INSO
20940
1st.Edition
2015

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۰۹۴۰
چاپ اول
۱۳۹۳

اندازه‌گیری گرد و غبار قابل تنفس موجود در اتمسفرهای محیط کار با استفاده از نمونه‌بردارهای سیکلونی

Determination of Respirable Dust in Workplace Atmospheres Using Cyclone Samplers

ICS: 13.040.99

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ 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 وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، 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 می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ 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 درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت 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 شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] 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 بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود .

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 درجه‌بندی آن را اجباری نماید . همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره ، آموزش ، بازرسی ، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی ، 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 ، گواهینامهٔ 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

« اندازه‌گیری گرد و غبار قابل تنفس موجود در اتمسفرهای محیط کار با استفاده از نمونه‌بردارهای سیکلونی »

رئیس :	**سمت و/ یا نمایندگی**
گودرزی، علی (دکتری مهندسی محیط زیست)	هیات علمی دانشگاه جندی شاپور
دبیر :	
حاتمی، امیر (دکتری شیمی)	مدیرعامل شرکت پرشیا پژوهش
اعضاء : (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آتشی، مژگان (فوق‌لیسانس شیمی)	کارشناس آزمایشگاه اداره کل محیط زیست خوزستان
آذریان، علی‌رضا (فوق‌لیسانس مهندسی محیط زیست)	کارشناس مسئول آزمایشگاه هوا اداره کل محیط زیست خوزستان
ارزانی، بهاره (فوق لیسانس شیمی)	کارشناس
گل‌محمدی قانع، حامد (فوق‌لیسانس شیمی)	هیات علمی جهاددانشگاهی خوزستان
طاهری، معصومه (فوق‌لیسانس شیمی)	کارشناس
محمدجعفری، سعیده (فوق‌لیسانس شیمی)	کارشناس
ملتجی، جلال (فوق‌لیسانس مهندسی محیط زیست)	کارشناس مسئول بهداشت حرفه‌ای معاونت بهداشت دانشگاه جندی شاپور

مکوندی، علی (فوق‌لیسانس شیمی تجزیه)	کارشناس شرکت خوزستان پـژوهش گسـتر بردیا
مهرمولایی، فاطمه (فوق‌لیسانس شیمی تجزیه)	کارشناس تدوین اداره استاندارد خوزستان
نقدی، تینا (فوق‌لیسانس شیمی تجزیه)	کارشناس شرکت زرگستر روبینا
ویسی، مریم (فوق‌لیسانس شیمی)	کارشناس

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد		ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد		ج
پیش گفتار		ه
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	اصطلاحات و تعاریف	۲
۴	اصول آزمون	۳
۵	وسایل	۳
۶	آماده‌سازی نمونه‌بردار قبل از نمونه‌برداری	۵
۷	نمونه‌برداری	۶
۸	کالیبراسیون و استانداردسازی	۷
۹	روش انجام آزمون	۸
۱۰	محاسبات	۸
۱۱	عدم قطعیت تخمین‌های غلظت توده قابل تنفس	۹
۱۲	گزارش آزمون	۱۲
پیوست الف	اطلاعاتی(کتاب‌نامه)	۱۴

پیش گفتار

استاندارد "اندازه‌گیری گرد و غبار قابل تنفس موجود در اتمسفرهای محیط کار با استفاده از نمونه‌بردارهای سیکلونی" که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط شرکت پرشیا پژوهش تهیه و تدوین شده است و در شصت و یکمین اجلاس کمیته ملی استاندارد محیط زیست مورخ ۱۳۹۴/۱۲/۱۶ 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 پیشرفت های 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 :

ASTM D 4532 : 2010, Standard Test Method for Respirable Dust in Workplace Atmospheres Using Cyclone Samplers

اندازه‌گیری گرد و غبار قابل تنفس موجود در اتمسفرهای محیط کار با استفاده از نمونه‌بردارهای سیکلونی

هشدار- در این استاندارد تمام موارد ایمنی نوشته نشده است. در صورت وجود چنین مواردی مسئولیت برقراری شرایط ایمنی و سلامتی مناسب و تعیین قابلیت اجرای محدودیت‌ها قبل از استفاده بر عهده کاربر این استاندارد است.

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای اندازه‌گیری غلظت گرد و غبار قابل تنفس تعریف شده بر اساس قرارداد[1] بین المللی در گستره ۰٫۵ mg/m^3 تا ۱۰ mg/m^3 در اتمسفرهای محیط کار می‌باشد. ویژگی‌هایی برای نمونه‌برداری و آنالیز با استفاده از هرکدام از نمونه‌بردارهای سیکلونی در دسترس تجاری ارایه شده است.

محدوده اندازه‌گیری این استاندارد عبارت از حداقل وزن ۰٫۱ mg گرد و غبار بر روی فیلتر و حداکثر بارگذاری ۰٫۳ mg/m^2 بر روی فیلتر می‌باشد. این استاندارد ممکن است در ظرفیت‌های بالاتر مورد استفاده قرار گیرد؛ به‌شرطی که بتوان نرخ جریان را ثابت نگه‌داشت.

این استاندارد برای تعیین غلظت گرد و غبار قابل تنفس در اتمسفرهای محیط کار کاربرد دارد. متغیرهای این استاندارد در سراسر جهان برای تعیین مطلوبیت[2] محیط شغلی با توجه به غلظت آلاینده‌های هوای محیط کار استفاده می‌شود.

این استاندارد می‌تواند برای تصدیق اندازه‌گیری‌های کنترلی گرد و غبار به‌کار رود.

هم‌چنین این استاندارد می‌تواند برای تحقیق در مورد اثرات گرد و غبار بر سلامت در یک محیط شغلی[3] به‌کار رود.

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:

2-1 ASTM D1356, Terminology Relating to Sampling and Analysis of Atmospheres

2-2 ASTM D3195, Practice for Rotameter Calibration

2-3 ASTM D5337, Practice for Flow Rate Calibration of Personal Sampling Pumps

---

1- Convention
2- Compliance
3- Occupational setting

2-4 ASTM D6062, Guide for Personal Samplers of Health-Related Aerosol Fractions

2-5 ASTM D6552, Practice for Controlling and Characterizing Errors in Weighing Collected Aerosols

2-6 ASTM D7440, Practice Practice for Characterizing Uncertainty in Air Quality Measurements

2-7 ASTM E1, Specification for ASTM Liquid-in-Glass Thermometers[1]

2-8 ASTM E2251, Specification for Liquid-in-Glass ASTM Thermometers with Low-Hazard Precision Liquids

2-9 ISO Guide 98, ISO GUM Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement,

2-10 ISO 7708, Air Quality—Particle Size Fraction Definitions for Health-Related Sampling

2-11 ISO 15767, Workplace Atmospheres—Controlling and Characterizing Errors in Weighing Collected Aerosol

2-12 EN 481, Workplace Atmospheres—Size Fraction Definitions for the Measurement of Airborne Particles in the Workplace

2-13 EN 1320, Workplace Atmospheres—Assessment of Performance of Instruments for Measurement of Airborne Particle Concentrations

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد ASTM D1356، اصطلاحات و تعاریف زیر به‌کار می‌رود.

۳-۱

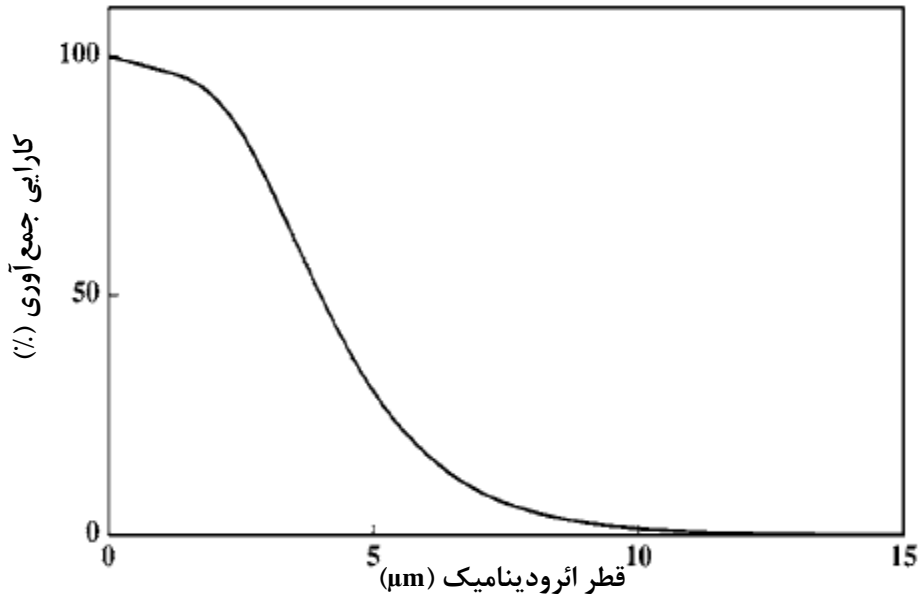
کسر گرد و غبار قابل تنفس

کسر ماده قابل انتقال توسط هوا که به‌وسیله یک نمونه‌بردار ایده‌آل با پیروی از قوانین نمونه‌برداری مطابق استانداردهای ISO 7708، EN 481، ASTM D6062 جمع‌آوری شده است (مطابق شکل ۱).

یادآوری- تعریف کسر گرد و غبار قابل تنفس، یک توافق بین تعاریف قبلی است، که نمونه‌بردارهای موجود و کسر گرد و غباری که در قسمت‌های انتهایی سیستم تنفسی نفوذ می‌کند (به‌جای قرار گرفتن در مجاری فوقانی سیستم تنفسی).

۳-۲ برای اصطلاحات و تعاریف مربوط به مشخصات عدم قطعیت، به استانداردهای ISO GUM و ASTM D7440 مراجعه شود.

۱- استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۴۷ جهت بهره‌برداری موجود است.



شکل ۱- کارایی جمع‌آوری یک نمونه‌بردار ایده‌آل مطابق قوانین نمونه‌برداری بین المللی

۴ اصول آزمون

هوا از میان یک نمونه‌بردار سیکلونی یا معادل آن که بعد از آن یک فیلتر وزن شده قرار گرفته، مکش می‌شود، سپس به‌منظور تعیین جرم گرد و غبار قابل تنفس، فیلتر دوباره وزن می‌شود. نرخ جریان هوا و زمان نمونه‌برداری حجمی از جرم گرد و غبار نمونه‌برداری شده را ارائه می‌دهد. میانگین غلظت زمانی[1] گرد و غبار قابل تنفس، به‌وسیله تقسیم کردن جرم بر حجم هوای کل محاسبه می‌شود.

یادآوری- نمونه‌بردارهای جایگزین برای یک سیکلون (به‌عنوان مثال نمونه‌بردار بر پایه فوم[2] یا نمونه‌بردارهای اختصاصی قابل تعویض[3]) به شرط داشتن خصوصیات مطلوب (مانند آسان بودن کاربرد یا کنترل عدم قطعیت) برای کاربردهای موردنظر، ممکن است مورد استفاده قرار گیرند.

۵ وسایل

۵-۱ واحد نمونه‌برداری، واحد نمونه‌برداری شامل یک پمپ و یک هد نمونه‌برداری[4] است. هد نمونه‌برداری شامل یک سیکلون و یک مجموعه فیلتر است.

1- Time-weighted average
2- Foam-based
3- Personal cascade impactors
4- Sampling head

۵-۱-۱ سیکلون گرد و غبار قابل تنفس ارزیابی شده، برای مشاهده فهرستی از نمونه‌بردارهای موجود تجاری و مشخصات آن‌ها به گزارش تحقیقاتی[1] (RR) ASTM D22-1033 مراجعه شود.

یادآوری- انحراف مربوط به معیار بین المللی گرد و غبار قابل تنفس و توزیع اندازه گرد و غبار نمونه‌برداری شده (مراجع ۱۰-۲) باید به اندازه کافی برای استفاده کاربردی موردنظر کنترل شود (مطابق بند ۱۳-۲-۴)

۵-۱-۲ مجموعه محفظه فیلتر، فیلتر، صفحه پشتیبان فیلتر[2] و نگه‌دارنده محفظه فیلتر با درپوش‌های مناسب. فیلتر نباید تمایلی به رطوبت داشته باشد و کارایی جمع‌آوری آن بیشتر از ٪ ۹۵ برای گرد و غبار موردنظر باشد.

یادآوری ۱- به‌عنوان یک مثال اکثر فیلترهای غشایی و الیاف شیشه‌ای با اندازه حفره اسمی µm ۵ این الزام را برآورده می‌کنند (مرجع ۱۱ پیوست الف). PVC برای آنالیز وزن‌سنجی توصیه می‌شود. فیلتری که به تعادل رسیده، توسط آزمون‌گر از قبل وزن می‌شود.

یادآوری ۲- استفاده از یک محفظه رسانا به‌خاطر بار الکتروستاتیک بر روی گرد و غبار ترجیح داده می‌شود و یک محفظه نارسانا می‌تواند انحراف قابل توجهی ایجاد کند. برای کنترل گرد و غباری که ممکن است به دیواره‌های داخلی محفظه جذب شود، چند نگه‌دارنده فیلتر مجهز به یک محفظه و فیلتر گرد و غبار قابل تنفس محافظت‌شده که به‌صورت تجاری در دسترس است می‌تواند به همراه فیلتر وزن شود.

۵-۱-۳ پمپ نمونه‌برداری فردی، با عدم قطعیت نرخ جریان کم‌تر از ٪ ۵ (مطابق بند ۱۳-۲-۱). شدت ضربان پمپ نمی‌تواند بیش‌تر از ٪ ۲۰± نرخ جریان میانگین باشد. پمپ نمونه‌برداری مطابق استاندارد ASTM D5337 کالیبره می‌شود.

یادآوری – نمونه‌های سیکلون جمع‌آوری شده با جریان ضربه‌ای نشان دادند که در مقایسه با نمونه‌های جمع‌آوری شده تحت جریان پایا می‌توانند یک انحراف منفی با شدت ٪ ۲۲ ایجاد کنند.

۵-۲ شارژر، باطری‌های پمپ باید با یک شارژر مناسب مطابق دستورکارهای سازنده کاملاً شارژ شوند یا می‌توان از باطری‌های قابل تعویض استفاده کرد.

۵-۳ اتاق توزین، با کنترل دما (C □ (۲±۲۰)) و رطوبت (رطوبت نسبی (RH) ٪(۵±۵۰) به‌منظور اجازه دادن به توزین با یک ترازوی تجزیه‌ای موردنیاز (به‌منظور مشاهده خطاهای شناسه گذاری و کنترل توزین ائروسل جمع‌آوری‌شده به استانداردهای ISO 15767 و ASTM D6552 مراجعه شود)

یادآوری – اگر یک اتاق توزین در دسترس نیست، یک محفظه تعادل فیلتر را می‌توان برای متعادل کردن فیلترها در یک محفظه با دما (C □ (۲±۲۰)) و رطوبت (RH ٪(۵±۵۰)) کنترل‌شده به‌کار برد.

۵-۴ ترازوی تجزیه‌ای، با قابلیت توزین تا mg ۰٫۰۱ یا بهتر، با توجه به کاربرد آن. به‌منظور صفر کردن صحیح ترازو باید مراقبت ویژه به‌کار گرفته شود.

1- Research report
2- Filter-support pad

۵-۵ خنثی‌کننده بار، به منظور حذف بار ساکن در جعبه ترازو و روی فیلترها در طول توزین اگر از خنثی‌کننده Po-210 استفاده شود باید حدود ۹ ماه پس از تاریخ تولید آن، جایگزین شود.

۵-۶ پرس صفحه موازی[1]، با قابلیت وارد کردن حداقل نیروی N ۱۰۰۰ (در صورت استفاده از نگه‌دارنده‌های فیلتر پلاستیکی که باید بعد از قرار گرفتن فیلتر به‌هم فشرده شوند، ممکن است این وسیله موردنیاز باشد).

۵-۷ جریان‌سنج، با دقتی معادل ٪ ۲ یا بهتر در محدوده نرخ جریان مورد استفاده. سنجه را مطابق استاندارد ASTM D3195 کالیبره کنید.

۵-۸ دماسنج، با قابلیت پوشش دادن گستره دمایی موردنظر با تقسیم‌بندی C □ ۰٫۱ (مطابق استانداردهای ASTM E1 و ASTM E2251).

یادآوری – به‌منظور به حداقل رساندن خطرات زیست محیطی، استفاده از یک دماسنج غیر جیوه‌ای توصیه می‌شود.

۵-۹ لوله انعطاف‌پذیر با دو عدد گیره، در صورتی که هِد نمونه‌برداری گیره نداشته باشد یکی در نزدیکی هِد نمونه‌برداری و دیگری در میانه حدفاصل بین هد نمونه‌برداری و پمپ استفاده شود. طول لوله به این بستگی دارد که واحد نمونه‌برداری چگونه به کارگر متصل شده است. اگر پمپ به کمربند کارگر متصل شود، طول ۰٫۷ m تا ۰٫۹ m مناسب است.

۵-۱۰ انبرک‌ها، ترجیحاً از جنس نایلون

۵-۱۱ میله یا بالابر فیلتر

۵-۱۲ پتری دیش‌ها، باقطر کمی بزرگ‌تر از فیلتر

۶ آماده‌سازی نمونه‌بردار قبل از نمونه‌برداری

۶-۱ بخش داخلی سیکلون را بازرسی کرده و آن را از ورود[2] ذرات درشت تمیز نگه‌دارید. اگر سطوح داخلی به طور چشمی خراشیده[3] اند، سیکلون را جایگزین کنید تا مشخصات جداسازی گرد و غبار نمونه‌بردار تغییر کند.

۶-۲ تمامی فیلترها را در یک اتاق توزین یا محفظه متعادل‌سازی دارای شرایط محیطی کنترل‌شده، حداقل به‌مدت دو ساعت به تعادل برسانید.

۶-۳ فیلترها را در اتاق توزین وزن کنید.

۶-۳-۱ ترازو را قبل از استفاده به‌صورت داخلی کالیبره (تعادل صفر) کنید.

1- Plane-parallel press
2- Reentrainment
3- Scored

۶-۳-۲ در صورت نیاز فیلتر را با انبرک بگیرید و به‌منظور حذف بار ساکن، چند مرتبه از یک خنثی‌کننده بار عبور دهید.

۶-۳-۳ وزن فیلترها را ثبت کنید.

۶-۴ فیلتر و پشتیبان فیلتر از قبل وزن شده را در نگه‌دارنده محفظه فیلتر قرار داده و محکم ببندید و محیط پیرامون[1] نگه‌دارنده فیلتر را نواربندی کنید. در صورت نیاز، از پرس توصیف شده در بند ۵-۶ استفاده کنید.

۶-۵ درپوش‌ها را بر روی نگه‌دارنده فیلتر قرار دهید و به نحو مناسبی مجموعه را پوشش دهید تا اگر قبل از استفاده برای هر مدت زمانی نگه‌داری شوند، از آلوده شدن آن جلوگیری شود.

۷ نمونه‌برداری

۷-۱ درپوش‌های نگه‌دارنده فیلتر را خارج کرده و به‌گونه‌ای که سازنده الزام کرده است، نگه‌دارنده فیلتر را به سیکلون متصل کنید. با استفاده از یک لوله انعطاف‌پذیر خروجی هد نمونه‌برداری را به ورودی پمپ کالیبره شده متصل کنید. از طریق بستن ورودی فیلتر اطمینان حاصل کنید که همه اتصالات فاقد نشتی هستند.

۷-۲ هد نمونه‌برداری را به کارگر متصل کنید تا در ناحیه تنفسی او قرار گیرد. ناحیه تنفسی کارگر شامل یک نیم‌کره یا شعاع ۳۰ cm است که در جلوی صورت او گسترش یافته و از نیمه گوش اندازه‌گیری می‌شود. هد نمونه‌برداری باید به روشی قرار داده شود تا از ورود گرد و غبار به آن و مسدود شدن ورودی آن جلوگیری شود. می‌توان پمپ را به کمربند کارگر متصل کرد.

۷-۳ نمونه‌برداری را با روشن‌کردن پمپ آغاز کنید و نرخ جریان و زمان را ثبت کنید. در مورد نمونه‌برداری طولانی مدت، به‌صورت دوره‌ای عملکرد پمپ را از نظر درست بودن عملکرد آن بررسی کنید. اگر به‌دلیل خم شدن یا مسدود شدن، یک تغییر قابل توجه در نرخ جریان به طور چشمی مشاهده شد، پمپ را خاموش کرده و نرخ جریان را مجدداً تنظیم کنید. اگر قادر به راه‌اندازی مجدد نرخ جریان با تنظیمات اولیه نیستید، نمونه‌برداری را خاتمه دهید و دلیل خاتمه دادن را یادداشت کنید.

یادآوری – بسته به بارگیری نمونه، ممکن است نمونه‌های متوالی در تمام نوبت کاری موردنیاز باشد. با این حال توصیه می‌شود، زمان نمونه‌برداری نباید از طول عمر عملیات باطری‌ها یا کل نوبت کاری بیش‌تر شود. دوره نمونه‌برداری اسمی هشت ساعت است. زمان‌های نمونه‌برداری کوتاه‌تر از یک نوبت کاری کامل در صورتی مجاز است که:

۱) کاهش فشار در سراسر فیلتر از ظرفیت پمپ بیش‌تر نشود؛ زیرا فیلتر مسدود می‌شود.

1- Circumference

۲) در مورد عملیات کاری ویژه مدت زمان‌های کوتاه‌تر باید تحقیق شود.

۳) اندازه‌گیری‌های متغیرهای در معرض قرارگیری باید در مدت یک نوبت کاری انجام شود.

۷-۴ در انتهای دوره نمونه‌برداری، پمپ را خاموش کرده و زمان و نرخ جریان نهایی را ثبت کنید.

۷-۵ واحد نمونه‌برداری را از کارگر جدا کنید و تجهیزات نمونه‌برداری را با دقت در یک سطح تمیز و عاری از گرد و غبار قرار دهید.

۷-۶ نرخ جریان پمپ را با استفاده از جریان‌سنج کالیبره‌شده اندازه‌گیری کنید. اگر نرخ‌های جریان قبل و بعد از نمونه‌برداری بیش‌تر از ٪ ۵ اختلاف داشتند، نمونه را نامعتبر در نظر بگیرید.

۷-۷ نگه‌دارنده فیلتر را از هِد نمونه‌برداری خارج کرده و درپوش‌های نگه‌دارنده فیلتر را جای‌گذاری کنید.

۷-۸ برای هر مجموعه ۱۰ عددی نمونه یا کم‌تر، یک نمونه شاهد میدانی ارسال کنید. فیلترها و نگه‌دارنده‌های فیلتری که به‌عنوان شاهد استفاده می‌شوند، به روشی مشابه سایر نمونه‌ها آماده و منتقل می‌شوند، جز این‌که هوایی از میان آن‌ها مکش نمی‌شود. آن‌ها را با عنوان شاهد برچسب بزنید.

۷-۹ توصیه می‌شود مجموعه فیلتر در یک ظرف مناسب طراحی شده برای جلوگیری از آسیب دیدن نمونه حین انتقال به آزمایشگاه، برگردانده شود.

یادآوری ۱ – نمونه‌بردار نباید هیچ‌گاه وارونه شود زیرا تغییر موقعیت ذرات از توده سیکلونی به داخل فیلتر ممکن است اتفاق بیفتد.

یادآوری ۲ – روش‌کار ترجیحی، انتقال شخصی نمونه‌ها برای برگرداندن به آزمایشگاه با اتومبیل یا حمل در قفسه بار هواپیما[1] است. در صورتی که حمل و نقل نمونه‌های جمع‌آوری شده با یک وسیله نقلیه انجام می‌شود، نمونه بسته‌بندی شده را در جعبه‌های بزرگ‌تری قرار داده و با مواد بسته‌بندی پوشش دهید.

۸ کالیبراسیون و استانداردسازی

توصیه می‌شود کالیبراسیون جریان هوای واحد نمونه‌برداری قبل و بعد از هر بخش نمونه‌برداری به‌طور کامل انجام شود. توصیه می‌شود نگه‌داری و تعمیرات را مطابق دستورالعمل‌های سازنده بر روی یک برنامه منظم انجام دهید و موارد یادداشت شده را برای مستندسازی نگه‌دارید. برای مشاهده راهنمایی‌هایی در مورد کالیبراسیون نرخ جریان به استاندارد ASTM D5337 مراجعه کنید.

یادآوری ۱ – مطمئن شوید که پمپ از یک توالی نمونه‌برداری مناسب به‌ترتیب شامل پمپ، لوله‌کشی ورودی نگه‌دارنده محیط نمونه و سیکلون وصل شده به نگه‌دارنده محیط نمونه برخوردار باشد.

1- Aircraft baggage

یادآوری ۲ – بعضی از نمونه‌بردارها با محفظه کالیبراسیون خودشان همراه می‌باشند و بنابراین برای کالیبره کردن پمپ به یک ظرف نیاز نیست؛ به کتابچه راهنمای سازنده مراجعه شود. به‌طور جایگزین یک جریان‌سنج کالیبره‌شده (بند ۵-۷) را می‌توان برای بررسی نرخ جریان میدانی در شروع و انتهای نمونه‌برداری مورد استفاده قرار داد.

یادآوری ۳ – بسیار مهم است که نرخ جریان موردنیاز برای نمونه‌بردار در هر زمان و مکان نمونه‌برداری تنظیم شود. اگر دما و فشار در محیط پیرامون مکان نمونه‌برداری با دما و فشاری که در آن نرخ جریان پمپ تنظیم شده است، اختلاف داشته باشد، قبل از نمونه‌برداری باید نرخ جریان حجم‌سنجی مجدداً تنظیم شود.

۹ روش انجام آزمون

۹-۱ به منظور به حداقل رساندن آلودگی نمونه قبل از باز کردن نگه‌دارنده فیلتر، سطوح خارجی مجموعه فیلتر را با یک دستمال کاغذی بدون پرز مرطوب‌شده با آب، با دقت گردگیری[1] کنید.

۹-۲ درپوش‌های نگه‌دارنده فیلتر را خارج کرده و در یک اتاق با شرایط محیطی کنترل شده یا محفظه متعادل‌سازی به مدت حداقل دو ساعت به تعادل برسانید.

۹-۳ نگه‌دارنده فیلتر را باز کرده و با استفاده از انبرک و به کمک یک میله یا بالابر قرارداده شده در حفره خروجی نگه‌دارنده فیلتر، به‌دقت فیلتر را از نگه‌دارنده خارج کنید. فیلترها را با گرفتن بسیار محکم گوشه آن جابجا کنید تا از اتلاف گرد و غبار جلوگیری شود. فیلتر را به یک پتری دیش منتقل کرده و در اتاق توزین قرار دهید.

۹-۴ ترجیحاً فیلتر را با همان ترازوی تجزیه‌ای که کالیبره شده، وزن کنید. در صورتی که ترازوی اولیه در دسترس نیست یا از عملیات خارج شده، می‌توان از یک ترازوی تجزیه‌ای جایگزین با قابلیت توزین با تقریب ۰٫۰۱ mg یا در صورت نیاز بهتر، برای قرائت ثانویه استفاده کرد. هر چیزی مانند بارگیری اضافی[2]، نشتی یا پارگی و غیره که در مورد فیلترها قابل توجه باشد را یادداشت کنید.

یادآوری– ترازو باید به‌طور منظم با استفاده از وزنه‌های ASTM کلاس I یا وزنه‌های تأیید شده قابل ردیابی (موسسه ملی استانداردها و تکنولوژی (NIST) [3] معادل، کالیبره شود. ترازوی جایگزینی که در روش کار استفاده می‌شود، باید به همان شیوه ترازوی اولیه کالیبره شود.

۹-۵ بعد از توزین فیلتر، مطمئن شوید که ترازو قبل از توزین فیلتر بعدی، مجدداً صفر شده باشد.

۱۰ محاسبات

۱۰-۱ جرم گرد و غبار یافت شده در فیلتر نمونه، M_S، برحسب mg با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

1- Swab
2 -Overloading
3- National Institute of Standards and Technology

$$M_S = (m_2 - m_1) - \delta m_b \quad (۱)$$

که در آن :

m_1 وزن صفر شده فیلتر قبل از نمونه‌برداری، برحسب میلی‌گرم؛

m_2 جرم فیلتر و نمونه ائروسل، برحسب میلی‌گرم؛

δm_b میانگین افزایش یا کاهش جرم فیلتر شاهد، بر حسب میلی‌گرم می‌باشد.

۱۰-۲ حجم نمونه، V_S، بر حسب m^3:

$$V_S = (Qt)/(1000\ l/m^3) \quad (۲)$$

که در آن :

Q میانگین نرخ جریان هوای نمونه‌برداری شده، بر حسب لیتر بر دقیقه؛

t زمان نمونه‌برداری، برحسب دقیقه می‌باشد

۱۰-۳ غلظت گرد و غبار قابل تنفس در هوای نمونه‌برداری شده، C، برحسب mg/m^3:

$$C = M_S / V_S \quad (۳)$$

که در آن :

M_S: جرم یافت شده بر روی فیلتر نمونه، بر حسب میلی گرم، (مطابق بند ۱۰-۲)؛

V_S: حجم هوای نمونه‌برداری شده، برحسب m^3 (مطابق بند ۱۰-۲) است.

۱۱ عدم قطعیت تخمین‌های غلظت جرم قابل تنفس

۱۱-۱ کلیات

۱۱-۱-۱ در هر روش نمونه‌برداری، ضرایب که می‌توانند عدم قطعیت کلی را تحت تأثیر قرار دهند، عبارتنداز:

۱۱-۱-۱-۱ اجزای مرتبط با روش‌کارهای نمونه‌برداری، اندازه‌گیری نرخ جریان (کالیبراسیون)، پایداری جریان پمپ، کارایی نمونه‌برداری، تغییرپذیری بین نمونه‌بردارها[1]، تغییرپذیری موقتی، اتلاف به‌وسیله جداره‌های نمونه‌بردار، پارامترهای اثرگذار زیست محیطی (مانند دما، فشار، رطوبت و ...)، ذخیره و انتقال نمونه.

۱۱-۱-۱-۲ اجزای مرتبط با اندازه‌گیری، آماده‌سازی نمونه، دقت تجزیه‌ای ترازو، اثرات آزمون‌گر و خطای گرد کردن در گزارش.

۱۱-۱-۲ برای نمونه‌برداری از گرد و غبار قابل تنفس در اتمسفرهای محیط کار عدم قطعیت کلی حساسیت بیشتری نسبت به چهار عامل عدم قطعیت نرخ جریان پمپ، تغییرپذیری بین نمونه‌بردارها، توزین و انحراف

1- Inter-sampler variability

نمونه‌بردار دارد. انحراف نمونه‌بردار به توزیع اندازه ذرات گرد و غبار و نوع ائروسل قابل تنفس مورد استفاده بستگی دارد.

اتلاف به‌وسیله جداره‌ها را می‌توان با استفاده از یک نمونه‌بردار طراحی شده که در آن بخشی از نمونه ائروسل موردنیاز، به‌وسیله جداره‌ها آنالیز می‌شود، کنترل کرد. فرض می‌شود که مشکلات مربوط به ذخیره‌سازی و انتقال برای اهداف این استاندارد تحت کنترل هستند.

۱۱-۲ اجزای تشکیل‌دهنده عدم قطعیت ویژه

۱۱-۲-۱ عدم قطعیت نرخ جریان پمپ نمونه‌برداری u_{pump}، (ارزیابی نوع B)

۱۱-۲-۱-۱ انواع مختلف وسایل جریان مانند روتامترها، جریان‌سنج‌های جرمی، جریان‌سنج‌های حبابی یا جریان‌سنج‌های پیستونی خشک برای اندازه‌گیری نرخ جریان استفاده می‌شوند و پایداری پمپ را می‌توان به‌صورت الکترونیکی یا با اندازه‌گیری‌های دستی، هم قبل و هم بعد از نمونه‌برداری کنترل کرد (برای کالیبراسیون نرخ جریان به استاندارد ASTM D5337 مراجعه شود). عدم قطعیت در کالیبراسیون نرخ جریان، قرائت و پایداری پمپ در طول عملیات و عدم قطعیت نرخ جریان پمپ ترکیب شده را با استفاده از رابطه ۴ محاسبه کنید.

$$u_{pump} = 5\ \% \qquad (۴)$$

۱۱-۲-۲ عدم قطعیت مربوط به تغییرات بین نمونه‌بردارها $u_{sampler}$، (ارزیابی نوع B)

۱۱-۲-۲-۱ تغییرات جزئی در ابعاد نمونه‌بردارها می‌تواند کارایی جمع‌آوری نمونه‌بردارهای ائروسل قابل تنفس را تحت تأثیر قرار دهد. موثرترین روش اندازه‌گیری مربوط به استفاده از دو نوع نمونه‌بردار سیکلونی خاص می‌باشد (مرجع ۷ پیوست الف). برای به‌دست آوردن کارایی نمونه‌بردارها، چهار اندازه‌گیری تکراری بر روی هشت نمونه‌بردار مشابه از هر نوع انجام شد و یک مقدار ٪ ۶ برای انحراف استاندارد نسبی در اندازه‌های ذرات گرد و غبار نمونه‌برداری موردنظر به‌دست آمد. این کار به‌منظور برآورد ارزیابی نمونه‌بردارهای قابل تنفس در کل با درجه آزادی ۱۵ صورت پذیرفت:

$$u_{sampler} = 6\ \% \qquad (۵)$$

یادآوری- استناد به این مقدار برای تغییرات بین نمونه‌ها در مورد نمونه‌بردارهای ساخته شده در رواداری آزمایش اصلی مجاز است.

۱۱-۲-۳ عدم قطعیت توزین $u_{weighing}$، (ارزیابی نوع B)

۱۱-۲-۳-۱ عدم قطعیت توزین در اصل به دقت تجزیه‌ای ترازو، شرایط آب و هوایی و کالیبراسیون مدارهای الکترونیکی بستگی دارد. حساسیت فیلتر به تغییر دما و رطوبت را می‌توان از طریق به‌کارگیری حداقل یک شاهد

میدانی منفرد، به حداقل رساند. عدم قطعیت (نسبی) ترکیب شده توزین از نتایج یک ارزیابی قرائت‌های ترازو تا ۰/۰۱ mg تخمین زده شده است. عدم قطعیت توزین با استفاده از رابطه ۶ به‌دست می‌آید:

$$u_{weighing} = 0.068\ mg\ /(C_{resp}\ Qt) \qquad (۶)$$

که در آن :

C_{resp} غلظت قابل تنفس تخمین زده شده برحسب میلی گرم بر متر مکعب؛

Q نرخ جریان پمپ، بر حسب متر مکعب بر ساعت؛

t زمان نمونه‌برداری، برحسب ساعت می‌باشد.

یادآوری- در صورت استفاده از ترازویی با دقت ۰/۰۱ mg، مقدار به‌دست آمده در اینجا به‌عنوان عدم قطعیت توزین در حالت کلی قابل استناد است، مورد استفاده قرار گیرد. یک مقدار واقعی‌تر برای عدم قطعیت توزین را می‌توان به‌دست آورد.

۱۱-۲-۴ عدم قطعیت انحراف نمونه‌بردار u_{bias}، (ارزیابی نوع B)

۱۱-۲-۴-۱ عدم قطعیت انحراف نمونه‌بردار به‌صورت زیر تخمین زده می‌شود. انحراف در یک توزیع اندازه داده شده را می‌توان از یک منحنی کارایی نمونه‌برداری مشخص برای یک سیکلون در مقابل نوع قابل تنفس تخمین زد و به‌صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود:

$$bias = (C_{sampler} - C_{convention}) / C_{convention} \qquad (۷)$$

که در آن $C_{sampler}$ و $C_{convention}$ به‌ترتیب تخمین‌های نمونه‌بردار و قرارداد هستند.

۱۱-۲-۴-۲ مطابق استاندارد EN13205، عدم قطعیت انحراف نمونه‌بردار از واریانس موجود در انحراف محاسبه‌شده در توزیع اندازه لگاریتمی نرمال[1] نمونه‌برداری با قطرهای متوسط جرم (MMD)[2] معادل ۵۰، ...،۱،۲ µm و انحراف استاندارد هندسی (GSD)[3] معادل ۴/۰۰، ...، ۲/۲۵، ۲/۰۰، ۱/۷۵ تخمین زده می‌شود (و اگر تابع قابل تنفس بیش‌تر از ۰/۰۵ باشد، MMD*GSD کم‌تر از ۱۰۰ µm و GSD/MMD بیش‌تر از ۰/۵ µm می‌شود):

$$u_{bias} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(\overline{bias} - bias_j)^2} \qquad (۸)$$

که در آن j، یکی از n جفت (MMD, GSD) است.

۱۱-۲-۴-۳ جزئیاتی در گزارش تحقیقاتی RR: D22-1033 برای این استاندارد معرفی شده و نشان می‌دهد که یک نوع نمونه‌بردار قابل تنفس را می‌توان به صورت زیر برای نگه‌داری انتخاب کرد:

$$u_{bias} = 5\%$$

1- Lognormal

2- Mass median diameters

3- Geometric standard deviation

(۹)

۱۱-۲-۴-۴ سپس این مقدار به‌عنوان عدم قطعیت انحراف برای اهداف این استاندارد در نظر گرفته می‌شود.

یادآوری ۱- در صورتی که یک نمونه‌بردار دارای مشخصات مطلوب باشد اما عدم قطعیت آن بیش‌تر از ٪ ۵ است، عدم قطعیت استنادی آن با مقدار ذکر شده در بالا جایگزین می‌شود.

یادآوری ۲- آژانس‌ها توافق کرده‌اند که عموما با تصویب یک نوع نمونه‌بردار منفرد ویژه به‌جای نوع نمونه‌برداری بین المللی از عدم قطعیت کلی جلوگیری کنند.

۱۱-۳ عدم قطعیت استاندارد مرکب و عدم قطعیت بسط یافته

۱۱-۳-۱ عدم قطعیت استاندارد (نسبی) مرکب (u_c) از جمع عدم قطعیت‌های هر یک از منابع به‌دست می‌آید:

$$u_c = \sqrt{(u_{pump}^2 + u_{sampler}^2 + u_{weighing}^2 + u_{bias}^2)} \qquad (۱۰)$$

۱۱-۳-۲ سپس در آخر عدم قطعیت بسط یافته (U) به‌وسیله ضرب کردن عدم قطعیت استاندارد مرکب در ضریب پوششی k محاسبه می‌شود:

$$U = ku_c \qquad (۱۱)$$

که در آن معمولا گستره k از ۲ تا ۳ است، اما برای سادگی این کار ضریب پوششی مرسوم ۲ مصوب شده است.

۱۲ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید حداقل شامل اطلاعات زیر باشد:

۱۲-۱ روش آزمون استفاده شده مطابق این استاندارد ملی؛

۱۲-۲ تجهیزات حفاظتی شخصی؛

۱۲-۳ روش انجام آزمون؛

۱۲-۴ انواع گرد و غبار؛

۱۲-۵ شماره پمپ؛

۱۲-۶ نرخ جریان پمپ شامل قبل و بعد از کالیبراسیون نمونه‌برداری؛

۱۲-۷ مدت زمان نمونه بر حسب دقیقه (زمان روشن و خاموش شدن پمپ)؛

۱۲-۸ حجم هوای جمع‌آوری شده؛

۹-۱۲ نوع محیط نمونه؛

۱۰-۱۲ وزن اولیه و نهایی فیلتر؛

۱۱-۱۲ وزن گرد و غبار به‌دست آمده؛

۱۲-۱۳ تعداد فیلترهای شاهد میدانی؛

۱۳-۱۲ مقدار میانگین وزن یافت شده از فیلترهای شاهد میدانی؛

۱۴-۱۲ غلظت گرد و غبار قابل تنفس موجود در هوای نمونه (عموماً تا $0/01\ mg/m^3$ برای جلوگیری از عدم قطعیت گردکردن)؛

۱۵-۱۲ هر گونه مورد غیر معمول مشاهده شده در حین اندازه‌گیری؛

۱۶-۱۲ هر گونه عملیاتی که در این استاندارد ملی بیان نشده یا به‌طور اختیاری در نظر گرفته شده است.

۱۷-۱۲ تاریخ نمونه‌برداری (اختیاری با توجه به شرایط آب و هوایی شامل دما، فشار، رطوبت، سرعت جریان[1] و جهت وزش باد) و تاریخ حمل و نقل؛

۱۸-۱۲ نام و نام خانوادگی و اطلاعات تماس آزمون‌گر؛

جدول ۱ مثالی از میزان[2] عدم قطعیت را نشان می‌دهد در صورتی که C_{resp} معادل $1\ mg/m^3$ در نرخ نمونه‌برداری در $Q = 2\ l/min$ به مدت $t = 8\ h$ باشد.

یادآوری- عدم قطعیت نسبی توزین به جرم نمونه بستگی دارد و عموماً معادل ٪ ۱ بر حسب جدول ۱ نیست (مطابق بند ۱۱-۲-۳)

جدول ۱- مثالی از میزان عدم قطعیت

منبع عدم قطعیت	اجزای تشکیل دهنده عدم قطعیت	درجه آزادی	نوع
تخمین انحراف	٪ ۵	∞	B
توزین	٪ ۱	۲۵	B
متغیر نرخ جریان	٪ ۵	∞	B
متغیر نمونه‌بردار	٪ ۶	۱۵	B
عدم قطعیت مرکب = ٪ ۹/۳ عدم قطعیت بسط یافته = ٪ ۱۸/۷ در ضریب پوششی k= ۲			

1-Velocity
2- Budget

پیوست الف

(اطلاعاتی)

کتاب‌نامه

(1) Phalen, R. F., Particle size-selective sampling in the workplace, Report of the ACGIH Air Sampling Procedures Committee, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Cincinnati, OH, 1985.

(**2**) Bartley, D. L., and Breuer, G. M., "Analysis and Optimization of the Performance of the 10-mm Cyclone," American Industrial Hygiene Association Journal, Vol 43, 1982, pp. 520–528.

(**3**) Bowman, J.D., Bartley, D.L., Breuer, G.M., Doemeny, L.J., and Murdock, D.J., "Accuracy criteria recommended for the certification of gravimetric coal mine dust personal samplers," NTIS Pub. No. PB 85-222446, 1984.

(**4**) Saltzman, B. E., "Generalized Performance Characteristics of Miniature Cyclones for Atmospheric Particulate Sampling," American Industrial Hygiene Association Journal, Vol 45, 1984, pp. 671–680.

(**5**) Higgins, R. I., and Dewell, P., "A Gravimetric Size Selecting Personal Dust Sampler," Inhaled Particles and Vapors II, Davies, C. N., ed., Pergamon Press, Oxford, 1967, pp. 575-586.

(**6**) Bartley, D.L., Chen, C.C., Song, R., and Fischbach, T.J., "Respirable Aerosol Sampler Performance Testing," American Industrial Hygiene Association Journal, Vol 55, 1994, pp. 1036–1046.

(**7**) Gautam, M., and Sreenath, A., "Performance of a Respirable Multi- Cyclone Sampler," Journal of Aerosol Science, Vol. 27, 1997, pp.1265-1281.

(**8**) Harper, M., Fang, C.P., Bartley, D.L., and Cohen, B.S., "Calibration of the SKC, Inc. Aluminum Cyclone for Operation in Accordance with ISO/CEN/ACGIH Respirable Aerosol Sampling Criteria," Journal of Aerosol Science, Vol. 29, Suppl. 1, 1998, pp. S347-S348.

(**9**) Kenny, L.C., and Gussman, R.A., "Characterization and Modeling of a Family of Cyclone Aerosol Preseparators," Journal of Aerosol Science, Vol. 28, 1997, pp.677-688.

(**10**) Maynard, A.D., and Kenny, L.C., "Performance Assessment of Three Personal Cyclone Models, using the Aerodynamic Particle Sizer," Journal of Aerosol Science, Vol. 26, 1995, pp. 671-684.

(**11**) Liu, B. Y. H., Pui, D. Y. H., and Rubow, K. L., Characteristics of Air Sampling Filter Media, Aerosols in the Mining and Industrial Work Environments, Vol 3, Chapter 70, pp. 989–

1038. V. A. Marple and B. Y. H. Liu, eds., Ann Arbor Science, 230 Collingwood, P. O. Box 1425, Ann Arbor, MI 48106, 1983.
(**12**) Briant, J. K., and Moss, O. R., The Influence of Electrostatic Charge on the Performance of 10-mm Nylon Cyclones, American Industrial Hygiene Conference, Detroit, MI, 1983.

(**13**) Dobson, L., Reichmann, L., and Popp D., "Evaluation of Quartz Residue on Cassette Interiors of AIHA Proficiency Samples," Journal of ASTM International, Vol. 2, No. 4, April 2005, Paper ID JAI12229.

(**14**) Demange, M., Gender, J.C., Herve-Bazin, B., Carton, B., and Peltier, A., "Aerosol Evaluation Difficulties due to Particle Deposition on Filter Holder Inner Walls," Annals of Occupational Hygiene, Vol. 34, 1990, pp. 399-403.

(**15**) Mark, D., "Problems Associated with the Use of Membrane Filters for Dust Sampling When Compositional Analysis is Required," Annals of Occupational Hygiene, Vol. 17, 1974, pp. 35-40.

(**16**) Blackford, D.B., Harris, G.W., and Revel, G., "The Reduction of Dust Losses Within the Cassette of the Simpeds Personal Dust Sampler," Annals of Occupational Hygiene, Vol. 29, 1985, pp. 169-180.

(**17**) Bartley, D. L., Breuer, G.M., Baron, P.A., and Bowman, J.D., "Pump Fluctuations and Their Effect on Cyclone Performance," American Industrial Hygiene Association Journal, Vol 45, 1984, pp. 10–18.

(**18**) NIOSH Method 0600, NIOSH Manual of Analytical Methods, eds.Schlecht, P.C., and O'Connor, P.F., 4th ed., 3rd Suppl., DHHS (NIOSH) Publication No. 2003-154, 2003.

(**19**) Parobeck, P., Tomb, T., Ku, H., and Cameron J., "Measurement Assurance Program for the Weighing of Respirable Coal Mine Dust Samples," Journal of Quality Technology, Vol. 13, 1981, pp.157-165.