



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۸۹۰۲

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

18902

1st.Edition

2014

عملکرد حرارتی ساختمان‌ها و مواد-
تعیین نرخ جریان هوای ویژه در
ساختمان‌ها- روش رقیق سازی گاز ردیاب

**Thermal performance of buildings and
materials-Determination of specific
airflow rate in buildings-Tracer gas
dilution method**

ICS:91.120.10

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

» عملکرد حرارتی ساختمان‌ها و مواد- تعیین نرخ جریان هوای ویژه در ساختمان‌ها- روش رقیق سازی گاز ردیاب«

رئیس:

موسوی قاسمی، سید آرش
(دکتری مهندسی عمران - سازه)

سمت و/یا نمایندگی

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تبریز

دبیر:

کاظم‌نیا، حمیدرضا
(کارشناس مهندسی عمران)

شرکت صدسازه رسام

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

ارشد، بهمن

(کارشناس ارشد مهندسی عمران)

اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

اسداله‌زاده، حسین

(کارشناس مهندسی تعمیرات)

مرکز آموزش علمی و کاربردی استاندارد
تبریز

الفت، محمدرضا

(کارشناس ارشد مهندسی شیمی)

اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

باقری‌شند، زهرا

(کارشناس ارشد مهندسی عمران)

شرکت فن آوران آرتین صنعت ارس

تقی‌زاده جاهد، رسول

(کارشناس ارشد مکانیک - تبدیل انرژی)

شرکت آزالیا تبریز

زیرک‌کار، سهراب

(کارشناس ارشد عمران)

سازمان عمران شهرداری تبریز

زینالی، ابراهیم

(کارشناس ارشد مهندسی مکانیک- ساخت و تولید)

شرکت فن آوران آرتین صنعت ارس

جهاد تحقیقات سهند(آزمایشگاه همکار)

عدالت، کمال الدین
(کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مکانیک خاک و پی)

مدیر کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

فرشی حق‌رو، ساسان
(کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه های هیدرولیکی)

شرکت فن آوران آرتین صنعت ارس

کریمی، بهنام
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- ساخت و تولید)

مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی

هراتیان، الهام
(کارشناسی ارشد مهندسی فیزیک)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ه	پیش‌گفتار
و	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ اصطلاحات و تعاریف
۲	۳ روش اندازه‌گیری و انتخاب آن
۱۴	دقت
۲۷	دستورالعمل
۲۹	گزارش آزمون
۳۳	پیوست الف: (الزامی) فاصله اطمینان
۳۶	پیوست ب: (الزامی) روش محاسبه همزمان نرخ تهویه Q_v و حجم منطقه اختلاطی موثر V_{emz}
۴۱	پیوست پ: (اطلاعاتی) ملاحظات در اندازه‌گیری نرخ تهویه فضاهای بزرگ
۴۲	پیوست ت: (اطلاعاتی) تاثیر اختلاف دمای درون و بیرون، تغییرات دما و تغییرات غلظت هوای بیرون در زمان اندازه‌گیری
۴۶	پیوست ث: (اطلاعاتی) روش حداقل‌سازی خطای تخمینی در روشهای کاهش دو نقطه‌ای و چند نقطه‌ای
۵۰	پیوست ج: (اطلاعاتی) تحلیل انتشار خطا

پیش‌گفتار

استاندارد «عملکرد حرارتی ساختمان‌ها و مواد- تعیین نرخ جریان هوای ویژه در ساختمان‌ها- روش رقیق سازی گاز ردیاب» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های فنی توسط شرکت صدر سازه رسام تهیه و تدوین شده است و در پانصد و بیستمین جلسه کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فراورده‌های ساختمانی مورخ ۹۳/۰۴/۰۲ مورد تصویب قرار گرفته است ، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود .

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع ، علوم و خدمات ، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است :

ISO 12569: 2012, Thermal performance of buildings and materials - Determination of specific airflow rate in buildings - Tracer gas dilution method

عملکرد حرارتی ساختمان‌ها و مواد - تعیین نرخ جریان هوای ویژه در ساختمان‌ها - روش رقیق سازی گاز ردیاب

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین استاندارد ISO 12569 تعیین نرخ تهویه، جریان هوای ویژه با استفاده از گاز ردیاب در یک فضای ساختمانی که به عنوان یک منطقه واحد محسوب می‌شود به دست آورده شود. روش اندازه‌گیری برای فضاهایی معتبر است که شرایط ترکیبی شامل یکنواختی غلظت گاز ردیاب، اندازه‌گیری غلظت گاز خروجی و منطقه اختلاطی موثر، یا نوسانات تهویه در آن رضایت بخش است. این استاندارد بین‌المللی، سه روش اندازه‌گیری با استفاده از گاز ردیاب را معرفی می‌کند: (۱) روش کاهش غلظت، (۲) روش اندازه‌گیری پیوسته (۳) روش غلظت ثابت یادآوری - شرایط اندازه‌گیری معین، در جدول ۱ ارائه گردیده‌اند.

۲ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌روند:

۱-۲

منطقه واحد (V)

فضایی که در آن نرخ تهویه یا جریان هوای ویژه اندازه‌گیری می‌شود و تبادل هوا تنها با هوای خارج انجام می‌شود.

یادآوری ۱- اندازه‌گیری بر مبنای متر مکعب است.

یادآوری ۲- شرایط مورد نیاز برای هر روش اندازه‌گیری متفاوت می‌باشد و جزئیات در بند ۴ ارائه شده‌اند.

۲-۲

منطقه اختلاطی موثر (V_{emz})

فضایی در داخل منطقه واحد که در آن گاز ردیاب داخل منطقه به طور یکنواخت توزیع شده باشد.

یادآوری ۱- اندازه‌گیری بر مبنای متر مکعب است.

یادآوری ۲- اختلاط اجباری هوا در منطقه معمولا برای حفظ غلظت یکنواخت گاز مورد نیاز است.

۳-۲

نرخ تهویه (Q_v)

حجم کلی هوا که از منطقه به بیرون در واحد زمان منتقل می‌شود.

یادآوری ۱- اندازه‌گیری بر مبنای متر مکعب بر ثانیه/ ساعت است.

۴-۲

نرخ جریان هوای ویژه (N)

نسبت نرخ تهویه به حجم منطقه اختلاطی موثر بر واحد ثانیه یا ساعت است.

۵-۲

پوسته خارجی ساختمان

مرز یا حصاری که داخل ساختمان را از محیط بیرون جدا می‌کند.

۶-۲

گاز ردیاب

گازی که می‌تواند با هوا اختلاط یافته و در غلظت‌های بسیار کوچک برای مطالعه نرخ جریان هوا به کار رود.

یادآوری- حجم گاز ردیاب به صورت مقدار دمای خروجی که می‌تواند به چگالی تبدیل شود تعریف می‌شود. زمانی که هوای اتاق

به صورت کافی مخلوط شود، دمای اتاق تقریباً برابر با دمای خروجی می‌شود.

۷-۲

روش کاهش غلظت

روشی که در آن نرخ جریان هوای ویژه از مشاهده منحنی کاهش غلظت پس از تزریق گاز ردیاب به دست می‌آید.

۸-۲

روش اندازه پیوسته

روشی که نرخ تهویه از غلظت منتج (نتیجه شده) از تزریق پیوسته گاز ردیاب به دست می‌آید.

۹-۲

روش غلظت ثابت

روشی که نرخ تهویه از نرخ تزریق گاز ردیاب برای غلظت ثابت در فضا به دست می‌آید.

۳ روش اندازه‌گیری و انتخاب آن

۱-۳ کلیات

یکی از سه روش روش کاهش غلظت، روش اندازه پیوسته و روش غلظت ثابت برای اندازه‌گیری نرخ تهویه-نرخ جریان هوای ویژه به کار می‌رود. انتخاب روش اندازه‌گیری و پردازش داده به سازه ساختمان، سامانه تهویه و وسیله اندازه‌گیری بستگی دارد. روش کاهش غلظت نیاز به زمان اندازه‌گیری محدودی در حدود چند ساعت دارد در حالی که روش‌های اندازه پیوسته و غلظت ثابت نیاز به زمان طولانی‌تری تا چند هفته دارند.

جهت افزایش دقت اندازه‌گیری نرخ تهویه-نرخ جریان هوای ویژه بعضی اوقات لازم است تا از روش‌های اندازه‌گیری که شرایط پیش‌نیاز اندازه‌گیری را تقریب می‌زند استفاده شود. به خصوص اگر یک روش اندازه‌گیری نیاز به یکنواختی غلظت در منطقه اختلاطی موثر داشته باشد، بهتر است با نیروی اجباری هوای داخلی مخلوط شود. در حالت کلی، اختلاط اجباری هوای داخلی تاثیر اندکی بر نرخ تهویه-نرخ جریان هوای ویژه دارد ولی احتمال وجود دارد که اختلاط اجباری بر نرخ تهویه اندازه‌گیری شده موثر باشد اگر تهویه طبیعی به دلیل اختلاف دما نسبت به عوامل دیگر مسلط باشد یا جریان هوای یک دمنده جهت اختلاط هوا، مستقیماً به سطوح نشستی ساختمان برخورد کند. در این موارد، سیستم اختلاط باید بهبود یابد و یا توصیه می‌شود تا از روش اندازه‌گیری استفاده شود که بدون نیاز به اختلاط یکنواختی غلظت را تضمین نماید.

در جدول ۱، مشخصات کارکردهای گوناگون به صورت زیر توصیف شده‌اند:

۳-۱-۱- «غلظت اتاق فقط در مراحل اولیه می‌تواند یکنواخت نگه داشته شود» به معنی یکنواختی غلظت در منطقه اختلاطی موثر با روشی مانند اختلاط اجباری در هنگام تزریق گاز ردیاب است که اجازه توزیع غلظت را با این روش اندازه‌گیری می‌دهد.

۳-۱-۲- اگر مشخص شده باشد که «غلظت اتاق می‌تواند یکنواخت در همه زمان‌ها نگه داشته شود»، به این معنی است که اختلاط اجباری پیوسته هوا در منطقه اختلاطی موثر ترجیح داده می‌شود. ولی اگر از روش غلظت ثابت استفاده شود و غلظت با تزریق گاز ردیاب در چند نقطه کنترل شود و همچنین هوا در مکان‌های مختلف نمونه برداری شود، می‌توان فرض کرد که غلظت بدون اختلاط به صورت یکنواخت می‌باشد.

۳-۱-۳- «غلظت خروجی میانگین می‌تواند اندازه‌گیری شود» اشاره به این دارد که یا غلظت آزمونه‌ها توسط اختلاط در منطقه اختلاطی موثر بصورت یکنواخت در آمده است و یا فشار داخلی آزمونه‌ها به واسطه سامانه تهویه خروجی کمتر از بیرون هستند و یا سطح نشستی به قدری کوچک است که نرخ خروج قابل صرف‌نظر کردن است و مسیرهای خروجی از قبل قابل شناسایی باشند.

۳-۱-۴- هنگام استفاده از روش‌های اندازه‌گیری که نیازمند «حجم معلوم منطقه اختلاطی موثر» هستند، حجم منطقه مذکور از ابعاد اتاق قابل تخمین می‌باشد. ولی در صورت بکار بردن روش‌های متناظر غلظت معکوس میانگین و غلظت میانگین، اگر زمان به حد کافی زیادی برای برآورد نرخ تهویه در نظر گرفته شود دقت بالایی برای تخمین حجم منطقه اختلاطی موثر مورد نیاز نخواهد بود.

۳-۱-۵- روش‌های اندازه‌گیری که برای آزمون‌هایی به کار می‌روند که «نوسانات نرخ تهویه در مورد آنها قابل صرف‌نظر کردن باشند»، بر این مبنا طراحی می‌شوند که نرخ تهویه/نرخ جریان هوای ویژه در طول زمان ثابت باشد.

جدول ۱- روش، کاربرد و کمیت‌های اندازه‌گیری شده

کاربرد و مقادیر اندازه‌گیری شده							روش
مورد اندازه‌گیری		کاربرد					
انعطاف‌پذیری در نرخ تهویه گذرا	نرخ تهویه / نرخ جریان هوای ویژه	از نرخ نوسانات تهویه می‌توان صرف‌نظر کرد	حجم مشخص منطقه اختلاطی موثر	غلظت خروجی میانگین می‌تواند اندازه‌گیری شود	غلظت می‌تواند یکنواخت در همه زمان‌ها نگه داشته شود	غلظت فقط در مراحل اولیه می‌تواند یکنواخت نگه داشته شود	روش کاهش غلظت
Δ	نرخ جریان هوای ویژه				○	روش کاهش ۲ نقطه‌ای	
	نرخ جریان هوای ویژه	○			○	روش کاهش چند نقطه‌ای	
	نرخ جریان هوای ویژه	○		○		روش غلظت خروجی کم شونده	
	نرخ تهویه	○		○		روش ضربه	
Δ	نرخ تهویه		○		○	روش غلظت معکوس میانگین	روش اندازه پیوسته
	نرخ تهویه	○	○		○	روش غلظت میانگین	
	نرخ تهویه	○		○		روش غلظت ایستا	
○	نرخ تهویه				○		روش غلظت ثابت

یادآوری - علاوه بر روش‌های ذکر شده، یک روش بینابین وجود دارد که اجازه اندازه‌گیری همزمان حجم منطقه اختلاطی موثر و نرخ تهویه را می‌دهد. برای اندازه‌گیری نرخ تهویه در میان سایر روش‌های اندازه‌گیری، اگر حجم یک منطقه اختلاطی موثر معلوم باشد نرخ تهویه از حاصلضرب حجم منطقه اختلاطی موثر در نرخ جریان هوای ویژه به دست می‌آید و سپس به نرخ تهویه تبدیل می‌شود. روش‌های اندازه‌گیری با علامت "Δ" در ستون مربوط به "انعطاف‌پذیری در نرخ تهویه گذرا" در مواردی به کار می‌روند که تغییرات نرخ تهویه/نرخ جریان هوای ویژه قابل صرف‌نظر نباشند. ولی چون اندازه‌گیری بر مبنای نرخ میانگین نرخ تهویه/نرخ جریان هوای ویژه است بدین معنی است که نرخ تهویه/نرخ جریان هوای ویژه گذرا را نمی‌تواند اندازه‌گیری نماید. روش‌های غلظت ثابت با علامت "○" نشانگر اندازه‌گیری نرخ تهویه گذرا هستند اگر اندازه گاز ردیاب به گونه‌ای باشد که بتواند به صورت دقیق به نرخ تهویه گذرا که غلظت آن در سطح ثابتی نگه داشته شده است واکنش نشان دهد.

۲-۳ روش کاهش غلظت

۱-۲-۳ کلیات

در ابتدای اندازه‌گیری، منطقه توسط گاز ردیاب جهت اندازه‌گیری تغذیه می‌شود و برآوردی از نرخ تهویه، نرخ جریان هوای ویژه بر مبنای داده‌های به‌دست آمده از کاهش غلظت به‌دست می‌دهد. در حالت اختلاط اجباری برای توزیع یکنواخت و یا اگر غلظت خروجی میانگین قابل اندازه‌گیری باشد نقطه اندازه‌گیری می‌تواند محدود به یک نقطه شود. مقدار گاز ردیاب موردنیاز در یک اندازه‌گیری بسیار کوچک بوده و به‌جزء در روش ضربه ضرورتی وجود ندارد که این مقدار تزریق شده به صورت دقیق اندازه‌گیری گردد.

معادله اساسی که در حالت کلی برای این روش به‌کار برده می‌شود عبارت است از:

$$\frac{dV_{gas}(t)}{dt} = -C_E(t) Q_V(t) \quad (1)$$

که در آن

t زمان

$V_{gas}(t)$ حجم کلی گاز ردیاب در زمان t.

x موقعیت در منطقه.

$C(x,t)$ غلظت در لحظه t (مترمکعب بر مترمکعب) و موقعیت x.

$Q_V(t)$ نرخ تهویه در لحظه t (مترمکعب بر ساعت).

$C_E(t)$ غلظت تخلیه میانگین در لحظه t است.

یادآوری - معادله ۱ تفاوت چگالی هوای داخل و خارج که از اختلاف دما ناشی می‌شود را نادیده می‌گیرد.

۲-۲-۳ روش کاهش ۲ نقطه‌ای

اگر غلظت در منطقه اختلاط موثر به صورت یکنواخت باشد، نرخ هوای شارژ شده متوسط از نقطه آغاز تا انتهای اندازه‌گیری محاسبه می‌شود. لازم نیست که نرخ جریان هوای ویژه در هنگام اندازه‌گیری ثابت بماند. معادله زیر از شرایط بالا به‌دست می‌آید.

$$V_{gas}(t) = V_{enz} C(t) \quad (2)$$

$$C_E(t) = C(t)$$

که در آن‌ها

$C(t)$ غلظت در منطقه اختلاطی موثر در زمان t (مترمکعب بر مترمکعب)

V_{enz} حجم منطقه اختلاطی موثر بر حسب مترمکعب است.

معادله ۱ و ۲ معادله ۳ را به‌دست می‌دهد که در نهایت به معادله ۴ ختم می‌شود.

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{dC}{C(t)} = - \int_{t_1}^{t_2} \frac{Q(t)}{V_{enz}} dt \quad (3)$$

$$\bar{N} = \frac{1}{t_2 - t_1} \log_e \frac{C(t_1)}{C(t_2)} \quad (4)$$

که در آن

t زمان

\bar{N} نرخ جریان هوای ویژه متوسط زمانی (ساعت/۱) است.

بر مبنای داده‌های غلظت اندازه‌گیری شده در دو لحظه زمانی متفاوت، نرخ جریان هوای ویژه متوسط برای آن زمان محاسبه می‌شود. در زمان اندازه‌گیری غلظت در منطقه اختلاطی موثر باید یکنواخت باقی بماند. جهت اندازه‌گیری دقیق نرخ جریان هوای ویژه باید تفاوت غلظت‌ها در لحظات اندازه‌گیری شده ابتدایی و انتهایی نسبت به خطای اندازه‌گیری غلظت بزرگتر باشد.

۳-۲-۳ روش کاهش چند نقطه‌ای

نرخ جریان هوای ویژه بر مبنای یکنواختی توزیع غلظت در منطقه اختلاطی موثر و عدم نوسان نرخ تهویه در طول زمان محاسبه می‌شود.

معادله ۵ به این صورت به دست می‌آید که نرخ تهویه در معادله ۳ ثابت باشد و معادله تبدیل یافته باشد.

$$\log_e C(t) = \log_e C(t_1) - N(t - t_1) \quad (5)$$

که در آن N نرخ جریان هوای ویژه می‌باشد.

نرخ جریان هوای ویژه با اعمال داده‌های غلظت اندازه‌گیری شده و استفاده از روش حداقل مربعات به یک خط راست محاسبه می‌شود که در معادله ۵ نشان داده شده است. پیش‌شرطی که نرخ جریان هوای ویژه باید در طول زمان تغییر نکند بدین صورت تثبیت می‌شود که $\log_e C(t)$ در برابر t رسم شود و معادله خطی برقرار باشد. فقدان معادله خطی به این معنا است که نرخ تهویه ثابت نبوده و در نتیجه نرخ جریان هوای ویژه محاسبه شده در این روش نرخ جریان هوای ویژه متوسط نیست. در این حالت باید روش کاهش ۲ نقطه‌ای اعمال شود.

۴-۲-۳ روش غلظت خروجی کاهش یابنده

نرخ جریان هوای ویژه در صورتی محاسبه می‌شود که غلظت خروجی متوسط قابل اندازه‌گیری باشد، توزیع غلظت در منطقه اختلاطی موثر در نقطه ابتدایی اندازه‌گیری یکنواخت بوده و نرخ تهویه در طول زمان نوسان نداشته باشد. این روش همچنین در مواردی که غلظت بعد از شروع اندازه‌گیری توزیع شده باشد قابل اعمال است.

وقتی در نرخ تهویه ثابت از زمان تا ∞ انتگرال‌گیری شود معادله ۶ به دست می‌آید.

$$\int_{t_1}^{\infty} dV_{gas}(t) = Qv \int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt \quad (6)$$

اگر غلظت در منطقه اختلاطی موثر در لحظه ابتدایی اندازه‌گیری یکنواخت فرض شود خواهیم داشت:

$$V_{gas}(t_1) = V_{emz} C(t_1)$$

پس از گذشت زمان کافی داریم:

$$V_{gas}(\infty) = 0$$

که معادله ۷ را نتیجه می دهد:

$$N = \frac{C(t_1)}{\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt} \quad (7)$$

یعنی مقدار عکس متوسط هوای خروجی در واقع همان نرخ جریان هوای ویژه اتاق است. در صورتی که چند خروجی وجود داشته باشد از مقدار وزنی غلظت خروجی میانگین که وابسته به نرخ جریان هوای خروجی در هر روزنه خروجی است استفاده می شود.

یادآوری - در صورتی که نمی توان از اختلاف دمای اتاق و خروجی چشم پوشی نمود به پیوست ج رجوع می شود.

۳-۲-۵ روش ضربه

نرخ تهویه در صورتی قابل محاسبه خواهد بود که غلظت خروجی میانگین قابل اندازه گیری باشد و نرخ تهویه در طول زمان تغییر نکند. حجم گاز ردیابی که در لحظه ابتدایی اندازه گیری تغذیه می شود باید به طور دقیق برآورد شود ولی نیازی نیست که توزیع غلظت در منطقه یکنواخت باشد. در این حالت، در معادله ۶ $V_{gas}(t_1)$ که قبلا مشخص بوده است پس از گذشت زمان کافی عبارت خواهد بود از:

$$V_{gas}(\infty) = 0$$

که معادله ۸ را نتیجه می دهد.

$$Q_V = \frac{C(t_1)}{\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt} \quad (8)$$

که $V_{gas}(t)$ حجم گاز ردیاب است که در اتاق در لحظه شروع t_1 نگه داشته می شود. یادآوری - برای حجم گاز ردیاب مقداری برای دمای خروجی که به چگالی تبدیل می شود مورد استفاده قرار می گیرد.

۳-۳ روش اندازه گیری میزان (دوز) پیوسته

۱-۳-۳ کلیات

در هنگام تغذیه منطقه توسط گاز ردیاب نرخ تهویه توسط میزان و داده های غلظت اندازه گیری می شوند. اگر روشی استفاده شود که بر پایه توزیع یکنواخت غلظت گاز ردیاب در منطقه اختلاطی موثر باشد، این روش اصولا به چند نقطه اندازه گیری غلظت برای اطمینان از توزیع یکنواخت نیاز خواهد داشت. مقدار گاز ردیاب بیشتری با افزایش زمان مورد نیاز است. اندازه گیری غیرفعالی که از دی اکسید کربن هوای بازدم ساکنین به عنوان گاز ردیاب استفاده می کند جزء روشهای غلظت پیوسته می باشد.

معادله اساسی که اعمال می‌شود به صورت زیر است:

$$\frac{dV_{gas}(t)}{dt} = m(t) - C_E(t)Q_V(t) \quad (9)$$

که $m(t)$ میزان گاز ردیاب در لحظه t است.

۲-۳-۳ روش غلظت معکوس متوسط

نرخ جریان هوای ویژه متوسط زمانی از ابتدا تا انتهای لحظه اندازه‌گیری محاسبه می‌شود که توزیع غلظت در منطقه اختلاطی موثر یکنواخت است. ضرورتی ندارد که نرخ تهویه در موقع اندازه‌گیری ثابت بماند ولی غلظت لحظه‌ای در حین اندازه‌گیری، میزان لحظه‌ای گاز ردیاب و حجم منطقه اختلاطی موثر باید در دست باشند. معادله زیر را بر پایه شرایط مفروض می‌توان به دست آورد.

$$V_{gas}(t_1) = V_{enz} C(t_1) \quad (10)$$

$$C_E(t) = C(t)$$

که در آن

$C(t)$ غلظت در منطقه اختلاطی موثر (مترمکعب بر مترمکعب)

V_{enz} حجم منطقه اختلاطی موثر است.

معادله ۹ و ۱۰ معادله ۱۱ را به دست می‌دهد که از آن معادله ۱۲ نتیجه‌گیری می‌شود.

$$V_{enz} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dC}{C(t)} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{m(t)}{C(t)} dt - \int_{t_1}^{t_2} Q_V(t) dt \quad (11)$$

$$\overline{Q_V} = \left[\frac{m}{C} \right] + \frac{V_{enz}}{t_2 - t_1} \log_e \frac{C(t_1)}{C(t_2)} \quad (12)$$

که در آن t زمان و $\overline{Q_V}$ نرخ جریان هوای ویژه متوسط زمانی است.

$$\left[\frac{m}{C} \right] = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{m(t)}{C(t)} dt$$

زمانی که میزان گاز ردیاب در حین اندازه‌گیری ثابت و برابر m است (m/c) با $m(1/C)$ جایگزین می‌شود. وقتی زمان کافی در اختیار باشد تاثیر جمله دوم بر قسمت راست معادله ۱۲ از بین می‌رود و در نتیجه این روش قابل اعمال بر مواردی خواهد بود که نمی‌توان در تخمین حجم منطقه اختلاطی موثر با دقت کافی عمل کرد. بلافاصله پس از شروع تزریق گاز ردیاب به دلیل کم بودن غلظت، تاخیر در پاسخ‌دهی در سامانه اندازه‌گیری مشاهده می‌شود که سبب ایجاد خطا در مقدار غلظت اندازه‌گیری شده و این داده‌ها نباید در تعیین نرخ تهویه استفاده شوند.

۳-۳-۳ روش غلظت متوسط

محاسبه نرخ تهویه در مواقعی که توزیع یکنواخت غلظت در منطقه اختلاطی موثر وجود داشته و نرخ تهویه در طول زمان تغییر نکند بیان گردید. در صورتی که زمان کافی برای اندازه‌گیری در اختیار باشد محاسبات می‌تواند تنها بر مبنای متوسط زمانی میزان گاز ردیاب و متوسط زمانی غلظت در حین اندازه‌گیری انجام گیرد. وقتی معادله ۱۰ بر معادله ۹ فرض گردد انتگرال‌گیری در زمان معادله ۱۳ را نتیجه می‌دهد.

$$\int_{t_1}^{t_2} C(t)Q(t)dt = \int_{t_1}^{t_2} m(t)dt - V_{emz} \int_{t_1}^{t_2} dC \quad (13)$$

اگر $Q_v(t)=Q_v$ باشد بدون تغییر نرخ تهویه در طول زمان معادله ۱۴ به دست می‌آید.

$$Q = \frac{\bar{m}}{C} - \frac{V_{emz}}{t_2 - t_1} \left[\frac{C(t_2) - C(t_1)}{C} \right] \quad (14)$$

که

$$\bar{m} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} m(t)dt$$

$$\bar{C} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} C(t)dt$$

وقتی زمان کافی جهت اندازه‌گیری در اختیار باشد تاثیر جمله دوم بر قسمت راست معادله ۱۴ قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد. اما در صورت نوسانات نرخ تهویه و اعمال قضیه مقدار متوسط معادله ۱۳، معادله ۱۵ به دست می‌آید.

$$Q_v(\xi) = \frac{\bar{m}}{C} - \frac{V_{emz}}{t_2 - t_1} \left[\frac{C(t_2) - C(t_1)}{C} \right]; t_1 \leq \xi \leq t_2 \quad (15)$$

نرخ تهویه که از معادله ۱۵ به دست می‌آید نرخ تهویه در هر لحظه اندازه‌گیری می‌باشد و نرخ مربوط به مقدار متوسط را ارائه نمی‌کند. این نرخ برای حالاتی مناسب است که هدف شبیه‌سازی تولید مواد آلوده‌کننده در اتاق با استفاده از میزان گاز ردیاب و تخمین غلظت متوسطی است که ساکنین در معرض آن هستند می‌باشد. بنابراین، در مواردی باید از روش غلظت معکوس استفاده نمود که غلظت لحظه‌ای و میزان لحظه‌ای گاز ردیاب برای اندازه‌گیری نرخ تهویه متوسط در دست هستند.

۴-۳-۳ روش غلظت ایستا

نرخ تهویه زمانی محاسبه می‌شود که در طول زمان تغییر نکند و تحت شرایطی باشد که غلظت خروجی متوسط قابل اندازه‌گیری باشد. همچنین اگر غلظت در یک منطقه توزیع شده باشد این روش قابل اعمال است. معادله ۱۶ زمانی حاصل می‌شود که یک حالت ایستا مشاهده شده و تغییراتی در معادله ۹ به وجود نیاید.

$$Q_v = \frac{m}{C_E} \quad (16)$$

که در آن

m میزان گاز ردیاب (مترمکعب بر ساعت) و

C_E غلظت تخلیه متوسط (مترمکعب بر مترمکعب) می باشد.

یعنی نرخ تهویه از تقسیم دوز گاز ردیاب بر غلظت ثابت به دست می آید.

۴-۳ روش غلظت ثابت

جهت اینکه غلظت در منطقه موثر در یک مقدار هدف ثابت بماند میزان گاز ردیاب و نرخ تهویه باید به صورت کنترل شده باشند. حتی اگر هوای داخل بطور یکنواخت مخلوط نشده باشد با به کارگیری چند نقطه گاز ردیاب و نقاط اندازه گیری می توان توزیع غلظت را به صورت یکنواخت درآورد. ابزار مخصوصی برای کنترل میزان گاز ردیاب مورد نیاز است.

معادله اساسی که در این مورد اعمال می شود عبارت است از: (غلظت اولیه برای سادگی صفر در نظر گرفته می شود)

$$0 = \frac{dV_{gas}(t)}{dt} = m(t) - C_{t\ target} Q(t) \quad (17)$$

که در آن

$C_{t\ target}$ غلظت هدف در روش غلظت ثابت (مترمکعب بر مترمکعب)،

$Q(t)$ نرخ تهویه در زمان t (مترمکعب بر ساعت) و

$m(t)$ میزان گاز ردیاب در زمان t (مترمکعب بر ساعت) می باشد.

به همین ترتیب نرخ تهویه بر پایه معادله زیر محاسبه می شود.

$$Q(t) = \frac{m(t)}{C_{t\ target}} \quad (18)$$

۵-۳ نوع گاز ردیاب

شش نوع گاز ردیاب برای اندازه گیری نرخ تهویه یک منطقه، در جدول ۲ آورده شده اند.

جدول ۲- انواع گازهای ردیاب

نوع گاز	هلیوم ^۱	دی اکسید کربن ^۲	هگزافلوراید گوگرد ^۳	پرفلوئوروکربن ^۴	اتیلن ^۵	مونواکسید نیتروژن ^۶
نشانه شیمیایی	He	CO ₂	SF ₆	CF ₄ (PFC-14) C ₂ F ₆ (PFC-16)	C ₂ H ₄	N ₂ O
روش اندازه گیری	GC-TCD	جذب اشعه مادون قرمز	GC-ECD	جذب اشعه مادون قرمز	جذب اشعه مادون قرمز	جذب اشعه مادون قرمز
حد پایین تشخیص	۳۰۰×۱۰ ^{-۶}	۱×۱۰ ^{-۶}	۷۰×۱۰ ^{-۶}	۰۰۰۱×۱۰ ^{-۶}	۰.۱×۱۰ ^{-۶}	۰.۱×۱۰ ^{-۶}
غلظت مجاز	-	۵۰۰×۱۰ ^{-۶}	۱۰۰۰×۱۰ ^{-۶}	-	-	۲۵×۱۰ ^{-۶}
چگالی نسبت به هوا	۰/۱۳۸	۱/۵۴۵	۵/۳۰۲	مثال PCF-14:3.06 PCF-16:480	۰/۹۷۴	۱/۵۳
پتانسیل گرمایش جهانی	-	۱	۲۳۹۰۰	مثال PCF-14:6500 PCF-16:9200	-	۳۱۰

یادآوری ۱- علاوه بر گازهای ذکر شده در بالا، نیتروژن، مونواکسید کربن، اتان، متان، ایزوبوتان، اکتوفلوئورید سیکلوبوتان، تری فلئورید برومومتان، دی کلرو دی فلورو دی متان، دی کلرو تترا فلورو دی متان می توانند به عنوان گاز ردیاب استفاده شوند.

یادآوری ۲- GC نشانگر رنگ نگاری گاز می باشد. GC-TCD رنگ نگاری گاز با استفاده از آشکارساز گرمایی و GC-ECD با استفاده از آشکارساز الکترون گیراندازی می باشد.

یادآوری ۳- پتانسیل گرمایش جهانی به عنوان پتانسیل اثر گلخانه ای نسبی بر واحد وزن نسبت به دی اکسید کربن تعریف می شود.

یادآوری ۴- جذب اشعه مادون قرمز هم شامل TS (طیف نمایی گسیلی) و هم شامل PAS (طیف نمایی فوتواکوستیک) می شود.

^۱ هلیوم از لحاظ شیمیایی پایدار است.

^۲ دی اکسید کربن در آب حل می شود و توسط مواد ساختمانی و اثاث جذب می شود و برای اندازه گیری دقیق مناسب نیست. اما اگر به دقت زیادی نیاز نباشد معمولاً از این گاز استفاده می شود. دی اکسید کربن تولید شده از ساکنین و یا هر منبع دیگری باید در نظر گرفته شوند. اگر نرخ گسیل دی اکسید کربن معلوم نباشد، به عنوان ردیاب استفاده نمی شود.

^۳ SF₆ پتانسیل گرمایش عمومی بالایی دارد و در مقادیر زیاد نباید استفاده شود. این گاز غیرفعال بوده و اگر تا ۵۰۰ درجه سلسیوس حرارت ببیند گازهای سمی ساطع می کند. بنابراین این گاز نباید در جایی بکار رود که هیتر دمنده وجود دارد و SF₆ از میان آن عبور می کند.

^۴ PFC پتانسیل گرمایش عمومی بالایی دارد و در مقادیر زیاد نباید استفاده شود.

^۵ اتیلن آتشگیر بوده و باید در نهایت دقت با آن کار شود.

^۶ N₂O پتانسیل گرمایش عمومی بالایی دارد و در مقادیر زیاد نباید استفاده شود. N₂O در آب حل می شود و با آلومینیم واکنش می دهد. در دمای بالا مشتعل می شود و به دلیل تاثیر مخرب بر سلامتی نباید در غلظتهای بالاتر از حد مجاز استفاده شود.

۳-۶ دستگاه اندازه گیری

۳-۶-۱ کلیات

دستگاههای اندازه گیری مورد نیاز در ارتباط با روشهای اندازه گیری در جدول ۱، در جدول ۳ ارائه شده اند. هر دستگاه به عنوان وسیله اندازه گیری میزان و پخش گاز ردیاب، جمع آوری نمونه های هوا، تجزیه کننده اندازه گیری غلظت گاز و وسایل اندازه گیری دیگر تعریف می شود.

جدول ۳- دسته‌بندی روش‌ها و ابزارآلات اندازه‌گیری

دستگاه اندازه‌گیری						روش اندازه‌گیری	
تجهیزات دیگر	وسیله غلظت گاز ردیاب	کلکتور گاز ردیاب	توزیع کننده گاز ردیاب	مولد گاز ردیاب		روش اندازه‌گیری	
ثابت کننده	آشکارساز غلظت گاز یا تجزیه کننده غلظت گاز	مکش دستی و کیسه پلی وینیلیدین فلوراید	دمنده جهت اختلاط	سیلندر و سوپاپ با جریان سنج ^{الف}		روش کاهش ۲ نقطه‌ای	
روش کاهش ۲ نقطه‌ای	تجزیه کننده غلظت	لوله تفلونی و پمپ مکش گاز	دمنده جهت اختلاط یا لوله مقسم و کانال	سیلندر و سوپاپ با جریان سنج ^{الف}		روش کاهش چند نقطه‌ای	
داده‌خوان و رایانه	تجزیه کننده غلظت گاز	لوله تفلونی و پمپ مکش گاز	دمنده جهت اختلاط	سیلندر و سوپاپ با جریان سنج ^{الف}		روش کاهش یابنده در غلظت خروجی	
داده‌خوان و رایانه	تجزیه کننده غلظت گاز	لوله تفلونی و پمپ مکش گاز	نیاز نیست	محفظه با حجم معلوم ^پ		روش ضربه	
داده‌خوان و رایانه	تجزیه کننده غلظت	لوله تفلونی و پمپ مکش گاز	دمنده جهت اختلاط	سیستم جریان سنج دقیق و سیلندر ^ب		روش غلظت معکوس متوسط	
داده‌خوان و رایانه	تجزیه کننده غلظت	لوله تفلونی و پمپ مکش گاز	دمنده جهت اختلاط	سیستم جریان سنج دقیق و سیلندر ^ب	روش فعال	روش غلظت متوسط	
N.A.	تجزیه کننده غلظت	نمونه‌بردار مخصوص ^ج	N.A.	مولد مخصوص ^ت	روش غیر فعال	روش اندازه پیوسته	
داده‌خوان و رایانه	تجزیه کننده غلظت	لوله تفلونی و پمپ مکش گاز	نیاز نیست	سیستم جریان سنج دقیق و سیلندر		روش غلظت ایستا	
کنترلر فرایند	تجزیه کننده غلظت	لوله تفلونی و پمپ مکش گاز	دمنده جهت اختلاط	سیلندر با کنترل فیدبک دار ^ث		روش غلظت ثابت	

الف- شامل جریان سنج شناور
 ب- شامل جریان سنج اوریفیس دقیق یا کنترلر جریان الکترونیکی. عموماً سیلندر باید فشار ۱ مگاپاسکال، حجم ۱۰ تا ۱۵ لیتر و وزن ۱۰ تا ۱۵ کیلوگرم داشته باشد.
 پ- EX: سرنگ‌های دارای درجه یا جریان سنج جرمی با کنترلر تنظیم زمان
 ت- شامل لوله آلومینیمی به اندازه انگشت جهت تغذیه هیدرات کربن با تبخیر تدریجی آن
 ث- تغذیه کننده گاز ردیاب تحت فشار که شامل ترکیبی از جریان سنج و سیستم کنترلی دارای فیدبک برای تنظیم غلظت در منطقه می‌باشد.
 ج- اختلاط تنها در مرحله اولیه اندازه‌گیری لازم است.
 چ- لوله‌های کربنی فعال که هیدرات کربن تبخیر شده را جذب می‌کنند.

۳-۶-۲ دستگاه تغذیه گاز ردیاب

۳-۶-۲-۱ کلیات

نرخ تغذیه باید بطور دقیق اندازه‌گیری شود. جدول ۳ خلاصه‌ای از حالات گوناگون را در بر دارد ولی حجم مناسب باید مطابق با هر روش آزمون جدول ۱ و گاز ردیاب جدول ۲ باشد. وقتی نرخ جریان گاز اندازه‌گیری شد دما نیز بصورت همزمان برای برآورد نرخ جریان گاز اندازه‌گیری می‌شود. یک دریچه با **هیتر** باید آماده‌سازی گردد تا از انجماد دریچه در صورت خروج بیش از حد هیدرات کربن جلوگیری نماید. اندازه‌گیری‌های زیر باید برای یکنواختی بهتر اختلاط انجام گیرند.

۳-۶-۲-۲ دمنده برای اختلاط^۱

دمنده‌ها برای اختلاط مناسب مناطق تحت آزمون مورد نیاز هستند. اما اگر لایه‌های دمایی در منطقه موجود باشد که بر نرخ تهویه و جریان هوای ویژه موثر باشند استفاده از آنها مطلوب نخواهد بود.

۳-۶-۲-۳ تزریق همزمان گاز ردیاب

سامانه لوله‌کشی و کانال برای توزیع و انتشار با لوله‌های منشعب وقتی چندین دریچه آماده شده‌اند.

۳-۶-۳ دستگاه نمونه‌برداری گاز ردیاب

۳-۶-۳-۱ مواد دستگاه نمونه‌برداری

مواد لازم برای دستگاه نمونه‌برداری گاز ردیاب که شامل لوله‌ها می‌شود باید غیرجاذب، غیر واکنشگر و غیر ساطع نسبت به گاز ردیاب در حال کارکرد باشند. شیشه، مس، فولاد ضدزنگ موارد مناسبی می‌باشند. ورق‌های فلزی برای محفظه‌های انعطاف‌پذیر مناسب هستند. دیگر مواد مجاز عبارتند از پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن و پلی‌امید. لوله‌های با پوشش فلئوئور که لوله‌های تفلونی نامیده می‌شوند نیز پرکاربرد هستند. بسته به گاز ردیاب موادی که باید از آنها اجتناب کرد پلاستیک‌های نرم می‌باشند. لوله‌ها (به‌خصوص پلاستیکی) که یک‌بار برای تزریق گاز استفاده شده‌اند نباید بار دیگر برای نمونه‌برداری هوا به کار برده شوند.

۳-۶-۳-۲ نمونه‌بردار قابل حمل

این بخش شامل سرنگ‌های گازبندی شده، بطری‌های منعطف و بسته‌های نمونه‌برداری می‌شود که ظرفیت حداقل سه بار نمونه‌های غلظت را داشته باشند. نمونه‌بردار قابل حمل باید محکم و غیر قابل نفوذ توسط هوا بوده و تا مواد داخل آن رقیق یا آلوده نشوند.

^۱ 1-Fan for mixing

۳-۳-۶-۳ شبکه نمونه برداری جهت تحلیل در محل

شبکه لوله از یک مجرا برای هدایت چند مسیر آزمون به تجزیه کننده گاز، یک سوئیچ تغییر مسیر و یک پمپ منتهی به تجزیه کننده تشکیل می شود که به گونه ای برنامه ریزی می شود که نمونه های هوا در بازه های مشخص زمانی تحت مکش قرار گرفته و مستقیماً به تجزیه کننده گاز متصل شوند.

۳-۶-۴ تجزیه کننده^۱ گاز

تجزیه کننده گاز باید برای گاز ردیاب و غلظت های مد نظر مناسب بوده و به صورت دقیق و در محدوده خطایی پنج درصد واسنجی شده باشد. در صورتی که نسبت به انحراف تجزیه کننده نگرانی وجود داشته باشد باید در ابتدا و انتهای آزمایش آنرا واسنجی نمود. مزیت تجزیه کننده گاز در قابلیت اندازه گیری آلوده کننده های داخلی همانند مونو دی اکسید کربن و فرمالدهید در زمان پیوسته می باشد.

۴ دستورالعمل

۱-۴ آماده سازی ساختمان

روش اندازه گیری در این استاندارد در معادله با اندازه گیری تهویه منطقه واحد است. در مواقعی که منطقه ای با چندین اتاق به غلظت یکنواخت نیاز داشته باشد، باید تمامی درها باز بوده و وسیله ای برای اختلاط مناسب وجود داشته باشد تا این امر میسر شود.

اگر هدف اندازه گیری برای اتاق واحد در یک ساختمان باشد حتی اگر درهای منتهی به اتاق های مجاور آب بندی شده باشند و نشستی از جانب آن اتاق ها وجود نداشته باشد باز امکان نشستی از طرف سقف وجود دارد و بنابراین مشکل خواهد بود که هدف اندازه گیری را به یک اتاق محدود نماییم.

۲-۴ اندازه گیری های فرعی

علاوه بر منطقه ای که قرار است اندازه گیری تهویه در آن انجام پذیرد، دمای هوا اتاق های کناری که از طریق قسمت های باز، شکاف ها، کانال ها یا حفره ها به هم متصل هستند باید اندازه گیری شده و ثبت شوند. داده های مربوط به دمای هوای بیرونی، سرعت باد و جهت باد از طریق نزدیکترین ایستگاه هواشناسی یا دستگاه هواشناسی قابل حمل جمع آوری می شوند. شرایط عملکردی سامانه تهویه ساختمان و اندازه قسمت های باز اندازه گیری می شوند. در صورتی که روش اندازه گیری به مقدار V_{emz} نیاز داشته باشد ابعاد منطقه باید اندازه گیری شوند.

۳-۴ روش کاهش غلظت

۱-۳-۴ محاسبات روش های دو نقطه ای و چند نقطه ای

در ۱-۳-۴ و ۲-۱-۳-۴ محاسبات مربوط به روش های دو و چند نقطه ای شرح داده می شوند.

۱-۳-۴ روش کاهش دو نقطه‌ای

با اندازه‌گیری غلظت در دو نقطه زمانی نرخ جریان هوای ویژه زمان متوسط بر پایه زمان از طریق معادله ۱۹ به دست می‌آید.

$$\bar{N} = \frac{1}{t_2 - t_1} \log_e \frac{C(t_1)}{C(t_2)} \quad (1/h) \quad (19)$$

که در آن

\bar{N}	نرخ جریان هوای ویژه زمان متوسط
$C(t_1)$	غلظت در لحظه t_1
$C(t_2)$	غلظت در لحظه t_2
t_1	لحظه آغاز اندازه‌گیری
t_2	لحظه پایان اندازه‌گیری است.

۲-۱-۳-۴ روش کاهش غلظت چند نقطه‌ای

این روش وقتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که فرایند کاهش غلظت گاز در چندین زمان مختلف از چند دقیقه تا یک ساعت اندازه‌گیری شود. وقتی حداقل در سه زمان اندازه‌گیری انجام گیرد روش حداقل مربعات اعمال شده و مقدار پیش‌بینی شده برای نرخ جریان هوای ویژه از معادله زیر بدست می‌آید.

$$N = \frac{\left(\sum_{j=1}^{np} t_j \right) \cdot \sum_{j=1}^{np} \log_e C(t_j) - np \cdot \sum_{j=1}^{np} t_j \cdot \log_e C(t_j)}{np \cdot \sum_{j=1}^{np} t_j^2 - \left(\sum_{j=1}^{np} t_j \right)^2} \quad (20)$$

که در آن

N	نرخ جریان هوای ویژه پیش‌بینی شده
$C(t_1)$	غلظت اندازه‌گیری شده در لحظه t_1
t_j	زمان اندازه‌گیری پس از شروع در لحظه صفر
np	تعداد کل نقاط زمانی اندازه‌گیری شده است.

با به کار بردن تناوب T چندین نقطه زمانی اندازه‌گیری شده را می‌توان یافت و np که تعداد کل نقاط زمانی اندازه‌گیری شده است خطای اندازه‌گیری که باعث ایجاد خطای تخمین در نرخ جریان هوای ویژه می‌شود را به حداقل رساند. این امر را می‌توان در حاصلضرب NT_m در منحنی پیوسته مشاهده نمود که در آن T_m تناوب بهینه‌ای است که خطای حداقل N را ارائه می‌دهد.

۴-۳-۲ دستورالعمل روش‌های دو نقطه‌ای و چند نقطه‌ای

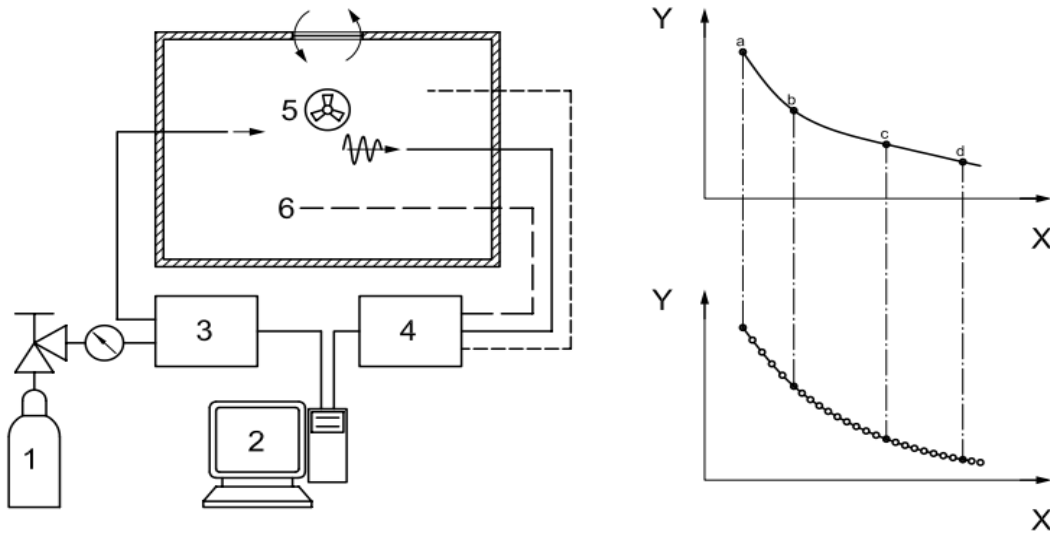
در هر روش، فرایند کاهش غلظت به دنبال غلظت اولیه بالا در منطقه با طی گام‌های زیر اندازه‌گیری می‌شود.
گام اول: گاز ردیاب را تزریق نموده و آنرا مخلوط می‌کنیم. یکنواختی غلظت را در فضا با چندین آزمون اولیه چک می‌کنیم.

گام دوم: داده‌های آزمون اولیه با غلظت کاهش یابنده را به دست می‌آوریم.

گام سوم: داده‌ای آزمون ثانویه را در فرایند کاهش یابنده برای روش دو نقطه‌ای به دست می‌آوریم. حداقل یک آزمون اضافی در روش چند نقطه‌ای مورد نیاز خواهد بود.

گام چهارم: داده‌های آزمون انتهایی با غلظت کاهش یابنده را به دست می‌آوریم تا یکنواختی غلظت در منطقه را بررسی نماییم.

شکل مربوط به این روش در شکل ۱ ملاحظه می‌شود. جهت انجام گام اول که نزدیک به حد بالای تجزیه‌کننده غلظت گاز می‌باشد مقدار کافی از گاز ردیاب به منطقه تزریق شده و مخلوط می‌گردد. برای اطمینان از یکنواختی مخلوط آزمون‌هایی از حداقل دو نقطه در قسمت مرکز و دور از مرکز گرفته می‌شود. زمان نمونه‌برداری ثبت شده و هوای قسمت مرکز دو بار نمونه‌برداری شده و زمان‌های آن ثبت می‌گردند. جهت جلوگیری از گردش مجدد، هوای خروجی سامانه اندازه‌گیری باید به بیرون هدایت شود.



راهنما

- | | |
|-------------------------|--------------------------------|
| ۱ گام a | ۱ گاز ردیاب |
| ۲ گام b | ۲ جمع‌آوری داده، کنترل دوز گاز |
| ۳ گام c | ۳ دستگاه دوز گاز |
| ۴ گام d | ۴ وسیله اندازه‌گیری غلظت گاز |
| x زمان اندازه‌گیری غلظت | ۵ دمنده اختلاطی |
| y غلظت | ۶ بررسی توزیع فضایی |

شکل ۱- شمای کلی روش کاهش گاز ردیاب

۳-۳-۴ محاسبات روش غلظت خروجی کاهش یابنده و روش ضربه

در ۱-۳-۳-۴ و ۲-۳-۳-۴ محاسبات مربوط به روش‌های غلظت خروجی کاهش یابنده و ضربه شرح داده می‌شوند.

۱-۳-۳-۴ روش غلظت خروجی کاهش یابنده

نرخ جریان هوای ویژه از معادله ۲۱ و از توزیع یکنواخت غلظت در لحظه ابتدایی اندازه‌گیری و داده‌های غلظت در تهویه خروجی محاسبه می‌شود.

$$N = \frac{C(t_1)}{\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt} \quad (21)$$

$$\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt \approx \int_{t_1}^{t_2} C_E(t) dt + \frac{C_E(t_2)}{a} \quad (22)$$

$$\log_e C(t) = \log_e C(t_2) - a(t - t_2) \quad (23)$$

که در آن‌ها

N نرخ جریان هوای ویژه

$C_E(t)$ غلظت خروجی در لحظه t

$C(t_1)$ غلظت اندازه‌گیری شده در لحظه t_1

t_1 لحظه آغاز اندازه‌گیری، t_2 لحظه پایان اندازه‌گیری

a مقدار تخمینی مرتبط با کاهش غلظت بعد از t_2

برای محاسبه صورت سمت راست معادله ۲۱، تغییرات غلظت در لحظه‌های مختلف توسط یک برازش خطی تقریب زده می‌شود. به صورت عملی مشکل است که اندازه‌گیری قبل از اینکه غلظت تهویه خروجی به حد کافی کاهش یابد انجام پذیرد. بنابراین معادله ۲۱ با معادله ۲۲ تقریب زده می‌شود. مقدار تخمینی ضریب کاهش غلظت با معادله ۲۳ و استفاده از منحنی نیم لگاریتمی و برازش از داده‌های اندازه‌گیری شده‌ای که کاهش پایدار و خطی دارند محاسبه می‌شود.

۲-۳-۳-۴ روش ضربه

نرخ تهویه از معادله ۲۴ و حجم گاز ردیاب تزریق شده به اتاق و داده‌های غلظت تهویه خروجی محاسبه می‌شود.

$$Q_V = \frac{V_{gas}(t_1)}{\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt} \quad (24)$$

t زمان

t_1 لحظه آغاز اندازه‌گیری

$C_E(t)$	غلظت خروجی در لحظه t
Q_V	نرخ تهویه (مترمکعب بر ثانیه)
$V_{gas}(t_1)$	مقدار حجم گاز ردیاب تزریق شده به اتاق (مترمکعب بر ثانیه)
$C(t_1)$	غلظت اندازه‌گیری شده در لحظه t_1

برای محاسبه صورت سمت راست معادله ۲۴، تغییرات غلظت در لحظه‌های مختلف توسط یک برازش خطی تقریب زده می‌شود. زمانی که انجام اندازه‌گیری مشکل است، تا زمانی که غلظت تهویه خروجی به حد کافی کاهش یابد و تغییرات بعد از t_2 با معادله ۲۲ همانند روش کاهش یابنده تقریب زده شود آنگاه صورت معادله ۲۴ از معادله ۲۳ محاسبه می‌گردد.

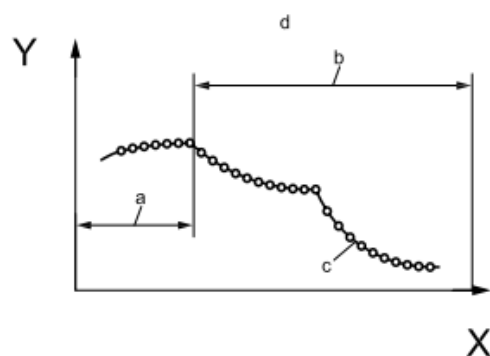
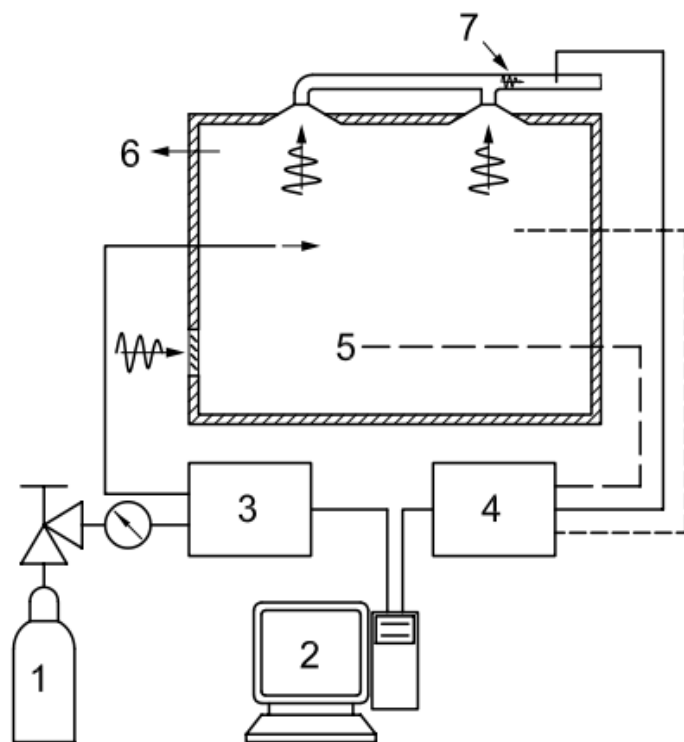
۴-۳-۴ دستورالعمل روش غلظت خروجی کاهشی و روش ضربه

در روش کاهش یابنده، پس از غلظت اولیه بالا فرایند کاهش غلظت برای زمان طولانی اندازه‌گیری می‌شود تا غلظت تقریباً برابر با شرایط شود. در روش ضربه دقیقاً قبل از تزریق گاز به منطقه در یک زمان گذرا، مقدار گاز تزریقی را اندازه‌گیری می‌کنند و غلظت موقع شارژ و شارژ مجدد گاز در یک زمان طولانی خوانده می‌شود تا به غلظت موجود در شرایط برسد. در صورتی که غلظت گاز مجزا قابل اندازه‌گیری باشد بازه زمانی اندازه‌گیری باید به حد کافی مثلاً در حد ۱ دقیقه باشد.

هر دو روش در عمل محدود به مناطقی هستند که دارای تجهیزات تخلیه مکانیکی هستند در نتیجه برای اندازه‌گیری تهویه غلظت خروجی باید در یک زمان طولانی و پیوسته اندازه‌گیری شود. شکل‌های ۲ و ۳ شمای کلی این روش‌ها را نشان می‌دهد. همچنین شرایطی که نرخ تهویه در طول زمان طولانی تغییر نکند مورد نیاز هستند. اگر چند مجرای تخلیه وجود داشته باشند غلظت خروجی متوسط جریان هوا باید حساب شود. جریان هوا در هر مجرا نامشخص است، به همین دلیل گاهی اوقات برای اندازه‌گیری غلظت خروجی متوسط وزنی می‌توان از غلظت نقطه اختلاط استفاده کرد که مجاری تخلیه به یک کانال تخلیه ادغام شده‌اند.

این روش‌های اندازه‌گیری نیازمند یکنواختی غلظت در مراحل ابتدایی هستند. مواردی که غلظت خروجی متوسط بدون یکنواختی غلظت در اتاق اندازه‌گیری می‌شود حالاتی هستند که در آن تهویه مکانیکی با دمنده تخلیه انجام پذیرفته و فشار داخلی در قیاس با فشار بیرونی منفی است. یعنی می‌توان از نشتی صرف‌نظر نمود و یا مواردی که حجم تخلیه مکانیکی که از قبل معلوم است نسبت به نرخ خروج بسیار بزرگتر باشد.

اما اگر اختلاط دستی انجام نگیرد باید احتیاط لازم در نظر گرفته شود. به عنوان مثال اگر مجرای خروجی در قسمت بالا و منبع تغذیه هوا در قسمت پایین منطقه باشد که باعث ایجاد اثر جریان جابجایی نزدیک شود، کاهش غلظت خروجی ممکن است در ابتدا کند و سپس وقتی که گاز درون منطقه توسط هوای تازه جایگزین شود سریعتر باشد. بنابراین اگر کاهش از زمان موثر اولیه تا پس از آن بدون اندازه‌گیری غلظت گاز در یک زمان طولانی باشد خطاهای بزرگی می‌تواند رخ دهد.

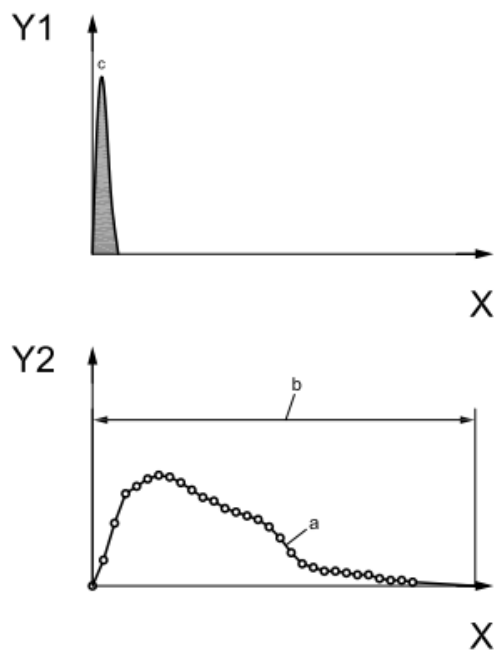
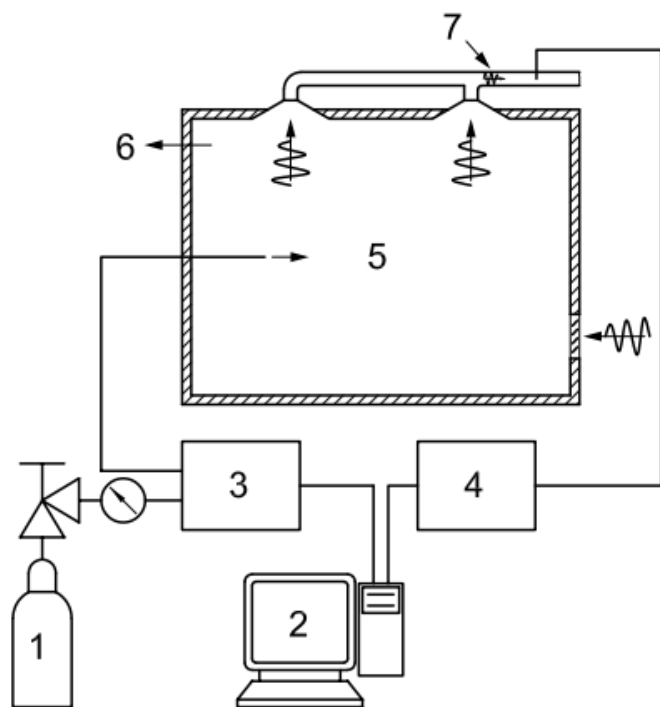


راهنما

X زمان سپری شده در حالت تهویه جابجایی، منحنی کاهش ممکن است تغییر کند
 Y غلظت
 a زمان گذرا
 b زمان زیادی نیاز است تا غلظت به حد کافی کاهش یابد
 c در حالت تهویه جابجایی، منحنی کاهش ممکن است بصورت ناگهانی تغییر کند
 d پس از تایید یکنواختی توزیع غلظت اتاق

۱ گاز ردیاب
 ۲ جمع‌آوری داده، کنترل میزان گاز
 ۳ دستگاه میزان گاز
 ۴ وسیله اندازه‌گیری غلظت گاز
 ۵ بررسی یکنواختی توزیع غلظت گاز اولیه
 ۶ وسیله تخلیه دیگری نباید باشد.
 ۷ غلظت تخلیه متوسط وزنی جریان هوا باید اندازه‌گیری شود.

شکل ۲- شمای کلی روش غلظت خروجی کاهش یابنده

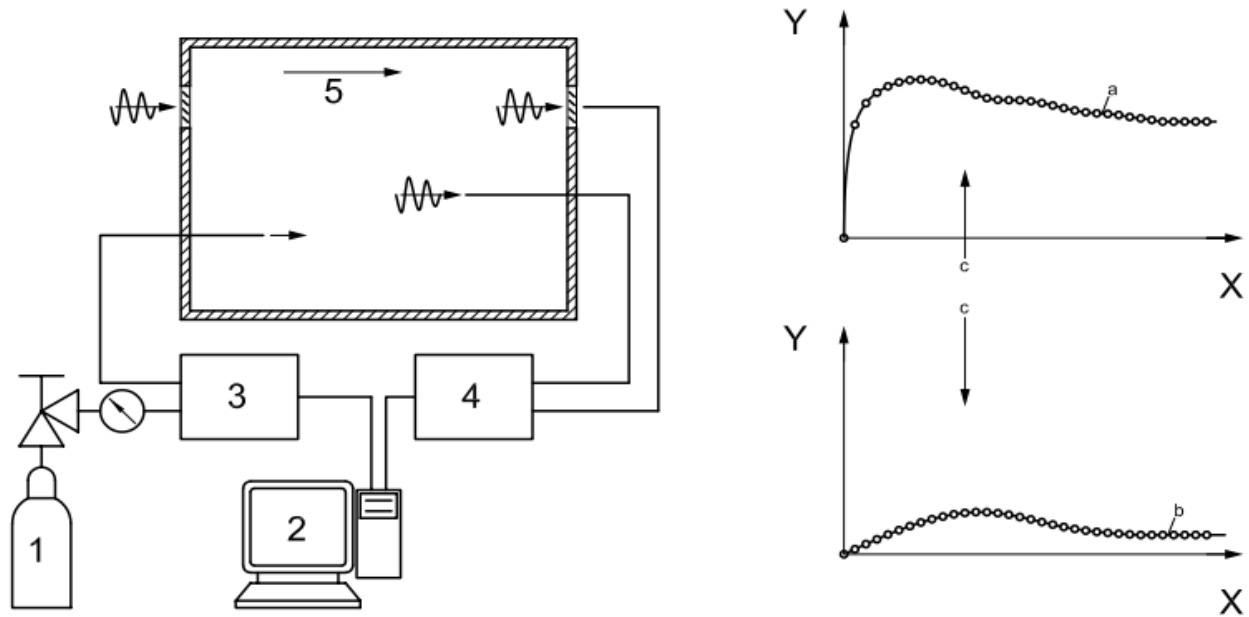


راهنما

- | | |
|---|--|
| ۱ گاز ردیاب | X زمان سپری شده |
| ۲ جمع‌آوری داده، کنترل دوز گاز | Y1 تغذیه گاز |
| ۳ دستگاه دوز گاز | Y2 غلظت |
| ۴ وسیله اندازه‌گیری غلظت گاز | a در حالت تهویه جابجایی، منحنی کاهش ممکن است بصورت ناگهانی تغییر کند |
| ۵ تنها برای تخلیه مکانیکی بکار می‌رود | b زمان زیادی نیاز است |
| ۶ وسیله تخلیه دیگری نباید باشد. | c مقدار مشخصی از گاز به‌صورت لحظه‌ای آزاد می‌شود |
| ۷ غلظت تخلیه متوسط وزنی جریان هوا باید اندازه‌گیری شود. | |

شکل ۳- کلی روش ضربه

حتی اگر جریان مدار کوتاه از مجرای تغذیه به مجرای تخلیه طبق شکل ۴ روی دهد مدت زمان اندازه‌گیری باید به حد کافی طولانی باشد تا تمام ویژگی‌های منحنی کاهشی نمایان شود. چون احتمال خطا به دلیل اینکه این امر در شرایط واقعی که منطقه اندازه‌گیری هدف تبدیل به منطقه تهویه ایستا می‌شود وجود دارد و باعث تاخیر در مشاهده کاهش غلظت و برش و محدودیت زمانی در اندازه‌گیری می‌شود. خطاها به این دلیل روی می‌دهد که کاهش غلظت پس از آن با برون‌یابی تقریب زده شده و منطقه به آسانی تحت تاثیر نوسانات و اغتشاشات قرار می‌گیرد.



راهنما)

- | | | |
|--------------------------------|---|-------------------------------------|
| ۱ گاز ردیاب | X | زمان سپری شده |
| ۲ جمع‌آوری داده، کنترل دوز گاز | Y | غلظت |
| ۳ دستگاه دوز گاز | a | غلظت در نقاط نشان داده شده در منطقه |
| ۴ وسیله اندازه‌گیری غلظت گاز | b | غلظت خروجی |
| ۵ مدار کوتاه | | |

شکل ۴- طرح کلی خطای اندازه‌گیری در جریان مدار کوتاه

۴-۴ روش اندازه پیوسته

۱-۴-۴ محاسبات میانگین روش غلظت معکوس

از طریق این روش نرخ تهویه میانگین از معادله زیر با اعمال میزان حجم گاز ردیاب از ابتدا تا انتهای آزمایش، یکنواختی غلظت هوای اتاق و حجم منطقه اختلاطی موثر به دست می‌آید.

$$\overline{Q_V} = \left[\frac{m}{C} \right] + \frac{V_{emz}}{t_2 - t_1} \log_t \frac{C(t_1)}{C(t_2)} \quad (25)$$

که در آن

t_1 لحظه آغاز اندازه‌گیری،

t_2 لحظه پایان اندازه‌گیری،

$C_E(t)$ غلظت خروجی در لحظه t ،

Q_V نرخ تهویه متوسط (مترمکعب بر ساعت)،

$$\left[\frac{m}{C} \right] = \left[\frac{m_1}{C_1} + \dots + \frac{m_k}{C_k} + \dots + \frac{m_n}{C_n} \right] / n$$

n تعداد دفعات اندازه‌گیری،

V_{efc} حجم منطقه اختلاطی موثر،

C_k امین اندازه‌گیری غلظت اتاق (مترمکعب بر مترمکعب،

m_k امین حجم میزان گاز ردیاب،

$C(t_1)$ غلظت اندازه‌گیری شده در لحظه t_1 ،

$C(t_2)$ غلظت اندازه‌گیری شده در لحظه t_2 است.

داده‌های مربوط به میزان گاز ردیاب را بلافاصله پس از تزریق نباید استفاده نمود. بلکه پس از تغذیه گاز در منطقه باید شروع کرد و نرخ جریان هوای ویژه متوسط را در t_1 بر مبنای آزمون و خطا حساب نمود و نتایج محاسبات نرخ تهویه پس از رسیدن به حالت پایدار مورد قبول می‌باشند.

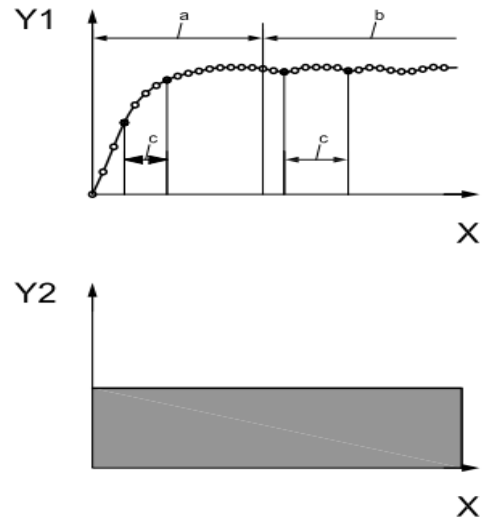
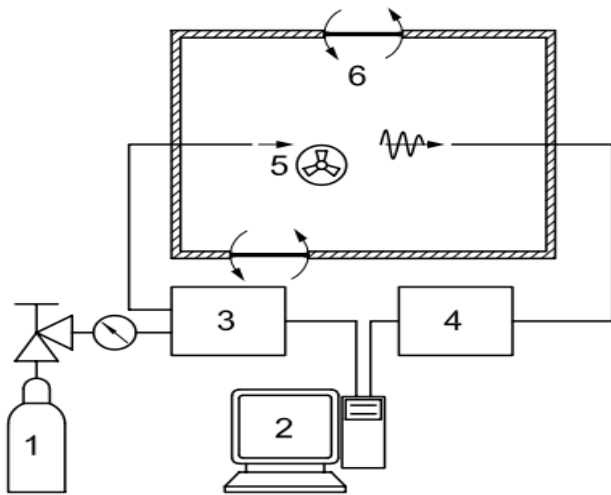
۴-۴-۲ دستورالعمل روش غلظت معکوس متوسط

در این روش گاز ردیاب در یک نرخ ثابت به منطقه تزریق می‌گردد تا توزیع یکنواختی از غلظت در آن شکل گیرد. پس از تثبیت غلظت گاز، نرخ تهویه متوسط از مجموع نسبت نرخ تزریق گاز ردیاب بر غلظت گاز در بین دو نقطه زمانی به دست می‌آید.

بنابراین بهتر است هم نرخ تزریق گاز ردیاب و هم غلظت گاز به صورت پیوسته اندازه‌گیری شوند. ولی اگر اندازه‌گیری در زمان‌های گسسته انجام گیرد بازه‌های زمانی باید در حدود یک دقیقه در نظر گرفته شوند تا خطا به حداقل برسد. جهت صحت‌سنجی نرخ تهویه گذرا در طول زمان، حداقل در دو محدوده اندازه‌گیری باید انجام گیرد.

شکل ۵ روش این آزمون را نشان می‌دهد. برای تایید اتمام فرایند افزایش غلظت گاز و به دلیل تغییرات غلظت و لزوم دانستن مقدار مجموع نرخ تغذیه گاز دستگاهی لازم است تا اندازه‌گیری را به صورت پیوسته ثبت کند. علاوه بر این وجود یک دستگاه اندازه‌گیری چند نقطه‌ای فضایی برای تایید یکنواختی غلظت در منطقه مطلوب است. به‌طور نمونه سی دقیقه به عنوان بازه‌های زمانی اندازه‌گیری مناسب است.

نرخ تزریق گاز ردیاب باید به گونه‌ای تنظیم شود که خطا در محدوده ۲ درصدی غلظت هدف قرار داشته و همچنین غلظت در حدود قابل تشخیص برای تجزیه کننده گاز باشد. اختلاط گاز در منطقه باید طوری باشد که تغییرات غلظت در منطقه از دو درصد تجاوز نکنند.



X زمان سپری شده
Y1 غلظت
Y2 تغذیه گاز
a قابل استفاده
B توصیه شده

راهنما
۱ گاز ردیاب
۲ جمع‌آوری داده، کنترل دوز گاز
۳ دستگاه دوز گاز
۴ وسیله اندازه‌گیری غلظت گاز
۵ دمنده جهت اختلاط
۶ نوسانات تهویه مجاز است

شکل ۵- طرح کلی روش غلظت معکوس متوسط

۳-۴-۴ محاسبات روش غلظت متوسط

نرخ تهویه از وارد کردن غلظت میانگین از اندازه‌گیری در دو لحظه ابتدایی و انتهایی و یا اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای ابتدا و انتها به معادله (۲۶) محاسبه می‌شود.

$$Q_v = \frac{\bar{m}}{C} - \frac{V_{efc}}{t_2 - t_1} \left[\frac{C(t_2) - C(t_1)}{\bar{C}} \right] \quad (26)$$

که در آن

t_1 لحظه آغاز اندازه‌گیری

t_2 لحظه پایان اندازه‌گیری

$C_E(t)$ غلظت خروجی در لحظه t

Q_v نرخ تهویه متوسط (مترمکعب بر ساعت) است.

\bar{m} نرخ میانگین تغذیه گاز ردیاب (مترمکعب بر مترمکعب) است.

\bar{C} غلظت میانگین اتاق (مترمکعب بر مترمکعب) است.

n تعداد دفعات اندازه‌گیری

V_{efc} حجم منطقه اختلاطی موثر

$k C_k$ امین اندازه گیری غلظت اتاق (مترمکعب بر مترمکعب) است.

$k m_k$ امین حجم میزان گاز ردیاب

$C(t_1)$ غلظت اندازه گیری شده در لحظه t_1

$C(t_2)$ غلظت اندازه گیری شده در لحظه t_2 است.

موقع استفاده از این روش با توجه به روش غیر فعال، $C(t_1)$ و $C(t_2)$ قابل اندازه گیری نیستند در نتیجه برآورد مرتبه باید برای قسمت راست معادله (۲۷) انجام گیرد تا عبارت دوم قسمت راست معادله (۲۹) قابل صرف نظر کردن باشد. یعنی زمان متوسط به حد کافی بزرگی باید استفاده شود و یا اندازه گیری لحظه ابتدایی پس از پایداری سامانه صورت گیرد.

$$t_2 - t_1 \square \frac{\bar{C}}{m} V_{efc} \quad (27)$$

$$t_2 - t_1 \square \frac{C(t_2) - C(t_1)}{m} V_{emz}$$

در این مورد معادله (۲۸) استفاده می شود تا نرخ تهویه به دست آید.

$$Q_v = \frac{\bar{m}}{C} \quad (28)$$

که در آن

t_1 لحظه آغاز اندازه گیری

t_2 لحظه پایان اندازه گیری

Q_v نرخ تهویه متوسط (مترمکعب بر ساعت) است.

\bar{m} نرخ میانگین تغذیه گاز ردیاب (مترمکعب بر مترمکعب) است

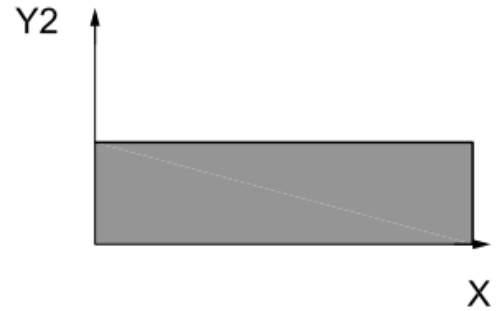
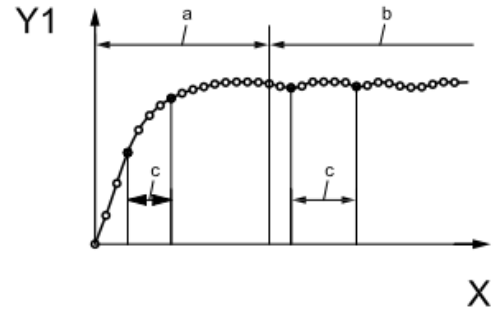
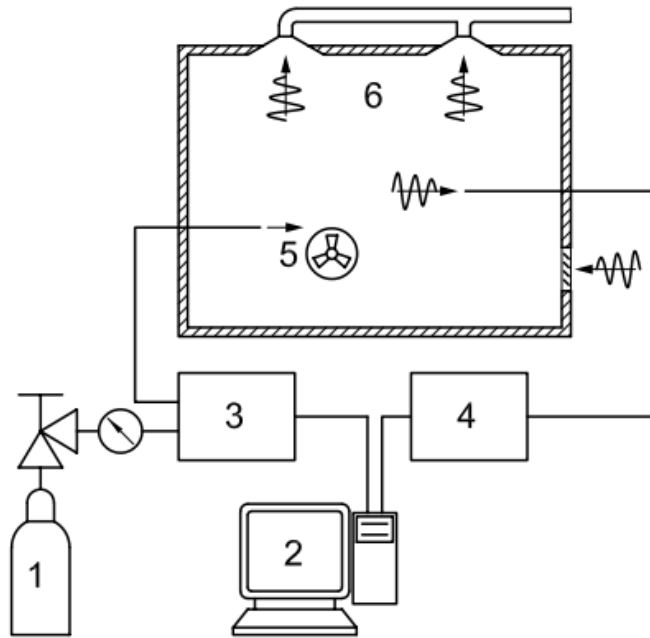
\bar{C} غلظت میانگین اتاق (مترمکعب بر مترمکعب) است.

۴-۴-۴ دستورالعمل روش غلظت متوسط

این فرایند در شکل ۶ نمایش داده شده است. در حالی که روش غلظت معکوس بر پایه است $\frac{\bar{m}}{C}$ که همان

میانگین نسبت های نرخ تغذیه گاز بر غلظت آن در معادله (۱۲) می باشد، روش غلظت متوسط بر پایه $\frac{\bar{m}}{C}$ است

که در آن همان گونه که در معادله (۱۴) مشاهده می شود میانگین گیری از غلظت و نرخ تغذیه به صورت جداگانه انجام می پذیرد.



راهنما)

X زمان سپری شده
Y1 غلظت
Y2 تغذیه گاز
a قابل استفاده
b توصیه شده

۱ گاز ردیاب
۲ جمع‌آوری داده، کنترل دوز گاز
۳ دستگاه دوز گاز
۴ وسیله اندازه‌گیری غلظت گاز
۵ دمنده جهت اختلاط
۶ فقط در تهویه مکانیکی دارای کاربرد است

شکل ۶- طرح کلی روش غلظت متوسط

۵-۴-۴ محاسبات روش غلظت ایستا

در این روش از معادله (۲۹) برای محاسبه نرخ تهویه استفاده می‌شود در حالی که گاز به صورت یکنواخت به اتاق تزریق شده و غلظت در آن به صورت ایستا شده است. اگر غلظت‌های خروجی در چندین نوبت اندازه‌گیری شده باشند میانگین آنها به معادله اعمال می‌شود.

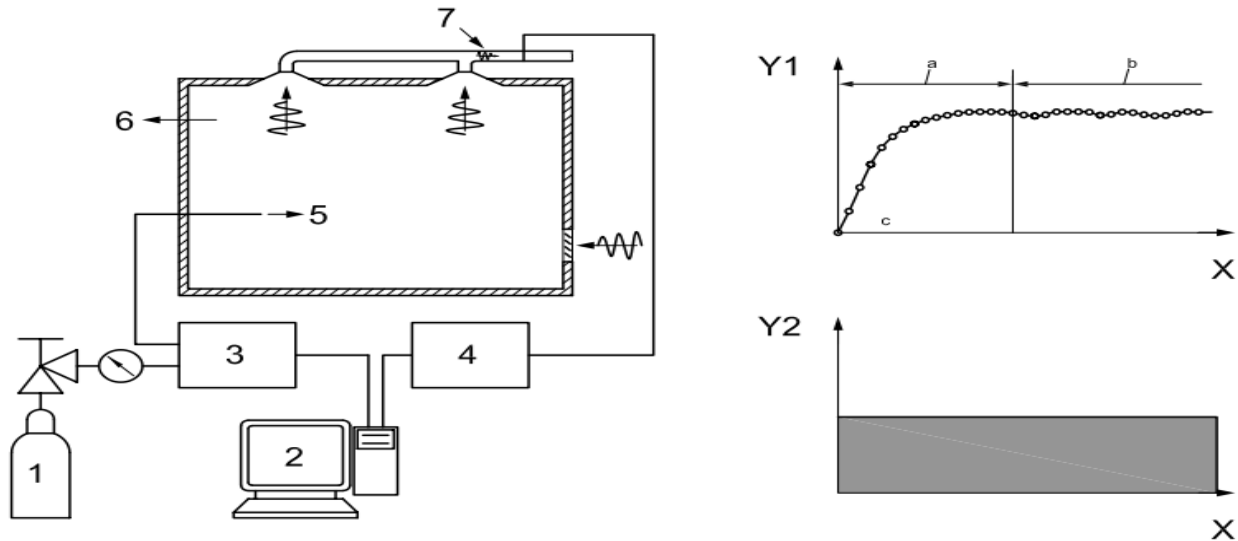
$$Q_v = \frac{m}{C_E} \quad (29)$$

Q_v نرخ تهویه (مترمکعب بر ساعت) است.
 m نرخ تغذیه گاز ردیاب (مترمکعب بر مترمکعب) است.
 C غلظت خروجی ایستای اتاق (مترمکعب بر مترمکعب) است.

۶-۴-۴ دستورالعمل روش غلظت ایستا

این روش در جایی استفاده می‌شود که سامانه تهویه مکانیکی در آن نصب شده باشد. گاز ردیاب در یک نرخ جریان ثابت و با اندازه‌گیری آن به منطقه تزریق می‌شود. زمانی که حالت ایستا حاصل شود، نرخ تزریق گاز و غلظت خروجی ایستا اندازه‌گیری می‌شوند. شمای کلی در شکل ۷ مشاهده می‌شود. برای اندازه‌گیری دقیق غلظت خروجی ایستا، این غلظت باید برای یک مدت طولانی به صورت پیوسته اندازه‌گیری شود. شرایطی وجود دارند که عدم تغییر نرخ تهویه در طول زمان را تضمین کنند. اگر چند مجرای خروجی وجود داشته باشند غلظت خروجی متوسط جریان هوا باید اندازه‌گیری شود. اگرچه جریان هوا در هر مجرای خروجی مشخص نیست ولی این امر امکان‌پذیر است که غلظت خروجی متوسط جریان هوا با در نظر گرفتن نقطه اندازه‌گیری در پایین دست نقطه اختلاط که چند مجرا به یک مجرا ادغام می‌شوند اندازه‌گیری شوند.

در این روش نیازی نیست که توزیع غلظت یکنواخت باشد. این روش در زمانی قابل اعمال است که غلظت خروجی اندازه‌گیری شده بش از ۹۰ درصد غلظت هوای تخلیه‌ای باشد که منطقه را ترک می‌کنند. این وضعیت مواقعی قابل تشخیص است که تخلیه بصورت سامانه تهویه و یا سامانه تهویه بالانس شده با نرخ جریان هوای بزرگ برای دمنده تخلیه نصب شده باشد به طوری که فشار داخل اتاق در قیاس با بیرون فشار منفی و یا منطقه هوا بند باشد.



راهنما

- | | |
|---|--|
| ۱ | گاز ردیاب |
| ۲ | جمع‌آوری داده، کنترل میزان گاز |
| ۳ | دستگاه میزان گاز |
| ۴ | وسيله اندازه‌گیری غلظت گاز |
| ۵ | نرخ خروج هوای کوچک و قابل صرف نظر |
| ۶ | غلظت خروجی متوسط وزنی جریان هوا باید اندازه‌گیری شود |

شکل ۷- طرح کلی روش غلظت ایستا

۵-۴ روش غلظت ثابت

۱-۵-۴ محاسبات روش غلظت ثابت

این روش در شرایطی نرخ تهویه گذرا را از معادله زیر به دست می‌آورد که توزیع غلظت در یک مقدار ثابت و به صورت یکنواخت کنترل شده باشد. اگر منطقه‌ای با فضاهایی که غلظت در آنها دارای مقدار یکسان است وجود داشته باشد توسط این روش تعیین نرخ جریان هوای ترکیبی از فضاهای گوناگون ساختمان امکان‌پذیر است.

$$Q_v(t) = \frac{m(t)}{C(t)} \quad (30)$$

برای محاسبه دقت نرخ تهویه آنی، لازم است تا غلظت اتاق در مجاورت غلظت هدف نگه داشته شود بنابراین معادله (۳۱) زمانی استفاده می‌شود که نرخ جریان هوای ویژه متوسط نیاز باشد.

$$\overline{Q_v} = \frac{\overline{m}}{\overline{C}} \quad (31)$$

که در آن

Q_v	نرخ تهویه متوسط (مترمکعب بر ساعت) است
\overline{m}	نرخ میانگین تغذیه گاز ردیاب (مترمکعب بر مترمکعب) است
\overline{C}	غلظت میانگین اتاق (مترمکعب بر مترمکعب) است
n	تعداد میزان گاز ردیاب
C_k	k امین اندازه‌گیری غلظت اتاق (مترمکعب بر ساعت) است
m_k	k امین حجم میزان گاز ردیاب است.

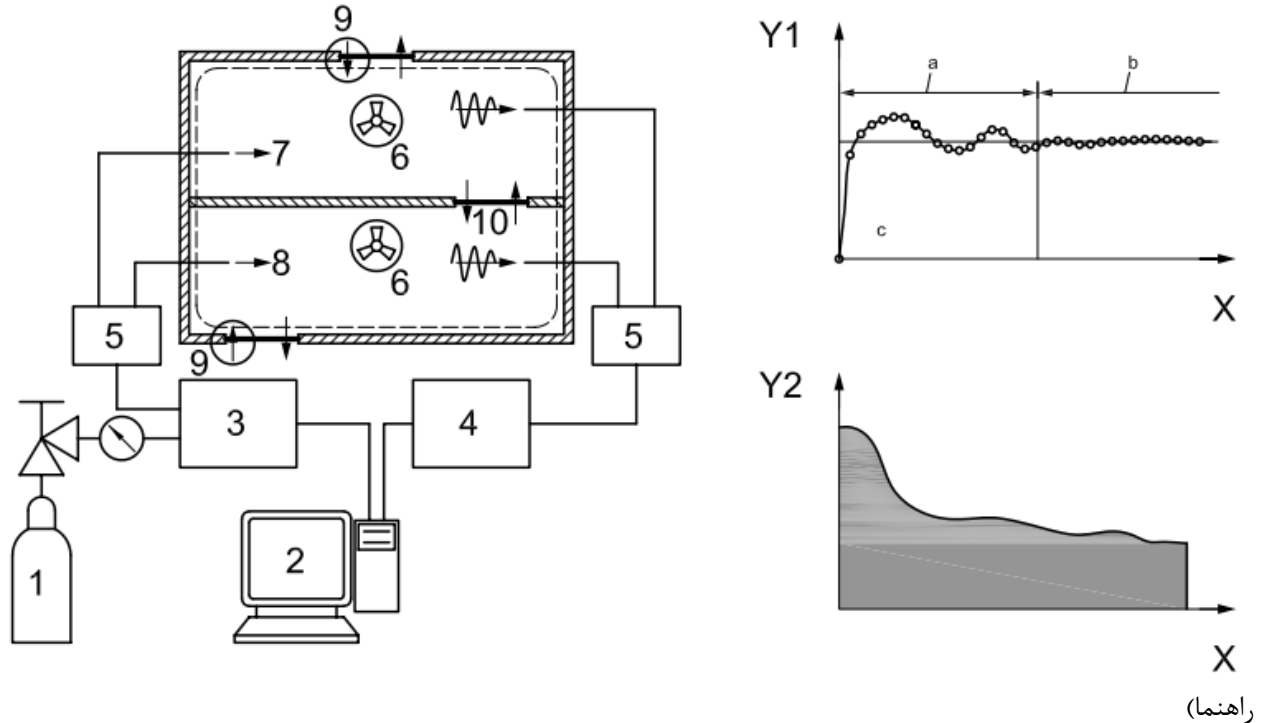
۲-۵-۴ دستورالعمل روش غلظت ثابت

عموماً مقدار گاز ردیاب موقع تزریق به منطقه‌ای با زیرفضاها به گونه‌ای کنترل می‌شود که غلظت در هر فضا ثابت و یکنواخت باشد. اختلاط گاز ردیاب به صورتی است که غلظت یکنواخت بوده و توزیع در هر منطقه بیش از ۱۰ درصد نشود و تفاوت بین مناطق بیش از ۵ درصد نباشد. مقدار جریان هوا از بیرون به داخل منطقه بدون گذشتن از مناطق متصل از مقدار گاز تزریق شده و غلظت ثابت اندازه‌گیری شده به دست می‌آید.

شکل ۸ این روش آزمون را نشان می‌دهد. اهمیت دارد که مقدار غلظت اندازه‌گیری شده که برای محاسبه نرخ تهویه به کار می‌رود به اندازه مقدار تثبیت شده و پایدار غلظت هدف باشد. همچنین لازم است تا اندازه‌گیری را ادامه دهیم تا مطمئن شویم مقدار غلظت ثابت شده است. وقتی اندازه‌گیری به صورت گسسته انجام می‌شود لازم است تا در هر فضا اندازه‌گیری هر چند دقیقه انجام گیرد.

زمانی که روش غلظت ثابت برای اندازه‌گیری‌های بلند مدت مورد استفاده قرار می‌گیرند، زمان اندازه‌گیری باید به چند زمان کوتاهتر تقسیم شود، مثلاً ۳۰ دقیقه، و نتایج برای هر یک از زمان‌ها مورد تحلیل قرار گیرند تا روند کلی تغییرات نرخ جریان هوا نسبت به آب و هوا و یا عوامل دیگر بررسی شوند.

زمانی که غلظت گاز به عنوان متغیر کنترلی و نرخ جریان گاز به عنوان متغیر عملکردی در یک فرایند دارای پسخورد استفاده می‌شوند، یک الگوریتم کنترلی نیاز است تا انحراف از غلظت هدف را به حداقل برساند. برای ایجاد غلظت ثابت، کنترل تطبیقی و یا کنترل تناسبی، انتگرالی، دیفرانسیلی می‌توانند استفاده شوند.



۸ اتاق B
 X زمان سپری شده
 Y1 غلظت
 Y2 تغذیه گاز
 a حالت گذرا
 b مقدار قابل استفاده
 c نباید استفاده شود

راهنما)
 ۱ گاز ردیاب
 ۲ جمع‌آوری داده، کنترل میزان گاز
 ۳ دستگاه دوز گاز
 ۴ وسیله اندازه‌گیری غلظت گاز
 ۵ تغییر مسیر
 ۶ دمنده جهت اختلاط
 ۷ اتاق A

شکل ۸- طرح کلی روش غلظت ثابت

۵ دقت

بر پایه غلظت گاز ردیاب، دقت نرخ تهویه/ نرخ جریان هوای ویژه که از معادلات این بند به دست می‌آیند تابع عوامل زیر هستند:

الف- میزان گاز ردیاب و نحوه توزیع غلظت آن در منطقه

ب- روش نمونه برداری گاز ردیاب و ذخیره سازی آن

پ- وسیله اندازه گیری غلظت گاز ردیاب

ت- تغییرات مربوط به باد، دمای بیرون و برنامه سامانه HVAC

خطاهای مربوط به عوامل بالا به طور عمده نسبت داده می شوند به (۱) خطا در اندازه گیری غلظت (۲) خطا در غیریکنواختی توزیع غلظت به دلیل عدم اختلاط کافی. تاثیر خطای اندازه گیری غلظت در نرخ تهویه/ نرخ جریان هوای ویژه بسته به روش اندازه گیری تفاوت می کند. اما اگر انحراف معیار خطای غلظت معلوم باشد، خطای نرخ تهویه/ نرخ جریان هوای ویژه را با استفاده از قانون انتشار خطا می توان تخمین زد. همچنین امکان پذیر است از تحلیل های فواصل اطمینان را انجام داد. پیوست A روشی را نشان می دهد که با آن فواصل اطمینان برای چندین روش اندازه گیری را می توان محاسبه نمود.

۱-۵ دستورالعمل اندازه گاز ردیاب و توزیع غلظت اتاق

با توجه به روش اندازه گیری جدول ۱، توزیع غلظت در اتاق با روش اندازه گاز ردیاب و ویژگی های جریان هوا ممکن است خطاهایی را نرخ تهویه بروز دهد. در روش های ضربه و اندازه پیوسته خطا در میزان گاز ردیاب مستقیماً بر نرخ تهویه اثر می گذارد بنابراین کنترل دقت آن مهم می باشد. برای مشاهده تاثیر توزیع غلظت اتاق بر نرخ تهویه تخمینی به بند ۴ مراجعه شود.

۲-۵ نمونه برداری گاز ردیاب و روش ذخیره سازی

نقاط نامناسب نمونه برداری تاثیر مهمی بر غلظت در یک منطقه و خروجی تهویه می گذارد. در بحث خطاهای غلظت باید احتیاط لازم را داشته باشیم که این خطاها ممکن است از عامل جذب سطحی در لوله ها و نوع گاز باشد. در مورد مواد لوله های اتصالی به بند (۴-۵) مراجعه شود.

۳-۵ دستگاه های اندازه گیری غلظت گاز ردیاب

۱-۳-۵ کلیات

جهت داشتن داده ای اندازه گیری دقیق از غلظت بسیار مهم است که تجزیه کننده گاز ردیاب کنترل شود. کیفیت تجزیه کننده گاز ردیاب بر مبنای ویژگی های آن شامل وضوح، دقت، انحراف و معادله آن با غلظت گاز ردیاب استفاده شده تعیین می شود. برای حفظ دقت دستگاه در مواقع مناسب باید واسنجی شود. موارد زیر در مورد دقت کنترل دستگاه تجزیه کننده بحث می کند.

۲-۳-۵ وضوح^۱

حداقل غلظت گاز ردیاب مورد استفاده بر پایه وضوح دستگاه تجزیه کننده صورت می گیرد و باید حداقل ۲۰ برابر وضوح باشد.

۵-۳-۳ انحراف (خطا) تجزیه‌کننده گاز ردیاب

برای اندازه‌گیری بلندمدت دستگاه غلظت‌سنج با خطای حداقل باید انتخاب شود. اگر در مورد انحراف دستگاه نگرانی وجود داشته باشد، غلظت گاز استاندارد در هر لحظه باید اندازه‌گیری شده و داده‌های اندازه‌گیری شده با آن تصحیح شوند. اما اگر خطا از ۵ درصد گاز استاندارد تجاوز کند داده اندازه‌گیری شده نباید تصحیح شده و دستگاه اندازه‌گیری کننده واسنجی شود.

۵-۳-۴ دقت تجزیه‌کننده گاز ردیاب

بهتر است تجزیه‌کننده گاز ردیاب به گونه‌ای انتخاب شود که اختلاف غلظت آن و غلظت گاز استاندارد موقع اندازه‌گیری گاز استاندارد واسنجی شده از ۵ درصد غلظت در محدوده استفاده شده تجاوز نکند.

۵-۳-۵ واسنجی تجزیه‌کننده گاز ردیاب

تجزیه‌کننده گاز ردیاب باید حداقل در دو غلظت در محدوده قابل انتظار اندازه‌گیری شود. اگر تجزیه‌کننده پاسخ خطی نداشته باشد و یا پاسخ آن معلوم نباشد، بیش از سه غلظت برای واسنجی مورد نیاز می‌باشند. واسنجی اصولاً باید قبل از انجام اندازه‌گیری‌ها صورت گیرد. وقتی روش غلظت ثابت به کار برده شود، واسنجی قبل و بعد از اندازه‌گیری انجام می‌گیرد ولی اگر دیگر روش‌ها به کار روند به منظور رفع نگرانی در مورد تاثیرات انحراف، واسنجی پس از اتمام اندازه‌گیری‌ها هم انجام می‌پذیرد. غلظت گاز استاندارد اندازه‌گیری می‌شود و مقدار آن بررسی می‌شود تا عدم وجود خطا تایید شود. در صورت وجود خطا مقدار خطا در حین اندازه‌گیری تخمین زده شده و غلظت اندازه‌گیری شده تصحیح می‌گردد. اما اگر مقدار انحراف بیش از ۵ درصد باشد بهتر است ابتدا واسنجی انجام گرفته و سپس اندازه‌گیری صورت پذیرد.

۵-۳-۶ استاندارد غلظت گاز

غلظت گاز استاندارد برای واسنجی باید در حدود ۳ درصد غلظت نامی در احتمال ۹۵ درصد باشد. همانگونه که بیان شد، اندازه‌گیری دقیق غلظت برای محاسبه نرخ تهویه بسیار مهم می‌باشد. اما به دلیل طبیعت انتشار خطا، احتیاط‌های لازم برای بررسی شرایط مناسب پیش از اندازه‌گیری مانند بازه زمانی اندازه‌گیری و حجم نرخ گاز تولیدی باید انجام گیرد.

۵-۴ تغییرات در باد و دمای هوای بیرون و برنامه سامانه تهویه مطبوع

محتمل است که تغییرات نرخ تهویه می‌تواند ناشی از تغییرات سرعت باد در محیط بیرون، دمای بیرون، دمای اتاق و برنامه سامانه تهویه مطبوع در منطقه هدف باشد. بسته به اینکه نیروی محرک تهویه چگونه تعیین می‌شود، نرخ تهویه ممکن است تغییر نماید. حتی در اتاق‌های با سامانه تهویه مکانیکی بسته به نوع سامانه تهویه مطبوع، مانند اینکه چه موقع سامانه با حجم هوای متغیر است، احتمال دارد از سرعت باد متاثر باشد. قبل از اندازه‌گیری تغییرپذیری نرخ تهویه باید بررسی شده و اگر وجود تغییرات پیش‌بینی شود روش‌های اندازه‌گیری که اجازه این تغییرات را می‌دهد انتخاب گردد.

۶ گزارش آزمون

۱-۶ کلیات

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف- اطلاعات در مورد شرایط خاصی که اندازه‌گیری‌ها انجام شده‌اند به‌خصوص سازه ساختمان و پوسته خارجی آن

ب- اطلاعات در مورد تهویه و دهانه‌های باز شو آن، سامانه تهویه مطبوع

پ- توصیف اینکه اندازه‌گیری طبق دفترچه مشخصات بیان شده انجام گرفته است

ت- روش اندازه‌گیری و تجهیزات به کار رفته

ث- داده‌های جمع‌آوری شده و نتایج اندازه‌گیری

ج- تاریخ انجام اندازه‌گیری

قسمت زیر مثال‌هایی از محتویات گزارش بر پایه موارد ذکر شده را نشان می‌دهد.

۲-۶ تمام جزئیاتی لازم برای شناسایی شبیه‌سازی آزمون

الف- استفاده، ابعاد، ترکیب دیوارها، پنجره‌ها، درها، سقف، پی، ارتفاع کلی پوسته خارجی و اجزای مهم آن در تصاویر

ب- اطلاعات ساختمان شامل نام و آدرس

پ- توصیف مکان شامل نقشه احداث بنا، جاده‌ها، عوارض زمین، موانع اصلی جریان هوا، جهت ساختمان و مکان ایستگاه هواشناسی

ت- توصیف منطقه شامل پلان، کروکی و حجم

۳-۶ جزئیات گرمایش و تهویه سامانه‌ها

الف- گرمایش، تهویه و سامانه تهویه مطبوع شامل نوع، ظرفیت و روش تهویه

ب- تهویه مکانیکی شامل نوع، ظرفیت و جایگاه دمنده‌ها

پ- تهویه طبیعی شامل نوع، ابعاد، تعداد و جایگاه درها، پنجره‌ها، دهانه‌های باز شو، دود روها و دیگر دهانه‌های تهویه طبیعی

ت- نوع، تعداد، اندازه و جایگاه دهانه‌های ورودی و خروجی هوای بیرونی

ث- مکان‌های وجود نشتی که توسط دمانگاری مادون قرمز و نفوذ سنج‌ها معین می‌شوند

۴-۶ شرایط آزمون و دستگاه

الف- هدف آزمون

ب- روش آزمون شامل کاهش غلظت، اندازه (میزان) پیوسته و یا غلظت ثابت

پ- توزیع گاز ردیاب شامل نوع گاز، روش تزریق، حجم تزریق اولیه، مکان تزریق، غلظت اولیه، سامانه اندازه‌گیری حجمی، نرخ تزریق، غلظت هدف و روش پخش می‌باشد.

ت- نمونه برداری گاز ردیاب شامل جایگاه نمونه برداری، روش آزمون فضایی، بازه های نمونه برداری، زمان نمونه برداری اولیه، روش نمونه برداری و روش آزمون از رقیق سازی یا عدم خلوص در منطقه و سامانه نمونه برداری

ث- تجزیه کننده گاز شامل نوع تجزیه و تاریخ، روش و نتایج واسنجی می باشد

ج- داده گیری و کنترل شامل فرمت کسب و ثبت داده و برای روش آزمون غلظت ثابت نوع تجهیزات و الگوریتم کنترل فرایند گزارش شود.

چ- اندازه گیری های فرعی شامل روش کسب دماهای داخل و خارج، سرعت و جهت باد، دیگر مشاهدات هواشناسی، ارتفاع و مکان اندازه گیری باد، روش های اندازه گیری دیگر پدیده ها و مکان در و دمپر می باشد

۵-۶ داده های جمع آوری شده و نتایج

الف- ثبت تزریق گاز ردیاب شامل زمان، مکان و مقدار

ب- ثبت غلظت گاز ردیاب شامل زمان، مکان و غلظت نمونه ها که برای آزمون های ناخالصی، یکنواختی غلظت، تعادل و جریان هوای ویژه به کار می روند.

پ- محاسبه جریان هوای ویژه شامل نوع محاسبات، بازه زمانی محاسبات و محاسبه N و یا Q_v از غلظت و داده های تزریق می باشد.

یادآوری- در محاسبه عدم قطعیت به پیوست الف رجوع شود.

ت- اطلاعات فرعی شامل جهت و سرعت باد و دمای داخل و خارج

۶-۶ داده های آزمون

بازه زمانی آزمون در شرایط محیطی داخلی و بیرونی در آغاز و پایان.

پیوست الف

(الزامی)

فاصله اطمینان

الف- ۱ کلیات

این پیوست در مورد فواصل اطمینان برای محاسبات نرخ جریان هوای ویژه با روش کاهش چند نقطه‌ای که نوعی از روش کاهش غلظت است، نرخ تهویه با روش غلظت متوسط که نوعی از روش اندازه پیوسته است و نرخ تهویه با روش غلظت ثابت بحث می‌کند. دقت نتایج نرخ تهویه با دستورالعمل آماری و در یک بازه احتمالاتی بیان می‌شوند. این بازه به عنوان فاصله اطمینان و احتمال به عنوان سطح اطمینان شناخته می‌شود.

الف- ۲ روش کاهش چند نقطه‌ای

غلظت ناشی از تهویه می‌تواند در طول زمان تغییر نماید. برای تحلیل اینکه تا چه درجه‌ای می‌توان آن را در روش کاهش چند نقطه‌ای با تغییرات در زمان توصیف نمود از روش رگرسیون استفاده می‌شود. با دستورالعمل زیر سطح اطمینان برای نرخ جریان هوای ویژه N به عنوان یک مقدار ثابت به صورت آماری بیان شده است. جزئیات روش رگرسیون در ادبیات فن ۲ آمده است. روش رگرسیون هر زمان اندازه‌گیری شده t_i را به عنوان یک متغیر مستقل و غلظت C را به عنوان متغیر در نظر گرفته و نرخ جریان هوای ویژه از ضریب رگرسیون برای هر متغیر مستقل t_i محاسبه می‌شود.

خطای استاندارد پیش‌بینی شده E_N برای ضریب رگرسیون متناظر با نرخ جریان هوای ویژه محاسبه می‌گردد. خطای استاندارد ریشه دوم واریانس میانگین مقادیر محاسبه شده است یعنی در واقع انحراف معیار میانگین نمونه است و نشانگر واریانس میانگین می‌باشد. با فرض اینکه خطاها در معادله رگرسیون به صورت نرمال توزیع شده‌اند، خطای استاندارد ضریب رگرسیون متناظر نرخ جریان هوای ویژه از معادله (الف-۱) به دست می‌آید.

$$E_N = \frac{s}{\sqrt{\sum_{i=1}^k (t_i - \bar{t})^2}} \quad (\text{الف-۱})$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})^2}{k - 2} \quad (\text{الف-۲})$$

که در آن

Y_i مقدار اندازه‌گیری شده $\ln C_i$

Y_i مقدار تخمینی $\ln C_i$

t_i زمان اندازه‌گیری هر نمونه بر حسب ثانیه یا ساعت،

\bar{t} مقدار میانگین زمان‌های اندازه‌گیری شده و
 k تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

s مقداری است که توسط درجه آزادی $k-2$ در خطا می‌باشد

در معادله رگرسیون برای جمعیت نمونه اندازه‌گیری شده با فرض توزیع نرمال تنظیم می‌شود. واریانس غلظت جمعیت از قبل مشخص نیست بنابراین جایگزین واریانس مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت می‌شود یعنی نمونه تقسیم بر درجه آزادی $k-2$ می‌شود. دو به این دلیل کسر می‌شود که دو درجه آزادی برای محاسبه دو ضریب رگرسیون استفاده می‌شود.

فاصله اطمینان F_N برای نرخ جریان ویژه N و برای سطح اطمینان $100(1-\alpha)$ در برابر k واحد از گروه نمونه در معادله الف-۳ با استفاده از جدول توزیع t بیان شده است زیرا سطح آزادی $k-2$ است. در اینجا جدول توزیع t به این دلیل استفاده شده است که اندازه نمونه به حدکافی بزرگ نیست و E_N مقداری نیست که مستقیماً از مقدار اندازه‌گیری شده محاسبه گردد.

$$F_N(t) = N \pm E_N t(k-2, 1-\alpha) \quad (\text{الف-۳})$$

که در آن t مقداری است که از جدول توزیع t بدست آمده است، $1-\alpha$ سطح اطمینان N و k تعداد نمونه‌هاست.

جدول الف- جدول توزیع t

سطح آزادی	α				
	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845

الف-۳ روش غلظت متوسط

دستورالعمل زیر سطح اطمینان آماری را برای نرخ تهویه مقدار ثابت محاسبه شده در یک زمان طولانی نشان می‌دهد. واریانس پیش‌بینی شده برای غلظت C از معادله الف-۴ به عنوان تخمینی از واریانس جمعیت که همان

واریانس نارایب است تعیین می‌شود. در اینجا، عبارت دوم صورت در قسمت راست به فرم یک کسر در آمده است

$$\text{که عبارت } \frac{\sum_{i=1}^k C_i}{k} \text{ تغییر یافته است.}$$

$$s^2 = \frac{k \sum_{i=1}^k C_i^2 - \left[\sum_{i=1}^k C_i \right]^2}{k(k-1)} \quad (\text{الف-۴})$$

سطح اطمینان به عنوان مثال $\alpha=0.05$ و $1-\alpha=0.95$ است. با توزیع t حد پایین و بالای C در ارتباط با میانگین C در $t(k-1, 1-\alpha)$ از روابط الف-۵ و الف-۶ محاسبه می‌شوند.

$$C_{up} = \bar{C} + t(k-1, 1-\alpha) \cdot \frac{s}{\sqrt{k-1}} \quad (\text{الف-۵})$$

$$C_{low} = \bar{C} - t(k-1, 1-\alpha) \cdot \frac{s}{\sqrt{k-1}} \quad (\text{الف-۶})$$

که در آن \bar{C} مقدار متوسط زمانی غلظت بر حسب مترمکعب بر مترمکعب و $1-\alpha$ سطح اطمینان \bar{C} است. اگر غلظت گاز ردیاب تعادلی معلوم باشد و بنا به فرض واریانس میزان گاز m_a قابل صرف نظر کردن باشد، مقادیر متناظر Q_v از روابط زیر به دست می‌آیند.

$$Q_{V, up} = \frac{m}{C_{up}} \quad (\text{الف-۷})$$

$$Q_{V, low} = \frac{m}{C_{low}} \quad (\text{الف-۸})$$

الف-۴ روش آزمون غلظت ثابت

C_{target} باید به دست آورده شود، یعنی این مقدار باید با C مقایسه گردد تا مقدار تورش حساب گردد. دقت C با محاسبه تخمینی واریانس مطابق معادله (الف-۴) تخمین زده می‌شود.

سطوح اطمینان برای مثال در α و $1-\alpha$ ۰,۰۵ و ۰,۹۵ هستند. چون اندازه نمونه در حالت کلی چندان بزرگ نیست، مقدار متوسط C و مقادیر حد بالا و پایین آن در $t(k-1, 1-\alpha)$ با استفاده از روابط الف-۵ و الف-۶ و توزیع t در جایی که سطح آزادی $k-1$ وجود دارد حساب می‌گردند. تحلیل فاصله اطمینان برای Q_v در ارتباط با الگوریتمی که $C(t)$ را به $m(t)$ انجام می‌گیرد.

پیوست ب

(الزامی)

روش محاسبه همزمان نرخ تهویه Q_v و حجم منطقه اختلاطی موثر V_{emz}

ب-۱ کلیات

این روش، روش اندازه میزان متناوب نامیده می‌شود ولی گاهی از دیدگاه ریاضی روش شناسایی سامانه گفته می‌شود. در این روش نرخ تهویه و حجم منطقه اختلاطی موثر با استفاده از روش حداقل مربعات از تغییرات میزان گاز و مقادیر میزان گاز ردیاب اندازه‌گیری شده تخمین زده می‌شود. بحث زیر شرایطی را که این دو پارامتر در زمانهایی خاص به صورت پایا می‌شوند توضیح می‌دهد.

ب-۲ مزایا و معایب روش اندازه متناوب

الف- دو پارامتر نرخ تهویه و حجم منطقه اختلاطی موثر می‌توانند همزمان تخمین زده شوند. هنگام کاربرد روشی که از یک مقدار فرضی برای حجم منطقه اختلاطی موثر برای تخمین نرخ تهویه استفاده می‌کند اگر مقدار فرضی کاملاً اشتباه باشد نرخ تهویه نیز خارج از محدوده قابل قبول خواهد بود. روش میزان متناوب از این احتمال جلوگیری می‌کند.

ب- عمومیت: این روش نه تنها برای اتاق واحد به کار می‌رود بلکه می‌تواند به آسانی به اتاق‌های چندگانه توسعه یابد. با سازگاری تئوری، نرم‌افزاری که همانی است استفاده می‌شود ولی باعث حفظ منابع می‌شود.

پ- این روش به دلیل آماری بودن آن در مقابل انواع مختلف خطا مقاوم بوده و می‌تواند برای تخمین خطای نتایج استفاده شود. اصل بر این است که بر روش حداقل مربعات استناد می‌کند در نتیجه به خطاهای احتمالی مقاوم است. عامل اصلی خطا توسط اختلافی که بین پدیده واقعی و مدل ریاضی است و در شکل ب-۱ مشاهده می‌شود کنترل می‌شود که به عنوان خطای مانده در معادله بیان می‌گردد. روش حاضر از تحلیل رگرسیون چندگانه و روش تحلیل خطای مانده مشابه استفاده می‌کند که سبب برآورد بهتری علی‌رغم عامل خطا می‌شود.

ت- مشاهده تغییرات نرخ تهویه در طول زمان و تعیین اختلاف بین پدیده واقعی و مدل توسط این روش امکان‌پذیر است. بازه اندازه‌گیری در چندین ساعت برای تخمینی از نرخ تهویه مورد نیاز است ولی تغییر این بازه به صورت تدریجی سبب تعیین تغییرات نرخ تهویه در طول زمان می‌شود دقیقاً مطابق حالتی که میانگین متحرک حساب می‌شود. اگر اختلاف زیادی بین حجم منطقه اختلاطی موثر و ظرفیت هندسی اتاق باشد، مشکلات بعدی شامل عدم اختلاط کافی و تغییرات ناگهانی در نرخ تهویه پدید می‌آید.

ث- تجهیزات به نسبت دقیقی برای کنترل تزریق گاز و اندازه‌گیری غلظت برای اندازه‌گیری جریان تزریقی و اندازه‌گیری غلظت پیوسته نیاز می‌باشد.

ج- تحلیل دقیقی از داده‌های اندازه‌گیری شده مورد نیاز است. تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده که از حل همزمان معادلات و ماتریس‌های معکوس بدست می‌آید.

ب-۳ معادله مدل اساسی

معادله اصلی مدل از معادلات زیر که از معادله ۹ باز تولید می‌شوند به وجود می‌آید. غلظت خروجی C_E در معادله به دلیل خروج گاز نامعلوم است. با فرض غلظت میانگین در منطقه هدف که $C_E=C$ است معادله ب-۱ بدست می‌آید.

$$\frac{dV_{gas}(t)}{dt} = m(t) - C_E(t)Q_V(t)$$

$$V_{emz} \cdot \frac{dC}{dt} = Q_V(C_0 - C) + m \quad (ب-۱)$$

که در آن

0C	غلظت گاز ردیاب در هوای بیرون
V_{efz}	حجم منطقه اختلاطی موثر
Q_V	نرخ تهویه
m	میزان گاز ردیاب است.

ب-۴ معادله بندی تحلیل رگرسیون چندگانه

معادله بندی برای امکان پذیری استفاده از برنامه تحلیل رگرسیون چندگانه حاضر نیاز است. با فرض نامعلوم بودن مقادیر Q_V و V_{efz} و معلوم بودن میزان گاز m ، میزان گاز ردیاب به سمت چپ و مقادیر نامعلوم به راست منتقل می‌شوند.

$$-m = -V_{efz} \cdot \frac{dC}{dt} + Q_V \cdot (C_0 - C) \quad (ب-۲)$$

معادله رگرسیون در تحلیل رگرسیون چندگانه با یک علامت متداول توصیف می‌شود. با تعریف این متغیر هدف y و دو متغیر توضیح داده شده X_1 و X_2 ضرایب رگرسیون مرتبط با a_1 و a_2 تعریف می‌شوند. عموماً مقدار ثابت a_0 صفر در نظر گرفته می‌شود.

$$y = a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 \quad (ب-۳)$$

با مقایسه روابط ب-۲ و ب-۳، m متناظر y ، V_{efz} متناظر a_1 و Q_V متناظر a_2 است. $\frac{dC}{dt}$ متناظر متغیر X_1 است ولی $C_0 - C$ متناظر X_2 است. در تحلیل رگرسیون چندگانه لازم است تا متغیرهای توضیح داده شده و متغیر هدف به گونه‌ای یافته شوند با داده‌های مشاهده شده یا اندازه گیری شده همخوانی داشته باشند.

ب-۵ روش محاسبه متغیرهای مدل رگرسیون چندگانه

با یافتن متغیرهای توضیح داده شده در مدل رگرسیون چندگانه و متغیرهای هدف متناظر، جواب‌ها از اندازه گیری پیوسته در طول یک زمان طولانی به دست می‌آیند. این زمان طولانی T به بازه‌های کوتاه Δt تقسیم

می‌شوند و متغیرهای توضیح داده شده و متغیرهای هدف متناظر در هر بازه Δt ایجاد می‌شوند. برای یافتن متغیرهای گفته شده با تغییرات بزرگ و متغیرهای متناظر آنها میزان گاز ردیاب تغییر می‌یابد تا تغییراتی را در غلظت گاز پدید آورد.

اما استفاده از عبارت مشتق در هر زمان، ممکن است یک تاثیر منفی به عنوان نتیجه خطاهای دستگاههای اندازه‌گیری و تغییرات جزئی بر جای گذارد بنابراین از فرم انتگرالی استفاده می‌شود. از زمان $(k-1)\Delta t$ به Δt در معادله (ب-۲) انتگرال گرفته شود معادله (ب-۴) به دست می‌آید.

$$-\int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} m dt = -V_{emz} \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} \frac{dC}{dt} dt + Q_v \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} (C_0 - C) dt \quad (\text{ب-۴})$$

انتگرال عبارت اول در طرف راست نمو غلظت از $(k-1)\Delta t$ به $k\Delta t$ است. انتگرال دو عبارت دیگر سطح زیر بازه Δt را محاسبه می‌کند. برای Δt زمان حدود یک دقیقه در تعداد اندازه‌گیریهای بزرگ استفاده می‌شود. اغلب زمان‌ها تغییرات زمانی در این بازه با درونیایی خطی تقریب زده می‌شود. در مقابل، لازم است بر روی شکافهای زمانی کار شود تا خطاها حتی با درونیایی خطی شدیدتر نشود. انتگرال‌های تقریبی برای درونیایی خطی در هر قسمت معادله ب-۴ توسط m_k ، C_k و C_k تعریف می‌شوند.

$${}_s m_k = \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} m dt \cong \frac{\Delta t}{2} \{m(k\Delta t) + m[(k-1)\Delta t]\} \quad (\text{ب-۵})$$

$${}_b C_k = \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} dC = C(k\Delta t) + C[(k-1)\Delta t] \quad (\text{ب-۶})$$

$${}_s C_k = \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} (C_0 - C) dt \cong \frac{\Delta t}{2} [C_0(k\Delta t) - C(k\Delta t)] + [C_0(k-1)\Delta t] - C[(k-1)\Delta t] \quad (\text{ب-۷})$$

بدین ترتیب معادله (ب-۴) به صورت زیر بازنویسی می‌شود.

$$-{}_s m_k = V_{efc} \cdot (-{}_b C_k) + Q_v \cdot ({}_s C_k) \quad (\text{ب-۸})$$

اگر معادله (ب-۸) با معادله رگرسیون چندگانه در معادله (ب-۳) مقایسه شود، روش محاسبه هر متغیر جهت اعمال برنامه تحلیل رگرسیون چندگانه فعلی آشکار می‌شود.

ب-۶ روشی برای استفاده از برنامه محاسبه تحلیل رگرسیون چندگانه حاضر

در معادل ب-۸، اگر ترکیب n_t واحد از داده‌های اندازه‌گیری شده از زمانهای $k=1$ تا n_t به دست آورده شده و در سطر ماتریسی مرتب شوند به معادله زیر منتج می‌شود.

$$\begin{bmatrix} -_s m_1 \\ -_s m_2 \\ -_s m_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ -_s m_{nt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-_b C_1), (_s C_1) \\ (-_b C_2), (_s C_2) \\ (-_b C_3), (_s C_3) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ (-_b C_{nt}), (_s C_{nt}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{emz} \\ Q_V \end{bmatrix} \quad (9-ب)$$

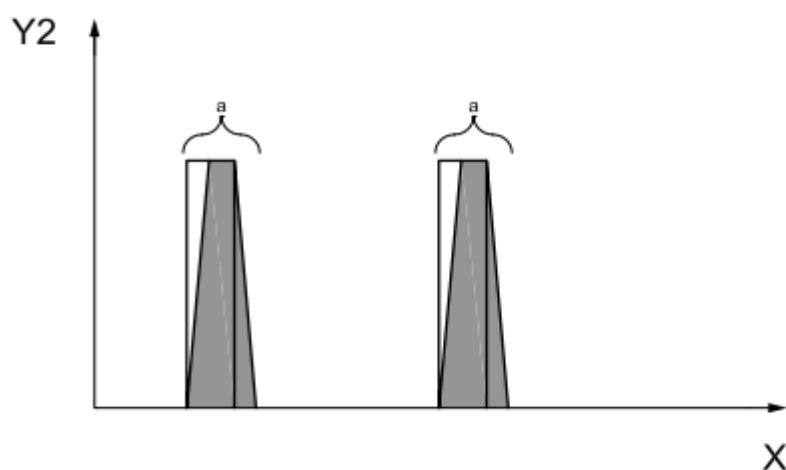
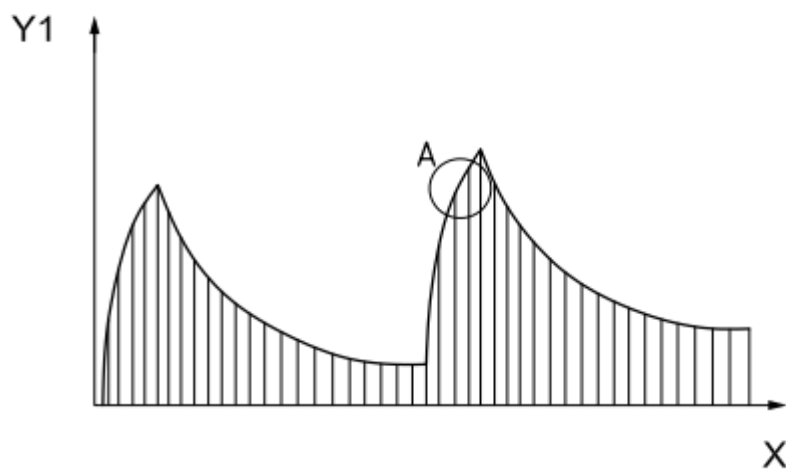
با نشان‌گذاری در تحلیل رگرسیون چندگانه نرمال معادله به فرم زیر بیان می‌شود.

$$Y = X A \quad (10-ب)$$

در اینجا محتویات A بصورت ویژه t است. همچنین معادله کاری پارامتر A به فرم زیر است:

$$A = \begin{bmatrix} V_{efc} \\ Q_V \end{bmatrix} = (t_{X.X})^{-1} \cdot (t_{X.Y}) \quad (11-ب)$$

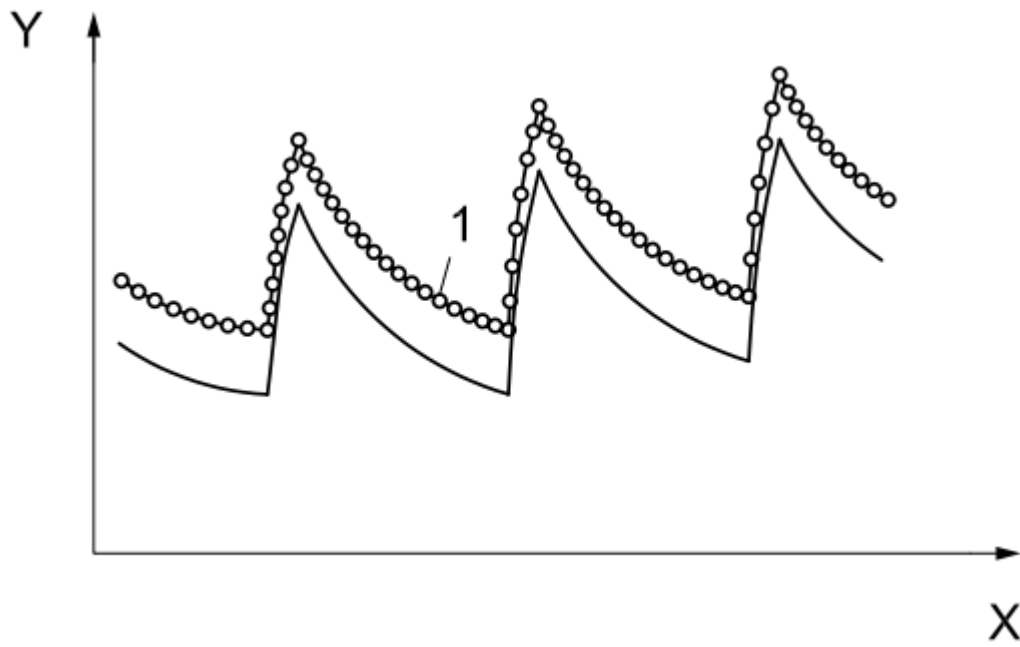
برنامه محاسباتی مخصوصی برای محاسبه و تحلیل خطا مورد نیاز نمی‌باشد زیرا برنامه تحلیل رگرسیون چندگانه فعلی اجرا می‌شود. اما لازم است تا هر متغیر از روابط (ب-۵) تا (ب-۷) محاسبه و آماده شوند. همچنین همانگونه که در شکل (ب-۲) مشاهده می‌شود تخمین دقت از معادله تحلیل مانده انجام شود که از معادله (ب-۱) و از مقادیر تخمین زده شده V_{emz} و Q_V استفاده می‌شود.



راهنما)

X زمان سپری شده
 Y1 غلظت
 Y2 نرخ جریان تزریق گاز
 a مساحت مستطیل اصلی و دوزنقه تقریب زده شده یکسان هستند.

شکل ب ۱ - تقسیم بازه‌های زمانی برای به‌دست آوردن متغیرهای تحلیل رگرسیون چندگانه



راهنما
 X زمان سپری شده
 Y غلظت
 1 خطای مانده

شکل ب ۲- تغییرات غلظت گاز و خطاهای مانده آنان

پیوست پ

(اطلاعاتی)

ملاحظات در اندازه‌گیری نرخ تهویه فضاهای بزرگ

- زمانی که نرخ تهویه فضاهای بزرگ توسط روش کاهش یابنده اندازه‌گیری می‌شود اهمیت دارد که غلظت در فضا از لحظه آغاز یکنواخت باشد. موارد زیر روش‌های موثری هستند که باعث یکنواختی غلظت می‌شوند.
- الف- انجام روش افزایشی قبل از شروع
 - ب- توزیع گاز تنها وقتی که هوای باز چرخش و نه هوای ورودی بیرون به گردش در آورده می‌شود.
 - پ- توزیع گاز وقتی که تهویه مطبوع در حال کارکرد است.
 - ت- توزیع گاز وقتی که سامانه گرمایش کف در حال کارکرد است.
 - ث- توزیع به اندازه مناسب گاز از بیشترین تعداد نقاط ممکن.
 - ج- نصب بیشترین تعداد دمنده جهت به گردش در آوردن گاز.

پیوست ت

(اطلاعاتی)

تأثیر اختلاف دمای درون و بیرون، تغییرات دما و تغییرات غلظت هوای بیرون در زمان اندازه‌گیری

ت-۱ زمانی که دما و غلظت گاز ردیاب در یک منطقه واحد به صورت همگن هستند دما و غلظت گاز ردیاب در یک منطقه واحد می‌توانند با استفاده از دمنده‌های اختلاطی به صورت همگن در آیند و سپس معادله ت-۱ برای بقای جرم گاز ردیاب اعمال می‌شود. یادآوری- دما در یک منطقه به صورت همگن است پس دمای تخلیه مساوی دمای منطقه است.

$$\frac{d}{dt}({}^t\rho_i KV_{emz}) = {}^t\rho m' + {}^t\rho_0 K_0 Q_{0i} - {}^t\rho_i K Q_{i0} \quad (ت-۱)$$

که در آن

${}^t\rho_i$ چگالی گاز ردیاب در منطقه بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب،

${}^t\rho_0$ چگالی گاز ردیاب در هوای بیرون،

${}^t\rho$ چگالی گاز ردیاب در حین تزریق گاز،

K غلظت حجمی گاز ردیاب در منطقه بر حسب مترمکعب بر مترمکعب،

K_0 غلظت حجمی گاز ردیاب در هوای بیرون،

m' دوز گاز ردیاب (مترمکعب بر ساعت)،

Q_{0i} نرخ تهویه از بیرون به داخل منطقه (مترمکعب بر ساعت) و

Q_{i0} نرخ تهویه از منطقه به بیرون است.

معادله (ت-۱) می‌تواند با استفاده از قانون گاز ایده‌آل برای گاز ردیاب با معادله (ت-۲) جایگزین شود.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{KV_{emz}}{T_i}\right) = \frac{m'}{T} + \frac{K_0 Q_{0i}}{T_0} - \frac{K Q_{i0}}{T_i} \quad (ت-۲)$$

که در آن

T_i دمای منطقه بر حسب کلونین،

T_0 دمای بیرون و

T دمای موجودی گاز ردیاب می‌باشد.

سمت چپ معادله (ت-۲) می‌تواند بسط یافته و به معادله (ت-۳) منتج شود.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{KV_{emz}}{T_i} \right) = \frac{1}{T_i} \frac{dKV_{emz}}{dt} - \frac{KV_{emz}}{T_i^2} \frac{dT_i}{dt} \quad (\text{ت-۳})$$

معادله بقای جرم برای هوای داخل منطقه در معادله (ت-۴) نشان داده شده است.

$$\frac{d}{dt} (\rho_i V_{emz}) = \rho_0 Q_{0i} - \rho_i Q_{i0} \quad (\text{ت-۴})$$

که در آن

ρ_i چگالی هوا در منطقه بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب و

ρ_0 چگالی هوای بیرون می‌باشد.

با فرض قانون گاز ایده‌آل معادله (ت-۵) جایگزین معادله (ت-۴) می‌گردد.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{V_{emz}}{T_i} \right) = \frac{Q_{0i}}{T_0} - \frac{Q_{i0}}{T_i} \quad (\text{ت-۵})$$

قسمت چپ معادله (ت-۵) می‌تواند بسط یافته و به معادله (ت-۶) ختم شود.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{V_{emz}}{T_i} \right) = \frac{V_{emz}}{T_i^2} \frac{dT_i}{dt} \quad (\text{ت-۶})$$

با ترکیب روابط (ت-۵) و (ت-۶) معادله (ت-۷) حاصل می‌شود.

$$Q_{i0} = \frac{T_i}{T_0} Q_{0i} + \frac{V_{emz}}{T_i^2} \frac{dT_i}{dt} \quad (\text{ت-۷})$$

معادله (ت-۸) با استفاده از روابط (ت-۲)، (ت-۳) و (ت-۷) به دست می‌آید.

$$V_{emz} \frac{dK}{Dt} = \frac{T_i}{T} m' - (K - K_0) \frac{T_i}{T_0} Q_{0i} \quad (\text{ت-۸})$$

با فرض اینکه m ، Q ، C و dc در روابط (ت-۹) تا (ت-۱۲) به صورت زیر تعریف گردند:

$$m = \frac{T_i}{T} m' \quad (\text{ت-۹})$$

$$Q = \frac{T_i}{T_0} Q_{0i} \quad (\text{ت-۱۰})$$

$$C = K - K_0 \quad (\text{ت-۱۱})$$

$$dC = dK \quad (\text{ت-۱۲})$$

سپس معادله (ت-۳) به فرم معادله (ت-۱۳) بیان می‌شود:

$$V_{emz} \frac{dC}{dt} = m - CQ \quad (\text{ت-۱۳})$$

معادله (ت-۹) بیانگر دمای معادل برای حجم میزان گاز ردیاب و معادله (ت-۱۰) بیانگر دمای معادل منطقه برای نرخ تهویه از بیرون به منطقه می‌باشد. معادله (ت-۱۳) متناظر بدنه اصلی در روابط ۹ و ۱۷ و معادل معادله ۱ در صورتی که $m=0$ باشد است.

در نتیجه اگر دما و غلظت گاز ردیاب در منطقه همگن باشند، روش اندازه‌گیری نرخ تهویه در این شرایط با تبدیلات گفته شده اعمال می‌شود حتی اگر دما در داخل و بیرون در حین اندازه‌گیری تغییر یابند. نرخ تهویه اندازه‌گیری شده مقدار معادله (ت-۱۰) و یا نرخ جریان هوای ویژه بر پایه مقدار معادله (ت-۱۰) می‌باشد. معادله (ت-۱۲) نیازمند اعمال روش‌های اندازه‌گیری می‌باشند در نتیجه تغییرات غلظت گاز ردیاب در هوای بیرون در حین اندازه‌گیری باید در برابر تغییرات آن در منطقه ناچیز باشد.

ت-۲ زمانی که دما و غلظت گاز ردیاب در یک منطقه واحد به صورت همگن نیستند

معادله زیر نشانگر بقای جرم گاز ردیاب در حالتی که دما و غلظت در منطقه همگن نمی‌باشند می‌باشد.

$$\frac{d}{dt} (M_{gas}) = {}^t \rho m' + {}^t \rho_0 K_0 Q_{0i} - {}^t \rho_e K_e Q_{i0} \quad (\text{ت-۱۴})$$

که در آن

M_{gas} جرم گاز ردیاب در منطقه بر حسب کیلوگرم،

ρ_e چگالی گاز در هوای تخلیه (کیلوگرم بر مترمکعب) و

K_e غلظت حجمی گاز ردیاب (مترمکعب بر مترمکعب) است.

معادله (ت-۱۴) می‌تواند با فرض قانون گاز ایده‌آل توسط (ت-۱۵) جایگزین شود.

$$\frac{1}{\rho_e T_e} \frac{d}{dt} (M_{gas}) = \frac{m'}{T} + \frac{K_0 Q_{0i}}{T_0} - \frac{K_e Q_{i0}}{T_e} \quad (\text{ت-۱۵})$$

که T_e دمای مطلق هوای تخلیه بر حسب کلوین است.

اگر دمای منطقه در حین اندازه‌گیری تغییر نکند معادله بقای جرم هوای اتاق مطابق معادله (ت-۱۶) خواهد بود.

$$0 = \rho_0 Q_{0i} - \rho_e Q_{i0} \quad (\text{ت-۱۶})$$

با فرض گاز ایده‌آل معادله (ت-۱۷) جایگزین معادله (ت-۱۶) می‌شود.

$$0 = \frac{Q_{0i}}{T_0} - \frac{Q_{i0}}{T_e} \quad (\text{ت-۱۷})$$

اگر معادله (ت-۱۷) در (ت-۱۵) جایگزین شود معادله (ت-۱۸) به دست می آید.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{M_{gas}}{\rho_e} \right) = \frac{T_e}{T} m' - (K_e - K_0) \frac{T_e}{T_0} Q_{0i} \quad (\text{ت-۱۸})$$

با فرض اینکه m, Q, C_E در روابط (ت-۱۹) تا (ت-۲۱) به صورت زیر تعریف گردند:

$$m = \frac{T_e}{T} m' \quad (\text{ت-۱۹})$$

$$Q = \frac{T_e}{T_0} Q_{0i} \quad (\text{ت-۲۰})$$

$$C_E = K_e - K_0 \quad (\text{ت-۲۱})$$

معادله (ت-۱۸) به صورت معادله (ت-۲۲) بیان می شود.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{M_{gas}}{\rho_e} \right) = m - C_E Q \quad (\text{ت-۲۲})$$

عبارت داخل پارانتر در قسمت سمت چپ معادله (ت-۱۹) حجم گاز ردیاب است که چگالی تخلیه تبدیل شده است. معادله (ت-۱۹) بیانگر دمای هوای تخلیه که معادل میزان حجمی گاز ردیاب است و معادله (ت-۲۰) دمای منطقه است که معادل نرخ تهویه از بیرون به داخل منطقه می باشد. اگر این تبدیلات انجام شوند معادله (ت-۲۲) متناظر روابط ۹ و ۱۷ و در صورتی که $m=0$ باشد متناظر معادله ۱ می شود.

در نتیجه اگر دما و غلظت گاز ردیاب در منطقه همگن نباشند، روش اندازه گیری نرخ تهویه در این شرایط می تواند اعمال می شود حتی اگر دما در داخل منطقه در حین اندازه گیری تغییر نیابد. نرخ تهویه اندازه گیری شده مقدار معادله (ت-۲۰) و یا نرخ جریان هوای ویژه بر پایه مقدار معادله (ت-۲۰) می باشد.

لازم به یادآوری است در صورتی که اختلاف دمای میانگین و دمای تخلیه T_e قابل چشم پوشی نباشد، نرخ جریان هوای ویژه اندازه گیری شده توسط معادله (ت-۷) ممکن است نرخ جریان هوای ویژه تبدیل شده به دمای تخلیه نباشد. در این حالات نرخ جریان هوای ویژه در دمای میانگین منطقه اندازه گیری می شود.

با توجه به تغییر در غلظت گاز ردیاب بیرون، معادله (ت-۲۱) ممکن است نیاز باشد که به حد کافی کوچک در نظر گرفته شود تا وقتی زمان کافی گذشته باشد و روش های مورد استفاده روش غلظت تخلیه و روش ضربه باشند قابل صرف نظر باشد.

روش حداقل سازی خطای تخمینی در روشهای کاهش دو نقطه‌ای و چند نقطه‌ای

ث-۱ کلیات

خطای تخمین نرخ جریان هوای ویژه در روشهای کاهش دو نقطه‌ای و چند نقطه‌ای تنها وابسته به خطای اندازه‌گیری غلظت نیست بلکه به صورت عمده به تغییرات نرخ تهویه در روش کاهش چند نقطه و غلظت غیریکنواخت در منطقه و مناطق مجاور بستگی دارد که در واقع به دلیل فرضیات مدل نامناسب می‌باشند. اما اگر خطای اندازه‌گیری غلظت به تنهایی در نظر گرفته شوند معادله انتشار خطا که از واریانس خطا و خطای نرخ جریان هوای ویژه ناشی می‌شود می‌تواند تعریف شوند. با استنباط معادله کمینه ساختن خطای نرخ جریان هوای ویژه منحنی رابط این نرخ با زمان کاهش بهینه و تعداد نقاط اندازه‌گیری به دست می‌آید. زمان کاهش بهینه بر مبنای مراجعه به منحنی تعیین می‌شود.

ث-۲ تخمین نرخ جریان هوای ویژه با استفاده از روش حداقل مربعات

راه حل تحلیلی برای فرایند آزمون کاهش غلظت در اندازه‌گیری نرخ جریان هوای ویژه از معادله زیر در شرایط جریان هوای ویژه و فرض $t_1=0$ و t_j به عنوان زمان سپری شده استفاده می‌کند.

$$\log_e C(t_j) = -N \cdot t_j + \{\log_e C(t_1) + N \cdot t_1\} \quad (\text{ث-۱})$$

که در آن N نرخ جریان هوای ویژه تخمینی است در حالی که $C(t_j)$ غلظت گاز اندازه‌گیری شده در لحظه t_j می‌باشد.

خطای معادله e_j توسط معادله زیر تعریف می‌شود. در معادله بعدی y_j ، Z_j و a به عنوان نماد ماتریسی برای حل حداقل مربعات به کار می‌روند.

$$\begin{aligned} e_j &= \log_e C(t_j) - [-N \cdot t_j + (\log_e C(t_1) + N \cdot t_1)] \\ &= y_j - [t_j \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} -N \\ \log_e C(t_1) + N \cdot t_1 \end{bmatrix} = y_j - Z_j \cdot a \end{aligned} \quad (\text{ث-۲})$$

بردار a که شامل N و غلظت اولیه لگاریتمی می‌شود، توسط روش حداقل مربعات با معادله زیر محاسبه می‌شود. در اینجا n_p تعداد نقاط اندازه‌گیری سپری شده است که مقدار ۱ برای غلظت اولیه بکار می‌رود و n_p بزرگتر از ۲ است.

$$a = \left(\sum_{j=1}^{np} {}^t Z_j \cdot Z_j \right)^{-1} \cdot \left(\sum_{j=1}^{np} {}^t Z_j \cdot y_j \right) = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^{np} t_j^2 & \sum_{j=1}^{np} t_j \\ \sum_{j=1}^{np} t_j & np \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^{np} t_j \cdot \log_e C(t_j) \\ \sum_{j=1}^{np} \log_e C(t) \end{bmatrix} \quad (\text{ث-۳})$$

نتایج محاسبات در معادله بالا مقدار تخمینی نرخ جریان هوای ویژه را ارائه می‌دهد.

$$N = \frac{\left(\sum_{j=1}^{np} t_j^2 \right) \cdot \sum_{j=1}^{np} \log_e C(t_j) - n_p \sum_{j=1}^{np} t_j \cdot \log_e C(t_j)}{n_p \sum_{j=1}^{np} t_j^2 - \left(\sum_{j=1}^{np} t_j \right)^2} \quad (\text{ث-۴})$$

در بسیاری از موارد t_j در بازه زمانی Δt اندازه‌گیری شده و سپس t_j مساوی با $(j-1)\Delta t$ می‌شود. در این حالت معادله بالا می‌تواند بصورت ساده‌تری نوشته شود. T به عنوان زمان کاهش کامل $(n_p-1)\Delta t$ تعریف می‌شود.

$$N = \frac{12}{n_p(n_p+1)T} \left[\sum_{j=1}^{np} \left\{ \frac{(n_p-1)}{2} - (j-1) \right\} \log_e C \left\{ \left(\frac{j-1}{n_p-1} \right) T \right\} \right] \quad (\text{ث-۵})$$

ث-۳ بازه زمانی کاهش برای کمینه ساختن تاثیرات خطاهای اندازه‌گیری غلظت

واریانس خطای اندازه‌گیری غلظت گاز σ_C^2 برای هر وسیله به کار رفته عددی مشخص بوده و در نتیجه اغلب تخمین زده می‌شود. معادله انتشار واریانس خطای اندازه‌گیری نسبت به واریانس نرخ جریان هوای ویژه تخمینی $m\sigma_N^2$ به صورت زیر است:

$$m\sigma_N^2 = \sigma_C^2 \sum_{j=1}^{np} \left(\frac{\partial N}{\partial C(t_j)} \right)^2 \quad (\text{ث-۶})$$

با دیفرانسیل‌گیری از معادله (ث-۵) نسبت به $C(t_j)$ معادله زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\partial N}{\partial C(t_j)} = \frac{12}{(n_p-1)n_p(n_p+1)\Delta t} \left\{ \frac{(n_p-1)}{2} - (j-1) \right\} \frac{1}{C(t_j)} \quad (\text{ث-۷})$$

معادله زیر با این فرض استخراج می‌شود که در ساختار مدل کاهش تغییراتی صورت نمی‌پذیرد.

$$C(t_j) = C(t_j) \cdot \exp \left(- \frac{(j-1)}{(n_p-1)} N T \right) \quad (\text{ث-۸})$$

با استفاده از روابط (ث-۷) و (ث-۸) معادله (ث-۶) به صورت معادله زیر در می‌آید.

$${}_m\sigma_N^2 = \frac{12^2 \cdot \partial_C^2}{n_p^2 \cdot (n_p + 1)^2 T^2 \cdot C(t_1)^2} \cdot \sum_{j=1}^{np} \left(\frac{n_p - 1}{2} - (j - 1) \right) \exp \left\{ \frac{2(j-1)}{n_p - 1} NT \right\} \quad (\text{ث-۹})$$

هدف در این قسمت کمینه‌سازی واریانس خطای تخمینی برای یک نرخ جریان هوای ویژه مشخص نسبت به زمان کاهش T می‌باشد. عبارت زیر با صفر قرار دادن مشتق ${}_m\sigma_N^2$ نسبت به T به دست می‌آید.

$$\frac{\partial_m \partial_N^2}{\partial T} = - \frac{2 \cdot \partial_C^2 \cdot 12^2}{n_p^2 (n_p + 1)^2 T^3 C(t_1)^2} \left[\sum_{j=1}^{np} \left(\frac{n_p - 1}{2} - (j - 1) \right)^2 \exp \left\{ \frac{2(j-1)}{n_p - 1} NT \right\} \right. \quad (\text{ث-۱۰})$$

$$\left. - NT \cdot \sum_{j=1}^{np} \frac{(j-1)}{n_p - 1} \left\{ \frac{n_p - 1}{2} - (j - 1) \right\}^2 \exp \left\{ \frac{2(j-1)}{n_p - 1} NT \right\} \right] = 0$$

این معادله به معادله غیرخطی زیر برای NT منتج می‌شود.

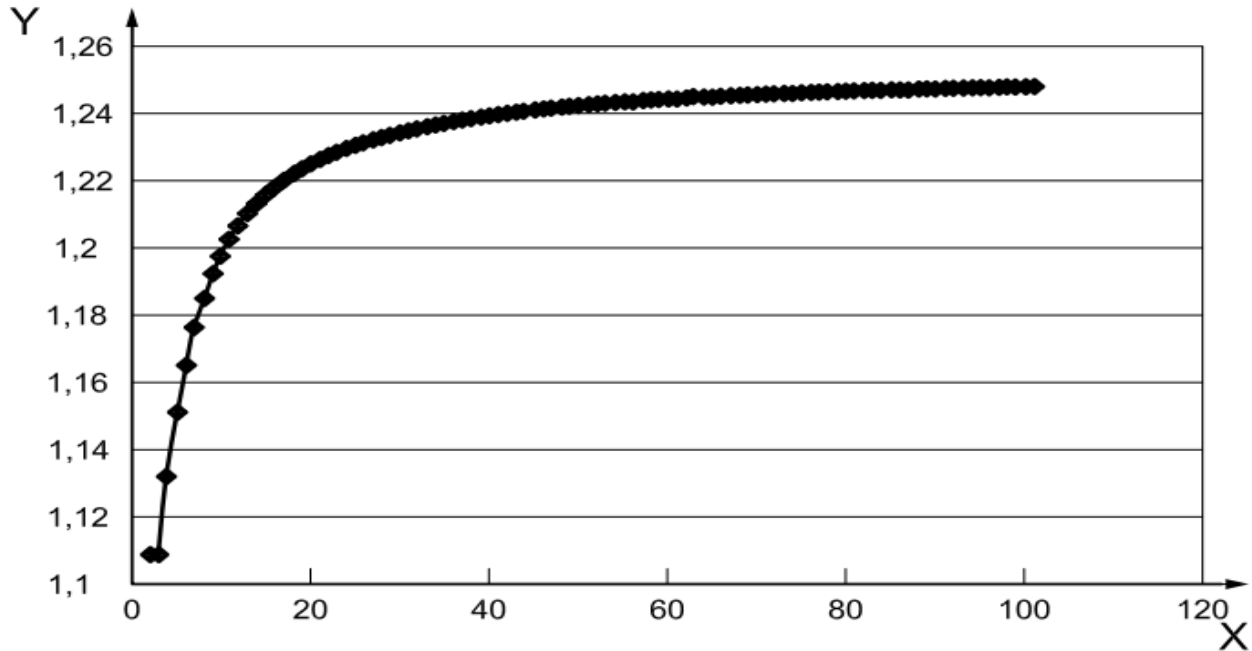
$$f(NT) = \sum_{j=1}^{np} \left(\frac{n_p - 1}{2} - (j - 1) \right)^2 \cdot \exp \left\{ \frac{2(j-1)}{n_p - 1} NT \right\} - NT \quad (\text{ث-۱۱})$$

$$\sum_{j=1}^{np} \frac{(j-1)}{n_p - 1} \left(\frac{n_p - 1}{2} - (j - 1) \right)^2 \exp \left\{ \frac{2(j-1)}{n_p - 1} NT \right\} = 0$$

این معادله غیرخطی برای NT با تعداد نقاط زمانی سپری شده و اندازه‌گیری شده n_p تغییر می‌کند. متعاقباً مقدار بهینه NT با شروع از دو نقطه و تا تقریباً ۱۰۰ نقطه تعیین می‌گردد. روش نیوتون برای حل معادله غیرخطی استفاده می‌شود و در نتیجه تابع دیفرانسیلی برای NT استفاده شده است. اگر مقدار تصحیحی δNT به مقدار فرض شده NT اضافه شود بسط جمله اول سری‌های تیلور به عنوان قدم بعدی معرفی می‌شود. این معادله به یک معادله تکراری برای محاسبه جواب ختم می‌شود.

$$f(NT + \delta NT) \cong f(NT) + \frac{\partial f(NT)}{\partial NT} \cdot \delta NT = 0 \quad (\text{ث-۱۲})$$

مقدار اولیه تنها اندکی از ۱ بزرگتر می‌باشد. منحنی به دست آمده برای مقدار بهینه NT_m در شکل (ث-۱) نشان داده شده است.



راهنما

X تعداد کل داده‌ها (n_p)

Y ثابت کمیته‌سازی خطا (NT_m)

شکل ث-۱ معادله بین ثابت کمیته‌سازی خطا و تعداد کل نقاط اندازه‌گیری

زمانی که از دو نقطه استفاده شود که بیانگر غلظت اولیه و نهایی می‌باشند زمان کاهش بهینه T_m که خطای تخمین را حداقل می‌کند و برای نرخ جریان هوای ویژه N و حاصلضرب NT_m برقرار است مقدار زیر می‌باشد.

$$(NT_m)_{n_p=2} = 1,108857555288... \quad (\text{ث-۱۳})$$

دستورالعمل زیر نحوه استفاده از منحنی (ث-۱) برای یافتن زمان کاهشی بهینه را معین می‌سازد.

الف- مقداری برای T_m با تخمین نرخ جریان هوای ویژه و $n_p=2$ فرض می‌شود.

ب- اندازه‌گیری‌ها با زمان $1/5$ برابر زمان کاهش بهینه جهت اطمینان انجام می‌گیرند.

پ- زمان کاهش بهینه T_m با استفاده از نرخ جریان هوای ویژه قبلی N معین می‌شوند. از داده‌های غلظت اندازه‌گیری شده در این بازه زمانی، روابط (ث-۴) و (ث-۵) جهت تخمین نرخ جریان هوای ویژه بعدی استفاده می‌شوند.

ت- اگر اختلاف بین مقدار تخمینی و قبلی نرخ جریان هوای ویژه کمتر از پنج درصد باشد نتایج حاصله قابل قبول هستند اما اگر بیشتر از پنج درصد باشد نرخ جریان هوای ویژه باید با یک نرخ تخمینی جایگزین شده و از گام سوم دوباره تکرار شود. در صورتی که نتایج مطلوب پس از چندین بار تکرار به دست نیایند اندازه‌گیری‌ها باید دوباره انجام گیرند به دلیل اینکه یکی از فرضیات مدل مناسب نبوده است.

پیوست ج

(اطلاعاتی)

تحلیل انتشار خطا

یادآوری - این پیوست خلاصه‌ای از روابط انتشار خطا در روشهای کاهش دو نقطه‌ای، غلظت معکوس متوسط و غلظت ثابت را در بر دارد.

ج-۱ روش کاهش دو نقطه‌ای

در شرایط غیرپایدار، واریانس s_N^2 مربوط به N باید از معادله (ج-۱) محاسبه شود.

$$s_N^2 = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \left[\frac{s_{C(t_2)}^2}{C(t_2)^2} + \frac{s_{C(t_1)}^2}{C(t_1)^2} \right] \quad (\text{ج-۱})$$

که در آن $C(t_1)$ غلظت نمونه در لحظه t_1 که زمان اولین نمونه‌برداری می‌باشد و $C(t_2)$ غلظت نمونه در لحظه t_2 که آخرین زمان نمونه‌برداری است هستند. در روش کاهش چندگانه از معادله (الف-۳) استفاده شود.

ج-۲ روش غلظت معکوس متوسط

عبارت خطا عبارت است از:

$$\frac{s_{QV}^2}{QV^2} = \frac{s_m^2}{m^2} + \frac{s_C^2}{C^2} \left[\alpha^2 + \frac{2_{QV}^2}{(t_2 - t_1)^2 QV^2} \right] \quad (\text{ج-۲})$$

که

$$\alpha^2 = \frac{Var(1/C)}{\left[s_C (\bar{C}/C)_{av} \right]^2} \approx \frac{Var(1/C)}{s_C^2} \quad (\text{ج-۳})$$

$$Var(f) = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} [f(t) - \bar{f}]^2 dt \quad (\text{ج-۴})$$

و C غلظت متوسط فضایی گاز ردیاب، \bar{C} غلظت متوسط زمانی گاز ردیاب که بر غلظت متوسط فضایی در هر لحظه تقسیم می‌شود و \bar{f} متغیری است که برای بیان تابع $Var(f)$ استفاده می‌شود. در نرخ تهویه ثابت از روابط (الف-۷) و (الف-۸) استفاده می‌شود.

ج-۳ روش غلظت ثابت

در حالت کلی عبارت خطا به صورت زیر است:

$$\frac{s_{QV}^2}{QV^2} = \frac{s_m^2}{m^2} + \frac{s_C^2}{C^2} \left[\alpha^2 + \frac{2_{QV}^2}{(t_2 - t_1)^2 QV^2} \right] \quad (\text{ج-۵})$$

که

$$\alpha^2 = \frac{Var(1/C)}{\left[s_C (\bar{C}/C)_{nwtav} \right]^2} \approx \frac{Var_{nwt}(1/C)}{s_C^2} \quad (\text{ج-۶})$$

$$Var_{nwt}(f) = \frac{1}{m(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} [f(t) - \bar{f}]^2 m(t) dt \quad (\text{ج-۷})$$

$$m(t_2, t_1) = \int_{t_1}^{t_2} m(t) dt \quad (\text{ج-۸})$$

و C غلظت متوسط فضایی گاز ردیاب،

\bar{C}/C غلظت متوسط زمانی گاز ردیاب که بر غلظت متوسط فضایی در هر لحظه تقسیم می شود،

\bar{f} متغیری است که برای بیان تابع $Var(f)$ استفاده می شود،

$m(t_1, t_2)$ حجم گاز ردیابی است که در بین زمان های t_1 و t_2 تزریق می شود و

Twt بیانگر متغیرهای وزنی نسبت به میزان گاز ردیاب می باشند.