

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی مهندسی
گروه مکانیک

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

تأثیر پیکربندی عایق بر بار گرمایی ساختمان در گرمایش منقطع

استادان راهنما:
دکتر فرزاد ویسی
دکتر حبیب اله صفرزاده

نام دانشجو:
ایمان بکان

اردیبهشت ماه ۱۳۹۰

این پایان نامه با حمایت شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کشور انجام شده است

چکیده

طبق آمار های موجود حدود ۴۰٪ از انرژی کشور در بخش ساختمان مصرف می شود که از این مقدار حدود ۷۰٪ آن صرف گرمایش می شود. این آمار بر لزوم کنترل مصرف انرژی و سوخت در ساختمان های موجود در کشور صحنه می گذارد. جهت تحلیل میزان مصرف انرژی در ساختمان بایستی مدلی جهت تحلیل مصرف انرژی در ساختمان ارائه گردد. مدل‌هایی که عموماً در محاسبات مهندسی بار حرارتی ساختمانها بکار میروند مبتنی بر انتقال حرارت پایدار هستند حال آنکه پدیده انتقال حرارت در ساختمان ذاتاً رفتاری دینامیکی دارد. از این رو مطالعات زیادی در زمینه مدل‌سازی و تحلیل روشهای گرمایش در حالت دینامیکی و گذرا صورت گرفته است. در این مطالعه هدف تعیین مدلی است که قادر به محاسبه مصرف انرژی در ساختمان در شرایط کاری مختلف باشد تا بدینوسیله راهکارهایی جهت بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان ارائه گردد. از جمله این راهکارها بررسی تأثیر کاربرد عایق های حرارتی در مصرف انرژی در ساختمانهاست در این پایان نامه براساس روابط توازن انرژی در اجزای مختلف ساختمان، مدلی برای تحلیل رفتار حرارتی ساختمان در حالت دینامیکی ارائه شده است. مدل بدست آمده بصورت ماتریسی فضا - حالت نوشته شده و در محیط نرم افزار Simulink شبیه سازی شده است. برای بررسی میزان توانایی این مدل در تحلیل رفتار حرارتی ساختمان در حالت دینامیکی، محاسبات نمونه ای برای یک ساختمان ساده با کاربری اداری و سیستم های گرمایش پیوسته و منقطع انجام شده است و با انجام یک رشته محاسباتی تأثیر موقعیت عایق در گرمایش پیوسته و منقطع نیز از حیث مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد قرارگیری عایق در داخل جداره، بهترین حالت از حیث مصرف انرژی در گرمایش منقطع می باشد. در گرمایش پیوسته موقعیت عایق تأثیری در میزان مصرف انرژی ندارد در ادامه جهت تشخیص ضخامت بهینه عایق، تحلیل اقتصادی برای عایق ها و سوخت های مختلف و شرایط آب و هوایی شهر تهران انجام گرفت و ضخامت بهینه عایق و دیگر شاخص های اقتصادی برای عایق ها و سوخت های مختلف ارائه شد. نتایج نشان می دهد این مدل‌سازی می تواند به عنوان ابزاری مناسب در تحلیل و بهینه سازی مصرف انرژی در گرمایش ساختمانها بکار رود.

فهرست

عنوان.....صفحه

| | |
|--|----|
| فصل اول: مقدمه..... | ۱ |
| ۱-۱- مصرف انرژی در ساختمان..... | ۲ |
| ۲-۱- اصول انتقال گرما در ساختمان..... | ۴ |
| ۱-۲-۱- انتقال حرارت هدایت در ساختمان..... | ۴ |
| ۲-۲-۱- انتقال حرارت جابجایی در ساختمان..... | ۶ |
| ۳-۲-۱- انتخاب ضریب انتقال حرارت جابجایی مناسب داخل و خارج ساختمان..... | ۷ |
| ۴-۲-۱- انتقال حرارت تابشی در ساختمان..... | ۱۰ |
| ۳-۱- ضریب کلی انتقال گرما..... | ۱۲ |
| ۴-۱- دمای طراحی هوای بیرون..... | ۱۴ |
| ۵-۱- شرایط آسایش هوای داخل ساختمان..... | ۱۴ |
| ۱-۵-۱- استانداردهای آسایش حرارتی..... | ۱۶ |
| ۲-۵-۱- شرایط آسایش حرارتی برای ساختمان نمونه..... | ۱۸ |
| ۶-۱- محاسبه بار حرارتی در ساختمانها..... | ۱۹ |
| ۱-۶-۱- تلفات حرارتی جداره های ساختمان..... | ۲۰ |
| ۲-۶-۱- تلفات حرارتی ناشی از نفوذ یا تهویه هوا..... | ۲۰ |
| ۷-۱- محاسبه بار حرارتی در ساختمانها..... | ۲۲ |
| ۸-۱- عایق های حرارتی..... | ۲۳ |
| ۱-۸-۱- عایق پشم شیشه..... | ۲۳ |
| ۲-۸-۱- مشخصات فنی پشم شیشه..... | ۲۴ |
| ۳-۸-۱- عایق پلی استایرن..... | ۲۵ |
| ۹-۱- الزامات فنی عایق بندی ساختمان..... | ۲۶ |
| ۱-۹-۱- ساختمانهای مسکونی با گرمایش پیوسته..... | ۲۶ |
| ۲-۹-۱- ساختمانهای اداری یا آموزشی با گرمایش منقطع..... | ۲۷ |
| ۱۰-۱- لزوم عایقکاری در ساختمان..... | ۲۸ |
| ۱-۱۰-۱- مبانی تعیین حداقل میزان عایق حرارتی..... | ۲۸ |
| فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته..... | ۳۰ |
| فصل سوم: مدل سازی حرارتی ساختمان..... | ۳۸ |
| ۱-۳- مقدمه..... | ۳۹ |
| ۲-۳- سیستم و مدلسازی ریاضی..... | ۳۹ |
| ۳-۳- ویژگی های یک مدل کامل حرارتی..... | ۴۳ |

- ۴-۳- مدلهای مرتبه اول برای انتقال حرارت از دیوار..... ۴۴
- ۵-۳- مدلهای مرتبه بالاتر برای انتقال حرارت از دیوارها..... ۴۵
- ۶-۳- تجهیزات گرمایشی با توان ثابت..... ۵۷
- ۷-۳- تحلیل اقتصادی عایق..... ۵۹
- ۱-۷-۳- آنالیز ارزش فعلی..... ۶۱
- ۲-۷-۳- نرخ بهره موثر..... ۶۲
- ۳-۷-۳- هزینه سالانه سوخت مصرفی..... ۶۳
- ۴-۷-۳- مجموع هزینه های سوخت مورد نیاز گرمایش در طول عمر عایق..... ۶۴
- ۵-۷-۳- مجموع هزینه های گرمایش در چرخه عمر عایق..... ۶۴
- ۶-۷-۳- هزینه خالص عایقکاری..... ۶۵
- ۷-۷-۳- سیستم های گرمایشی..... ۶۵
- ۸-۳- معرفی فاکتورهای اقتصادی حاصل از تحلیل اقتصادی عایق..... ۶۶

فصل چهارم: محاسبات و نتیجه گیری..... ۶۸

- ۱-۴- معرفی نرم افزار..... ۶۹
- ۲-۴- ساختار مدل سیمولینک در تجهیزات گرمایشی با توان ثابت..... ۷۰
- ۳-۴- مقایسه نتایج مدل با نتایج عددی (اعتبار سنجی)..... ۷۳
- ۴-۴- نتایج..... ۷۷
- ۱-۴-۴- پیش بینی دما..... ۷۸
- ۲-۴-۴- شرایط آسایش حرارتی برای ساختمان نمونه..... ۸۳
- ۱-۲-۴-۴- رطوبت نسبی..... ۸۳
- ۳-۴-۴- گرمایش پیوسته..... ۸۳
- ۱-۳-۴-۴- موقعیت بهینه عایق در گرمایش پیوسته..... ۸۷
- ۴-۴-۴- تحلیل اقتصادی عایق در گرمایش پیوسته..... ۸۸
- ۱-۴-۴-۴- مقدار انرژی مورد نیاز سالانه جهت گرمایش..... ۸۸
- ۲-۴-۴-۴- شرایط آب و هوایی تهران..... ۸۸
- ۳-۴-۴-۴- دمای طرح زمستانی بیرون..... ۹۱
- ۴-۴-۴-۴- نرخ تورم و نرخ بهره..... ۹۲
- ۵-۴-۴-۴- هزینه عایق بندی حرارتی ساختمان..... ۹۲
- ۶-۴-۴-۴- روش عایق بندی ساختمان و مصالح مورد نیاز..... ۹۴
- ۷-۴-۴-۴- کاهش هزینه تأسیسات ناشی از افزایش ضخامت عایق..... ۹۴
- ۸-۴-۴-۴- پارامتر های مورد نیاز جهت انجام تحلیل های اقتصادی..... ۹۷
- ۹-۴-۴-۴- ارائه نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی در گرمایش پیوسته..... ۹۸
- ۵-۴-۴- گرمایش منقطع..... ۱۰۶
- ۱-۵-۴-۴- وقوع میعان بر روی سطوح داخلی دیوار..... ۱۰۸
- ۶-۴-۴- مدل پیشنهادی جهت بررسی موقعیت بهینه عایق در گرمایش منقطع..... ۱۱۰
- ۱-۶-۴-۴- زمان گذرا و انرژی مصرفی در طول زمان گذرا..... ۱۱۵

- ۱۱۶.....۲-۶-۴-۴- انرژی مصرفی در مدت زمان استفاده
- ۱۱۷.....۳-۶-۴-۴- مدت زمان افت دما تا حداقل دما
- ۱۱۷.....۴-۶-۴-۴- مدت زمان حداقل گرمایش
- ۱۱۷.....۵-۶-۴-۴- انرژی مصرفی کل
- ۱۲۰.....۶-۶-۴-۴- موقعیت بهینه عایق در گرمایش منقطع
- ۱۲۱.....۷-۴-۴- ارائه نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی عایق در گرمایش منقطع
- ۱۳۱.....۸-۴-۴- آنالیز حساسیت
- ۱۴۲.....۹-۴-۴- جمع بندی و نتیجه گیری
- ۱۴۴.....۱۰-۴-۴- پیشنهادات

- ۱۴۵ پیوست
- ۱۴۶ پیوست A
- ۱۴۷ پیوست B
- ۱۵۱ پیوست C
- ۱۵۲ مراجع

فهرست شکل‌ها

| عنوان..... | صفحه..... |
|--|-----------|
| شکل (۱-۱) - تعاملات دینامیکی اجزای ساختمان..... | ۳ |
| شکل (۲-۱) - چگونگی انتقال گرما و تغییرات دما در دیوار..... | ۴ |
| شکل (۳-۱) - تغییر دما در دیوار یک لایه..... | ۵ |
| شکل (۴-۱) - مسیر جریان هوای جابجایی در یک اتاق..... | ۶ |
| شکل (۵-۱) - مسیرهای انتقال حرارت تابشی بین اجزای داخلی ساختمان..... | ۱۱ |
| شکل (۶-۱) - مسیرهای انتقال حرارت تابشی در ساختمان..... | ۱۲ |
| شکل (۷-۱) - مقاومت‌های موجود در مسیر انتقال گرما برای یک دیواره با جداره مرکب..... | ۱۳ |
| شکل (۸-۱) - محدوده قابل قبول سرعت هوای اتاق در شرایط آسایش..... | ۱۷ |
| شکل (۹-۱) - محدوده قابل قبول رطوبت نسبی هوای اتاق در شرایط آسایش..... | ۱۸ |
| شکل (۱۰-۱) - مسیرهای مختلف انتقال حرارت در یک اتاق..... | ۱۹ |
| شکل (۱۱-۱) - نفوذ هوا و تهویه مصنوعی در ساختمان..... | ۲۱ |
| شکل (۱۲-۱) - استفاده از پلی استایرن در عایقکاری از خارج..... | ۲۷ |
| شکل (۱۳-۱) - استفاده از پشم شیشه در عایقکاری از داخل..... | ۲۸ |
| شکل (۱-۲) - تغییرات دامنه و فاز دمای هوای داخل اتاق نسبت به حالت مرجع برای جرم حرارتی بالا (۱۰ برابر مرجع) و جرم حرارتی پایین (۰/۱ مرجع) [۲۳]..... | ۳۳ |
| شکل (۲-۲) - ساختار جداره خارجی چهار لایه [۲۶]..... | ۳۵ |
| شکل (۳-۲) - تأثیر ضخامت عایق بر شار حرارتی عبوری از جدار خارجی در ماههای مختلف [۲۶]..... | ۳۵ |
| شکل (۴-۲) - تأثیر ضخامت عایق بر درصد صرفه جویی در میزان شار حرارتی عبوری از جدار خارجی [۲۶]..... | ۳۶ |
| شکل (۱-۳) - عملکرد کلی یک سیستم..... | ۴۰ |
| شکل (۲-۳) - نمودار پاسخ زمانی سیستم دینامیکی به یک ورودی پله واحد..... | ۴۱ |
| شکل (۳-۳) - مدل مرتبه اول یک دیوار تک لایه..... | ۴۴ |
| شکل (۴-۳) - نمودار تغییرات دمای هوای داخل اتاق بر حسب زمان برای یک مدل مرتبه اول [۳۰]..... | ۴۵ |
| شکل (۵-۳) - دیوار چهار لایه و مدار الکتریکی معادل آن..... | ۴۶ |
| شکل (۶-۳) - اجزای تشکیل دهنده یک اتاق با جداره های چهار لایه..... | ۴۶ |
| شکل (۷-۳) - اجزای تشکیل دهنده دیوار چهار لایه..... | ۴۸ |
| شکل (۸-۳) - نمایش کف چهار لایه اتاق..... | ۵۰ |
| شکل (۹-۳) - نمایش لایه های سقف چهار لایه..... | ۵۲ |
| شکل (۱۰-۳) - مدار الکتریکی معادل پنجره..... | ۵۳ |
| شکل (۱۱-۳) - هزینه سوخت و هزینه عایق و هزینه های کلی در طول عمر عایق [۲۸]..... | ۶۰ |
| شکل (۱-۴) - بلوک دیاگرام سیمولینک طراحی شده در حالتی که توان سیستم گرمایش ثابت است..... | ۷۱ |
| شکل (۲-۴) - بلوک دیاگرام زیر برنامه ۱..... | ۷۱ |
| شکل (۳-۴) - بلوک دیاگرام زیر برنامه ۳..... | ۷۲ |
| شکل (۴-۴) - بلوک دیاگرام زیر برنامه ۴..... | ۷۲ |

- شکل (۴-۵) - بلوک دیاگرام سیمولینک طراحی شده جهت مقایسه با نتایج مرجع [۲۳]..... ۷۳
- شکل (۴-۶) - منحنی تغییرات هوای داخل اتاق بر حسب زمان برای آزمایش مرجع [۲۳]..... ۷۵
- شکل (۴-۷) - منحنی تغییرات هوای داخل اتاق بر حسب زمان برای مدل طراحی شده..... ۷۵
- شکل (۴-۸) - مقایسه نتایج مرجع [۲۳] و مدل طراحی شده در یک بازه زمانی کوچک..... ۷۶
- شکل (۴-۹) - پلان ساختمان بکار رفته در محاسبات نمونه..... ۷۷
- شکل (۴-۱۰) - تغییرات دما در طول دیوار بر حسب تغییرات دمای طرح بیرون..... ۸۰
- شکل (۴-۱۱) - نمودار افزایش دمای هوای داخل اتاق پس از روشن شدن سیستم گرمایش بر حسب زمان و دمای هوای بیرون اتاق..... ۸۱
- شکل (۴-۱۲) - نمودار کاهش دمای هوای داخل اتاق بعد از قطع سیستم گرمایش بر حسب زمان و دمای هوای بیرون اتاق..... ۸۲
- شکل (۴-۱۳) - نمودار تغییرات دمای هوای داخل بر حسب زمان در گرمایش پیوسته برای مدت یک شبانه روز..... ۸۴
- شکل (۴-۱۴) - ۷ آرایش عایقکاری مختلف در گرمایش پیوسته..... ۸۵
- شکل (۴-۱۵) - متوسط دمای ماهیانه هفت ایستگاه مختلف در تهران [۱۱]..... ۸۹
- شکل (۴-۱۶) - رابطه بین ضریب هدایت حرارتی و چگالی ظاهری برای آزمون غیر مستقیم در دمای متوسط ۱۰ درجه سانتیگراد [۴۱]..... ۹۳
- شکل (۴-۱۷) - ظرفیت حرارتی دیگ بر اساس تغییرات بار حرارتی اتاق..... ۹۶
- شکل (۴-۱۸) - کاهش هزینه تاسیسات گرمایشی بر حسب کاهش بار حرارتی اتاق..... ۹۶
- شکل (۴-۱۹) - هزینه های خالص عایق و سوخت و هزینه های کلی در چرخه عمر عایق برای پلی استایرن و سوخت گاز در گرمایش پیوسته با توان حرارتی ۱۴۰٪ بار حرارتی پایدار..... ۹۸
- شکل (۴-۲۰) - چیدمان عایق در ضخامت های بهینه پیشنهادی در گرمایش پیوسته..... ۱۰۴
- شکل (۴-۲۱) - مصرف انرژی روزانه در ماههای مختلف سال بر اساس ضخامت های بهینه عایق پیشنهادی در گرمایش پیوسته..... ۱۰۵
- شکل (۴-۲۲) - نمودار تغییرات دمای هوای داخل اتاق در گرمایش منقطع..... ۱۰۷
- شکل (۴-۲۳) - نمودار تغییرات دمای هوای داخل اتاق بر حسب زمان در گرمایش پیوسته برای مدت یک شبانه روز با ۱۴ ساعت انقطاع..... ۱۰۸
- شکل (۴-۲۴) - ۱۴ آرایش عایقکاری در گرمایش منقطع..... ۱۱۴
- شکل (۴-۲۵) - مقایسه تغییرات دمای هوای داخل اتاق برای آرایش های عایق داخل و عایق خارج..... ۱۱۶
- شکل (۴-۲۶) - چیدمان عایق برای ضخامت بهینه عایق در گرمایش منقطع..... ۱۲۳
- شکل (۴-۲۷) - مصرف انرژی روزانه در ماههای مختلف سال بر اساس ضخامت های بهینه عایق پیشنهادی در گرمایش منقطع با ۸ ساعت انقطاع..... ۱۲۴
- شکل (۴-۲۸) - مقایسه بین شاخص های اقتصادی بدست آمده بین گرمایش پیوسته و منقطع برای انرژی برق و عایق پلی استایرن..... ۱۲۶
- شکل (۴-۲۹) - مقایسه بین شاخص های اقتصادی بدست آمده بین گرمایش پیوسته و منقطع برای سوخت گازوئیل و عایق پلی استایرن..... ۱۲۷
- شکل (۴-۳۰) - مقایسه بین شاخص های اقتصادی بدست آمده بین گرمایش پیوسته و منقطع برای سوخت دوگانه برق-گاز و عایق پلی استایرن..... ۱۲۸

- شکل (۴-۳۱)- تأثیر ضخامت عایق پلی استایرن بر روی ارزش کنونی صرفه جویی در هزینه سوخت مصرفی در طول عمر عایق برای سوخت های مختلف در گرمایش پیوسته و منقطع با ۸ ساعت انقطاع..... ۱۲۹
- شکل (۴-۳۲)- تأثیر ضخامت عایق پلی استایرن بر روی ارزش کنونی سود خالص ناشی از عایقکاری در طول عمر عایق برای سوخت های مختلف در گرمایش پیوسته و منقطع با ۸ ساعت انقطاع..... ۱۳۰
- شکل (۴-۳۳)- تغییرات ضریب ارزش فعلی پرداخت سالانه و ضخامت بهینه در گرمایش پیوسته و منقطع با ۸ ساعت انقطاع بر حسب تغییرات نرخ تورم ۱۳۱
- شکل (۴-۳۴)- مقایسه مقادیر ارزش کنونی صرفه جویی در هزینه سوخت مصرفی و ارزش کنونی سود خالص ناشی از عایقکاری در طول عمر عایق با تغییرات نرخ تورم در گرمایش پیوسته و منقطع با ۸ ساعت انقطاع..... ۱۳۲
- شکل (۴-۳۵)- تغییرات مدت زمان بازگشت سرمایه، با تغییرات نرخ تورم در گرمایش پیوسته و منقطع با ۸ ساعت انقطاع..... ۱۳۳
- شکل (۴-۳۶)- تغییرات نسبت سود به سرمایه بر حسب تغییرات نرخ تورم ۱۳۴
- شکل (۴-۳۷)- تأثیر تغییرات راندمان سیستم گرمایش بر روی ضخامت بهینه، مدت زمان بازگشت سرمایه و نسبت سود به سرمایه اولیه..... ۱۳۵
- شکل (۴-۳۸)- تأثیر تغییرات راندمان سیستم گرمایش بر روی صرفه جویی در هزینه سوخت و سود خالص ناشی از عایقکاری..... ۱۳۶

فهرست جدول‌ها

| عنوان..... | صفحه..... |
|--|-----------|
| جدول (۱-۱) - نرخ متابولیک بر حسب میزان فعالیت [۸]..... | ۱۵..... |
| جدول (۲-۱) - نسبت تبادل حرارتی به شکل های مختلف در شرایط ۱۸ درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی ۵۰ درصد و جریان هوای ثابت [۹]..... | ۱۵..... |
| جدول (۳-۱) - ابعاد متداول عایق پشم شیشه [۱۶]..... | ۲۴..... |
| جدول (۴-۱) - مشخصات فنی عایق های پشم شیشه متداول [۱۶]..... | ۲۴..... |
| جدول (۵-۱) - ضریب هدایت حرارتی پشم شیشه بر حسب دانسیته [۱۵]..... | ۲۵..... |
| جدول (۶-۱) - ویژگی های فنی پلی استایرن حاصل از روش قالبی و اکستروود شده..... | ۲۶..... |
| جدول (۱-۴) - مشخصات مصالح بکار رفته در مدل طراحی شده..... | ۷۴..... |
| جدول (۲-۴) - مشخصات مصالح بکار رفته در دیوارهای اتاق..... | ۷۷..... |
| جدول (۳-۴) - مشخصات مصالح بکار رفته در کف اتاق..... | ۷۷..... |
| جدول (۴-۴) - مشخصات مصالح بکار رفته در سقف اتاق..... | ۷۸..... |
| جدول (۵-۴) - دمای نقاط مختلف ساختمان بر حسب دمای هوای بیرون اتاق، وقتی دمای داخل ۱۶ درجه سانتیگراد است..... | ۷۹..... |
| جدول (۶-۴) - متوسط مصرف انرژی روزانه در ساختمان برای دماهای بیرون مختلف و آرایش های مختلف عایقکاری و توان حرارتی معادل بار حرارتی پایدار (انرژی مصرفی بر حسب مگاژول)..... | ۸۶..... |
| جدول (۷-۴) - متوسط مصرف انرژی روزانه در ساختمان برای دماهای بیرون مختلف و آرایش های مختلف عایقکاری و توان حرارتی معادل ۱۲۰٪ بار حرارتی پایدار (انرژی مصرفی بر حسب مگاژول)..... | ۸۶..... |
| جدول (۸-۴) - متوسط مصرف انرژی روزانه در ساختمان برای دماهای بیرون مختلف و آرایش های مختلف عایقکاری و توان حرارتی معادل ۱۴۰٪ بار حرارتی پایدار (انرژی مصرفی بر حسب مگاژول)..... | ۸۷..... |
| جدول (۹-۴) - متوسط ماهانه ماکزیمم دما و مینیمم دما برای شهر تهران (ایستگاه مهر آباد) [۳۶]..... | ۸۹..... |
| جدول (۱۰-۴) - دمای طرح زمستانی برای چند ناحیه از تهران [۳۸]..... | ۹۱..... |
| جدول (۱۱-۴) - مشخصات فنی عایق های حرارتی بکار رفته در عایقکاری مدل اداری [۴۰]..... | ۹۲..... |
| جدول (۱۲-۴) - قیمت عایق حرارتی بکار رفته در ساختمان نمونه..... | ۹۳..... |
| جدول (۱۳-۴) - مشخصات حرارتی و قیمت های سوخت های بکار گرفته شده و فاکتور های اقتصادی جهت تحلیل اقتصادی..... | ۹۷..... |
| جدول (۱۴-۴) - قیمت واحد سوخت های مصرفی جهت انجام تحلیل های اقتصادی..... | ۹۷..... |
| جدول (۱۵-۴) - ارزیابی اقتصادی عملکرد حرارتی مدل نمونه عایقکاری شده با عایقها و سوخت های مختلف در گرمایش پیوسته با توان حرارتی ۱۴۰٪ بار حرارتی پایدار..... | ۱۰۰..... |
| جدول (۱۶-۴) - ارزیابی اقتصادی عملکرد حرارتی مدل نمونه عایقکاری شده با عایقها و سوخت های مختلف در گرمایش پیوسته با توان حرارتی ۱۴۰٪ بار حرارتی پایدار..... | ۱۰۲..... |
| جدول (۱۷-۴) - مقادیر ضخامت بهینه پیشنهادی جهت عایق بندی ساختمان در گرمایش پیوسته..... | ۱۰۴..... |

| | |
|---|-----|
| جدول (۴-۱۸) - مقادیر صرفه جویی در مصرف انرژی، نرخ بهره وری سالانه و صرفه جویی در واحد سوخت مصرفی برای عایق های ترکیبی پیشنهادی در گرمایش پیوسته | ۱۰۵ |
| جدول (۴-۱۹) - احتمال وقوع میعان در محدوده آسایش | ۱۰۹ |
| جدول (۴-۲۰) - احتمال وقوع میعان در هنگام انقطاع سیستم گرمایش | ۱۱۰ |
| جدول (۴-۲۱) - احتمال وقوع میعان در هنگام انقطاع سیستم گرمایش با بکار بردن ۲cm عایق حرارتی | ۱۱۰ |
| جدول (۴-۲۲) - حداقل دمای تنظیم در زمان انقطاع سیستم گرمایش با کاربرد ۲cm عایق حرارتی | ۱۱۱ |
| جدول (۴-۲۳) - مقادیر مصرف انرژی در رژیم های مختلف گرمایش منقطع برای مدل نمونه پیشنهادی در طول یک شبانه روز (بر حسب مگاژول) | ۱۱۵ |
| جدول (۴-۲۴) - میزان مصرف انرژی در مدل نمونه اداری با گرمایش منقطع برای چیدمان های مختلف و توان های حرارتی مختلف در دمای طرح ۵- درجه سانتیگراد بر حسب مگاژول | ۱۱۸ |
| جدول (۴-۲۵) - میزان مصرف انرژی در مدل نمونه اداری با گرمایش منقطع برای چیدمان های مختلف و توان های حرارتی مختلف در دمای طرح ۱۰- درجه سانتیگراد بر حسب مگاژول | ۱۱۹ |
| جدول (۴-۲۶) - میزان مصرف انرژی در مدل نمونه اداری با گرمایش منقطع برای چیدمان های مختلف و توان های حرارتی مختلف در دمای طرح ۱۵- درجه سانتیگراد بر حسب مگاژول | ۱۲۰ |
| جدول (۴-۲۷) - ارزیابی اقتصادی عملکرد حرارتی مدل نمونه عایقکاری شده با عایقها و سوخت های مختلف در گرمایش منقطع با ۸ ساعت انقطاع و توان حرارتی ۱۴۰٪ بار حرارتی پایدار | ۱۲۱ |
| جدول (۴-۲۸) - ارزیابی اقتصادی عملکرد حرارتی مدل نمونه عایقکاری شده با عایقها و سوخت های مختلف در گرمایش منقطع با ۸ ساعت انقطاع و توان حرارتی ۱۴۰٪ بار حرارتی پایدار | ۱۲۲ |
| جدول (۴-۲۹) - مقادیر ضخامت بهینه پیشنهادی جهت عایق بندی ساختمان در گرمایش منقطع با ۸ ساعت انقطاع | ۱۲۳ |
| جدول (۴-۳۰) - مقادیر صرفه جویی در مصرف انرژی، نرخ بهره وری سالانه و صرفه جویی در واحد سوخت مصرفی برای عایق های ترکیبی پیشنهادی در گرمایش منقطع با ۸ ساعت انقطاع | ۱۲۵ |
| جدول (۴-۳۱) - تغییرات فاکتورهای اقتصادی با تغییر ساعات انقطاع، در گرمایش منقطع و انرژی برق | ۱۳۷ |
| جدول (۴-۳۲) - تغییرات فاکتورهای اقتصادی با تغییر ساعات انقطاع در گرمایش منقطع و سوخت گازوئیل | ۱۳۸ |
| جدول (۴-۳۳) - تغییرات فاکتورهای اقتصادی با تغییر ساعات انقطاع در گرمایش منقطع و سوخت دوگانه برق-گاز | ۱۳۸ |
| جدول (۴-۳۴) - تاثیر تغییرات توان حرارتی سیستم گرمایش بر روی فاکتور های اقتصادی در گرمایش منقطع برای انرژی برق | ۱۳۹ |
| جدول (۴-۳۵) - تاثیر تغییرات توان حرارتی سیستم گرمایش بر روی فاکتور های اقتصادی در گرمایش منقطع برای سوخت گازوئیل | ۱۴۰ |
| جدول (۴-۳۶) - تاثیر تغییرات توان حرارتی سیستم گرمایش بر روی فاکتور های اقتصادی در گرمایش منقطع برای سوخت دوگانه برق-گاز | ۱۴۰ |
| جدول (۴-۳۷) - تاثیر تغییرات توان حرارتی سیستم گرمایش بر روی فاکتور های اقتصادی در گرمایش منقطع برای سوخت گاز | ۱۴۰ |

علامت‌های اختصاری

| علامت | مفهوم |
|----------------|--|
| A | سطح مقطع..... |
| C | ظرفیت حرارتی..... |
| C _p | گرمای ویژه..... |
| K | ضریب هدایت حرارتی..... |
| L | طول..... |
| R | مقاومت الکتریکی معادل در واحد سطح..... |
| T | دما..... |
| U | ضریب کلی انتقال حرارت..... |
| V | هجم..... |
| \dot{V} | دبی حجمی هوای تعویضی..... |
| g | نرخ تورم..... |
| h | ضریب انتقال حرارت جابجایی..... |
| i | نرخ بهره..... |

علائم یونانی

| | |
|--------|-------------------------|
| ρ | چگالی..... |
| η | بازده سیستم گرمایش..... |

زیر نویس ها

| | |
|----|--|
| A | سالانه..... |
| B | بویلر (دیگ)..... |
| R | اتاق ها..... |
| ai | فضای داخل..... |
| ao | فضای خارج..... |
| f | کف اتاق..... |
| g | شیشه..... |
| h | تجهیزات گرمایشی..... |
| i | متر طول عایق به ضخامت یک سانتیمتر..... |
| p | تجهیزات ذخیره کننده انرژی..... |
| r | سقف اتاق..... |
| v | هوای نفوذی..... |
| w | دیوار اتاق..... |

فصل اول

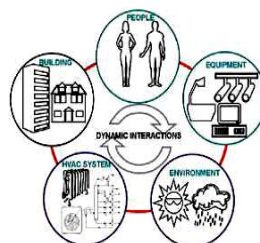
مقدمه

۱-۱- مصرف انرژی در ساختمان

مبحث انرژی از دیر باز مورد توجه بشر بوده است و تامین شرایط آسایش محیط زندگی، بخصوص در فصل سرما همواره موضوعی مهم بشمار می آمده است. این نیاز اولیه بشر را بر آن داشت که برای گرم کردن خود و محیط زندگی خود به دنبال چاره ای باشد ابتدایی ترین روش، استفاده از آتش و پوشش های گرم بود. با گذشت زمان راههای بهتری یافت شد. در اواخر قرن ۱۹ تکنولوژی بنای ساختمان های جدید معرفی شد که از آن جمله می توان به صنعت تهویه ساختمان اشاره کرد. از سوی دیگر اولین بحران انرژی در سال ۱۹۷۳ سبب شد تا برای جایگزینی سوخت های فسیلی و روش های ذخیره گرما چاره اندیشی شود. از یک سو استفاده از انرژی های نو آغاز شد و از سوی دیگر برای کاهش اتلافات گرمایی مقرراتی وضع گردید که از آن جمله عایق کاری حرارتی ساختمان ها بود به همین دلیل محاسبه بار گرمایی و طراحی سیستم اهمیت فوق العاده ای پیدا کرد. [۱] رشد جمعیت، آسایش طلبی مردم، نیاز به استفاده و دسترسی به مواد، کیفیت و ارتباطات ساز و کارها و فناوریهایی که پاسخگوی خواسته های جمعیت رو به افزایش باشد، تقاضای روز افزون انرژی و انگیزه های تأمین این تقاضا را دنبال دارد. از سوی دیگر آگاهی از محدودیت منابع انرژی در دنیا باعث شده است که امروزه به استفاده بهینه از منابع انرژی توجه بیشتری شود. تهیه و مصرف انرژی اثرات فراوان اجتماعی و زیست محیطی را به دنبال دارد. هیچ گزارش یا تحقیقی درباره انرژی نمی تواند غافل از این باشد که مردم چگونه انرژی مصرف می کنند. نحوه زندگی، رفتار اجتماعی مصرف کنندگان انرژی و ساختار اقتصادی جامعه از جمله مواردی است که مستقیماً بر مقوله انرژی و تبعات آن موثر است. نظر به اینکه درصد بالایی از انرژی در زمینه تأسیسات گرمایی و تهویه مطبوع در ساختمان ها مصرف می شود، بخش وسیعی از مطالعات انجام شده در زمینه انرژی به موضوع بهینه سازی مصرف انرژی در تأسیسات ساختمانی اختصاص یافته است. در ایران نیز مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده و نتایج برخی از آنها منتشر گردیده است یکی از گزارش های رسمی توسط پایگاه اطلاع رسانی شهر سازی و معماری ایران منتشر شده است که توجه به آن می تواند اهمیت موضوع را در کشور روشن کند طبق این گزارش، حدود ۳۸٪ از کل انرژی کشور در زمینه ساختمان مصرف می شود که ۴۰٪ این انرژی بدلیل طراحی غیر اصولی ساختمانها به هدر می رود. [۲] این آمار بر لزوم کنترل مصرف انرژی و سوخت در ساختمان های موجود در کشور صحنه می گذارد. لذا شناسایی راهکارهای لازم در جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان و بهبود

بازدهی سیستم های گرمایش ساختمان ها از اهمیت بسزایی برخوردار است بنابراین لازم است عملکرد سیستم های تهویه مطبوع از نظر مصرف انرژی، آسایش حرارتی، شرایط اقلیمی و آب و هوایی محل، نحوه زندگی و آداب و رسوم منطقه ای مورد بررسی قرار گیرد. بررسی ها و تحقیقات انجام شده در زمینه آسایش حرارتی با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی ایران و فرهنگ و آداب و رسوم منطقه ای بیانگر این حقیقت است که در ایران نیاز به سیستم های گرم کننده به مراتب چشمگیر تر از سیستم های سرمایش است. بطوری که در تهران در ساختمانهایی که از نظر حرارتی در حد مطلوبی قرار دارند تقریباً دو ماه از سال نیاز به سیستم های سرمایشی و چهار ماه از سال نیاز به سیستم های گرم کننده احساس می شود. امروزه جهت بهبود عملکرد، محدودیت های قانونی و دستورالعمل هایی وضع شده و موجب شده طراحی سیستم گرمایش ساختمانها دستخوش تغییرات و توسعه ای مداوم شود و بویژه ابداعات فنی این رشته با روشهای حفاظت محیط زیست و صرفه جویی در مصرف انرژی سازگاری قابل ملاحظه ای یافته اند بگونه ای که کارایی این سیستم ها بهتر و تطابق آنها با الزامات زیست محیطی بیشتر شده است. از اینگونه الزامات برای نمونه به دستور العمل های عایق بندی گرمایی ساختمانها یا لزوم نصب تجهیزات تنظیم و کنترل دما و همچنین لزوم کاهش اتلاف گرما و صرفه جویی در مصرف انرژی مطابق دستور العمل های سیستم های گرمایش می توان اشاره کرد. طراحی و اجرای سیستم های گرمایش هم باید مطابق خواسته های مشتری باشد و هم منطبق بر الزامات فنی و دستور العمل های قانونی. نکته مهمی که از چهار چوبهای قانونی و خواسته های مشتری نتیجه می شود توسعه روز افزون شرایط زندگی است. امروزه الزامات قانونی جدید در مورد بیشتر تجهیزات گرمایش موجود در بازار رعایت می شود به رغم ساخت و سازه های جدید، باز سازی ساختمانهای قدیمی تأثیر بسزایی در اصلاح سیستم های گرمایش داشته است بهبود مداوم ابزار کاهش دهنده اتلاف انرژی، مانند عایق بندی گرمایی ساختمان، نصب شیرهای ترموستاتی، عایق بندی لوله ها و تنظیم سیستم های کنترل دما به اندازه ای اثر گذار بوده است که مصرف سوخت در سیستم های جدید کمتر شده و توان مصرف آن رو به کاهش است [۱].

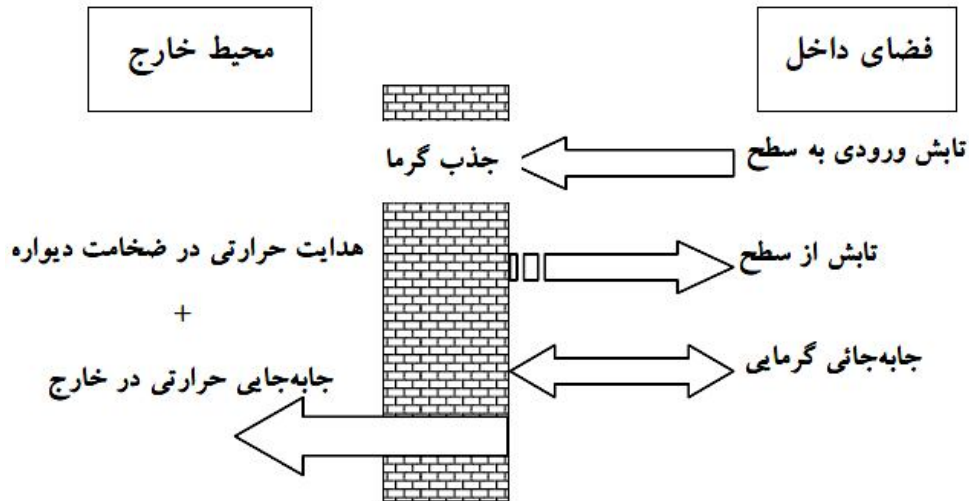
انسان علاوه بر قابلیت ساخت ساختمان در هر فرم، توانایی کنترل شرایط محیط داخل را نیز دارد. با در نظر گرفتن دو مقوله نیازهای بشر و فراهم کردن امکانات تکنولوژی های جدید، ساختمان های امروزی شامل تعاملات دینامیکی پیچیده اجزایشان هستند. شکل (۱ - ۱) یک دید ساده تعاملات دینامیکی اجزای ساختمان است.



شکل (۱ - ۱) تعاملات دینامیکی اجزای ساختمان

۱-۲-۱- اصول انتقال گرما در ساختمان

انتقال حرارت عبارت است از انتقال انرژی در اثر اختلاف دما بین دو محیط سرد و گرم که همواره و بطور طبیعی از محیط گرم به محیط سرد به یکی از شکلهای هدایت، جابجایی و تشعشع صورت میگیرد. در شکل (۱-۲) مسیرهای مختلف انتقال حرارت از یک دیوار با اختلاف دما در دو طرف آن نشان داده شده است.



شکل (۱-۲) چگونگی انتقال گرما و تغییرات دما در دیوار

همانطور که شکل (۱-۲) نشان می دهد انرژی تلف شده از طریق جابجایی و تابش از هوای داخل به لایه هایی که در مجاور هوای داخل اتاق هستند انتقال می یابد و بشکل هدایت از لایه اول دیوار به لایه خارجی دیوار انتقال یافته و سپس از طریق جابجایی و تابش از لایه خارجی دیوار به هوای بیرون اتاق منتقل می شود. در اینجا بطور مختصر هر یک از روشهای هدایت، جابجایی و تابش در انتقال حرارت مورد بررسی قرار میگیرد.

۱-۲-۱- انتقال حرارت هدایت در ساختمان

هدایت (انتقال گرما در اثر پخش) به انتقال انرژی ناشی از گرادیان دما در یک ماده گفته می شود که مکانیزم فیزیکی آن به فعالیت تصادفی اتمی یا مولکولی مربوط است. نرخ انتقال حرارت هدایت را می توان با استفاده از قانون فوریه پیش بینی نمود: [۳]

$$Q = -KA \frac{dT}{dx} \quad (1-1)$$

که در این رابطه:

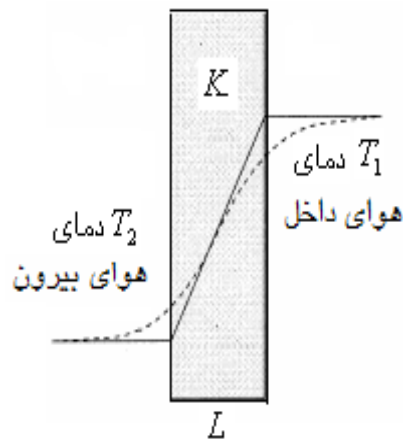
Q : نرخ انتقال حرارت بر حسب watt

A : سطح عمود بر راستای انتقال حرارت بر حسب m^2

dT/dx : گرادیان دما در جسم بر حسب K/m

K : ضریب هدایت حرارتی بر حسب $\frac{Watt}{m \cdot K}$

ضریب هدایت حرارتی K، خاصیتی است که به ساختار مولکولی ماده بستگی دارد. اگر قانون هدایت فوریه برای یک دیواره مطابق شکل (۱-۳) نوشته شود :



شکل (۱-۳) تغییر دما در دیوار یک لایه

نرخ انتقال حرارت و یا به عبارتی دیگر مقدار حرارت منتقل شده در واحد زمان را می توان بصورت زیر محاسبه نمود :

$$Q = KA \frac{T_1 - T_2}{L} = KA \frac{\Delta T}{L} \quad (۱-۲)$$

که در رابطه فوق T_1 و T_2 دمای دو طرف دیواره

L : ضخامت دیواره بر حسب متر

K : ضریب هدایت حرارتی جنس دیواره بر حسب وات بر متر کلوین

A : سطح دیواره که در آن انتقال حرارت صورت می گیرد بر حسب متر مربع

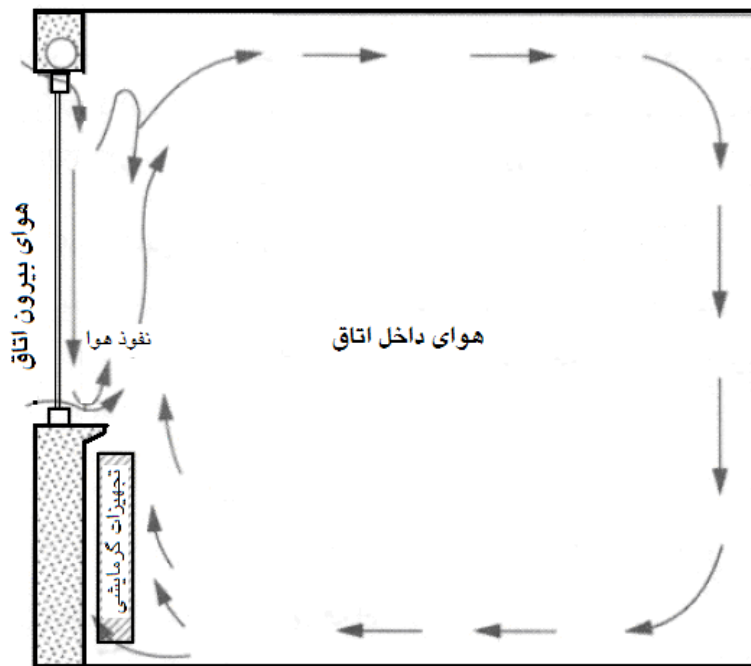
رابطه (۱-۲) را با تعریف مقاومت حرارتی برای دیواره می توان به شکل ساده زیر نوشت :

$$Q = \frac{\Delta T}{R} \quad (۱-۳)$$

که عبارت $R = \frac{L}{KA}$ مقاومت حرارتی نامیده می شود.

۱-۲-۲- انتقال حرارت جابجایی در ساختمان

انتقال حرارت در سیالات عمدتاً بوسیله جابجایی ذرات سیال صورت میگیرد. در بسیاری از مسائل مهندسی، سیالات در مجاورت سطوح جامدی قرار میگیرند که در دمایی متفاوت با سیال هستند. اختلاف دما و حرکت ذرات سیال در مجاورت سطح باعث انتقال انرژی خواهد شد که به انتقال حرارت جابجایی موسوم است. شکل (۱-۴) مسیر جریان هوای جابجایی را در یک اتاق نشان می دهد.



شکل (۱-۴) مسیر جریان هوای جابجایی در یک اتاق

جابه جایی هوا در یک اتاق برای رفاه ساکنان امری ضروری است و نقش عمده ای در تعیین گرمای محیط ایفا می کند. جابه جایی هوا به انتقال توده ای سیال بوسیله تهویه و نفوذ مربوط می شود. برای محاسبه نرخ انتقال حرارت جابجایی می توان از قانون سرمایش نیوتن استفاده کرد:

$$Q = hA\Delta T \quad (۱-۴)$$

که در این رابطه:

Q : نرخ انتقال حرارت بر حسب Watt

A : سطح دیواره در تماس با سیال بر حسب m^2

ΔT : اختلاف دما بین دیواره و سیال بر حسب K

h : ضریب انتقال حرارت جابجایی یا توده ای بر حسب $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

۱-۲-۳- انتخاب ضریب انتقال حرارت جابجایی مناسب داخل و خارج ساختمان

ضریب انتقال حرارت جابجایی h ، تابع عوامل مختلفی نظیر چگالی، لزجت، گرمای ویژه سیال، شکل هندسی، سرعت جریان سیال، اختلاف دمای بین دیواره و سیال، ضریب هدایت حرارتی سیال، هموار یا ناهموار بودن سطح، وضعیت قرار گیری سطح و... است.

مقدار متوسط ضریب انتقال حرارت جابجایی داخل ساختمان را در شرایطی که جریان سیال آرام است می توان از رابطه (۱-۵) محاسبه کرد:

$$\bar{Nu}_L = 0.644 (Re_L)^{1/2} (Pr)^{1/3} \quad (5-1)$$

Re_L عدد رینولدز جریان، Pr عدد پرانتل و $\bar{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{K}$ عدد ناسلت است. [۳]

در مرجع [۴] رابطه ای بین Nu و $Gr.Pr$ در جریان آرام آمده است:

$$Nu = 0.555(Gr.Pr)^{\frac{1}{4}} \quad (6-1)$$

که $Gr = \frac{\rho^3 \beta \Delta T g H^3}{\mu^2}$ عدد گراشف است. لذا در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد ضریب انتقال حرارت جابجایی بصورت زیر می شود:

$$h = 1.45 \left(\frac{\Delta T}{H} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (7-1)$$

چون دمای هوا در طول روز تغییر می کند پس ضریب انتقال حرارت جابجایی هم در طول روز تغییر می

کند، در یک ساختمان نوسانهای h تقریباً $\frac{W}{m^2.k}$ 3 است. [۴]

با افزایش طول مشخصه (ارتفاع) و اختلاف دما جریان توربولنت می شود. در یک لایه سیال روی سطح اگر $Gr.Pr > 10^9$ شود جریان توربولنت می شود.

در سال ۱۹۶۱ آقای دیویس نتایج عددی خود را برای $Gr.Pr \geq 10^4$ بصورت زیر بیان کرد [۴]:

$$Nu = 0.053(Gr.Pr)^{0.49} \quad (8-1)$$

$$h = 2.03 \left(\frac{\Delta T}{H} \right)^{0.22} \quad (9-1)$$

که در این رابطه:

H: ارتفاع بر حسب متر

مقدار محلی h ممکن است با موقعیتش بخصوص در پنجره ها تغییر کند. بطور مثال wallentn در سال ۲۰۰۱ نشان داد، زمانی که دمای هوای اتاق بیشتر از دمای پنجره باشد (جریان به سمت پایین)، بیشترین مقدار h در بالای پنجره حدود $5 \frac{W}{m^2.k}$ و در پایین پنجره کمترین مقدار خود حدود $1 \frac{W}{m^2.k}$ است [۴]. در سال ۱۹۹۷ pederson نتایج خودش را برای ضریب انتقال حرارت برای اتاق فقط بر حسب نرخ تعویض هوای اتاق بر ساعت^۱ بیان می کند [۴] بصورتی که :

برای دیوارها :

$$h = 0.19(ACH)^{0.8} \quad (10-1)$$

برای کف :

$$h = 0.13(ACH)^{0.8} \quad (11-1)$$

و برای سقف :

$$h = 0.49(ACH)^{0.8} \quad (12-1)$$

یک رابطه تجربی نیز در مرجع [۴] آمده است که برای اکثر محاسبات مهندسی مناسب است و بصورت زیر است :

$$\overline{Nu}_L = \frac{\overline{h}L}{K} = C R a_L^n \quad (13-1)$$

که برای جریان آرام $n = \frac{1}{4}$ و برای جریان مغشوش $n = \frac{1}{3}$ است.

و برای سطوح افقی مانند سقف و کف هم به ترتیب داریم :

$$\overline{Nu}_L = 0.27Ra^{\frac{1}{4}} \quad 10^4 < Ra < 10^7 \quad (14-1)$$

$$\overline{Nu}_L = 0.27Ra^{\frac{1}{4}} \quad 10^5 < Ra < 10^{10} \quad (15-1)$$

در مباحث قبل برای تعیین ضریب انتقال حرارت داخل اتاق حرکت جریان سیال بوسیله نیروی شناوری و جابجایی آزاد بود، اما در خارج ساختمان به مقدار زیادی حرکت سیال به سبب جابجایی اجباری است که در این صورت مقدار h بسیار متفاوت خواهد بود. یک نگرش واقع بینانه اینست که بین ضریب جابجایی خارج h_e و سرعت باد V رابطه ای برقرار است. با توجه به مکانیزم سیالات واضح است که ضریب انتقال حرارت روی یک سطح با سرعت هوا تغییر می کند. سرعت هوا بر روی سطوح ساختمان همگن نیست و به

^۱ Air change rate per hour