقال چون به یک کمیت قابل اندازه گیری به نام دما ارتباط دارد، دارای مفهوم فیزیکی است.

۲.۱ روش های انتقال گرما

انتقال گرما بر اساس سه روش زیر صورت می گیرد:

۱) هدایت یا رسانش[۱]

۲) همرفت یا جابجایی [۲]

۳) تشعشع یا تابش [۳]

در واقع، توزیع دما در جسم توسط اثر ترکیبی این سه شکل انتقال گرما کنترل می‌شود. انتقال گرمایی که در این پایان نامه مورد نظر است، انتقال از طریق تابش و هدایت است. در ادامه به توضیح مختصری از هر یک از روش‌های انتقال گرما می‌پردازیم.

۱.۲.۱ هدایت

هدایت فرایندی از انتقال گرما است که توسط جنبش مولکول‌ها و در بعضی موارد توسط جریان آزاد الکترون‌ها و ارتعاشات شبکه‌ای، از ناحیه‌ای با دمای بالا به ناحیه‌ای با دمای پایین در جسم صورت می‌گیرد. اگر دمای قسمتی از جسم نسبت به نواحی دیگر آن بالاتر باشد، گرما از قسمت‌های گرم به سمت نواحی سرد جریان می‌یابد. این پدیده را هدایت گرمایی یا رسانش گرمایی می‌نامند. شدت انتقال گرمای هدایتی (مقدار گرمای منتقل شده در واحد زمان) متناسب با شیب دما در جسم و اندازه سطح عبور می‌باشد. انتقال گرما از طریق هدایت، همچنین می‌تواند در اثر تماس یا اتصال بین دو جسم با دماهای متفاوت صورت گیرد. در واقع می‌توان هدایت را به عنوان انتقال انرژی از ذرات پر انرژی به

---

[۱] Conduction

[۲] Convection

[۳] Radiation

ذرات کم انرژی ماده، بر اثر برهم کنش‌های بین آن‌ها دانست.

۲.۲.۱ همرفت

فرایند انتقال انرژی که ترکیبی از هدایت گرمایی و حرکت سیال می‌باشد، همرفت نامیده می‌شود. پس همرفت، هدایت در سیال متحرک است. همرفت نه تنها در داخل یک سیال، بلکه بین دو جسم که یکی از آن ها سیال باشد نیز اتفاق می‌افتد. انتقال گرمای همرفت از دو مکانیزم تشکیل می‌شود. یکی انتقال انرژی ناشی از حرکت تصادفی مولکول ها و دیگری انتقال انرژی بر اثر حرکت ماکروسکوپیک سیال. تجزیه و تحلیل این روش انتقال گرما، روشن کننده این مطالب است که همرفت چیزی فراتر از انتقال گرمای هدایتی می‌باشد، چرا که جنبش و حرکت سیال باید همزمان با فرایند انتقال انرژی بررسی شود.

۳.۲.۱ تشعشع

یکی از راه‌های انتقال گرما از طریق تشعشع است. همه اجسام با توجه به دمایی که دارند از خود انرژی منتشر می‌کنند. این پدیده را تشعشع گرمایی یا تابش گرمایی می‌گویند. مهمترین ویژگی‌ای که این فرایند را از بقیه فرایندهای انتقال گرما متمایز می‌سازد این است که نیاز به ماده یا فضای مادی برای انتقال گرما از طریق تشعشع نیست. در تشعشع، انتقال گرما به شکل امواج الکترومغناطیس است. از این رو، در نبود محیط واسط، میان دو سطح با دماهای مختلف انتقال گرمای خالص تشعشعی را داریم. تشعشع می‌تواند از سطح جامدات، مایعات و حتی گازها نیز صورت بگیرد. به طور کلی ماده به هر شکلی که باشد، گسیل انرژی را می‌توان به تغییرات وضعیت الکترون‌های اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل دهنده‌ی آن ارتباط داد.