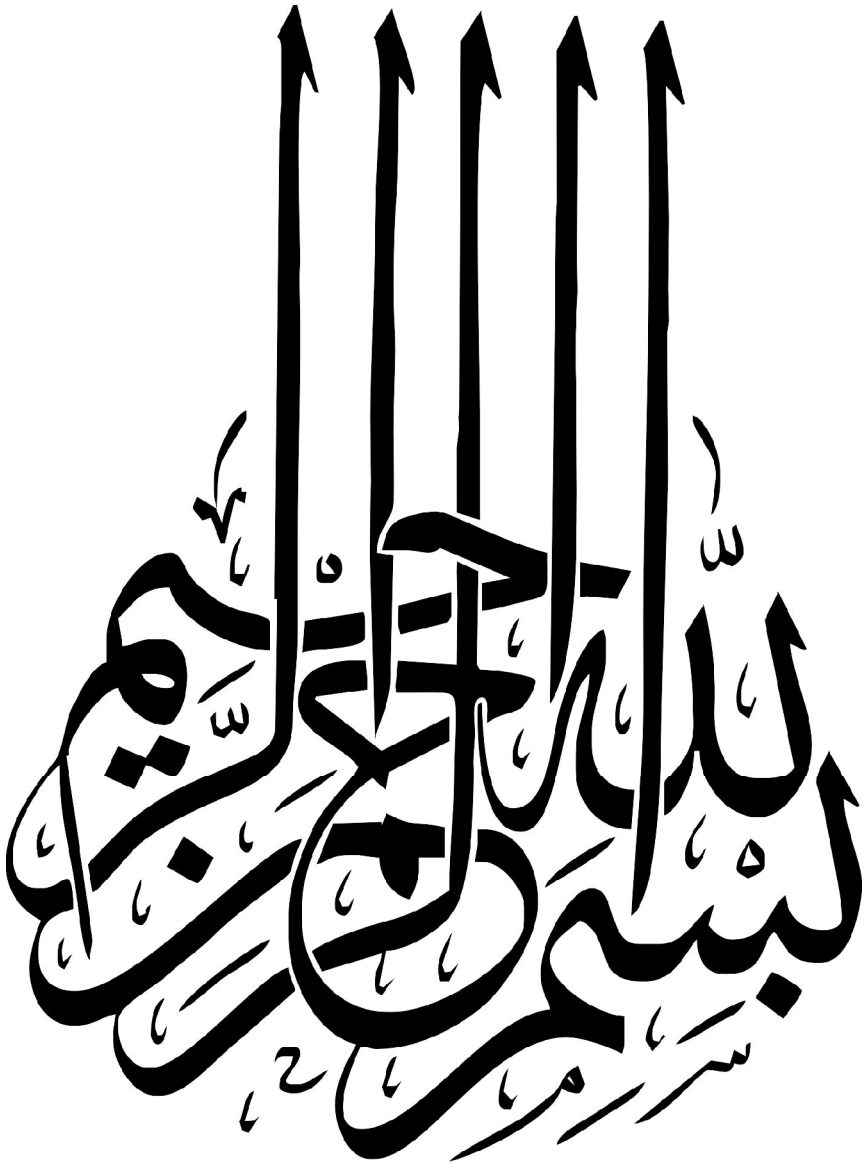
بسم الله الرحمن الرحيم

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 مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

بررسی اثر هوا گرمکن خورشیدی بر بارهای سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز یک ساختمان مسکونی

استاد راهنما:

دکترحبیب اله صفرزاده

نگارش:

سامان فیض جعفری

اسفند ماه ۱۳۹۱

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

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

نام دانشجو:

سامان فیض جعفری

تحت عنوان:

بررسی اثر هوا گرمکن خورشیدی بر بارهای سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز یک ساختمان مسکونی

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۲۰ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه بسیار خوب به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما	دکتر حبیب اله صفرزاده	با مرتبه ی علمی استادیار	امضاء
۲- استاد داور داخل گروه	دکتر فرزاد ویسی	با مرتبه ی علمی استادیار	امضاء
۳- استاد داور داخل گروه	دکتر اکرم خدایاری	با مرتبه ی علمی استادیار	امضاء

چکیده:

بررسی حالت های مختلف قرارگیری هواگرمکن بر عملکرد حرارتی یک نمونه دستگاه هواگرمکن خورشیدی در تحقیق پیش رو ارائه شده است. هواگرمکن خورشیدی یک نمونه از گیرنده های مسطح خورشیدی است که به منظور تولید هوای گرم و نیز ایجاد تهویه مطبوع در ساختمان به کار می رود. اجزاء اصلی این مدل شامل یک کانال که دو ضلع آن صفحه جاذب و یک پوشش شفاف و دو ضلع دیگر دیواره های عایق می باشد. هوای با دمای پایین‌تر از قسمت زیرین کانال وارد می شود و بر اثر انتقال حرارت جابجایی طبیعی با صفحه جاذب، دمای آن افزایش، جرم آن کاهش و بر اثر نیروی شناوری به سمت بالای کانال جریان و به درون فضای مسکونی وارد می‌شود. همچنین اگر این هوای گرم به طریقی از کانال هواگرمکن به بیرون از اتاق هدایت شود به دلیل مکش هوا به بیرون، باعث تهویه اتاق خواهد شد.

در بررسی حاضر سه حالت قرارگیری از هواگرمکن مدل شد و توان تشعشع خورشیدی ورودی به صفحه جاذب به صورت شار ثابت در نظر گرفته شد. پارامترهای توان ورودی به صفحه جاذب و نسبت عمق به ارتفاع کانال و شیب هواگرمکن در این آزمایش بررسی شد. آزمایشات برای فاصله صفحه جاذب تا شیشه در محدوده ۵ تا ۲۵ سانتی متر و توان جذب شده توسط صفحه جاذب از ۱۰۰ تا ۹۰۰ وات بر متر مربع انجام پذیرفت. به منظور بررسی تأثیر عمق کانال و شیب صفحه جاذب بر عملکرد گرمایش و تهویه هواگرمکن، مدل عددی دستگاه به کمک نرم افزار فلوئنت حل و نتایج بررسی گردید. پارامتر هوای ورودی به مدل برای شهر کرمانشاه در ماه های تیر و دی در نظر گرفته شده است.

نتایج نشان داد در حالت قرارگیری عمودی هواگرمکن جهت گرمایش اتاق با افزایش توان ورودی و عمق کانال، نرخ جریان هوای خروجی از کانال افزایش می یابد و در محدوده عمق بررسی شده، فاصله بهینه عمق کانال برای حداکثر نرخ جریان هوا در عمق ۱۵ سانتی متر بدست آمد. همچنین برای تهویه اتاق، با قرارگیری هواگرمکن بر روی پشت بام با شیب های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به افق، با افزایش شیب هواگرمکن نرخ جریان هوای خروجی از کانال افزایش می یابد اما در حالت قرارگیری قائم هواگرمکن برای تهویه اتاق فاصله بهینه صفحه جاذب تا شیشه (عمق کانال) برای بیشترین نرخ جریان هوای خروجی از هواگرمکن فاصله ۱۰ سانتی متر به دست آمد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیش گفتار: ۱

فصل اول : مقدمه و تاریخچه ۳

۱-۱- تعریف انرژی خورشیدی ۵

۱-۲- وضعیت انرژی در ایران ۶

۱-۳- کاربردهای انرژی خورشید ۷

۱-۳-۱- سیستمهای فتوولتاییک ۷

۱-۳-۲- مصارف و کاربردهای سیستم های فتوولتائیک ۹

۱-۳-۳-کاربردهای نیروگاهی ۱۰

الف) نیروگاه های حرارتی خورشید از نوع سهموی خطی ۱۱

ب) نیروگاه های حرارتی از نوع دریافت کننده مرکزی ۱۲

ج) نیروگاه های حرارتی از نوع بشقابی ۱۴

د) دودکش های خورشیدی ۱۴

۱-۳-۴- مزایای نیروگاه های خورشیدی ۱۵

۱-۳-۵-کاربردهای غیر نیروگاهی ۱۶

الف) آبگرمکن های خورشیدی و حمام خورشیدی ۱۶

ب) سیستم های گرمایش و سرمایش ساختمان و تهویه مطبوع خورشیدی ۱۷

پ) آب شیرین کن خورشیدی ۱۷

ت) خشک کن خورشیدی ۱۸

ث) اجاق های خورشیدی ۱۹

ج) کوره خورشیدی ۱۹

چ) خانه‌های خورشیدی ۲۰

ح) یخچال های خورشیدی ۲۱

خ) هواگرمکن خورشیدی ۲۱

د) استخر خورشیدی ۲۳
فصل دوم : مروری بر کارهای گذشته ۲۴
فصل سوم : تئوری مسئله ۴۸
۳-۱- دینامیک سیالات ۴۹
۳-۲- شناوری ۵۰
۳-۳- لایه مرزی ۵۰
۳-۳-۱- لایه مرزی آشفته ۵۱
۳-۳-۲- لایه مرزی گرمایی ۵۱
۳-۴- مدل ریاضی یک هواگرمکن ۵۲
۳-۴-۱- معادله موازنه انرژی برای پوشش شفاف عمودی ۵۳
۳-۴-۲- معادله موازنه انرژی برای هوای درون کانال ۵۴
۳-۴-۳- معادله موازنه انرژی برای صفحه جاذب ۵۵
فصل چهارم : مدل تحقیق ۵۶
۴-۱- مدل های بررسی شده ۵۸
۴-۱-۱- مدل استفاده هواگرمکن در حالت گرمایش اتاقک ۵۸
۴-۱-۲- مدل استفاده هواگرمکن عمومی در حالت تهویه اتاقک ۵۸
۴-۱-۳- تولید شبکه محاسباتی ۶۰
۴-۱-۳-۱- حالت قرارگیری هواگرمکن برای گرمایش ۶۰
۴-۱-۳-۲- حالت قرارگیری قائم هواگرمکن برای تهویه ۶۱
۴-۱-۳-۳- حالت قرارگیری شیب دار هواگرمکن برای تهویه ۶۱
۴-۲- شرایط مرزی ۶۲
۴-۲-۱- شرایط مرزی در حالت گرمایش ۶۲
۴-۲-۲- شرایط مرزی در حالت تهویه ۶۲
۴-۳- حل مسئله توسط نرم افزار Fluent ۶۳

فصل پنجم : بررسی نتایج ۶۷

۵-۱- توزیع دما در حالت گرمایش ۶۸

۵-۱-۱- توزیع دما در امتداد عمق کانال ۶۸

۵-۲- نرخ جریان جرمی هوا از هواگرمکن در حالت گرمایش ۷۴

۵-۳- نرخ جریان جرمی هوا از هواگرمکن قائم در حالت تهویه ۷۹

۵-۴- نرخ جریان، سرعت و تعداد دفعات تعویض هوا برای هواگرمکن شیب دار در حالت تهویه ۸۴

۵-۵- مقایسه هواگرمکن قائم و شیب دار در حالت تهویه ۸۹

۵-۶- تصاویری از مدل های بررسی شده ۹۱

۵-۶-۱- ترسیم لایه های دما ۹۱

۵-۶-۲- ترسیم خطوط جریان ۹۲

۵-۷- معتبر سازی کد Fluent ۹۶

۵-۸- نتیجه گیری ۹۸

۵-۹- پیشنهادات ۹۹

پیوست ۱۰۰

پ-۱- اعداد بی بعد ۱۰۱

پ-۲- بازده حرارتی هواگرمکن ۱۱۰

مراجع ۱۱۲

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: نمودار تولید و مصرف انرژی در ایران در سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸ میلادی.....۷

شکل ۱-۲: یک سلول فتوولتاییک ۸

شکل ۱-۳: تأمین برق اروپا از طریق صحرای بزرگ آفریقا ۱۰

شکل ۱-۴: نیروگاه سهموی خطی ۱۱

شکل ۱-۵: نیروگاه حرارت مرکزی ۱۳

شکل ۱-۶: نیروگاه های حرارتی از نوع بشقابی ۱۴

شکل ۱-۷: نمای شماتیک از دودکش خورشیدی ۱۵

شکل ۱-۸: آبگرمکن خورشیدی.....۱۷

شکل ۱-۹: آب شیرین کن خورشیدی.....۱۸

شکل ۱-۱۰: خشک کن خورشیدی.....۱۸

شکل ۱-۱۱: دو نوع اجاق خورشیدی ۱۹

شکل ۱-۱۲: کوره خورشیدی.....۲۰

شکل ۱-۱۳: شماتیک خانه خورشیدی ۲۱

شکل ۱-۱۴: الف) نمایی از قسمت بیرونی یک هواگرمکن خورشیدی ب) شماتیک اجزاء هواگرمکن خورشیدی ۲۲

شکل ۱-۱۵: نمایی از استخر خورشیدی ۲۳

شکل ۲-۱: شماتیک مدل ارائه شده توسط هیرونلب [۸].....۲۶

شکل ۲-۲: تغییرات ساعتی دمای میانگین، هوای اتاق (T_a)، هوای خروجی از کانال (T_{out}) و صفحه جاذب (T_m) برای ارتفاع ۱ متر و فاصله پوشش شفاف از صفحه جاذب ۱۰ و ۱۴/۵ سانتی متر و شدت تابش متوسط به ترتیب ۵۳۵ و ۴۰۶ وات بر متر مربع [۸].....۲۶

شکل ۲-۳: تغییرات دمای صفحه جاذب و پوشش شفاف در ارتفاع های مختلف ۲۷

شکل ۲-۴: شماتیک سیستم مورد آزمایش توسط اسپنسر[۹].....۲۷

شکل ۲-۵: الف) مدل فیزیکی هوا گرمکن، ب) شبکه مقاومت دمایی هواگرمکن [۱۰] ۲۸

شکل ۲-۶: نمودار تغییرات نرخ جریان جرمی (m)، افزایش دمای هوای داخل کانال (ΔT_f) و بازده حرارتی بر حسب ارتفاع دیوار (شدت تابش ۴۰۰ وات بر متر مربع و فاصله پوشش شفاف از دیواره ۰/۱۴۵ متر)[۱۰] ۲۹
شکل ۲-۷: تغییرات بازده لحظه ای با عمق کانال هوا و شدت تابش [۱۱] ۳۰
شکل ۲-۸: شماتیک سیستم آزمایش و نحوه قرارگیری ترموکوپل ها توسط چن و همکاران[۱۲] ۳۱
شکل ۲-۹: شماتیک دستگاه مورد آزمایش بورک و حبیب [۱۳] ۳۲
شکل ۲-۱۰: توزیع دما در طول عمق کانال در ارتفاع های مختلف (عمق ۸۰ میلی‌متر و شار ۱۰۰۰ وات ورودی) [۱۳] ۳۲
شکل ۲-۱۱: توزیع دما در طول ارتفاع کانال (عمق ۱۰۰ میلی متر و شار ۴۰۰ وات ورودی) [۱۳] ۳۳
شکل ۲-۱۲: نرخ جریان جرم در برابر عمق کانال [۱۳] ۳۳
شکل ۲-۱۳: هواگرمکن ترکیبی دیواری-سقفی استفاده شده در یک خانه مسکونی در امارات [۱۴] ۳۴
شکل ۲-۱۴: مقایسه بین دماهای اندازه گیری شده و شبیه سازی شده برای a) شیشه بیرونی b) شیشه داخلی c) هوای داخل کانال و d) هوای اتاق [۱۵] ۳۵
شکل ۲-۱۵: مقطع شماتیک سیستم مورد آزمایش بنسال و همکاران [۱۶] ۳۶
شکل ۲-۱۶: تغییرات دما بر حسب تابش خورشیدی برای جریان هوای داخل کانال و صفحه جاذب [۱۶] ۳۶
شکل ۲-۱۷: شماتیک دستگاه مورد آزمایش آفونسو و اولیویرا [۱۷] ۳۷
شکل ۲-۱۸: ضرایب انتقال حرارت بر روی شیشه و صفحه جاذب (ماه ژانویه) [۱۷] ۳۸
شکل ۲-۱۹: شماتیک دستگاه مورد آزمایش توسط ماتور[۱۸] ۳۸
شکل ۲-۲۰: طرح اولیه هواگرمکن مورد آزمایش مارتی-هیررو و هراس-کلمین [۱۹] ۳۹
شکل ۲-۲۱: دستگاه مورد آزمایش آدام و همکاران [۱۹] ۴۰
شکل ۲-۲۲: نرخ جریان و شار حرارت [۲۲] ۴۱
شکل ۲-۲۳: ضخامت کانال و نرخ جریان [۲۲] ۴۱
شکل ۲-۲۴: شماتیک دستگاه مورد آزمایش باسیونی و کورا [۲۳] ۴۱
شکل ۲-۲۵: تغییرات دمای شیشه، دیواره و هوای داخل کانال بر حسب میزان تغییرات شدت تابش [۲۳] ۴۲
شکل ۲-۲۶: تغییرات سرعت هوای خروجی بر حسب تغییرات شدت تابش و تغییرات a) اندازه ورودی و b) عمق کانال [۲۳] ۴۲

شکل ۲-۲۷: a) شماتیک مقطع هوا گرمکن مورد آزمایش b) نمایی از مدل مورد آزمایش[۲۴]..... ۴۳
شکل ۲-۲۸: سرعت متوسط هوا در مقابل زاویه هواگرمکن با ارتفاع های ۱ و ۴ متر برای نیم روز ماه جولای و دسامبر- محاسبه شده توسط مدل ریاضی [۲۴] ۴۴
شکل ۲-۲۹: شماتیک مدل مورد بررسی هریس و هلویگ [۲۵]..... ۴۴
شکل ۲-۳۰: نرخ جریان متوسط هوا در مقابل زاویه هواگرمکن [۲۵]..... ۴۵
شکل ۲-۳۱: شماتیک دستگاه مورد آزمایش باسیونی و کورا [۳۳]..... ۴۵
شکل ۲-۳۲: سرعت جریان هوا در مقابل زاویه قرارگیری هواگرمکن [۳۳]..... ۴۶
شکل ۲-۳۳: شماتیک ساختمان مورد مطالعه توسط میازاکی و همکاران [۳۴]..... ۴۶
شکل ۲-۳۴: نرخ جریان هوا در مقابل عمق کانال هواگرمکن [۳۴] ۴۷
شکل ۳-۱: لایه مرزی روی صفحه تخت ۵۰
شکل ۳-۲: لایه مرزی آشفته روی صفحه تخت ۵۱
شکل ۳-۳: لایه مرزی گرمایی بر اساس عدد پرانتل..... ۵۲
شکل ۴-۱: شماتیک دستگاه هواگرمکن ۵۷
شکل ۴-۲: مدل ترسیم شده در حالت گرمایش عمودی در نرم افزار Gambit..... ۵۸
شکل ۴-۳: مدل ترسیم شده در حالت تهویه عمودی در نرم افزار Gambit ۵۹
شکل ۴-۴: مدل ترسیم شده در حالت تهویه شیب دار در نرم افزار Gambit ۵۹
شکل ۴-۵: شبکه بندی ساخته شده در حالت گرمایش و عمق کانال ۵ سانتی متر ۶۰
شکل ۴-۶: شبکه بندی ساخته شده قرارگیری عمودی هواگرمکن در حالت تهویه و عمق کانال ۵ سانتی متر.. ۶۱
شکل ۴-۷: شبکه بندی ساخته شده در حالت قرارگیری شیب دار هواگرمکن و عمق کانال ۱۰ سانتی متر ۶۲
شکل ۴-۸: همگرایی حل توسط نرم افزار Fluent برای حالت گرمایش ۶۵
شکل ۴-۹: همگرایی حل توسط نرم افزار Fluent برای تهویه در قرارگیری عمودی هواگرمکن ۶۶
شکل ۴-۱۰: همگرایی حل توسط نرم افزار Fluent برای تهویه در قرارگیری شیب دار هواگرمکن..... ۶۶
شکل ۵-۱: توزیع دما در امتداد عمق کانال در ارتفاع ۵۵ سانتی متر بالای ورودی کانال برای فاصله ۵ سانتی متر و توان های مختلف - گرمایش ۶۸

شکل ۵-۲: توزیع دما در امتداد عمق کانال در ارتفاع ۵۵ سانتی متر بالای ورودی کانال برای فاصله ۱۰ سانتی متر و توان های مختلف - گرمایش ۶۹

شکل ۵-۳: توزیع دما در امتداد عمق کانال در ارتفاع ۵۵ سانتی متر بالای ورودی کانال برای فاصله ۱۵ سانتی متر و توان های مختلف - گرمایش ۶۹

شکل ۵-۴: توزیع دما در امتداد عمق کانال در ارتفاع ۵۵ سانتی متر بالای ورودی کانال برای فاصله ۲۰ سانتی متر و توان های مختلف - گرمایش ۷۰

شکل ۵-۵: توزیع دما در امتداد عمق کانال در ارتفاع ۵۵ سانتی متر بالای ورودی کانال برای فاصله ۲۵ سانتی متر و توان های مختلف - گرمایش ۷۰

شکل ۵-۶: توزیع دما در امتداد عمق کانال در ارتفاع ۵۵ سانتی متر بالای ورودی کانال برای فاصله ۵ سانتی متر و توان های مختلف در محیط بسته - گرمایش ۷۱

شکل ۵-۷: توزیع دما در امتداد عمق کانال در ارتفاع ۵۵ سانتی متر بالای ورودی کانال برای فاصله ۵ سانتی متر و توان های مختلف در محیط بسته - گرمایش ۷۲

شکل ۵-۸: توزیع دما در امتداد عمق کانال در ارتفاع ۵۵ سانتی متر بالای ورودی کانال برای فاصله ۵ سانتی متر و توان های مختلف در محیط بسته - گرمایش ۷۲

شکل ۵-۹: توزیع دما در امتداد عمق کانال در ارتفاع ۵۵ سانتی متر بالای ورودی کانال برای فاصله ۵ سانتی متر و توان های مختلف در محیط بسته - گرمایش ۷۳

شکل ۵-۱۰: توزیع دما در امتداد عمق کانال در ارتفاع ۵۵ سانتی متر بالای ورودی کانال برای فاصله ۵ سانتی متر و توان های مختلف در محیط بسته - گرمایش ۷۳

شکل ۵-۱۱: نرخ جریان جرمی هوا در هواگرمکن برای عمق های مختلف کانال و توان های مختلف و مقایسه با نتایج بورک [۱۳] - گرمایش ۷۴

شکل ۵-۱۲: نرخ جریان جرمی هوا در هواگرمکن برای توان های مختلف و در عمق های مختلف کانال و مقایسه با نتایج بورک [۱۳] - گرمایش ۷۵

شکل ۵-۱۳: نرخ جریان جرمی هوا بر حسب عمق های مختلف کانال در توان های ورودی مختلف - گرمایش. ۷۶

شکل ۵-۱۴: نرخ جریان جرمی هوا بر حسب توان های ورودی در عمق های مختلف کانال - گرمایش ۷۶

شکل ۵-۱۵: سرعت جریان هوای خروجی بر حسب توان در عمق های مختلف کانال ۷۷

شکل ۵-۱۶: شماتیک جریان بازگشتی در هواگرمکن ۷۸

شکل ۵-۱۷: شماتیک جریان بازگشتی در عمق ۲۰ سانتی متر در حالت گرمایش در نرم افزار فلوئنت ۷۹
شکل ۵-۱۸: نرخ جریان هوا بر حسب عمق کانال هواگرمکن قائم برای توان های مختلف ۸۰
شکل ۵-۱۹: نرخ جریان هوا بر حسب توان حرارتی در عمق های مختلف کانال هواگرمکن قائم در حالت تهویه ۸۰
شکل ۵-۲۰: شماتیک جریان بازگشتی برای کانال قائم با عمق ۱۵ سانتی متر در حالت تهویه ۸۱
شکل ۵-۲۱: سرعت جریان هوا بر حسب عمق کانال هواگرمکن قائم برای در توان های مختلف در حالت تهویه ۸۱
شکل ۵-۲۲: سرعت جریان هوا بر حسب توان حرارتی در عمق های مختلف کانال هواگرمکن قائم در حالت تهویه ۸۲
شکل ۵-۲۳: تعداد دفعات تعویض هوا بر حسب عمق کانال هواگرمکن قائم برای توان های مختلف در حالت تهویه ۸۲
شکل ۵-۲۴: تعداد دفعات تعویض هوا بر حسب توان حرارتی برای عمق های مختلف کانال هواگرمکن قائم در حالت تهویه ۸۳
شکل ۵-۲۵: نرخ جریان هوا بر حسب شیب کانال برای توان های حرارتی مختلف در حالت تهویه ۸۵
شکل ۵-۲۶: نرخ جریان هوا بر حسب توان حرارتی برای کانال با شیب های مختلف در حالت تهویه ۸۵
شکل ۵-۲۷: سرعت جریان هوا بر حسب شیب کانال برای توان های حرارتی مختلف در حالت تهویه ۸۶
شکل ۵-۲۸: سرعت جریان هوا بر حسب توان حرارتی برای کانال با شیب های مختلف در حالت تهویه ۸۶
شکل ۵-۲۹: تعداد دفعات تعویض هوا بر حسب شیب کانال برای توان های حرارتی مختلف در حالت تهویه ۸۷
شکل ۵-۳۰: تعداد دفعات تعویض هوا بر حسب توان حرارتی برای کانال با شیب های مختلف در حالت تهویه ۸۷.
شکل ۵-۳۱: مقایسه نرخ جریان هوا بر حسب توان حرارتی برای هواگرمکن با کانال قائم در عمق های مختلف و کانال شیب دار با عمق ۱۰ سانتی متر در حالت تهویه ۸۹
شکل ۵-۳۲: مقایسه سرعت جریان بر حسب توان حرارتی برای هواگرمکن با کانال قائم در عمق های مختلف و کانال شیب دار با عمق ۱۰ سانتی متر در حالت تهویه ۸۹
شکل ۵-۳۳: مقایسه تعداد دفعات تعویض هوا بر حسب توان حرارتی برای هواگرمکن با کانال قائم در عمق های مختلف و کانال شیب دار با عمق ۱۰ سانتی متر در حالت تهویه ۹۰
شکل ۵-۳۴: لایه های دما برای هواگرمکن قائم با کانال به عمق ۵ سانتی متر در حالت گرمایش ۹۱
شکل ۵-۳۵: لایه های دما برای هواگرمکن قائم با کانال به عمق ۱۰ سانتی متر در حالت گرمایش ۹۱

شکل ۵-۳۶: بردار نرخ جریان در اتاقک و هواگرمکن قائم با کانال به عمق ۵ سانتی متر در حالت گرمایش ۹۲
شکل ۵-۳۷: بردار نرخ جریان در اتاقک و هواگرمکن قائم با کانال به عمق ۱۰ سانتی متر در حالت گرمایش ... ۹۲
شکل ۵-۳۸: خطوط جریان در اتاقک و هواگرمکن قائم با کانال به عمق ۲۵ سانتی متر در حالت گرمایش..... ۹۳
شکل ۵-۳۹: بردار سرعت و خطوط جریان در اتاقک و هواگرمکن قائم با کانال به عمق ۵ سانتی متر در حالت تهویه ۹۳
شکل ۵-۴۰: خطوط جریان در اتاقک و هواگرمکن قائم با کانال به عمق ۵ سانتی متر در حالت تهویه..... ۹۴
شکل ۵-۴۱: خطوط مسیر جریان در اتاقک و هواگرمکن قائم با کانال به عمق ۵ سانتی متر در حالت تهویه.... ۹۴
شکل ۵-۴۲: خطوط مسیر جریان در اتاقک و هواگرمکن قائم با کانال به عمق ۱۵ سانتی متر در حالت تهویه.. ۹۵
شکل ۵-۴۳: بردار سرعت و خطوط جریان در اتاقک و هواگرمکن شیب دار با زاویه ۳۰ درجه در حالت تهویه.. ۹۵
شکل ۵-۴۴: خطوط مسیر جریان در اتاقک و هواگرمکن شیب دار با زاویه ۳۰ درجه در حالت تهویه..... ۹۶
شکل ۵-۴۵: معتبرسازی شبکه بندی در حالت گرمایش ۹۷
شکل پ-۱: تغییرات بازده حرارتی برای توان های ورودی و عمق های مختلف..... ۱۱۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: نرخ جریان متوسط برای دستگاه مورد آزمایش و هواگرمکن سنتی و بازده کمکی [۱۷] ۳۸

جدول ۴-۱: توان جذب شده توسط صفحه جاذب ۶۴

جدول ۴-۲: تنظیمات استفاده شده در نرم افزار Fluent ۶۵

جدول ۵-۱: درصد تغییرات تعداد دفعات تعویض هوا در مقابل توان های مختلف در حالت تهویه قائم ۸۴

جدول ۵-۲: درصد تغییرات تعداد دفعات تعویض هوا در مقابل عمق های مختلف در حالت تهویه قائم ۸۴

جدول ۵-۳: درصد تغییرات تعداد دفعات تعویض هوا در مقابل توان های مختلف در حالت تهویه شیب دار ۸۸

جدول ۵-۴: درصد تغییرات تعداد دفعات تعویض هوا در مقابل شیب های مختلف در حالت تهویه شیب دار ۸۸

جدول ۵-۵: عدم وابستگی حل به شبکه برای ε=۰/۹۵ و توان حرارتی ۵۰۰ وات بر متر مربع برای هواگرمکن قائم با کانال به عمق ۵ سانتی متر در حالت گرمایش ۹۶

جدول ۵-۶: عدم وابستگی حل به شبکه برای ε=۰/۹۵ و توان حرارتی ۵۰۰ وات بر متر مربع برای هواگرمکن قائم با کانال به عمق ۵ سانتی متر در حالت تهویه ۹۷

جدول ۵-۷: عدم وابستگی حل به شبکه برای ε=۰/۹۵ و توان حرارتی ۵۰۰ وات بر متر مربع برای هواگرمکن شیب دار با زاویه ۳۰ درجه در حالت تهویه ۹۷

جدول پ-۱: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن قائم به عمق کانال ۵ سانتی متر در حالت گرمایش ۱۰۲

جدول پ-۲: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن قائم به عمق کانال ۱۰ سانتی متر در حالت گرمایش ۱۰۲

جدول پ-۳: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن قائم به عمق کانال ۱۵ سانتی متر در حالت گرمایش ۱۰۳

جدول پ-۴: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن قائم به عمق کانال ۲۰ سانتی متر در حالت گرمایش ۱۰۳

جدول پ-۵: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن قائم به عمق کانال ۲۵ سانتی متر در حالت گرمایش ۱۰۳
جدول پ-۶: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن قائم به عمق کانال ۵ سانتی متر در حالت تهویه ۱۰۴
جدول پ-۷: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن قائم به عمق کانال ۱۰ سانتی متر در حالت تهویه ۱۰۴
جدول پ-۸: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن قائم به عمق کانال ۱۵ سانتی متر در حالت تهویه ۱۰۴
جدول پ-۹: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن قائم به عمق کانال ۲۰ سانتی متر در حالت تهویه ۱۰۵
جدول پ-۱۰: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن قائم به عمق کانال ۲۵ سانتی متر در حالت تهویه ۱۰۵
جدول پ-۱۱: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن شیب دار با زاویه ۳۰ درجه در حالت تهویه .. ۱۰۵
جدول پ-۱۲: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن شیب دار با زاویه ۴۵ درجه در حالت تهویه .. ۱۰۶
جدول پ-۱۳: ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا در هواگرمکن شیب دار با زاویه ۶۰ درجه در حالت تهویه .. ۱۰۶
جدول پ-۱۴: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن قائم به عمق کانال ۵ سانتی متر در حالت گرمایش ۱۰۶
جدول پ-۱۵: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن قائم به عمق کانال ۱۰ سانتی متر در حالت گرمایش ۱۰۷
جدول پ-۱۶: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن قائم به عمق کانال ۱۵ سانتی متر در حالت گرمایش ۱۰۷
جدول پ-۱۷: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن قائم به عمق کانال ۲۰ سانتی متر در حالت گرمایش ۱۰۷
جدول پ-۱۸: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن قائم به عمق کانال ۲۵ سانتی متر در حالت گرمایش ۱۰۷
جدول پ-۱۹: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن قائم به عمق کانال ۵ سانتی متر در حالت تهویه .. ۱۰۸

جدول پ-۲۰: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن قائم به عمق کانال ۱۰ سانتی متر در حالت تهویه ۱۰۸
جدول پ-۲۱: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن قائم به عمق کانال ۱۵ سانتی متر در حالت تهویه ۱۰۸
جدول پ-۲۲: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن قائم به عمق کانال ۲۰ سانتی متر در حالت تهویه ۱۰۸
جدول پ-۲۳: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن قائم به عمق کانال ۲۵ سانتی متر در حالت تهویه ۱۰۹
جدول پ-۲۴: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن شیب دار با زاویه ۳۰ درجه در حالت تهویه ۱۰۹
جدول پ-۲۵: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن شیب دار با زاویه ۴۵ درجه در حالت تهویه ۱۰۹
جدول پ-۲۶: اعداد بی بعد محاسبه شده برای هواگرمکن شیب دار با زاویه ۶۰ درجه در حالت تهویه ۱۰۹
جدول پ-۲۷: روابط مورد نیاز برای بررسی انتقال حرارت جابجایی [۲۰]..... ۱۱۱

فهرست علائم

A	فاصله ترموکوپل ها از یکدیگر (m)
A_g	مساحت پوشش شفاف (m^2)
A_o , A_i	مساحت مقاطع خروجی و ورودی کانال (m^2)
A_w	مساحت صفحه جاذب (m^2)
C	گرمای مخصوص ($J/kg\,^\circ C$)
C_p	ظرفیت گرمایی مخصوص ($J/kg\,^\circ C$)
d	فاصله بین صفحه جاذب و پوشش شفاف
f	نیروی حجمی (بدنی) (N)
F_R	ضریب تفکیک حرارت
g	شتاب گرانش (m/s^2)
Gr^*	عدد گراشف اصلاح شده
h_c	ضریب انتقال حرارت هدایت از شیشه ($W/m^2\,^\circ C$)
h_g	ضریب انتقال حرارت جابجایی میان پوشش شفاف و هوای درون کانال ($W/m^2\,^\circ C$)
h_{rs}	ضریب انتقال حرارت تابشی از پوشش شفاف به آسمان ($W/m^2\,^\circ C$)
h_{rwg}	ضریب انتقال حرارت تشعشع میان صفحه جاذب و پوشش شفاف ($W/m^2\,^\circ C$)
h_w	ضریب انتقال حرارت جابجایی میان صفحه جاذب و هوای درون کانال ($W/m^2\,^\circ C$)
h_{wind}	ضریب انتقال حرارت جابجایی توسط باد ($W/m^2\,^\circ C$)
H	ارتفاع (m)
K	ضریب انتقال حرارت هدایت ($W/m\,^\circ C$)
K_{ins}	ضریب رسانندگی حرارتی عایق پشت صفحه جاذب ($W/m\,^\circ C$)
L	طول مشخصه (m)
L_s	ارتفاع انباشته (m)
L_w	طول دیواره گرم (m)
$\dot{m}$	نرخ جریان جرم (kg/s)
Nu	عدد ناسلت
P	فشار (N/m^2)
Pr	عدد پرانتل
q_c	توان حرارتی به شکل انتقال حرارت جابجایی (W/m^2)

q_{in}	توان حرارت منتقل شده از هیتر به صفحه جاذب (W/m^2)
R	مقاومت سیم هیتر (Ω)
Ra	عدد رایلی
Ra^*	عدد رایلی اصلاح شده
Re	عدد رینولدز
S_1	تابش رسیده به پوشش شفاف (W/m^2)
S_2	تابش رسیده به صفحه جاذب (W/m^2)
t	زمان
T_a	دمای محیط پیرامون ($^\circ C$)
T_f	میانگین دمای هوای درون کانال ($^\circ C$)
$T_{f,i}$	دمای هوا در ورودی کانال ($^\circ C$)
$T_{f,o}$	دمای هوا در خروجی کانال ($^\circ C$)
T_g	میانگین دمای پوشش شفاف ($^\circ C$)
T_m	دمای متوسط ($^\circ C$)
T_{sky}	دمای معادل آسمان ($^\circ C$)
T_w	میانگین دمای دیواره ($^\circ C$)
u	سرعت (m/s)
u_{wind}	سرعت باد (m/s)
U_t	ضریب تلفات حرارتی کلی از پوشش شفاف به محیط ($W/m^2{}^\circ C$)
U_b	ضریب تلفات حرارتی کلی از صفحه جاذب به محیط ($W/m^2{}^\circ C$)
V	ولتاژ مورد نیاز
$\dot{v}$	نرخ جریان حجمی (m^3/s)
W	توان الکتریکی مورد نیاز (W)
y	فاصله از صفحه جاذب (m)
z	ارتفاع ورودی کانال (m)
Δw_{ins}	ضخامت عایق پشت صفحه جاذب (m)
ι	ضریب عبور
ν	ویسکوزیته سینماتیک هوا (m^2/s)
η	بازده حرارتی دستگاه
ρ	چگالی (kg/m^3)
	تنش برشی(N/m^2)