بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مکانیک

رساله تحصیلی برای دریافت درجه دکتری رشته مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

طراحی معکوس کوره های تابشی با محیط خاکستری و غیرخاکستری

استاد راهنما:

دکتر سید حسین منصوری

مولف:

حسین امیری

آبان ماه ۱۳۹۰

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این رساله

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه دکترا به

بخش مکانیک

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : حسین امیری

استاد راهنما : آقای دکتر سید حسین منصوری

داور ۱ : آقای دکتر سید عبدالرضا گنجعلیخان نسب

داور ۲ : آقای دکتر سید مسعود حسینی سروری

داور مدعو : آقای دکتر محمد مقیمان (استاد دانشگاه فردوسی مشهد)

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده در جلسه دفاع : آقای دکتر شریف پور

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : خانم دکتر مریم احتشام زاده

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است

تقدیم به :

بهترین دوستانم: پدر و مادرم

و همسر مهربانم: معصومه

تقدیر و تشکر:

شکر و سپاس یکتا خالق هستی را به خاطر لطف و عنایت بی کرانش که یاریگرم در تمام مراحل زندگی است.

از استاد گرانقدر، آقای دکتر سید حسین منصوری که راهنمایی رساله اینجانب را بر عهده داشتند کمال تشکر را دارم، که اگر راهنمایی ، صبر و تشویق ایشان نبود، بی شک این رساله به پایان نمی رسید.

همچنین لازم می دانم از اساتید بزرگوار آقای دکتر محمد مقیمان، آقای دکتر سید عبدالرضا گنجعلیخان نسب و آقای دکتر سید مسعود حسینی سروری که زحمت داوری این رساله را بر عهده داشتند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

چکیده

از آنجا که دقت حل مسائل طراحی معکوس سیستمهای حرارتی بستگی به دقت روش حل مسئله مستقیم دارد، هدف اصلی در این رساله ارائه روشهایی جهت حل دقیقتر مسائل انتقال حرارت مستقیم و در نتیجه آن حل دقیقتر مسائل طراحی معکوس می باشد. در قسمت اول این تحقیق، روش راستاهای مجزا اصلاح شده که نسبت به روش راستاهای مجزا استاندارد روشی دقیقتر برای حل معادله انتقال تابش می باشد با کمک روش ناحیه غیر فعال به مسائل انتقال حرارت تابشی در هندسه های نامنظم و با محیط خاکستری توسعه داده شد. با توجه به این برتری، روش راستاهای مجزا اصلاح شده برای حل مسائل معکوس انتقال حرارت تابشی مورد استفاده قرار گرفته و مطالعه پارامتری انجام شده است. در قسمت دوم این رساله به منظور حل دقیقتر انتقال حرارت تابشی بر خلاف کارهای تحقیقاتی پیشین، برای اولین بار طراحی معکوس محفظه های تابشی در محیط های غیر خاکستری مورد مطالعه قرار گرفت که به کمک آن می توان کوره های احتراقی را با دقت بهتری طراحی نمود. معمولا محیط موجود در محفظه های تابشی شفاف و یا فقط جذب کننده و صادر کننده تابش در نظر گرفته می شد. یکی دیگر از ویژگیهای متمایز این رساله نسبت به کارهای پیشین، این می باشد که سعی شده است محیط تابشی در حالت کلی آن یعنی محیطهایی با قابلیت جذب، صدور و انحراف غیرهمسانگرد (اسکترینگ غیر ایزوتروپیک) تابش مورد مطالعه قرار گیرد. در این تحقیق محیط های غیر همگن دارای ذرات معلق شامل دوده نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. مقایسه بین نتایج مدل های مختلف خواص تابشی محیط نشان می دهد نتایج مدل گاز خاکستری به طور قابل ملاحظه ای نسبت به نتایج مدل غیرخاکستری اختلاف دارد و این مدل فرض خوبی برای خواص تابشی محیط درون کوره ها نمی باشد.

کلید واژه: روش راستاهای گسسته اصلاح شده، مطالعه پارامتری، محیط غیر خاکستری، روش مجموع وزنی گازهای خاکستری بر پایه خط طیفی (SLW)، روش ناحیه غیر فعال

فهرست مطالب

فهرست شکل ها ..... ک

فهرست جداول ..... ف

فهرست علایم ..... ص

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱: اهمیت انتقال حرارت تابشی و مدلسازی آن ۲

۱-۲: اهمیت مسائل معکوس ۳

۱-۳: اهداف رساله ۶

۱-۴: رئوس مطالب ۷

فصل ۲: معادلات حاکم بر انتقال حرارت تابشی، خواص تابشی محیط و روشهای حل ۹

۲-۱: مقدمه ۱۰

۲-۲: توصیف کمی فیزیک تابش ۱۱

۲-۳: معادله انتقال تابش ۱۲

۲-۴: معادله انرژی ۱۵

۲-۵: خواص تابشی محصولات احتراق ۱۶

۲-۵-۱: خواص تابشی فاز گاز ۱۷

۲-۵-۲: خواص تابشی دوده ۱۸

۲-۵-۳: خواص تابشی ذرات ۲۰

۲-۶: فرض محیط خاکستری ۲۱

۲-۷: روشهای حل معادله ی انتقال تابش ۲۲

۲-۷-۱: روش هارمونیک کروی ۲۳

۲-۷-۲: روش مونت کارلو ۲۴

۲-۷-۳: روش ناحیه ای ۲۵

۲-۷-۴: روش راستاهای مجزا ۲۵

۲-۷-۵: روش های هیبرید ۲۶
۲-۸: روش راستاهای مجزا اصلاح شده ۲۶
فصل ۳: حل مسائل انتقال حرارت تابشی با استفاده از روش راستاهای مجزا اصلاح شده ۲۸
۳-۱: مقدمه ۲۹
۳-۲: روش راستاهای مجزا ۳۲
۳-۳-۱: محاسبه کمیت های مربوط به شدت تابش دیوار ۳۸
۳-۳-۱: محاسبه کمیت های مربوط به شدت تابش محیط ۴۳
۳-۴: شیوه ناحیه غیر فعال برای مدل سازی هندسه های نامنظم ۴۴
۳-۴-۱: نحوه به کارگیری ناحیه غیر فعال برای روش راستاهای مجزا ۴۷
۳-۴-۲: نحوه به کارگیری ناحیه غیر فعال برای روش راستاهای مجزا اصلاح شده ۴۷
۳-۵: انتخاب تربیع زاویه ای ۵۰
۳-۶: اعتبار سنجی روش راستاهای مجزا اصلاح شده ۵۱
۳-۶-۱: مسئله محک با محفظه مربع شکل ۵۱
۳-۷ : محفظه های نامنظم ۵۵
۳-۷-۱: محفظه با مرز منحنی ۵۶
۳-۷-۲: محفظه مربعی با مانعی در وسط آن ۵۸
۳-۷-۳: مربع با یک بافل ۶۰
۳-۷-۴: محفظه مربعی با سپر تابشی ۶۱
۳-۷-۵: مدل ساده کوره ۶۳
۳-۸: نتیجه گیری ۶۵
فصل ۴: به کارگیری روش راستاهای مجزا اصلاح شده برای حل مسائل انتقال حرارت معکوس ۶۸
۴-۱: مقدمه ۶۹
۴-۲: مسئله معکوس طراحی ۷۴
۴-۳: معادلات حاکم بر روش مستقیم ۷۵
۴-۴: مسئله معکوس ۷۶

۴-۵: تعیین ضرایب حساسیت ۷۹
۴-۶: الگوریتم بهینه سازی ۸۰
۴-۷: اعتبار سنجی روش معکوس ۸۰
۴-۸ : نتایج و بحث ۸۴
۴-۸-۱: مسئله نمونه ۸۴
۴-۹: مطالعه پارامتری ۸۸
۴-۱۰ : اثر خطاهای اندازه گیری خواص تابشی بر حل بهینه ۹۳
۴-۱۰-۱: خطای اندازه گیری در ضریب صدور سطح طراحی ۹۷
۴-۱۱: نتیجه گیری ۱۰۱
فصل ۵: مسائل انتقال حرارت معکوس با محیط غیر خاکستری ۱۰۵
۵-۱: مقدمه ۱۰۶
۵-۲: بررسی روشهای مدل سازی خواص غیر خاکستری و بررسی کارهای انجام شده ۱۰۷
۵-۳ : مسئله طراحی معکوس ۱۲۰
۵-۴ : مسئله مستقیم ۱۲۱
۵-۵ : مدل SLW ۱۲۲
۵-۶: مدل گاز خاکستری ۱۴۰
۵-۷: مسئله معکوس ۱۴۱
۵-۷-۱:تعیین ضریب حساسیت ۱۴۱
۵-۸: اعتبار سنجی کد روش مستقیم ۱۴۴
۵-۸-۱: مسئله محک۱(محیط همگن و هم دما با یک گاز تابشی) ۱۴۵
۵-۸-۲: مسئله محک۲ (محیط غیر همگن و غیر هم دما با یک گاز تابشی) ۱۴۶
۵-۸-۳: مسئله محک۳ (محیط همگن و غیر هم دما با دوگاز تابشی) ۱۴۸
۵-۸-۴ : مسئله محک۴ (محیط همگن و همدما با ذرات دوده) ۱۴۹
۵-۹: اعتبار سنجی روش معکوس برای محیط غیر خاکستری ۱۵۰
۵-۱۰: نتایج و بحث ۱۵۴

۵-۱۰-۱: مسائل طراحی معکوس در هندسه مربعی ۱۵۴
۵-۱۰-۱-۱: مسئله نمونه ۱ ..... ۱۵۵
۵-۱۰-۱-۲: مسئله نمونه ۲ ..... ۱۵۸
۵-۱۰-۱-۳: مسئله نمونه ۳ ..... ۱۶۰
۵-۱۰-۱-۴: مسئله نمونه ۴ ..... ۱۶۲
۵-۱۰-۱-۵: مسئله نمونه ۵ ..... ۱۶۴
۵-۱۱-۱-۶: مسئله نمونه ۶ ..... ۱۶۸
۵-۱۱-۲ : مسائل طراحی معکوس در هندسه های نامنظم ۱۷۰
۵-۱۱-۲-۱: مسئله نمونه ۷ ..... ۱۷۱
۵-۱۲ : نتیجه گیری ۱۷۲
فصل ۶ : نتیجه گیری ۱۷۴
۶-۱: نتیجه گیری نهایی ۱۷۵
۶-۲: ارائه پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۱۷۷
پیوست (الف): ضرایب بسط برای چند تابع فاز انحراف [۱۳۸] ۱۷۸
پیوست (ب): راستاهای مجزا برای تربیعات زاویه ای S_N [۱] ۱۷۹
پیوست (ج): راستاهای مجزا برای تربیعات زاویه ای T_N [۳۴] ۱۸۰
پیوست (د): راستاهای مجزا برای تربیعات زاویه ای DCT [۳۵] ۱۸۵
پیوست (و): کد کامپیوتری برای محاسبه تابع توزیع جسم سیاه برای بخار آب ۱۸۶
پیوست (ز): کد کامپیوتری برای محاسبه تابع توزیع جسم برای دی اکسید کربن ۱۸۸
مراجع ۱۸۹
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۲۰۴
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۲۰۸

فهرست شکل ها

شکل ۳-۱ : نمونه ای از حجم کنترل در مختصات کارتزینی و کمیتهای تابشی مرتبط با آن ۳۵
شکل ۳-۲ : نمایش دو بعدی یک محفظه نامنظم با طول نامحدود ب) نمایش سه بعدی این محفظه برای بررسی اثر تابش از دیوارها ۴۰
شکل ۳-۳ : شماتیکی از فرایند شیوه ناحیه غیر فعال برای مدلسازی هندسه های نامنظم (الف) هندسه واقعی، (ب) هندسه صوری، (ج) تعریف متغیرهای ناحیه غیر فعال ، (د) مقدار متغیرهای روش ناحیه غیر فعال برای هندسه واقعی ۴۸
شکل ۳-۴: نحوه محاسبه انتگرال برای روش راستاهای مجزا اصلاح شده برای هندسه صوری شکل ۳-۳ (الف).....۴۹
شکل ۳-۵: شار حرارت بدون بعد بر روی دیوار پایین برای محیط منحرف کننده همسانگرد، محیط منحرف کننده ناهمسانگرد رو به جلو با تابع فاز F_2 و محیط منحرف کننده ناهمسانگرد رو به عقب با تابع فاز B_2 .....۵۳
شکل ۳-۶ : محفظه با مرز منحنی) ، ب) محفظه مربعی با مانعی در وسط آن و ج) مربع با یک بافل ۵۵
شکل۳-۷: شار حرارتی بر روی دیوار بالای محفظه منحنی (الف) محیط منحرف کننده همسانگرد با استفاده از تربیع S_4 ب) محیط منحرف کننده همسانگرد با استفاده از تربیع T_5 و ج) محیط منحرف کننده غیر همسانگرد با توابع فاز F_1 و B_1و تربیع T_5 .....۵۸
شکل۳-۸ : الف) توزیع شار حرارت تابشی بر روی دیوار ۳ محفظه مربعی با مانعی در وسط آن ، ب) اثر ضریب صدور دیوارهای بیرونی مربع داخلی بر شار حرارت تابشی بر روی دیوار ۵.....۵۹
شکل ۳-۹ : مقایسه شار حرارت تابشی در امتداد مرز محفظه مربعی با بافل.....۶۱
شکل ۳-۱۰: شار حرارت پیش بینی شده برروی دیوار سمت راست محفظه مربع شکل الف) بدون سپر تابش و ب) با سپر تابش ۶۲
شکل ۳-۱۱: مدل ساده کوره به همراه شرایط مرزی آن ۶۳
شکل ۳-۱۲: اثر اندازه شبکه (تعداد حجم کنترل)و تربیعات زاویه ای بر مقدار شار حرارتی تابشی بی بعد برای روی سطح طراحی برای محیط با ضریب استهلاک $\beta = 0.1m^{-1}$ الف) روش راستاهای مجزا اصلاح شده ب) روش راستاهای مجزا استاندارد ۶۴

شکل ۳-۱۳: اثر اندازه شبکه (تعداد حجم کنترل)و تربیعات زاویه ای بر مقدار شار حرارتی تابشی بی بعد برای روی سطح طراحی برای محیط با ضریب استهلاک $\beta = 1 m^{-1}$ الف) روش راستاهای مجزا اصلاح شده ب) روش راستاهای مجزا استاندارد ۶۶
شکل ۳-۱۴ : اثر اندازه شبکه (تعداد حجم کنترل)و تربیعات زاویه ای بر مقدار شار حرارتی تابشی بی بعد برای روی سطح طراحی برای محیط با ضریب استهلاک $\beta = 10 m^{-1}$ الف) روش راستاهای مجزا اصلاح شده ب) روش راستاهای مجزا استاندارد ۶۷
شکل ۴-۱:شماتیکی از یک مسئله معکوس و شرایط مرزی مرتبط با آن برای محفظه دو بعدی نامنظم ۷۵
شکل ۴-۲: الف) مقایسه بین توزیع شار حرارتی به دست آمده بوسیله روش معکوس و شار حرارتی مطلوب بر روی سطح طراحی (دیوار پایین)، ب) نرخ همگرایی تابع هدف بر اساس تعداد تکرار ۸۲
شکل ۴-۳: الف) مقایسه بین توزیع شار حرارتی به دست آمده در مسئله معکوس و شار حرارتی در مسئله مستقیم بر روی سطح گرمکن (دیوار بالایی محفظه)، ب) مقایسه بین دماهای بی بعد ۸۳
شکل ۴-۴: هندسه، شرایط مرزی و خواص فیزیکی محفظه تابشی نامنظم ۸۴
شکل ۴-۵ : مقایسه بین شار حرارتی تخمینی و مطلوب بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۸۶
شکل ۴-۶: توزیع شار حرارتی مجموعه گرمکنها بر روی سطح گرمکن برای مسئله نمونه ۸۷
شکل ۴-۷: نرخ همگرایی تابع هدف بر حسب تعداد تکرار برای مسئله نمونه ۸۷
شکل ۴-۸ : مقایسه بین شار حرارتی تخمینی و مطلوب بر روی سطح طراحی برای تعداد مختلف گرمکن ۸۸
شکل ۴-۹: توزیع شار حرارتی مجموعه گرمکنها بر روی سطح گرمکن برای تعداد مختلف گرمکن ۸۹
شکل ۴-۱۰: بررسی اثر ضریب البیدو انحراف همسانگرد برای محیط با $\beta = 0.1 m^{-1}$ بر: الف) توزیع شار حرارتی مجموعه گرمکنها بر روی سطح گرمکن، ب) شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی..... ۹۱

شکل ۴-۱۱: بررسی اثر ضریب البیدو انحراف همسانگرد برای محیط با $\beta = 1 m^{-1}$ بر: الف) توزیع شار حرارتی مجموعه گرمکنها بر روی سطح گرمکن و ب) شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی ۹۲
شکل ۴-۱۲: بررسی اثر ضریب استهلاک همسانگرد برای محیط با $\omega = 0.5$ بر: الف) توزیع شار حرارتی مجموعه گرمکنها بر روی سطح گرمکن و ب) شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی ۹۴
شکل ۴-۱۳: بررسی اثر تابع فاز انحراف برای محیط با ضریب استهلاک $\beta = 1.0$ و ضریب البیدو انحراف $\omega = 0.8$ بر: الف) توزیع شار حرارتی مجموعه گرمکنها بر روی سطح گرمکن و ب) شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی ۹۵
شکل ۴-۱۴: بررسی اثر ضریب صدور سطح طراحی برای محیط با ضریب استهلاک $\beta = 1.0$ و ضریب البیدو انحراف $\omega = 0.5$ بر: الف) توزیع شار حرارتی مجموعه گرمکنها بر روی سطح گرمکن و ب) شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی..... ۹۶
شکل ۴-۱۵: اثر خطا اندازه گیری در تعیین مقدار ضریب صدور بر مقدار خطای نسبی در تخمین توان حرارتی گرمکنها ۹۹
شکل ۴-۱۶ :مقایسه شار حرارتی بهینه بر روی سطح گرمکن برای مقدار ضریب صدور دقیق و دو مقدار حدی خطای اندازه گیری ضریب صدور ۱۰۰
شکل ۴-۱۷: مقایسه توزیع شار حرارتی بهینه مجموعه گرمکنها بر روی سطح گرمکن برای مقادیر مختلف خطا در ضریب استهلاک و مقدار دقیق ضریب استهلاک ۱۰۰
شکل ۵-۱ : الف) قسمتی از خطوط طیفی و ب) ضریب جذب بخار آب در دمای $T = 1000 K$ و فشار یک اتمسفر ۱۱۱
شکل ۵-۲: نمایش باندی یا هیستوگرامی یک خاصیت غیر خاکستری ۱۲۳
شکل ۵-۳ : مقطع جذب باند 2.7μ بخار آب (H_2O) را در دمای $T = 1000 K$ و کسر مولی $Y_{H2O} = 1$ ۱۲۴
شکل ۵-۴: نمایش هیستوگرامی مقطع جذب باند $2.7 \mu m$ بخار آب (H2O) در دمای $T = 1000 K$ و کسر مولی $Y_{H2O} = 1$ الف) بخش کوچکی از باند 2.7μ، ب) کل این باند ۱۲۵
شکل ۵-۵: نمایش هیستوگرام مقطع جذب طیفی و شماتیکی از معنی هندسی مقادیر مقطع جذب گاز های خاکستری و وزنهای مربوطه در روش SLW [۱۲۵] ۱۲۷

شکل ۵-۶ : شماتیکی از نحوه محاسبه تابع توزیع جسم سیاه برای یک گاز شرکت کننده در انتقال حرارت تابشی ۱۲۹
شکل ۵-۷ : مقایسه روابط مختلف و مقادیر واقعی تابع توزیع جسم سیاه در چند دمای مختلف برای الف) دی اکسید کربن CO_2 و ب) بخار آب H_2O ۱۳۳
شکل ۵-۸: نحوه تغییر ضریب جذب با دما درمحدوده ی کوچکی از طیف تابشی برای الف) دی اکسید کربن ب) بخار آب..... ۱۳۵
شکل ۵-۹: شماتیکی از وابستگی ایده ال مقطع جذب به دما، فشار و کسر مولی در حالتی که فرض تناسب صحیح باشد ۱۳۶
شکل ۵-۱۰: محفظه مورد مطالعه برای مسائل محک ۱ تا ۳ ..... ۱۴۵
شکل ۵-۱۱: مقایسه شار حرارتی بر روی دیوار پایین محفظه برای مدل های غیر خاکستری مختلف برای مسئله محک ۱ ..... ۱۴۶
شکل ۵-۱۲: مقایسه شار حرارتی بر روی دیوار پایین محفظه با مقادیر ارائه شده در [۱۲۰] برای مسئله محک ۲..... ۱۴۷
شکل ۵-۱۳: مقایسه شار حرارتی بر روی دیوار پایین محفظه با مقادیر ارائه شده در [۱۲۰] و [۱۳۷] برای مسئله محک ۳..... ۱۴۸
شکل ۵-۱۴ : مقایسه مقادیر محاسبه شده منبع حرارت تابشی با استفاده از روشهای مختلف برای مسئله محک ۴..... ۱۵۰
۵-۱۵ : توان حرارتی گرمکن ها بر روی سطح گرمکن برای مسائل مستقیم و معکوس ۱۵۲
۵-۱۶ : مقایسه مقادیر شار حرارتی بر روی سطح طراحی حاصل از حل مستقیم با مقادیر حاصل از حل معکوس..... ۱۵۳
۵-۱۷: منحنی چگونگی تغییرات تابع هدف نسبت به شمار تکرار ها ۱۵۳
شکل ۵-۱۸ : محفظه و شرایط مرزی برای مسائل نمونه یک تا شش ۱۵۵
شکل ۵-۱۹: مقایسه بین شار حرارتی مطلوب و شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۱۵۶
شکل ۵-۲۰: شار حرارتی مورد نیاز گرمکنها بر روی سطح گرمکن برای ایجاد شرایط مطلوب بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۱..... ۱۵۶
شکل ۵-۲۱: نرخ همگرایی تابع هدف برای مسئله نمونه ۱ ..... ۱۵۷

شکل ۵-۲۲ : مقایسه بین شار حرارتی مطلوب و شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۲ ..... ۱۵۸
شکل ۵-۲۳ : شار حرارتی مورد نیاز گرمکنها بر روی سطح گرمکن برای ایجاد شرایط مطلوب بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۲ ..... ۱۵۹
شکل ۵-۲۴ : نرخ همگرایی تابع هدف برای مسئله نمونه ۲ ..... ۱۵۹
شکل ۵-۲۵ : مقایسه بین شار حرارتی مطلوب و شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۳ ..... ۱۶۰
شکل ۵-۲۶ : شار حرارتی مورد نیاز گرمکنها بر روی سطح گرمکن برای ایجاد شرایط مطلوب بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۳ ..... ۱۶۱
شکل ۵-۲۷ : نرخ همگرایی تابع هدف برای مسئله نمونه ۳ ..... ۱۶۱
شکل ۵-۲۸ : مقایسه بین شار حرارتی مطلوب و شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۴ ..... ۱۶۲
شکل ۵-۲۹ : شار حرارتی مورد نیاز گرمکنها بر روی سطح گرمکن برای ایجاد شرایط مطلوب بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۴ ..... ۱۶۳
شکل ۵-۳۰ : نرخ همگرایی تابع هدف برای مسئله نمونه ۴ ..... ۱۶۳
شکل ۵-۳۱ : مقایسه بین شار حرارتی مطلوب و شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۵ ..... ۱۶۶
شکل ۵-۳۲ : شار حرارتی مورد نیاز گرمکنها بر روی سطح گرمکن برای ایجاد شرایط مطلوب بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۵ ..... ۱۶۶
شکل ۵-۳۳ : مقایسه کانتورهای دما در درون محفظه برای مدلهای مختلف خواص تابشی برای مسئله نمونه ۵ ..... ۱۶۷
شکل ۵-۳۴ : مقایسه پروفیل دما در درون محفظه بر روی خط $X = 0.5125$ برای مدلهای مختلف خواص تابشی برای مسئله نمونه ۵ ..... ۱۶۷
شکل ۵-۳۵ : نرخ همگرایی تابع هدف برای مسئله نمونه ۵ ..... ۱۶۸
شکل ۵-۳۶ : مقایسه بین شار حرارتی مطلوب و شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۶ ..... ۱۶۹
شکل ۵-۳۷ : شار حرارتی مورد نیاز گرمکنها بر روی سطح گرمکن برای ایجاد شرایط مطلوب بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۶ ..... ۱۶۹

شکل۵-۳۸: نرخ همگرایی تابع هدف برای مسئله نمونه ۶ ..... ۱۷۰
شکل ۵-۳۹: هندسه و شرایط مرزی مسئله نمونه ۷ ..... ۱۷۰
شکل ۵-۴۰: مقایسه بین شار حرارتی مطلوب و شار حرارتی تخمینی بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۷ ..... ۱۷۱
شکل ۵-۴۱: شار حرارتی مورد نیاز گرمکنها بر روی سطح گرمکن برای ایجاد شرایط مطلوب بر روی سطح طراحی برای مسئله نمونه ۷ ..... ۱۷۲

فهرست جداول

جدول ۳-۱: بررسی اثر تعداد نقاط تربیعات گاوسی و مقدار P بر دقت نتایج روش راستاهای مجزا اصلاح شده و مقایسه نتایج آن با نتایج روش راستاهای مجزا استاندارد از نظر زمان محاسبات و دقت ۵۴
جدول ۴-۱ :مقادیر ماکزیمم و متوسط خطای نسبی در تخمین توان بهینه گرمکن ها برای 10% خطا در اندازه گیری ضریب صدور سطح طراحی ۱۰۲
جدول ۴-۲ :مقادیر ماکزیمم و متوسط خطای نسبی در تخمین توان بهینه گرمکن ها برای 20% خطا در اندازه گیری ضریب صدور سطح طراحی ۱۰۳
جدول ۴-۳ :مقادیر ماکزیمم و متوسط خطای نسبی در تخمین توان بهینه گرمکن ها برای 10% مقادیر مختلف خطای اندازه گیری ضریب استهلاک ۱۰۴
جدول ۴-۴ :مقادیر ماکزیمم و متوسط خطای نسبی در تخمین توان بهینه گرمکن ها برای 20% مقادیر مختلف خطای اندازه گیری ضریب استهلاک ۱۰۴
جدول ۵-۱: تعداد خطوط طیفی پایگاه داده های مختلف برای بخار آب و دی اکسید کربن ... ۱۱۲
جدول ۵-۲: مقادیر حداکثر خطای نسبی در تخمین شار حرارتی بر روی دیوار پایین محفظه برای مدل های غیر خاکستری مختلف برای مسئله محک ۱ ..... ۱۴۶
جدول ۵-۳: مقادیر حداکثر خطای نسبی در تخمین شار حرارتی بر روی دیوار پایین محفظه برای مدل های مختلف غیر خاکستری برای مسئله محک ۲ ..... ۱۴۷
جدول ۵-۴: مقادیر حداکثر خطای نسبی در تخمین شار حرارتی بر روی دیوار پایین محفظه برای مدل های مختلف غیر خاکستری برای مسئله محک ۳ ..... ۱۴۹
جدول ۵-۵: مقادیر حداکثر خطای نسبی در تخمین منبع حرارت تابشی در بین دو صفحه موازی برای مدل های مختلف غیر خاکستری برای مسئله محک ۴ ..... ۱۵۰
جدول ۵-۶ : ماکزیمم و متوسط اختلاف دما برای مدلهای مختلف خواص تابشی برای مسئله نمونه ۵ ..... ۱۶۵

فهرست علایم

مساحت($[m^2]$)	A
ضرایب بسط تابع فاز ($[-]$)	A_j
فاکتور وزن جسم سیاه (یا به طور ساده فاکتور وزن) ($[-]$)	a_j
دو تابع فاز انحراف غیر همسانگرد رو به عقب($[-]$)	B_1, B_2
مقطع جذب مولی ($[m^2 mol^{-1}]$)	C_{abs}
مکمل مقطع جذب مولی ($[m^2 mol^{-1}]$)	$\tilde{C}_{abs}$
بردار جهت کاهش($[-]$)	$\vec{D}$
خطای نسبی ($[-]$)	E_{rel}
توان صدور جسم سیاه($[Wm^{-2}]$)	E_b
تابع هدف($[W^2 m^{-4}]$)	f
تابع هدف بی بعد($[-]$)	F
دو تابع فاز انحراف غیر همسانگرد رو به جلو($[-]$)	F_1, F_2
شدت تابش کل ($[Wm^{-2}sr]$)	I
شدت تابش جسم سیاه ($[Wm^{-2}sr]$)	I_b
شدت تابش طیفی جسم سیاه ($[Wm^{-2}sr]$)	I_{bv}
شدت تابش طیفی ($[Wm^{-2}sr]$)	I_v
شدت تابش دیوار ($[Wm^{-2}sr]$)	I^w

شدت تابش محیط ($[Wm^{-2}sr]$)	I
ماتریس حساسیت ($[-]$)	J
ترم انحراف واردشونده محیط ($[-]$)	J^m
ترم انحراف واردشونده دیوار ($[-]$)	J^w
تعداد جهات در روش راستاهای مجزا($[-]$)	K
ضریب رسانایی ($[Wm^{-1}K]$)	k_c
طول المان سطح ($[m^2]$)	l_i
ضریب شکست ($[-]$)	n
بردار یکه عمود بر سطح ($[-]$)	$\vec{n}_w$
تعداد المانها بر روی سطح طراحی($[-]$)	N_D
تعداد المانها بر روی سطح گرمکن ($[-]$)	N_H
تعداد گازهای خاکستری($[-]$)	N_g
تعداد ذرات بر واحد حجم ($[m^{-3}]$)	N_P
تعداد نقاط گوسی در امتداد المان سطح($[-]$)	N_t
تعداد نقاط گوسی در راستای محور Z($[-]$)	N_z
عددی بسیار بزرگ در انتگرالگیری عددی($[-]$)	P
چند جمله ای مرتبه j لژاندر($[-]$)	P_j
بردار شار حرارت($[Wm^{-2}]$)	$\vec{q}$
مقدار شار حرارت($[Wm^{-2}]$)	q

مقدار شار حرارت بی بعد([−])	Q
بردار موقعیت ([m])	$\vec{r}$
طول مسیر در جهت بردار $\vec{s}$ ([m])	s
بردار جهت ([m])	$\vec{s}$
طول مسیر بر روی مرز محفظه ([m])	S
مساحت تبادل بی بعد ([−])	$\overline{s_i s_j}$
مختصات مماس بر دیوار ([m])	t
دمای مطلق ([K])	T
دمای مرجع ([K])	T_{ref}
حجم حجم کنترل ([m^3])	V
وزن تربیعات زاویه ای ([−])	w
کسر مولی ([−])	Y
مختصات فضایی کارتزینی ([m])	x, y, z
مختصات فضایی کارتزینی بی بعد ([−])	X, Y, Z

حروف یونانی

اندازه گام([−])	α
ضریب استهلاک ([m^{-1}])	β
ضریب همبستگی ([−])	λ
تابع دلتای دیراک ([−])	δ