



جمهوری اسلامی ایران

تهویه و جریان هوا در ساختمان‌ها

روش‌های شناسایی و ارزیابی

Ventilation and Airflow in Buildings

Methods for Diagnosis and Evaluation

Claude-Alain Roulet

ترجمه:

گروه مهندسی دفتر مدیریت عامل مصلای امام خمینی (ره)



انتشارات مصلای امام خمینی (ره)

کتاب شماره ۱

نام کتاب: تهویه و جریان هوا در ساختمان‌ها

مؤلف: کلاد آلین رولت

مترجم: گروه مهندسی دفتر مدیریت عامل مصلاي امام خميني^(ره)

ناشر: مصلاي امام خميني^(ره)

مدیر مسئول: اصغر نادری - مدیر عامل مصلاي امام خميني^(ره)

مشخصات ظاهري: ۲۸۸ صفحه در ابعاد ۱۷۳×۲۴۰ میلی‌متر

چاپ اول: فروردین ماه ۱۳۹۴

تیراژ: ۵۰۰ جلد

قیمت: ۲۰۰,۰۰۰ ریال

حق چاپ و تکثیر برای مصلاي امام خميني^(ره) محفوظ است.

شابک:

شماره ملی:

نشانی: تهران، خیابان ... آیت الله دکتر بهشتی، مصلاي امام خميني^(ره)

تلفن: ۸۵۳۱۰۰۰ - نمابر: ۸۸۷۶۱۰۷۵ - وب سایت: www.musalla.ir

پست الکترونیکی: info@musalla.ir

چاپ: شرکت یادمان هنر آدیس - تاس: ۸۸۹۵۴۹۶

عنوان کتاب: تهویه و جریان هوا در ساختمان

مؤلف: کلاد آلین رولت

مترجم: گروه مهندسی دفتر مدیریت عامل مصلاي امام خميني^(ره)

ویراستار: گروه مهندسی دفتر مدیریت عامل مصلاي امام خميني^(ره)

ناشر: انتشارات کویر مهرجان

سال نشر: ۱۳۹۴

قیمت: ۲۰۰/۰۰۰ ریال

چاپ: اول

فهرست مطالب

پیش گفتار.....	س
مقدمه.....	۱
فصل اول: دبی هوا در ساختمان ها.....	۱۱
۱-۱- اندازه گیری در سیستم تک فضایی.....	۱۱
۱-۱-۱- بقای جرم گاز، آب و هوا.....	۱۲
۱-۱-۲- روش افت غلظت در ردیاب پس از قطع تزریق.....	۱۴
۱-۱-۳- تزریق با سرعت ثابت.....	۱۴
۱-۱-۴- روش غلظت ثابت.....	۱۵
۱-۱-۵- روش تزریق ضربانی.....	۱۵
۱-۱-۶- اندازه گیری ساده و ارزان دبی هوا استفاده از افت غلظت گاز CO_2	۱۷
۲- اندازه گیری در سیستم های چند فضایی.....	۱۹
۲-۱- بقای جرم هوا و گاز ردیاب K در فضای K ام.....	۲۰
۲-۲-۱- دستگاه کلی معادلات.....	۲۱
۲-۲-۲- دستگاه معادلات فضا به فضا.....	۲۳
۳- سایر تحلیل های مرتبط با ماتریس جریان.....	۲۴
۳-۱- ویژگی های ماتریس جریان.....	۲۴
۴- معادلات دبی حجمی.....	۲۵
۵-۱- خلاصه ای از روش های مختلف گاز ردیاب.....	۲۷
فصل دوم: دبی هوا در واحدهای کنترل هوا.....	۳۰
۱-۲- اندازه گیری دبی هوا در یک کانال.....	۳۱
۱-۱-۲- خلاصه روش های اندازه گیری.....	۳۱
۲-۱-۲- صفحه روزنه دار، نازل و جریان سنج های ونثوری.....	۳۲
۲-۱-۲- سرعت عرضی.....	۳۳

- ۳۳ ۴-۱-۲- تجهیزات اندازه‌گیری سرعت هوا.
- ۳۶ ۲-۲- اندازه‌گیری دبی هوا در دریچه های تهویه.
- ۳۷ ۱-۲-۲- کیسه بادشونده.
- ۳۷ ۲-۲-۲- جریان سنج.
- ۳۸ ۳-۲-۲- جریان سنج جبرانی.
- ۳۸ ۳-۲- اندازه‌گیری دبی هوا در واحدهای کنترل هوا.
- ۳۸ ۱-۳-۲- مجراهای تزریق گاز ردیاب.
- ۴۰ ۲-۳-۲- نقاط نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری غلظت.
- ۴۲ ۴-۲- اصول روند تحلیلی و تفسیر.
- ۴۲ ۵-۲- روش گره بزرگ.
- ۴۳ ۶-۲- روش کلی برای واحد کنترل برای "جعبه سیاه".
- ۴۴ ۱-۶-۲- تشکیل دستگاه معادلات.
- ۴۷ ۲-۶-۲- راه حل حداقل مربعات.
- ۴۸ ۳-۶-۲- حذف تعدادی از معادلات.
- ۴۸ ۴-۶-۲- جستجو برای دستگاهی با بهترین.
- ۴۸ ۵-۶-۲- ساده ترین روش.
- ۵۴ ۶-۶-۲- کمتر از چهار گاز ردیاب.
- ۵۵ ۷-۲- ابزار طراحی.
- ۵۶ ۸-۲- مثالی از نحوه کاربرد.
- ۵۷ ۹-۲- اندازه‌گیری ساده با استفاده از CO_2 تولید شده توسط ساکنین.
- ۵۸ ۱۰-۲- اندازه‌گیری در ساختمان‌های با ثابت زمانی زیاد.
- ۶۰ ۱۱-۲- روش مناسب تعیین نسبت گردش مجدد.
- ۶۴ فصل سوم: عمر هوا و بازدهی تهویه.
- ۶۵ ۱-۳- تعاریف.
- ۶۵ ۱-۱-۳- عمر هوا.
- ۶۵ ۲-۱-۳- ثابت زمانی اسمی.
- ۶۶ ۳-۱-۳- بازدهی تبادل هوا.

۶۹	۲-۲-۲- روش های اندازه‌گیری
۷۲	۱-۲-۳- تفسیر عملی داده های ثبت شده غلظت
۷۴	۳-۲- تحلیل خطا
۷۵	۴-۲- مثالی از نحوه کاربرد
۷۸	۵-۲- نگاشت عمر هوای اتاق
۷۸	۱-۵-۳- حداقل تعداد اندازه‌گیری
۷۹	۲-۵-۳- انتخاب نقاط مناسب اندازه‌گیری
۸۰	۳-۵-۳- معیارها برای شناسایی نقاط اندازه‌گیری
۸۳	۴-۵-۳- مثال ها از طرح های آزمایش
۸۸	۵-۵-۳- مثالی از نحوه کاربرد
۸۹	نصل چهارم: هوابندی
۸۹	۱-۲- چرا هوابندی کنترل می شود؟
۹۱	۲-۲- روش های اندازه‌گیری
۹۱	۱-۲-۴- روش ایجاد فشار با استفاده از هواکش
۹۴	۲-۲-۴- درزبندی گاهش دهنده
۹۵	۳-۲-۴- روش ایجاد فشار چند ناحیه ای توسط هواکش
۹۷	۳-۱- تعیین ضرایب نشت
۹۷	۱-۳-۴- تصحیحات چگالی
۹۷	۲-۳-۴- دو نقطه اندازه‌گیری
۹۸	۳-۳-۴- بیشتر از دو نقطه اندازه‌گیری
۱۰۰	۴-۱- تصحیحات لازم برای ایجاد شرایط استاندارد
۱۰۱	۵-۱- روش های تعریف هوابندی
۱۰۱	۱-۵-۴- دبی هوا در فشار قراردادی
۱۰۱	۲-۵-۴- نرخ تغییر هوای مجازی
۱۰۲	۳-۵-۴- سرعت نشت ویژه
۱۰۲	۴-۵-۴- مساحت نشت معادل
۱۰۲	۵-۵-۴- مساحت نشت معادل ویژه

۱۰۲	۶-۴- هوابندی ساختمان ها
۱۰۳	۴-۶-۱- هواکش خارجی
۱۰۴	۴-۶-۲- هواکش داخلی
۱۰۵	۴-۶-۳- مشاهده نشت
۱۰۶	۴-۶-۴- روش اثر دودکش
۱۰۹	۴-۶-۵- روش ارتفاع خنثی
۱۱۱	۷-۴- اندازه گیری هوابندی یک کانال یا شبکه کانال
۱۱۲	۴-۷-۱- روش ایجاد فشار
۱۱۳	۴-۷-۲- روش اختلاف دبی هوا
۱۱۴	۴-۷-۳- ایجاد فشار تفاضلی در ساختمان
۱۱۶	فصل پنجم: اندازه گیری و تمهیدات مرتبط با بازدهی انرژی در تهویه
۱۱۶	۵-۱-۱- انرژی در ساختمان
۱۱۶	۵-۱-۱-۱- مصارف انرژی و سیستم های تهویه
۱۱۷	۵-۱-۲- روش های مستقیم و غیر مستقیم برای ایجاد ساختمان هایی با کیفیت بالا
۱۱۹	۵-۲-۱- انرژی در واحدهای کنترل هوا
۱۱۹	۵-۲-۲-۱- انرژی برای گرمایش و سرمایش
۱۲۰	۵-۲-۲-۲- انرژی برای تهویه مطبوع
۱۲۵	۵-۲-۳- اندازه گیری انرژی برای گرمایش، سرمایش، کاهش رطوبت
۱۲۵	۵-۳-۱- مبدل های گرما
۱۲۶	۵-۳-۱-۱- انواع مبدل های گرما
۱۲۹	۵-۳-۲- بازدهی تبادل گرما
۱۳۱	۵-۳-۳- نشت در مبدل های گرما
۱۳۳	۵-۳-۴- اثرات نشت و میانبرها بر بازیابی گرما
۱۴۱	۵-۳-۵- نمونه هایی از کاربرد
۱۴۴	۵-۴-۱- انرژی تهویه
۱۴۵	۵-۴-۱- چرا باید توان هواکش و مقادیر مرتبط با آن بررسی شود؟
۱۴۷	۵-۴-۲- اندازه گیری دبی هوا
۱۴۸	۵-۴-۳- اندازه گیری اختلاف فشار

۱۴۹	۴-۴-۵- اندازه‌گیری توان الکتریکی
۱۵۱	۵-۴-۵- نمونه‌هایی از کاربرد
۱۵۲	۵-۵- تأثیر انرژی بر کیفیت هوای داخل
۱۵۴	۵-۵-۱- روش
۱۵۵	۵-۵-۲- نتایج شبیه‌سازی
۱۵۸	فصل ششم: آلاینده‌ها در واحدهای کنترل هوا
۱۵۸	۶-۱- فیلترها
۱۵۹	۶-۲- کانال‌ها
۱۶۱	۶-۳- مرطوب‌کننده‌ها
۱۶۲	۶-۴- مبدل‌های حرارتی چرخشی
۱۶۵	۶-۵- کویل‌ها
۱۶۵	۶-۶- دستورالعمل‌های اندازه‌گیری
۱۶۵	۶-۶-۱- آلودگی محسوس
۱۷۱	۶-۶-۲- انتقال آلاینده‌ها در مبدل‌های حرارتی
۱۸۱	۷- استراتژی‌های ارتقای عملکرد سیستم‌های HVAC
۱۸۹	فصل هفتم: روش‌ها و تکنیک‌های متداول
۱۸۹	۷-۱- تعریف غلظت و دبی
۱۸۹	۷-۱-۱- واحدهای مربوطه
۱۸۹	۷-۱-۲- تصحیح تغییرات چگالی
۱۹۱	۷-۱-۳- فرمول تبدیل غلظت
۱۹۲	۷-۲- روش‌های رقیق‌سازی گاز ردیاب
۱۹۲	۷-۲-۱- ویژگی‌های گاز ردیاب
۱۹۶	۷-۲-۲- اختلاط گازهای ردیاب
۱۹۷	۷-۲-۳- چگالی گاز ردیاب و مشکلات ناشی از آن
۱۹۸	۷-۲-۴- روش‌های نمونه‌گیری
۲۰۱	۷-۲-۵- محل‌های قرارگیری درگاه‌های تزریق و نمونه‌گیری
۲۰۳	۷-۲-۶- دستگاه‌های تحلیل گاز ردیاب

۲۱۰	۳-۷- روش های شناسایی
۲۱۰	۳-۷-۱- روش برازش خطی حداقل مربعات
۲۱۳	۳-۷-۲- رگرسیون نوع دوم
۲۱۴	۳-۷-۳- رگرسیون متعامد
۲۱۶	۳-۷-۴- شناسایی بیزین
۲۱۹	۳-۷-۴- تحلیل خطا
۲۱۹	۳-۷-۴-۱- هدف از تحلیل خطا
۲۲۰	۳-۷-۴-۲- تعاریف
۲۲۰	۳-۷-۴-۳- مفاهیم آمار و احتمال
۲۲۷	۳-۷-۴-۴- تحلیل خطا
۲۳۷	منابع
۲۴۲	پیوست الف
۲۴۶	پیوست ب
۲۶۴	فهرست واژگان

فهرست اشکال

- ۱: دبی طرح و اندازه‌گیری شده هوای بیرون به ازای هر نفر در ۱۲ ساختمان ۳
- ۲: مقادیر اختلاف نسبی بین دبی طرح و اندازه‌گیری شده هوای بیرون در ۳۷ واحد کنترل هوا ۴
- ۳: مقایسه نرخ گردش طرح و اندازه‌گیری شده در ۳۴ واحد کنترل هوا ۵
- ۴: نمودار میله‌ای و فلوچارت های تجمعی نرخ های گردش اندازه‌گیری شده در واحدهای کنترل هوای طراحی ۵
- ۵: بدون گردش ۵
- ۵: نرخ های تخلیه طرح و اندازه‌گیری شده در مقایسه بین ۳۰ واحد ۶
- ۶: بازدهی تهویه در تعدادی از نواحی تهویه شده ۷
- ۱: ثبت غلظت CO_2 در یک دفتر اداری ۱۹
- ۱: شکل شماتیک یک واحد کنترل هوای ورودی و خروجی ۳۱
- ۲: موقعیت نقاط اندازه‌گیری در کانل های دایره ای و مستطیلی ۳۴
- ۳: اندازه‌گیری دبی هوا در یک کانال با استفاده از روش رقیق سازی گاز ردیاب ۳۵
- ۴: شکل شماتیک یک جریان سنج جبرانی ۳۷
- ۵: موقعیت های تزریق گاز ردیاب (فلش ها) و نقاط نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری های غلظت (C_i) در یک ۳۸
- ۶: کنترل هوا با ورودی و خروجی های متداول ۴۱
- ۶: تغییرات غلظت گاز ردیاب در زمان ۴۱
- ۷: مثالی از وسایل تزریق چندگانه ۴۱
- ۸: شبکه ساده سازی شده واحد کنترل هوا و کانال ها ۴۴
- ۹: دبی های هوای اندازه‌گیری شده در یک واحد کنترل هوای دارای نشت ۵۶
- ۱۰: غلظت ها در موقعیت های نشان داده شده در شکل ۲-۵ به دست آمده از تزریق SF_6 به عنوان ردیاب ۱ ۵۷
- ۸ به عنوان ردیاب ۲ در یک واحد کنترل هوای دارای نشت ۵۷
- ۱۱: غلظت های گاز ردیاب در کانال ورودی در بالادست (۳) و پایین دست (۳') مجرای تزریق گاز ۶۰
- ۱۲: بازه اطمینان نسبت گردش مجدد به عنوان تابعی از خود نسبت گردش مجدد در سه روش ۶۳
- ۱: حالات مختلف تهویه با الگوهای متداول جریان هوا و میزان بازدهی تغییر هوا ۶۷

- شکل ۳-۲: توابع چگالی احتمال متداولی که برای عمر هوا به کار می رود.
- شکل ۳-۳: منحنی های احتمال متداول برای عمر هوا.
- شکل ۳-۴: داده های ثبت شده غلظت گاز ردیاب در مجرای خروجی حین اندازه گیری عمر هوا.
- شکل ۳-۵: توابع احتمال عمر هوای محاسبه شده از غلظت های ثبت شده در شکل ۳-۴.
- شکل ۳-۶: چیدمان اتاق کنفرانس و اطراف آن.
- شکل ۳-۷: چیدمان اتاق کنفرانس پس از اعمال تغییرات.
- شکل ۳-۸: مشخصات تهویه اتاق قبل و بعد از اعمال تغییرات.
- شکل ۳-۹: حداقل طرح لازم برای یک مدل درجه دوم دو بعدی.
- شکل ۳-۱۰: طرح آزمایش های C3 (سمت چپ) و ترکیبی مرکزی (سمت راست).
- شکل ۳-۱۱: شش عمر هوا در تراز ارتفاعی سر ساکنین.
- شکل ۳-۱۲: بخش اندازه گیری شده هوای بیرون که توسط سیستم تهویه مکانیکی ساختمان تأمین نشده و با محد خطا نشان داده شده است.
- شکل ۳-۴: مقادیر تجربی و محاسبه شده از اختلاف فشار اندازه گیری شده در یک آزمایش واقعی به همراه برازش های توانی و دوم آنها.
- شکل ۳-۴: مبنای روش ناحیه محافظه شده که در تعدادی از دیوارهای یک اتاق به کار رفته است.
- شکل ۴-۴: نمودار لگاریتمی مقادیر دبی هوا و اختلاف فشار.
- شکل ۴-۵: شکل شماتیک آزمایش هوابندی ساختمان.
- شکل ۴-۶: گوشه سقف از نمای داخل.
- شکل ۴-۷: گوشه سقف در حالت رفع فشار.
- شکل ۴-۸: مبنای روش ارتفاع خنثی برای تعیین مساحت نش.
- شکل ۴-۹: موقعیت تزریق ردیاب و لوله های نمونه گیری برای اندازه گیری مقادیر دبی نشت هوا در یک سیستم تهویه.
- شکل ۴-۱۰: دو آزمایش اندازه گیری نشت از طریق کانال به طرف بیرون فضای تهویه شده با استفاده از روش تقاضا.
- شکل ۵-۱: نمودار سایکرومتریک یا منحنی های ثابت رطوبت نسبی و خطوط آنتالپی.
- شکل ۵-۲: مسیرهای سایکرومتریک برای گرمایش و مرطوب سازی هوای بیرون در زمستان، تا دمای 20°C و رط نسبی ۵۰٪.
- شکل ۵-۳: مسیرهای سایکرومتریک برای گرمایش هوای بیرون در زمستان و سرمایش آن در تابستان تا دمای و رطوبت نسبی ۵۰٪.

- ۴: نمایی نزدیک از یک مبدل گرمایی با صفحه مسطح..... ۱۲۷
- ۵: نیمه بالایی یک مبدل گرمایی چرخشی..... ۱۲۸
- ۶: مکان نسبی هواکش‌ها و مبدل‌های گرمایی چرخشی..... ۱۲۸
- ۷: نمایی شماتیک از یک واحد کنترل هوا که محل‌های شیرهای فشار برای اندازه‌گیری اختلاف فشار را
ن می‌دهد..... ۱۳۲
- ۸: شبکه ساده سازی شده یک واحد کنترل هوا و مجاری آن..... ۱۳۴
- ۹: کاهش نسبی بازدهی عمومی بازایی گرما به صورت تابعی از نسبت خروج از منافذ Y_{xf} و نرخ گردش
داخلی R_{xs} ۱۳۹
- ۱۰: بازدهی عمومی بازایی گرما به حساب تأثیر اسمی مبدل گرمایی در چند واحد..... ۱۴۱
- ۱۱: میانگین ضرایب کارایی فصلی و ذخیره خالص انرژی ویژه واحدهای آزمایش شده..... ۱۴۳
- ۱۲: مقادیر تقریبی بازدهی اجزای مورد نیاز برای انتقال هوا به داخل مجاری..... ۱۴۷
- ۱۳: نحوه نصب مانومتر تفاضلی برای اندازه‌گیری اختلاف فشار ایجاد شده ناشی از عبور هوا از هواکش..... ۱۴۸
- ۱۴: نمایش شماتیک از نحوه اندازه‌گیری توان الکتریکی یک موتور سه فاز..... ۱۴۹
- ۱۵: نمای روبروی یک کنترل‌کننده فرکانس متغیر..... ۱۵۰
- ۱۶: بازدهی هواکش به صورت تابعی از توان موتور هواکش..... ۱۵۱
- ۱۷: افزایش دمای هوا به صورت تابعی از اختلاف فشار دو طرف هواکش..... ۱۵۱
- ۱۸: سیستم HVAC در ساختمان شبیه سازی شده..... ۱۵۴
- ۱: آلودگی بویایی چند فیلتر نو به عنوان تابعی از دبی هوا..... ۱۵۹
- ۲: همبستگی بین شدت بو و جرم پسماندهای نفتی در کانال‌های آزمایش شده..... ۱۶۰
- ۳: کیفیت هوای دریافتی برای مرطوب‌کننده‌های بخار..... ۱۶۱
- ۴: همبستگی بین تراکم باکتری‌ها در سطح داخلی یک مرطوب‌کننده و شدت بو..... ۱۶۲
- ۵: مقداری از هوای خروجی از طریق چرخش چرخ به داخل جریان هوای ورودی نفوذ می‌کند..... ۱۶۳
- ۶: شکل شماتیک قطاع پاکسازی..... ۱۶۳
- ۷: میانگین نرخ‌های گردش مجدد VOC اندازه‌گیری شده در واحد آزمایشگاه EPFL با و بدون قطاع پاکسازی..... ۱۶۴
- ۸: دستگاه PAP سنج..... ۱۶۷
- ۹: موقعیت‌های توصیه شده برای بطری‌های کوچک در PAP سنج..... ۱۶۸

شکل ۶-۱۰: شکل شماتیک یک واحد کنترل هوا با نمایش موقعیت تزریق VOC و نقاط نمونه‌گیری C_i برای تحلیل

غلظت

شکل ۶-۱۱: دستگاه تبخیر آبی برای تزریق VOC ها

شکل ۶-۱۲: ساختار چرخ EPFL

شکل ۶-۱۳: تصویر SEM از یک پوشش نمگیر نو

شکل ۶-۱۴: میانگین نرخ‌های اندازه‌گیری شده گردش VOC در واحد سالن همایش EPFL (دارای نشت) با و بدون

قطاع پاکسازی

شکل ۶-۱۵: میانگین نرخ‌های اندازه‌گیری شده گردش VOC در واحد آزمایشگاه EPFL با و بدون قطاع پاکسازی

شکل ۶-۱۶: نرخ انتقال به عنوان تابعی از نقطه جوش برای سه گروه مختلف

شکل ۶-۱۷: نرخ‌های اندازه‌گیری شده گردش برای هر یک از ترکیبات شیمیایی در واحدهای EPFL و EMPA بدون

قطاع پاکسازی

شکل ۷-۱: دور روان برای تزریق و نمونه‌گیری

شکل ۷-۲: حدود اطمینان و محدوده اطمینان

شکل ۷-۳: سمت چپ: تورع، نرمال، ترسین و سمت راست: تابع احتمال نرمال

شکل ۷-۴: مقایسه توزیع Student با ۲ و ۵ درجه آزادی با توزیع نرمال

شکل ۷-۵: حد اطمینان تقسیم بر انحراف معیار در برابر تعداد اندازه‌گیری ها به ازای احتمال های مختلف

فهرست جداول

جدول ۱-۱: خلاصه روش های مختلف تزریق.....	۲۷
جدول ۱-۲: خلاصه روش های تک فضایی.....	۲۸
جدول ۱-۳: خلاصه روش های چند فضایی.....	۲۹
جدول ۱-۴: دبی های ه های محمل در شبکه نشان داده شده در شکل ۸-۲.....	۴۵
جدول ۱-۵: ثابت زمان سمی و متوسط عمر هوای اتاق متناظر با منحنی های احتمال در شکل های ۲-۳ و ۳-۳.....	۶۷
جدول ۲-۳: حداقل اندازه کثیر: های ه نیاز برای محاسبه ضرایب تابع چند جمله ای از درجه K ام مدل تجربی در فضاها	۷۹
جدول ۳-۳: طرح فاکتوریلی کامل دو طرح در فضای دو بعدی.....	۸۴
جدول ۴-۳: طرح دو بعدی که در هر زمان یک متغیر تغییر می کند.....	۸۴
جدول ۵-۳: طرح فاکتوریلی کامل با سه سطح.....	۸۵
جدول ۶-۳: حداقل طرح سه بعدی لازم برای محاسبه ضرایب یک مدل خطی.....	۸۵
جدول ۷-۳: طرح فاکتوریلی کامل برای محاسبه ضرایب یک مدل خمیده مرکزی.....	۸۶
جدول ۸-۳: طرح سه بعدی ستاره ای در مرکز.....	۸۶
جدول ۹-۳: عدد شرط $M^T M$ برای برخی از طرح های آزمایش و به ازای سه سطح.....	۸۷
جدول ۱-۵: نسبت رطوبت و آنتالپی ویژه هوای گرمی که با توجه به شکل ۳-۵ سرد و خنک می شود.....	۱۲۴
جدول ۲-۵: دبی های اندازه گیری شده با محدوده های خطاهای آزمایشگاهی (در صورت وجود) توان کل و جزئی هواکش های مورد بررسی.....	۱۴۲
جدول ۳-۵: بازدهی هوای بیرون η_0 نسبت هوای خارج شده از منافذ γ_{exf} و وارد شده از منافذ γ_{inf} ، نسبت های گردش داخلی و خارجی (R_{ie} و R_e و R_{xs})، بازدهی بازیابی گرما (E_{HR})، بازدهی عمومی بازیابی گرما (η_G) ذخیره خالص انرژی ویژه، SNES در Wh/m^3 و ضریب کارایی (COP) واحدهای کنترل هوای مورد بررسی.....	۱۴۳
جدول ۴-۵: مصارف انرژی در ساختمان، روش های ذخیره انرژی و تأثیر آنها بر کیفیت هوای داخل.....	۱۵۳
جدول ۱-۶: مقادیر PAP و غلظت های دوپروپانون در PAP سنج ها به عنوان مراحل آزمایش.....	۱۶۹
جدول ۲-۶: فهرست VOC های مورد استفاده در آزمایش های انتقال آلاینده.....	۱۷۴

جدول ۳-۶: مشخصات واحدهای کنترل هوای مورد استفاده در آزمایش ها	۱۷۵
جدول ۴-۶: مقادیر اختلاف فشار در واحدها [Pa]	۱۷۷
جدول ۵-۶: شرایط هوا در واحدها [°C]	۱۷۷
جدول ۶-۶: نرخ انتقال VOC در آزمایش های انجام شده در هر دو واحد EPFL (%)	۱۷۸
جدول ۷-۶: نرخ انتقال VOC در آزمایش های EMPA	۱۷۸
جدول ۸-۶: استراتژی های کلی IAQ برای سیستم های HVAC	۱۸۲
جدول ۹-۶: موارد کنترل در واحدهای HVAC در بازرسی چشمی	۱۸۳
جدول ۱۰-۶: استراتژی های IAQ برای فیلترها	۱۸۴
جدول ۱۱-۶: استراتژی های IAQ برای کانال ها	۱۸۵
جدول ۱۲-۶: استراتژی های IAQ برای مبدل های حرارتی چرخشی	۱۸۶
جدول ۱۳-۶: استراتژی های IAQ برای مرطوب کننده ها	۱۸۷
جدول ۱۴-۶: استراتژی های IAQ برای کویل ها	۱۸۸
جدول ۱۵-۷: مثال هایی از واحدهای مرطوب کننده	۱۸۹
جدول ۱۶-۷: ویژگی های گازهایی که معیارها به عنوان گاز ردیاب استفاده می شوند	۱۹۳
جدول ۱۷-۳: غلظت اولیه برخی از گازهای ردیاب	۱۹۴
جدول ۱۸-۷: کیفیت برخی از گازهای ردیاب	۱۹۵
جدول ۱۹-۷: گازهای ردیابی که معمولاً در روش طیف سنج جری مورد استفاده قرار می گیرند	۲۰۸
جدول ۲۰-۷: حدود اطمینان دو طرفه $TP, N - 2$ در یک توزیع Student	۲۱۳
جدول ۲۱-۷: داده های اندازه گیری شده از یک گاز ردیاب در دو اتاق متقابل یکدیگر	۲۳۵
جدول ۲۲-۷: مقادیر دبی هوا [m ³ /h] محاسبه شده از داده های جدول ۲۱-۷	۲۳۵

پیش‌گفتار

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

چراغ دل به نور جان برافروخت

دستیابی به اطلاعات علمی و کاربردی برای متخصصین و دانش پژوهان می تواند تقویت توان علمی کشور را به دنبال داشته باشد و ما را در انجام وظایف یاری نماید.

کتاب حاضر در برگیرنده نکات مفید و ارزشمند در رابطه با مباحث مهم طراحی، اجرای تهویه و جریان هوا در ساختمان، نگهداری سیستم های به کار رفته در آن با اجرای صحیح مراحل آسیب شناسی، عیب یابی، مکانیزم پایداری، ارزیابی و کنترل عوامل مهم در ساختمان و اهداف آموزشی مراحل مختلف اجرایی است که با مطالعه دقیق فصول به اهمیت پیشگیری سیستماتیک قبل از درمان با نگرش علمی- تجربی در حد امکان می خواهیم برسد.

علی‌رغم تلاش و صرف وقت زیاد که برای ترجمه و تدوین این کتاب صرف گردیده است، مصون از اشکال و ابهام در مطلب نیست، لذا در راستای تکمیل و به‌یاد شدن آن از متخصصین و کارشناسان درخواست می گردد موارد اصلاحی را به دفتر فنی مصلای امام خمینی(ره) تهران ارسال نمایند تا در تجدید نظرهای آتی مورد استفاده قرار گیرد.

در پایان بر خود لازم می دانم از زحمات کلیه کسانی که در به ثمر رسیدن این کتاب ما را یاری نموده اند، تشکر و قدردانی نموده و از خداوند متعال برای این عزیزان سلامتی و موفقیت روزافزون خواستارم.

اصغر نادری

مدیرعامل مصلای امام خمینی(ره)

مقدمه

چرا تهویه؟

بدون تهویه، ساکنین یک ساختمان در ابتدا دچار مشکلاتی ناشی از بو، گرما و سایر آلاینده ها خواهند شد. علاوه بر این، به دلیل منابع رطوبت داخلی مانند ساکنین، لباسشویی، آشپزی و گیاهان، رطوبت داخل ساختمان افزایش می یابد؛ لذا موجب افزایش مخاطرات ناشی از رطوبت می گردد (برای مثال، رشد کپک و مترکم بدن، تخریب هوا به صورت قطرات آب روی سطوح). با این حال، اکسیژن تا زمان زیادی از بین نخواهد رفت.

هدف از تهویه، برطرف کردن آلاینده های هوا می باشد که هم از طریق فعالیت انسان و هم از خود ساختمان به وجود می آیند. این آلاینده ها عبارتند از:

- بوهای نامطبوعی که افراد در هنگام ورود به آن نسبت به آن بسیار حساس اند؛
- رطوبتی که خطر رشد کپک را افزایش می دهد؛
- گاز دی اکسید کربن (CO_2) که موجب مرگ بر اثر گازگرفتگی، غلظت های زیاد آن می شود؛
- گرد و غبار، ذرات معلق و گازهای سمی به وجود آمده از ماشین، انسان و نیز ناشی از مصالح ساختمان (در اصل می بایست مصالح پاک برای مصرف داخلی انتخاب شوند، اما این همواره امکان پذیر نمی باشد)؛
- گرمای بیش از اندازه.

دبی هوای مورد نیاز برای حصول اطمینان از کیفیت خوب هوای داخل بستگی به قدرت منابع آلاینده و حداکثر غلظت قابل قبول آنها دارد: هرچه قدرت منابع آلاینده بیشتر باشد، یا حداکثر غلظت قابل قبول کمتر باشد، نرخ تهویه مورد نیاز بیشتر خواهد بود.

در فصول سرما در ساختمان های پاک و با طراحی مناسب، ساکنین منبع اصلی آلاینده ها (غالباً بو و بخار آب) می باشند. در این حالت دبی هوا می بایست بین ۲۲ متر مکعب در ساعت ($22 \frac{m^3}{h}$) به ازای هر

نفر، که غلظت CO_2 را به حدود ۱۰۰۰ بخش در میلیون (ppm) بیشتر از غلظت هوای بیرون محدود می کند و $54 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ به ازای هر نفر، که غلظت CO_2 را به حدود ۴۰۰ ppm بیشتر از غلظت هوای بیرون محدود می کند، باشد. به این معنا که کمتر از ۱۰ درصد از افرادی که وارد اتاق می شوند، از بو ناراضی خواهند بود (CEN, ۲۰۰۶). در ساختمان‌هایی که عایق کاری نامناسب دارند (جایی که خطر رشد کپک و تراکم بخار آب وجود دارد) یا در فضاهایی که منبع خاصی از آلودگی در آن وجود دارد، نظیر فضاهایی که سیگار کشیدن در آن مجاز است، دبی هوا می بایست بسیار بیشتر باشد.

در تابستان حداقل دبی هوا به منظور خارج کردن گرما یا فراهم کردن جریان‌های خنک ممکن است بسیار بیشتر از دبی هوای بهداشتی باشد. با این حال، زمانی که دمای بیرون بیشتر از دمای داخل می باشد، بهتر است نرخ تهویه کاهش یافته و تنها در شب که دمای بیرون کم است، تهویه بیشتری صورت گیرد.

بنابراین، تهویه نه تنها برای حصول اطمینان از کیفیت قابل قبول هوای داخل ضروری است، بلکه به منظور ارتقای آسایش گرمایی نیز استفاده می شود. از این رو، گرمایش یا سرمایش هوا، تهویه هوا (شامل کنترل رطوبت هوا) یا خنک کردن هوا افزایش دبی هوای بیرون برای خنک کردن داخل ساختمان مورد استفاده قرار می گیرد. به منظور دستیابی به این اهداف، شرایط زیر می بایست محقق گردد:

- دبی هوا می بایست به میزان نیاز باشد؛ اگر بسیار کم باشد، کیفیت هوا خوب نخواهد بود، یا منجر به کوران هوا، سر و صدا و اتلاف انرژی دسی در هت می بیش از اندازه می شود.
- هوا می بایست به درستی پخش شود؛ در حالت ایده آل، دمای تازه می بایست در ابتدا به هر یک از نواحی مسکونی راه یافته و هوای آلوده به سرعت تخلیه گردد.
- تأمین هوا نباید آسایش را کاهش دهد و نیز نباید ناراضی‌هایی ناشی از کوران هوا، سر و صدا یا کیفیت بد هوا به وجود آورد.
- هوای تأمین شده توسط سیستم های تهویه می بایست پاک و در صورت لزوم مطابق با نیازهای دمایی و رطوبتی باشد.

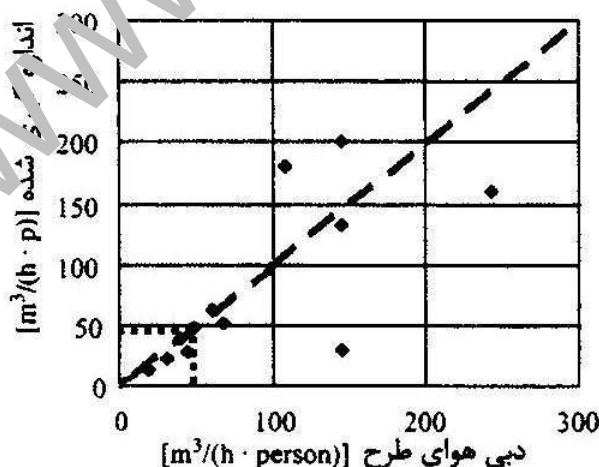
علاوه بر این، به منظور مطابقت با خط مشی توسعه پایدار، سیستم های تهویه می بایست دارای بازدهی انرژی مؤثر بوده و با مصرف حداقل میزان انرژی، نیاز را برآورده نمایند.

چرا دبی هوا در ساختمان‌ها تعیین می‌شود؟

چنانچه ساختمان و سیستم تهویه آن به درستی طراحی، ساخته و اجرا شده باشد، شرایط بالا به احتمال زیاد محقق می‌گردد. اجرای یک سیستم تهویه شامل اندازه‌گیری‌هایی برای کنترل عملکرد مورد انتظار سیستم می‌باشد. هنگامی که این شرایط فراهم نشده باشد، یا زمانی که مشکلاتی به وجود آمده باشد، این اندازه‌گیری‌ها به یافتن علل مشکلات و برطرف کردن آنها کمک می‌نماید. به منظور اثبات سودمندی اندازه‌گیری‌ها، تعدادی از نتایج تحقیقاتی که بر روی چندین واحد کنترل هوا صورت گرفته است، در ادامه نشان داده شده است. لازم به ذکر است که این واحدهای تهویه به دلیل مشکل‌دار بودن انتخاب نگردیدند. واحدهای کنترل هوا که در ساختمان‌های مختلف قرار دارند، در چندین مرحله اندازه‌گیری شده‌اند (Roulet و مکان، ۱۹۹۹). در برخی از واحدها دبی هوا اختلاف زیادی با مقادیر طراحی داشته و یا گردش هوا به صورت گرفته است.

دبی هوای بیرون

مقایسه دبی طرح و اندازه‌گیری شده هوا بیرون به ازای هر نفر در ۱۲ ساختمان در شکل ۱-۰ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، در چندین ساختمان نرخ جریان هوا به ازای هر نفر بیشتر از $50 \frac{m^3}{h}$ بوده و از $200 \frac{m^3}{h}$ نیز فراتر رفته است.



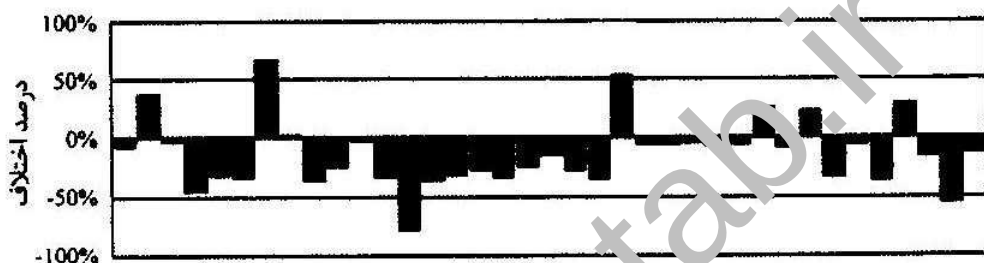
شکل ۱-۰: دبی طرح و اندازه‌گیری شده هوای بیرون به ازای هر نفر در ۱۲ ساختمان

دبی های اندازه گیری شده هوا در تعداد زیادی از سیستم های تهویه با مقادیر طراحی اختلاف دارند. شکل ۲-۰ مقادیر اختلاف نسبی بین دبی های طرح و اندازه گیری شده هوای بیرون در ۳۷ واحد کنترل هوا را نشان می دهد. به عبارت دیگر:

دبی هوای طرح - دبی هوای اندازه گیری شده

دبی هوای طرح

این اختلاف ها از -۷۹ درصد تا +۶۷ درصد تغییر می کند. تنها ۱۱ واحد در محدوده اختلاف $\pm 10\%$ درصد قرار دارند.



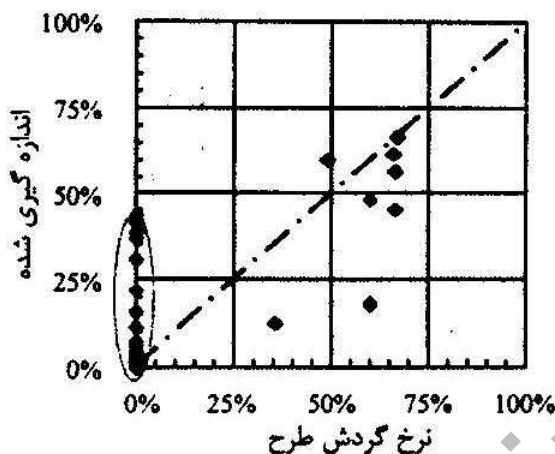
شکل ۲-۰: مقادیر اختلاف نسبی بین دبی طرح و اندازه گیری شده هوای بیرون در ۳۷ واحد کنترل هوا

منبع: Roulet و همکاران، ۱۹۹۹

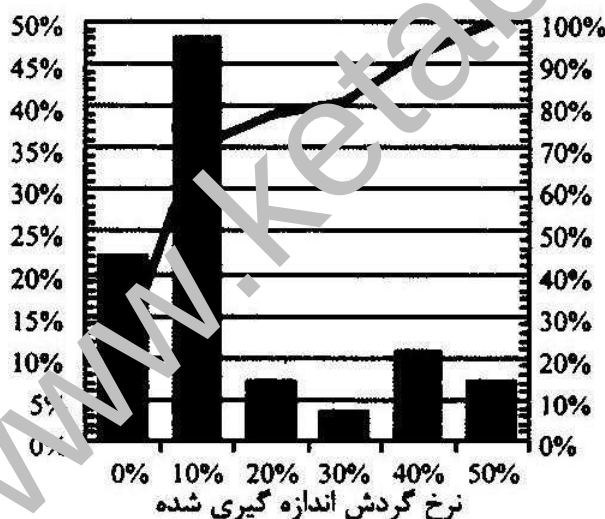
نرخ های گردش هوا

گردش هوا اغلب به منظور پخش گرما یا سرما بدون بهره گیری زیاد از هوای بیرون مطرح می گردد. با این حال، این کار کیفیت کلی هوای داخل را کاهش می دهد، زیرا آلاینده هایی که در ساختمان به وجود آمده اند، در سراسر ساختمان گردش پیدا می کنند. بنابراین، گردش هوا ممکن است مطلوب نباشد. در هر صورت، گردش هوا می بایست کنترل شود.

نرخ های گردش طرح و اندازه گیری شده در شکل ۳-۰ مقایسه گردیده است. این مقادیر به ندرت با یکدیگر برابر اند. چه بسا همانطور که در شکل ۴-۰ نشان داده شده است، تنها ۳۰ درصد از ۲۷ واحدی که بدون گردش هوا طراحی گردیده اند، نرخ گردشی بیشتر از ۲۰ درصد دارند.



شکل ۳۰-۰: مقایسه نرخ گردش طرح و اندازه‌گیری شده در ۳۴ واحد کنترل هوا

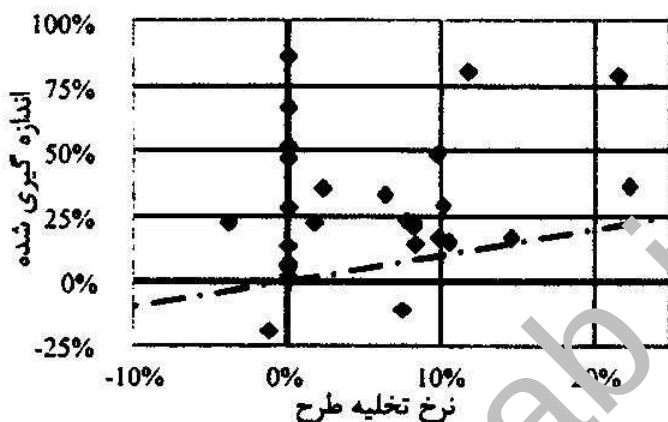


شکل ۴۰-۰: نمودار میله ای و فراوانی های تجمعی نرخ های گردش اندازه‌گیری شده در واحدهای کنترل هوای طراحی شده بدون گردش

خروج هوا از منافذ

در واحدهای ورودی و خروجی هوا هر دو دبی با یکدیگر در تعادل اند، یا اینکه دبی ورودی کمی رایش داده می‌شود تا هوای داخل ساختمان کمی تحت فشار قرار گیرد. هنگامی که فضا هوا بندی نشده شد، یا زمانی که تعادل بین هوای ورودی و خروجی بسیار زیاد باشد، هوا به داخل فضا نشت می‌کند.

این نشت هوا تأثیر زیادی بر کیفیت هوای داخل ندارد، اما ممکن است بازدهی بازیابی گرما را به شدت کاهش دهد. در برخی از ساختمان‌ها، همانطور که در شکل ۵-۰ نشان داده شده است، تا ۱۰۰ درصد از هوای ورودی از این طریق اتلاف شده است. در این شکل نرخ های تخلیه طرح و اندازه گیری شده، یا به عبارتی، میزان هوای ورودی نشت یافته به فضای داخلی ساختمان بین ۳۰ واحد مقایسه گردیده است.



شکل ۵-۰: نرخ مدی تخلیه طرح و اندازه گیری شده در مقایسه بین ۳۰ واحد

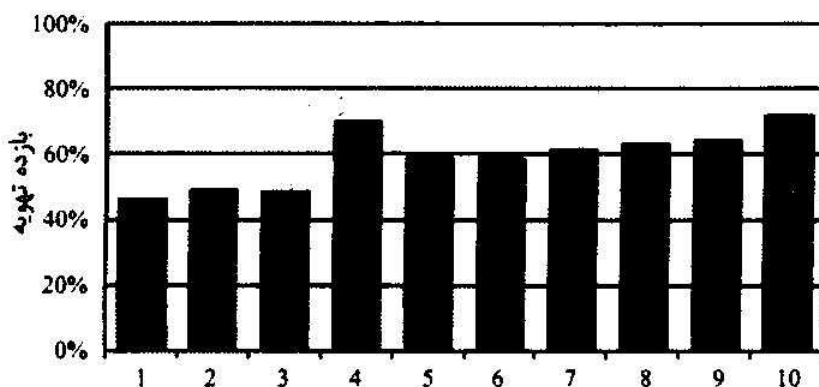
منبع: Roulet و همکاران، ۲۰۰۱

بازدهی تهویه

هوادهی مؤثر، هوای تازه برای ساکنین را تأمین کرده و هوای آلوده و مانده را به فضاهای غیر مسکونی منتقل می کند. مقادیر بازدهی تهویه در چندین اتاق که با استاندارد روشن شرح داده شده در فصل ۳ تعیین می گردد، در شکل ۶-۰ نشان داده شده است.

بازدهی تهویه نسبتاً زیاد که مربوط به تهویه از نوع پیستونی می باشد در اتاق های ۶ تا ۱۰ که سالن های کنفرانس با ارتفاع زیاد اند، قابل مشاهده است. اتاق های ۲ تا ۵ با ارتفاع متوسط، اختلاط کامل هوا را نمایش می دهند، در حالی که اتاق ۱ بازدهی تهویه کم را نشان می دهد، که تا حدودی دلیل آن قرارگیری ورودی و خروجی هوا، هر دو در سقف این اتاق می باشد.

این مثال ها به وضوح سودمندی اندازه گیری ها برای تشخیص ایراد در عملکرد را نشان می دهند.



شکل ۶-۰: بازدهی تهویه در تعدادی از نواحی تهویه شده

ذکر: نواحی تیره رنگ یادیر خطا می باشد. توجه شود که در یک واحد بازدهی کمتر از ۵۰ درصد است، که نشان دهنده میانبرها و نواحی بدون جریان است.

منبع: این شکل از یک جدول منتشر شده توسط Roulet و همکاران، ۲۰۰۱، اقتباس شده است.

چه زمانی دبی هوا در ساختمان‌ها تعیین می شود؟

عملکرد تهویه به منظور تشخیص مشکلات اساسی و بهینه سازی عملکرد کلی سیستم تهویه، می بایست زود هنگام کنترل شود. این کنترل شامل موارد زیر است:

- دبی های مناسب هوا؛
- نفوذ قابل صرف نظر و میانبرها؛
- بازدهی زیاد تهویه؛
- بازدهی زیاد هواکش؛
- هوای پاک و غیره.

این کنترل می بایست در مواقع زیر صورت گیرد:

- هنگام اجرای سیستم تهویه، به منظور کنترل ساخت سیستم مطابق با مشخصات آن؛
- چنانچه کیفیت هوای داخل دچار مشکل گردد و بتوان در یافتن علل آن کمک نمود؛
- پیش از تمیز کردن سیستم، به منظور تشخیص دقیق محل مشکلات احتمالی که باید با تمیز کردن سیستم برطرف شود.

روش های موجود برای تعیین دبی هوا و کمیت های وابسته

این بخش به اختصار روش های تشریح شده در کتاب را به منظور راهنمایی کاربر برای انتخاب روش مناسب ارائه می دهد. همچنین روش های سازگار با اهداف مختلف و یک راهنمای کلی برای انجام اندازه گیری ها در این بخش پیشنهاد خواهد شد.

دبی هوا در ساختمان ها و واحدهای کنترل هوا

فصل ۱ به طور مفصل روش استفاده از گازهای ردیاب برای تعیین دبی هوا بین فضاهای داخل و خارج و نیز بین فضاهای داخلی را تشریح می کند. این اندازه گیری ها می تواند برای کنترل کارایی تهویه سودمند باشد. این روش همچنین مسیرهای جریان هوا از اتاقی به اتاق دیگر را کنترل و تعیین می کند، همانطور که در بعدادی از ساختمان ها نظیر آزمایشگاه های حاوی مواد خطرناک، ضرورت دارد.

روش های مشابه که در فصل ۲ تشریح خواهد شد، انطباق دبی های هوا در واحدهای کنترل هوا با مقادیر طراحی را کنترل نموده است. احتمالی یا جریان های نامطلوب هوا در این واحدها را شناسایی می کنند. این اندازه گیری ها همچنین برای کنترل بازدهی الکتریکی هواکش ها (فصل ۵، "انرژی برای تهویه") و بازدهی انرژی مبدل های حرارتی (فصل ۵، "بازدهی تبادل حرارت") سودمند می باشد.

عمر هوا و بازدهی تهویه

هرچه هوا مدت زمان بیشتری در یک محل مشخص بماند، میزان تجمع آلاینده های مختلف در آن بیشتر خواهد بود. عمر هوا یا به عبارتی، مدت زمان صرف شده در ساختمان تا قبل از ورود هوای بیرون به آن با استفاده از گازهای ردیاب قابل اندازه گیری می باشد. کارایی تهویه برای بخش مناسب هوا در فضای تهویه شده یا برای تخلیه آلاینده های انتشار یافته در یک محل مشخص با استفاده از روش های تشریح شده در فصل ۳ قابل تعیین است.

در واحد کنترل هوا به منظور کاهش میزان کار مورد نیاز، این اندازه گیری ها به طور همزمان با اندازه گیری های مقادیر دبی هوا قابل انجام می باشد. در یک عملیات اندازه گیری، عمر متوسط هوا در فضای تهویه شده، بازدهی سیستم تهویه، دبی های ورودی و خروجی و گردش هوا و نیز نشت هوا در هر دو جهت در فضای داخلی ساختمان قابل اندازه گیری می باشد.