



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران
وزارت مسکن و شهرسازی

شبیه‌سازی جریان هوا در یک ساختمان چهار طبقه مسکونی

دکتر قاسم حیدری نژاد
(استاد دانشگاه تربیت مدرس)
مهندس جعفر اسماعیلیان
مهندس سید سجاد غرضی

گزارش تحقیقاتی
شماره نشر: گ - ۵۶۳
چاپ اول: ۱۳۹۰

مرشنامه	حیدری نژاد، قاسم، ۱۳۳۰ -
عنوان و نام پدیدآور	شبهه سازی جریان هوا در یک ساختمان چهار طبقه مسکونی القاسم حیدری نژاد، جعفر اسماعیلیان، سجاد غرضی.
مشخصات نشر	تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	۱۲۰ ص: مصور، جدول، نمودار، یک لوح فشرده
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۰۳۸-۰
وضعیت فهرست نویسی	فیا
موضوع	تهویه مطبوع - شبهه سازی کامپیوتری
موضوع	تهویه مطبوع - ریاضیات
شناسه افزوده	اسماعیلیان، جعفر
شناسه افزوده	غرضی، سجاد
وینچندی کنگره	TH۷۶۸۷ ج۹ ت ۱۳۸۹
رده بندی دیویی	۶۹۷/۹۳
شماره کتابخانه ملی	۲۰۶۵۹۵۳

مجموعه شماره ۸۹/۶۴۳ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

شبهه سازی جریان هوا در یک ساختمان چهار طبقه مسکونی

دکتر قاسم حیدری نژاد، مهندس جعفر اسماعیلیان، مهندس سید سجاد غرضی

شماره نشر: گ - ۵۶۳، چاپ اول: ۱۳۹۰

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس

شمارگان: ۳۵۰ نسخه

بها: ۲۰۰۰۰ ریال (به همراه یک لوح فشرده)

لینوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مسئولیت صحت دیدگاه های علمی بر عهده نگارندگان محترم می باشد.

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: تهران، بزرگراه شیخ فضل ا... نوری، خیابان پاس فرهنگیان، خیابان ارشاد، خیابان سوم.

صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

پیشگفتار

هدف اصلی سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، ایجاد شرایطی برای آسایش حرارتی انسان است. آسایش حرارتی، شرایط ذهنی است که رضایت حرارتی از محیط را بیان می‌کنیم به عبارت دیگر، قضاوت در مورد آسایش فرآیندی ادراکی است که به وسیله عوامل متعدد فیزیکی، فیزیولوژیکی، روانی و... تحت تأثیر قرار می‌گیرد. از طرف دیگر، حدود چهل درصد از کل انرژی جهان، در بخش ساختمان مصرف می‌شود. این انرژی توسط تجهیزات الکتریکی و مکانیکی برای آسایش و ایجاد محیط مناسب برای زندگی و فعالیت ساکنان مصرف می‌شود. در این میان تجهیزات گرمایشی، سرمایشی و سیستم‌های تهویه مطبوع بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی هستند. طراحی و استفاده نامناسب از سیستم‌های تهویه مطبوع، نه تنها انرژی مصرفی ساختمان را افزایش می‌دهد، بلکه باعث کاهش آسایش حرارتی و مشکلات عدم کیفیت هوای داخل می‌شود. پیش‌بینی چگونگی جریان هوا در داخل ساختمان و میزان انتقال حرارت و آلودگی ناشی از آن می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی در اختیار مهندسان برای طراحی بهینه سیستم‌های تهویه مطبوع قرار دهد. درک صحیح از توزیع هوای داخل ساختمان (سرعت هوا، توزیع دما، رطوبت، دمای تشعشعی، ذرات و شدت توربولانس) می‌تواند به طراحی صحیح سیستم‌های بهینه تهویه مطبوع کمک کند و علاوه بر آسایش و سلامتی ساکنان، پایین‌ترین هزینه انرژی را نیز داشته باشد. این پروژه نیز با هدف به دست آوردن تأثیر چیدمان داخلی ساختمان و همچنین پارامترهای طراحی سیستم تهویه مطبوع بر کیفیت هوای داخل و میزان مصرف انرژی انجام شده است. امید است استفاده از نتایج این تحقیق بتواند در تأمین آسایش حرارتی مفید واقع شود.

سید محمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

۱	فصل اول: مقدمه
۳	۱-۱ مطالعات تجربی
۴	۲-۱ مطالعات عددی
۷	فصل دوم: معادلات حاکم بر جریان جابجانی
۷	۱-۲ رژیم جریان
۸	۲-۲ معادلات حاکم بر جریان جابجایی طبیعی در اتاق
۱۱	۱-۲-۲ به دست آوردن معادلات جریان لحظه‌ای
۱۲	۲-۲-۲ معادلات متوسط‌گیری شده رینولدزی
۱۳	۱-۲-۲-۲ فرضیه بوریسک
۱۴	۲-۲ مدل‌های توربولانس استفاده شده برای جریان هوا در اتاق
۱۴	۱-۳-۲ مدل‌های ویسکوزیته -گردابه‌ای
۱۴	۱-۱-۳-۲ مدل‌های صفر معادله‌ای
۱۵	۲-۱-۳-۲ مدل‌های یک معادله‌ای
۱۶	۳-۱-۳-۲ مدل‌های دو معادله‌ای
۲۰	۴-۱-۳-۲ مدل‌های دیگر توربولانس
۲۱	فصل سوم: جزئیات حل عددی
۲۱	۱-۳ اصول شبیه‌سازی عددی
۲۲	۲-۳ شبکه‌بندی میدان حل
۲۳	۳-۳ گسسته‌سازی معادلات انتقال
۲۴	۱-۳-۳ روش حجم محدود
۲۸	۲-۳-۳ روش کلوکیتد
۳۰	۳-۳-۳ الگوریتم سیمپل
۳۰	۴-۳-۳ تخفیف (relaxation)
۳۱	۴-۳ حل دستگاه معادلات خطی



- ۳۱ ۵-۲ محاسبه خطا
- ۳۳ فصل چهارم: بررسی عوامل موثر بر آسایش حرارتی
- ۳۴ ۱-۴ تنظیم دمایی انسان
- ۳۵ ۲-۴ موازنه انرژی
- ۳۷ ۱-۲-۴ نرخ متابولیسمی
- ۳۷ ۲-۲-۴ کار مکانیکی
- ۳۷ ۳-۲-۴ مبادله حرارتی محسوس
- ۴۱ ۴-۲-۴ میزان مقاومت حرارتی لباس
- ۴۲ ۵-۲-۴ اتلاف حرارتی تبخیری
- ۴۲ ۱-۵-۲-۴ اتلافات تنفسی
- ۴۳ ۲-۵-۲-۴ اتلاف حرارتی تبخیری از سطح پوست
- ۴۵ ۳-۵-۲-۴ اتلاف حرارتی تبخیری ناشی از دیفیوژن و تری کل پوست
- ۴۵ ۶-۲-۴ دمای متوسط تشعشعی و دمای مؤثر
- ۴۵ ۱-۶-۲-۴ دمای تشعشعی
- ۴۶ ۲-۶-۲-۴ دمای مؤثر
- ۴۶ ۳-۴ مدل‌های پیش‌بینی آسایش حرارتی
- ۴۹ ۱-۱-۳-۴ محدوده کاربرد روش PMV
- ۴۹ ۲-۱-۳-۴ روشهای محاسبه PMV
- ۴۹ ۳-۱-۳-۴ شاخص PMV-PPD
- ۵۰ ۴-۱-۳-۴ محاسبات روش PMV-PPD
- ۵۲ ۴-۱-۳-۴ دیاگرام‌های آسایشی فنکر
- ۵۲ ۲-۲-۴ مدل دو نقطه‌ای
- ۵۴ ۱-۲-۳-۴ محاسبات مدل دو نقطه‌ای
- ۵۷ فصل پنجم: انتخاب روش مناسب و پارامترهای حل
- ۵۷ ۱-۵ انتخاب روش مناسب
- ۶۲ ۲-۵ شبکه‌بندی، زمان اجرا و پارامترهای مورد استفاده در مدل ایرپک
- ۶۲ ۱-۲-۵ کلیات
- ۶۳ ۲-۲-۵ سیستم کولر تبخیری



۶۶	۳-۲-۵ سیستم رادیاتور
۶۸	۴-۲-۵ سیستم فن‌کوئل
۷۲	فصل ششم: بحث و نتیجه‌گیری
۷۶	۱-۶ سرمایش در منطقه گرم و خشک
۸۱	۲-۶ گرمایش در منطقه گرم و خشک
۸۵	۳-۶ سرمایش در منطقه معتدل و مرطوب
۸۹	۴-۶ گرمایش در منطقه معتدل و مرطوب
۹۵	فصل هفتم: جمع‌بندی
۹۹	مراجع

شکل ۱-۲ سرعت محلی لحظه‌ای اندازه‌گیری شده بالای رادیاتور	۸
شکل ۲-۲ ظرفیت مورد نیاز کامپیوتر برای روش DNS	۱۰
شکل ۱-۳ مکانهای وجوه حجم‌های کنترلی	۲۲
شکل ۲-۲ نحوه اهمال شرایط مرزی ناپیوسته	۲۳
شکل ۲-۳ حجم‌کنترل‌های مرزی	۲۴
شکل ۳-۴ کره‌ها و حجم محدودهای مربوط به حالت یک‌بعدی	۲۶
شکل ۲-۴ اتلاف خوارشی محسوس میان بدن انسان و محیط اطراف	۴۱
شکل ۳-۴ مقدار متوسط فاکتور شکل میان یک شخص ساکن و یک صفحه افقی	۴۷
شکل ۴-۴ مقدار متوسط فاکتور شکل میان یک شخص ساکن و یک صفحه عمودی	۴۸
شکل ۵-۴ مقدار PPD به صورت تابعی از PMV	۵۰
شکل ۶-۴ دیاگرام‌های آسایشی فنکر	۵۳
شکل ۱-۵ شکل هندسی مسئله و مختصات حل	۵۸
شکل ۲-۵ آرایش خطوط جریان (A-C) و خطوط همدم (D-F) برای مقادیر $L/H=3.0$ ، $H/H=0.017$ و $RE=7350$ و مقادیر مختلف عدد ارشمیدس: (A و D) 8×10^{-3} ، (B و E) 2×10^{-2} ، (C و F) 8×10^{-2}	۵۹
شکل ۳-۵ آرایش خطوط جریان (A-C) و خطوط همدم (D-F) برای مقادیر $L/H=3.0$ ، $H/H=0.017$ و $RE=7350$ و مقادیر مختلف عدد ارشمیدس: (A و D) 8×10^{-3} ، (B و E) 2×10^{-2} ، (C و F) 8×10^{-2} به دست آمده توسط نیلسن	۶۰
شکل ۴-۵ پروفیل دما در خط افقی $Y/H=1$	۶۱
شکل ۵-۵ پروفیل دما در خط افقی $Y/H=0.75$	۶۱
شکل ۶-۵ تنظیمات اصلی برنامه ایرپک	۶۲
شکل ۷-۵ تنظیمات پیشرفته برنامه ایرپک	۶۳
شکل ۸-۵ پارامترهای اصلی مش‌بندی برای سیستم کولر تبخیری	۶۴

- شکل ۵-۹ پارامترهای مش‌بندی برای درپچه‌های خروجی در سیستم کولر تبخیری ۶۴
- شکل ۵-۱۰ مش‌بندی مدل در صفحه $Z=8$ برای سیستم کولر تبخیری ۶۵
- شکل ۵-۱۱ مش‌بندی مدل در صفحه $Y=2/4$ برای سیستم کولر تبخیری ۶۵
- شکل ۵-۱۲ پارامترهای اصلی مش‌بندی برای سیستم رادیاتور ۶۶
- شکل ۵-۱۳ پارامترهای مش‌بندی برای رادیاتورها ۶۷
- شکل ۵-۱۴ مش‌بندی مدل در صفحه $Z=7$ برای سیستم رادیاتور ۶۷
- شکل ۵-۱۵ مش‌بندی مدل در صفحه $Y=0/6$ برای سیستم رادیاتور ۶۸
- شکل ۵-۱۶ پارامترهای اصلی مش‌بندی برای سیستم فن‌کویل ۶۹
- شکل ۵-۱۷ پارامترهای مش‌بندی برای فن‌کویلها ۷۰
- شکل ۵-۱۸ مش‌بندی مدل در صفحه $Z=7$ برای سیستم فن‌کویل ۷۰
- شکل ۵-۱۹ مش‌بندی مدل در صفحه $Y=0/6$ برای سیستم فن‌کویل ۷۱
- شکل ۶-۱ پلان لوله‌کشی سیستم گرمایش (طبقه اول) ۷۴
- شکل ۶-۲ پلان لوله‌کشی سیستم گرمایش ۷۵
- شکل ۶-۳ پلان کانال‌کشی کولر ۷۶
- شکل ۶-۴ مدل طبقات ۷۷
- شکل ۶-۵ تغییرات PMV در $Y = 0/6$ (طبقه اول) ۷۸
- شکل ۶-۶ تغییرات PMV در $Y = 1/7$ (طبقه اول) ۷۸
- شکل ۶-۷ تغییرات PMV در $Y = 0/6$ (طبقات دوم و سوم) ۷۹
- شکل ۶-۸ تغییرات PMV در $Y = 1/7$ (طبقات دوم و سوم) ۷۹
- شکل ۶-۹ تغییرات PMV در $Y = 0/6$ (طبقه چهارم) ۸۰
- شکل ۶-۱۰ تغییرات PMV در $Y = 1/7$ (طبقه چهارم) ۸۰
- شکل ۶-۱۱ مدل طبقات ۸۱
- شکل ۶-۱۲ تغییرات PMV در $Y = 0/6$ (طبقه اول) ۸۲
- شکل ۶-۱۳ تغییرات PMV در $Y = 1/7$ (طبقه اول) ۸۲
- شکل ۶-۱۴ تغییرات PMV در $Y = 0/6$ (طبقات دوم و سوم) ۸۳
- شکل ۶-۱۵ تغییرات PMV در $Y = 1/7$ (طبقات دوم و سوم) ۸۴
- شکل ۶-۱۶ تغییرات PMV در $Y = 0/6$ (طبقه چهارم) ۸۴



- شکل ۶-۱۷ تغییرات PMV در $\nu = 1/7$ (طبقه چهارم) ۸۵
- شکل ۶-۱۸ مدل طبقات ۸۶
- شکل ۶-۱۹ تغییرات PMV در $\nu = 0/6$ (طبقه اول) ۸۶
- شکل ۶-۲۰ تغییرات PMV در $\nu = 1/7$ (طبقه اول) ۸۷
- شکل ۶-۲۱ تغییرات PMV در $\nu = 0/6$ (طبقات دوم و سوم) ۸۷
- شکل ۶-۲۲ تغییرات PMV در $\nu = 1/7$ (طبقات دوم و سوم) ۸۸
- شکل ۶-۲۳ تغییرات PMV در $\nu = 0/6$ (طبقه چهارم) ۸۸
- شکل ۶-۲۴ تغییرات PMV در $\nu = 1/7$ (طبقه چهارم) ۸۹
- شکل ۶-۲۵ مدل طبقات ۹۰
- شکل ۶-۲۶ تغییرات PMV در $\nu = 0/6$ (طبقه اول) ۹۰
- شکل ۶-۲۷ تغییرات PMV در $\nu = 1/7$ (طبقه اول) ۹۱
- شکل ۶-۲۸ تغییرات PMV در $\nu = 0/6$ (طبقات دوم و سوم) ۹۱
- شکل ۶-۲۹ تغییرات PMV در $\nu = 1/7$ (طبقات دوم و سوم) ۹۲
- شکل ۶-۳۰ تغییرات PMV در $\nu = 0/6$ (طبقه چهارم) ۹۲
- شکل ۶-۳۱ تغییرات PMV در $\nu = 1/7$ (طبقه چهارم) ۹۳

فهرست جداول

صفحه

عنوان جدول

جدول ۱-۲ جملات منبع برای معادله ۱-۲	۲۴
جدول ۱-۴ نرخهای متابولیکی فعالیتهای مختلف	۳۹
جدول ۲-۴ میزان مقاومت حرارتی لباس و مقادیر بازده تراوایی برای برخی لباسها	۴۲
جدول ۳-۴ مقادیر مقاومت حرارتی لباسها	۴۳

www.ketab.ir

چکیده

این پروژه، با هدف شبیه‌سازی عددی پارامترهای محیطی در یک ساختمان مسکونی با توجه به معیارهای پیش‌بینی آسایش حرارتی انجام شده است. بدین منظور ابتدا روشهای مختلف مدلسازی جریان‌های آشفته مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به بازه اعداد رایلی و رینولدز در فضاهای داخلی، روش مناسب انتخاب می‌شود. در ادامه، ساختمان انتخاب شده در دو ناحیه مختلف آب و هوایی توسط نرم‌افزار کریر مورد تحلیل قرار می‌گیرد. بارهای گرمایشی و سرمایشی ساختمان، محاسبه و براساس بارهای محاسبه شده، طراحی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی ساختمان انجام می‌گیرد.

برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار ایرپک استفاده شده و پس از به دست آمدن توزیع دما، فشار، سرعت، رطوبت نسبی و دمای شعاعی، پارامترهای موثر بر آسایش شامل شاخص‌های PMV و PPD برای مقایسه با شرایط مرجع استانداردها در فضای داخلی ساختمان، تعیین می‌شود. شبیه‌سازی‌ها به چهار بخش مختلف تقسیم شده است که بخش اول، مربوط به سرمایش در منطقه گرم و خشک می‌باشد. در این حالت، از سیستم کولر آبی استفاده شده و عواملی همچون دبی هوای خروجی از کولر، زاویه وزش و مکان دریچه‌ها، بررسی می‌گردد. در بخش دوم، به گرمایش در منطقه گرم و خشک پرداخته می‌شود که در این حالت توان حرارتی خروجی رادیاتورها، مکان قرارگیری آنها و تأثیر هر یک در شرایط آسایش بررسی می‌گردد. در بخش سوم و چهارم، به ترتیب، به سرمایش و گرمایش در منطقه معتدل و مرطوب پرداخته شده و عواملی همچون توان حرارتی، دبی هوای خروجی و مکان قرار گیری فن‌کوئل‌ها در فضای مسکونی مورد بحث قرار می‌گیرد.

با توجه به نتایج حاصل، حالت بهینه برای قرارگیری وسایل در فضای داخلی و همچنین شرایط سیستم‌های مختلف تهویه مطبوع از لحاظ مکان قرارگیری و پارامترهای طراحی به دست آمده و توصیه‌هایی برای جانمایی وسایل داخلی ساختمان و تغییر شرایط طراحی و مکان پایانه‌ها ارائه شده است.