بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

تحت عنوان

اثر پره های محدود شده بین دو صفحه دما ثابت قائم بر انتقال حرارت جابجایی آزاد از سطوح

استادان راهنما:

دکتر تورج یوسفی

دکتر فرزاد ویسی

استاد مشاور :

دکتر مراد پاک نژاد

نگارش:

دامون قشقایی

دی ماه ۱۳۸۹

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک
گرایش تبدیل انرژی

نگارش:
دامون قشقایی

عنوان پایان نامه
اثر پره های محدود شده بین دو صفحه دما ثابت قائم بر انتقال حرارت جابجایی آزاد از سطوح

در تاریخ **۸۹/۱۰/۶** توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه **عالی** به تصویب نهایی رسید.

۱- استادان راهنمای	دکتر ترج یوسفی	با مرتبه ی علمی استادیار	امضاء
	دکتر فرزاد ویسی	با مرتبه ی علمی استادیار	امضاء
۲- استاد مشاور	دکتر مراد پاک نژاد	با مرتبه ی علمی استادیار	امضاء
۳- استاد داور داخل گروه	دکتر حبیب الله صفرزاد	با مرتبه ی علمی استادیار	امضاء
۴- استاد داور خارج از گروه	دکتر وهاب دهلقی	با مرتبه ی علمی استادیار	امضاء

تقدیر و تشکر

در ابتدا بر خود لازم می‌دانم، مراتب تشکر و قدردانی خود را از اساتید راهنمایم جناب آقایان دکتر تورج یوسفی و دکتر فرزاد ویسی، اعلام دارم، که با بهره‌مندی از راهنمایی‌های علمی ایشان درک صحیح جوانب مختلف این پایان نامه امکان پذیر شد و همکاری و کمک‌های فکری ایشان در تمام طول تحقیق مسیر ادامه این کار را هموار می‌نمود.

همچنین از استاد مشاور عزیزم جناب آقای دکتر مراد پاک نژاد مراتب تشکر خود را به پاس صمیمیت و انگیزش امید در خود و سایر دانشجویان ابراز می‌کنم.

از استاد ارجمند دکتر مهدی اشجعی، که همکاری و مساعدت ایشان، امکان استفاده از تجهیزات آزمایشگاه لیزر دانشگاه تهران و انجام این تحقیق را فراهم نمود، نهایت تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از جناب آقایان مهندس عسکر مینایی، مهندس اصامه قازیان، مهندس عبدالرضا فاضلی، دکتر محمد گوهرخواه و دیگر دوستان در آزمایشگاه اپتیک دانشگاه تهران به خاطر کمک‌هایشان در طی آزمایشات سپاسگزارم.

از آقای مهندس علی محمد کرمی نیز برای همراهی در انجام پروژه تشکر می‌کنم.

تقدیم به:

مادر و پدر عزیزم

چکیده:

در این پایان نامه، اثر پره‌های محدود شده بر انتقال حرارت جابجایی آزاد از سطوح دما ثابت قائم بررسی شده است. روش تداخل سنجی ماک- زندر(Mach-Zehnder interferometer) برای استخراج داده‌های تجربی به کار برده شده است. بررسی‌ها برای شش زاویه ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و۱۵۰ درجه پره‌های هدایت کننده برای اعداد رایلی متفاوت بین۶×۱۰^{۳} و$۱/۲\times۱۰^{۴}$ انجام شده است. در این بررسی‌ها اثر تغییرات عدد ریلی و زاویه پره‌های هدایت کننده بر میزان انتقال حرارت محلی و میانگین روی دیواره گرم درون محفظه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عدد رایلی در هر زاویه از پره میزان انتقال حرارت افزایش می‌یابد. همچنین بررسی نحوه تغییرات عدد نوسلت محلی در فاصله بین هر دو پره نشان می‌دهد که یک کاهش و سپس یک افزایش در عدد نوسلت وجود دارد. با توجه به بررسی میزان انتقال حرارت بر حسب زاویه هدایت کننده مشاهده می‌گردد که برای زاویه پره هدایت کننده ۶۰ درجه کمترین میزان انتقال حرارت وجود دارد. علاوه بر این به منظور تحلیل بهتر نتایج و مشاهده مسیر حرکت سیال در فضای بین دو دیواره که با استفاده از روش تداخل سنجی مقدور نمی‌باشد، از روش حل عددی برای استخراج بردارهای سرعت استفاده شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مروری بر کارهای گذشته

مقدمه ۱

۱-۱- مروری بر کارهای گذشته ۳

۱-۱-۱ انتقال گرمای همرفتی طبیعی در محفظه دارای هدایت کننده ۳

۱-۲- هدف از انجام پروژه حاضر ۲۰

فصل دوم : اصول تداخل سنجی

مقدمه ۲۳

۲-۱- رابطه ضریب شکست محیط با دما ۲۴

۲-۲- اصول تداخل سنجی ۲۵

۲-۳- استفاده از تداخل سنجی برای اندازه‌گیری دما ۲۸

۲-۴- تداخل سنج ماک- زندر ۳۰

۲-۵- لوازم و تجهیزات آزمایش ۳۱

فصل سوم : نحوه ساخت مدل

مقدمه ۳۴

۳-۱- نحوه ساخت مدل انتقال حرارتی مسئله مطرح شده در این پایان نامه ۳۴

۳-۱-۱- تأمین شرایط مرزی مورد نیاز در مسئله ۳۴

۳-۱-۲- تأمین شرایط دو بعدی بودن مسئله ۳۵

۳-۱-۳- تأمین دمای مورد نیاز سطوح آلومینیومی دما ثابت ۳۵

۳-۱-۴- اندازه‌گیری و ثبت دمای سطوح آلومینیومی ۳۶

۳-۱-۵- تیغه‌های عایق درون محفظه ۳۷

۳-۱-۶- تنظیم زاویه تیغه‌ها ۳۸

۳-۱-۷- جلوگیری از ورود هوای بیرون محفظه به درون آن ۳۹

۳-۲- نصب تجهیزات اندازه گیری ۳۹

۳-۳- مکانیزم تنظیم عمودی ساختن دیواره گرم ۴۰

عنوان **صفحه**

فصل چهارم : بررسی تجربی دستورالعمل آزمایش و جمع آوری داده‌ها

مقدمه ۴۲

۴-۱- دستورالعمل آزمایش و جمع‌آوری داده‌ها ۴۳

۴-۱-۱- تنظیم اولیه ۴۳

۴-۱-۲- انجام آزمون و جمع‌آوری داده‌های آزمون ۴۶

۴-۲- استخراج نتایج ۴۸

۴-۲-۱- نحوهٔ استخراج نتایج برای انتقال حرارت از دیواره گرم محفظه ۴۸

فصل پنجم : بحث و نتیجه گیری

مقدمه ۵۷

۵-۱- بررسی جزئیات انتقال حرارت جابجایی از دیواره گرم برای یک حالت ۵۷

۵-۲- حل عددی ۶۱

۵-۲-۱- شرایط مرزی ومدل سازی ۶۱

۵-۲-۲- شبکه بندی فضای حل ۶۲

۵-۲-۳- بررسی نتایج عددی ۶۳

۵-۳- بررسی انتقال حرارت جابجایی از دیواره گرم درون محفظه ۶۵

۵-۳-۱- معرفی دو نوع ضریب انتقال حرارت جابجایی ۶۶

۵-۳-۲- بررسی انتقال حرارت جابجایی در زاویه ۶۰ درجه برای پره‌ها ۶۶

۵-۳-۳- بررسی انتقال حرارت جابجایی در زاویه ۱۲۰ درجه برای پره‌ها ۶۸

۵-۳-۴- بررسی انتقال حرارت جابجایی در زاویه صفر درجه برای پره‌ها ۷۰

۵-۳-۵- بررسی انتقال حرارت جابجایی در زاویه ۳۰ درجه برای پره‌ها ۷۲

۵-۳-۶- مقایسه انتقال حرارت در رایلی‌ها و زوایای مختلف ۷۴

۵-۴- نرخ انتقال حرارت جابجایی از دیواره گرم ۷۴

۵-۵- بررسی صحت عدد نوسلت متوسط در مقاسیه با توان مصرفی ۷۵

۵-۵-۱- تلفات عمده حرارتی ۷۵

۵-۵-۲- محاسبه تلفات حرارتی برای رایلی ۱۲۰۰۰ و زاویه ۳۰ درجه برای پره‌ها ۷۶

۵-۶- نتیجه‌گیری ۷۸

۵-۷- پیشنهادات برای کارهای آینده ۷۸

عنوان **صفحه**

پیوست‌ها

پیوست «الف» روش تنظیم تداخل سنج ماک-زندر ۸۰

مقدمه ۸۰

الف-۱- مراحل تنظیم تداخل سنج ماک-زندر ۸۰

پیوست «ب» خواص ترموفیزیکی هوا ۸۵

مقدمه ۸۵

ب-۱- تعیین خواص ترموفیزیکی هوا ۸۶

ب-۲- تعیین ضریب گلادستون-دیل ۸۶

ب-۳- برنامهٔ MATLA**B** ، جهت محاسبهٔ عدد رایلی ۸۶

پیوست «ج» ثبت داده ها و نتایج آزمون ۸۸

مقدمه ۸۸

ج-۱- داده‌های اندازه‌گیری شده در حین آزمون ۸۸

ج-۲- نتایج به‌دست آمده پس از آزمون ۹۲

پیوست «د» محاسبهٔ عدد نوسلت از فریزهای نامحدود تداخلی با استفاده از MATLAB ۹۳

مقدمه ۹۳

د-۱- برنامه‌ی Surfacefinder.m ۹۳

د-۲- برنامه‌ی Intensityfinder.m ۹۳

د-۳- برنامه‌ی heatcondaction.m ۹۵

پیوست «و» تحلیل عدم قطعیت در آزمایش ۹۸

و-۱- یک مثال برای تحلیل عدم قطعیت در آزمایش ۹۸

پیوست «ه» تحلیل خطای تداخل سنج ۱۰۲

ه-۱ تحلیل خطای تداخل سنج ۱۰۲

مراجع

مراجع ۱۰۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ مدل فیزیکی محفظه‌ی مکعبی (الف) دارای هدایت کننده‌ی جریان (ب) بدون هدایت کننده‌ی جریان[۲] ۴

شکل ۱-۲ وابستگی عدد ناسلت متوسط به عدد رایلی[۲]. برای محفظه‌ی بدون هدایت کننده‌ی جریان (N=۰) و محفظه‌ی دارای هدایت کننده‌ی جریان(N=۱) ۵

شکل ۱-۳ محفظه‌ی مربعی شکل دارای الف) هدایت کننده‌ی گرم شده افقی ب) هدایت کننده‌ی گرم شده عمودی[۱۰] ۷

شکل ۱-۴ محفظه‌ی مربعی شکل دارای هدایت کننده با تولید گرما[۱۱] ۸

شکل ۱-۵ محفظه‌ی مربعی شکل دارای هدایت کننده‌ی نازک چسبیده به دیواره‌ی گرم[۱۲] ۹

شکل ۱-۶ محفظه‌ی مایل دارای هدایت کننده‌های مایل متصل به دیواره‌ی گرم[۱۳] ۹

شکل ۱-۷ محفظه‌ی مایل دارای هدایت کننده‌های مایل متصل به دیواره‌ی سرد[۱۴] ۱۰

شکل ۱-۸ محفظه‌ی شیب دار دارای یک هدایت کننده‌ی گرم عمودی [۱۵] ۱۱

شکل ۱-۹ محفظه‌ی مربعی شکل دارای هدایت کننده‌ی گرم شده‌ی افقی[۱۶] ۱۲

شکل ۱-۱۰ محفظه‌ی مربعی شکل دارای هدایت کننده با نوار گرم[۱۷] ۱۳

شکل ۱-۱۱ محفظه‌ی مثلثی شکل با یک هدایت کننده‌ی افقی عایق درون آن[۱۸] ۱۳

شکل ۱-۱۲ هندسه‌ی مدل و دستگاه مختصات[۱۹] ۱۵

شکل ۱-۱۳ هندسه‌ی مدل و دستگاه مختصات[۲۰] ۱۶

شکل ۱-۱۴ هندسه‌ی مدل و دستگاه مختصات[۲۱] ۱۹

شکل۱-۱۵ پارامترهای مورد استفاده در تعمیم رابطه[۲۱] ۱۹

شکل ۱-۱۶ مسئله مورد مطالعه و محورهای مختصات ۲۱

شکل ۲-۱ دو باریکه‌ی نور که از یک منبع خارج شده‌اند و در محل برخورد دارای اختلاف راه Δ هستند ۲۶

شکل ۲-۲ اثر اختلاف راه اپتیکی بر شدت حاصل از تداخل ۲۷

شکل ۲-۳ چگونگی تشکیل ناحیه‌های تاریک و روشن(تداخل ویرانگر و سازنده) در تداخل سنجی ۲۸

شکل ۲-۴ نقشهای تداخلی(خطوط دما ثابت) یا فریزهای حاصل از جریان هوا بر روی یک استوانه‌ی دما ثابت ۳۰

شکل۲-۵ نمایی از چیدمان تداخل سنج ماک-زندر ۳۱

شکل۲-۶ چیدمان تداخل سنج ماک-زندر بر روی میز لیزر ۳۲

شکل ۳-۱ طرح نمونه مورد مطالعه ۳۴

عنوان **صفحه**

شکل ۳- ۲ طول قطعه در راستای نور لیزر ۱۴۰mm در نظر گرفته می‌شود ۳۵
شکل ۳- ۳ گرم کننده ورقه‌ای که برای ایجاد سطح گرم مورد استفاده است ۳۶
شکل ۳-۴ سه سوراخ به قطر ۱/۵mm و با عمق‌های متفاوت ۲۵mm، ۲۵mm و ۶۰mm برای قرارگیری ترموکوپل‌ها ۳۷
شکل ۳-۵ سوراخ‌ها در صفحه سرد برای قرارگیری ترموکوپل‌های سطح سرد و مرجع ۳۷
شکل ۳-۶ تیغه‌های عایق ۳۸
شکل ۳-۷ دو عدد شیشه دایروی شکل که دو طرف محفظه استفاده شده است ۳۸
شکل۳-۸ مکانیزم نگه‌دارنده از نمای کنار ۴۰
شکل۳-۹ مکانیزم نگه‌دارنده از نمای بالا ۴۰
شکل۴-۱ تداخل سنج ماک-زندر بر روی میز اپتیک ۴۲
شکل ۴-۲ تصویر اولیه (الف)همراه با فریز ناخواستهٔ اولیه (ب) بدون فریز (تنظیم شده) ۴۴
شکل۴-۳ جک آزمایشگاهی[۲۴] ۴۵
شکل ۴-۴ تصویر تداخلی محفظه در حالتی که کاملاً تنظیم شده است (Ra=۱۲۰۰۰ و θ=۰°) ۴۶
شکل ۴-۵ یک نمونه از ثبت تغییرات دمای سطح صفحه گرم ۴۷
شکل ۴-۶ تصویر تداخلی ثبت شده در در رایلی ۱۲۰۰۰و زاویه ۳۰ درجه ۴۹
شکل ۴-۷ (الف) خط دیواره برای تعیین شدت‌ها (ب) شدت‌های ثبت شده برای رایلی۱۲۰۰۰ و زاویهٔ ۳۰ درجه ۵۰
شکل ۴-۸ محل قرارگیری ترموکوپل مرجع و نحوهٔ تعیین مرتبهٔ بزرگی فریزها ۵۱
شکل ۴-۹ محل قرارگیری ترموکوپل مرجع و نحوهٔ تعیین مرتبهٔ بزرگی فریزها در داخل محفظه ۵۲
شکل ۴-۱۰ فلوچارت برنامه استخراج داده‌ها[۲۵] ۵۴
شکل ۵-۱ نوسلت محلی برای Ra=۱۲۰۰۰ و θ=۱۵۰° ۵۸
شکل ۵-۲ نوسلت محلی برای Ra=۱۲۰۰۰ و θ=۱۵۰° برای سومین سلول از پایین محفظه ۵۹
شکل ۵-۳ نوسلت محلی برای رایلی‌های مختلف در زاویه ۱۵۰درجه‌ی پره‌های هدایت کننده ۶۰
شکل ۵-۴ نوسلت متوسط برای رایلی‌های مختلف در زاویه ۱۵۰ درجه‌ی پره‌های هدایت کننده ۶۰
شکل ۵-۵ شرایط مرزی در نرم افزار ۶۲
شکل ۵-۶(الف) فریزهای هم دما برای حالت تجربی (ب) فریزهای هم دما برای حالت حل عددی ۶۴
شکل ۵-۷ (الف)فریزهای هم دما از تصویر تجربی(ب) فریز های هم دما از حل عددی(ج) بردارهای سرعت ۶۴

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۸ نوسلت متوسط برای رایلی‌های مختلف در زوایای ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و۱۵۰ درجه برای پره‌های هدایت کننده ۶۵
شکل ۵-۹ نوسلت متوسط در زاویه ۶۰ درجه برای پره‌ها در رایلی‌های متفاوت ۶۷
شکل ۵-۱۰ (الف)خطوط دما ثابت (ب)بردارهای سرعت در رایلی ۱۲۰۰۰ برای زاویه ۶۰ درجه ۶۷
شکل ۵-۱۱ نوسلت متوسط در زاویه ۱۲۰ درجه برای پره‌ها در رایلی‌های متفاوت ۶۸
شکل ۵-۱۲ مقایسه نوسلت متوسط در حالت ۱۲۰ درجه با حالت ۶۰ درجه برای پره‌های هدایت کننده ۶۹
شکل ۵-۱۳ (الف) خطوط دما ثابت (ب) بردارهای سرعت در رایلی ۱۲۰۰۰ برای زاویه ۱۲۰ درجه ۷۰
شکل ۵-۱۴ نوسلت متوسط در زاویه صفر درجه برای پره‌ها در رایلی‌های متفاوت ۷۱
شکل ۵-۱۵ (الف) خطوط دما ثابت (ب) بردارهای سرعت در رایلی ۱۲۰۰۰ برای زاویه صفر درجه ۷۱
شکل ۵-۱۶ نوسلت متوسط در زاویه ۳۰ درجه برای پره‌ها در رایلی‌های متفاوت ۷۳
شکل ۵-۱۷ (الف) خطوط دما ثابت (ب) بردارهای سرعت در رایلی ۱۲۰۰۰ برای زاویه ۳۰ درجه ۷۳
شکل ۵-۱۸ نرخ انتقال حرارت جابجایی برای رایلی‌های مختلف در زوایای ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰،۱۲۰ و۱۵۰ درجه برای پره‌ها هدایت کننده ۷۵
شکل الف-۱ نمایی ساده از تداخل سنج نوری ماک–زندر ۸۰
شکل الف-۲ تنظیم نور لیزر در صفحه xy و راستای y ۸۱
شکل الف-۳ تنظیم کردن ارتفاع لنز LS_1 ..... ۸۲
شکل الف-۴ تنظیم کردن فاصله لنز LS_1 تا منبع نور لیزر ۸۳
شکل الف-۵ آینه ها و باریکه شکن‌ها در چهار گوشه یک متوازی الاضلاع قرار گرفته و نور لیزر تمام سطح آنها را در بر می‌گیرد. ۸۳
شکل الف-۶ آینه ها و باریکه شکنها آنقدر چرخانده می شوند که دو نقطه بر روی هرکدام از صفحات مدرج برهم منطبق شوند. ۸۴
شکل و-۱ مقادیر عدم قطعیت در ضریب انتقال حرارت موضعی سومین سلول از پایین در رایلی ۱۲۰۰۰ و زاویه‌ی ۱۵۰ درجه ۱۰۱
شکل ه-۱ توزیع دمای فرض شده برای تصحیح اثرات لبه های انتهایی ۱۰۳

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱ پارامترهای ثابت هندسی مورد استفاده در تحلیل عددی[۲۱] ۱۷

جدول ۵-۱ شبکه بندی در $Ra=۱۲۰۰۰$ و برای زاویه پره‌های هدایت کننده $\theta=۳۰^\circ$ ۶۳

جدول ج-۱ برگه های آزمون بررسی انتقال حرارت از دیواره گرم با دمای یکنواخت درون محفظه با پره‌های هدایت کننده با زاویه‌ی $\theta=۰^\circ$ ۸۹

جدول ج-۲ برگه های آزمون بررسی انتقال حرارت از دیواره گرم با دمای یکنواخت درون محفظه با پره‌های هدایت کننده با زاویه‌ی $\theta=۳۰^\circ$ ۸۹

جدول ج-۳ برگه های آزمون بررسی انتقال حرارت از دیواره گرم با دمای یکنواخت درون محفظه با پره‌های هدایت کننده با زاویه‌ی $\theta=۶۰^\circ$ ۹۰

جدول ج-۴ برگه های آزمون بررسی انتقال حرارت از دیواره گرم با دمای یکنواخت درون محفظه با پره‌های هدایت کننده با زاویه‌ی $\theta=۹۰^\circ$ ۹۰

جدول ج-۵ برگه های آزمون بررسی انتقال حرارت از دیواره گرم با دمای یکنواخت درون محفظه با پره‌های هدایت کننده با زاویه‌ی $\theta=۱۲۰^\circ$ ۹۱

جدول ج-۶ برگه های آزمون بررسی انتقال حرارت از دیواره گرم با دمای یکنواخت درون محفظه با پره‌های هدایت کننده با زاویه‌ی $\theta=۱۵۰^\circ$ ۹۱

جدول ج-۷ ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط $\left(\frac{w}{m^2.K}\right)$ $\bar{h}$ برای زوایای مختلف در رایلی‌های متفاوت ۹۲

جدول ج-۸ اعداد نوسلت متوسط $\left(\overline{Nu}\right)$ برای زوایای مختلف در رایلی‌های متفاوت ۹۲

فهرست کوتاه نوشته‌ها

تعریف	نماد
دامنهٔ موج (m)	A_o
ضریب ثابت در معادلهٔ (۴-۴)	a_s
پهنای فریز (m)	b_f
ضریب ثابت در معادلهٔ (۴-۴)	b_s
ضریب گلدستون-دیل (m^3/kg)	C
سرعت نور (m/s)	c
ظرفیت حرارتی $(J/kg.K)$	C_p
ضریب ثابت در معادلهٔ (۴-۴)	c_s
ضخامت پره (m)	e
عدد گراشف	Gr
شتاب جاذبه (m/s^2)	g
ارتفاع دیوار گرم (m)	H
ضریب متوسط انتقال حرارت جابجایی آزاد از دیوار گرم (W/m^2K)	$\overline{h}$
ضریب موضعی انتقال حرارت جابجایی آزاد از دیوار گرم (W/m^2K)	h_y
شدت نور ثبت شده توسط دوربین	I
ضریب هدایت حرارتی (W/mK)	k
عرض پره‌ها (m)	L
عدد نوسلت متوسط (۴-۱۱)	$\overline{Nu}$
عدد نوسلت موضعی	$Nu_y = \frac{h_y W}{k_f}$
ضریب شکست محیط	n
ضریب شکست محیط در شرایط استاندارد	n_o
فشار محیط (Pa)	P

تعریف	نمادهای یونانی
فاصله عمودی دو پره از یکدیگر(گام پره‌ها) (m)	p
عدد پرانتل	Pr
نرخ گرمای منتقل شده (W/m^2)	$\dot{q}$
ثابت گاز $(J/kg.K)$	R
عدد رایلی	$Ra = \frac{g\beta(T_{sh} - T_\infty)W^3}{\nu\alpha}$
مختصهٔ شعاعی (m)	r
درجه حرارت (K)	T
عرض محفظه (طول مشخصه) (m)	W
مختصه افقی	x
مختصه قائم	y
فاصله در جهت نور لیزر (m)	z

تعریف	نمادهای یونانی
زاویهٔ بین سطوح اپتیکی و همچنین ضریب پخش حرارتی (m^2/s)	α
ضریب انبساط حجمی هوا $(1/K)$	β
ضخامت لایهٔ مرزی (m)	δ
اختلاف راه اپتیکی (m)	Δ
اختلاف راه (m)	ΔPL
جابجائی فریز	ε
رطوبت نسبی $(\%)$	ϕ
پارامتر معادلهٔ (و-۱)	φ_i
طول موج نور (μm)	λ
ویسکوزیته $(kg/m.s)$	μ
ویسکوزیته سینماتیک (m^2/s)	ν
جرم حجمی (kg/m^3)	ρ
جرم حجمی در شرایط استاندارد (kg/m^3)	ρ_o

زمان (s)	τ
پارامتر معادلهٔ (و-۱)	ψ

تعریف	زیر نویس‌ها
انتقال حرارت هدایت	**cond**
انتقال حرارت جابجائی	**conv**
تلفات حرارتی از لبه های انتهائی	**endloss**
لبه های انتهائی	**endcap**
فیلم سیال	**f**
گرم کن	**heater**
دیواره گرم	**hotwall**
فضای آزاد	**inf**
مقدار بهینه	**opt**
انتقال حرارت تابشی	**rad**
مرجع	**ref**
چپ و راست	**RL**
بالا و پایین	**UD**
سطح دیواره سرد	**sc**
سطح دیواره گرم	**sh**
سطح دیواره گرم	**w**
فضای آزاد	∞

فصل اول

مروری بر کارهای گذشته

مقدمه

انتقال گرما بین یک جسم و هوای آزاد که دمای هوا با دمای جسم متفاوت است به دو روش تابشی[1] و همرفتی[2] امکان پذیر است. انتقال گرمای تابشی در اختلاف درجه حرارت های پایین، بسیار کمتر از انتقال گرمای جابجایی است. انتقال گرمای جابجایی نیز بسته به ساکن بودن یا در جریان بودن هوای اطراف به - واسطه‌ی یک محرک خارجی مانند پمپ یا دمنده، به ترتیب انتقال گرمای جابجایی آزاد[3] یا واداشته[4] نامیده می شود. واداشته یا آزاد بودن جریان توسط نسبت دو عدد بدون بعد گراشف[5] و رینولدز[6] به صورت Gr/Re^2 مشخص می‌گردد. برای نسبت های کوچکتر از یکِ این پارامتر، انتقال گرما از نوع جابجایی واداشته و برای نسبت‌های بزرگتر از یکِ آن، انتقال گرما از نوع جابجایی آزاد می باشد. در نسبت‌های تقریباً نزدیک به عدد یک، انتقال گرمای جابجایی از نوع ترکیبی[7] می باشد.

مطالعه‌ی انتقال گرما به روش جابجایی آزاد، در بسیاری از زمینه‌های صنعتی و فرایندهای طبیعی از اهمیت خاصی برخوردار است. جابجایی آزاد در بسیاری از مسائل که انتقال گرما به روش دیگری ممکن نمی باشد، بر روی نرخ انتقال گرما، محدودیت اعمال می‌کند. در این گونه مواقع به‌منظور بالا بردن ضریب ایمنی، لازم است تا نرخ انتقال گرما به روش جابجایی آزاد، افزایش یابد.

اساس انتقال گرمای جابجایی آزاد، اختلاف دمای بین سطح جسم و سیال اطراف و در نتیجه گرم شدن سیال اطراف جسم و تغییر جرم حجمی آن (کاهش) نسبت به جرم حجمی محیط می‌باشد. این تغییر چگالی در حضور گرانش به نوبه‌ی خود باعث جابجا شدن هوای گرم به طرف بالا و جایگزینی هوای سرد محیط خواهد شد. نرخ انتقال گرما در جابجایی آزاد بستگی به اختلاف دمای سطح جسم و هوای محیط، نوع سیال، نحوه‌ی جابجایی و حرکت سیال و هندسه‌ی جسم دارد.

---

[1] Radiation
[2] Convection
[3] Free–Convection Heat Transfer
[4] Forced- Convection Heat Transfer
[5] Grashof Number
[6] Reynolds Number
[7] Mixed Convection

از نقطه نظر انتقال انرژی، میزان انتقال گرما در جابجایی واداشته به مراتب بیشتر از جابجایی آزاد می باشد. با این وجود در بسیاری از موارد به علت محدودیت‌های مصرف انرژی، آلودگی صوتی و خاموش شدن دمنده‌ها هنگام قطع برق (و در نتیجه کاهش شدید میزان انتقال گرما از مقدار پیش بینی شده)، استفاده از دمنده‌ها مناسب به نظر نمی‌رسد. بنابراین در بسیاری از موارد صنعتی و عمومی که محدودیت‌های بالا دیده می‌شود، استفاده از انتقال گرمای جابجایی آزاد بر نوع واداشته‌ی آن برتری دارد.

۱-۱ مروری بر کارهای گذشته

انتقال گرمای بین دو صفحه، در محفظه ها رخ می‌دهد. انتقال گرمای جابجایی طبیعی در محفظه‌های دارای هدایت کننده سیال در بسیاری از کاربردهای صنعتی مانند گرمایش و تهویه مطبوع مکان‌های مسکونی، تجاری، کلکتورهای خورشیدی[۸]، خنک کننده‌های الکتریکی[۹]، ذخیره سازی پسماندهای رادیواکتیو، پنجره‌بندی[۱۰]، خنک کاری رآکتورهای هسته‌ای، دانش هوانوردی[۱۱] و دستگاه‌های شیمیایی، مشاهده می شود، از این رو مطالعه و تحقیق در مورد جنبه های جدید این مسئله، امری لازم و ضروری به نظر می رسد.

۱-۱-۱ انتقال گرمای جابجایی طبیعی در محفظه دارای هدایت کننده

جابجایی **طبیعی** در یک محفظه دارای هدایت کننده‌ی سیال، یکی از مسائل کلاسیک در مکانیک سیالات و انتقال گرما و با کاربردهای وسیع در صنعت می باشد. در نتیجه این مسئله به طور وسیع در دهه‌های اخیر مورد مطالعه قرار گرفته است، یکی از اولین مطالعات در این زمینه توسط بچلر[۱] انجام شده است بود. وی نشان داده است که در پنجره های دو جداره[۱۲] با اعداد رایلی کوچک، انتقال گرما اصولاً از طریق رسانش صورت می‌گیرد.

کوچوویچ، زودزو و پاولوویچ[۲] در سال ۱۹۹۹، تأثیرات هدایت کننده‌ی هادی گرما بر روی انتقال گرمای جابجایی طبیعی آرام و جریان سیال را بررسی کرده‌اند، که این مسئله با استفاده از مقایسه‌ی مطالعه‌ی عددی و آزمایشگاهی نتایج برای محفظه‌ای مکعبی با هدایت کننده و بدون هدایت کننده‌ی جریان انجام

[8] Solar Thermal Collector System
[9] Electronic Cooling Devices
[10] Fenestration
[11] Aeronomic
[12] Double-Pane Glass Window