بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده ی فنی مهندسی
گروه آموزشی مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه ی کارشناسی ارشد
در رشته ی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

**عنوان:**

# بررسی کارایی سیستم های گرمایشی رایج در فضاهای مسکونی با در نظر گرفتن شرایط آسایش حرارتی

استاد راهنما:
دکترمصطفی رحیمی

استاد مشاور:
دکتر سید جاوید زکوی

پژوهشگر:
مجتبی راحلی کلیبر

دی- ۱۳۹۱

تقدیم به روان پاک پدرم

# سپاسگذاری:

*خداوند علیم را شاکرم که مرا یاری نمود تا بتوانم این پایان‌نامه را با موفقیت به اتمام برسانم. به جاست که از راهنمایی های علمی و آموزنده اساتید گروه مکانیک دانشگاه محقق اردبیلی به خصوص از استاد راهنمای خود جناب آقای دکتر* ***مصطفی رحیمی*** *که در طول نگارش این پایان‌نامه با راهنمایی های بسیار ارزنده خود اینجانب را یاری نموده اند تقدیر و تشکر نموده و از خدای متعال سلامتی و موفقیت این عزیزان را خواهانم.*

**نام خانوادگی دانشجو : راحلی کلیبر** **نام : مجتبی**

**عنوان پایاننامه: بررسی کارایی سیستم های گرمایشی رایج در فضاهای مسکونی با در نظرگرفتن شرایط آسایش حرارتی**

**استاد راهنما : دکترمصطفی رحیمی**
**استاد مشاور : دکتر سید جاوید زکوی**

**مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد** **رشته : مهندسی مکانیک** **گرایش : تبدیل انرژی**

**دانشگاه : محقق اردبیلی** **دانشکده : فنی و مهندسی** **تاریخ دفاع: ۱۳۹۱/۱۰/۲۰**

**تعداد صفحه: ۱۱۳**

**کلید واژه : فضاهای مسکونی ، شرایط آسایش حرارتی، سیستم های گرمایشی**

**چکیده:**

در این مطالعه ابتدا اطلاعات لازم درخصوص شرایط آسایش حرارتی از مراجع مربوطه استخراج شد. سپس برای یک محفظـه دو بعـدی بمنظور ارایه توزیع سرعت و دما تحت شرایط مرزی مختلف و تعمیم به حالت سه بعدی کد نوشته شد و عدم کارایی کدحاضر بـرای حـل مسأله بررسی شد. در این پایان نامه یک اتاق به ابعاد $m$ ۴در $m$ ۳و به ارتفاع $m$ ۲/۷ شامل پنجره، درب و درزهای ورودی و خروجی هوای آزاد با شرایط استاندارد تعریف شده شبیه سازی شده است. مشخصه های استاندارد استفاده شده ی هندسی، فیزیکی و مکانیکی دیواره ها سقف، درب و پنجره همواره برای سیستم های گرمایشی متداول مورد بررسی (گرمایش از کـف، گرمـایش از طریـق رادیـاتورو گرمـایش از طریق دیوار) ثابت و غیر قابل تغییر در نظر گرفته شده است. متداول ترین نوع شرایط مرزی حرارتی برای یک اتاق معمولی داخل فضـاهای مسکونی به دیواره های عمودی، پنجره، درب و سقف اختصاص داده شد. با یک الگوی کاملاً مناسب حل بـرای جریـان آشـفته ایجـاد شـده داخل اتاق و انتقال حرارت تابشی از سطوح، با تغییر پارامتر هایی مثل دمای سطوح سیستم های گرمایشی و دبی ورود هوای تازه به فضـای اتاق، توزیع دماو سرعت برای هر مورد بدست آمد. حالت بهینه از نظر دما و دبی ورود هوای تازه برای هر سیستم به واسطه برقراری شـرایط آسایش حرارتی انتخاب شد و سپس سه سیستم حرارتی ذکر شده از نظر توزیع سرعت ، توزیع یکنواخت دما و اتلاف انرژی از طریق دیـواره ها با هم مقایسه شد.

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**

**فصل اول – مقدمه، کلیات و مروری بر تحقیقات**


۱-۱ مقدمه ..... ۲

۱-۲ مکانیزم های انتقال حرارت ..... ۳

۱-۳ قوانین حاکم بر جریان سیالات ..... ۵

۱-۳-۱ حجم کنترل، تحلیل انتگرالی و قضیه‌ی انتقال رینولدز ..... ۶

۱-۳-۲ قانون بقای جرم یا معادله‌ی پیوستگی ..... ۶

۱-۳-۳ معادله‌ی مربوط به اندازه‌ی حرکت یا بقای ممنتم ..... ۷

۱-۳-۴ معادله‌ی مربوط به بقای انرژی ..... ۹

۱-۳-۵ معادله‌ی حالت ..... ۱۰

۱-۴ بررسی جریان آشفته و بیان معادلات حاکم ..... ۱۰

۱-۴-۱ توصیف فیزیکی جریان آشفته ..... ۱۱

۱-۴-۲ نوسانات و متوسط‌گیری زمانی ..... ۱۱

۱-۴-۳ معادلات اساسی بقا جرم و ممنتم برای جریان آشفته ..... ۱۳

۱-۴-۴ معادله‌ی انرژی برای جریان آشفته ..... ۱۴

۱-۴-۵ مدل‌های آشفتگی ..... ۱۶

۱-۵ دینامیک سیالات محاسباتی و انواع روش‌های عددی ..... ۱۸

۱-۵-۱ سازگاری و پایداری در روش‌های عددی ..... ۲۰

۱-۵-۲ روش حجم محدود ..... ۲۰

۱-۵-۲-۱ تشریح کلی روش حجم محدود ..... ۲۲

۱-۵-۲-۲ روش نقطه‌ی گره‌ای ..... ۲۳

۱-۵-۲-۳ روش مرکزیت سلول ..... ۲۳

۱-۵-۳ روش تراکم پذیر مصنوعی و تعیین تابع فشار ..... ۲۴

۱-۵-۴ گسسته سازی حجم محدود معادلات عمومی بقا در جریان سیال دو بعدی لزج ..... ۲۶

۱-۵-۵ گسسته سازی عبارت‌های همرفت ..... ۲۸

۱-۶ آسایش حرارتی ..... ۲۹

۱-۷ تاریخچه و مروری بر تحقیقات گذشته ..... ۳۳

۱-۸ بیان مسأله ..... ۳۹

**فصل دوم- حل معادلات حاکم بر جریان به روش حجم محدود**

۲-۱ بی بعد سازی معادلات حاکم برای جریان دو بعدی تراکم ناپذیر ..... ۴۳

۲-۲ حل معادلات به روش حجم محدود ..... ۴۴

۲-۳ تحلیل جریان با استفاده از نرم افزار فلوئنت (*Fluent*) ..... ۴۸

۲-۴ بررسی مطابقت نتایج حاصل از نرم‌افزار فلوئنت (*Fluent*) با نتایج دیگران ..... ۴۹

**فصل سوم- بررسی و تحلیل نتایج**

۳-۱ سیستم گرمایش از کف ..... ۵۵

۳-۱-۱ بررسی توزیع دما و سرعت در فضای اتاق و آسایش حرارتی ایجاد شده توسط سیستم گرمایش از کف ..... ۵۵

۳-۲ سیستم گرمایش از طریق رادیاتور ..... ۶۸

۳-۲-۱ بررسی توزیع دما و سرعت در فضای اتاق و شرایط آسایش حرارتی ایجاد شده توسط سیستم گرمایش از طریق رادیاتور ..... ۶۹

۳-۳ سیستم گرمایش از طریق دیوار ..... ۸۲

۳-۳-۱ بررسی توزیع دما و سرعت در فضای اتاق و شرایط آسایش حرارتی ایجاد شده توسط سیستم گرمایش از طریق دیوار ..... ۸۳

۳-۴ بحث در نتایج ..... ۹۴

۳-۵ پیشنهاد برای کارهای آتی ..... ۹۶

مراجع ..... ۹۸

پیوست (۱) ..... ۱۰۰

پیوست (۲) ..... ۱۱۰

# فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


شکل ۱-۱ حجم کنترل پایه‌ای ثابت کارتزین نشان دهنده‌ی جریان‌های جرمی ورودی و خروجی..... ۷

شکل ۱-۲ حجم کنترل پایه‌ای ثابت کارتزین برای تعیین معادلات ممنتم..... ۸

شکل ۱-۳ حجم کنترل پایه‌ای ثابت کارتزین برای بدست آوردن معادله‌ی انرژی..... ۹

شکل ۱-۴ تغییرات زمانی یک مؤلفه‌ی سرعت در جریان مغشوش..... ۱۲

شکل ۱-۵ میدان محاسباتی برای معادله مدل..... ۲۲

شکل ۱-۶ شبکه المان و موقعیت ذخیره‌سازی متغیرهای جریان..... ۲۳

شکل ۱-۷ سلول هدف مورد مطالعه برای گسسته‌سازی عبارت همرفت..... ۲۸

شکل ۱-۸ نمودار تابع *PDD (PMV)*..... ۳۲

شکل ۱-۹ هندسه فضای مسکونی (اتاق) مورد مطالعه..... ۴۱

شکل ۲-۱ تقریب عبارت مربوط به فشار توسط برون‌یابی خطی روی مرز جامد..... ۴۵

شکل ۲-۲ کانتور تابع دما ثابت و تابع جریان حاصل از کد حاضر برای شرط مرزی دیوار پائین دما ثابت و گرمتر از دو دیوار عمودی با دمای ثابت و دیوار بالایی آدیاباتیک..... ۴۶

شکل ۲-۳ کانتور دما ثابت و تابع جریان حاصل از کد حاضر برای شرط مرزی دیوار بالایی آدیاباتیک، دیوارهای عمودی سرد و دیوار پائین با دمای متغیر $\theta = \sin(\frac{\pi X}{L})$..... ۴۷

شکل ۲-۴ نتایج کار باساک و همکارانش برای شرط مرزی غیر یکنواخت روی دیوار پائین..... ۴۷

شکل ۲-۵ تطابق توزیع دما در روی خط مرکزی اتاقک ساخته شده در کار تجربی رحیمی و صابر نعیمی با شبیه‌سازی عددی حاضر..... ۵۰

۲-۶ نمودار توزیع دما روی خط مرجع اتاقک برای سیستم گرمایش از کف در کار مایهرن و شبیه‌سازی عددی حاضر..... ۵۲

۲-۷ نمودار توزیع سرعت روی خط مرجع اتاقک برای سیستم گرمایش از کف در کار مایهرن و شبیه‌سازی عددی حاضر..... ۵۲

شکل ۳-۱ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z = ۰$ برای سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $۰/۰۲ \ ^{kg}/_{s}$ و دمای کف $۳۰۴ \ K$)..... ۵۶

شکل ۳-۲ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x=0$ برای سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/02\ \frac{kg}{s}$ و دمای کف $304\ K$) ..... ۵۷
شکل ۳-۳ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z=0$ برای سیستم گرمایش ازکف (دبی ورود هوا $0/02\ \frac{kg}{s}$ و دمای کف $300\ K$) ..... ۵۸
شکل ۳-۴ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x=0$ برای سیستم گرمایش ازکف (دبی ورود هوا $0/02\ \frac{kg}{s}$ و دمای کف $300\ K$)..... ۵۹
شکل ۳-۵ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z=0$ برای سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/02\ \frac{kg}{s}$ و دمای کف $296\ K$) ..... ۶۰
شکل ۳-۶ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x=0$ برای سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/02\ \frac{kg}{s}$ و دمای کف $296\ K$)..... ۶۱
شکل ۳-۷ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z=0$ برای سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/02\ \frac{kg}{s}$ و دمای کف $298\ K$)..... ۶۳
شکل ۳-۸ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z=0$ برای سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/03\ \frac{kg}{s}$ و دمای کف $298\ K$)..... ۶۴
شکل ۳-۹ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x=0$ برای سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/03\ \frac{kg}{s}$ و دمای کف $298\ K$) ..... ۶۵
شکل ۳-۱۰ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z=0$ برای سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/01\ \frac{kg}{s}$ و دمای کف $298\ K$)..... ۶۶
شکل ۳-۱۱ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x=0$ برای سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/01\ \frac{kg}{s}$ و دمای کف $298\ K$)..... ۶۷
شکل ۳-۱۲ موقعیت رادیاتور استفاده شده در فضای اتاق..... ۶۹
شکل ۳-۱۳ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z=0$ برای سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ $0/01$ و دمای سطوح $313\ K$)..... ۷۰

شکل ۳-۱۴ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x = ۰$ برای سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ ۰/۰۱ و دمای سطوح $K$ ۳۱۳)..... ۷۰
شکل ۳-۱۵ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z = ۰$ برای سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ ۰/۰۱ و دمای سطوح $K$ ۳۲۳)..... ۷۲
شکل ۳-۱۶ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x = ۰$ برای سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ ۰/۰۱ و دمای سطوح $K$ ۳۲۳)..... ۷۳
شکل ۳-۱۷ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z = ۰$ برای سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ ۰/۰۱ و دمای سطوح $K$ ۳۳۳)..... ۷۴
شکل ۳-۱۸ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x = ۰$ برای سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ ۰/۰۱ و دمای سطوح $K$ ۳۳۳)..... ۷۵
شکل ۳-۱۹ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z = ۰$ برای سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ ۰/۰۱ و دمای سطوح $K$ ۳۱۶)..... ۷۷
شکل ۳-۲۰ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z = ۰$ برای سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ ۰/۰۲ و دمای سطوح $K$ ۳۱۶)..... ۷۸
شکل ۳-۲۱ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x = ۰$ برای سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ ۰/۰۲ و دمای سطوح $K$ ۳۱۶)..... ۷۹
شکل ۳-۲۲ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z = ۰$ برای سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ ۰/۰۳ و دمای سطوح $K$ ۳۱۶)..... ۸۰
شکل ۳-۲۳ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x = ۰$ برای سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ ۰/۰۳ و دمای سطوح $K$ ۳۱۶)..... ۸۱
شکل ۳-۲۴ موقعیت سیستم گرمایش از دیوار در فضای اتاق..... ۸۲
شکل ۳-۲۵ توزیع دما و سرعت روی صفحه ی $z = ۰$ برای سیستم گرماش از دیوار (دبی ورود هوا $\frac{kg}{s}$ ۰/۰۱ و دمای کف $K$ ۳۰۰)..... ۸۳

شکل ۳-۲۶ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x=0$ برای سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/01\ \frac{kg}{s}$ و دمای سطوح $300\ K$)..... ۸۴
شکل ۳-۲۷ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z=0$ برای سیستم گرمایش ازدیوار (دبی ورود هوا $0/01\ \frac{kg}{s}$ و دمای سطوح $305\ K$)..... ۸۵
شکل ۳-۲۸ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x=0$ برای سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/01\ \frac{kg}{s}$ و دمای سطوح $305\ K$)..... ۸۶
شکل ۳-۲۹ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z=0$ برای سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/01\ \frac{kg}{s}$ و دمای سطوح $310\ K$)..... ۸۷
شکل۳-۳۰ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x=0$ برای سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/01\ \frac{kg}{s}$ و دمای سطوح $310\ K$)..... ۸۸
شکل ۳-۳۱ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z=0$ برای سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/01\ \frac{kg}{s}$ و دمای سطوح $302\ K$)..... ۸۹
شکل ۳-۳۲ الگوی جریان روی صفحه‌ی $z=0$ برای سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/02\ \frac{kg}{s}$ و دمای سطوح $302\ K$)..... ۹۰
شکل ۳-۳۳ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x=0$ برای سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/02\ \frac{kg}{s}$ و دمای سطوح $302\ K$)..... ۹۱
شکل ۳-۳۴ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $z=0$ برای سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/03\ \frac{kg}{s}$ و دمای سطوح $302\ K$)..... ۹۲
شکل ۳-۳۵ توزیع دما و سرعت روی صفحه‌ی $x=0$ برای سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/03\ \frac{kg}{s}$ و دمای سطوح $302\ K$)..... ۹۳
شکل ۳-۳۶ نمودار مقایسه اتلاف حرارتی از اتاق برای سیتم های حرارتی مورد مطالعه..... ۹۵
شکل ۳-۳۷ نمودار مقایسه سرعت متوسط در اتاق برای سیتم های حرارتی مورد مطالعه..... ۹۶

# فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**


جدول ۱-۱ مقادیر مشخصات فیزیکی مصالح فرض شده درساخت فضای مسکونی مورد بررسی ..... ۴۰

جدول ۲-۱ مقایسه شدت انتقال حرارت ازسطوح مختلف برای کار تجربی رحیمی و صابر نعیمی با شبیه‌سازی عددی حاضر ..... ۵۱

جدول ۳-۱ مقادیر انتقال حرارت کلی و تابشی از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/02\ \mathrm{kg/s}$ و دمای کف $304\ K$)..... ۵۷

جدول ۳-۲ مقادیر انتقال حرارت کلی و تابشی از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/02\ \mathrm{kg/s}$ و دمای کف $300\ K$)..... ۶۰

جدول ۳-۳ مقادیر انتقال حرارت کلی و تابشی از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/02\ \mathrm{kg/s}$ و دمای کف $296\ K$)..... ۶۲

جدول ۳-۴ مقادیر انتقال حرارت کلی و تابشی از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/02\ \mathrm{kg/s}$ و دمای کف $298\ K$)..... ۶۳

جدول ۳-۵ مقادیر انتقال حرارت کلی و تابشی از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/03\ \mathrm{kg/s}$ و دمای کف $298\ K$)..... ۶۵

جدول ۳-۶ مقادیر انتقال حرارت کلی و تابشی از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از کف (دبی ورود هوا $0/01\ \mathrm{kg/s}$ و دمای کف $304\ K$)..... ۶۷

جدول ۳-۷ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $0/01\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $313\ K$) ..... ۷۱

جدول ۳-۸ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $0/01\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $323\ K$) ..... ۷۳

جدول ۳-۹ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $0/01\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $333\ K$) ..... ۷۵

جدول ۳-۱۰ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $0/01\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $316\ K$)..... ۷۷
جدول ۳-۱۱ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $0/02\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $316\ K$)..... ۷۹
جدول ۳-۱۲ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایشی رادیاتور (دبی ورود هوا $0/015\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $316\ K$)..... ۸۱
جدول ۳-۱۳ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/01\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $300\ K$)..... ۸۴
جدول ۳-۱۴ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/01\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $305\ K$)..... ۸۶
جدول ۳-۱۵ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/01\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $310\ K$)..... ۸۸
جدول ۳-۱۶ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/01\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $302\ K$)..... ۹۰
جدول ۳-۱۷ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/02\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $302\ K$)..... ۹۲
جدول ۳-۱۸ مقادیر انتقال حرارت از سطوح اتاق با سیستم گرمایش از دیوار (دبی ورود هوا $0/03\ \mathrm{kg/s}$ و دمای سطوح $302\ K$)..... ۹۴

**فهرست علائم اختصاری**

| | |
|---|---|
| $T$ | درجه کلوین *(K)* |
| $A$ | مساحت *($m^2$)* |
| $L, W, H$ | طول، عرض، ارتفاع *(m)* |
| $g$ | شتاب جاذبه *($m/s^2$)* |
| $u$ | مولفه سرعت در جهت x *(m/s)* |
| $v$ | مولفه سرعت در جهت y *(m/s)* |
| $w$ | مولفه سرعت در جهت z *(m/s)* |
| $p$ | فشار *(Pa)* |
| $p_s$ | فشار روی مرز جامد *(Pa)* |
| $k$ | ضریب رسانایی گرمایی *(w/m-K)* |
| $U$ | ضریب انتقال حرارت کلی *($w/m^2$-K)* |
| $\rho$ | چگالی *($kg/m^3$)* |
| $C_P$ | گرمای ویژه در فشار ثابت *(j/kg-K)* |
| $h$ | آنتالپی *(kj)* |
| $Q$ | نرخ اتلاف حرارتی *(kj/s)* |
| $\upsilon$ | لزجت سینماتیکی *($m^2/s$)* |
| $K$ | انرژی جنبشی آشفته *($m^2/s^2$)* |
| $\varepsilon$ | نرخ اتلاف انرژی آشفته *($m^2/s^3$)* |
| $\mu_t$ | لزجت آشفته *($Ns/m^2$)* |
| $C_\mu, C_1, C_2, C_3$ | ثابت های مدل آشفته |
| $\sigma_K, \sigma_\varepsilon$ | اعداد پرانتل آشفته |
| U | سرعت بی بعد در جهت x |
| $V$ | سرعت بی بعد در جهت y |
| $W$ | سرعت بی بعد در جهت z |
| $\theta$ | دمای بی بعد |
| $P$ | فشار بی بعد |
| $Re$ | عدد رینولدز |
| $Ra$ | عدد رایلی |
| $Pr$ | عدد پرانتل |
| $\beta$ | ضریب تراکم پذیر مصنوعی |
| α | فاکتور مادون رهایی |

# فصل اول

# مقدمه،کلیات و مروری بر تحقیقات گذشته

## ۱- ۱ مقدمه

گرما گونه ای از انرژی است که در اثر اختلاف دما از یک سیستم به سیستم دیگر منتقل می‌گردد. که همواره از یک سیستم  با دمای بالا به سیستم با دمای پائین به طور خود به خودی منتقل می‌شود. یکی از مکانیزم‌های مهم در انتقال گرما جابه‌جائی آزاد یا طبیعی است. عامل اصلی وجود این مکانیزم انتقال حرارت، وجود گرادیانی از چگالی در سیال است. نقش جابه‌جائی طبیعی در انتقال حرارت از تجهیزات گرمایشی اساسی و مهم می باشد. درطراحی سیستم‌های‌گرمایشی باید بررسی این پدیده با دقت فراوانی انجام شود.

جریان جابه‌جائی ایجاد شده توسط سیستم های گرمایشی معمولاً در هندسه‌های سه بعدی صورت می گیرد. لذا با پیچیده شدن تحلیل مساله بواسطه‌ی سه بعدی بودن شکل هندسی و شرایط مرزی تداخلی متفاوت عملاً استفاده از روش‌های تحلیلی غیر ممکن می‌شود.

یکی از روش‌های مناسب برای حل چنین مسائل پیچیده از نظر هندسی و فیزیکی استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی[1]است، که با استفاده از آن انواع پیچیدگی‌های هندسی و فیزیکی با دقت مطلوبی لحاظ می‌شود. امروزه استفاده از روش‌های عددی و محاسبات کامپیوتری بعنوان ابزاری کارآمد در طراحی وسایل مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در زمینه‌ی انتقال حرارت و مکانیک سیالات نیز استفاده از محاسبات عددی و روش‌های کامپیوتری، مورد استفاده بسیاری از محققان و دانشمندان این زمینه قرار گرفته است و حل بسیاری از مسائل پیچیده بدون استفاده از روش‌های عددی و کامپیوتری امکان پذیر نمی‌باشد. در سالهای اخیر پیشرفت‌های فراوانی در زمینه گسترش تکنیک‌های محاسباتی برای پیش گوئی و محاسبه‌ی میدان‌های جریان سه بعدی و گرما رخ داده است. کارائی و دقت این تکنیک‌ها به حدی از تکامل رسیده است که دینامیک سیالات محاسباتی بصورت رایج و گسترده در آنالیز و بهبود سیستم های گرمایشی و طراحی بهینه ساختارهای جدید بکار می‌رود. مسائلی از قبیل توزیع گردش هوا در اتاق و ابزارهایی چون مبدل‌های حرارتی همچون رادیاتور، سیستم گرمایش از کف اصولاً برپایه‌ی تجزیه و تحلیل‌های انتقال گرما حل و طراحی می‌شوند. مسائل انتقال گرما که در عمل با آنها برخورد

*1- computational fluid dynamics*

می‌کنیم را می‌توان در دو دسته کلی مورد ملاحظه قرار داد یکی مسائل تعیین قابلیت[1] و دیگری مسائل تعیین اندازه[2]، برای مسائل تعیین قابلیت، آهنگ انتقال گرما برای یک سیستم موجود با یک اختلاف دمای مشخص مورد نظر است. در حالی که در مسائل تعیین اندازه، هدف تعیین اندازه یک سیستم به منظور انتقال گرما با یک آهنگ مشخص با اختلاف دمای معلوم می باشد. برای بیان این قبیل مسائل، از عبارت‌ها و معادلاتی استفاده می‌شود که تغییرات تعدادی متغیر کلیدی را به یکدیگر مرتبط می سازد. معمولاً هرچه نمو انتخاب شده در تغییر متغیرها کوچکتر باشد بیان مساله دقیق تر و کلی‌تر خواهد بود. به همین دلیل از معادلات دیفرانسیل برای بیان مسائل انتقال حرارت در مهندسی استفاده می‌شود.

بررسی پدیده‌های انتقال حرارت عمدتاً شامل این بحث است که ابتدا تمام متغیرهای موثر بر پدیده شناسائی شده فرض‌ها و تقریب‌های منطقی مدنظر قرار گرفته و وابستگی بین این متغیرها بررسی می‌شود و سپس قوانین اصلی و فیزیکی بکار گرفته می‌شود و مساله بصورت ریاضی فرمول بندی و مدل می‌گردد [۲۳].

### ۱-۲ مکانیزم‌های انتقال حرارت

حرارت و گرما به سه صورت می‌تواند منتقل شود: رسانش[3]، جابه جائی[4]، تابش[5]، همه‌ی روش‌های انتقال گرما به وجود اختلاف دما نیازمند هستند، به انتقال انرژی از ذرات پرانرژی یک ماده به ذرات کم انرژی مجاور در نتیجه‌ی اندرکنش‌های بین ذرات رسانش گویند که می‌تواند در جامدات، مایعات و گازها صورت پذیرد. یعنی وجود گرادیان دما درون یک جسم ساکن، که این ماده می‌تواند جامد یا سیال باشد. اگر انتقال حرارت بین سطح یک جامد با سیال در حال حرکت مجاور آن با دمای متفاوت از سطح مبادله شود انتقال حرارت از نوع جابه‌جائی نامیده می‌شود. انتقال حرارت از طریق جابه جائی به واسطه‌ی حرکت کاملاً تصادفی مولکول‌ها و نیز انتقال انرژی توسط توده‌ی سیال است. حرکت توده‌ای سیال به حرکتی گفته می‌شود که درآن در هر لحظه تعداد زیادی از مولکول‌ها بطور دسته جمعی حرکت می‌کنند. چنین حرکتی در حضور گرادیان دما، انتقال گرما را افزایش خواهد داد. تجربه نشان می‌دهد که این نوع مکانیزم انتقال حرارت به شدت به خواص سیال، سرعت سیال و شکل هندسی سطح وابسته است، لذا انتظار

---

*1 - Rating problems*
*2 - Sizing problems*
*3 - Conduction*
*4 - Convection*
*5 - Radiation*

می‌رود روابط انتقال گرمای جابه‌جائی به دلیل وابستگی به متغیرهای بیشتر، پیچیده‌تر باشد. لایه‌ی مرزی ایجاد شده در نزدیکی سطوح می تواند تاثیرگذار بر روند انتقال حرارت جابه‌جائی باشد. این مکانیزم انتقال حرارت همواره به دو صورت جابه‌جائی اجباری [1] و جابه‌جائی طبیعی [2]، یا آزاد می‌تواند صورت گیرد. اگر جریان حاصل از طریق عوامل خارجی مانند یک فن و یا پمپ و ... باشد انتقال حرارت از طریق جابه‌جائی اجباری نامیده شده ولی اگر جریان فقط ناشی از نیروهای شناوری [3] باشد جابه‌جایی طبیعی یا آزاد گویند. نیروهای شناوری از اختلاف چگالی(گرادیان چگالی) ناشی از تغییرات دما در سیال بوجود می‌آیند. در واقع جابه‌جائی طبیعی توسط نیروهای حجمی به علت آنکه در اثر تغییرات دما، چگالی نیز تغییر می کند تولید می‌شود. در واقع درحالت کلی شناوری از وجود همزمان گرادیان چگالی و نیروی حجمی متناسب با چگالی ناشی می‌شود. در عمل نیروی حجمی معمولاً گرانشی است، گرچه ممکن است از نوع گریز از مرکز در ماشین‌آلات سیالی یا نیروهای کریولیسی درحرکت‌های چرخشی باشد، گرادیان دما نیز به طرق مختلف می تواند در سیال پدید آید و چگالی سیالات به دما بستگی دارد. اما نوع سوم انتقال گرما و حرارت از طریق تابش است. سطوحی که دارای دمای معینی می باشند انرژی را بصورت امواج الکترومغناطیسی از خود صادر می‌کنند، بنابراین درغیاب یک ماده‌ی واسطه بین دو سطح با دماهای متفاوت انتقال گرمای خالص تابشی رخ می‌دهد. تشعشع حرارتی به انرژی تابشی اطلاق می‌شود که اجسام بواسطه‌ی درجه‌ی حرارت سطح ساطع می‌کنند. تمامی اجسام در درجه حرارتی بالاتر از صفر مطلق انرژی تابشی بیرون می‌دهند. برخلاف انتقال حرارت هدایتی و جابه‌جائی که وسیله‌ی انتقال انرژی ماده است. انتقال حرارت تابشی نیاز به محیط مادی ندارد و می‌تواند در خلاء هم انجام پذیرد. یکی از نظریه‌های مهم در پدیده‌ی تابش که ابتدا توسط ماکسول بیان گردید، این است که انتشار انرژی تابشی شبیه امواج الکترومغناطیسی است. نظریه‌ی دیگر نظریه‌ی ماکس پلانک است که پدیده‌ی تابش را از منظر فوتون‌ها یا کوانتوم‌های انرژی بررسی می‌کند. نظریه‌ی موجی تشعشع می‌گوید اجسام در دمایی در تمامی طول موج‌ها از $\lambda = 0$ تا $\lambda = \infty$ تشعشع حرارتی ساطع می‌کنند. لذا قسمت عمده‌ای از حرارت مبادله شده در داخل یک اتاق از مبدل حرارتی به سایر قسمت‌های سرد با تابش صورت می‌گیرد [۷].

*1 - Forced convection*
*2 - Free convection*
*3 - Buoyancy force*

### ۱-۳ قوانین حاکم بر جریان سیالات

از دیدگاه علمی سیال ماده‌ای است که در برابر تنش‌های برشی دچار تغییر شکل مداوم می‌شود. گازها و از آن جمله هوا را جزء دسته ی سیالات قرار می‌دهند. اگرچه میدان سرعت مهمترین متغیردر جریان یک سیال است. این پارامتر و خواص ترمودینامیکی تاثیرات متقابل بر روی یکدیگر دارند. خواص ترمودینامیکی متداول فشار، چگالی و درجه‌ی حرارت همراهان همیشگی بردار سرعت در تحلیل‌های جریان سیال می‌باشند. علاوه بر این، اثرات انتقال حرارت و اصطکاک با دو خاصیت موسوم به خواص انتقال کنترل می‌شوند. که یکی ضریب لزجت[۱] و دیگری هدایت حرارتی[۲] سیال می‌باشد. این دو خاصیت انتقالی همواره تابعی از دما و فشار هستند. از آنجا که برای بیشتر گازها از جمله هوا فشار بحرانی از $۱۰atm$ بیشتر است، لذا اکثر مسائل جریان گازها در فشار نقصان یافته و درنتیجه در محدوده‌ی چگالی کم قرار می‌گیرند. از این رو در آیرودینامیک معمول است که از وابستگی ضریب لزجت و هدایت حرارتی به فشار صرف‌نظر شود و فقط تغییرات این دو خاصیت با دما مدنظر قرار گیرد [۶].

در بررسی جریان سیالات فرض "محیط پیوسته[۳]" لحاظ می‌شود و لذا همه‌ی پارامترها وخواص سیال را می‌توان به صورت حدی در یک نقطه تعریف کرد. در برخورد با یک مساله‌ی جریان سیال، سه روش اساسی وجود دارد. حجم کنترل یا تحلیل انتگرالی، سیستم بسیار کوچک یا تحلیل دیفرانسیلی و مطالعات تجربی یا تحلیل ابعادی، در تمامی این موارد، جریان باید سه قانون اساسی مکانیک بعلاوه رابطه حالت ترمودینامیکی و شرایط مرزی مرتبط را ارضا کند، این قوانین عبارتنداز: قانون بقای جرم (پیوستگی)، اندازه‌ی حرکت خطی (قانون دوم نیوتن) و قانون اول ترمودینامیک (بقای انرژی). یک معادله‌ی حالت مثل تغییرات چگالی گازها با دما و فشار و شرایط مرزی مناسب در سطوح صلب، سطوح مشترک، ورودی‌ها و خروجی‌ها، در تحلیل‌های انتگرالی و دیفرانسیلی در نظر گرفته می‌شود. این پنج رابطه به طریق ریاضی مدلسازی می‌شوند و به روش‌های کامپیوتری حل می‌شوند. در روش مطالعات تجربی، سیال خودش این وظایف را بدون استفاده از هیچ ریاضیدانی، انجام می‌دهد. به عبارت دیگر اعتقاد براین است که این قوانین مبانی فیزیک هستند و هیچ جریان سیالی که آنها را نقض کند، شناخته نشده است [۵].

---

*1 - Viscosity*
*2 - Thermal Conduction*
*3- Continuum*