



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۰۸۴۷-۲۶

چاپ اول

۱۳۹۴

INSO

10847-26

1st.Edition

2016

هوای داخلی - قسمت ۲۶:
راهبرد نمونه برداری برای کربن دی اکسید
(CO₂)

Indoor air – Part 26:
Sampling strategy for carbon
dioxide (CO₂)

ICS: 13.040.20

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 انتشار 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 حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود 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، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود 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 می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند 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 می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به‌عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی‌شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی 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 می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و 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

« هوای داخلی - قسمت ۲۶: راهبرد نمونه برداری برای کربن دی اکسید (CO₂) »

رئیس:

قیصری، محمد مهدی
(دکتری شیمی)

سمت و / یا نمایندگی

مدیر پژوهشگاه مرکزی دانشگاه آزاد اسلامی
خوراسگان

دبیر:

نبی، مهدی
(فوق لیسانس شیمی)

رئیس هیئت مدیره شرکت معیار دانش
پارس

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اسماعیلیان، سید امین
(لیسانس مهندسی صنایع)

مدیر عامل شرکت معیار دانش پارس

چرمزاده، مهرناز
(فوق لیسانس شیمی)

کارشناس شرکت کیمیا کنکاش جندی
شاپور

حاجی حسینی، زهره
(لیسانس علوم دامی)

کارشناس تدوین استاندارد شرکت
معیار دانش پارس

حامدیان، مولود
(فوق لیسانس شیمی)

کارشناس شرکت معیار دانش پارس

حسینی، فروغ
(فوق لیسانس محیط زیست)

کارشناس محیط زیست

دایی، مینا
(فوق لیسانس شیمی)

کارشناس اداره کل استاندارد استان
خوزستان

رحیمی، ابراهیم
(دکتری بهداشت مواد غذایی)

هیئت علمی دانشگاه آزاد شهرکرد

شاکریان، امیر
(دکتری بهداشت مواد غذایی)

هیئت علمی دانشگاه آزاد شهرکرد

فتاحی نیا، مهناز
(فوق لیسانس شیمی)

کارشناس اداره کل استاندارد استان
خوزستان

معاونت بهداشت دانشگاه جندی شاپور اهواز

ملتجی، جلال
(لیسانس محیط زیست)

هیئت علمی دانشگاه آزاد شهرکرد

ممتاز، حسن
(دکتری میکروبیولوژی)

مسئول فنی آزمایشگاه شرکت معیاردانش
پارس

یزدانی، الهام
(فوق لیسانس شیمی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش‌گفتار
ز	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ ویژگی‌ها، منشأ و پیدایش CO ₂
۵	۴ روش اندازه‌گیری
۵	۵ طرح اندازه‌گیری
۱۱	پیوست الف (اطلاعاتی) محاسبه الزامات تهویه
۱۴	پیوست ب (اطلاعاتی) مقررات
۱۵	پیوست پ (اطلاعاتی) مثال‌هایی از آزمون‌های غربالگری و وسایل اندازه‌گیری ثبت پیوسته CO ₂ و CO
۱۷	پیوست ت (اطلاعاتی) کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد " هوای داخلی - قسمت ۲۶: راهبرد نمونه‌برداری برای کربن دی‌اکسید (CO₂) " که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط شرکت معیار دانش پارس تهیه و تدوین شده است و در یک‌صد و بیست یکمین اجلاس کمیته ملی استاندارد محیط زیست مورخ ۱۳۹۴/۱۲/۱۹ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن‌ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

ISO 16000-26: 2012, Indoor air — Part 26: Sampling strategy for carbon dioxide (CO₂)

مقدمه

استاندارد ISO 16000-1 الزامات عمومی مربوط به اندازه‌گیری آلاینده‌های هوای داخلی و شرایط مهم مورد مشاهده در طول یا قبل از نمونه‌برداری از آلاینده‌های مجزا یا گروهی از آلاینده‌ها را شرح می‌دهد. این قسمت از استانداردهای ISO 16000 جنبه‌های اساسی که باید هنگام به‌کارگیری یک روش نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری‌های کربن دی‌اکسید در هوای داخلی در نظر گرفته شوند، را شرح می‌دهد. این استاندارد در نظر دارد که ارتباطی بین استاندارد ISO 16000-1 و روش کارهای تجزیه‌ای برقرار کند. این استاندارد از تعریفی برای محیط داخلی استفاده می‌کند که در استاندارد ISO 16000-1 و مرجع ۱۲ پیوست ت شرح داده شده است. به عنوان مثال منازل دارای اتاق‌های نشیمن، اتاق‌های خواب، اتاق‌های فعالیت‌های کاردستی^۱، اتاق‌های سرگرمی و زیرزمین‌ها، آشپزخانه و حمام، اتاق‌های کار یا محل‌های کار در ساختمان‌هایی که تحت نظارت ایمنی و سلامت در زمینه‌ی آلاینده‌های هوایی نیستند (برای مثال ادارات، محل‌های فروش)، ساختمان‌های عمومی (برای مثال بیمارستان‌ها، مدارس، مهدکودک‌ها، سالن‌های ورزشی، کتابخانه‌ها، رستوران‌ها و کافه‌ها، سینماها و سایر اماکن تابع)، و همچنین کابین‌های وسایل نقلیه و حمل و نقل عمومی را به عنوان محیط داخلی در نظر می‌گیرد. روش نمونه‌برداری شرح داده شده در این استاندارد، بر اساس استاندارد VDI 4300 (مرجع ۱۱ پیوست ت) می‌باشد.

هوای داخلی - قسمت ۲۶: راهبرد نمونه‌برداری برای کربن دی‌اکسید (CO₂)

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه طرحی برای اندازه‌گیری‌های آلودگی کربن دی‌اکسید در هوای داخلی است. در مورد اندازه‌گیری‌های هوای داخلی، طرح دقیقی از نمونه‌برداری و روش اندازه‌گیری درست اهمیت خاصی دارد زیرا نتیجه اندازه‌گیری می‌تواند پیامدهای دور از دسترس، به عنوان مثال، در زمینه بررسی نیاز به اقدام اصلاحی یا موفقیت چنین اقدامی، داشته باشد.

یک روش اندازه‌گیری نامناسب می‌تواند منجر به تفسیر نادرست شرایط صحیح یا حتی منجر به نتایج اشتباه شود.

این استاندارد برای اندازه‌گیری کربن مونواکسید (CO) کاربرد ندارد.

یادآوری - بند ۵-۱ را ببینید.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۸-۱۰۸۴۷، هوای داخل ساختمان - قسمت هشتم: تعیین متوسط

عمر موضعی هوا در ساختمان‌ها جهت تعیین شرایط سیستم تهویه

2-2 ISO 16000-1, Indoor air — Part 1: General aspects of sampling strategy

۳ ویژگی‌ها، منشأ و پیدایش CO₂

کربن دی‌اکسید (CO₂) جزء سازنده طبیعی هوای اتمسفر است که مقدار آن به صورت میانگین، کمی بیش از ۰٫۰۳٪ کسر حجمی (معادل با حدود ۶۰۰ mg/m³) است. مقدار CO₂ اندازه‌گیری شده در هوا معمولاً با واحد قسمت در میلیون (ppm)^۱ گزارش می‌شود (یک قسمت در میلیون به عنوان یک کسر حجمی برابر است با ۱ μmol/mol)، ۰٫۰۳٪ کسر حجمی معادل با ۳۰۰ قسمت در میلیون است. به منظور تشکیل کربنیک اسید، مقداری CO₂ تحت شرایط داخلی با رطوبت اتمسفر واکنش می‌دهد. CO₂، بی‌رنگ، بی‌بو و بدون مزه بوده، به آسانی در آب حل می‌شود و تحت شرایط استاندارد از نظر شیمیایی پایدار می‌باشد. مولکول CO₂ می‌تواند بخشی از پرتوهای زیر قرمز را که از سطح زمین به صورت تابش حرارتی منعکس می‌شود، جذب کند و بنابراین در فرآیند « اثر گلخانه‌ای » که موجب گرم شدن زمین می‌شود، دخالت دارد.

1 - Parts per million

کربن دی‌اکسید در روند زندگی روی زمین نقش عمده‌ای دارد. در نتیجه فعالیت گیاهان (از کربن دی‌اکسید و آب، تحت عملکرد نور خورشید در حضور کلروفیل به عنوان کاتالیزور)، ترکیبات آلی (به‌طور عمده کربوهیدرات‌ها) و نیز اکسیژن ایجاد می‌شوند، که برای زندگی روی زمین ضروری است. کم و بیش برعکس این فرآیند، CO₂ در هوا به عنوان یکی از محصولات نهایی سوختن هیدروکربن‌ها (به علاوه آب) تولید می‌شود. این فرآیند، اولاً در هر نوع وسایل احتراقی و شومینه انجام می‌شود، اما دوماً نقش مهمی هم در متابولیسم موجودات زنده ایفا می‌کند. CO₂ تولید شده در فرایندهای متابولیک، در هوای محیط آزاد می‌شود.

در مورد انسان، مقدار CO₂ آزاد شده بستگی به مقدار فعالیت فیزیکی دارد. حجم CO₂ آزاد شده برای افراد بالغ را می‌توان مطابق با مقدار فهرست شده در جدول الف-۱ در نظر گرفت (برای توضیحات دقیق‌تر پیوست الف را ببینید).

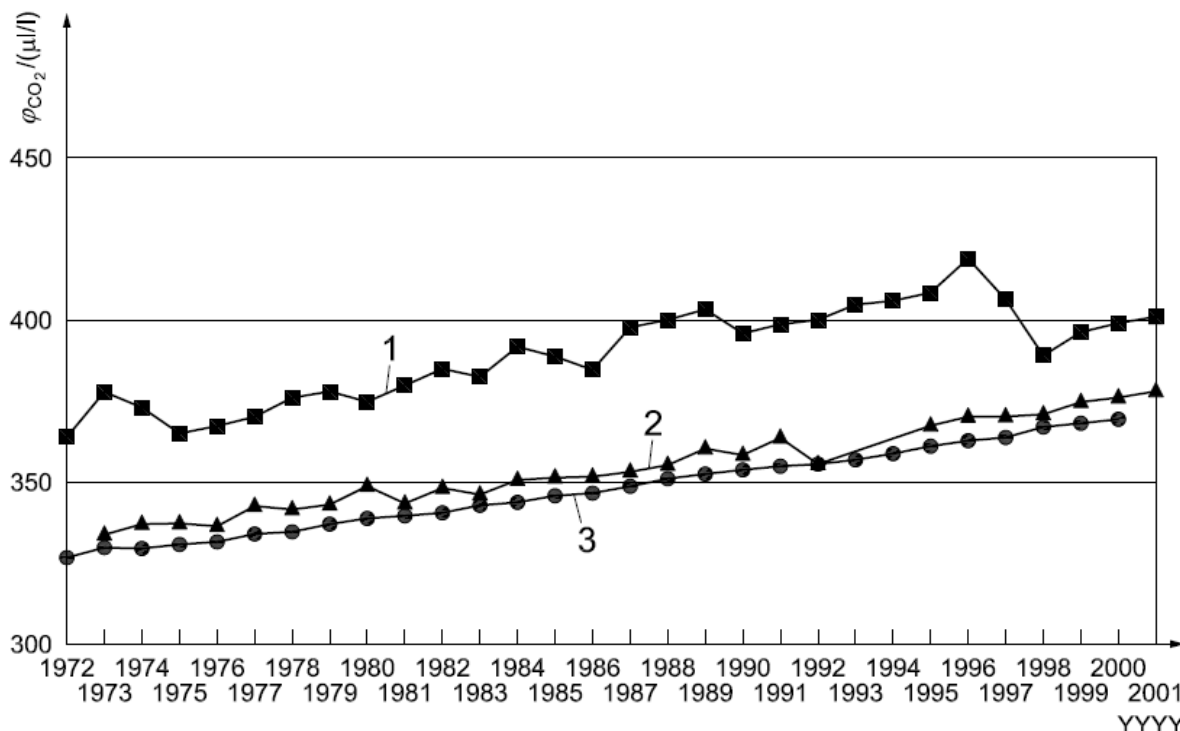
از آغاز صنعتی شدن، غلظت CO₂ در هوای محیط به‌طور پیوسته در حال افزایش بوده است. محل‌های اندازه‌گیری CO₂ در گذشته معمولاً با ایستگاه‌های هواشناسی^۱ ارتباط داشته و در نواحی با هوای پاک مستقر بوده‌اند. یکی از شناخته شده‌ترین محل‌های اندازه‌گیری CO₂ مانوآلوا^۲ در هاوایی می‌باشد. در این منطقه، که از منبع CO₂ محلی تأثیری نمی‌پذیرد، غلظت CO₂، برای مثال از ۳۱۶۱۰ قسمت در میلیون در سال ۱۹۵۹ به ۳۶۹۴ قسمت در میلیون در سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است (مرجع ۱۳ پیوست ت). این افزایش برابر با ۵۳/۴ قسمت در میلیون یا ۴/۱٪ کسر حجمی در سال است. از آن‌جا که CO₂ ماده‌ای مرتبط با آب و هوا است (اثر گلخانه‌ای)، افزایش آن با دقت نظر بالا بررسی می‌شود. در مجاورت منابع انتشار مانند نواحی وابسته به شهرهای متروپلیس^۳ با ترافیک‌های سنگین وسایل نقلیه و اشتعالات خانگی یا کارخانجات صنعتی احتراق، غلظت‌هایی بسیار بالاتر از CO₂ نیز می‌تواند ایجاد شود. بنابراین غلظت CO₂ در کلن با مقدار تقریبی ۴۰۰ قسمت در میلیون به صورت میانگین حدود ۱۰٪ بالاتر از هاوایی است (شکل ۱ را ببینید).

چنین مقادیری از غلظت‌های هوای محیط تأثیر مستقیم نامطلوبی بر سلامت انسان ندارند. اثرات واقعی قابل اندازه‌گیری تا حدود ۵۰۰۰ قسمت در میلیون تا ۱۰۰۰۰ قسمت در میلیون مشاهده نمی‌شوند. این اثرات شامل افزایش دفعات تنفس، تغییرات در pH خون و کاهش قابلیت فیزیکی می‌باشد. در غلظت‌های بیش‌تر از ۱۵۰۰۰ قسمت در میلیون نفس دشوارتر می‌شود و غلظت‌های بیش از ۳۰۰۰۰ قسمت در میلیون می‌تواند موجب سردرد و سرگیجه شود. در غلظت‌های بیش از ۶۰۰۰۰ قسمت در میلیون تا ۸۰۰۰۰ قسمت در میلیون، عدم هوشیاری و مرگ را می‌توان انتظار داشت (مرجع ۱۴ پیوست ت)

1- Meteorological stations

2 - Mauna Loa

3 - Metropolitan areas



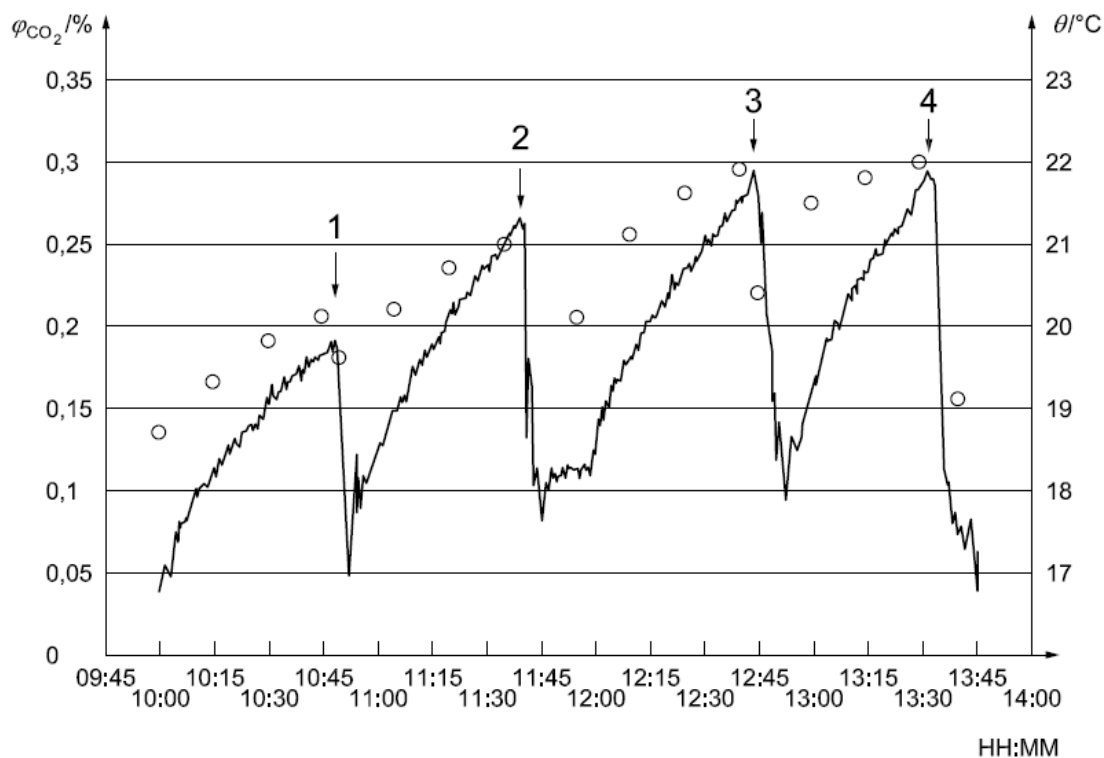
راهنما:

φCO ₂	کسر حجمی CO ₂
YYYY	سال
۱	کلن (آلمان)
۲	وسترلند (آلمان)
۳	هاوایی (آمریکا)

شکل ۱ - مقادیر میانگین سالانه غلظت‌های CO₂ در هوای محیط در مکان‌های متفاوت

در هوای داخلی، به دلیل تبادل هوا ناشی از تهویه، همان غلظت‌های موجود در هوای محیط، انتظار می‌رود. اما این شرایط در صورتی به کار می‌رود که هیچ منبع یا رسوخی در اتاق نباشد. منظور از رسوخ به عنوان مثال بنایی با خاصیت قلیایی می‌باشد. مهم‌ترین منبع در اتاق معمولاً انسان‌ها هستند. غلظت‌ها به تعداد افراد حاضر در اتاق و شدت تهویه بستگی دارد. برای مثال در مورد ۱۰ اندازه‌گیری مختلف در یک اتاق خواب در بسته، شامل دو نفر، در طول شب، حداکثر غلظت‌های CO₂ بین ۱۲۰۰ قسمت در میلیون و ۴۳۰۰ قسمت در میلیون تعیین شده است (مرجع ۱۵ پیوست ت). با پنجره‌های بسته و یک در نیمه باز حداکثر غلظت تنها ۱۷۰۰ قسمت در میلیون بود. در هوای ادارات در ۶۳۰ نقطه اندازه‌گیری، غلظت CO₂، ۳۵۰ قسمت در میلیون تا ۲۳۵۰ قسمت در میلیون (میان ۵۵۵ قسمت در میلیون) اندازه‌گیری شد، و تفاوت‌های چشمگیری بین ساختمان‌هایی با تهویه طبیعی (میان ۷۵۰ قسمت در میلیون CO₂، n=۳۰۰) و ساختمان‌هایی مجهز به تهویه هوا (میان ۴۶۵ قسمت در میلیون CO₂، n=۳۳۰) مشاهده شد (مرجع ۱۶ پیوست ت). غلظت‌های ۴۰۰ قسمت در میلیون تا ۸۰۰ قسمت در میلیون نیز در هوای ادارات اندازه‌گیری شد (مرجع ۱۷ پیوست ت). در کلاسی با حجم داخلی ۲۰۰ m³ با حضور ۴۵ نفر، پنجره‌های بسته و سرعت تبادل هوای حدود یک بار در هر ساعت (۱ h⁻¹)، غلظت CO₂ بعد از یک ساعت حدود ۳۰۰۰ قسمت در میلیون به دست آمد (مرجع ۱۸ پیوست ت). براساس چنین یافته‌هایی توصیه می‌شود از تهویه مناسب اطمینان حاصل شود.

در پیوست الف محاسبه الزامات تهویه یک اتاق شرح داده می‌شود. در حالی که تهویه مکانیکی به صورت پیوسته CO₂ را از هوای داخلی حذف می‌کند، حذف CO₂ در اتاق‌هایی با تهویه طبیعی به وسیله تبادل سریع هوا از طریق باز کردن تا حد ممکن، بسیاری از پنجره‌ها در نوبت‌های منظم، بهتر صورت می‌گیرد (شکل ۲ را ببینید). این مورد به خصوص در کلاس‌های بیشتر مدارس کاربرد دارد (مرجع ۱۹ پیوست ت).



راهنما:

φCO₂ کسر حجمی CO₂

□ دما

HH:MM زمان

○ داده‌های دمایی (محور سمت راست)

1,2,3,4 افت در کسر حجمی CO₂ (محور سمت چپ) به علت باز کردن پنجره‌ها

شکل ۲- اندازه‌گیری CO₂ در مدرسه‌ای با تبادل سریع ۵ دقیقه‌ای هوا به وسیله‌ی باز کردن در و پنجره بعد از ۴۵ دقیقه درس. حجم اتاق ۱۵۵ m³ بوده و در طول درس ۲۸ نفر در اتاق حاضر بودند (مرجع ۱۹ پیوست ت).

در موارد خاص منابعی به جز انسان‌ها نیز نقش مهمی ایفا می‌کنند. علاوه بر این فرآیندهای احتراق به طور مکرر در درون ساختمان‌ها انجام می‌شوند. CO₂ تولید شده از این طریق به همراه دیگر فرآورده‌های حاصل از احتراق به هوای داخل راه می‌یابند. بیشتر منابع گازهای احتراقی مانند دود تنباکو، شعله‌های باز آشپزی و وسایل گرمایشی یا شمع‌های در حال سوختن، در درون ساختمان قابل مشاهده هستند. بنابراین انتشار ناشی از این موارد را می‌توان پیش‌بینی و آن‌ها را با احتیاط به وسیله اندازه‌گیری‌های تهویه‌ای حذف کرد. مثالی برای منبع غیرقابل مشاهده، دودکشی است که ناشی دارد، اما این موقعیت به ندرت رخ می‌دهد.

مورد دیگری که در مورد غلظت CO₂ در هوای داخلی اهمیت دارد، انتشار CO₂ به وسیله گیاهان است. در طول تاریکی گیاهان نیز مقادیر کمی CO₂ آزاد می‌کنند. با استفاده از داده‌های تحقیقات قبلی، می‌توان

مقدار CO_2 آزاد شده بر حسب مساحت برگ و ساعت توسط گیاهان در تاریکی را به صورت تقریبی $400 (\text{ml}/\text{m}^2 \cdot \text{h})$ تخمین زد (مرجع ۲۱ پیوست ت). مقدار CO_2 آزاد شده در برگی با مساحت 1m^2 ، حداکثر متناظر با ۱٪ مقدار CO_2 آزاد شده توسط یک انسان بالغ در هر ساعت است، که این مقدار CO_2 آزاد شده در مقایسه با مصرف CO_2 در فرآیند فوتوسنتز یک گیاه در طول روز ناچیز است.

۴ روش اندازه‌گیری

تعدادی روش برای اندازه‌گیری کربن دی‌اکسید در هوای داخلی وجود دارد. رایج‌ترین اصل اندازه‌گیری، به‌عنوان مثال برای مطالعات هوای محیط، اسپکترومتری مادون قرمز غیرپاشنده (NDIR)^۱ است (مراجع شماره ۲۲ و ۲۳ پیوست ت). علاوه بر این، اسپکتروسکوپی فتوآکوستیک (PAS)^۲ نیز به کار می‌رود. این روشی است که انرژی القایی جذب شده در ناحیه زیر قرمز را به یک سیگنال آکوستیک تبدیل می‌کند (مرجع ۲۴ پیوست ت). کربن دی‌اکسید با استفاده از یک فیلتر IR نوار باریک در 2270cm^{-1} اندازه‌گیری می‌شود. هر دو روش مستلزم جبران اثرات مخالف، به خصوص اثر بخار آب در طول کالیبراسیون هستند. وسایل اندازه‌گیری که طبق روش‌های NDIR یا PAS کار می‌کنند قادر به تعیین پیوسته و مطمئن مقدار CO_2 در گستره غلظتی حدود ۱ قسمت در میلیون تا ۵۰۰۰ قسمت در میلیون می‌باشند.

در اولین بررسی وضعیت یک اتاق، لوله‌های نمونه‌برداری را نیز می‌توان به کار برد. لوله‌های نمونه‌برداری کوتاه‌مدت که در آن‌ها هوا از طریق پمپ دمنده به درون لوله نمونه‌برداری کشیده می‌شود، یک مقدار اندازه‌گیری شده را در حدود چند دقیقه ارائه می‌دهند، در حالی که در مورد لوله‌های نمونه‌برداری نفوذی نشان‌گر مستقیم^۳، چند ساعت زمان برای اندازه‌گیری، موردنیاز است. لوله‌های نمونه‌برداری به کار رفته برای غلظت هوای داخلی موردنظر گستره ۱۰۰ قسمت در میلیون تا ۳۰۰۰ قسمت در میلیون را پوشش می‌دهند (مرجع ۲۵ پیوست ت).

حسگرهای کربن دی‌اکسید در تکنولوژی هوای داخلی به منظور کنترل تجهیزات تهویه و تهویه مطبوع (تجهیزات VAC)^۴ به کار می‌روند. علاوه بر حسگرهای انتخابگر که بر اساس جذب زیر قرمز دوکاناله^۵ عمل می‌کنند، حسگرهای الکتروشیمیایی و حسگرهای گازی نیمه هادی نیز برای پایش کیفیت هوای داخلی به کار می‌روند. این حسگرها برای اندازه‌گیری CO_2 مطابق این استاندارد طراحی نشده‌اند. برای روش‌های آزمون غربالگری به پیوست پ مراجعه کنید.

۵ طرح اندازه‌گیری

۱-۵ کلیات

در بند ۳ گفته شد که علاوه بر حضور غیر قابل اجتناب کربن دی‌اکسید به عنوان جز سازنده طبیعی هوای

1 - Non-Dispersive Infrared Spectrometry (NDIR)

2 - Photoacoustic Spectrometry (PAS)

3 - Direct- indicating

4 - Ventilation and air conditioning equipment

5 - two-channel infrared absorption principle

اتمسفری نه تنها به وسیله خود انسان بلکه به عنوان فرآورده فرآیندهای احتراق با استفاده از شعله‌های باز نیز به هوای داخلی راه می‌یابد. از آنجا که این موضوع مربوط به منابع ثابت پیوسته نمی‌شود، بدین معنا که غلظت‌های ثابت CO_2 در هوای داخلی مورد انتظار نیست، روش درست اندازه‌گیری اهمیت زیادی دارد. در صورتی که، اندازه‌گیری کربن مونوکسید (CO) نیز مورد نظر است، این استاندارد برای طرح اندازه‌گیری CO مناسب نمی‌باشد. CO گازی بدون بو و بی‌رنگ و بسیار سمی است که می‌تواند موجب بیماری و مرگ ناگهانی شود. این گاز در یک فرآیند احتراق ناقص ایجاد شده و به علت نقص دودکش یا شومینه‌ای که هوا را به‌طور نامناسب می‌کشد می‌تواند هوای داخل را آلوده کند. کربن مونوکسید را می‌توان با وسایل اندازه‌گیری خودکار یا لوله‌های آشکارسازی قرائت مستقیم که به صورت تجاری موجود هستند، اندازه‌گیری کرد (گستره اندازه‌گیری حدود ۲ قسمت در میلیون تا ۶۰ قسمت در میلیون است) (پیوست پ را نیز ببینید).

۲-۵ هدف اندازه‌گیری و شرایط مرزی

۱-۲-۵ کلیات

قبل از انجام اندازه‌گیری‌ها در هوای داخلی هدف اندازه‌گیری باید به وضوح تعریف شود. در مورد اندازه‌گیری کربن دی‌اکسید، به‌طور عمده اهداف تعیین شده در بندهای ۲-۲-۵ و ۳-۲-۵ مورد نظر هستند.

۲-۲-۵ بررسی انطباق با مقدار راهنما

کربن دی‌اکسید اغلب به عنوان شاخص عمومی آلودگی هوای داخلی با منشأ انسانی به کار می‌رود. مخصوصاً در اتاق‌هایی که دارای تهویه طبیعی بوده و به صورت منظم توسط تعداد زیادی از افراد اشغال می‌شوند، مانند کلاس‌های مدارس یا تالارها، این مقدار برخی اوقات می‌تواند در نبود تهویه لازم به صورت قابل توجهی افزایش یابد. مقررات برای این هدف و نیز ویژگی‌های طراحی سیستم‌های تهویه و تهویه مطبوع هوا در استانداردهای DIN 1946-4، DIN 1946-6 و مراجع شماره ۲۰، ۲۹ و ۳۰ پیوست ت ارائه می‌شود.

غلظت CO_2 در یک اتاق بدون استفاده معمولاً از غلظت CO_2 در هوای محیط بیشتر نمی‌باشد. البته این وضعیت معمولاً زمانی که اتاق مورد استفاده قرار می‌گیرد، تغییر می‌کند. در اتاق‌های مورد استفاده اگر هیچ‌کدام از منابع شرح داده شده در بند ۳ موجود نباشند، انسان‌ها منبع اصلی انتشار کربن دی‌اکسید هستند. بنابراین بررسی مقدار راهنما، تنها تحت شرایط معمول استفاده و با تعداد ساکنین معمول معنادار است. توصیه می‌شود قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها، اتاق به مدت چند دقیقه ترجیحاً به وسیله هواکش^۱ به شدت تهویه شود. در صورت نیاز، سایر منابع و مشخصه‌های انتشار آنها نیز باید لحاظ شوند.

اگر شکایاتی از سوی ساکنین اتاق تحت شرایطی بیان می‌شود که می‌تواند با غلظت کربن دی‌اکسید در ارتباط باشد برای شفاف‌سازی وضعیت، اندازه‌گیری را تحت همان شرایط انجام دهید.

هنگامی که مطالعه در اتاق‌هایی انجام می‌شود که با استفاده از تجهیزات VAC تهویه می‌شوند، این تجهیزات باید در طول اندازه‌گیری‌ها، تحت شرایط معمول اتاق کار کنند.

۳-۲-۵ بررسی وضعیت تهویه در اتاق

کربن دی‌اکسید به دلیل ماهیت بی‌اثر و سهولت آنالیز آن می‌تواند برای تعیین تبادل هوا در اتاق نیز به کار

1 - Cross- venting

رود. برای این منظور وقتی ساکنین در اتاق نیستند، کربن دی‌اکسید به‌طور فزاینده در هوای اتاق وارد می‌شود تا جایی که غلظتی بسیار بالاتر از غلظت طبیعی در هوا به‌دست آید. این غلظت نباید بیش از ۲۰۰۰۰ قسمت در میلیون باشد. نرخ تبادل هوا را می‌توان از اندازه‌گیری کاهش غلظت کربن دی‌اکسید در طول زمان محاسبه کرد. برای اطلاعات بیشتر به استاندارد ملی ایران شماره ۸-۱۰۸۴۷ مراجعه کنید که در آن محدودیت‌های استفاده از کربن دی‌اکسید به عنوان گاز شاخص نیز شرح داده شده است.

هنگامی که غلظت کربن دی‌اکسید در یک اتاق گزارش می‌شود، فرض می‌شود که هوای اتاق به صورت یکنواخت مخلوط شده و بنابراین در تمامی نقاط دارای کیفیت یکسانی است، که بدین ترتیب می‌توان گفت غلظت کربن دی‌اکسید یکسانی نیز دارد. گرچه لزوماً تأیید این موضوع لازم نیست، مخصوصاً در اتاق‌هایی که به صورت مکانیکی تهویه می‌شوند. به‌ویژه در اتاق‌های بسیار بزرگ، مثل تالار، دفاتر بزرگ^۱ یا اتاق‌های زاویه‌دار، بسته به موقعیت دهانه‌های ورود و خروج هوا یا بسته به نوع سوار کردن تأسیسات می‌توان « ناحیه مرده»^۲ را شکل داد که در آن تبادل هوا کاهش می‌یابد.

برای اتاقی که به صورت مکانیکی تهویه می‌شود، کارایی تهویه، ϵ_L ، با استفاده از رابطه ۱ تعریف می‌شود (به استاندارد EN 13779 مراجعه کنید).

$$\epsilon_L = \frac{\varphi_{ETA} - \varphi_{SUP}}{\varphi_{IDA} - \varphi_{SUP}} \quad (1)$$

که در آن :

φ_{ETA} غلظت CO₂ هوای استخراجی، برحسب درصد کسر حجمی؛

φ_{SUP} غلظت CO₂ هوای منبع، برحسب درصد کسر حجمی؛

φ_{IDA} غلظت CO₂ هوای داخلی، برحسب درصد کسر حجمی می‌باشد.

مقدار کارایی تهویه وقتی غلظت‌ها در هوای استخراجی و هوای داخلی در نقطه موردنظر یکسان هستند، یک خواهد بود. همگنی توزیع هوا در یک اتاق را می‌توان با اندازه‌گیری‌های غلظت کربن دی‌اکسید در زمان‌های متوالی در نقاط مختلف اتاق بررسی کرد.

۳-۵ زمان اندازه‌گیری

شروع اندازه‌گیری بر اساس هدف اندازه‌گیری تعیین می‌شود (بند ۵-۲ را ببینید).

اگر یک بررسی برای تعیین شرایط بهداشتی ایمن یک اتاق بر اساس غلظت کربن دی‌اکسید در آن، انجام می‌شود، غلظت به‌صورت پیوسته در زمانی مشخص حین استفاده معمول (سکونت افراد) از اتاق برای مثال در طول دوره زمانی معمول استفاده، اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری بعد از تهویه شدید اتاق آغاز می‌شود، به‌طوری‌که غلظت کربن دی‌اکسید در زمان شروع برابر با غلظت آن در هوای محیط باشد. بسته به میزان تبادل هوای ثابت در طول زمان، غلظت در یک حد ثابت، به صورت کمابیش سریع تثبیت می‌شود. اگر تبادل هوا با باز کردن پنجره‌ها یا درها تغییری کند، این تغییر از طریق کاهش قابل توجه در غلظت شناسایی

1 - Open- plan offices

2 - Dead zone

می‌شود (شکل ۲ را ببینید). در اتاق‌هایی با تهویه مکانیکی، یک ساعت بعد از روشن شدن دستگاه VAC اندازه‌گیری ابتدایی از اتاق خالی از سکنه انجام می‌شود و سپس در حضور ساکنین اتاق، مانند مورد اتاق با تهویه آزاد، اندازه‌گیری صورت می‌گیرد. در هر دو مورد برای تعیین نقش هوای محیط در غلظت کربن دی‌اکسید در اتاق، غلظت کربن دی‌اکسید هوای محیطی باید در مکانی درست همزمان با اندازه‌گیری‌های هوای داخلی، حداقل در یک روز، تعیین شود. اگر وضعیت تهویه در اتاق ارزیابی می‌شود (بند ۵-۲-۳ را ببینید) غلظت کربن دی‌اکسید نیز به صورت مداوم ثبت می‌گردد. در مورد اندازه‌گیری تبادل هوا، ثبت نتایج حدود ۱۵ دقیقه تا ۳۰ دقیقه بعد از تزریق کربن دی‌اکسید اضافی به هوای اتاق انجام می‌شود که به صورت همگن در طول این مدت به وسیله یک پنکه رومیزی توزیع شده است. اگر کارایی تهویه در یک اتاق با تهویه مکانیکی و در حضور ساکنین تعیین می‌شود، غلظت کربن دی‌اکسید در نقاط مختلف اتاق حدود دو ساعت بعد از روشن شدن دستگاه VAC اندازه‌گیری می‌شود.

اگر ویژگی‌های انتشار از یک منبع ثبت می‌شوند یا اگر منبعی ناشناخته و مشکوک از احتراق در یک اتاق گازهایی را آزاد می‌کند، غلظت کربن دی‌اکسید به صورت مداوم در مدت زمان طولانی‌تر ثبت می‌شود. در هر مورد، دوره زمانی دقیق را به سختی می‌توان از پیش تعیین کرد، آن را باید چنان انتخاب کرد که نقطه‌ی زمانی فعالیت منبع بالقوه در دوره اندازه‌گیری قرار گیرد. بنابراین ممکن است ردیابی یک دودکش نشت کننده در یک مکان مسکونی خارج از دوره‌ی زمانی گرمایشی بسیار دشوار باشد.

۴-۵ مکان اندازه‌گیری

برای اتاق‌هایی با مساحت سطح حداکثر 50 m^2 عموماً کافی است یک نقطه نمونه‌برداری در هر اتاق داشته باشیم که توصیه می‌شود در ارتفاع 1.5 m بوده و در فاصله حداقل 1 m تا 2 m از دیوارها قرار داشته باشد. برای اتاق‌های بزرگتر به منظور کسب اطمینان از اینکه هر شیب غلظتی مشخص می‌گردد، توصیه می‌شود نقاط بیشتری برای نمونه‌برداری فراهم شود. این کار به ویژه در بررسی کارایی تهویه لازم است. به منظور جلوگیری از تأثیر مستقیم هوای بازدم افراد حاضر در اطراف، بر نتایج اندازه‌گیری، (در هوای بازدم، حدود 40000 قسمت در میلیون کربن دی‌اکسید اندازه‌گیری شده است) باید برای حصول اطمینان از فاصله کافی تا ابزار اندازه‌گیری دقت شود. همچنین این نکته را باید در طول اندازه‌گیری برای نمونه‌بردار هم رعایت کرد (فاصله نمونه‌بردار از افراد 1.5 m تا 2 m باشد).

در جستجوی منبع ناشناخته احتراقی که گازهایی را در اتاق آزاد می‌کند، در هر مورد موقعیت ردیاب ورودی ابزار اندازه‌گیری باید بعد از 5 دقیقه تا 10 دقیقه عوض شود تا بتوان مکان بیشترین غلظت را یافت و بنابراین جایگاه منبع را شناسایی کرد.

هنگام انجام اندازه‌گیری‌ها در اتاق‌هایی با تهویه مکانیکی لازم است اندازه‌گیری در نقطه‌ای از اتاق صورت گیرد که هوای ورودی به اتاق وارد می‌شود تا بتوان هر گونه آلودگی اولیه را شناسایی کرد. چنین آلودگی‌های اولیه‌ای می‌توانند ناشی از گردش دوباره قسمتی از هوا در هوای ورودی یا ناشی از آلاینده‌های هوای تازه برای مثال ناشی از نیروگاه‌های اطراف یا رفت و آمد بالا باشند. میزان غلظت کربن دی‌اکسید در هوای تازه را می‌توان با اندازه‌گیری‌های هوای محیط تعیین کرد.

۵-۵ دوره زمانی اندازه‌گیری

غلظت کربن دی‌اکسید به جز برای اندازه‌گیری غربالگری با استفاده از لوله‌های نمونه‌برداری (بند ۴ را ببینید)، به صورت پیوسته با استفاده از وسایل خودکار ثبت می‌شود. این روش، دنبال کردن تغییر در غلظت کربن دی‌اکسید با گذر زمان را به منظور دستیابی به الزاماتی برای توصیه‌های کارکرد تهویه بهینه، ممکن می‌سازد. علاوه بر این، بسته به موضوع مورد بحث، غلظت‌های میانگین را می‌توان از نقطه میانی منحنی در دوره‌های زمانی دلخواه به دست آورد.

۶-۵ عدم اطمینان در اندازه‌گیری و ارائه نتایج

در متن طرح اندازه‌گیری، لازم است مشخص کنیم عدم اطمینان در اندازه‌گیری باید به چه نحوی تعریف شود و چه مشخصه‌های عملکردی برای توصیف نتایج در گزارش اندازه‌گیری به کار روند. عدم اطمینان در اندازه‌گیری به ناچار رخ می‌دهد. این عدم اطمینان به میزان محدودی ناشی از اندازه‌گیری و نیز ناشی از عدم اطمینان در نمونه‌برداری و تعیین تجزیه‌ای می‌باشد. این بیانگر یک اندازه‌گیری واحد، تحت تأثیر تغییرات غلظت در زمان و فضا می‌باشد.

گزارش اندازه‌گیری هم‌چنین علاوه بر رجوع به روش اندازه‌گیری به کار رفته، شامل توصیفی از مشخصات عملکردی معتبر در نقطه زمانی انجام اندازه‌گیری، مخصوصاً حد تشخیص و حد تعیین مقدار، می‌شود.

نتایج اندازه‌گیری معمولاً بر حسب قسمت در میلیون گزارش می‌شوند (بند ۳ را ببینید).

در نتایج اندازه‌گیری، داده‌های عددی معمولاً چنان گزارش می‌شوند که آخرین مکان اعشاری (رقم معنی‌دار) در همان زمان مقدار عدم اطمینان در اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

۷-۵ تضمین کیفیت

بسته به هدف، آماده کردن اتاق قبل از شروع اندازه‌گیری، زمان اندازه‌گیری، دوره زمانی نمونه‌برداری، فراوانی و مکان اندازه‌گیری و در صورت تناسب با مشکل مورد بررسی، نقطه (نقاط) اندازه‌گیری در اتاق باید مشخص شوند. در طول اندازه‌گیری، شرایط مرزی مشخص شده، مخصوصاً وضعیت تهویه و حضور احتمالی منابع منتشر کننده کربن دی‌اکسید در داخل، شامل هر کاربر اتاق، باید به درستی معرفی و ثبت شوند. توصیه می‌شود چنین پروتکلی در طول طرح اندازه‌گیری مناسب برقرار شود. توصیه‌های عمومی مربوط به اطلاعاتی که باید در طول اندازه‌گیری هوای داخلی ثبت شوند (ارائه شده در پیوست ۱ استاندارد ISO 16000-1)، را اتخاذ کنید.

الزامات کیفیتی خریدار باید در روش اندازه‌گیری تعریف شده باشند. قبل از این که قراردادی با یک مؤسسه اندازه‌گیری بسته شود، به عنوان معیارهای تضمین کیفیت بیشتر، حداقل مسائل زیر باید روشن شوند:

- آیا آزمایشگاه اندازه‌گیری کننده، سیستم تضمین کیفیت ثبت شده‌ای (مثلاً طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۲۵ (مرجع ۱ پیوست ت)) دارد، یا چنانچه ندارد، آیا آزمایشگاه حداقل در آزمون-های بین آزمایشگاهی مشارکت می‌کند؟
- آیا اندازه‌گیری‌های منظم^۱ الزامی هستند؟
- عدم قطعیت‌ها چگونه تعیین می‌شوند (برای مثال طبق ISO/IEC Guide 98-3)؟

1 - Collocated

- شیوه کالیبراسیون؟ مدت زمان بین دو کالیبراسیون؟ وسعت کالیبراسیون؟

۸-۵ گزارش آزمون

گزارش باید شامل حداقل اطلاعات زیر باشد:

- ۱-۸-۵ روش آزمون انجام شده با ارجاع به این استاندارد ملی؛
- ۲-۸-۵ هدف از اندازه گیری؛
- ۳-۸-۵ زمان و تاریخ نمونه برداری؛
- ۴-۸-۵ شرایط نمونه برداری (دما و رطوبت نسبی)؛
- ۵-۸-۵ شرح مکان نمونه برداری؛
- ۶-۸-۵ شرح کامل روش انجام نمونه برداری؛
- ۷-۸-۵ شرح کامل روش تجزیه ای؛
- ۸-۸-۵ حد تشخیص روش تجزیه ای؛
- ۹-۸-۵ عدم قطعیت نتایج گزارش شده؛
- ۱۰-۸-۵ نام و امضای آزمون گر.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

محاسبه الزامات تهویه

کربن دی‌اکسید در مراحل متابولیک تشکیل شده و از طریق هوای تنفسی آزاد می‌شود. مقدار کربن دی‌اکسید در مخلوط بازدم به مصرف اکسیژن بستگی داشته و برای یک فرد بالغ در حالت استراحت به صورت تقریبی برابر با ۱۳ (l/h) تا ۱۴ (l/h) است (مرجع ۲۶ پیوست ت). برای افراد بالغ و وضعیت‌های مختلف فعالیت، مقادیری برای q_{v,CO_2} مطابق جدول الف-۱ می‌توان در نظر گرفت.

جدول الف-۱ - مقدار CO_2 خروجی یک فرد بالغ در فعالیت‌های فیزیکی متفاوت (مرجع ۱۰ پیوست ت)

نوع فعالیت	q_{v,CO_2} l/h
در حالت نشسته	۱۵ تا ۲۰
کار سبک	۲۰ تا ۴۰
کار نسبتاً سنگین	۴۰ تا ۷۰
کار سنگین	۷۰ تا ۱۱۰

در صورتی که سرعت تبادل هوا و استفاده از اتاق مشخص باشد، ممکن است بتوان غلظت کربن دی‌اکسید را از طریق محاسبات به‌دست آورد. این می‌تواند به عنوان مقیاسی برای تعیین الزامات تهویه به کار رود. برای یک بارگذاری پس زمینه $\varphi_{CO_2(\text{محیط})}$ ، غلظت کربن دی‌اکسید در هر هوای داخلی، $\varphi_{CO_2}(t)$ را با استفاده از رابطه ۲ بر حسب درصد کسر حجمی، به عنوان تابع زمان ارائه می‌دهد.

$$\varphi_{CO_2}(t) = \varphi_{CO_2(\text{محیط})} + \frac{N q_{v,CO_2}}{10 nV} [1 - \exp(-nt)] \quad (\text{الف-۱})$$

که در آن:

غلظت CO_2 در هوای محیط، بر حسب درصد کسر حجمی؛

N تعداد افراد؛

n سرعت تبادل هوا، بر حسب معکوس ساعت (h^{-1})؛

V حجم اتاق، بر حسب مترمکعب؛

سرعت انتشار ویژه CO_2 ، بر حسب لیتر بر ساعت؛

t زمان، بر حسب ساعت می‌باشد.

جدول الف-۲- غلظت‌های کربن‌دی‌اکسید بعد از ۴۵ دقیقه و ۹۰ دقیقه، محاسبه شده از فرمول الف-۱ برای $n = 0.26 \text{ h}^{-1}$ و $V = 146 \text{ m}^3$ ، کسر جرمی

تعداد (N) ^a	l/h ^a) ^a (بر حسب درصد کسر حجمی)		
		پس از ۴۵ دقیقه	پس از ۹۰ دقیقه	زمان تا بی نهایت
۲۸	۱۵	۰.۲۳	۰.۳۹	۱.۱۴
۲۸	۲۰	۰.۲۹	۰.۵۱	۱.۵۱
۲۸	۲۵	۰.۳۶	۰.۶۳	۱.۸۷
۲۵	۱۵	۰.۲۰	۰.۳۵	۱.۰۲
۲۵	۲۰	۰.۲۶	۰.۴۶	۱.۳۵
۲۵	۲۵	۰.۳۲	۰.۵۶	۱.۶۸
۲۰	۱۵	۰.۱۷	۰.۲۹	۰.۸۲
۲۰	۲۰	۰.۲۲	۰.۳۷	۱.۰۸
۲۰	۲۵	۰.۲۶	۰.۴۶	۱.۳۵

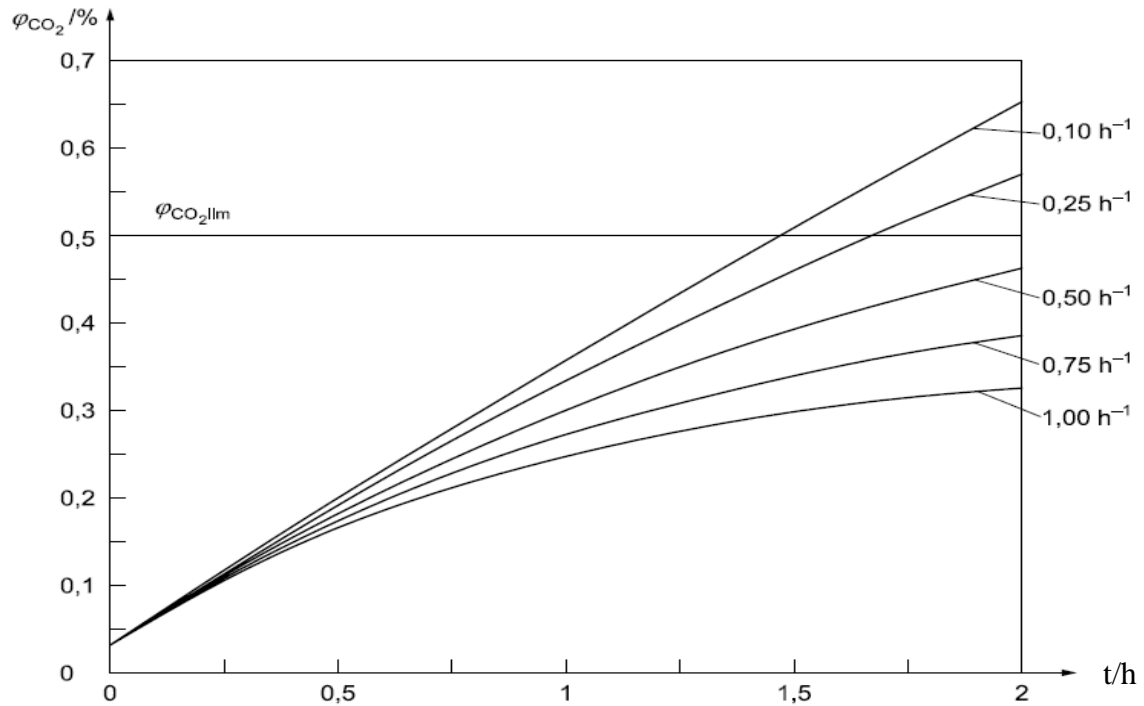
^a تعاریف متغیرها در رابطه الف-۱ را ببینید.

سرعت تبادل هوای موردنیاز برای ارائه غلظت تعریف شده (مشخص) از کربن‌دی‌اکسید را می‌توان از رابطه الف-۱ محاسبه کرد. در این محاسبه غلظت تعادلی، $\Phi_{CO_2,(\tau \rightarrow \infty)}$ ، معمولاً به عنوان نقطه شروع به کار می‌رود.

$$n = \frac{N_{q_{v,CO_2}}}{10V [\Phi_{CO_2,(\tau \rightarrow \infty)} - \Phi_{CO_2(ambient)}]} \quad (\text{الف-۲})$$

برای نمادهای باقی‌مانده به تعاریف متغیرهای رابطه الف-۱ مراجعه کنید.
 مثال- یک کلاس در مدرسه با حجم 146 m^3 برای تدریس به ۲۰ تا ۲۸ دانش‌آموز، استفاده می‌شود.
 Φ_{CO_2} (محیط) برابر ۰.۱۵٪ کسر حجمی و نرخ تبادل هوای اندازه‌گیری شده، $n = 0.26 \text{ h}^{-1}$ ، غلظت‌های کربن دی‌اکسید نوشته شده در جدول الف-۲، برای تعداد افراد مختلف N، زمان‌های t و سرعت‌های انتشار q_{v,CO_2} محاسبه می‌شود.

شکل الف-۱ تغییر زمانی مقدار کربن‌دی‌اکسید را به عنوان تابعی از نرخ تبادل هوا نشان می‌دهد. برای این‌که مقدار تعادلی از ۰.۱۵٪ کسر حجمی بیشتر نشود، برای اتاق مورد سوال با $\Phi_{CO_2(ambient)}$ برابر با ۰.۱۵٪ کسر حجمی، با تعداد ۲۵ نفر و $q_{v,CO_2} = 20 \text{ l/h}$ ، برای مثال نرخ تبادل هوا، $n = 2.85 \text{ h}^{-1}$ لازم خواهد بود.



راهنما:

کسر حجمی CO₂

زمان

مقدار AGW (مقدار Arbeitsplatzgrenzwert, حداکثر مقدار حدی اتمسفر محل کار، ۵۰۰۰ قسمت در میلیون) مرجع ۷ پیوست

(ت)

شکل الف-۱- تغییر زمانی غلظت کربن دی اکسید محاسبه شده از رابطه الف-۱ برای

$$\varphi_{CO_2(\text{محیط})} = 0.103\% \text{ کسر جرمی}, V=146 m^3, N=25 \text{ و } \varphi_{V,CO_2} = 20 \text{ l/h}$$

(در تعدادی از سرعت های تبادل هوا (نشان داده شده بر حسب معکوس ساعت)

پیوست ب

(اطلاعاتی)

مقررات

مکس فون پتنکوفر^۱ در اواسط قرن نوزدهم، پیشنهاد داد که غلظت کربن دی‌اکسید در هوای داخلی ۰٫۱٪ کسر حجمی، معادل با ۱۰۰۰ قسمت در میلیون نگه داشته شود (مرجع ۲۷ پیوست ت). گفته می‌شود در این مقدار، که هم اکنون به عنوان عدد پتنکوفر شناخته می‌شود، آلودگی هوای داخلی ناشی از بازدم انسانی (پسماند زیستی)^۲ تا حدی که برای سلامتی بی‌خطر باشد، محدود شده است. این مقدار به مدت ده‌ها سال به عنوان معیاری برای کیفیت هوای مطلوب داخلی بوده و برای محاسبه‌ی طراحی سیستم‌های تهویه اتاق‌ها به منظور تهویه نواحی داخلی به کار گرفته می‌شده است. برای این هدف، استاندارد تهویه 2-1946 DIN، مقدار مشخص ۰٫۱۵٪ کسر حجمی (۱۵۰۰ قسمت در میلیون) را تعیین کرده است. در ضمن استاندارد EN 13779 کیفیت هوای داخلی را بر اساس افزایش مقدار کربن دی‌اکسید نسبت به هوای محیطی، طبق مقدار تقریبی هوای محیطی ۳۵۰ قسمت در میلیون تا ۴۰۰ قسمت در میلیون بر اساس بند ۳، طبقه‌بندی می‌کند (جدول ب-۱).

جدول ب-۱ - دسته‌بندی‌های کلی کیفیت هوای داخلی و غلظت کربن دی‌اکسید در داخل

افزایش غلظت CO ₂ نسبت به غلظت CO ₂ هوای محیط قسمت در میلیون		شرح
مقدار استاندارد (مرجع ۳ پیوست ت را ببینید)	محدوده معمول	
۳۵۰	۴۰۰	کیفیت هوای داخلی خاص
۵۰۰	۴۰۰ تا ۶۰۰	کیفیت بالای هوای داخلی
۸۰۰	۶۰۰ تا ۱۰۰۰	کیفیت متوسط هوای داخلی
۱۲۰۰	۱۰۰۰	کیفیت پایین هوای داخلی

1 - Max von Pettenkofer

2 - Bioeffluent

پیوست پ

(اطلاعاتی)

مثال‌هایی از آزمون‌های غربالگری و وسایل اندازه‌گیری ثبت پیوسته CO و CO₂

پ-۱ کلیات

روش‌های آزمون غربالگری از نوعی هستند که می‌توانند به سرعت آلودگی موجود در هوا را بدون استفاده از روش‌های تجزیه گران قیمت شناسایی کنند. نتایج این آزمون‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیری در مورد میزان اندازه‌گیری‌های الزامی بیشتر کمک کند. هنگام استفاده از آزمون‌های غربالگری راهبرد اساسی از روش اندازه‌گیری در هر موردی باید در نظر گرفته شود. همچنین اگر قصد اندازه‌گیری مونوکسید کربن در هوای آلوده داخلی را دارید، می‌توانید آن را از طریق لوله‌های آشکارساز قرائت مستقیم اندازه بگیرید.

پ-۲ لوله‌های آشکارساز قرائت مستقیم برای CO₂

لوله‌های آشکارساز قرائت مستقیم، مقدار کربن‌دی‌اکسید را در گستره غلظتی ۱۰۰ قسمت در میلیون تا ۳۰۰۰ قسمت در میلیون را اندازه‌گیری می‌کنند. وسایل نوعی که به صورت تجاری در دسترس هستند بر تغییرات رنگ پودرهای جاذب سطحی^۱ به واسطه کربن‌دی‌اکسید موجود در هوا، تکیه دارند (مرجع ۲۵ پیوست ت). تغییر رنگ کافی باید در مقدار راهنما ایجاد شود.

به منظور انجام اندازه‌گیری، حجم ۱ l از هوا به وسیله پمپ دمنده به درون لوله آشکارساز کشیده می‌شود. در صورت وجود کربن‌دی‌اکسید تغییر رنگی از سفید به آبی- بنفش رخ می‌دهد. طول تغییر رنگ، معیاری از غلظت است که می‌تواند از درجه روی لوله خوانده شود.

لوله‌های نفوذی قرائت مستقیم، مقدار کربن‌دی‌اکسید را در گستره غلظتی ۶۵ قسمت در میلیون تا ۲۰۰۰۰ قسمت در میلیون اندازه‌گیری می‌کنند. زمان اندازه‌گیری به میزان کربن‌دی‌اکسید بستگی داشته و بین ۱ ساعت تا ۸ ساعت می‌باشد. در صورت وجود کربن‌دی‌اکسید تغییر رنگی از آبی به سفید رخ می‌دهد. طول تغییر رنگ معیاری از میزان تماس می‌باشد که می‌تواند از درجه روی لوله خوانده شود. برای تعیین غلظت، مقدار خوانده شده باید به دوره زمانی اندازه‌گیری تقسیم شود.

اگر مقدار خوانده شده از روی درجه کمتر از ۴۰۰ قسمت در میلیون تا ۵۰۰ قسمت در میلیون باشد، اندازه‌گیری‌های بیشتر لازم نیست.

پ-۳ لوله‌های آشکارساز قرائت مستقیم برای CO

لوله‌های آشکارساز قرائت مستقیم، مقدار کربن مونوکسید را در گستره غلظتی ۲ قسمت در میلیون قسمت در میلیون تا ۶۰ قسمت در میلیون اندازه‌گیری می‌کنند. وسایل نوعی که به صورت تجاری در دسترس هستند بر تغییرات رنگ پودرهای جاذب سطحی به واسطه کربن مونواکسید موجود در هوا، تکیه دارند (مرجع ۲۶

1 - Adsorbing powder

پیوست ت). تغییر رنگ کافی باید در مقدار راهنما ایجاد شود. به منظور انجام اندازه‌گیری، حجم ۱۱ از هوا به وسیله پمپ دمنده به درون لوله آشکارساز کشیده می‌شود. در صورت وجود کربن منوکسید، تغییر رنگی از سفید به سبز- قهوه‌ای رخ می‌دهد. طول تغییر رنگ معیاری از غلظت است که می‌تواند از درجه روی لوله خوانده شود.

اگر هیچ تغییر رنگی رخ نداد یا مقدار خوانده شده از روی درجه کمتر از ۲ قسمت در میلیون بود، اندازه‌گیری‌های بیشتر لازم نیست.

پ-۴ تعیین CO و CO₂ با وسایل اندازه‌گیری ثبت پیوسته

وسایل اندازه‌گیری ثبت پیوسته که برای CO و/ یا CO₂ به عنوان مثال برای پایش شخصی در نواحی کاری استفاده می‌شوند، همچنین می‌توانند هنگامی که گستره اندازه‌گیری مطابق با غلظت‌های این استاندارد باشد، برای اندازه‌گیری‌های هوای داخلی به کار روند (مرجع ۲۸ پیوست ت). چنین وسایلی به یک حسگر الکتروشیمیایی برای کربن مونوکسید و یک حسگر زیر قرمز برای کربن دی‌اکسید مجهز هستند. داده‌های اندازه‌گیری شده به وسیله داده‌نگار ذخیره می‌شوند، که می‌توان آن‌ها را بعد از اندازه‌گیری برای به دست آوردن اطلاعاتی درباره شیب غلظت خواند.

پیوست ت
(اطلاعاتی)
کتابنامه

[۱] استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۲۵، الزامات عمومی برای احراز فعالیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون

[2] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

[3] EN 13779, *Ventilation for non-residential buildings — Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems*

[4] DIN 1946-2,4) *Ventilation and air conditioning — Part 2: Technical health requirements (VDI ventilation rules)*

[5] DIN 1946-4, *Ventilation and air conditioning — Part 4: Ventilation in buildings and rooms of health care*

[6] DIN 1946-6, *Ventilation and air conditioning — Part 6: Ventilation for residential buildings — General*

requirements, requirements for measuring, performance and labeling, delivery/acceptance (certification) and maintenance

[7] TRGS 900, *Arbeitsplatzgrenzwerte* [Workplace atmosphere limit values]. Available (viewed 2012-07-23) from: http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-900.html__nnn=true

[8] VDI 2449 Part 1, *Measurement methods test criteria — Determination of performance characteristics for the measurement of gaseous pollutants (immission)*

[9] VDI 2449 Blatt 2, *Grundlagen zur Kennzeichnung vollständiger Meßverfahren; Begriffsbestimmungen* [Basic concepts for characterization of a complete measuring procedure; glossary of terms]

[10] VDI 4300 Part 7, *Indoor-air pollution measurement — Measurement of indoor air change rate*

[11] VDI 4300 Part 9, *Measurement of indoor air pollution — Measurement strategy for carbon dioxide (CO₂)*

[12] Rat von SachveRständigen füR UmweltfRagen [Expert Council on Environmental Questions]. *Luftverunreinigungen in Innenräumen* [Indoor air pollution], *Sondergutachten* 1987-05. Stuttgart: Kohlhammer, 1987. 112 p.

[13] Keeling C.D., WhoRf T.P., and the caRbon dioxide ReSeaRch gRoUp. Atmospheric CO₂ concentrations (ppmv) derived from *in situ* air samples collected at Mauna Loa Observatory, Hawaii. La Jolla, CA: Scripps Institution of Oceanography. Available (viewed 2012-07-23) at: <http://cdiac.esd.ornl.gov/ftp/maunaloa-co2/maunaloa.co2>

[14] MaRoni M ., S eifeRt B., Lindvall T., eds. *Indoor air quality — A comprehensive reference book*. Amsterdam: Elsevier, 1995

[15] Fehlmann J., WanneR H.U., eds. Indoor climate and indoor air quality in residential buildings. *Indoor Air*. 1993, 3, pp. 41–50

[16] BiSchof W ., B UllingeR-NabeR M ., K RUppa B., MülleR B.H., Schwab R., eds. *Exposition und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden — Ergebnisse des*

- ProKlimA-Projekt* [Exposure and adverse effects on health in offices — Results of the ProKlimA project]. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2003
- [17] Rohbock E., Müller H., Zingsheim T., eds. Untersuchungen der Innenraumluftzusammensetzung in Großraumbüros mit zentraler Belüftung [Investigations of the indoor air composition in open plan offices with central ventilation]. *Gesund. Ing.* 1987, 108(6), pp. 269–276
- [18] Rigo S. E., ed. CO₂-Konzentrationen im Klassenzimmer [CO₂ concentrations in classrooms]. *Umschau*.
- [19] Indoor Air Hygiene Commission of the German Federal Environment Ministry. *Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden* [Guide for indoor air hygiene in school buildings]. Berlin: Umweltbundesamt, 2000
- [20] Lahrz T., Bischof W., Sagunski H., Baudisch C., Fromme H., Grams H., et al. Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft [Health assessment of carbon dioxide in indoor air]. *Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz*. 2008, **11**, pp. 1358–1369
- [21] Heath O.V.S., ed. *Physiologie der Photosynthese* [Physiology of photosynthesis]. Stuttgart: Thieme, 1972, 176 p.
- [22] Lahmann E., ed. *Luftverunreinigung — Luftreinhaltung* [Air pollution — Air pollution prevention]. Berlin: Paul Parey, 1990
- [23] Baumbach G. *Luftreinhaltung* [Air pollution prevention], 2nd edition. Berlin: Springer, 1992
- [24] Schmidt W. *Optische Spektroskopie* [Optical spectroscopy]. Weinheim: VCH, 1994
- [25] Draeger Safety. *Dräger tubes & CMS-handbook*, 16th edition. Lübeck: Dräger, 2011. 461 p. Available (viewed 2012-07-23) at: http://www.draeger.com/media/10/01/87/10018750/tubeshandbook_br_9092086_en.pdf
- [26] Thew G., Mutschler E., Vaupel P. *Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen*. [Human anatomy, physiology, pathophysiology]. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlags Gesellschaft, 1999
- [27] Pettenkofer M., ed. *Über den Luftwechsel in Wohnungen* [Air change in dwellings]. Munich: J.G. Cotta'sche Buchhandlung, 1858
- [28] Wangrin N., Schirck O., eds. *Pollution of indoor air, use of Multiwarn indoor and Dräger tubes.*, Lübeck: Dräger, 1993. (*Dräger Review* 71.)
- [29] Grams H., Hehl O., Gabrio T., Volland G., Lahrz T., Dietrich S., et al. Ursachen und gesundheitliche Bewertung von Lüftungsmängeln an deutschen Schulen [Origin and health assessment of ventilation insufficiency at German schools]. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 2008, **13** pp. 211–219
- [30] Fromme H., Heitmann D., Dietrich S., Schierl R., Körner W., Kiranoglu M., et al. Raumluftqualität in Schulen — Belastung von Klassenräumen mit Kohlendioxid (CO₂), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Aldehyden, Endotoxinen und Katzenallergenen [Room air quality in schools — Pollution of classrooms with carbon dioxide (CO₂), volatile organic compounds (VOC), aldehydes, endotoxins and cat allergens]. *Gesundheitswesen* 2008, **70** pp. 88–97