INSO
20727
1st.Edition
2016

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

استاندارد ملی ایران
۲۰۷۲۷
چاپ اول
۱۳۹۴

تراکم تعداد ذرات آیروسل – کالیبراسیون شمارشگرهای ذرات چگال‌شده

Aerosol particle number concentration — Calibration of condensation particle counters

ICS:19.120

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 درجه-بندی 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 (کالیبراسیون) 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 (کالیبراسیون) 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

« تراکم تعداد ذرات آیروسل – کالیبراسیون شمارشگرهای ذرات چگال‌شده»

رئیس :	**سمت و/ یا نمایندگی**
مغانلو، فرهاد (دکتری مهندسی مکانیک)	دانشگاه محقق اردبیلی
دبیر :	
ابراهیم‌فر، رضا (کارشناسی شیمی)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان‌شرقی
اعضاء : (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آقاپور، مجید (کارشناسی فیزیک)	آزمایشگاه کالیبراسیون رساگستر آذر
پیری، لعیا (کارشناسی مهندسی مکانیک)	کارشناس استاندارد
ترکمن، حمیده (کارشناسی ارشد شیمی)	شرکت طرح ابتکار انرژی
ترکمن، لیلا (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)	اداره کل استاندارد آذربایجان‌شرقی
حاج‌کریم‌زاده، حسین (کارشناسی مدیریت آموزش)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان‌شرقی
رنجبر، سیدفرامرز (دکتری مهندسی مکانیک)	دانشگاه تبریز
قاری قرآن، سیدمسعود (کارشناسی ارشد شیمی)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان‌شرقی
گلنازی، زهرا (کارشناسی ارشد مهندسی برق)	آزمایشگاه کالیبراسیون رساگستر آذر
ملازاده، میکاییل (دکتری شیمی)	دانشگاه مالک اشتر

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

	آشنایی با سازمان ملی استاندارد	ب
	کمیسیون فنی تدوین استاندارد	ج
	پیش گفتار	و
	مقدمه	ز
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	اصطلاحات و تعاریف	۲
۴	نمادها	۷
۵	دستگاه‌های مرجع به کار رفته در کالیبراسیون- اصول کلی	۱۰
۵-۱	اصول کلی	۱۰
۵-۲	اهداف کالیبراسیون آیروسل	۱۱
۵-۳	دید کلی بر راه‌اندازی	۱۲
۵-۴	مولفه‌ها و الزامات آنها	۱۳
۵-۵	اختلاف بین FCAE و CPC به عنوان ابزارهای مرجع	۲۰
۶	کالیبراسیون با استفاده از FCAE به عنوان ابزار مرجع	۲۱
۶-۱	دید کلی بر روش انجام کالیبراسیون و تنظیم	۲۱
۶-۲	آماده‌سازی	۲۵
۶-۳	روش اجرایی کالیبراسیون کارایی آشکارسازی	۳۳
۶-۴	عدم قطعیت اندازه‌گیری	۳۸
۷	کالیبراسیون با استفاده از CPC به عنوان ابزار مرجع	۴۱
۷-۱	دید کلی تنظیم و روش کالیبراسیون	۴۱
۷-۲	آماده‌سازی	۴۴
۷-۳	روش کالیبراسیون کارایی آشکارسازی	۵۰
۷-۴	عدم قطعیت اندازه‌گیری	۵۴
۸	گزارش نتایج	۵۷

پیوست الف، اطلاعاتی، ویژگی‌های عملکردی CPC ۵۸
پیوست ب، اطلاعاتی، تاثیر ویژگی‌های سطح بر کارایی آشکارسازی CPC ۶۹
پیوست پ، اطلاعاتی، مثالی از گواهینامه‌های کالیبراسیون ۷۱
پیوست ت، الزامی، محاسبهٔ کارایی آشکارسازی CPC ۸۴
پیوست ث، اطلاعاتی، نمودارهای قابلیت ردیابی ۹۵
پیوست ج، رقیق‌سازها ۹۸
پیوست چ، الزامی، ارزیابی ضریب تصحیح اریبی تراکم بین ورودی‌های دستگاه مرجع و CPC مورد آزمون ۹۵
پیوست ح، اطلاعاتی، گسترش دامنهٔ کالیبراسیون به تراکم‌های پایین‌تر ۱۰۰
پیوست خ، اطلاعاتی، گسترش دامنهٔ کالیبراسیون به تراکم‌های پایین‌تر ۱۱۲
پیوست د، الزامی، کالیبراسیون دبی شارش حجمی ۱۳۲
پیوست ذ، الزامی، آزمون آماده‌ساز بار و DEMC در بیشینه عدد تراکم ۱۳۵
پیوست ر، اطلاعاتی، روش گزارش داده‌های توصیه‌شده به هنگام استفاده از FCAE ۱۳۷
پیوست ز، اطلاعاتی، عدم قطعیت کارایی آشکارسازی وابسته به عدم قطعیت اندازهٔ ذره ۱۳۹
پیوست ژ، اطلاعاتی، کاربرد نتایج کالیبراسیون ۱۴۱
پیوست س، اطلاعاتی، کتابنامه ۱۴۴

پیش‌گفتار

استاندارد "تراکم تعداد ذرات آیروسل – کالیبراسیون شمارشگرهای ذرات چگال‌شده" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده است و در دویست و هشتاد و پنجمین اجلاس کمیته ملی استاندارد اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها مورخ ۹۴/۱۲/۱۳ 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 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.

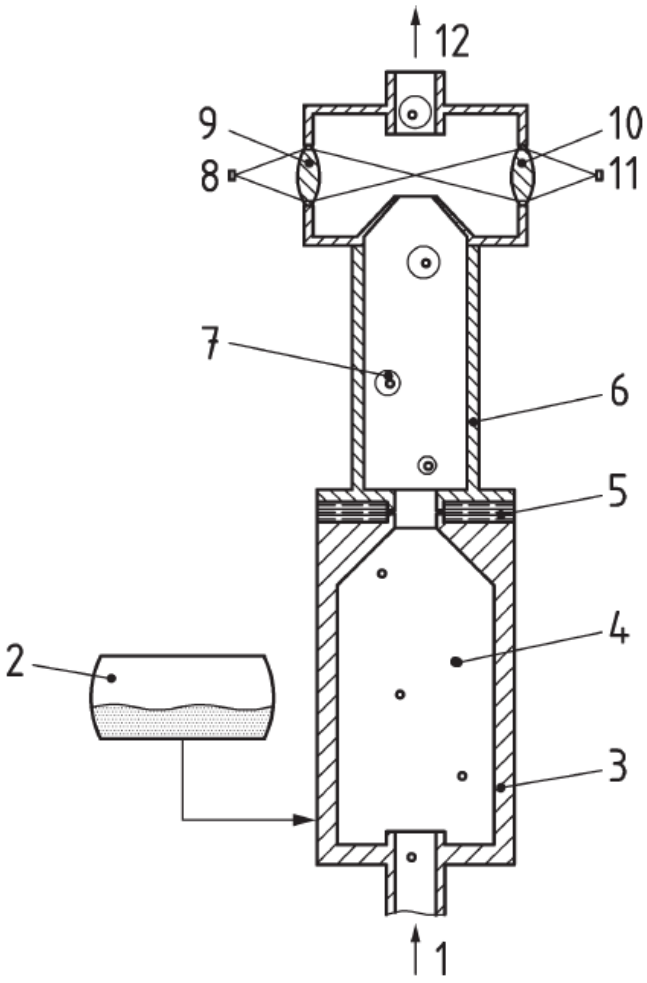
منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 27891: 2015, Aerosol particle number concentration - Calibration of condensation particle counters

مقدمه:

شمارشگر ذرهٔ چگال (CPC) ابزار اندازه‌گیری تعداد ذرات کوچک آیروسل می‌باشد. تراکم بخار فوق اشباع برای افزایش اندازهٔ ذرات بسیار ریز و نانو درحد قطرات قابل اندازه‌گیری نوری ویژگی مشترک تمام انواع این ذرات می‌باشد. شمارش قطرات برپایهٔ پراکندگی نوری طرح‌ریزی شده است. قطره از یک منطقهٔ تشخیص که بخشی از آن با پرتو نور متمرکز و بخش دیگر با نور پراکنده روشن شده، عبور داده شده است و با حسگر نور اندازه گرفته می‌شود. درحجم معلومی از هوای نمونه، فراوانی این رویداد تراکم ذرات را تعیین می‌کند. در تراکم‌های پایین، شمارشگر(CPC) ذرات مشخصی را شمرده و تراکم تعداد ذرات را به طور مطلق تعیین می‌کند.

شمارشگرهای تجاری ذرات تراکم یافته، از سیالات عامل مختلف نظیر ۱- بوتانول، ۲- پروپانول یا آب برای تولید بخار استفاده می‌کنند. علاوه براین، برای دستیابی به بخار اشباع لازم در هوای نمونه اصول گوناگونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربردی‌ترین شمارشگرها (CPC) از شارش آرام و انتقال حرارت نفوذی استفاده می‌کنند. ثابت نفوذ سیال عامل، حرارت یا مراحل سرمایش مورد نیاز برای آغاز تراکم و درنتیجه طرح اصلی شارش آرام (CPC) را تعیین می‌کند. شمارشگرهایی که کمتر مورد استفاده هستند (CPC)های اختلاط آشفته هستند که درآنها مرحلهٔ فوق اشباع از اختلاط آشفتهٔ هوای نمونه با شارش گاز عاری از ذرات و اشباع شده با سیال عامل به دست می‌آید. شکل (۱) شمای کلی از رایج‌ترین نوع شمارشگر با شارش آرام از میان اشباع‌کنندهٔ گرم‌شده و چگالنده سردشده را نشان می‌دهد.



راهنما:

1	ورودی آئروسل	7	قطره
2	مخزن سیال عامل	8	منبع نور
3	اشباع کنندهٔ گرم	9	اپتیک‌های نوری
4	ذرهٔ نانو(بسیار ریز)	10	اپتیک‌های دریافت‌کننده
5	خنک‌کنندهٔ دستگاه گرمایش ترموالکتریک	11	حسگر نوری
6	کندانسور(چگالنده)	12	خروجی آئروسل

شکل ۱– اصول یک شارش آرام CPC

با این حال عوامل گوناگونی بر صحت اندازه‌گیری‌های (CPC) مؤثر هستند. به عنوان مثال، خطا در دبی شارش سیال باعث بروز خطا در میزان تراکم خواهد شد. خطای هم مکانی در تراکم‌های بالا، فعالیت ناکارآمد ذرات با اندازه های بسیار کوچک و کاهش تعداد ذرات حین انتقال از ورودی به بخش آشکارسازی منابع احتمالی دیگر خطا هستند. بنابراین کالیبراسیون (CPC) برای ارزیابی دقت اندازه‌گیری ضروری است.

ابزار مرجع در کالیبراسیون (CPC) الکترومتر آئروسل کاپ- فارادی (FCAE) می‌باشد. در بسیاری از موارد هدف از کالیبراسیون، تعیین محدودهٔ آشکارسازی ذرات در اندازه‌های بسیار کوچک است. کارآیی آشکارسازی الکترومتر فارادی، واحد اندازه‌گیری هر اندازه‌ای از ذرات در نظر گرفته شده است. نسبت تراکم اندازه‌گیری شده توسط (CPC) کالیبره‌شده به آنچه که الکترومتر فارادی اندازه گرفته، کارآیی آشکارسازی(CPC) را مشخص می‌کند. به این ترتیب که وقتی که آئروسل‌ها به صورت منفرد شارژ شده‌اند، ذرات مشابه از نظر اندازه و تراکم همزمان به دو دستگاه تغذیه می‌شوند.

این استاندارد، دو روش متمایز کالیبراسیون (CPC) را ارائه می‌دهد: تعیین ویژگی‌های (CPC) با مقایسهٔ آن با یک (FCAE) که همان روش سنتی است که در بالا به آن اشاره شد و مقایسه (CPC) با یک (CPC) مرجع. یک (FCAE) که گواهینامهٔ کالیبراسیون معتبر دارد و عدد تراکم ذرات وابسته به هم، اندازه‌ها و ترکیب را پوشش می‌دهد، می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. در مورد دوم نیز که (CPC) مرجع دارای گواهینامهٔ کالیبراسیون معتبر است به گونه‌ای که عدد تراکم ذرات وابسته به هم، اندازه‌ها و ترکیب را تحت پوشش قرار می‌دهد. گواهینامهٔ کالیبراسیون معتبر می‌تواند در یک آزمایشگاه دارای گواهی استاندارد ایران ایزو آی ای سی ۱۷۰۲۵ یا یک استاندارد همتراز دیگر که نوع و دامنهٔ کالیبراسیون در محدودهٔ یک آزمایشگاه استاندارد باشد صادر شود. هم چنین مرکز ملی اندازه‌شناسی یا موسسه تعیین که خدمات معتبر کالیبراسیون را ارائه می‌کنند و اندازه‌گیری آنها کاملا" با الزامات استاندارد ایران ایزو آی ای سی ۱۷۰۲۵ منطبق می‌باشد، در صدور گواهینامهٔ کالیبراسیون معتبر شناخته می‌شوند.

دو منبع اساسی خطا در کالیبراسیون (CPC) شناخته شده است: وجود ذرات پر بار و متمایل شدن ذرات متراکم بین ورودی آن و دستگاه مرجع. تخمین این عوامل و تصحیح آنها بر پایهٔ روش‌هایی که دراین استاندارد مشخص شده‌اند، در فرآیند کالیبراسیون باید مد نظر قرار گیرند.

این استاندارد برای موارد زیر هدف‌گذاری شده است:

- کاربران (CPC) که برنامه‌های کالیبراسیون داخلی دارند، مانند اهداف زیست‌محیطی یا آلاینده‌های خودرو.
- سازندگان (CPC) که کارآیی دستگاه‌های خود را پیوسته تضمین می‌کنند.
- و آزمایشگاه‌های فنی که خدمات کالیبراسیون (CPC) را ارائه می‌کنند، مانند مرکز ملی اندازه‌شناسی که امکانات ملی برای تضمین اندازه‌گیری‌های تراکم را فراهم می‌کند.

تراکم تعداد ذرات آیروسل– کالیبراسیون شمارشگرهای ذرات چگال شده

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه روش‌هایی برای تعیین کارآیی آشکارسازی شمارش‌گرهای ذرات چگال (CPC) با تراکم ذرات در گستره $۱\ cm^{-۳}$ و $۱۰^{۵}\ cm^{-۳}$ مرتبط با عدم قطعیت اندازه‌گیری، است. در حالت کلی کارآیی آشکارسازی به عدد تراکم ذره، اندازهٔ ذرات و ترکیبات آنها بستگی دارد. این استاندارد برای ذرات با دامنهٔ تقریبی اندازهٔ ۵ nm تا ۱۰۰۰ nm کاربرد دارد.

بنابراین، این روش‌ها می‌توانند تعیین ضریب کالیبراسیون CPC را، وقتی کارآیی آشکارسازی به طور نسبی ثابت است (کارآیی پلاتو) به طیف ذرات بزرگتر تعمیم دهند. همچنین برای توصیف مشخصات قطره در اندازه‌های کوچک و نزدیک کمترین حد، این روش‌ها درکارآیی آشکارسازی CPC می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. این عوامل با جزئیات بیشتر در پیوست الف آمده است.

این روش‌ها برای شمارشگرهایی مناسب هستند که دامنهٔ تقریبی شارش ورودی آنها بین ۰٫۱ l/min و۵ l/min باشد.

این استاندارد، روشی برای تخمین عدم قطعیت کالیبراسیون CPC را توصیف می‌کند.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آنها ارجاع شده است .به این ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی آن موردنظر این استاندارد ملی ایران نیست .در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه های بعدی آن ها موردنظر است.

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰، تعیین توزیع اندازه ذرات- تجزیه و تحلیل تفاضلی الکتریکی در ذرات آیروسل

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۳-۱ آیروسل

مجموعه ذرات جامد یا مایع منتشرشده در گاز

۳-۲ باردارکنندهٔ دوقطبی

آماده‌ساز بار ذره برای رسیدن به تعادل است که با توزیع بار وابسته به اندازه شناخته می‌شود که با قرار دادن ذرات آیروسل در معرض یون‌های منفی و مثبت درون دستگاه میسر می‌شود.

یادآوری ۱ – قرار دادن ذرات آیروسل درمعرض یک ابر الکتریکی خنثی از بارهای مثبت و منفی گازی با تراکم بالا و در زمان طولانی کافی، به یک تعادل با بار خالص نزدیک صفر برای آیروسل منجر می‌شود (خنثی‌سازی بار).

۳-۳ کالیبراسیون

عملیاتی است که تحت شرایط معین در مرحلهٔ اول، رابطه‌ای بین مقادیر کمی با عدم قطعیت‌ها در اندازه‌گیری برقرار می‌کند. این عدم قطعیت از استانداردهای اندازه‌گیری و نشانه‌های متناظر با عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری مربوط، ناشی می‌شود. در مرحلهٔ بعدی با استفاده از این اطلاعات، رابطه‌ای برای کسب نتیجهٔ اندازه‌گیری از یک قرینه، ایجاد می‌شود.

یاد آوری ۱ – کالیبراسیون می‌تواند با یک توضیح، تابع، نمودار ، منحنی یا جدول کالیبراسیون بیان شود. در برخی موارد ممکن است کالیبراسیون با جمع یا ضرب مقادیر مرتبط با عدم قطعیت اندازه‌گیری تصحیح شود.

یادآوری ۲ – کالیبراسیون با تنظیم یک سامانهٔ اندازه‌گیری که اغلب "خودکالیبراسیون" نامیده می‌شود و با تصدیق کالیبراسیون نباید اشتباه گرفته شود.

یادآوری ۳ – اغلب، مرحلهٔ اول در توصیف بالا به تنهایی به عنوان کالیبراسیون شناخته می‌شود. (منبع ISO/IEC Guide 99)

۳-۴ کالیبراسیون آیروسل

آیروسل اولیهٔ آمادهٔ شارژ و دانه‌بندی شده، همراه عدد تراکم ذره برای تنظیم کالیبراسیون، هنگام حمل با شکافنده شارش.

۳-۵ کالیبراسیون جنس ذره

جنس ذرات کالیبراسیون آیروسل

۳-۶ تراکم بار

تراکم بار الکتریکی کل در واحد حجم

یادآوری ۱– الکترومتر آیروسل فارادی (FCAE) تراکم بار را اندازه‌گیری می‌کند.

یادآوری ۲- اندازه‌گیری در الکترومترآیروسل فارادی می‌تواند به صورت تراکم بار(CQ)،(به عنوان مثال در fC/cm^3)، عدد تراکم بار(CN *)(به عنوان مثال درcm^{-3})، یا جریان الکتریکی(IFCAE)(به عنوان مثال درfA) نشان داده شود. با استفاده از بار الکترون، e ، و دبی شارش حجمی ورودی الکترومتر،qFCAE ، این مقادیردر روابط زیر نشان داده می‌شوند:

$$CN^* = CQ/e = I_{FCAE} / (q_{FCAE} \times e)$$

مثال- تراکم بار $1 fC/cm^3$ به عدد تراکم بار $6241 cm^{-3}$ متناظر است . وقتی که دبی حجمی شارش ورودی الکترومتر ۱ l/min باشد، جریان الکتریکی حاصل ۱۶٫۶۷ fA خواهد بود.

۳-۷ آماده سازی بار

فرآیند برقراری توزیع پایدار بار درآیروسل نمونه.

۳-۸ ضریب تغییر(CV)

نسبت انحراف استاندارد به مقدار میانگین حسابی

۳-۹ خطای هم مکانی

احتمال حضورهم‌زمان بیشتر از یک ذره درون منطقهٔ اندازه‌گیری

یادآوری ۱- خطای هم مکانی به عدد تراکم ذرات، دبی شارش در منطقهٔ اندازه‌گیری و هم‌چنین اندازهٔ این منطقه بستگی دارد.

۳-۱۰ شمارشگر ذرهٔ چگال شده (CPC)

دستگاه اندازه‌گیرندهٔ عدد تراکم ذرهٔ یک آیروسل

یادآوری ۱ - اندازهٔ ذرات آشکارسازی شده معمولا" کوچکتر از چندصد نانومتر و بزرگتر از چند نانومتر است.

یاد آوری ۲ - یک شمارشگردر برخی موارد به نام شمارشگر هسته‌های چگال شده (CNC) نامیده می‌شود.

یادآوری ۳ - در این استاندارد شمارشگر ذرهٔ چگال شده " شمارشگر مرجع" خوانده می‌شود.

یادآوری ۴ - در این استاندارد، شمارشگر ذرهٔ چگال شده (CPC) تحت کالیبراسیون "شمارشگر آزمون" نامیده می‌شود.

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰: سال ۱۳۸۹]

۳-۱۱ کارآیی آشکارسازی (η)

نسبت تراکم گزارش شده از یک دستگاه به تراکم واقعی در ورودی دستگاه

۳-۱۲ دستگاه دسته‌بندی تحرک الکتریکی تفاضلی DEMC

دسته‌بندی‌کننده قادر به گزینش ذرات آیروسل براساس تحرک الکتریکی آنهاست و به سمت خروجی خود هدایت می‌کند.

یادآوری ۱ – یک DEMC در یک میدان الکتریکی، ذرات آیروسل را با متعادل ساختن نیروی الکتریکی در هر ذره با نیروی کشش آیرودینامیک آن دسته‌بندی می‌کند. ذرات دسته‌بندی شده در یک دامنهٔ باریک از تحرک الکتریکی، برپایهٔ ابعاد فیزیکی و شرایط کار دستگاه مشخص می‌شوند. اختلاف اندازهٔ این ذرات بستگی به تفاوت تعداد بارها دارد.

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰: سال ۱۳۸۹]

۳-۱۳ سامانهٔ تحلیل قابلیت تحرک تفاضلی (DMAS)

سامانهٔ اندازه‌گیری توزیع اندازهٔ ذرات آیروسل کوچکتر از میکرومتر، شامل پیش‌آماده‌ساز، آماده‌ساز بار ذره، DEMC ، دبی‌سنج، آشکارساز ذره، لوله‌های مرتبط، رایانه و نرم‌افزار محاسبه‌کنندهٔ توزیع بار.

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰: سال ۱۳۸۹]

۳-۱۴ اتلاف پخشندگی

کاهش تراکم ذرات به انتقال حرارت (حرکت براونی) و انتقال پخشندگی بستگی دارد (به عنوان مثال در دیواره‌های لولهٔ انتقال).

۳-۱۵ الکترومتر

ابزار اندازه‌گیری جریان الکتریکی از تقریبا"۱ فمتوآمپر[1] (fA) و بالاتر

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰: سال ۱۳۸۹]

۳-۱۶ قطر معادل ذره (*d*)

قطرمعادل کره با ویژگی‌های معین که تحت شرایط تعریف‌شده، دقیقا" مانند ذرهٔ توصیف‌شده عمل می‌کند.

یادآوری ۱ – قطر ذره (یا به طور ساده قطر) دراین استاندارد همواره به تحرک الکتریکی قطر معادل اشاره می‌کند که اندازهٔ ذرات باردار شده با همان تحرک الکتریکی یا سرعت مهاجرت نهایی مشابه در هوا تحت تأثیر میدان الکتریکی ثابت را تعریف می‌کند.

۳-۱۷ الکترومتر آیروسل کاپ فارادی (FACE)

الکترومتر طراحی‌شده برای اندازه‌گیری تراکم بار الکتریکی حمل‌شده توسط یک آیروسل (ذره)

یادآوری ۱ – FACE شامل یک هدایت الکتریکی و فنجان پایه ریزی شدهٔ مبتنی بر الکتریسیته، یک ارتباط الکتریکی بین عنصر اندازه‌گیری و یک مدار الکترومتر و دبی‌سنج می باشد. فنجان پوشش عنصر سنجش بوده و به نوبهٔ خود از واسطه‌های فیلترکردن آیروسل برای به دام انداختن ذرات آیروسل باردارتشکیل شده است.

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰: سال ۱۳۸۹]

1 - Femtoampere

۳-۱۸ دبی شارش

مقدار (حجم یا جرم مشخص‌شده) یک سیال که از صفحهٔ عرضی مسیر شارش در واحد زمان عبور می‌کند.

یادآوری ۱ – برای تعیین دقیق دبی شارش گازها، اطلاعات شرایط گازی(حرارت و فشار) یا مراجع استاندارد تعیین حجم ضروری است.

۳-۱۹ GSD

مخفف انحراف هندسی که در این استاندارد استفاده می‌شود.

۳-۲۰ شارش آرام

شارش گاز، بدون هیچ گونه فعالیت غیر عادی گذرا یا فضایی یا شارش گردابی آشفته

۳-۲۱ پایین‌ترین حد کارآیی سطح پایدار(پلاتو) ($d_{min,ref}$)

حد پایینی که می‌توان در یک شمارشگر مرجع ذرات چگال را به کار برد تا کالیبراسیون شمارشگر مورد آزمون، انجام شود.

یادآوری ۱ – این اندازه نه تنها به خود شمارشگر بلکه تا حدی به شرایط آزمون و نوع ذرات بستگی دارد.

۳-۲۲ آیروسل با توزیع یکنواخت

آیروسل با توزیع اندازهٔ محدود ذرات

یادآوری ۱ – میزان توزیع یکنواخت با انحراف استاندارد هندسی(GSD) توزیع اندازه می‌تواند تعیین شود.

یادآوری ۲ – دراین استاندارد مفهوم"توزیع یکنواخت" برای انحراف هندسی کمتراز یا مساوی با ۱٫۱۵ به کار می‌رود.

۳-۲۳ ذره

قطعه‌ای از ماده با مرز فیزیکی تعریف شده

یادآوری ۱ – فاز ذره می تواند جامد، مایع یا بین این دو و مخلوطی از هر نوع فاز باشد.

۳-۲۴ آماده کنندهٔ بار ذره

دستگاه مورد استفاده برای آماده‌سازی بار

۳-۲۵ عدد تراکم ذره(C)

تعداد ذرات واحد حجم گاز حامل

یادآوری ۱ – برای تعیین دقیق عدد تراکم ذره، اطلاعات شرایط گازی (حرارت و فشار) یا مرجع استاندارد تعییین حجم ضروری است.

۳-۲۶ نوع ذره

بسیاری از مشخصات ذرات نظیر ترکیب شیمیایی جنس ماده (به ویژه ترکیب سطح شیمیایی)، شکل فیزیکی ذره و ریخت‌شناسی (به عنوان مثال یک آگلومرا یا یک ترکیب چند سازه‌ای)

یادآوری ۱ – CPC در اندازه های کوچک ذرات به القای شیمیایی بین ذره و سیال عامل بستگی دارد (به پیوست ب رجوع شود).

یادآوری ۲ – بسیاری از تئوری‌های تأئید شده، ذرات را کره‌های جامد فرض می‌کنند. کروی نبودن می‌تواند گزینش اندازه توسط DEMC، بخشی از ذرات پربار و چگالش سیال عامل درسطح ذره را تحت تأثیر قرار دهد.

۳-۲۷ کارآیی سطح پایدار(پلاتو)

به معنی تشخیص کارآیی CPC در محدودهٔ اندازه‌ای که با اندازهٔ ذره تداخل ندارد.

۳-۲۸ آیروسل اولیه

ایجاد و آماده‌سازی آیروسل در منبع آیروسل اولیهٔ راه‌اندازی کالیبراسیون

۳-۲۹ حالت شمارش ذرهٔ منفرد

حالت اندازه‌گیری تعداد ذرات یا میزان تراکم دستگاه اندازه‌گیری (به عنوان مثال CPC) می‌باشد. اندازه‌گیری که هر ذرهٔ آشکارسازی‌شده برای به دست آوردن نتیجهٔ اندازه‌گیری شمارش می‌شود.

۳-۳۰ توزیع اندازه

توزیع تراکم ذرات به عنوان تابعی از اندازهٔ ذره

یادآوری ۱ – در این استاندارد این واژه به معنی"میزان تراکم ذرات به عنوان تابعی از قطر ذرات" به کار می‌رود.

یادآوری ۲ – استاندارد (ISO 9276-1) می تواند برای نمایش نتایج تجزیه و تحلیل توزیع اندازهٔ ذرات استفاده شود.

۳-۳۱ شارش آشفته

شارش گاز با فعالیت نامنظم زمانی و مکانی یا شارش گردابی آشفته

۳-۳۲ باردارکنندهٔ تک قطبی

آماده‌کنندهٔ بار ذره که درون دستگاه، ذرات آیروسل را در معرض هر کدام ازیون‌های مثبت یا منفی قرار می‌دهد.

۴ نمادها

در این استاندارد، نمادها و واژه‌های خلاصه شدهٔ زیر به کار می‌روند. یکاها مطابق با مرجع هستند.

نماد	مقدار	یکا	موارد استفاده
C_N	تراکم کل ذرات خارج ازدستگاه دسته‌بندی تحرک الکتریکی تفاضلی	cm^{-3}	۶-۳-۵ بند ث ۷-۳-۵ بند پ
$C_N(dp)$	میزان تراکم ذرات خارج از دستگاه دسته‌بندی تحرک الکتریکی تفاضلی مربوط به قطر معادل ذره (d) و با بارهای (p)	cm^{-3}	۶-۳-۳ بند پ ۷-۳-۳ بند پ
C^*_N	تراکم بارها	cm^{-3}	۳-۶ ، یادآوری۲
C_N,CPC	نشانگر میزان تراکم اندازه‌گیری شده به وسیلهٔ آزمون شمارش ذرات چگال	cm^{-3}	۱-۵
$C_{N,CPC,i}$	i-th نشانگر میزان تراکم اندازه گرفته‌شده به وسیلهٔ آزمون شمارش ذرات چگال به هنگام اندازه‌گیری ذرات	cm^{-3}	۶-۳-۵ بند ب ۷-۳-۵ بند الف
$C_{N,CPC,ref,i}$	i-th نشانگر میزان تراکم اندازه گرفته‌شده به وسیلهٔ آزمون مرجع شمارش ذرات چگال شده به هنگام اندازه‌گیری ذرات	cm^{-3}	۷-۳-۵ بند الف
$C_{N,FCAE,i}$	i-th محاسبه شدهٔ میزان تراکم کالیبراسیون آیروسل	cm^{-3}	۶-۳-۵ بند ت
$C_{N,ref}$	نشانگر میزان تراکم اندازه گرفته شده با دستگاه مرجع	cm^{-3}	۱-۵
C_Q	نشانگر میزان تراکم بار اندازه گرفته شده با الکترومتر آیروسل کاپ فارادی FCAE به هنگام اندازه‌گیری ذرات	C cm^{-3}	۳-۶ یادآوری ۲
$C_{Q,i}$	i-th نشانگر میزان تراکم بار اندازه گرفته‌شده با الکترومتر آیروسل کاپ فارادی به هنگام اندازه‌گیری ذرات	C cm^{-3}	۶-۳-۵ بند الف ۶-۳-۵ بند پ
$Q,0,i$	i-th نشانگر میزان تراکم بار اندازه گرفته‌شده با الکترومتر آیروسل کاپ فارادی وقتی که ولتاژ دستگاه دسته‌بندی تحرک الکتریکی تفاضلی روی صفر تنظیم شده است.	C cm^{-3}	۶-۳-۵ بند الف ۶-۳-۵ بند پ
d	قطر معادل ذره	nm	۳-۱۶
$d_{min,ref}$	حداندازهٔ پایین تر که CPC مرجع درآن برای کالیبراسیون CPC مورد آزمون می تواند به کاررود.	nm	۳-۲۱ ۵-۴-۶ بند ب ۵-۵ بند الف
e	بار بنیادی	C	۳-۶ یادآوری ۲
I_{FCAE}	جریان الکتریکی	fA	۳-۶ یادآوری ۲

k	ضریب هم پوشانی	بی‌بعد	۳-۴-۶ ۳-۴-۷
N_{ambient}	تعداد ذرات شمارش شده در یک دقیقه بدون فیلتر HEPA	بی‌بعد	۶-۲-۵ بند الف-۲
N_{FCAE}	تعداد ذرات شمارش شده درطول یک دقیقه ازمیان فیلتر FCAE	بی‌بعد	۶-۲-۵ بند الف-۵
N_{HEPA}	تعداد ذرات شمارش شده درطول یک دقیقه با فیلتر HEPA	بی‌بعد	۶-۲-۵ بند الف-۱
N_{leak}	$= N_{\text{FCAE}} - N_{\text{HEPA}}$	بی‌بعد	۶-۲-۵ بند الف-۶
p	تعداد بارهای خالص در ذره	بی‌بعد	۵-۱
$q_{\text{CPC,amb}}$	دبی شارش ورودی مشخص شده با CPC مورد آزمون یا دبی نامی شارش ورودی CPC مورد آزمون	l min^{-1}	۶-۲-۶ بند پ ۶-۲-۷ بند ت
$q_{\text{CPC,cal,amb}}$	دبی شارش ورودیCPC مورد آزمون که با دبی‌سنج کالیبره اندازه‌گیری‌شده	l min^{-1}	۶-۲-۶ بند پ ۶-۲-۷ بند ت
$q_{\text{CPC,ref}}$	دبی شارش ورودی مشخص شده با CPC مرجع یا دبی نامی شارش ورودی CPC مرجع	l min^{-1}	۷-۲-۷ بند ب
$q_{\text{CPC,ref,cal}}$	دبی شارش ورودی CPC مرجع که با دبی‌سنج کالیبره اندازه‌گیری‌شده	l min^{-1}	۷-۲-۷ بند ب
$q_{\text{CPC,ref,-cal,amb}}$	دبی شارش ورودی CPC مرجع که با دبی‌سنج کالیبره‌شده اندازه گرفته شده است.	l min^{-1}	۷-۲-۵ بند پ
$q_{\text{CPC,ref,amb}}$	دبی شارش ورودی مشخص شده با CPC مرجع یا دبی نامی شارش ورودی CPC مرجع	l min^{-1}	۷-۲-۵ بند پ
$q_{\text{CPC,ref,cert}}$	دبی شارش ورودی CPC مرجع که درگواهینامهٔ کالیبراسیون ثبت شده.	l min^{-1}	۷-۲-۵ بند ب
q_{FCAE}	دبی شارش ورودی FCAE یا دبی نامی شارش ورودی FCAE	l min^{-1}	۶-۳ یادآوری ۲ ۶-۲-۷ بند ب
$q_{\text{FCAE,amb}}$	دبی شارش ورودی FCAE یا دبی نامی شارش ورودی FCAE	l min^{-1}	۶-۲-۵ بند پ
$q_{\text{FCAE,cal}}$	دبی شارش ورودی FCAE ، اندازه‌گیری شده توسط دبی‌سنج کالیبره شده	l min^{-1}	۶-۲-۷ بند ب
$q_{\text{FCAE,cal,amb}}$	دبی شارش ورودی FCAE ، اندازه‌گیری شده توسط دبی‌سنج کالیبره شده	l min^{-1}	۶-۲-۵ بند پ
$q_{\text{FCAE,cert}}$	دبی شارش ورودی FCAE که درگواهینامهٔ کالیبراسیون ثبت‌شده	l min^{-1}	۶-۲-۵ بند پ
R_{FCAE}	$= N_{\text{leak}}/N_{\text{ambient}}$	بی‌بعد	۶-۲-۵ بند الف-۷

$r_{q,\mathrm{CPC,ref}}$	درستی شارش ورودی CPC مرجع که توسط سازنده مشخص‌شده	$\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{min}^{-1}}$	۷-۲-۵ بند پ
$r_{q,\mathrm{FCAE}}$	درستی شارش ورودی FCAE که توسط سازنده مشخص‌شده	$\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{min}^{-1}}$	۶-۲-۵ بند پ
$U(\eta)$	عدم قطعیت گسترش یافته برای η	بی‌بعد	۶-۴-۳ ۷-۴-۳
$U\mathrm{r}(\eta)$	عدم قطعیت گسترش‌یافتهٔ نسبی برای η	بی‌بعد	۶-۴-۳ ۷-۴-۳
$u_{\mathrm{r}(q_{\mathrm{cal,cert}})}$	عدم قطعیت استاندارد ترکیبی نسبی برای η	بی‌بعد	۶-۲-۵ بند پ ۷-۲-۵ بند ت
$u_{\mathrm{r}(q\mathrm{CPC,ref})}$	عدم قطعیت استاندارد نسبی برای شارش ورودی CPC مرجع	بی‌بعد	۷-۲-۷ بند ب ۷-۴-۳
$u_{\mathrm{r}(q_{\mathrm{CPC,ref,cert}})}$	عدم قطعیت استاندارد نسبی برای شارش ورودی CPC مرجع ثبت‌شده درگواهینامهٔ کالیبراسیون	بی‌بعد	۷-۲-۵ بند پ
$u_{\mathrm{r}(q\mathrm{FCAE})}$	عدم قطعیت استاندارد نسبی برای شارش ورودی FCAE	بی‌بعد	۶-۲-۷ بند ب ۶-۴-۳
$u_{\mathrm{r}(q_{\mathrm{FCAE,cert}})}$	عدم قطعیت استاندارد نسبی برای شارش ورودی FCAE ثبت شده درگواهینامهٔ کالیبراسیون	بی‌بعد	۶-۲-۵ بند پ
$u(1)$	عدم قطعیت استاندارد برای ϕ_1	بی‌بعد	۶-۴-۳
$u(2)$	عدم قطعیت استاندارد برای ϕ_2	بی‌بعد	۶-۴-۳
$u(3)$	عدم قطعیت استاندارد برایϕ_3	بی‌بعد	۶-۴-۳
$u_{\mathrm{c,r}(\eta)}$	عدم قطعیت استاندارد ترکیبی نسبی برایη	بی‌بعد	۶-۴-۳ ۷-۴-۳
$u_{\mathrm{r(FCAE)}}$	عدم قطعیت استاندارد نسبی کارآیی آشکارسازی FCAE	بی‌بعد	۶-۴-۳
$u_{\mathrm{r(MCC)}}$	عدم قطعیت استاندارد نسبی برای تصحیح بارهای چندتایی	بی‌بعد	۶-۴-۳
$u_{\mathrm{r(RCPC)}}$	عدم قطعیت استاندارد نسبی برای کارآیی آشکارسازی CPC مرجع	بی‌بعد	۷-۴-۳
$u_{\mathrm{r}(\beta)}$	عدم قطعیت استاندارد نسبی برایβ	بی‌بعد	۶-۴-۳ ۷-۴-۳
$u_{\mathrm{r}(\eta\mathrm{rep})}$	عدم قطعیت استاندارد نسبی برای تکرارپذیری	بی‌بعد	۶-۴-۳ ۷-۴-۳
β	ضریب تصحیح اریبی تراکم برای شکافندهٔ شارش	بی‌بعد	۵-۱ ۶-۴-۳ ۷-۴-۳

H	کارآیی آشکارسازی یا تشخیص	بی‌بعد	۳-۱۱
η_{CPC}	کارآیی آشکارسازی یا تشخیص CPC مورد آزمون	بی‌بعد	۵-۱
η'_{CPC}	کارآیی برآوردشدهٔ پلاتو (سطح پایدار) CPC مورد آزمون	بی‌بعد	۶-۳-۵ بند ث ۷-۳-۵ بند ث
$\eta_{CPC,i}$	کارآیی آشکارسازی CPC مرجع i-th	بی‌بعد	۶-۳-۵ بند ث ۷-۳-۵ بند ث
$\eta_{CPC,ref}$	مرجعCPC کارآیی آشکارسازی	بی‌بعد	۷-۳-۵ بند پ
η_{CPC}	میانگین عددی کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون	بی‌بعد	۶-۳-۵ بند ج ۷-۳-۵ بند ت
η_{FCAE}	کارآیی آشکارسازی FCAE	بی‌بعد	۶-۳-۵ بند ث
η_{ref}	کارآیی آشکارسازی دستگاه مرجع	بی‌بعد	۵-۱
$\sigma_{(\eta rep)}$	انحراف استاندارد برای اندازه‌گیری‌های تکرار شدهٔ کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون	بی‌بعد	۶-۳-۵ بند ج ۷-۳-۵ بند ت
Φ	کسر ذرات با بارچند تایی	بی‌بعد	۵-۵ بند ب ۶-۳-۳ بند پ ۷-۳-۳ بند پ
φ_p	کسر ذرات باردارشده با بارهای بنیادی	بی‌بعد	۵-۱ ۶-۳-۳ بند پ ۷-۳-۳ بند پ

۵ دستگاه‌های مرجع به کار رفته در کالیبراسیون- اصول کلی

۵-۱ اصول کلی

این بند جنبه‌های عمومی کالیبراسیون شمارشگر ذرات چگال شده CPC را با استفاده از دستگاه‌های مرجع قابل آشکارسازی بررسی می‌کند، در حالی که بندهای ۶ و۷ به ترتیب به موارد خاصی از الکترومتر فارادای FCAE و CPC به عنوان ابزار مرجع اشاره دارند.

ابزار مرجع باید گواهینامهٔ کالیبراسیون به روز و معتبر داشته باشند که درآن نوع ذره، اندازهٔ آن و محدودهٔ میزان تراکم ذره برای کالیبراسیون، هم‌چنین دبی حجمی شارش ورودی، دما و فشار ورودی درزمان کالیبراسیون باید قید شده باشند. آزمایشگاه صادرکنندهٔ گواهینامهٔ معتبر کالیبراسیون باید دارای گواهی استاندارد ایران ایزو آی ای سی ۱۷۰۲۵ یا یک استاندارد هم‌تراز دیگر که درآن نوع و دامنهٔ کالیبراسیون در محدودهٔ یک آزمایشگاه استاندارد باشد. هم چنین موسسهٔ تعیین اروپایی یا مرکز ملی اندازه‌شناسی که خدمات معتبر کالیبراسیون را ارائه می‌کنند و اندازه‌گیری آنها کاملا" با الزامات استاندارد ایران ایزو آی ای سی ۱۷۰۲۵ منطبق می‌باشد،

درصدور گواهینامهٔ کالیبراسیون معتبر شناخته می‌شوند. مثال‌هایی از گواهینامه‌های کالیبراسیون در پیوست پ آمده است.

نتیجهٔ کالیبراسیون کارآیی آشکارسازی و تشخیص ذره برای یک (CPC) منفرد با پارامترهای عملیاتی معین برای موارد ویژهٔ زیر خواهد بود:

- اندازهٔ ذره؛

- نوع ذره ؛ و

- عدد تراکم ذره.

در حالت شمارش یک ذره توسط (CPC)، کارآیی آشکارسازی برای بیش از یک محدودهٔ تراکم اغلب به صورت یک شکل واحد (با عدم قطعیت) بیان می‌شود، یعنی یک ضریب اعمال می‌شود. در حالات دیگر یا در محدودهٔ تراکم گسترده‌تر، ممکن است ارتباطات پیچیده تری بین کارآیی آشکارسازی و عدد تراکم ذره ممکن است مناسب باشد.(پیوست الف). محاسبات کارآیی آشکارسازی و عدم قطعیت آن در بندهای ۶ و۷ آمده و از فرمول کلی زیر تبعیت می‌کند:

$$\eta_{CPC} = \frac{C_{N,CPC}}{C_{N,ref}} . \eta_{ref} . \beta . \sum_P \Phi_P . P \qquad \text{فرمول (۱)}$$

که در آن:

$C_{N,\mathrm{CPC}}$ تراکم تعیین شده در آزمون شمارشگر ذرات چگال شده (یعنی CPC کالیبره شده است)،

$C_{N,\mathrm{ref}}$ تراکم دستگاه مرجع،

η_{ref} کارآیی دستگاه مرجع، و

β تراکم اریبی از شکاف شارش می باشد.

اصطلاح جمع در فرمول (۱) فقط وقتی به کار می‌رود که دستگاه مرجع الکترومتر آیروسل کاپ فارادی (FCAE) باشد. ϕ_p کسر ذراتی است که بارهای p دارند (هم چنین به فرمول (۶) رجوع شود).

۵-۲ اهداف کالیبراسیون آیروسل

نقش بسیاری از مؤلفه‌های توصیف‌شده در بندهای بعدی، تغییردادن خروجی یک آیروسل اولیه به شکل مناسب برای کالیبراسیون می‌باشد. کالیبراسیون آیروسل باید شرایط زیر را داشته باشد:

- توزیع محدود، تا اندازهٔ ذرات به خوبی تعریف شوند (مشخصا" ۱٫۱ □ GSD برای پیک اولیه در توزیع اندازه)، برای به حداقل رساندن عدم قطعیت در اندازه و کارآیی؛

- قطر و عدد تراکم ثابت مرتبط به هم، برای به دست آوردن زمان کافی کالیبراسیون (معمولا" ۱۰ دقیقه). به این ترتیب کالیبراسیون می تواند درشرایط پایدار انجام شود؛

- کسرکوچکی از ذرات پربار (معمولا" کمتر از ٪۵)، تا بتوانند ترکیب مشخصی برای عدم قطعیت در کالیبراسیون‌های FCAE تشکیل دهند. درهر دو حالت، آنها گروه بی‌شماری از ذرات را دراندازه‌های دلخواه ایجاد می‌کنند(پیوست ت)؛

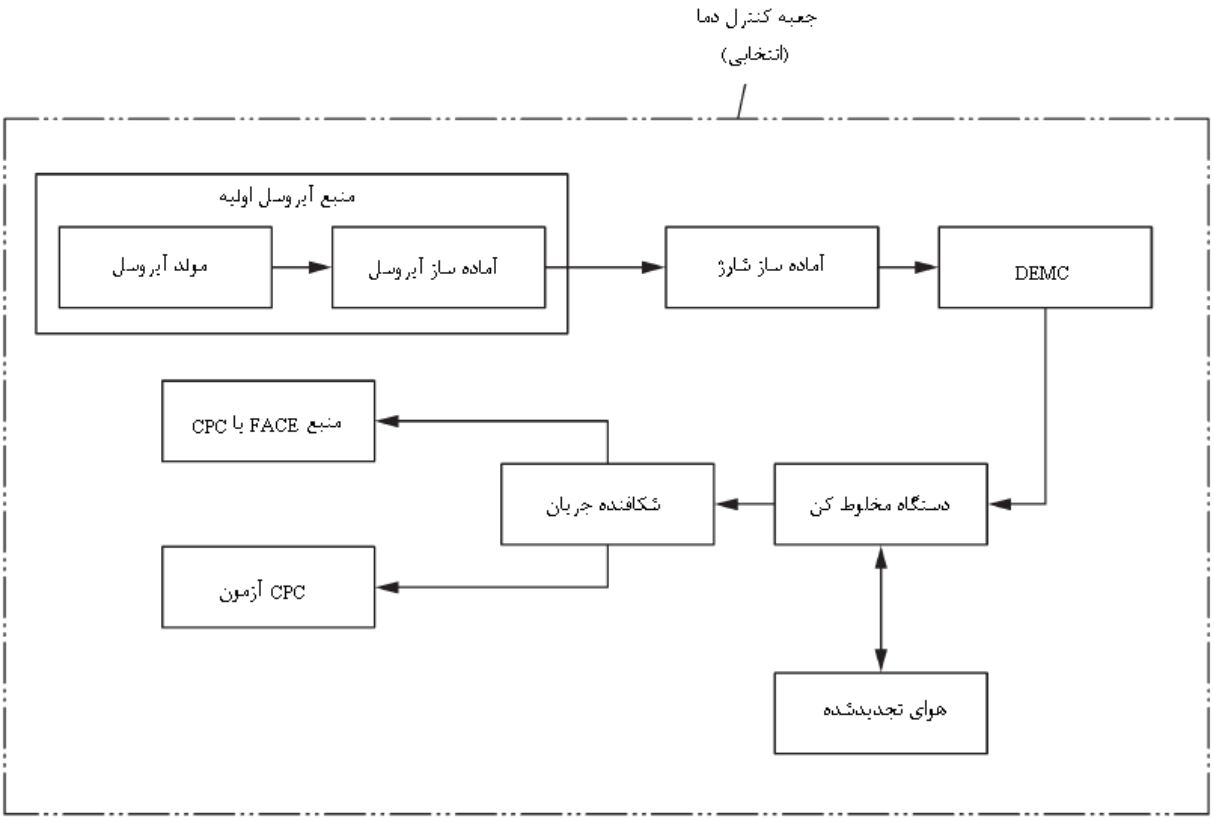
- حجم اندکی از بخار (آب و/یا دیگر حلال‌ها و ترکیبات فرار) برای کاهش رشد ذرات درون سامانه؛

- یک فاز گازی و نیز یک ذرهٔ پایدار و تجدیدپذیر؛

یک گواهینامهٔ کالیبراسیون CPC فقط برای کالیبراسیون آیروسل توصیف‌شده درگواهینامه، به ویژه برای ذرات کوچک قابل استناد است.

۵-۳ دید کلی بر راه‌اندازی

یک منبع آیروسل اولیه و یک دستگاه دسته‌بندی تحرک الکتریکی تفاضلی برای انتقال آیروسل‌های با توزیع یکنواخت و اندازهٔ معین، شارژ الکتروستاتیک و ترکیب جهت کالیبراسیون می‌باشد. ابزار مرجع قابل آشکارسازی و آزمونهٔ CPC، این آیروسل را موازی شارش رو به پایین DEMC به عنوان نمونه قرار می‌دهد. یک FCAE یا CPC می‌تواند ابزار مرجع قابل آشکارسازی باشند. شکل (۲) نموداری از اجزای لازم را نشان می‌دهد. جعبهٔ تنظیم دما و مبادله‌کننده‌های حرارت برای تمام شارش‌های مهم هوا، دراین تنظیم، می‌توانند یک گزینه برای پایدار کردن دما باشند.



شکل۲- شمایی از راه‌اندازی کالیبراسیون

ازآنجایی که نتایج کالیبراسیون CPC براساس این استاندارد تدوین شده‌اند، قابل آشکارسازی با سایر استانداردهای ملی، و دستگاه‌های مورد استفاده در کالیبراسیون اعم از FCAE وCPC است؛ باید با سنجش‌های قابل پیگیری توسط استانداردهای بین‌المللی یا ملی کالیبره شوند.

۵-۴ مؤلفه‌ها و الزامات آنها

۵-۴-۱ منبع آیروسل اولیه

۵-۴-۴-۱ کلیات

منبع آیروسل اولیه از یک مولد و آماده‌کنندهٔ آن برای تهیهٔ ذرات کالیبراسیون به صورت یک ذرهٔ پایدار و میزان تراکم کافی تشکیل شده است.

پایداری دبی شارش، عدد تراکم و توزیع اندازه باید تمام الزامات مورد نیاز برای کالیبراسیون را تأمین کند (به بند۲ رجوع شود).

یک منبع باریک آیروسل اولیهٔ توزیع ذرات بر حسب اندازه برای ذرات بزرگتراز ۲۰ نانومترتوصیه شده است، چون این اندازه از یک طرف باعث کاهش تعداد ذرات بزرگتر و ذرات با بارچندتایی در کالیبراسیون آیروسل شده، و از

طرف دیگر برای ذرات کوچکتر که توانایی باردارشدن چندتایی را ندارند نیز مناسب می‌باشد. برای هردو ابزار مرجع CPC وFCAE این توصیه معتبر است.

۵-۴-۱- ۲ مولد آیروسل

نوع مولد به جنس ذرهٔ مورد کالیبراسیون وابسته است. چند مثال برای ارتباط مولدهای آیروسل و نوع ذره در زیر آمده است:

الف- مولد قوسی پلاسما برای فلزات، اکسید فلز یا ذرات کربن؛ [۶] [۷]

ب- مولد آیروسل الکترواسپری برای قطرات روغن، قطرات پلی-آلفا- اولفین PAO یا ذرات ساکارز؛ [۱۶]

پ- مولد آیروسل تبخیری چگال شده برای ذرات فلزی مانند نقره، طلا و ذرات نمک مانندکلرور سدیم ، کلرور پتاسیم، نیترات آمونیوم وغیره؛[۵] [۱۰] [۵۱] [۵۳]

ت- مولد آیروسل شعله خاموش برای ذرات دود شعله؛ [۳۲] [۵۶]

ث- مولدهای افشانه‌ای برای محلول ها و پخش‌کننده‌ها ؛ [۱۹] [۴۳]

ج- مولد سیم درخشان برای فلزات با اندازه‌های گوناگون یا ذرات اکسید فلزات؛ [۴۹]

علاوه براین، مرجع آیروسل تک بار SCAR برای تولید ذرات تک‌بار در محدودهٔ بسیار گسترده به کار می‌رود. [۶۰].

۵-۴-۱-۳ آماده ساز آیروسل

آماده‌ساز آیروسل، برای کنترل وضعیت جنس ذرهٔ مورد کالیبراسیون کاربرد دارد. هریک از مراحل ضروری آماده‌سازی زیر به روش انتخاب مولد آیروسل و نوع ذرهٔ کالیبراسیون بستگی دارد.

الف- سازگاری عدد تراکم آیروسل اولیه و دبی شارش آن با سطحی متناسب و قابل دسترسی برای مرحلهٔ آماده‌سازی باردارکردن (پیوست ذ). برای مراحل رقیق ساخت آیروسل پیوست (ج) رجوع شود.

ب- دسته‌بندی اولیهٔ ذرات آیروسل اولیه نیاز به یک مرحلهٔ اضافی آماده‌سازی باردار کردن و یک DEMC دارد؛ برای مثال، اگر توزیع اندازهٔ منبع ذرهٔ آیروسل اولیه، کسر بسیار بزرگی از ذرات با بار چندتایی داشته باشد[۵۷].

پ- محتویات بخار(از آب، دیگر حلال‌ها و/یا ترکیبات فرار) در آیروسل اولیه باید کمتر از ٪۴۰ از مقدار اشباع باشند. محتویات بالای بخار در آیروسل اولیه می‌توانند منجر به رشد تراکم ذرات کالیبراسیون، تغییرتوزیع بار تعادل پس از باردار کردن دوقطبی و تشکیل بخار در حلقهٔ جریان غلاف DEMC شوند. این عمل با رقیق‌سازی هوای خشک یا جذب بخار (به عنوان مثال با سیلیکاژل، زئولیت‌ها یا کلرید کلسیم) میسر می‌شود.

۵-۴-۲ آماده‌کنندهٔ شارژ

پس از دسته‌بندی الکتروستاتیک اندازهٔ ذرات آیروسل در DEMC، برای رسیدن به کالیبراسیون پایدار، تکرارپذیر و تجدیدپذیر، آئروسل اولیهٔ آمادهٔ ورود به DEMC باید توزیع بار پایدار، تکرارپذیر و تجدیدپذیرداشته باشد. شارژرهای تک قطبی و دوقطبی، تراکم یون مورد نیاز برای پایدار کردن توزیع بار آیروسل اولیه را فراهم می‌کنند (به استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰رجوع شود).

منابع تشعشع ذرات آلفا و بتا می‌توانند به عنوان باردارکننده‌های دوقطبی مورد استفاده قرار گیرند. اگر تحت شرایط مناسب عملیاتی سطح متعادل بار ایجاد شد، توزیع بار مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰، باید استفاده شود. شارژرهای دوقطبی دیگر، درصورت استفاده از منابع رادیواکتیو یا منابع تخصیص یافته به توزیع بار می‌توانند استفاده شوند.

برای آیروسل اولیهٔ بزرگتر از ۲۰ نانومتر یا با توزیع اندازهٔ غیریکنواخت، شارژرهای دوقطبی استفاده می‌شوند. در این موارد، توزیع بار متعادل (درمقایسه با شارژر تک‌قطبی)، کاهش قابل ملاحظه‌ای در کسر ذرات با بار چندتایی نشان می‌دهد.

آیروسل اولیه معمولا" یکنواخت است یا ذرات بزرگتر از ۲۰ نانومتر ندارد، دراین صورت تمام ذرات آیروسل کالیبراسیون که DEMC را ترک می‌کنند به صورت منفرد باردار شده‌اند. در این فرآیند نوع آماده‌کنندهٔ شارژ تفاوت نمی‌کند. بنابراین، در این‌صورت شارژرهای تک‌قطبی (به عنوان مثال دستگاه تخلیه‌کنندهٔ کرونا) یا دوقطبی می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند.

یادآوری- مرجع آیروسل تک بار SCAR مستثنی می‌باشد، زیرا ذرات تک بار در دامنهٔ وسیعی از اندازه تولید می‌کند.

۵-۴-۳ دستگاه دسته‌بندی تحرک الکتریکی تفاضلی DEMC

DEMC ذرات آیروسل اولیهٔ آماده‌شده را براساس تحرک الکتریک آنها دسته‌بندی می‌کند. به این ترتیب که آیروسل‌های کالیبراسیون را چه مثبت، چه منفی به نوار باریک متحرک هدایت می‌کند. اگر ذرات دسته‌بندی شده بیش از یک بار الکتریکی داشته باشند، هر سطح بار به اندازهٔ خاصی از ذرات تعلق می‌گیرد.

DEMC باید مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰، راه‌اندازی، کالیبراسیون و استفاده شود.

در شرایط بهینه آیروسل اولیه تزریقی به DEMC طوری ساماندهی شده است که فقط ذرات تک‌بار که همان ذرات یکنواخت آیروسل کالیبراسیون می‌باشند دستگاه را ترک می‌کنند.

اگر بنا بر طبیعت شرایط داده‌شده آیروسل اولیهٔ، آیروسل کالیبراسیون محتوی ذرات بزرگتر و پربار باشد باید تصحیحاتی انجام شود و ممکن است عدم قطعیت اندازه‌گیری افزایش یابد. .جزئیات تصحیحات ضروری در پیوست ت آمده است.

۵-۴-۴ هوای تجدید شده یا تراوشی

در صورتی که شارش آیروسل از DEMC کمتراز مجموع دبی‌های لازم برای آزمون CPC و دستگاه مرجع باشد، هوای تجدیدشدهٔ مازاد ضروری است.

هوای تازه(جایگزین) باید عملا" فاقد ذرات باشد؛ توصیه می‌شود، عدد تراکم ذره کمتر از $۰/۱\ cm^{-۳}$ باشد که توسط فیلتر HEPA با کارآیی ٪ ۹۹/۹۹۵ (یا بهتر) قابل دسترسی است.

رطوبت نسبی هوای تجدید شده ، باید کمتراز ٪۴۰ باشد.

برای جلوگیری از انحراف بیشتر عدد تراکم آیروسل کالیبراسیون، هوای تجدید شده باید به اندازهٔ کافی در وضعیت پایدار نگه داشته شود.

در صورتی که شارش آیروسل کالیبراسیون جاری در DEMC، بیشتراز مجموع دبی‌های مورد نیاز برای آزمون CPC و ابزار مرجع باشد، توصیه می‌شود، هوای مازاد به آرامی خارج شود. دراین صورت، توصیه می‌شود، اپراتور توسط یک فیلتر ذرات خروجی از دمش ذرات محافظت شود.

۵-۴-۵ دستگاه مخلوط‌کن، جداکننده شارش و لولهٔ اتصال

دستگاه مخلوط‌کن، جداکننده شارش و لولهٔ اتصال، آیروسل کالیبراسیون را به CPC مورد آزمون ودستگاه مرجع منتقل می‌کنند. بهتر است توزیع اندازه در آئروسل و عدد تراکم به هنگام رسیدن به هر دو وسیله یکسان باشند.

اریبی[1] تراکم ناشی از اختلاط ضعیف، دلیل اصلی خطا در کالیبراسیون CPC می‌باشد. صفحات بافل، محفظه‌های اختلاط و نیز اریفیس‌های اختلاط مثال‌هایی از دستگاه‌های اثبات‌شده برای اجتناب از اریبی می‌باشند.

جداکنندهٔ شارش، شارش آیروسل کالیبراسیون از دستگاه مخلوط‌کن را به دودسته تقسیم می‌کند. یک شارش به سمت CPC مورد آزمون و دیگری به سمت ابزار مرجع هدایت می‌شود. در بهترین حالت، شکافنده شارش و لولهٔ اتصال طوری طراحی شده‌اند که تلفات انتقال وابسته به اندازهٔ ذره، از ورودی جداکننده شارش به دو ابزار، مساوی است.

اگر دبی شارش ورودی از دو ابزار مساوی باشد، از مبادله موقعیت CPC مورد آزمون و ابزار مرجع برای نشان دادن هم‌ارزی موقعیت هر دو نمونه می‌توان استفاده کرد (به پیوست چ رجوع شود). تفاوت‌های بین دو موقعیت باید کمتراز ٪۵ باشد. ضریب تصحیح اریبیβ، جبران کاهش ذره در نتیجهٔ کالیبراسیون را نشان می‌دهد.

اگر دبی شارش ورودی از دو ابزار برابر نباشد، از طول لولهٔ اتصال باید برای جبران تفاوت تلفات انتقال، استفاده شود. نسبت اختلاف دبی‌های شارش ورودی نباید بیشتر از ۵ یا کمتر از ۰/۲ باشد. تنظیم کالیبراسیون با چنین

1 - Bias

تفاوتی در شارش ورودی عملا" مانع ارزیابی تجربی تلفات انتقال ناشی از تبادل موقعیت دستگاه‌ها می‌شود. بنابراین عدم قطعیت اندازه‌گیری با عدم قطعیت هرکدام از دبی‌ها افزایش می‌یابد.

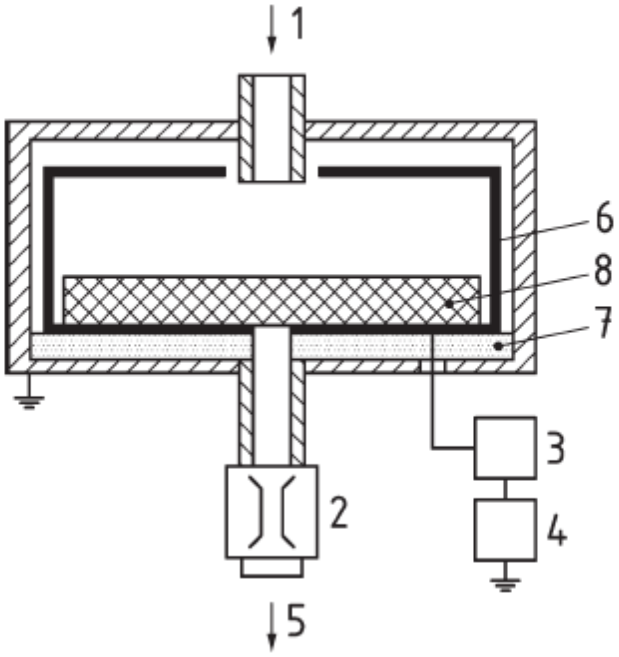
درطراحی دستگاه مخلوط‌کن، جداکننده شارش و لولهٔ اتصال باید از شیوه‌های خوب مهندسی، مثل جلوگیری از خمش و تغییر ناگهانی قطر لوله‌ها استفاده کنند. در صورت عدم تحقق این شرایط استفاده از لوله‌های هادی و تدابیر کافی الکتریکی برای تمام اتصالات، به ویژه برای لوله‌های خم‌شونده لازم است.

۵-۴-۶ دستگاه‌های مرجع: CPC یا FCAE

الف- طراحی و عملکرد FCAE

FCAE شامل یک هدایت‌گر الکتریکی و یک فنجان پایه‌ریزی‌شدهٔ الکتریکی به عنوان پوشش عنصر سنجش می‌باشد. این عنصر از یک وسیلهٔ فیلتر کردن آیروسل برای به دام انداختن ذرات آیروسل، یک اتصال الکتریکی بین عنصر سنجش، یک مدار الکترومتر و یک دبی‌سنج تشکیل یافته است، این امر در شکل ۳ نشان داده شده است.

یادآوری- کارآیی یک FCAE برای ذرات مطابق با این استاندارد (بزرگتراز ۵ نانومتر) و دبی شارش بیشتر از ۱ لیتر در دقیقه بالاتر از ٪۹۵ درنظرگرفته شده است.



راهنما:

1 ذرات باردار
2 دبی‌سنج
3 پیش‌تقویت‌کننده
4 الکترومتر
5 هوای عاری از ذره
6 کاپ فارادی برای گردآوردن بارالکتریکی از ذرات باردار جمع شده وکاهش دادن نوفهٔ الکترو مغناطیس القایی خارجی
7 مقاومت بسیار بالای الکتریکی برای ایزوله کردن فیلتراز پایه
8 فیلتر ذرات هوا با کارآیی بسیار بالا(HEPA) برای به دام انداختن ذرات بارداری که توسط هوا آورده شده اند.

شکل ۳- شمایی از FCAE (مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰)

ب- طراحی وعملکرد CPC مرجع

درطراحی CPC مرجع باید ذرات موجود در کل شارش آیروسل ورودی شمارش شوند. یعنی شارش آیروسل نمونه که از ورودی عبور می‌کند نباید رقیق یا فیلترشده باشد و تمام شارش ورودی به سمت اپتیک‌ها هدایت شود.

گستره تراکم برای شمارش یک ذرهٔ واحد باید براساس مشخصات سازندهٔ دستگاه باشد. از شمارشگر مرجع نباید برای فوتومتری استفاده کرد.

حد اندازهٔ کمتر، $d_{\min,\mathrm{ref}}$، برای کاربرد در CPC مرجع برای کالیبراسیون شمارشگر مورد آزمون، کمترین مقدار حداقل سه قطر است. دو قطر بزرگتر حداقل ۲ و ۳ برابر $d_{\min,\mathrm{ref}}$ هستند. مقدار سه کارآیی مربوط، نباید بیشتر از

٪۵ بزرگترین مقدار سه کارآیی تفاوت کند. در ثبت کارآیی آشکارسازی CPC مرجع نوع ذرهٔ مرتبط و میزان حد اندازهٔ کمتر $d_{\mathrm{min,ref}}$ آن باید ذکر شود، یا این که از مستندات کارآیی بتوان به دست آورد.

پ- گواهینامه‌های FCAE و CPC مرجع

همان‌طور که در بند ۵-۱ شرح داده شد، ابزار مرجع باید گواهینامهٔ معتبر و جدید داشته باشد. مثال‌هایی از گواهینامه‌های معتبر در پیوست پ آمده است.

گواهینامهٔ کالیبراسیون FCAE باید اندازه‌گیری دبی شارش آیروسل (دبی حجمی، فشار درونی و دمای ورودی) و نیز اندازه‌گیری تراکم بار الکتریکی را تعیین کرده باشد. نتیجهٔ تراکم بار دبی شارش آیروسل معمولا" در محدودهٔ ۱Fc/S تا ۱۰Fc/S است.

گواهینامهٔ کالیبراسیون برای CPC مرجع می‌تواند یا نتیجهٔ یک کالیبراسیون دربرابر FCAE قابل پیگیری باشد، یا یک کالیبراسیون با یک CPC دیگر که به عنوان دستگاه مرجع ازآن استفاده شده است. دراین گواهینامه باید نوع ذره، اندازهٔ ذره، عدد تراکم ذره که کالیبراسیون براساس آن معتبر است و بیشترین تراکم CPC مرجع در حالت شمارش منفرد را منظور شده باشد. دبی حجمی شارش ورودی، فشار درونی و دمای ورودی در زمان کالیبراسیون نیز باید مشخص شوند.

وقتی سطوح داخلی با ذرات باردار می شوند، کارآیی آشکارسازی ابزار مرجع می‌تواند تغییر کند. علاوه بر گواهینامهٔ معتبر در زمان استفاده از ابزار مرجع؛ درزمان کالیبراسیون باید توجه داشت که ابزار تا سرحد امکان در معرض این ذرات قرار نگیرد. بنابراین استفاده از ابزار مرجع باید ثبت شده باشد و روش‌های داخلی برای اطمینان از این که میزان ذرات بیرونی درزمان کالیبراسیون، کاربرد ابزار را به طور معنی‌داری کاهش نداده‌اند، ضروری است.گواهینامهٔ ابزار مرجع، در موارد زیر باید تمدید شود:

- پس از تعمیر یا نگه‌داری،
- پس از تشخیص پیشامد[1] معنی‌دار در ابزار مرجع از طریق روش‌های QA/QC که توسط کاربر تنظیم شده‌اند،
- پس از رسیدن ذرات خارجی به سطح پیش‌بینی شده که کاربر تعیین کرده است، یا
- پس از گذشت دورهٔ سه ساله از صدور آخرین گواهینامه.

۵-۴-۷ لوازم دیگر

حسگرهای زیر برای کالیبراسیون CPC نیز استفاده می‌شوند و باید با ابزارهای مرجعی کالیبره شوند که نتایج به دست آمده با استانداردهای بین‌المللی معتبر قابل آشکارسازی باشد:

- دبی‌سنج افت فشار کم برای بررسی و تنظیم شارش‌های کالیبراسیون و ابزار؛

1 - Drift

- حسگر فشار برای اندازه گیری فشار آیروسل کالیبراسیون؛
- حسگرهای دمای گاز برای اندازه‌گیری دماهای متعدد؛
- حسگر رطوبت برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی آیروسل اولیه .

۵-۵ اختلاف بین FCAE و CPC به عنوان ابزارهای مرجع

به عنوان ابزارهای مرجع FCAE و CPC، قابلیت‌ها و الزامات متفاوتی دارند. این بند تفاوت‌ها را برای گزینش روش مناسب برای اهداف ویژه، توصیف می‌کند.

الف- حدود آشکارسازی اندازه‌های کوچکتر

به طور کلیFCAE می‌تواند نسبت به CPC ذره‌های باردار کوچکتر را آشکارسازی کند. علاوه براین، منحنی کارآیی CPC تا حدی به جزئیات شرایط مورد آزمون و نوع ذره بستگی دارد. بنابراین، از CPC مرجع فقط برای کالیبراسیون ذرات یکنواخت با قطرهای بزرگتر از $d_{\min,ref}$ مربوط به CPC مرجع باید استفاده کرد. در کالیبراسیون با ذرات با توزیع اندازه گسترده، باید ازتعداد معنی‌دار ذرات مورد آزمون که اندازهٔ مشابه یا کوچکتر از $d_{\min,ref}$ در CPC مرجع دارند، اجتناب کرد. پس قطر میانگین یک آیروسل مورد آزمون یکنواخت باید مساوی یا بزرگتر از انحراف استاندارد هندسی توزیع اندازهٔ آیروسل مورد آزمون باشد.

ب- باردارکردن ذره

برای مقایسهٔ FCAE، درکالیبراسیون آیروسل به ذرات تک بار یا ذرات دارای حداقل یک توزیع بار معلوم با کسر کوچکی از ذرات پربار نیاز است. این الزامات هم چنین برای مقایسهٔ CPC مرجع درحد آشکارسازی اندازهٔ کمتر یک CPC مورد آزمون، کاربرد دارد، درحالی‌که ذرات پربار قطر بزرگتری دارند و با کارآیی بیشتری شمارش می‌شوند. برای یک CPC مرجع مقایسهٔ قطر ذرات بزرگتر در ناحیه پلاتوی[1] آزمون CPC، این الزامات کاربرد ندارند. بنابراین، استفاده از CPC مرجع برای کالیبراسیون ذرات بزرگتر هم‌زمان با کاهش اهمیت احتمال بالای وجود ذرات پربار می‌تواند به عدم قطعیت‌های کوچکتری منجر شود.

پ- کالیبراسیون در عدد تراکم پایین ذرهٔ آیروسل

برای مقایسهٔ FCAE، الزام حداقلی برای عدد تراکم ذرات باردار موجود در DEMC (معمولا" حدود $۱۰^{۳}cm^{-۳}$) برای تامین میزان کافی تراکم بار به الکترومتر وجود دارد. درصورت اثبات خطی بودن CPC مرجع دیگر نیازی به مقایسه با CPC مرجع نیست.[۴۴] روش نمایش صحه‌گذاری[2] در تراکم‌های پایین‌تر از آنچه که درگواهینامهٔ ابزار مرجع، درپیوست (ح) توصیف شده است.

1 - Plateau
2 - Validation

ت- کالیبراسیون بالای عدد تراکم ذرهٔ آیروسل

FCAE گستره ویژه خود در تراکم ذرات را با استفاده ازیک اصل، یعنی تعیین تراکم بار الکتریکی پوشش خواهد داد. CPC می‌تواند بیشتراز دو حالت اندازه‌گیری کاملا" متفاوت داشته باشد، درصورتی که اندازه‌گیری با یک حالت سادهٔ شمارش اپتیک (حالت شمارش ذرهٔ منفرد) درتراکم‌های پایین، با تصحیح تصادفی در تراکم‌های بالاتر آغاز شود. همچنین، یک حالت دیگر بر اساس حساسیت به نور-تراکم ذرات در بالاترین تراکم (گاهی تحت عنوان حالت فوتومتریک شناخته می‌شود) وجوددارد.در حالت فوتومتریک به عنوان مثال، احتمال ایجاد تغییر در حساسیت به هنگام آلودگی اپتیک‌ها بیشتر است. بنابراین، نقش CPCهای مرجع دراین استاندارد، محدود به حالات شمارش ذرهٔ منفرد (با تصحیح تصادفی یا بدون تصحیح تصادفی)، و حد عدد تراکم بالاتر عموما" پایین‌تر از حالت FCAE خواهد بود.

بنابراین، معایب کالیبراسیون با CPC مرجع درمقایسه با FCAE دراندازهٔ کوچک ذرات یا عدد تراکم بالای آنهاست. ولی مزایای آن، در ذرات بزرگتر، محدودیت کمتر در کالیبراسیون منبع آیروسل و اعداد تراکم پایین‌تر ذرات است. اختلاف‌های کالیبراسیون آیروسل در CPC مرجع و FCAE درجدول ۱ خلاصه شده‌اند.

جدول ۱- الزامات کالیبراسیون آیروسل برای FCAE و CPC مرجع

ابزار مرجع	گستره قطر ذره [nm]	گستره تراکم ذره نوعی [cm^{-3}]	الزامات کالیبراسیون بار ذرهٔ آیروسل	
			CPC آزمون کالیبره در حد تشخیص پایین‌تر قطرهای ذره	CPC آزمون کالیبره در گستره پلاتوی قطرهای ذره
FCAE	۱۰۰۰-۵	$۱۰^{۳}$ تا بزرگ‌تر از $۱۰^{۵}$	Φ ۰/۱	Φ ۰/۱
CPC	۱۰۰۰- $d_{min,ref}$	تقریبا ۱ تا بزرگ‌تر از $۱۰^{۴}$	Φ ۰/۱	بدون محدودیت

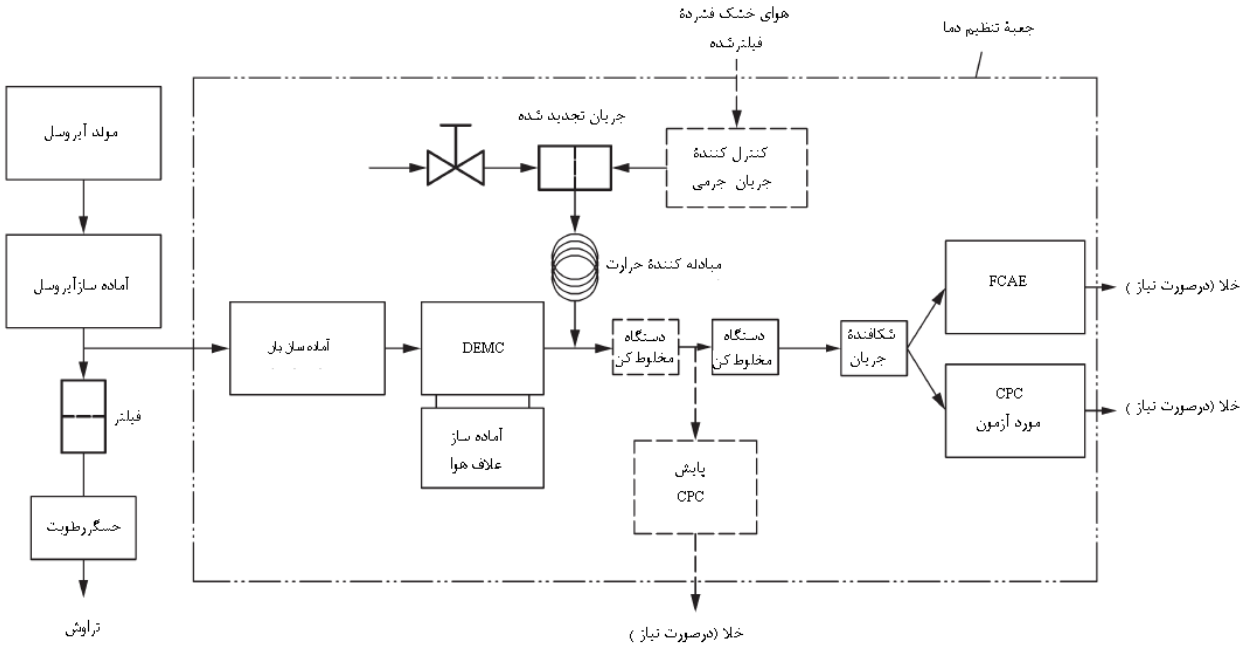
۶ کالیبراسیون با استفاده از FCAE به عنوان ابزارمرجع

۶-۱ دید کلی بر روش انجام کالیبراسیون و تنظیم

شکل ۴ شمایی از تنظیم یک کالیبراسیون نوعی را با استفاده ازFCAE به عنوان ابزار مرجع نشان می‌دهد. همه بخش‌های با خطوط پر، مؤلفه‌های ضروری هستند (به بند ۵ رجوع شود)، که شامل مولد آیروسل، آماده‌ساز آیروسل، حسگر رطوبت برای اندازه‌گیری رطوبت آیروسل ورودی به DEMC، آماده‌ساز بار، DEMC، شارش تجدید شده، دستگاه مخلوط‌کن، شکافندهٔ شارش، FCAE وCPC مورد آزمون است. ازحسگر رطوبت نسبی برای اندازه گیری رطوبت نسبی هوای تجدید شده(جایگزین) در ابتدا و انتهای آزمون‌ها باید استفاده شود، اگرچه در شکل نشان داده نشده است. حس‌گر فشار ممکن است برای تعیین دبی حجمی شارش دستگاه‌ها به کار رود.

ازآنجایی که کالیبراسیون شارش آیروسل از DEMC بالاتر از مجموع دبی‌های شارش مورد نیازدستگاه‌هاست، هوای مازاد باید به صورت تراوش شارش خارج شود. با این‌که درشکل نشان داده نشده است یک حسگر حرارتی برای پایش بر جعبهٔ تنظیم یا دمای اتاق لازم است.

بخش‌هایی ازشکل ۴ که باخطوط بریده مشخص شده اند، توصیه می‌شوند ولی ضروری نیستند. برای مثال، جعبهٔ تنظیم دما و مبدلهای حرارتی برای شارش هوای غلاف DEMC و شارش هوای تجدیدشده می‌توانند برای پایدار کردن همه دماها کاربرد داشته باشند. پایش CPC برای بررسی پایداری کالیبراسیون آیروسل می‌تواند به کار رود. کنترل شارش هوای جایگزین، با شیردریچهٔ گاز یا هوای فشرده با کنترل‌کنندهٔ شارش درون لوله انجام می‌شود.



یادآوری- خطوط بریده تجهیزات توصیه شده ونه ضروری رانشان می دهند

شکل۴- راه اندازی کالیبراسیون معمولی با FCAE به عنوان ابزار مرجع

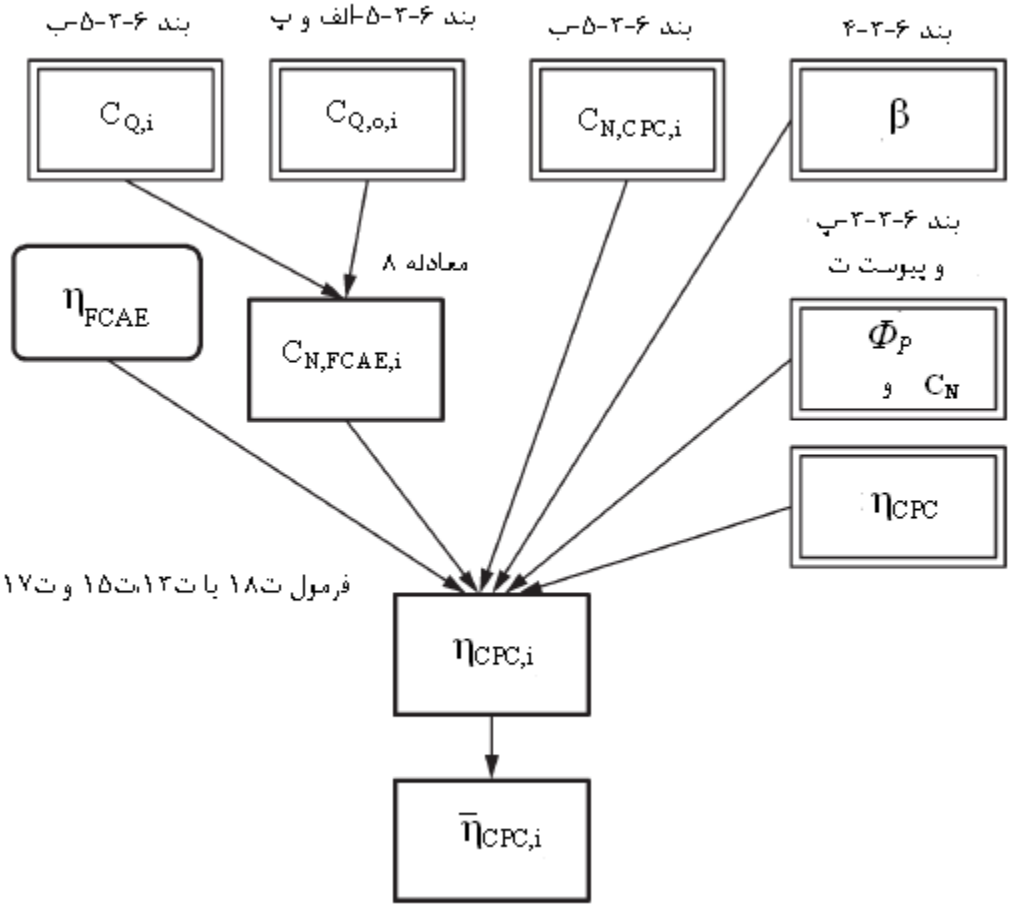
روش کالیبراسیون درجدول ۲ آمده است.

جدول ۲- روش کالیبراسیون CPC با استفاده از FCAE به عنوان ابزار مرجع

آماده‌سازی	**۲-۶**
مولد آیروسل وآماده‌ساز(توزیع اندازه)	۲-۲-۶
سایر تجهیزات (به عنوان مثال دبی‌سنج شارش و غیره)	۳-۲-۶
DEMC (مطابق ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰) و آماده‌ساز هوای غلاف	۴-۲-۶
FCAE مقدار تصحیح شدهٔ صفر مطلق برای ضرب تراکم بار در دبی شارش ورودی کمتر از ۱ fC/s انحراف استاندارد کمتر از ۲٫۵fC/s (از یک ثانیه میانگین ۱۵ دقیقه) آزمون اضافه نشتی اندازه‌گیری شارش و پایداری کمتر از ٪۲ (از ۵ اندازه‌گیری در ۱۵ دقیقه)	۵-۲-۶
CPC مورد آزمون میانگین عددی صفر، کمتر از ۰٫۱ سانتی‌متر مکعب (از s-1میانگین تراکم حداقل ۵ دقیقه) بررسی حساسیت پاسخ اندازه‌گیری شارش و پایداری کمتر از ٪۲ (از ۵ اندازه‌گیری در ۵ دقیقه)	۶-۲-۶
دستگاه هاومولدآیروسل/ آماده ساز را به DEMC (درحالت خاموش) وصل کنید، نسبت غلاف به نمونه بیشتر از ۷:۱ اندازه‌گیری شارش FCAE مقدار تصحیح شدهٔ صفر مطلق FCAE برای ضرب تراکم باردر دبی شارش ورودی کمتر از ۱ fC/s انحراف استاندارد کمتر از ۰٫۵ fC/s (از ۳۰ ثانیه میانگین عددی از ۲ دقیقه) تعیین کمینهٔ سطح تراکم بار FCAE ضرب‌در دبی شارش ورودی طبق فرمول ۵	۷-۲-۶
کارآیی آشکارسازی	**۳-۶**
تنظیم قطرDEMC	۲-۳-۶
تنظیم آیروسل اولیه تراکم باید درحدود ظرفیت آماده‌ساز بار باشد کسر ذرات با بار چندتایی کمتر از ٪۱۰ تراکم باید در محدودهٔ FCAE باشد	۳-۳-۶
اندازه گیری اریبی شکافندهٔ β	۴-۳-۶
اندازه گیری کارآییCPC مورد آزمون ولتاژ DEMC را روی خاموش برای اندازه‌گیری نقطه شروع صفر تنظیم کنید - یک دقیقه FCAE و CPC مورد آزمون را ثبت کنید، از ۳۰ ثانیهٔ آخر برای محاسبه استفاده کنید - میانگین عددی مقدار تصحیح شدهٔ صفر مطلق FCAE، کمتر از ۱fC/s - انحراف استاندارد FCAE، کمتر از ۰٫۵fC/s - میانگین عددیCPC، کمتر از $1\,cm^{-3}$ در قطر و تراکم ویژه: - یک دقیقه FCAE و CPC مورد آزمون را ثبت کنید، از ۳۰ ثانیهٔ آخر برای محاسبه استفاده کنید - FCAE(CPC)CV کمتر از ٪۳، یا انحراف استاندارد کمتر از ۰٫۵fC/s	۵-۳-۶

ولتاژ DEMC را روی صفر، تنظیم کنید: - یک دقیقه FCAE و CPC مورد آزمون را ثبت کنید، از ۳۰ ثانیهٔ آخر برای محاسبه استفاده کنید - میانگین عددی مقدار تصحیح شدهٔ صفر مطلق FCAE، کمتر از ۱fC/s - انحراف استاندارد FCAE، کمتر از ۰٫۵fC/s - میانگین عددیCPC، کمتر از $1\,cm^{-3}$ کارآیی آشکارسازی $\eta_{CPC,i}$ را محاسبه کنید ۴ بار دیگر تکرار کنید میانگین عددی کارآیی آشکارسازی η_{CPC} را محاسبه کنید. تمام $\eta_{CPC,i}$ها باید درمحدودهٔ $\bar{\eta}_{CPC} \pm$ ۰٫۰۲ باشند	
اندازه‌گیری تراکم‌های مختلف (اختیاری) به بند ۶-۳-۳ و سپس به بند ۶-۳-۵ رجوع شود	۶-۳-۶
اندازه گیری یک اندازهٔ متفاوت (اختیاری) به بند ۶-۳-۲ رجوع شود	۷-۳-۶
تکرار اولین اندازه‌گیری اگر بیش از ۵ نقطه آزمون شده است (اختلاف باید درمحدودهٔ ۰٫۰۲۵ باشد)	۸-۳-۶
گواهینامهٔ کالیبراسیون را پرکنید	۹-۳-۶

شکل ۵ خلاصه‌ای گرافیکی از کارآیی آشکارسازی رانشان می‌دهد.



یادآوری- مستطیل‌های با خطوط پر مقادیر محاسبه شده رانشان می‌دهند؛ درحالیکه مستطیل‌های با دو خط وگوشه‌های گرد برای مقادیر اندازه‌گیری‌شده، به ترتیب برگرفته ازگواهینامه‌ها می‌باشند.

شکل ۵- طرحی از پارامترها وفرمول‌های موردنیاز برای استخراج کارآیی آشکارسازی در کالیبراسیون با یک FCAE

پیوست (خ) مثالی از پروتکل کالیبراسیون CPC با استفاده از FCAE به عنوان ابزار مرجع است.

۶- ۲ آماده‌سازی

۶-۲-۱ آماده‌سازی کلی

بررسی کنید که تمامی ابزارها مطابق مشخصات کارخانهٔ سازنده کارمی‌کنند (به زیربندهای ۶-۲-۲ تا ۶-۲-۶ رجوع شود)، سپس آنها را آماده کرده (مطابق شکل ۴) و تنظیم کامل را بررسی کنید (زیربند ۶-۲-۷). تا زمانی که همهٔ آزمون‌ها انجام نشده‌اند، از روش اجرایی کالیبراسیون کارآیی آشکارسازی پیشی نگیرید (زیربند ۶-۳).

۶-۲-۲ آیروسل اولیه

عملیات را از منبع آیروسل اولیه مطابق توصیه‌های سازنده شروع کنید. درصورت مجهول بودن، بر اندازه‌گیری توزیع اندازه ایجاد شده پس از آماده‌سازی آیروسل با DMAS (به عنوان مثال، اتصالDEMC با FCAE) توصیهٔ اکید شده است. مطمئن شوید که محتویات بخارمربوط (از آب و/یا حلال‌ها) درآیروسل اولیه کمتر از ٪۴۰ است.

۶-۲-۳ سایر تجهیزات

تمام تجهیزات جانبی ضروری را روشن کرده و اجازه دهید پایدار شوند. آماده‌ساز بار را اگر خاموش است روشن کنید. حسگرهای کالیبراسیون شدهٔ فشار، دما و دبی‌سنج را برای اندازه‌گیری دبی‌های شارش FCAE وCPC مورد آزمون ونیز حس‌گرهای رطوبت را آماده کنید.

هم چنین ابزارهای دیگر توصیه‌شده برای تنظیم را روشن کرده و طبق دفترچهٔ راهنمای کارخانهٔ سازنده (به عنوان مثال، یک پایش CPC، دبی‌سنج‌های شارش درون لوله، کنترل‌کننده‌های شارش درون لوله، حسگرهای حرارت و فشار و غیره) آماده کنید. اگر همه تجهیزات (یعنیDEMC و دستگاه‌ها) درجعبهٔ کنترل دما قرارداشته باشند، دمای دلخواه را تنظیم کرده و زمان بدهید تا سامانه به پایداری برسد.

DEMC ۶-۲-۴

ابزار را روشن کرده و پس از بررسی آن طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰، شارش‌های دلخواه را تنظیم کنید. تهویهٔ شارش غلاف را آماده کنید.

FCAE ۶-۲-۵

FCAE را روشن کرده و حداقل به مدت ۳۰ دقیقه درحالت راه‌اندازی بگذارید. اگر از دستگاه به مدت طولانی استفاده نشده باشد، یا پس از حمل ونقل آن، این زمان به ساعت‌های طولانی تا رسیدن به پایداری مورد نیاز افزایش می‌یابد.

یادآوری- در حالت ایده‌آل تجهیزات الکترونیک الکترومتر FCAE تمام ساعات باید روشن باشند.

سطح صفر و دبی شارش FCAE را در شرایط محیطی بررسی کنید. تمام شاخص‌ها (به عنوان مثال، برای حرارت، شارش و فشار) باید عملیات بدون خطای دستگاه را نشان دهند. با بررسی‌های زیر، از کارکرد درست دستگاه پیش از اتصال آن برای تنظیم کالیبراسیون، اطمینان حاصل می‌شود:

الف- بررسی صفر

با پیروی از راهنمایی‌های دستورالعمل مصرف‌کنندهٔ FCAE یا روش مناسب صفر کردن خارجی، FCAE را صفر کنید. روش صفر کردن را درگواهینامهٔ کالیبراسیون گزارش کنید.

یک فیلتر HEPA (باکارآیی بیش از ٪۹۹٫۹۹ به ورودی FCAE نصب کنید. مقدار تصحیح شدهٔ صفر FCAE را برای تراکم بار ضربدر دبی شارش ورودی ($CQ \times q$FCAE) به مدت حداقل ۱۵ دقیقه برای فاصله زمانی خوانده 1-s و زمان میانگین 1-sثبت کنید. توصیه می‌شود، هیچ‌گونه تمایل به کاهش یا افزایش چشمگیر در این مقدار دیده شود. درصورت بروز چنین حالتی زمان بیشتری را به FCAE برای رسیدن به پایداری بدهید، صفرکردن و این آزمون را تکرارکنید.

میانگین عددی و انحراف استاندارد مقادیر ثبت شده را محاسبه کنید. نتیجهٔ تصحیح صفر زمانی موفقیت‌آمیز خواهد بودکه مقدار میانگین عددی صفر مطلق تصحیح شدهٔ FCAE برای $C_{Q \times q\text{FCAE}}$، کمتر از fC/s ۱ باشد. انحراف استاندارد باید کمتر از fC/s ۲٫۵ باشد.

درصورتی که آزمون صفر FCAE دو بار مردود شود، باید به اطلاع سازنده آن برسد.

ب- آزمون نشتی اضافی FCAE

برای این آزمون توصیه می‌شود، تراکم محیط حداقل $5\,00\ \text{cm}^{-3}$ باشد. این آزمون برای FCAEهای دارای گذرگاه فرعی داخلی شارش کاربرد ندارد؛ به عنوان مثال شرایط عملیاتی را برای شیرکنترل شارش فراهم می‌کند.

۱- فیلتر HEPA را به ورودی CPC مورد آزمون وصل کرده وصفر آن را به مدت ۱ دقیقه کنترل کنید، سپس تعداد شمارش‌های بالای ۱ دقیقه را به عنوان N_{HEPA} اندازه‌گیری کنید.

۲- فیلتر HEPA را از CPC مورد آزمون جدا کرده، سپس از هوای اتاق نمونه‌برداری کنید و تعداد شمارش-های بالای ۱ دقیقه را به عنوان N_{ambient} اندازه‌گیری کنید.

۳- دستگاه خلأ را از CPC مورد آزمون جدا کرده و به ورودی CPC مورد آزمون به سمت خروجی FCAE وصل کنید. فیلتر HEPA را به ورودی FCAE وصل کنید تا از هوای فیلتر شدهٔ اتاق نمونه‌برداری کند. دستگاه خلأ را به CPC مورد آزمون برای کشیدن هوای فیلتر شدهٔ اتاق از طریق FCAE وصل کنید.

۴- به مدت ۳ دقیقه برای صفر شدن دستگاه منتظر بمانید.

۵- تعداد شمارش های بالای ۱ دقیقه را درآزمون کشش هوای فیلتر شدهٔ محیط به وسیلهٔ CPC مورد آزمون از طریق FCAE ، ثبت کنید. تعداد شمارش شده توسط CPC را تحت عنوان N_{FCAE} ثبت کنید.

۶- مقدار $N_{\text{leak}} = N_{\text{FCAE}} - N_{\text{HEPA}}$ را محاسبه کنید. اگر حاصل آن منفی شداز $N_{\text{leak}} = 0$ استفاده کنید.

۷- نسبت $R_{\text{FCAE}} = N_{\text{leak}}/N_{\text{ambient}}$ را محاسبه کنید. مقدار باید از ۰٫۰۰۰۱کمتر باشد تا کالیبراسیون انجام شود . اگر R_{FCAE}، بیشتر از ۰٫۰۰۰۱ باشد، پلمب FCAE را از لحاظ نشت بررسی کنید و مطمئن شوید که فیلتر کافی بوده و مراحل ۱ تا ۷ را تکرار کنید.

پ- اندازه‌گیری دبی شارش

اگر دبی شارش ورودی FCAE قابلیت تنظیم داشته باشد، آن را روی مقدار نامی مشخص شده درگواهینامهٔ کالیبراسیون که کالیبراسیون FCAE بر اساس آن، پیش از اندازه‌گیری دبی شارش معتبر است، تنظیم کنید.

دبی حجمی نامی شارش ورودی FCAE را درشرایط محیطی با افت فشار کم اندازه‌گیری کنید تا دبی‌سنج کالیبره شود(پیوست خ). شارش باید تمام مدت پایدار بماند، به عنوان مثال CV حداقل ۵ اندازه‌گیری که به صورت یکنواخت طی زمان بیش از ۱۵ دقیقه انجام می‌شود، باید کمتر از ٪۲ باشد. توصیه می‌شود، هیچ‌گونه کاهش یا افزایش چشمگیر در شارش، وجود نداشته باشد. درصورت عدم پایداری در این زمان، FCAE زمان بیشتری برای پایداری نیاز دارد. پمپ (یا اتصال خلأ) FCAE را بررسی کنید و آزمون را تکرار کنید. اگر بررسی شارش دو بار با شکست منجر شود، نیاز به اطلاع‌رسانی سازنده FCAE است.

میانگین عددی (محاسبه شده) دبی اندازه‌گیری‌شدهٔ شارش ورودی به FCAE را ($q_{FCAE,cal,amb}$) با مقدار میانگین عددی نشان داده شده توسط FCAE برای فواصل زمانی مشابه یا مقدار نامیFCAE ($q_{FCAE,amb}$) مقایسه کنید. حالت آخر، وقتی که دبی شارش، گزارش نشده باشد یا وقتی از مقدار نامی FCAE برای محاسبهٔ تراکم باراستفاده شود، کاربرد دارد. توصیه می‌شود، تفاوت در مشخصات اعلام شدهٔ FCAE توسط سازنده باشد، که با صحت $r_{q,FCAE}$ ، بر حسب درصد، بیان می‌شود. درغیر این‌صورت، توصیه می‌شود، با سازنده تماس گرفته شود.

هم‌چنین توصیه می‌شود، دبی شارش $q_{FCAE,cal,amb}$ با دبی شارش FCAE در گواهینامهٔ کالیبراسیون آن ($q_{FCAE,cert}$) مقایسه شود. انحراف باید درمحدوده زیر باشد:

$$\frac{\left|q_{FCAE,cal,amb}-q_{FCAE,cert}\right|}{q_{FCAE,cert}} < 2\sqrt{u_r{}^2\left(q_{FCAE,cert}\right)+u_r{}^2\left(q_{cal,cert}\right)+{}^1\!/_3\, r_{q,FCAE}^2} \qquad (۲)$$

که در آن:

$u_r(q_{FCAE,cert})$ عدم قطعیت نسبی استاندارد برای شارش ورودی FCAE درگواهینامهٔ کالیبراسیون آن؛

$u_r(q_{cal,cert})$ عدم قطعیت نسبی استاندارد برای دبی‌سنج مورد استفاده در اندازه‌گیری $q_{FCAE,ref,\ cal,amb}$ ،

انحرافات بیشتر، ممکن است به کنترل شارش FCAE مربوط باشند.

همه دبی‌ها باید به دما و فشار یکسان ارجاع داده شوند. بسته به کنترل شارش مورد استفاده درFCAE، توصیه می‌شود، تصحیحات مختلفی انجام شود (پیوست خ).

۶-۲-۶ CPC مورد آزمون

به هنگام حمل و نقل CPC برای کالیبراسیون، عموما تمام سیال عامل آن تخلیه می‌شود. دراینصورت CPC مورد آزمون را روشن کرده، آن را با سیال عامل لازم تا سطح مشخص پرکنید (به اقدامات احتیاطی سازنده درمورد

حمل دستگاه پر توجه کنید). اجازه دهید اشباع‌کننده، چگالنده و اپتیک‌ها به دمای مشخص شدهٔ خود برسند. اجازه دهید حداقل به مدت یک ساعت، راه‌اندازی شود.

وقتی CPC بدون تخلیهٔ سیال عامل کالیبره می‌شود، به اقدامات احتیاطی سازنده درمورد حمل دستگاه پر توجه کنید. CPC را روشن کنید و اجازه دهید حداقل به مدت ۳۰ دقیقه راه‌اندازی شود و اشباع‌کننده، چگالنده و اپتیک‌ها به دمای مشخص شدهٔ خود برسند.

تمام شاخص‌ها(به عنوان مثال دما، فشار و شارش) باید عملیات بدون خطای ابزار را نشان دهند.

الف- بررسی مقدار صفر

برای این بررسی، حداقل یک فیلتر HEPA (باکارآیی بیش از ٪۹۹٫۹۹) به ورودیCPC مورد آزمون نصب کنید (یک فیلتر اضافی، موازی با اولی برای دستیابی به تراکم‌های فوق‌العاده پایین ممکن است ضروری باشد). به مدت حداقل ۵ دقیقه CPC را راه‌اندازی کنید و مقادیر تراکم را با فاصلهٔ زمانی 1-s و زمان میانگین 1-s قرائت کنید. بعداز حذف هرگونه نشتی، میانگین عددی تراکم باید کمتر از $۰٫۱\mathrm{cm^{-3}}$ باشد.

درصورت عدم برآورده‌شدن این الزامات با مشتری تماس بگیرید.

ب- بررسی پاسخ با حساسیت بالا

بررسی ساده‌ای برای نمایش توانایی آشکارسازی ذره توسطCPC مورد آزمون انجام دهید. این کار را می‌توان به عنوان مثال، با نمونه‌برداری ازهوای اتاق، درصورتی که انتظار می‌رود تراکم هوای اتاق بالاتر از $۵۰۰\mathrm{cm^{-3}}$ باشد، انجام داد. تراکم اندازه‌گیری شده توسط CPC مورد آزمون باید از$۵۰۰\mathrm{cm^{-3}}$ بالاتر باشد. آیروسل‌هایی از منابع دیگر نیز با تراکم کافی، ممکن است، در این آزمون مورد استفاده قرار گیرند یا از توصیه‌های سازنده پیروی کنید. درصورت عدم برآورده شدن این الزامات، با مشتری تماس بگیرید.

پ- اندازه‌گیری دبی شارش

دبی حجمی شارش ورودی به CPC مورد آزمون را در شرایط محیطی با یک دبی‌سنج کالیبره‌شده با افت فشار کم اندازه بگیرید (پیوست خ). شارش باید در تمام مدت ثابت باشد، یعنی CV حداقل ۵ اندازه‌گیری یکنواخت با فاصلهٔ بیش از ۵ دقیقه باید کمتر از ٪۲ باشد. توصیه می‌شود، هیچ‌گونه کاهش یا افزایش چشمگیر شارش وجود نداشته باشد. درصورت عدم پایداری در این زمان، CPC زمان بیشتری برای پایداری لازم دارد. پمپ (یا اتصال خلأ) CPC را بررسی کرده، آزمون را تکرار کنید. اگر بررسی شارش دوبار با شکست مواجه شود، توصیه می‌شود با سازنده CPC تماس بگیرید.

میانگین عددی (محاسبه شده) دبی شارش ورودی به CPC را ($q_{\mathrm{CPC,cal,amb}}$) با مقدار میانگین عددی نشان داده شده توسط CPC برای فواصل زمانی مشابه یا مقدار نامی ($q_{\mathrm{CPC,amb}}$) CPC مقایسه کنید.

حالت آخر، وقتی که دبی شارش، گزارش نشده باشد یا وقتی از مقدار نامی CPC برای محاسبهٔ تراکم ذرات استفاده شود، کاربرد دارد. توصیه می‌شود، تفاوت درمشخصات اعلام شدهٔ CPC مورد آزمون توسط سازنده باشد. درغیر اینصورت، توصیه می‌شود با مشتری تماس بگیرید. اختلافات بیشتر ممکن است به کنترل شارش CPC مربوط باشند.

همه دبی‌های شارش باید به دما و فشار یکسان ارجاع داده شوند. بسته به کنترل شارش مورد استفاده، توصیه می‌شود، درCPC مورد آزمون، تصحیحات مختلفی به کار رود (پیوست خ).

۶ -۲-۷ بررسی راه‌اندازی کامل

درابتدا مسیر شارش جبران‌شده به پایین‌دست DEMC متصل کنید (معمولا" فیلتر HEPA یا کنترل‌کنندهٔ شارش درون لوله با فیلتر HEPA). سپس دستگاه مخلوط‌کن و حسگر فشار را وصل کنید. CPC وFCAE به شکافندهٔ شارش که پس از دستگاه مخلوط‌کن قرار گرفته است، متصل هستند. مطمئن شوید که حداقل یک روزنهٔ باز وجود دارد (برای مثال ورودی DEMC یا مسیر شارش تجدیدشده). این امر از افزایش یا کاهش فشار در ورودی CPC مورد آزمون و FCAE جلوگیری می‌کند. درصورت وجود پایشCPC، اتصال آن باید پیش از دستگاه مخلوط‌کن با دیگر مخلوط‌کن‌ها باشد.

مولد آیروسل و آماده‌ساز را به ورودی DEMC وصل کنید و مطمئن شوید که شارش مازاد خارج شده است؛ یا درصورت بالاتر بودن دبی شارش DEMC فیلتر هوا اضافه شده است.

بررسی کنید فشار در ورودی CPC مورد آزمون و FCAE درگسترهٔ دلخواه باقی بماند (یعنی کاهش یا افزایش فشار فراتر از مشخصات ارائه شده توسط سازنده نرود). درغیر اینصورت، با شیر اختناق[1] یا شارش هوای تجدید شده آن را تنظیم کنید.

الف- دبی شارش DEMC

دبی دلخواه شارش غلاف[2] DEMC را تنظیم کنید. دبی دلخواه شارش ورودی DEMC را با شارش تجدیدشده (یا هوای تراوشی) تنظیم کنید. نسبت دبی‌های شارش غلاف به نمونه باید بزرگتر از نسبت ۷ به ۱ یا مساوی با آن باشد تا از توزیع یکنواخت باریک پس از DEMC اطمینان حاصل شود.

پس از تنظیم این سرعت‌ها، به عدم تنظیم آنها درطول روش کالیبراسیون توصیه شده است، وگرنه دبی‌های شارش حجمی CPC مورد آزمون و FCAE باید دوباره اندازه‌گیری شوند (به مراحل ب وپ در زیر رجوع شود).

1 - Throttling valve
2 - Sheath

ب- اندازه‌گیری شارش FCAE

دبی حجمی شارش FCAE را با قرار دادن دبی‌سنج کالیبره‌شده بین جداکننده و ورودی FCAE اندازه بگیرید. این مقدار ($q_{FCAE,cal}$) را با مقدار گزارش شده توسط FCAE یا مقدار نامی(q_{FCAE}) آن مقایسه کنید. حالت آخر وقتی که دبی شارش گزارش نشده باشد یا وقتی از مقدار نامی بکاررفته در FCAE برای محاسبهٔ عدد تراکم ذره استفاده شود، کاربرد دارد. توصیه می‌شود، تفاوت در مشخصات اعلام شدهٔ FCAE توسط سازنده باشد که با صحت $r_{q,FCAE}$ ، بر حسب درصد، بیان می‌شود. درغیر این‌صورت، تماس با سازنده توصیه می‌شود.

هم‌چنین توصیه می‌شود، دبی شارش $q_{FCAE,cal}$ با دبی شارش FCAE در گواهینامهٔ کالیبراسیون ($q_{FCAE,cert}$) مقایسه شود. انحراف باید در محدوده زیر باشد:

$$\frac{q_{FCAE,cal}-q_{FCAE,cert}}{q_{FCAE,cert}} < 2\sqrt{u_r{}^2(q_{FCAE,cert)} + u_r^2(q_{cal,cert}) + {}^1\!/_3\, r_{q,FCAE}^2} \qquad (۳)$$

که در آن:

$u_r(q_{FCAE,cert})$ عدم قطعیت نسبی استاندارد برای شارش ورودی FCAE درگواهینامهٔ کالیبراسیون آن؛

$u_r(q_{cal,cert})$ عدم قطعیت نسبی استاندارد دبی‌سنج مورد استفاده در اندازه‌گیری $q_{FCAE,cal}$ است.

انحرافات بالاتر ممکن است به کنترل شارش FCAE مربوط باشند.

محاسبهٔ عدم قطعیت نسبی استاندارد q_{FCAE} درفرمول (۴) آمده است:

$$u_r(q_{FCAE}) = {}^{\left|q_{FCAE,cal} - q_{FCAE,cert}\right|}\!/_{\sqrt{3}q_{FCAE,cert}} \qquad (۴)$$

دما و فشار برای تمام دبی‌های شارش یکسان است، بسته به کنترل شارش مورد استفاده در FCAE، تصحیحات مختلفی انجام می‌شود (پیوست خ).

یادآوری۱- دبی شارش تحت تأثیر ترکیب گاز می‌باشد. برای جزئیات بیشتر پیوست خ رجوع شود.

یادآوری ۲- اندازه‌گیری شارش براساس وابستگی تغییر دبی شارش به تغییرفشار ورودی به FCAE تکرار شده است.

پ- اندازه‌گیری دبی شارش CPC مورد آزمون

دبی حجمی شارش CPC مورد آزمون را با قرار دادن دبی‌سنج کالیبره شده بین جداکننده و ورودی CPC مورد آزمون اندازه بگیرید. این مقدار را با مقدار گزارش شده توسط CPC مورد آزمون یا مقدار نامی آن مقایسه کنید. حالت آخر، وقتی که دبی شارش، گزارش نشده باشد یا وقتی از مقدار نامی در CPC مورد آزمون برای محاسبهٔ عدد تراکم ذره استفاده شود، کاربرد دارد. توصیه می‌شود، تفاوت در مشخصات اعلام شدهٔ CPC مورد آزمون توسط سازنده باشد. درغیر این‌صورت، تماس با مشتری توصیه می‌شود. اختلافات بیشتر ممکن است به اریفیس

یا پمپ CPC مورد آزمون مربوط باشند. این مقدار باید درگواهینامهٔ کالیبراسیون همراه گزارش CPC مورد آزمون یا مقدار نامی ثبت شوند.

دما و فشار برای تمام دبی‌های شارش یکسان است، بسته به کنترل شارش مورد استفاده در FCAE، تصحیحات مختلفی انجام می‌شود (پیوست خ).

یادآوری۱- دبی شارش تحت تأثیر ترکیب گاز می‌باشد. برای جزئیات بیشتر پیوست خ رجوع شود.

یادآوری ۲- اندازه‌گیری شارش براساس وابستگی تغییر دبی شارش به تغییر فشار ورودی به CPC مورد آزمون تکرار شده است.

ت- سطوح صفر

ولتاژ DEMC راروی صفر (یا خاموش) تنظیم کنید. خوانده‌های مربوط به CPC مورد آزمون و FCAE باید با سطوح صفری که پیش از این اندازه‌گیری شده‌اند، قابل مقایسه باقی بمانند (بندهای ۶-۲-۵ الف و۶-۲-۶ الف): حداقل برای ۲ دقیقه اندازه‌گیری کنید، مقدارمطلق میانگین عددی صفر تصحیح شدهٔ FCAE در ۳۰ ثانیه (قرائت با فاصله زمانی یک ثانیه) باید کمتر از $C_{Q \times q\mathrm{FCAE}}$ = ۱ fC/s باشد. انحراف استاندارد نیز باید کمتر از ۰٫۵ fC/s باشد. مقدارمیانگین عددی CPC (خوانده با فاصله زمانی 1-s) باید کم‌تر از $C_{N,\mathrm{CPC}}$ =۱cm^{-3} باشد. درغیراینصورت، در تنظیم کالیبراسیون نشتی‌ها را بررسی کنید. دلایل دیگر افزایش سطوح صفر می‌تواند به عنوان مثال، تراکم بسیار زیاد در ورودی DEMC ، اضافه بار یا شکسته شدن فیلترهای درون DEMC باشد.

ث- تعیین حداقل سطح FCAE

میانگین عددی و انحراف استاندارد $C_{Q \times q\mathrm{FCAE}}$ که توسط FCAE در ۳۰ ثانیه گزارش شده است را تعیین کنید (قرائت با فاصله زمانی یک ثانیه). انحراف استاندارد را در۳ ضرب کرده و به مقدار میانگین عددی اضافه کنید:

$$(C_{Q\times qFCAE})_{min} = (C_{Q\times q_{FCAE}})_{mean} + 3\sigma_{C_{Q\times q_{FCAE}}} \qquad (۵)$$

این مقدار را با کم‌ترین مقدار $C_{Q \times q\mathrm{FCAE}}$ درگواهینامهٔ کالیبراسیون آن مقایسه کنید. بزرگترین آن،حداقل $C_{Q \times q\mathrm{FCAE}}$ در ورودی FCAE است که ممکن است، در کالیبراسیون استفاده شود (در اینجا "سطح کمینهٔ CQ $C_{Q \times q\mathrm{FCAE}}$ " تعریف می‌شود).

همهٔ پارامترها را یادداشت کنید: خوانده‌های CPC مورد آزمون و FCAE ، دبی‌های شارش، فشارها، دماها، شارش تجدید شده (در صورت دسترسی)، غلاف، دبی شارش‌های نمونه، رطوبت و غیره. همهٔ این اطلاعات در گواهینامهٔ کالیبراسیون گزارش شوند (به بند ۸ و پیوست پ رجوع شود).

۶-۳ روش اجرایی کالیبراسیون کارآیی آشکارسازی

۶-۳-۱ کلیات

روش اجرایی زیر اندازه‌گیری کارآیی آشکارسازیCPC مورد آزمون با اندازهٔ معلوم ذرهٔ کالیبراسیون شده و عدد تراکم ذره را نشان می‌دهد.

۶-۳-۲ تنظیم قطرDEMC

تنظیم DEMC طوری است که اندازهٔ ذره از ذرات کالیبراسیون تک بار که DEMC را ترک می‌کنند برابر با اندازهٔ ذرهٔ کالیبرهٔ دلخواه هستند.

یادآوری- اکیدا توصیه می‌شود که با اندازهٔ بزرگ شروع کنید(به طوری که کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون حداکثر باشد. به عنوان مثال وقتی کارآیی آشکارسازی ٪۵۰ پیش بینی می‌شود حداقل ۳ برابر اندازه باشد). خطی بودن CPC مورد آزمون را بررسی کنید(به عنوان مثال با تراکم‌های متفاوتی از همان اندازه). سپس کارآیی آشکارسازی در بخش شیب دارمنحنی کارآیی ممکن است افت کند؛ زیرا آزمون‌های منحنی دربخش شیب دارکارآیی آشکارسازی معمولا" به تنظیم توزیع اندازه- ایجاد شده با مولد- نیاز دارند و زمان بیشتری صرف می‌شود.

۶-۳-۳ تنظیم آیروسل اولیه

تنظیم آماده‌ساز آیروسل به روشی صورت می‌گیرد که کالیبراسیون آیروسل، معادل با تراکم دلخواه برای اندازه‌گیری کارآیی آشکارسازی باشد. با این حال، الزامات زیر باید کاملا" رفع شوند

الف- حداقل سطح

تراکم، مطابق با فرمول ۵ در بند ۶-۲-۷ باید از مقدار $(C_Q \times q_{FCAE})_{min}$ مربوط به FCAE بالاتر باشد.

ب- حداکثر سطح

تراکم مطابق با ویژگی‌های گواهینامهٔ کالیبراسیون FCAE ، باید کمتر از حداکثر سطح تعیین شده به وسیلهٔ حداکثر تراکم بار FCAE مورد اندازه‌گیری باشد.

عدد کلی تراکم آیروسل اولیهٔ آماده شده، برای رسیدن به تعادل بار، پس از عبور از آماده‌ساز بار باید به قدر کافی پایین بوده و مانع ایجاد انحراف درDEMC توسط بار ذره شود. روش بررسی در پیوست ذ آمده است.

پ- کسر ذرات باردار چندتاییΦ

مقدار ذرات باردار چندتایی Φ باید کمتر از ۰٫۱ باشد. کسر ذرات بارهای [ϕ_p(، فرمول ۶)] را مطابق یکی از روش‌های شرح داده شده درپیوست ت، تعیین کنید و با فرمول (۷) کسر ذرات باردار چندتایی، Φ را محاسبه کنید. معیار $\Phi < ۰٫۱$ یک معیار قبول/ مردود است؛ و تا زمانی که تکمیل نشده است، کالیبراسیون ادامه دارد. Φ می‌تواند به عنوان مثال، با تنظیم حالت قطر یا انحراف استاندارد هندسی توزیع اندازهٔ آیروسل اولیه، کاهش یابد.

کسر ذرات با بار p ، ϕp ، درون آیروسل درحال ترک DEMC به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Phi_P = C_N(d_P) \Big/ \sum_{P\geq 1} C_N(d_P) \qquad (۶)$$

که در آن:

$C_N(dp)$ تراکم ذرات با بار p است.

کسر ذرات باردار چندتایی، Φ، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Phi = \sum_{P\geq 2} \Phi_P \qquad (۷)$$

یادآوری ۱- بسته به قطبش ولتاژ در DEMC ، بارهای ذرات می‌توانند مثبت یا منفی باشند. دراین استاندارد، p به عنوان عدد مطلق بار تعریف شده است.

یادآوری ۲- اکیدا توصیه شده است که میانگین هندسی اندازهٔ توزیع اولیه، از اندازه ای که با آن کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون اندازه‌گیری خواهد شد کوچکتر باشد.

یادآوری ۳- درصورت نیاز به تنظیم پشت سرهم DEMC (یعنی یک آماده‌ساز بار بین دو DEMC موازی)، کسر ذرات باردار چندتایی ،Φ ، به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

یادآوری ۴- کسر ذرات باردار-چندتایی با روش توضیحی در مرجع [۶۰] می‌تواند کاهش یابد.

۶-۳-۴ اندازه‌گیری اُریبی جداکننده β

اُریبی جداکننده را طبق پیوست چ اندازه‌گیری کنید. اگر اُریبی (β) به دست آمده بزرگ‌تر از ۱٫۰۵ یا کوچکتر از ۰٫۹۵ باشد، هرگونه غیر یکنواختی کالیبراسیون آیروسل را بررسی کنید.

۶-۳-۵ اندازه‌گیری کارآیی CPC مورد آزمون

کارآیی CPC مورد آزمون طبق مراحل زیر تعیین کنید:

الف- قرائت ابتدایی در ولتاژ صفرDEMC یا حالت خاموش آن

ولتاژ DEMC را روی صفر(یا خاموش) تنظیم کنید و تراکم بار FCAE، عدد تراکم گزارش‌شدهٔ CPC مورد آزمون را هر ثانیه به مدت یک دقیقه، ثبت کنید. میانگین عددی($C_{Q,0,0}$) و گزارش انحراف استاندارد تراکم بار توسط FCAE و میانگین عددی تراکم گزارش شده توسط CPC مورد آزمون، را برای ۳۰ ثانیه آخر با فاصلهٔ زمانی یک دقیقه از اندازه‌گیری محاسبه کنید.

مقدار میانگین عددی مطلق تصحیح صفر و انحراف استاندارد تراکم بار FCAE ضرب در دبی شارش ورودی باید تقریبا" کمتر از ۱Fc/s و ۰٫۵ fC/s باشد. میانگین عددی عدد تراکم CPC مورد آزمون باید کمتر از $1 cm^{-3}$ باشد، در غیر این‌صورت، اندازه‌گیری معتبر نیست. مولد یا سایر منابع ناپایداری را بررسی کرده و تکرار کنید.

ب- ثبت اندازه و تراکم ویژه

تراکم بار FCAE و عدد تراکم CPC مورد آزمون را در هر ثانیه، به مدت یک دقیقه ثبت کنید. میانگین عددی ($C_{Q,1}$) و انحراف استاندارد تراکم بار گزارش شده توسط FCAE و میانگین ریاضی ($C_{N,CPC,1}$) و انحراف استاندارد عدد تراکم گزارش شده توسط CPC مورد آزمون را برای ۳۰ ثانیه آخر با فاصلهٔ زمانی یک دقیقه از اندازه‌گیری محاسبه کنید (پیوست ر).

نتیجهٔ CV تراکم بار FCAE ضرب در دبی شارش ورودی باید کم‌تر از ٪۳ یا انحراف استاندارد کم‌تر از ۰٫۵ fC/s باشد. نتیجهٔ CV (خلاصه گزارش)عدد تراکم CPC مورد آزمون باید کم‌تر از ٪۳ یا انحراف استاندارد کم‌تر از ۱cm^{-3} باشد. همهٔ نتایج CVها یا انحرافات استاندارد باید به ترتیب معیار را برآورده کنند در غیر این‌صورت، اندازه‌گیری معتبر نیست. مولد یا سایر منابع ناپایداری را بررسی کرده و تکرار کنید.

پ- ثبت در ولتاژ صفر(یا خاموش) DEMC

ولتاژ را روی صفر یا خاموش تنظیم کرده تراکم بار FCAE و عدد تراکم گزارش شده توسط CPC مورد آزمون را درهرثانیه به مدت یک دقیقه ثبت کنید. میانگین عددی ($C_{Q,0,1}$) و انحراف استاندارد تراکم بار گزارش شده توسط FCAE و میانگین عددی و انحراف استاندارد عدد تراکم گزارش شده توسط CPC مورد آزمون را برای ۳۰ ثانیه آخر با فاصلهٔ زمانی یک دقیقه از اندازه گیری محاسبه کنید.

میانگین عددی مطلق تصحیح صفر و انحراف استاندارد تراکم بار FCAE ضرب در دبی شارش ورودی باید تقریبا" کمتر از ۱Fc/s و ۰٫۵ fC/s باشد میانگین عددی عدد تراکم CPC مورد آزمون باید باید کمتر از ۱cm^{-3} باشد، در غیر این‌صورت، اندازه‌گیری معتبر نیست. مولد یا سایر منابع ناپایداری را بررسی کرده و تکرار کنید.

ت- محاسبهٔ عدد تراکم FCAE با فرض ذرات تک بار

عدد تراکم FCAE را ($C_{N,FCAE,1}$) طبق فرمول (۸) محاسبه کنید. از تراکم بار اندازه گرفته‌شده (تصحیح‌شده برای صفر) و با فرض این که که هر کدام از ذرات یک بار الکتریکی منفرد را حمل می‌کنند عدد تراکم i برای اندازه‌گیری با فرمول زیر به دست می‌آید:

$$C_{N,FCAE,i} = \frac{C_{Q,i} - (C_{Q,0,i-1} + C_{Q,0,i})/2}{e} \qquad (۸)$$

که در آن:

$C_{N,FCAE,i}$ عدد تراکم محاسبه‌شده از کالیبراسیون آیروسل؛

$C_{Q,i}$ تراکم بار مشخص اندازه‌گیری‌شده توسط FCAE هنگام اندازه‌گیری ذرات؛

$C_{Q,0,i}$ تراکم بار مشخص اندازه‌گیری‌شده توسط FCAE با ولتاژ صفر DEMC؛

e بار الکترون؛

ث- محاسبهٔ کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون

درصورتی که آماده‌سازی آیروسل اولیه به طریقی صورت گیرد که کالیبراسیون آیروسل نتواند یک بار الکتریکی داشته باشد، انجام تصحیحات ضروری است (پیوست ت).

هم چنین پیوست ت شامل کمیت تأثیر بارهای چندتایی بر روی تعیین اندازهٔ ذره می‌شود.

اطلاعات گواهینامهٔ FCAE در مورد هر ضریب تصحیح مورد نیاز FCAE باید گنجانده شود.

برای محاسبهٔ کارآیی آشکارسازیCPC مورد آزمون $\eta_{CPC,1}$ از فرمول پیوست ت استفاده کنید.

- اگر اندازهٔ ذره در گستره‌ای از کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون باشد که ثابت فرض شود، $C_{N,FCAE,1}$ (بند ۶-۳-۵- ت)، $C_{N,CPC,1}$ (بند ۶-۳-۵-ب)، Φ_P (بند ۶-۳-۳-پ) ، β (بند ۶-۳-۴) و η_{FCAE} (گواهینامهٔ کالیبراسیون FCAE) در فرمول ت۱۸ جایگزین کنید.

-اگر اندازهٔ ذره در دامنه‌ای از کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون باشد که متغیر فرض شود، $C_{N,FCAE,1}$ (بند ۶-۳-۵- ت)، $C_{N,CPC,1}$ (بند ۶-۳-۵-ب)، Φ_P (C_N از پیوست ت و زیربند ۶-۳-۳-پ)، β (زیربند ۶-۳-۴) و η_{FCAE} (گواهینامهٔ کالیبراسیونFCAE) ویک کارآیی تخمینی پلاتو η'_{CPC} از CPC مورد آزمون در فرمول‌های ت-۱۵، ت-۱۳و ت-۱۷ جایگزین کنید.

در گواهینامهٔ کالیبراسیون، روش مورد استفاده در محاسبه ثبت شود.

ج- تکرار اندازه‌گیری

مراحل (ب) و(ت) را چهار بار دیگر تکرار کنید (یعنی درمجموع پنج بار). میانگین عددی کارآیی آشکارسازی $\bar{\eta}_{CPC}$ و انحراف استاندارد آن را $\sigma(\eta_{rep})$ برای تراکم و اندازهٔ مشخص با استفاده از پنج دادهٔ کارآیی (i=۱-۵) $\eta_{CPC,i}$محاسبه کنید. کالیبراسیون فقط وقتی معتبر است که مقادیر هر پنج انحراف $\eta_{CPC,i}$ در محدودهٔ ۰٫۰۲± از میانگین عددی کارآیی آشکارسازی η_{CPC} باشند.

۶-۳-۶ اندازه‌گیری تراکم ذرات مختلف

در صورت اندازه‌گیری تراکم متفاوت (در همان اندازه)، تراکم آیروسل اولیه را تنظیم کنید (ابتدا طبق زیربند ۶-۳-۳ و سپس زیربند ۶-۳-۵). تکرار اندازه‌گیری کسر ذرات باردار چندتایی (زیربند ۶-۳-۳پ) ضرورتی ندارد. توجه کنید که اُریبی جداکننده (زیربند ۶-۳-۴) و دبی شارش FCAE (زیربند ۶-۲-۷ب) نباید آزمون شوند. برای تراکم‌های کمتر از سطح حداکثر، نیازی به بررسی دوبارهٔ آماده‌ساز بار نیست (زیربند ۶-۳-۳ب). اگر کالیبراسیون CPC در تراکم‌های پایین‌تر از کمترین تراکم بار در دبی نامی شارش ورودی که برای آن FCAE گواهی شده است، انجام شود، روش توضیحی در پیوست ح مورد استفاده خواهد بود.

درصورت بروز هر گونه تغییر درتنظیم که می‌تواند منجر به فشار متفاوت در ورودی FCAE وCPC مورد آزمون شود، یا درصورت ضرورت تطابق دبی شارش DEMC، دبی‌های شارش ورودی FCAE و CPC مورد آزمون را اندازه‌گیری کنید (زیربند ۶-۲-۷).

۶-۳-۷ اندازه‌گیری اندازه‌های مختلف

در آزمون ذرات با اندازه‌های متفاوت باید آزمون شود، به زیربند ۶-۳-۲ رجوع شود. دراین صورت، تمام مراحل (زیربندهای ۶-۳-۳ تا ۳-۳-۶) باید انجام شوند.

درصورت بروز هر گونه تغییر درتنظیم که می‌تواند منجر به فشارمتفاوت در ورودی FCAE وCPC مورد آزمون شود، یا درصورت ضرورت تطابق دبی شارش DEMC، دبی‌های شارش ورودی FCAE و CPC مورد آزمون را اندازه‌گیری کنید (زیربند ۶-۲-۷).

یادآوری ۱- اکیدا توصیه می‌شود، تمام آزمون‌های انجام شده برروی یک CPC مورد آزمون مشابه برای کارآیی آشکارسازی، با اندازه‌های متنوعی از ذرات در عدد تراکم ذرات تقریبا" مساوی، انجام شوند. این کار مانع هرگونه تأثیر پاسخ غیر خطی CPC خواهد شد.

یادآوری ۲- هنگام برنامه‌ریزی تراکم‌ها برای استفاده، باید به آنها که منجر به تغییر حالت اندازه‌گیری CPC مورد آزمون می‌شوند، توجه داشت (مطابق دستورالعمل سازنده). درنتیجه ناپیوستگی‌ها قابل پیش‌بینی خواهند بود.

۶-۳-۸ تکرار اندازه‌گیری نقطهٔ اول

وقتی نقاط متعددی آزمون می‌شوند، یا زمانی که دستگاه اندازه‌گیری خاموش‌شده یا نقصی رخ داده است؛ تکرار اندازه‌گیری کارآیی آشکارسازی با اولین مجموعه از پارامترهای آیروسل ضروری می‌باشد (یعنی تراکم و اندازه). این تکرار شامل تعیین کسر ذرات باردار چندتایی است. تفاوت دو کارآیی آشکارسازی باید در محدودهٔ ۰٫۰۲۵± باشد. علاوه براین، دبی‌های شارش FCAE وCPC مورد آزمون باید درمحدودهٔ ٪۵ اندازه‌گیری اصلی آنها در زیربند ۶-۲-۷ باشد. درغیر این صورت، تمام آزمون‌ها بی‌اعتبار خواهند بود.

یادآوری- اولین نقطه می‌تواند به عنوان مثال پس از سه آزمون و حتی بیشتر انجام شود. با این حال وقتی بیشتر از پنج آزمون انجام شد، ریسک شکست تمام اندازه‌گیری‌ها بالاتر می‌رود (بسته به اختلاف بین اولین و آخرین نقطه بیش از ۰٫۰۲۵).

۶-۳-۹ آماده سازی گواهینامهٔ کالیبراسیون

گواهینامهٔ کالیبراسیون را پرکنید (به زیربند ۸ و پیوست پ رجوع شود). این گواهینامه اندازه‌گیری‌های تعیین کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون را تکمیل می‌کند.

۶-۴ عدم قطعیت اندازه‌گیری

۶-۴-۱ کلیات

نتیجهٔ کالیبراسیون CPC قالب کارآیی آشکارسازی η را برای نوع خاصی از ذرات ایجاد شده در اندازهٔ خاص و در یک عدد تراکم خاص ذره به خود می‌گیرد. عدم قطعیت به خوبی تعریف شده نیاز به کمیت‌های اصلی که عبارتند از اندازهٔ ذره و کارآیی آشکارسازی، دارد (مطابق با زیربندهای۶-۴-۲ و۶-۴-۳) اهمیت عدد تراکم ذره کمتر بوده و تا حد زیادی کارآیی آشکارسازی، عدم قطعیت آن را پوشش داده است (مطابق با زیربند ۶-۴-۴) .

۶-۴-۲ اندازهٔ ذره

اندازهٔ ذرهٔ مرتبط با کالیبراسیون توسط DEMC تعیین می‌شود، که آیروسل کالیبراسیون هر دو دستگاه را تأمین می‌کند. اندازهٔ ذره و عدم قطعیت اندازه‌گیری باید مطابق ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰، مشخص شود.

وقتی کسر قابل ملاحظه‌ای از ذرات باردار چندتایی درکالیبراسیون آیروسل وجود دارد، تعداد قابل توجهی از ذرات، اندازه‌های بسیار بزرگتری از اندازهٔ انتخاب‌شده خواهند داشت.کسر ϕ_p، که مطابق پیوست (ت) تعریف شده است باید درگواهینامهٔ کالیبراسیون یادداشت شود. هنگامی که کسر مشخص نشده است، گواهینامه باید مقیاس هرگونه تأثیرات مرتبط مورد انتظار از سامانهٔ مورد استفاده را توصیف کند.

۶-۴-۳ کارآیی آشکارسازی

عدم قطعیت در کارآیی اصولا" با موارد زیر تعیین می‌شود:

- FCAE (مطابق مندرجات گواهینامه)؛
- تصحیح بارچندتایی؛
- اختلاف در اعداد تراکم ذرات نمونه‌برداری شده توسط FCAE وCPC مورد آزمون (ضریب تصحیح اُریبی جداکننده)؛
- درستی و انحرافات اندازه‌گیری‌های شارش داخلی FCAE؛
- تکرارپذیری کالیبراسیون کارآیی آشکارسازی؛
- تأثیر عدم قطعیت تعیین اندازهٔ ذره (هنگامی که اندازهٔ ذره کارآیی آشکارسازی را به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد).

همانطور که در زیربند ۶-۱ ذکر شد، گواهینامهٔ کالیبراسیون FCAE نباید منقضی شده باشد و تراکم بار یا گسترهٔ دبی شارش را که بر پایهٔ آنها معتبر است مشخص کند. گواهینامه عدم قطعیت تراکم بار یا متعاقبا" عدم قطعیت دبی شارش را ارائه می‌دهد که همراه هم یک عدم قطعیت برای تراکم بار ذره تشکیل می‌دهند. توجه

داشته باشید که این موضوع، اغلب به صورت مقادیرعدم‌قطعیت‌های گسترده بیان خواهند شد (k=۲ ؛ با اطمینان تقریبا ٪۹۵)، در حالیکه عدم قطعیت‌ها باید با مقادیرعدم قطعیت‌های استاندارد(k=۱) مرتبط شوند.

تصحیح ذرات باردار چندتایی مطابق فرمول پیوست (ت) است. به عنوان اولین تقریب، عدم قطعیت در ضریب تصحیح، بهترین تعیین نیمه‌تجربی با تکرار تعیین کسرهای باردار چندتایی ϕ_p است؛ ضمن اینکه تغییر را به عنوان انحراف استاندارد مرتبط با تصحیح بار چندتایی تعریف می‌کند. اگرعدم قطعیت برای کسرهای ϕ_1، ϕ_2 و ϕ_3 به ترتیب با $u(1)$، $u(2)$ و $u(3)$ نشان داده شود، ترکیب عدم قطعیت نسبی موردنیاز u_r(MCC) با فرمول (۹) به دست می‌آید:

$$u_r(MCC) = \frac{100}{\sum_{P\geq 1} \Phi_P . P} . \sqrt{u^2(1) + 4u^2(2) + 9u^2(3)} \qquad (۹)$$

این ترکیب، عدم قطعیت در منطقهٔ پلاتوی کارآیی آشکارسازی کاربرد دارد (به زیربند ت-۱ رجوع شود). حالت‌های پیچیده‌تری که از منطقهٔ پلاتو فاصله دارند، تحت پوشش این استاندارد نیستند.

روش محاسبهٔ ضریب اریبی β و عدم قطعیت آن درپیوست (چ) آمده است.

اگر شارش ورودی به FCAE در زمان کالیبراسیون CPC مورد آزمون با مقدار آن در زمان کالیبراسیون FCAE متفاوت باشد؛ یک اثر متناسب در تعیین کارآیی آشکارسازی وجود خواهد داشت. همهٔ شارش‌ها باید با دبی‌سنج‌های کالیبره اندازه‌گیری شوند (مطابق زیربند ۶-۲-۷- ب و در رواداری مشخص شده قرار بگیرند. عدم قطعیت مرتبط با شارش FCAE با این رواداری تنظیم می‌شود. به تبع کاهش عدم قطعیت، تصحیح برای شارش‌های مختلف می‌تواند صورت بگیرد، ولی این استاندارد، برای آنها کاربرد ندارد.

پنج اندازه‌گیری تکرار شده در زیربند ۶-۳-۵-ث ، یک تکرارپذیری کوتاه مدت از اندازه‌گیری کارآیی آشکارسازی، برآورد می‌کنند. محاسبهٔ عدم قطعیت، شامل انحراف استاندارد اندازه‌گیری‌های تکراری می‌شود.

در حالت‌هایی که عدم قطعیت وابسته به اندازهٔ ذره است، اثر قابل توجهی برعدم قطعیت کارآیی آشکارسازی دارد. راهنمای این تأثیرات در پیوست (ز) ارائه شده است.

خلاصه‌ای ازمحاسبهٔ عدم قطعیت درکارآیی آشکارسازی، در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول۳- اجزای عدم قطعیت نسبی برای کالیبراسیون با FCAE

مؤلفه ها	نماد	مرجع	توضیحات
کارآیی آشکارسازی FCAE	$u_r(FCAE)$	گواهینامهٔ FCAE	قرائت FCAE به صورت درصد
تصحیح بارچندتایی	$u_r(MCC)$	فرمول (۹)	قرائت به صورت درصد
ضریب تصحیح انحراف جداکننده	$u_r(\beta)$	پیوست چ- فرمول ۱۰ برای شارش‌های نامساوی به پیوست چ مراجعه شود	قرائت به صورت درصد به عنوان مثال $u_r(\beta) = 100\ u(\beta)/\beta$
انحراف دبی شارش FCAE	$u_r(q\text{FCAE})$	۶-۲-۷ ب	قرائت به صورت درصد
تکرارپذیری	$u_r(\eta_{rep})$	۶-۳-۵ ج	قرائت به صورت درصد به عنوان مثال $u_r(\eta_{rep}) = 100\ \sigma(\eta_{rep})\ /\overline{\eta}_{CPC}$

مطابق انحراف‌های استاندارد تمام مؤلفه‌ها به صورت عدم قطعیت‌های نسبی استاندارد بیان می‌شوند.

عدم قطعیت استاندارد نسبی مرتبط با فرمول(۱۰) به دست می‌آید:

$$u_{c,r}(\eta) = \sqrt{u_r{}^2(FCAE) + u_r{}^2(MCC) + u_r{}^2(\beta) + u_r{}^2(qFCAE) + u_r{}^2(\eta_{rep})} \qquad (۱۰)$$

عدم قطعیت گسترش نسبی $U_r(\eta)$ ، با ضرب عدم قطعیت استاندارد نسبی مرتبط در ضریب هم پوشانی k به دست می‌آید:

$$k\text{: } U_r(\eta) = k\ u_{c,r}\ (\eta)$$

معمولا" مقدار k=۲ فرض می‌شود.

یک مثال تجربی در پیوست (خ) آمده است.

۶-۴-۴ اندازه‌گیری عدد تراکم ذره

عدد تراکم گزارش شدهٔ ذره درگواهینامهٔ کالیبراسیون CPC، وقتی که انتظار می‌رود پاسخ آن غیرخطی باشد، به عنوان مثال هنگام تغییر بین حالات اندازه‌گیری دستگاه، اطلاعات نسبی به دست می‌آید. تراکم گزارش شده در گواهینامه، میانگین عددی تراکم ثبت شده توسط FCAE است که پس از انجام تصحیحات بر روی بارهای چندتایی و شارش FCAE به دست می‌آید. تخمین عدم قطعیت دراین مورد ضرروتی ندارد. انتظار می‌رود عدم قطعیت کمی کمتر از عدم قطعیت کارآیی آشکارسازی باشد و مانند تمام مؤلفه‌ها به جز ضریب تصحیح اریبی جداکننده به کار رود.

عدم قطعیت که مختص اندازه‌گیری‌های انجام‌شده با CPC مورد آزمون پس ازکالیبراسیون، موضوع پیچیده‌تری است، که در پیوست (ز) آمده است.

۷ کالیبراسیون با استفاده از CPC به عنوان ابزار مرجع

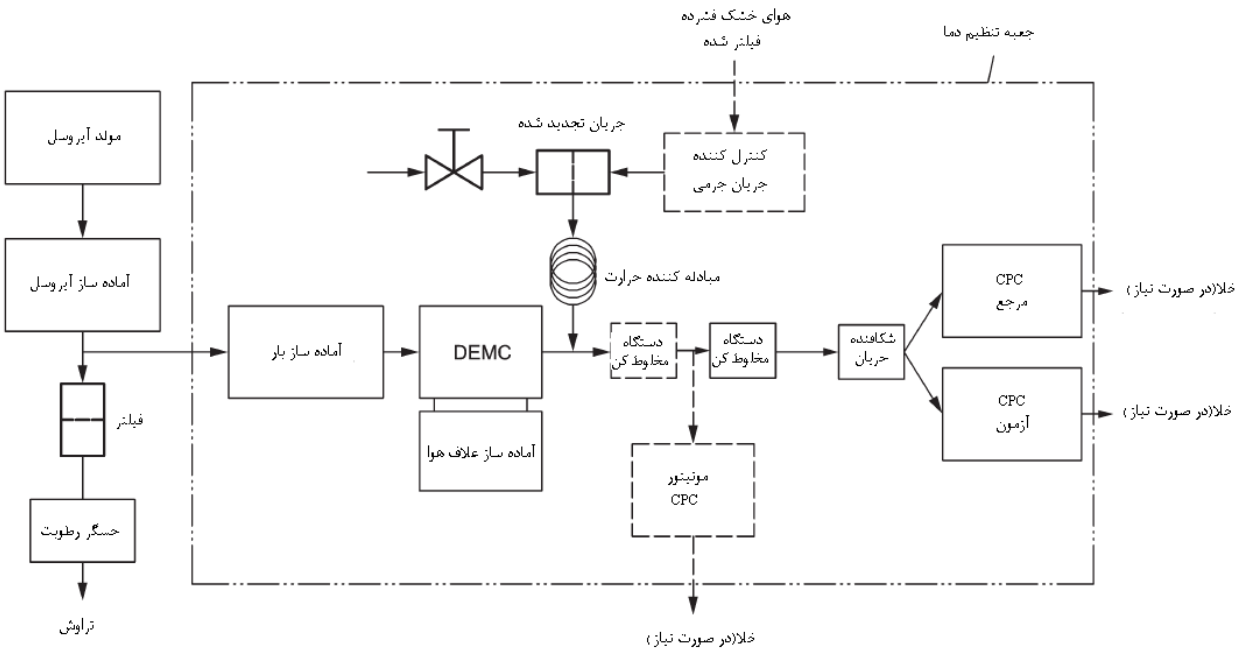
۷-۱ دید کلی تنظیم و روش کالیبراسیون

شکل ۶ شمایی از راه اندازی یک کالیبراسیون معمول با CPC مرجع را نشان می‌دهد. تمام خطوط پر، مؤلفه‌های ضروری هستند (به بند ۵ رجوع شود). این مؤلفه‌ها شامل مولد آیروسل، آماده‌ساز آیروسل، حسگر رطوبت برای اندازه‌گیری رطوبت آیروسل ورودی به DEMC، آماده‌ساز بار، DEMC، شارش تجدیدشده، دستگاه مخلوط‌کن، شکافندهٔ شارش، CPCهای مرجع و مورد آزمون. اگرچه در شکل نشان داده نشده است، از حسگر رطوبت نسبی برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی هوای تجدید شده (جایگزین) در ابتدا و انتهای آزمون‌ها باید استفاده شود. حسگر فشار ممکن است برای تعیین دبی حجمی شارش دستگاه‌ها به کار رود.

ازآنجایی که کالیبراسیون شارش آیروسل از DEMC بالاتر از مجموع دبی‌های شارش مورد نیاز دستگاه‌هاست، هوای مازاد باید به صورت تراوش شارش خارج شود. با این که در شکل نشان داده نشده است، یک حسگر حرارتی برای پایش برجعبهٔ دمای کنترل شده یا دمای اتاق لازم است.

بخش‌هایی از شکل ۶ که باخطوط بریده مشخص شده‌اند، توصیه می‌شوند ولی ضروری نیستند. برای مثال، جعبهٔ دمای کنترل شده و مبدلهای حرارتی برای شارش هوای غلاف DEMC و شارش هوای جایگزین می‌توانند برای تثبیت تمام دماها کاربرد داشته باشند. پایش CPC برای بررسی پایداری کالیبراسیون آیروسل می‌تواند به کار رود. کنترل شارش هوای جایگزین با شیر دریچهٔ گاز یا هوای فشرده با کنترل‌کنندهٔ شارش درون لوله انجام می‌شود.

یادآوری- به غیر از CPC مرجع قطعات و الزامات مربوطه همان‌هایی هستندکه درمقایسهٔ FCAE در (بند۶) به آن اشاره شد.



یادآوری- خطوط بریده، ابزار اکید توصیه شده را نشان می‌دهند ولی ضروری نیستند.

شکل ۶- راه اندازی راه اندازی کالیبراسیون معمول باCPC به عنوان ابزار مرجع

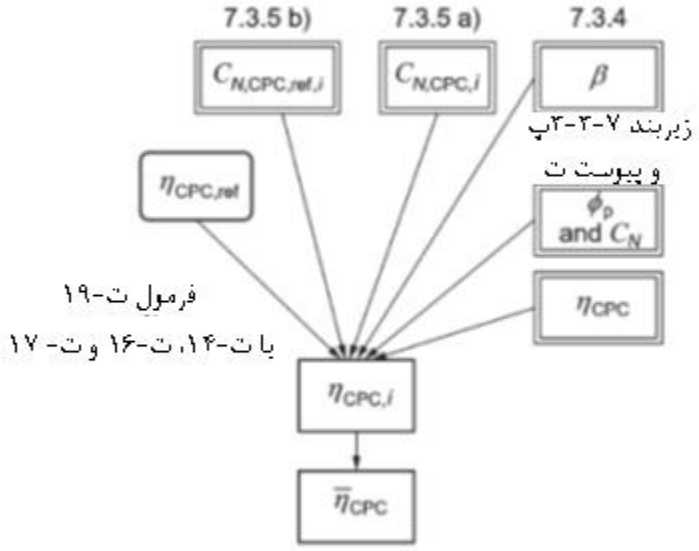
روش اجرایی کالیبراسیون درجدول ۴ آمده است.

جدول ۴- روش کالیبراسیون CPC با استفاده ازCPC به عنوان ابزار مرجع

آماده سازی	**۲-۷**
مولد آیروسل و آماده‌ساز (توزیع اندازه)	۲-۲-۷
سایر تجهیزات (به عنوان مثال دبی‌سنج شارش جرمی وغیره)	۳-۲-۷
DEMC (در انطباق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰) و آماده‌ساز غلاف هوا	۴-۲-۷
CPC مرجع میانگین عددی صفر کمتر از $^{-3}$cm۰/۱ (از 1-s میانگین تراکم حداقل ۵ دقیقه) بررسی حساسیت پاسخ اندازه‌گیری شارش و پایداری کمتر از ٪۲ (از ۵ اندازه‌گیری در ۱۵ دقیقه)	۵-۲-۷
CPC مورد آزمون میانگین عددی صفر کمتر از $^{-3}$cm۰/۱ (از 1-s میانگین تراکم حداقل ۵ دقیقه) بررسی حساسیت پاسخ اندازه‌گیری شارش و پایداری کمتر از ٪۲ (از ۵ اندازه‌گیری در ۱۵ دقیقه)	۶-۲-۷
دستگاه‌ها و مولد آیروسل/ آماده‌ساز را به DEMC (درحالت خاموش) وصل کنید، نسبت غلاف به نمونه بزرگتر از نسبت ۷ به ۱ اندازه‌گیری شارش CPC مرجع میانگین عددی صفر CPC مرجع کمتر از $^{-3}$cm۰/۱ (از 30-s میانگین‌های عددی از ۲ دقیقه)؛ میانگین عددی صفرCPC مرجع کمتر از $^{-3}$cm۰/۱ اگر کالیبراسیون به کمترین تراکم گسترده شود(پیوست ح) میانگین عددی صفر CPC مورد آزمون کمتر از $^{-3}$cm۰/۱ (از 30-s میانگین های ریاضی از ۲ دقیقه)؛ میانگین عددی صفرCPC مورد آزمون کمتر از $^{-3}$cm۰/۱ اگر کالیبراسیون به کمترین تراکم گسترده شود(پیوست ح) حداقل سطح CPC مرجع را با فرمول (۱۴) تعیین کنید	۷-۲-۷
کارآیی آشکارسازی	**۳-۷**
تنظیم قطرDEMC	۲-۳-۷
تنظیم آیروسل اولیه تراکم باید درحدود ظرفیت آماده ساز بار باشد کسر ذرات با بار چندتایی% 10> تراکم در محدودهٔ CPC مرجع باید باشد	۳-۳-۷
اندازه‌گیری اریبی شکافندهٔ β	۴-۳-۷
اندازه‌گیری کارآیی CPC مورد آزمون درقطرو تراکم معین: ولتاژ DEMC راروی صفر تنظیم کنید -تراکم CPC را ۶۰ ثانیه ثبت کنید، ۳۰ ثانیهٔ آخر را برای محاسبه استفاده کنید -میانگین عددی 3-cm۱ > هر کدام از CPCها را بررسی کنید - ولتاژDEMC را برای قطر معین تنظیم کنید --تراکم CPC را ۱۸۰ ثانیه ثبت کنید، ۵*۳۰ ثانیهٔ آخر را برای محاسبه استفاده کنید - CVهرCPC را برای ۵ فاصلهٔ ۳۰ ثانیه ای ٪۳> ، یا انحراف استاندارد $^{-3}$cm ۰/۵ بررسی کنید	۵-۳-۷

کارآیی آشکارسازی $\eta_{CPC,i}$ را برای هر کدام از ۵ فاصلهٔ ۳۰ ثانیه‌ای محاسبه کنید میانگین عددی کارآیی آشکارسازی η_{CPC} رامحاسبه کنید. تمام $\eta_{CPC,i}$ باید درمحدودهٔ $\eta_{CPC}\pm$۰/۰۲ باشد.	
اندازه گیری تراکم های مختلف (اختیاری) به زیربند ۷-۳-۳ و بعد به زیربند ۷-۳-۵ بروید	۷-۳-۶
اندازه‌گیری یک اندازهٔ متفاوت (اختیاری) به ۷-۳-۲ بروید	۷-۳-۷
تکرار اندازه‌گیری اول اگر بیش از ۵ نقطه آزمون شده است (تفاوتη_{CPC} باید درمحدودهٔ ۰/۰۲۵ باشد)	۷-۳-۸
گواهینامهٔ کالیبراسیون را پر کنید	۷-۳-۹

شکل ۷ خلاصه ای از کارآیی آشکارسازی را نشان می‌دهد



یادآوری- مستطیل‌های صاف مقادیرمحاسبه شده، درحالی‌که خطوط دوگانه و مستطیل‌های با گوشهٔ گرد مقادیراندازه‌گیری‌شده ومقادیرمرتبط ثبت‌شده در گواهینامه را نشان می‌دهند.

شکل ۷- نقشهٔ پارامترها و فرمول‌های لازم برای استخراج کارآیی آشکارسازی در کالیبراسیون با یک CPC مرجع

۷-۲ آماده‌سازی

۷-۲-۱ آماده‌سازی کلی

بررسی کنید که تمامی دستگاه‌ها مطابق مشخصات کارخانهٔ سازنده کار می‌کنند (زیربندهای ۷-۲-۲ تا ۷-۲-۶ رجوع شود)، سپس مطابق شکل ۶ آنها را آماده‌کرده و راه‌اندازی کامل را بررسی کنید (زیربند ۷-۲-۷). تا زمانی که همهٔ آزمون‌ها انجام نشده‌اند، از روش کالیبراسیون کارآیی آشکارسازی پیش نیافتید (زیربند ۷-۳).

۷-۲-۲ آیروسل اولیه

عملیات را از منبع آیروسل اولیه مطابق دستورالعمل‌های سازنده آغاز کنید. درصورت مجهول‌بودن، کالیبراسیون توزیع ایجادشدهٔ اندازه پس از آماده‌سازی آیروسل با یک DMAS (به عنوان مثال، اتصالDEMC با CPC مرجع) توصیهٔ اکید شده است. مطمئن شوید که محتویات بخارمربوط (ازآب و/یا حلال‌ها) درآیروسل اولیه کمتر از ٪۴۰ باشد.

۷-۲-۳ سایر تجهیزات

تمام تجهیزات جانبی ضروری راروشن‌کرده و اجازه دهید ثابت شوند. آماده‌ساز بار را اگر خاموش است روشن کنید. حسگرهای کالیبره‌شدهٔ فشار، دما و دبی‌سنج را برای اندازه‌گیری دبی‌های شارش CPC مرجع و CPC مورد آزمون و نیز حس‌گرهای رطوبت را آماده کنید.

هم‌چنین دیگر دستگاه‌های توصیه‌شده در راه‌اندازی را روشن‌کرده و طبق دفترچهٔ راهنمای کارخانهٔ سازنده (به عنوان مثال یک نمایش‌گر، دبی‌سنج‌های شارش درون لوله، کنترل‌کننده‌های شارش درون لوله، حس‌گرهای حرارت و فشار و غیره) آنها را آماده سازید.اگر تمام راه اندازی (یعنی DEMC و دستگاه‌ها) درجعبه‌ای با دمای کنترل شده قرارداشته باشد، دمای دلخواه را تنظیم‌کرده و بگذارید سامانه به پایداری برسد.

۷-۲-۴ DEMC

دستگاه را روشن کرده و پس از بررسی آن طبق استاندارد ISO 15900، شارش‌های دلخواه را تنظیم کنید. تهویهٔ شارش غلاف را آماده کنید.

۷-۲-۵ CPC مرجع

CPC مرجع را روشن کرده واجازه دهید اشباع‌کننده، چگالنده و اپتیک‌ها به دمای مشخص شدهٔ خود برسند. به مدت ۳۰ دقیقه درحالت کار بگذارید. درصورت تعویض سیال عامل، این مدت به حداقل یک ساعت افزایش می‌یابد.

سطح صفر و دبی شارش CPC مرجع را در شرایط محیطی بررسی کنید. تمام شاخص‌ها (به عنوان مثال، برای حرارت، شارش و فشار) باید عملیات بدون خطای دستگاه را نشان دهند. با بررسی‌های زیر از کارکرد درست دستگاه پیش از اتصال آن به راه اندازی کالیبراسیون، اطمینان حاصل می‌شود:

الف- بررسی مقدار صفر

برای این بررسی حداقل یک فیلتر HEPA (با کارآیی بیش از ٪۹۹٫۹۹) به ورودیCPC مرجع نصب کنید (یک فیلتر اضافی موازی با اولی برای دستیابی به تراکم‌های فوق‌العاده پایین ممکن است ضروری باشد). به مدت

حداقل ۵ دقیقه CPC را به کار اندازید و مقادیر تراکم را با فاصلهٔ زمانی 1-s و زمان میانگین 1-s قرائت کنید. بعداز حذف هرگونه نشتی، میانگین عددی تراکم باید کمتر از $^{-3}$cm ۰٫۱ باشد.

درصورت عدم برآورده‌کردن این الزامات با سازنده تماس بگیرید.

ب- بررسی حساسیت پاسخ

بررسی ساده‌ای برای نمایش توانایی آشکارسازی ذره توسط CPC مرجع انجام دهید.این کار را می‌توان به عنوان مثال با نمونه برداری ازهوای اتاق، درصورتی که انتظار می‌رود تراکم هوای اتاق بالاتر از $^{-3}$cm ۵۰۰ باشد، انجام داد. عدد تراکم اندازه‌گیری شده توسط CPC مرجع، باید از $^{-3}$cm ۵۰۰ بالاتر باشد. آیروسل‌های منابع دیگر با عدد تراکم کافی نیز در این آزمون استفاده می‌شوند، یا از دستورالعمل‌های سازنده پیروی کنید. درصورت عدم برآورده‌شدن این الزامات با سازنده تماس بگیرید.

پ- اندازه‌گیری دبی شارش

دبی نامی (به گواهینامهٔ کالیبراسیون رجوع شود) شارش حجمی ورودی CPC مرجع را درشرایط محیطی با دبی‌سنج کالیبره‌شده با افت فشار ملایم و کم اندازه بگیرید (پیوست خ). شارش باید درتمام مدت ثابت باشد، یعنی CV حداقل ۵ اندازه‌گیری که به صورت یکنواخت طی ۱۵ دقیقه انجام‌شده است، باید کمتر از ٪۲ باشد. در شارش نباید هیچ‌گونه کاهش یا افزایش چشمگیر وجود داشته باشد. درصورت عدم تکمیل، CPC مرجع زمان بیشتری برای تثبیت نیاز دارد. پمپ (یا اتصال خلأ) CPC مرجع را بررسی کرده، آزمون را تکرار کنید. اگر بررسی شارش دوبار به شکست منجر شود، CPC مرجع نیاز به تعمیر، توسط سازنده دارد.

میانگین عددی (محاسبه‌شده) دبی اندازه‌گیری شدهٔ شارش ورودی به CPC مرجع ($q_{CPC,ref,cal,amb}$) را با مقدار میانگین عددی نشان داده شده توسط CPC مرجع برای فواصل زمانی مشابه یا مقدار نامی CPC مرجع ($q_{CPC,ref,cal,amb}$) مقایسه کنید. مورد اخیر وقتی استفاده می‌شود که دبی شارش گزارش نشده باشد یا وقتی از مقدار نامی CPC مرجع برای محاسبهٔ تراکم استفاده شود. تفاوت باید درمشخصات اعلام شدهٔ CPC مرجع توسط سازنده باشد که با درستی $q_{CPC,ref}$ برحسب درصد بیان می‌شود. درصورت عدم برآورده‌کردن این الزامات با سازنده تماس بگیرید.

دبی شارش $q_{CPC,ref,cal,amb}$ هم‌چنین باید با دبی شارش CPC مرجع در گواهینامهٔ کالیبراسیون ($q_{CPC,ref,cal,amb}$) مقایسه شود. انحراف می‌تواند با فرمول زیر محاسبه شود:

$$\frac{|q_{CPC,ref,cal,amb}-q_{CPC,ref,cert}|}{q_{CPC,ref,cert}} < 2\sqrt{u_r^2(q_{CPC,ref,cert}) + u_r^2(q_{cal,cert}) + {}^1\!/_3\, r_{q,CPC,ref}^2} \qquad (۱۱)$$

که در آن:

$u_r(q_{CPC,ref,cert})$ عدم قطعیت نسبی استاندارد برای شارش ورودی CPC مرجع درگواهینامهٔ کالیبراسیون آن،

$ur(q_{cal,cert})$ عدم قطعیت نسبی استاندارد دبی‌سنج مورد استفاده در اندازه‌گیری $q_{CPC,ref,cal,amb}$.

انحرافات بیشتر ممکن است به مسائل کنترل شارش وCPC مرجع مربوط باشند.

دما و فشار برای تمام دبی‌های شارش، یکسان است.بسته به کنترل شارش مورد استفاده درCPC مرجع، تصحیحات مختلفی انجام می‌شوند (پیوست خ).

۷-۲-۶ آزمون CPC

به هنگام حمل یک CPC برای کالیبراسیون، تمامی سیال عامل آن تخلیه می‌شود. در این‌صورت CPC مورد آزمون را روشن کرده، آن را با سیال عامل لازم پرکنید تا به سطح مشخص‌شده (به اقدامات احتیاطی سازنده درمورد حمل دستگاه پر توجه کنید) برسد. اجازه دهید اشباع کننده، چگالنده و اپتیک‌ها به دمای مشخص‌شدهٔ خود برسند. بگذارید به مدت یک ساعت کارکند.

وقتی یکCPC بدون تخلیهٔ سیال عامل کالیبره می‌شود، به اقدامات احتیاطی سازنده درمورد حمل دستگاه پر توجه کنید.دستگاه CPC مورد آزمون را روشن کنید و اجازه دهید، حداقل به مدت ۳۰ دقیقه کار کند و اشباع‌کننده، چگالنده و اپتیک‌ها به دمای مشخص شدهٔ خود برسند.

تمام مشخصه‌ها (به عنوان مثال دما، فشار و شارش) باید عملکرد بدون خطای دستگاه را نشان دهند.

الف- بررسی مقدار صفر

برای این بررسی حداقل یک فیلتر HEPA (با کارآیی بیش از ٪۹۹٫۹۹) به ورودیCPC مورد آزمون نصب کنید (یک فیلتر اضافی موازی با اولی برای دستیابی به تراکم های فوق العاده پایین ممکن است ضروری باشد). به مدت حداقل ۵ دقیق CPC را راه‌اندازی کنید و مقادیر تراکم را با فاصلهٔ زمانی 1-s و زمان میانگین 1-s قرائت کنید. بعد از حذف هرگونه نشتی، میانگین عددی تراکم باید cm^{-3} ۰٫۱ باشد.

درصورت عدم مشاهدهٔ این الزامات با مشتری تماس بگیرید.

ب- بررسی حساسیت پاسخ

بررسی ساده ای برای نمایش توانایی آشکارسازی ذره توسطCPC مورد آزمون انجام دهید.این کاررامی‌توان به عنوان مثال با نمونه برداری ازهوای اتاق، درصورتی که انتظار می‌رودتراکم هوای اتاق بالاتراز cm^{-3} ۵۰۰ باشد، انجام داد. عدد تراکم اندازه گیری شده توسط CPC مورد آزمون باید از cm^{-3} ۵۰۰ بالاتر باشد. آیروسل‌هایی از منابع دیگر نیز با عدد تراکم کافی دراین آزمون استفاده می‌شوند، یا از دستورالعمل‌های سازنده پیروی کنید.

درصورت عدم مشاهدهٔ این الزامات با مشتری تماس بگیرید.

پ- اندازه‌گیری دبی شارش

دبی حجمی شارش ورودی به CPC مورد آزمون را درشرایط محیطی با افت ملایم و متناسب فشار و دبی‌سنج کالیبره شده اندازه بگیرید (پیوست خ). شارش باید درتمام مدت ثابت باشد، به عنوان مثال، CV حداقل ۵ اندازه‌گیری یکنواخت با فاصلهٔ بیش از ۵ دقیقه باید کمتر از ٪۲ باشد. توصیه می‌شود، هیچ‌گونه کاهش یا افزایش چشمگیری در شارش وجود نداشته باشد. درصورت عدم برآورده شدن الزامات در این زمان، CPC مورد آزمون زمان بیشتری برای پایداری لازم دارد. پمپ (یا اتصال خلأ) CPC مورد آزمون را بررسی‌کرده، آزمون را تکرار کنید. اگر بررسی شارش دوبار با شکست مواجه شود، CPC مورد آزمون نیاز به تعمیر دارد.

میانگین عددی (محاسبه شده) دبی شارش ورودی به CPC مورد آزمون $q_{CPC,\ cal,amb}$ را با مقدار میانگین عددی نشان داده شده توسط CPC مورد آزمون با فواصل زمانی مشابه یا مقدار نامی CPC ($q_{CPC,amb}$) مقایسه کنید. حالت اخیر وقتی کاربرد دارد که دبی شارش گزارش نشده باشد یا وقتی از مقدار نامی مورد استفاده در CPC برای محاسبهٔ عدد تراکم ذره استفاده شود. تفاوت درمشخصات اعلام شدهٔ CPC مورد آزمون توسط سازنده است. درغیر این‌صورت، تماس با مشتری الزامی است. اختلافات بیشتر ممکن است به مسائل کنترل شارش CPC مورد آزمون مربوط باشند.

دما و فشار برای تمام دبی‌های شارش یکسان است. بسته به کنترل شارش استفاده شده درCPC مورد آزمون، تصحیحات مختلفی استفاده می‌شوند (پیوست خ).

۷-۲-۷ بررسی راه‌اندازی کامل

در ابتدا، مسیر شارش تجدیدشده به پایین‌دست DEMC متصل است (معمولا" فیلترHEPA یا کنترل‌کنندهٔ شارش درون لوله با فیلترHEPA). سپس دستگاه مخلوط‌کن و حسگر فشار را وصل کنید. CPCهای مورد آزمون و مرجع به شکافندهٔ شارش که پس از دستگاه مخلوط‌کن قرار گرفته است، متصل هستند. مطمئن شوید که حداقل یک روزنهٔ باز وجود دارد (برای مثال ورودی DEMC یا مسیر شارش تجدیدشده). این امر از افزایش یا کاهش فشار در ورودیCPCهای مرجع و مورد آزمون جلوگیری می‌کند. درصورت وجود پایشCPC، توصیه می‌شود، اتصال آن پیش از دستگاه مخلوط‌کن با دیگر مخلوط‌کن‌ها باشد.

مولد آیروسل و آماده‌ساز را به ورودی DEMC وصل کنید و مطمئن شوید که شارش مازاد خارج شده است؛ یا درصورت بالاتر بودن دبی شارش DEMC فیلتر هوا اضافه شده است.

بررسی کنید فشار در ورودی CPCهای مرجع و مورد آزمون در دامنهٔ دلخواه باقی مانده است (یعنی کاهش یا افزایش فشار فراتر از مشخصات ارائه شده توسط سازنده نرود). درغیر این صورت، با شیر دریچهٔ گاز یا شارش هوای تجدید شده، آن را تنظیم کنید.

الف- دبی شارش DEMC

دبی دلخواه شارش غلاف DEMC را تنظیم کنید. دبی دلخواه شارش ورودی DEMC را با شارش تجدیدشده (یا هوای تراوشی) تنظیم کنید. نسبت دبی‌های شارش غلاف به نمونه باید بزرگتر از نسبت ۷ به ۱یا مساوی با آن باشد تا از توزیع یکنواخت باریک پس از DEMC اطمینان حاصل شود.

پس از تنظیم این دبی‌ها، به عدم آنها درطول انجام کالیبراسیون توصیه شده است، وگرنه دبی‌های شارش حجمیCPC های مرجع و مورد آزمون باید دوباره اندازه‌گیری شوند (مراحل ب و پ در زیر رجوع شود).

ب- اندازه‌گیری دبی شارش CPC مرجع

دبی حجمی شارش CPC مرجع را با قراردادن دبی‌سنج کالیبره‌شده بین جداکننده و ورودی CPC مرجع اندازه بگیرید. این مقدار $q_{CPC,ref,cal,amb}$ را با مقدار گزارش شده توسط CPCمرجع یا مقدار نامی $q_{CPC,ref}$ آن مقایسه کنید. مورد اخیر وقتی استفاده می‌شود که دبی شارش گزارش نشده باشد یا وقتی ازمقدار نامی به کاررفته در

CPC مرجع برای محاسبهٔ عدد تراکم ذره استفاده شود. تفاوت درمشخصات اعلام شدهٔ CPC مرجع توسط سازنده است که بادقت $r_{q,CPC,ref}$ بر حسب درصد بیان می‌شود. درغیر اینصورت، تماس با سازنده الزامی است.

دبی شارش $q_{CPC,ref,cal}$ هم‌چنین باید با دبی شارش CPC مرجع در گواهینامهٔ کالیبراسیون $q_{CPC,ref,cert}$ مقایسه شود. انحراف می‌تواند در:

$$\frac{|q_{CPC,ref,cal}-q_{CPC,ref,cert}|}{q_{CPC,ref,cert}} < 2\sqrt{u_r^2(q_{CPC,ref,cert}) + u_r^2(q_{cal,cert}) + {}^1\!/_3\, r_{q,CPC,ref}^2} \qquad (۱۲)$$

که در آن:

$u_r(q_{CPC,ref,cert})$ عدم قطعیت استاندارد نسبی برای شارش ورودی CPC مرجع درگواهینامهٔ کالیبراسیون آن،

$u_r(q_{cal,cert})$ عدم قطعیت استاندارد نسبی دبی‌سنج استفاده شده در اندازه گیری $q_{CPC,ref,Cal}$

انحرافات بیشتر ممکن است به مسائل کنترل شارش وCPC مرجع مربوط باشند.

محاسبهٔ عدم قطعیت استاندارد نسبی $q_{CPC,ref}$ درفرمول (۱۳) آمده است:

$$u_r(q_{cpc,ref}) = |q_{CPC,ref,cal} - q_{CPC,ref,cert}| \,/\, \sqrt{3}\, q_{CPC,ref,cert} \qquad (۱۳)$$

تمامی دبی‌های شارش به فشار و دمای مشابهی ارجاع داده می‌شوند. بسته به کنترل شارش مورد استفاده درCPC مرجع، تصحیحات مختلفی انجام می‌شوند(پیوست خ).

یادآوری ۱- دبی شارش تحت تأثیر ترکیب گاز می‌باشد. برای جزئیات بیشتر پیوست خ رجوع شود.

یادآوری ۲- اندازه‌گیری شارش در اینجا براساس وابستگی تغییر دبی شارش به تغییر فشار ورودی به CPC مرجع تکرار شده است.

پ- اندازه‌گیری دبی شارش CPC مورد آزمون

دبی حجمی شارش CPC مورد آزمون را با قرار دادن دبی‌سنج کالیبره‌شده بین جداکننده و ورودی CPC مورد آزمون اندازه بگیرید. این مقداررا با مقدار گزارش شده توسط CPCمورد آزمون یا مقدار نامی آن مقایسه کنید. مورد اخیر وقتی استفاده می‌شود که دبی شارش گزارش نشده باشد یا وقتی از مقدار نامی مورد استفاده در CPC مورد آزمون برای محاسبهٔ عدد تراکم ذره استفاده شود. تفاوت درمشخصات اعلام شدهٔ CPC مورد آزمون توسط سازنده است. درغیر این‌صورت، تماس با مشتری الزامی است. اختلافات بیشتر ممکن است به مسائل دهانه یا پمپ CPC مورد آزمون مربوط باشند. این مقدار باید درگواهینامهٔ کالیبراسیون همراه گزارش CPC مورد آزمون یا مقدار نامی ثبت شود.

دما و فشار باید در تمام دبی‌های شارش ذکر شوند. بسته به کنترل شارش استفاده‌شده درCPC مورد آزمون، تصحیحات مختلفی استفاده می‌شوند (پیوست خ).

یادآوری۱- دبی شارش تحت تأثیر ترکیب گاز می‌باشد. برای جزئیات بیشتر پیوست خ رجوع شود.

یادآوری ۲- اندازه‌گیری شارش براساس وابستگی تغییر دبی شارش به تغییر فشار ورودی به CPC مورد آزمون تکرار شده است.

ت- سطوح صفر

ولتاژ DEMC راروی صفر (یا خاموش) تنظیم کنید.

قرائت‌های مربوط به تراکم CPC مورد آزمون باید با سطوحی که پیش از این اندازه‌گیری شده‌اند قابل مقایسه باقی بمانند (زیربندهای ۷-۲-۵ الف و۷-۲-۶ الف): حداقل برای ۲ دقیقه اندازه‌گیری کنید، مقادیر میانگین عددی در ۳۰ ثانیه (قرائت با فاصله زمانی یک ثانیه) باید کمتر از $1\ cm^{-3}$ باشد. درغیر اینصورت، در تنظیم کالیبراسیون نشتی ها را بررسی کنید. از دیگر دلایل افزایش سطوح صفر به عنوان مثال، تراکم بیش ازحد زیاد در ورودی DEMC یا اضافه بار یا شکسته شدن فیلترهای درون DEMC اشاره کرد.

اگر کالیبراسیونCPC مورد آزمون به تراکم‌های پایین مطابق پیوست (ح) گسترش یابد، تراکم اندازه‌گیری‌شدهٔ منتج از بررسی‌های مقدار صفر باید برای هردو CPC مرجع (که می تواند طبق پیوست ح به عنوان CPC ساختگی استفاده شود) و CPC مورد آزمون کمتر از $0{,}1\ cm^{-3}$ باشد. علاوه براین، به یک فیلتر HEPA اضافی موازی با اولی برای دستیابی به این تراکم‌های پایین ممکن است نیاز باشد.

ث- تعیین سطح کمینهٔ CPC مرجع

میانگین عددی و انحراف استاندارد اعداد تراکم ذره گزارش شده توسط CPC مرجع در۳۰ ثانیه (قرائت با فاصله زمانی یک ثانیه) را تعیین کنید. انحراف استاندارد را در۳ ضرب کرده وبه مقدارمیانگین عددی اضافه کنید:

$$(C_{N,ref})_{min} = (C_{N,ref})_{mean} + 3\sigma_{C_{N,ref}} \qquad (۱۴)$$

این مقدار را با پایین‌ترین تراکم درگواهینامهٔ کالیبراسیون آن مقایسه کنید. بزرگترین آن،کمینهٔ تراکم در ورودی CPC مرجع است که در کالیبراسیون (دراینجا " سطح کمینه" تعریف می شود) ممکن است استفاده شود.

یادآوری- یک انحراف استاندارد بزرگ [$\sigma_{CN,\mathrm{ref}} > > (C_{N,\mathrm{ref}})_{\mathrm{mean}}$] برای انفجار ذرات معمول است، که به عنوان مثال با تولید دوبارهٔ حباب از دیواره‌های لوله ایجاد می‌شود. تمیز کردن لوله‌های اتصال و تنظیم دوبارهٔ DEMC توصیه می شود.

همهٔ پارامترها را یادداشت کنید: قرائت‌های CPC مورد آزمون و مرجع، دبی شارش‌ها، فشارها، دماها، شارش تجدیدشده (اگر در دسترس باشد)، غلاف، دبی شارش‌های نمونه، رطوبت و غیره. تمام این اطلاعات در گواهینامهٔ کالیبراسیون گزارش می‌شوند (بند ۸ و پیوست پ رجوع شود).

۷-۳ روش کالیبراسیون کارآیی آشکارسازی

۷-۳-۱ کلیات

روش زیر اندازه‌گیری کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون را با اندازه و عدد تراکم کالیبره‌شدهٔ ذره توصیف می‌کند.

۷-۳-۲ تنظیم قطرDEMC

DEMC را طوری تنظیم کنید که اندازهٔ ذره از ذرات کالیبراسیون شدهٔ تک باری که DEMC را ترک می‌کنند با اندازهٔ دلخواه ذره برای کالیبراسیون مساوی باشد.

یادآوری- اکیدا" توصیه می شود که با یک اندازهٔ بزرگ شروع کنید (به نحوی که کارآیی آشکارسازیCPC مورد آزمون بیشینه باشد، یعنی کمینه ۳ برابر اندازهٔ لازم برای کارآیی پیش‌بینی شدهٔ ٪۵۰ باشد) و خطی بودن CPC مورد آزمون را بررسی کنید (یعنی تراکم‌های مختلف در اندازهٔ یکسان). سپس کارآیی آشکارسازی در بخش شیب‌دار منحنی مربوط، ممکن است افت کند. زیرا آزمون‌ها در این بخش از منحنی کارآیی، معمولا" نیاز به تنظیم توزیع اندازه دارند که با مولد و صرف زمان بیشتر میسر می‌شود.

۳-۷-۳ تنظیم آیروسل اولیه

آماده‌ساز آیروسل را طوری تنظیم کنید که تراکم آیروسل کالیبره‌شده با تراکم دلخواه برای اندازه‌گیری کارآیی آشکارسازی مساوی باشد. اگرچه تکمیل الزامات زیر ضروری است.

الف- کمینهٔ سطح

تراکم باید از کمینهٔ سطح CPC مرجع طبق فرمول (۱۴ در زیربند ۷-۲۷- ث) بالاتر باشد.

ب- بیشینهٔ سطح

تراکم از بیشینهٔ تراکم CPC مرجع بالاتر است. اندازه‌گیری تراکم CPC مرجع می‌تواند طبق آنچه که درگواهینامهٔ کالیبراسیون آمده است درحالت شمارش ذرهٔ منفرد انجام بگیرد.

مجموع عدد تراکم آیروسل اولیهٔ آماده شده، باید به اندازهٔ کافی باید پایین باشد تا رسیدن به تعادل بار پس از عبوراز آماده‌ساز بار میسر شود. بدین ترتیب مانع ایجاد انحراف درDEMC توسط ذرهٔ باردار می‌شود. روش بررسی آن درپیوست (ذ) آمده است.

پ- کسر ذرات با بار چندتایی Φ

درصورتی که CPC مورد آزمون به سطح پلاتوی (پایدار) کارآیی آشکارسازی خود رسیده است و CPC به عنوان دستگاه مرجع به کار می‌رود، نیازی به اندازه‌گیری کسر ذرات با بار چندتایی نیست.

وقتی در کالیبراسیون CPC مورد آزمون از ذرات با قطر کمی پایین‌تر ازحد آشکارسازی استفاده می‌شود و CPC به عنوان دستگاه مرجع به کار می‌رود، مقدار ذرات با بارچندتایی Φ باید ۰٫۱> باشد. کسر ذرات با بار p (ϕp) و فرمول ۱۵) طبق یکی از روش‌های توصیف شده در پیوست (ت) تعیین می‌شود. کسر ذرات با بارچندتایی (Φ) با فرمول(۱۶) محاسبه می‌شود. معیار Φ<۰٫۱ یک معیار قبول/مردود است؛ روش کالیبراسیون تا تکمیل این معیار نباید ادامه یابد. تنظیم حالت قطر یا روش انحراف استاندارد هندسی توزیع اندازهٔ آیروسل اولیه، می‌تواند Φ را افزایش دهد.

کسر ذرات با بارp ، ϕp ، درون آیروسلی که DEMC را ترک می‌کنند مطابق فرمول (۱۵) است:

$$\phi_P = C_N(d_p)/\sum_{p\geq 1} C_N\,(d_p) \qquad (۱۵)$$

$C_N(dp)$ تراکم ذرات با بار p

کسر ذرات با بارچندتایی، Φ ، با فرمول (۱۶) محاسبه می‌شود:

$$\Phi = \sum_{p\geq 2} \emptyset_p \qquad (۱۶)$$

یادآوری ۱- بار ذرات بسته به قطبش ولتاژ DEMC ، می‌تواند مثبت یا منفی باشد. دراین استاندارد، p عدد مطلق بارها محسوب می‌شود.

یادآوری ۲- توصیهٔ اکید شده است که اندازهٔ میانگین هندسی توزیع اولیه کوچکتر از اندازه‌ای باشد که کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون با آن ارزیابی شده است.

یادآوری ۳- اگر تنظیم پشت سرهم DEMC انجام شود (یعنی دو DEMC با یک آماده‌ساز با دربین آنها موازی هم باشند)، کسر ذرات با بارچندتایی،Φ ، به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

۷-۳-۴ اندازه‌گیری اریبی جداکننده β

اندازه‌گیری اریبی جداکننده را مطابق پیوست (چ) انجام دهید. اگر اریبی مشاهده‌شده بزرگتر از ۱٫۰۵ یا کوچکتر از ۰٫۹۵ باشد، هرگونه عدم یکنواختی در کالیبراسیون آیروسل را بررسی کنید.

۷-۳-۵ اندازه گیری کارآییCPC مورد آزمون

کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون را طبق مراحل زیر تعیین کنید.

الف- ثبت در ولتاژ صفر(خاموش) DEMC

ولتاژ را روی صفر یا خاموش تنظیم کرده وعدد تراکم گزارش‌شده توسط CPCهای مورد آزمون و مرجع را با قرائت با فاصله زمانی یک ثانیه و میانگین زمانی یک ثانیه برای مدت یک دقیقه ثبت کنید. میانگین عددی عدد تراکم گزارش شده توسط CPCهای مرجع و مورد آزمون را برای حداقل ۳۰ ثانیه از یک دقیقه فاصلهٔ زمانی اندازه‌گیری را محاسبه کنید.

میانگین عددی عدد تراکم CPCهای مرجع و مورد آزمون باید کمتر از $1\ cm^{-3}$ باشد، وگرنه اندازه‌گیری معتبر نیست. مولد یا سایر عوامل ایجاد ناپایداری را بررسی کرده و تکرار کنید.

ب- ثبت در اندازه و تراکم مشخص

عدد تراکم گزارش‌شده توسط CPCهای مورد آزمون و مرجع را با قرائت با فاصله زمانی یک ثانیه و میانگین زمانی یک ثانیه برای مدت حداقل ۱۸۰ ثانیه ثبت کنید. داده‌های ثبت‌شده را به شش بازهٔ زمانی مساوی از $i=1$ تا $i=2$ تقسیم کنید (برای مثال 6*30s اگر کل زمان ۱۸۰ ثانیه باشد). میانگین عددی $C_{N,\mathrm{CPC},i}$ و $C_{N,\mathrm{CPC,ref},i}$ و نیز انحراف استاندارد عدد تراکم گزارش‌شده با CPCهای مورد آزمون و مرجع را برای هر فاصلهٔ زمانی $i = 2$ تا $i =6$ محاسبه کنید.

در هر فاصلهٔ زمانی، هرکدام از CV یا انحراف استاندارد تراکم CPCهای مرجع و مورد آزمون باید به ترتیب کمتر از ٪۳ یا کمتر از $0{,}5\ cm^{-3}$ باشند. وگرنه اندازه‌گیری معتبر نیست. مولد یا دیگر منابع ناپایداری را بررسی کرده و تکرارکنید.

برای اعداد پایین تراکم (نامی کمتر از $103\ cm^{-3}$)، توصیه می‌شود از فواصل زمانی طولانی برای کاهش عدم قطعیت اندازه‌گیری استفاده شود. برای مثال، اعداد تراکم شاخص را که توسط CPCهای مرجع و مورد آزمون گزارش شده اند، هر ثانیه با میانگین زمان 1-sبرای ۱۲ دقیقه ثبت کنید. داده‌های ثبت شده را در ۶ بازهٔ زمانی

i از ۲ دقیقه جداکرده و میانگین عددی و انحراف استاندارد اعداد تراکم را برای پنج فاصلهٔ زمانی آخر از شش ۲ دقیقه را محاسبه کنید.

پ- محاسبهٔ کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون

درصورتی که آماده سازی آیروسل اولیه به طریقی صورت گیرد که کالیبراسیون آیروسل نتواند بار الکتریکی پایه (بارالکترون) داشته باشد، انجام تصحیحات ضروری است (پیوست ت).

پیوست (ت) هم‌چنین تأثیر بارهای چندتایی در تعیین اندازهٔ ذره را ارزش‌گذاری می‌کند.

اطلاعات گواهینامهٔ CPC مرجع درمورد هر یک ضریب تصحیح مورد نیاز CPC مرجع، با توجه به تراکم ظاهری آن باید قید شود (پیوست ت).

کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون $\eta_{\mathrm{CPC},i}$ را با استفاده از میانگین عددی تراکم بدست آمده در زیربندهای ۷-۶-۵ ب و فرمول پیوست (ت) محاسبه کنید:

- اگر اندازهٔ ذره در دامنه‌ای از کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون باشد که درآن اندازه ثابت فرض می‌شود (از گواهینامهٔ کالیبراسیون CPC مرجع) در فرمول (ت-۱۹) جایگزین کنید.

-اگر اندازهٔ ذره در دامنه‌ای از کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون باشد که اندازه متغیر فرض شود، با (و CN به دست آمده درپیوست ت)[7-3-3c] ،(7.3.4) $\eta_{\mathrm{CPC,ref},\beta}$ (ازگواهینامهٔ کالیبراسیون CPC مرجع) و یک برآورد ازکارآیی پلاتوی CPC مورد آزمون در فرمول‌های (ت-۱۴)،(ت-۱۶)و(ت-۱۷) جایگزین کنید.

در گواهینامهٔ کالیبراسیون روش مورد استفاده در محاسبه ثبت شود.

میانگین عددی کارآیی آشکارسازی و انحراف استاندارد $\sigma(\eta_{\mathrm{rep}})$آن را برای تراکم و اندازهٔ خاصی که در پنج اندازه‌گیری به کاربرده شدند $(i = 2 - 6)$ $\eta_{\mathrm{CPC},i}$ را محاسبه کنید. کالیبراسیون فقط هنگامی معتبر است که تمام پنج مقدار $\eta_{\mathrm{CPC},i}$ در محدودهٔ ۰٫۰۲ ± از میانگین عددی کارآیی آشکارسازی $\bar{\eta}_{\mathrm{CPC}}$ باشند.

۷-۳-۶ اندازه‌گیری تراکم ذرات مختلف

اگر یک تراکم متفاوت (هم‌اندازه) اندازه‌گیری شده است، تراکم آیروسل اولیه را تنظیم کنید (به زیربند ۷-۳-۳ و سپس زیربند ۷-۳-۵ مراجعه کنید). ضرورتی به تکرار اندازه‌گیری کسر ذرات با بار چندتایی (زیربند ۷-۳-۳ پ) نیست. توجه داشته باشید که اریبی شکافنده (زیربند ۷-۳-۴) و دبی شارش CPC مرجع (زیربند ۷-۲-۷ب) نباید آزمون شوند. برای تراکم‌های پایین‌تر از بیشینهٔ سطح، نیازی به بررسی دوبارهٔ آماده‌ساز بار نیست (زیربند ۷-۳-۳ ب) اگر کالیبراسیون CPC باید در تراکم‌های پایین‌تر از کمترین تراکمی که CPC مرجع براساس آن گواهی شده است، انجام شود روش توصیفی در پیوست (ح) می‌تواند پیروی شود.

اگرتنظیم دبی شارش DEMC ضروری است، دبی شارش ورودی CPCهای مورد آزمون و مرجع را اندازه‌گیری کنید (به زیربند ۷-۲-۷ رجوع شود).

۷-۳-۷ اندازه‌گیری اندازه‌های مختلف

اگر یک اندازهٔ متفاوت ذره باید آزمون شود زیربند ۷-۳-۲ رجوع شود. دراین حالت تمام مراحل از زیربندهای ۷-۳-۳ تا ۷-۳-۶ باید طی شوند.

اگرتنظیم دبی شارش DEMC ضروری باشد، دبی شارش ورودی CPCهای مرجع ومورد آزمون را اندازه‌گیری کنید (به زیربند ۷-۲-۷ رجوع شود).

یادآوری ۱- اگر کارآیی آشکارسازی یک اندازه، در بخش شیبدار منحنی مربوط آزمون می‌شود (یعنی بدون بررسی خطی‌بودن)، توصیه می‌شود این کار در تراکمی انجام شود که اصلاح CPC مورد آزمون ٪ ۱> باشد.

یادآوری ۲- اکیدا" توصیه شده است که تمام آزمون‌های کارآیی آشکارسازی برروی یک مورد آزمون مشابه، با عدد تراکم تقریبا" یکسان ذرات ولی با اندازه های متنوع انجام شوند. این کار مانع هرگونه تأثیر پاسخ غیرخطی CPC خواهد شد.

یاداوری ۳- درصورت به کارگیری تراکم، باید به تراکم‌هایی که حالت اندازه‌گیری CPC مرجع تغییر می‌کند (همانطور که در دستورالعمل سازنده آمده است)، توجه کرد. به این ترتیب از ناپیوستگی‌ها می توان جلوگیری کرد.

۷-۳-۸ تکرار اولین نقطهٔ اندازه‌گیری

وقتی نقاط متعددی آزمون می‌شوند، یا وقتی ابزار اندازه گیری خاموش بودند یا هنگامی که نقصی رخ داده است، اندازه‌گیری کارآیی آشکارسازی با اولین گروه از پارامترهای آیروسل باید تکرارشود (یعنی تراکم واندازه). این مورد شامل تعیین کسر ذرات با بار چندتایی می شود. تفاوت بین دو کارآیی آشکارسازی باید در محدودهٔ ۰٫۰۲۵ ± باشد. علاوه براین، دبی‌های شارش CPCهای مرجع و مورد آزمون باید در محدودهٔ ٪۵ از اندازه‌گیری‌های اصلی خود در زیربند ۷-۲-۷ باشند. درغیر این‌صورت، تمام آزمون‌ها بی‌اعتبار خواهند بود.

یادآوری- تکرار اولین نقطه می‌تواند به عنوان مثال، پس از ۳ آزمون یا حتی بیشتر انجام شود. با این‌حال، با انجام بیش از ۵ آزمون احتمال شکست تمام اندازه‌گیری ها بیشتر می‌شود(بستگی به اختلاف بالاتر از ۰٫۰۲۵ بین دونقطهٔ اول وآخر دارد).

۷-۳-۹ تهیهٔ گواهینامهٔ کالیبراسیون

گواهینامهٔ کالیبراسیون را پر کنید (به بند ۸ وپیوست پ رجوع شود). به این ترتیب، اندازه‌گیری‌های تعیین کارآیی آشکارسازی CPC مرجع تکمیل می‌شوند.

۷-۴ عدم قطعیت اندازه‌گیری

۷-۴-۱ کلیات

نتیجهٔ کالیبراسیون CPC در یک اندازهٔ خاص از ذره، یک عدد خاص از تراکم ذره، برای یک نوع خاص از ذرات تولیدشده، کارآیی آشکارسازی η را نتیجه می‌دهد. الزامات مقادیر اصلی عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری شده اندازهٔ ذرات و کارآیی آشکارسازی می‌باشند که در زیربندهای ۷-۴-۲ و۷-۴-۳ آمده است. عدد تراکم ذرات اهمیت کمتری دارند و بخش بزرگی ازعدم قطعیت آن با کارآیی آشکارسازی پوشش داده می‌شود (به زیربند ۷-۴-۴ رجوع شود).

۷-۴-۲ اندازهٔ ذره

ارتباط بین اندازهٔ ذره و کالیبراسیون، با به کارگیری DEMC در کالیبراسیون آیروسل در هر دو دستگاه تعیین می‌شود. اندازهٔ ذره و عدم قطعیت اندازه‌گیری آن باید با استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰، منطبق باشد.

کسر قابل ملاحظه ای از ذرات با بار چندتایی در کالیبراسیون آیروسل، حاکی از وجود تعداد بسیار زیادی از ذرات با اندازه‌های بزرگتر از اندازهٔ انتخابی است. کسر ϕp که با توجه به پیوست (ت) تعیین‌شده است، باید در گواهینامهٔ کالیبراسیون ثبت شود. درصورت عدم تعیین کسر، باید درگواهینامه مقیاس هر گونه تأثیرات مرتبط که از سامانه انتظار می‌رود ذکر شود.

۷-۴-۳ کارآیی آشکارسازی

عدم قطعیت درکارآیی آشکارسازی اصولا" نتیجهٔ دخالت عوامل زیر است:

CPC مرجع (مانند آنچه درگواهینامه آمده است)،

تصحیح بار چند تایی

تفاوت در تراکم ذرات نمونهٔ CPCهای مرجع و مورد آزمون (ضریب تصحیح اریبی شکافنده)،

دقت و تغییرات اندازه‌گیری دبی شارش ورودی CPC مرجع،

تکرار پذیری کالیبراسیون کارآیی آشکارسازی،

تأثیر عدم قطعیت در تعیین اندازهٔ ذره (وقتی اندازهٔ ذره درحدی است که کارآیی آشکارسازی CPC را تحت تأثیر جدی قرار می‌دهد).

طبق آنچه در زیربند ۷-۱ آمده است، گواهینامهٔ کالیبراسیون CPC مرجع باید منقضی نشده باشد و دامنهٔ عدد تراکم ذره که براساس آن کالیبراسیون معتبراست مشخص شده باشد. گواهینامه، عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌های عدد تراکم ذره را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که این موضوع اغلب به صورت عدم قطعیت گستردهٔ ($k = 2$ وبا ضریب اطمینان ٪۹۵) مقادیر بیان خواهد شد، درحالیکه عدم قطعیت باید در محدودهٔ مقادیر استاندارد ($k = 1$) آن باشد.

درمنطقهٔ پلاتوی کارآیی آشکارسازی هیچگونه تصحیح بار چندتایی دیده نمی‌شود (پیوست ت-۱)، بنابراین مؤلفهٔ عدم قطعیت در این مورد صفر است. موارد پیچیده‌تری که از منطقهٔ پلاتو فاصله دارند، تحت پوشش این استاندارد نیستند.

روش محاسبهٔ ضریب اریبی شکافنده β و عدم قطعیت آن درپیوست (چ) آمده است.

اگر شارش ورودی به CPC مرجع در زمان کالیبراسیون CPC مورد آزمون با آنچه که در زمان کالیبراسیون CPC مرجع متفاوت باشد؛ یک اثر متناسب در تعیین کارآیی آشکارسازی وجود خواهد داشت. شارش‌های هرکدام از موارد با دبی‌سنجهای کالیبره‌شده باید اندازه‌گیری شود (مطابق زیربند ۷-۲-۷ ب) و در رواداری مشخص‌شده قرار بگیرند. عدم قطعیت مرتبط با شارش CPC مرجع با این رواداری تنظیم می‌شود. باکاهش متعاقب درعدم قطعیت، تصحیح برای شارش‌های مختلف می‌تواند صورت بگیرد، ولی این استاندارد برای آن کاربرد ندارد.

پنج اندازه‌گیری تکرارشده که در زیربند ۷-۳-۵ ت مشخص شده‌اند از اندازه‌گیری کارآیی آشکارسازی، یک تکرارپذیری کوتاه مدت برآورد می‌کنند. محاسبهٔ عدم قطعیت، انحراف استاندارد اندازه‌گیری‌های تکراری را شامل می‌شود.

درمواردی که عدم قطعیت با اندازهٔ ذره مرتبط است، تأثیری قابل توجه برعدم قطعیت کارآیی آشکارسازی دارد. راهنمای این تأثیرات در پیوست (ز) آمده است.

جدول(۵) خلاصه‌ای از محاسبهٔ عدم قطعیت در کارآیی آشکارسازی است.

جدول ۵- مؤلفه‌های عدم قطعیت نسبی برای کالیبراسیون با CPC مرجع

مؤلفه‌ها	نماد	مرجع	توضیحات
CPC مرجع	$ur(RCPC)$	برگرفته از گواهینامهٔ CPC مرجع	به صورت درصد بیان می‌شود
ضریب تصحیح اریبی شکافنده	$ur(\beta)$	پیوست (چ)، فرمول (چ-۸) (اشاره به شارش‌های نامساوی درپیوست (چ)	به صورت درصد بیان می‌شود یعنی $ur(\beta) = 100\ u(\beta)/\beta$
انحراف دبی شارش CPC مرجع	$ur(q_{CPC,ref})$	۷-۲-۷ ب	به صورت درصد بیان می‌شود
تکرارپذیری	$ur(\eta_{rep})$	۷-۳-۵ ت	به صورت درصد بیان می‌شود یعنی $ur(\eta rep) = 100\sigma(\eta rep)/\eta CPC$

تمام مؤلفه‌ها برطبق انحراف استاندارد، درحالت عدم قطعیت استاندارد هستند.

عدم قطعیت استاندارد مربوط با فرمول (۱۷) مشخص می‌شود:

$$u_{C,r}(\eta) = \sqrt{u_r^2(RCPC) + u_r^2(\beta) + u_r^2(q_{CPC,ref}) + u_r^2(\eta_{rep})} \qquad (۱۷)$$

عدم قطعیت گسترش نسبی $Ur(\eta)$ با ضرب عدم قطعیت استاندارد مربوط در ضریب هم پوشانی k: $Ur(\eta) = k\ uc,r(\eta)$ حاصل می‌شود. معمولا" از مقدار $k = 2$ استفاده می‌کنند.

۷-۴-۴ عدد تراکم ذره

عدد تراکم ذرهٔ گزارش شده در گواهینامهٔ کالیبراسیون CPC، وقتی که انتظار می رود پاسخ آن غیرخطی باشد، به عنوان مثال هنگام تغییر بین حالات اندازه‌گیری دستگاه، اطلاعات نسبی نتیجه می‌دهد. تراکم گزارش شده در گواهینامه، میانگین عددی تراکم ثبت‌شده توسط CPC مرجع است که پس از انجام تصحیحات بر روی شارش CPC حاصل می‌شود. تخمین عدم قطعیت در این مورد ضرروتی ندارد. انتظار می‌رود عدم قطعیت کمی کمتر از عدم قطعیت کارآیی آشکارسازی باشد و مانند تمام مؤلفه‌ها به جز ضریب تصحیح اریبی شکافنده استفاده شود.

عدم قطعیت مختص به اندازه‌گیری‌های انجام شده با CPC مورد آزمون پس ازکالیبراسیون، موضوع پیچیده‌تری است که در پیوست (ز) آمده است.

۸ گزارش نتایج

گزارش کالیبراسیون یک CPC مورد آزمون شامل اطلاعات زیر است:

الف- توصیف CPC مورد آزمون: سازنده، مدل، شمارهٔ سریال و تنظیمات پارامتر داخلی؛

ب- توصیف ابزارمرجع (CPC یا FCAE): سازنده، مدل، شمارهٔ سریال و تنظیمات پارامتر داخلی، گواهینامهٔ کالیبراسیون مرجع و تاریخ انقضا؛

پ- توصیف مولد آیروسل: نوع ذره، ترکیب گاز، روش و تمام پارامترهای مرتبط؛

ت- تصحیحات انجام‌شده برروی خوانده ابزار مرجع، به عنوان مثال اگر شارش اندازه‌گیری‌شده متفاوت از شارش گواهینامه باشد؛

ث- دبی شارش CPC مورد آزمون درزمان کالیبراسیون، همراه اندازه‌گیری عدم قطعیت خود؛

ج- توصیف و تاریخ آخرین کالیبراسیون دبی‌سنجهای مورد استفاده؛

چ- دما وفشار آزمایشگاه در زمان کالیبراسیون؛

ح- فشار کالیبراسیون آیروسل؛

خ- نتیجهٔ بررسی صفر CPC مورد آزمون؛

د- قطبش کالیبراسیون آیروسل و کسرهای اندازه‌گیری‌شدهٔ ذرات با بار دوتایی وسه‌تایی درکالیبراسیون آیروسل؛

ذ- شرح روش مورداستفاده درمحاسبهٔ کارآیی آشکارسازی (این ممکن است به بخش های این استاندارد اشاره کند)؛

ر- نتایج کالیبراسیون: کارآیی آشکارسازی (همراه با اندازه گیری عدم قطعیت آن) با اندازهٔ معلوم ذره (همراه اندازه‌گیری عدم قطعیت آن) و تراکم ذره؛

ز- پیشنهاد تاریخ انقضای گواهینامهٔ کالیبراسیون؛

ژ- سایر اطلاعات مرتبط.

قالب پیشنهادی برای گزارش نتایج کالیبراسیون درگواهینامه ها در پیوست (پ) آمده است.

پیوست الف
(اطلاعاتی)
ویژگی‌های عملکردی CPC

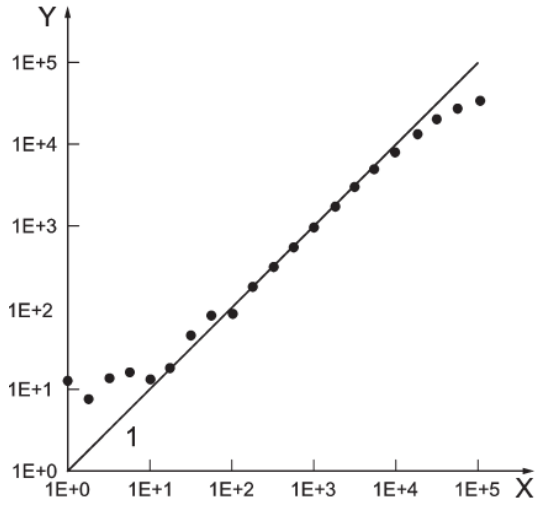
الف-۱ کلیات

بندهای ۶ و ۷ این استاندارد، روش تعیین کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون را با اعداد تراکم متفاوت از ذرات از یک اندازه یا بیشتر توضیح می‌دهند. موضوع این پیوست، شرح ویژگی‌های اصلی است که عملکرد CPC را توضیح می‌دهند (به بند الف-۲ رجوع شود). هم‌چنین، توصیف چگونگی کسب اطلاعات کالیبراسیون در تراکم‌ها و اندازه‌های متعدد ذرات که برای مشخص کردن CPC با پارامترهای کم (یعنی شیب از پلاتو و حدکارآیی پایین‌تر) (الف-۳) مفید می‌باشند، در این پیوست آمده است. این داده‌ها فقط اطلاعاتی هستند. ارزیابی مناسب از داده‌ها درهر مورد متفاوت بوده و فقط کاربر می‌تواند درمورد استفاده از این اطلاعات تصمیم بگیرد.

الف-۲ ویژگی‌های اصلی عملکردی CPC

شکل الف-۱ یک رابطهٔ عادی بین تراکم واقعی و تراکم گزارش‌شده توسط CPC را توصیف می‌کند. در میانهٔ شکل و در محدودهٔ تراکم این ارتباط خطی است، یعنی کارآیی آشکارسازی ثابت می‌باشد. با کاهش تراکم شمارش ذرات به ندرت صورت می‌گیرد و این یعنی آغاز پراکندگی در تراکم گزارش‌شده. در پایین‌ترین حد تراکم، به دلایلی نظیر نشتی‌های کوچک در CPC یا کثیفی اپتیک‌ها ممکن است تراکم گزارش‌شده توسط CPC بزرگتر از تراکم واقعی باشد (شمارش نادرست). شمارش نادرست می‌تواند با تراکم‌های بسیار بالاتر نیز رخ دهد،اگر دلایل این نشتی‌ها گسترده یا هسته همگن باشند. ازسوی دیگر درمحدودهٔ تراکم های بالاتر اگر تصحیح تصادفی دردسترس نبوده یا خاموش باشد، تراکم گزارش شده به دلیل از دست دادن شمارش تصادفی، دربرابر تراکم واقعی اهیمت خود را از دست می‌دهد. بخش خطی با اصلاح تصادفی مناسب می‌تواند به تراکم‌های بالاتر گسترش یابد.

یادآوری- ارتباط با اندازه و نوع ذره تغییر می‌کند.



راهنما

X تراکم واقعی (cm^{-3})

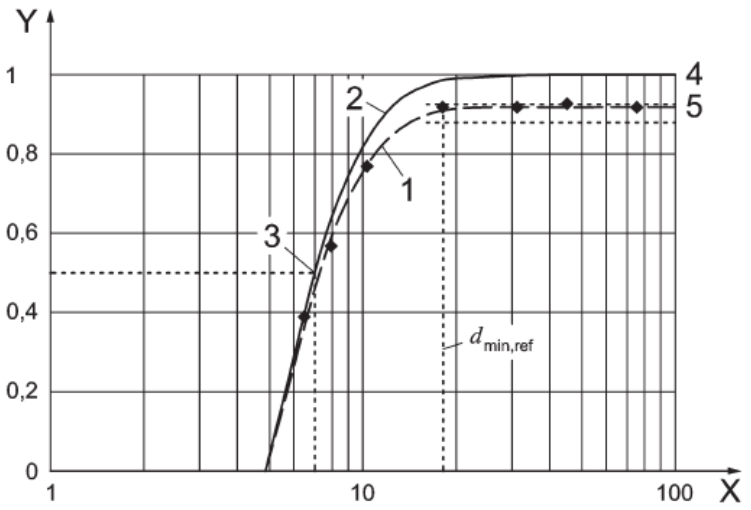
Y تراکم (cm^{-3}) گزارش شده توسط CPC تحت کالیبراسیون

۱ ۱:۱ خط

شکل الف۱ - رابطهٔ بین تراکم واقعی و گزارش شده توسط یک CPC درحالت شمارش ذرهٔ منفرد با به رسم شمارش‌های نادرست وشمارش های تصادفی ازدست داده، برای ذرات با اندازه و نوع داده‌شده

شکل الف۲ یک وابستگی معمولی بین اندازه و کارآیی آشکارسازی یک CPC را نشان می‌دهد. دراندازه‌های بزرگتر کارآیی آشکارسازی تقریبا" ثابت باقی می‌ماند (کارآیی پلاتو). با کاهش اندازهٔ ذره این کارآیی افت کرده و به صفر می‌رسد، چون بخار نمی‌تواند بیش از این متراکم شود. کارآیی پلاتو معمولا" نزدیک ٪۱۰۰ است. اندازه‌ای که درآن این کارآیی به ٪۵۰ می‌رسد حد آشکارسازی پایین‌تر یا اندازهٔ برش می‌نامند. هم‌چنین دراین شکل حد پایین‌تر کارآیی پلاتو، $d_{\mathrm{min,ref}}$ ،(زیربند ۳-۲۱) که CPC مرجع را شامل می‌شود، نشان داده شده است.

یادآوری- اندازه با تراکم ونوع ذره وابستگی دارد



راهنما

1 منحنی کارآیی

2 منحنی نرمال

3 حد آشکارسازی پایین تر

4 پلاتوی نرمال

5 پلاتو

X قطرذره (nm)

Y کارآیی آشکارسازی

شکل الف۲- وابستگی کارآیی آشکارسازی یک CPC مرجع به اندازهٔ ذره با نوع و تراکم معین ذره

الف-۳ مثال‌ها

بخش‌های زیر چگونگی محاسبهٔ ویژگی‌های اصلی یک CPC مبتنی بر کارآیی‌های آشکارسازی تجربی را توضیح می‌دهند. جدول الف۱ کارآیی‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

جدول الف۱ - نتایج مقایسهٔ یک CPC مورد آزمون با یک CPC مرجع

d [nm]	$C_{N,\mathrm{CPC,ref}}$ [cm^{-3}]	$C_{N,\mathrm{CPC}}$ [cm^{-3}]	$C_{N,\mathrm{CPC}}/C_{N,\mathrm{CPC,ref}}$
90	11 944,7	11 184,9	0,94
90	10 422,6	9 827,8	0,94
90	8 267,9	7 809,3	0,94
90	4 448,8	4 191,1	0,94
90	609,2	5 71,4	0,94
90	13,3	12,4	0,93
90	5,9	5,5	0,93
90	2 305,0	2 176,2	0,94
90	10 104,6	9 510,0	0,94
75	8 380,2	7 807,8	0,93
55	4 073,9	3 671,3	0,90
55	5 157,7	4 634,6	0,90
41	5 422,9	4 533,6	0,84
23	2 521,8	1 074,6	0,43

d [nm]	$C_{N,\mathrm{CPC,ref}}$ [cm^{-3}]	$C_{N,\mathrm{CPC}}$ [cm^{-3}]	$C_{N,\mathrm{CPC}}/C_{N,\mathrm{CPC,ref}}$
15	778,1	1,4	0,00
28	3 565,4	2 217,7	0,62
41	5 408,5	4 531,1	0,84
37	5 036,2	4 029,7	0,80
23	2 469,0	1 051,4	0,43

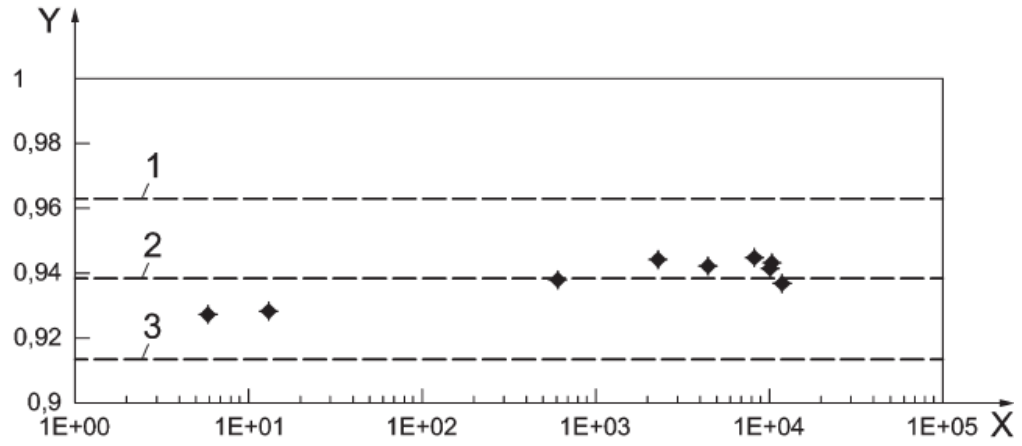
الف-۳-۱ خطی بودن

یک نکتهٔ مهم در اطلاعات، خطی بودن یا نبودن پاسخ CPC مورد آزمون در زمان انجام کالیبراسیون است. این مورد از مقایسهٔ CPC مورد آزمون با دستگاه مرجع دراعداد تراکم مختلف ذره، با استفاده از اندازه در پلاتو. برای مثال، برای دامنهٔ کالیبراسیون بین و104 cm^{-3} تراکم مشاهده شده می‌تواند ۲۰۰۰ cm^{-3},۱۰۰۰ cm^{-3} ۸۰۰۰، ,۶۰۰۰ cm^{-3}, ۴۰۰۰ cm^{-3} (به‌کاربردن یک FCAE به عنوان دستگاه مرجع) یا 10, 100, 1000, 5000, 10000 cm^{-3}(استفاده از یک CPC مرجع به عنوان دستگاه مرجع) باشد.

الف-۳-۱ نمودار مانده[1]

اولین گام طراحی نسبت های عدد تراکم CPC مورد آزمون به دستگاه مرجع، به عنوان کار تراکم دستگاه مرجع است(مرجع [۲۲]). نمودار یک ارزیابی صحیح چشمی از رفتار داده‌ها و ارتباط آنها را نتیجه می‌دهد. به آسانی می‌توان از طرح نوع ارتباط بین دستگاه‌ها درصورت وجود را دریافت.

همچنین اگر تمایلی به تعویض میزان اختلاف‌ها با مقدار اندازه‌گیری هست و اگر هرگونه دورافتادگی باشد؛ طرح آن را به وضوح نشان می‌دهد (مرجع [۱۲]). خط مورب CPC مورد آزمون برابر است با میانگین عددی نسبت دو دستگاه (CPC مورد آزمون /مرجع) منهای ۱. اگر اختلاف‌ها به طور عادی پخش شده باشند، ٪۹۵ آنها بین میانگین عددی $2\ s \pm$ از نسبت‌ها قرار می‌گیرند. با این‌حال، یک طرح آماری نرمال احتمالی نیز برای ارزیابی نرمال لازم است. آنچه که معمولا" انجام می شود این است که برخی از حدود براساس اختلاف‌های قابل قبول از میانگین عددی قرار می‌گیرند. شکل الف۳ این نمودار را برای داده‌های مثال جدول الف۱ با حدود پیش‌تعریف‌شدهٔ ٪ ۲٫۵ ± با ارزیابی خطی بودن نشان می‌دهد. حدود برای هر موردی می‌توانند متفاوت باشند.



راهنما

تغییرپذیری قابل قبول:

1 میانگین +۰٫۰۲۵ = ۰٫۹۶۳ X $C_{N,\mathrm{CPC,ref}}$ [$\mathrm{cm^{-3}}$]

2 میانگین = ۰٫۹۳۸ Y $C_{N,\mathrm{CPC}/CN,\mathrm{CPC,ref}}$ [-]

3 میانگین – ۰٫۰۲۵ = ۰٫۹۱۳

شکل الف۳ – نسبت‌های CPC مورد آزمون به دستگاه‌های مرجع به عنوان یک تابع از تراکم دستگاه‌های مرجع (داده‌های جدول الف۱) میانگین عددی ۰٫۹۳۸ می باشد.

لازم به ذکر است که برای استفاده از این روش، ابتدا باید تأیید شود CPC مرجع خطی است. وگرنه یک خطی بودن ظاهری از دو CPC ممکن است حاصل بروز خطا درهر دو باشد. این خطا نتیجهٔ یک انحراف عمومی در طراحی دستگاه است. همچنین باید توجه کرد که درصورت تشابه عدم قطعیت دو دستگاه، در طراحی تفاوت برای هر روش طوری که این تفاوت به هرکدام مستقلا" مربوط شود، اشتباه رخ می دهد؛ به یک پدیدهٔ آماری

۱ - نموداری است که مانده‌ها را روی محور عمودی و متغیرهای مستقل را روی محور افقی نشان می‌دهد

شناخته‌شده مرتبط است (مرجع [۱۱]). با این‌حال، اگر فقط میانگین عددی محاسبه شود هیچ تأثیری بر نتیجه نخواهد داشت. علاوه براین، به دلیل دامنهٔ گستردهٔ تراکم و نیز اختلاف کوچک بین دو اندازه‌گیری، این اثر دراین مورد اهمیت ندارد.

شکل الف۴ چهار مورد معمولی را نشان می‌دهد(مرجع [۲۰] و [۲۴]).

- وقتی دو روش تطابق عالی نشان می‌دهند، نسبت حدود ۱ خواهد بود (انحراف کوچک) و پراکندگی نسبت‌ها باریک (دقت خوب) (مثلث‌ها درشکل الف۴).

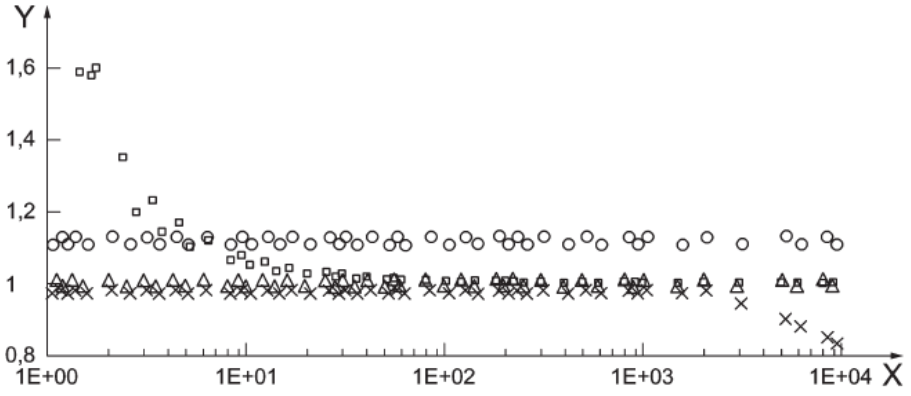
- وقتی نسبت متفاوت از ۱ (وجود انحراف) ولی دقت خوب باشد، ضریب تصحیح معمولا" مسئله را حل می‌کند (دایره ها درشکل الف۴). معمولا" این اتفاق به دلیل کالیبراسیون نادرست ابتدایی است، که از لغزش سامانهٔ کنترل‌کنندهٔ شارش CPC یا اشباع‌کننده ناشی می شود (مرجع [۲۴]).

- انحراف در یکی از روش‌ها، بامربع درشکل الف۴ نشان داده می شود. درتراکم‌های بسیار پایین، یک CPC ممکن است تراکمی بالاتر از تراکم واقعی را نشان دهد (شمارش نادرست)که می‌تواند ناشی از به عنوان مثال نشتی های کوچک درCPC باشد یا آلودگی اپتیک‌ها.

- درنهایت وقتی درمحدودهٔ تراکم های بالا اختلافی دیده شود، درشکل الف۴ با x نشان داده می‌شود. وقتی دو ذره یا بیشتر از اپتیک‌های CPC عبور می‌کنند شمارش فقط یک ذره را نشان می‌دهد؛ برای این مورد یا تصحیح تصادفی خاموش است یا به اشتباه کالیبره شده است.

پراکنش بالاتر داده‌ها حاکی از دقت نسبتا" محدوداست (شکلی نشان داده نشده است). معمولا" در تراکم‌های پایین رخ می‌دهد وقتی تعداد ذرات در اپتیک کمتر شود.

توجه کنید که وابستگی درمیانه درتمام موارد معمولا" خطی است و تأثیر انحراف یا تصادف کمترین است. برای این منظوردرصورت امکان بر کالیبراسیون CPC دراین محدوده توصیهٔ اکید شده است. بالاخره باید متذکر شد که وابستگی‌های بالا با اندازهٔ ذره ونوع آن تفاوت می‌کند (پیوست ب رجوع شود).



راهنما

△ تطابق عالی

X $C_{N,\mathrm{CPC,ref}}$ [$\mathrm{cm^{-3}}$]

Y $C_{N,\mathrm{CPC}/CN,\mathrm{CPC,ref}}$ [–]

○ نسبت ثابت (جبران)

□ با انحراف

× تصادف

شکل الف۴ - پارامترهای معمولی از نمودارمانده با دقت خوب

الف-۳-۱-۲ محاسبهٔ اندازهٔ نمونه

هدف اصلی از محاسبهٔ اندازهٔ نمونه، بالابردن شانس آشکارسازی یک اثر آماری شاخص است.به بیان دیگر بررسی دو دادهٔ دلخواه میانگین عددی نمونهμ_1 وμ_2 تفاوت قابل توجهی بکنند. فرض اساسی براین است که داده‌های میانگین عددی نمونه توزیع نرمالی دارند.

برای هرگروه از نمونه‌ها با اندازه‌گیری مداوم، اندازهٔ نمونهٔ مورد نیازبا مشخص‌کردن مقادیر زیر تعیین می‌شود (مرجع [۱۳] و[۱۷]).

- انحراف استاندارد واقعی σ مربوط به مقدار واقعی μ که با انحرافات استاندارد میانگین عددی نمونه s تخمین زده می‌شود،
- اختلاف مرتبط مثبت δ بین دو میانگین ریاضی،
- سطح معنی‌داربودن α،
- نیروی $\beta - 1$.

سطح معنی داربودن α احتمال غفلت از یک اختلاف واقعی را ارزشیابی کمّی می‌کند، درحالی‌که β احتمال رواداری یک اختلاف نه چندان شاخص را اندازه گیری می‌کند؛ پس نیروی $\beta - 1$ احتمال رواداری یک اختلاف شاخص است.

یک اندازهٔ کمینهٔ n از نمونه می تواند به عنوان پایین ترین عدد صحیح نامساوی را تکمیل کند.

$$n > [(z_{1-\alpha} + z_{1-\beta})/\varepsilon]^2 \qquad \text{(الف-۱)}$$

$z_{1-\alpha}$ and $z_{1-\beta}$ درصدهای مربوط از توزیع نرمال؛ و

ε اثر اندازهٔ آن است.

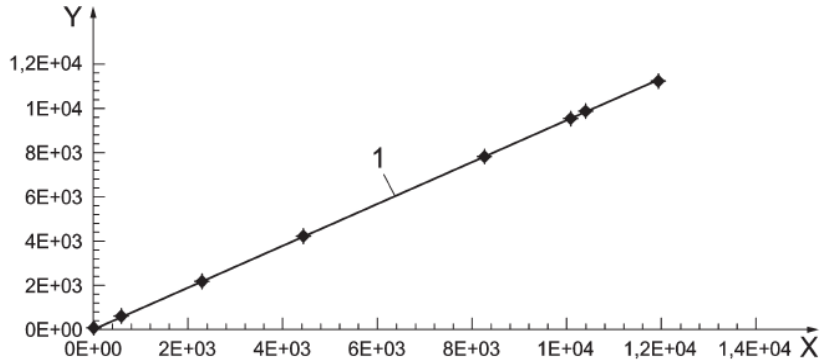
$$\varepsilon = \frac{\delta}{s} \qquad \text{(الف-۲)}$$

معمولا" در آزمون فرضیهٔ آماری، سطح معنی داربودن α از۰٫۰۵ و توان از ۰٫۸ به کار می‌روند (با ۱٫۶۵ و ۰٫۸۴۲ بترتیب برای 95 درصد و 20 درصد). دراین مثال یک اندازهٔ اثر ۰٫۵= □ (یک اثر میانگین در آمار) نیاز به اندازهٔ نمونه از ۲۵ دارد. با کاهش ε، اندازهٔ نمونه افزایش می یابد. بنابراین، آشکارسازی اختلاف‌های کوچک ولی شاخص در نمونه به معنی نیاز به اندازه‌های بزرگی از نمونه است.

الف- ۳-۱-۳ رگرسیون خطی

اگر طرح مانده یک ارتباط خطی بین CPC مورد آزمون و دستگاه مرجع نشان دهد، دراین‌صورت رگرسیون خطی (تجزیه و تحلیل رگرسیون کمترین تقریب مربع معمولی، مگر مشخص شده باشد) می تواند مورد استفاده قرار بگیرد(محورx تراکم دستگاه مرجع است ومحورy تراکم CPC مورد آزمون). توجه کنید که برای بدست آوردن نتایج بدون انحراف از رگرسیون خطی شرایط زیر باید رعایت شوند(۱۴) : (i) مقادیرx (دستگاه مرجع) با خطای ناچیزسنجیده می شوند؛(ii) ارتباط بین هرx (دستگاه مرجع) و y (CPC مورد آزمون) خطی است؛(iii) خطاهای پی درپی (اختلاف بین x و y) همبسته نیستند(مستقل)؛(iv) مغایرت شرایط خطا برای هرمقدارازx ثابت است؛ (v) شرایط خطا توزیع عادی دارند. آزمون فرض با طراحی مانده دربرابرx صورت می گیرد(اختلاف بین مقدار y و مقدار پیش بینی شدهٔ y) (مشابه شکل الف-۳). هنگامی که یکی ازمفروضات نقض می شود، تبدیل داده ها می تواند مفید باشد ((مرجع [۲۱]).

معمولا" در رگرسیون انحراف درنتایج CPC با اختلاف شیب از یک تعیین می‌شود. دقت در اندازه‌گیری‌های تکی از انحراف استاندارد مناسب مانده به دست می‌آید. انحراف سامانه تحت کالیبراسیون با مقدار انحراف از مبدأ مشخص می شود. معکوس شیب به عنوان ضریب تصحیح CPC بکار می رود (بنابراین مقدار پلاتو به ۱ می‌رسد). کمیت کلیدی دیگر، عدم قطعیت درشیب، از فرمول های تجزیه و تحلیل رگرسیون به دست می‌آید که می‌توان آن را در بسته‌های آماری یا نوشتاری جست‌وجو کرد. اگر CPC به درستی کار کند نباید هیچ انحرافی داشته باشد؛ در این‌صورت خط رگرسیون به طور معمول از طریق صفر تحت فشار قرار می‌گیرد. شکل الف۵ نمودار رگرسیون را برای داده‌های جدول الف۱ نشان می‌دهد.چون هیچ انحرافی وجود ندارد رگرسیون از طریق صفر تحت فشار است.



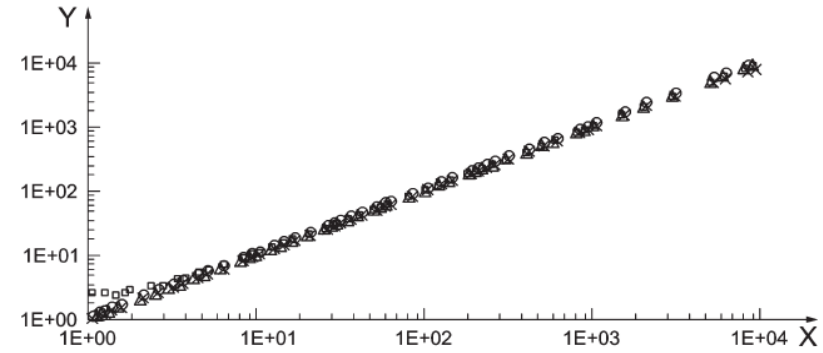
راهنما

1 رگرسیون خطی — X *CN*,CPC,ref [cm^{-3}]

Y = 0,940 7 X; R2 = 1 — Y *CN*,CPC [cm^{-3}]

شکل الف۵ - طرح رگرسیون خطی ساده بین مورد آزمون و دستگاه مرجع (داده‌ها از جدول الف-۱) شیب ۰٫۹۴۰۷

موارد شکل الف۴ درشکل الف۶ در دستگاه مرجع نشان داده شده‌اند. نمودار CPC مورد آزمون. تشخیص هر گونه رفتار غیر ایده‌آل براساس دامنهٔ بزرگ تراکم که CPCها اندازه‌گیری کردند، مشکل است.



راهنما

تطابق عالی — X *CN*,CPC,ref [cm-3]

نسبت ثابت (جبران) — Y *CN*,CPC [cm-3]

همراه انحراف

تصادفی

شکل الف۶ - الگوهای نمونه از رفتارCPC غیرایده‌آل ها (شکل الف-۴ و بحث مربوط)

الف-۳-۱-۴ ارزیابی خطی بودن CPC

دو ضریب تصحیح با دو روش مورد استفاده می‌توانند محاسبه شوند: یکی میانگین عددی نسبت‌های دو دستگاه (شکل الف۳ ، ۰٫۹۳۸) ودیگری شیب از رگرسیون خطی بین دو دستگاه (شکل الف۵،۰٫۹۴۰۷). وقتی پاسخ CPC مورد آزمون خطی است و دیگر مفروضات اساسی رگرسیون خطی دیده شدند، نتایج رگرسیون از نظر آماری بهینه هستند؛ با این‌حال برای گروه داده هایی که با فواصل نسبتا" مساوی اندازه‌گیری شده‌اند، دو نتیجه

اغلب تقریبا" یکسان خواهند بود. چون شیب برآوردشده از آنالیز رگرسیون، یک میانگین عددی توزین‌شده با وزنهٔ سنگین‌تر در تراکم بسیار بالا است که اطلاعات مربوط به مقدار شیب در هر نقطهٔ داده‌ها را به درستی در دسترس قرار می‌دهد؛ دراین‌حالت اختلاف در دو تجزیه و تحلیل مطرح می‌شود. در مقابل اگرحد وسط نسبت-های منحصر معین باشند، وزن‌ها برای تمام نقاط داده‌ها مشابه خواهند بود. درجهٔ اختلاف بین دو تجزیه‌وتحلیل با قرار دادن نقاط در امتداد محور x تعیین می‌شود.

معمولا" نتایج دو روش بسیار نزدیک هستند. اگر اختلاف‌های بزرگی یافت می‌شوند، باید تحقیق کرد آیا یکی از فرضیات معتبر نباشد. ولی اگر دلیل دیگری باشد، در این‌صورت کاربر باید تصمیم بگیرد کدام عامل برای کاربرد خاص مناسب است (برای مثال وقتی اندازه‌گیری‌ها در بهترین شرایط کالیبراسیون باشند رگرسیون خطی مناسب است).

الف-۳-۲ حد آشکارسازی پایین‌تر

کارآیی آشکارسازی یک CPC یک منحنی حلقوی است که از صفر تا یک مقدار بیشینه می‌رود (کارآیی پلاتو). پس از تصحیح معکوس شیب می‌تواند به ۱ برسد، به بالارجوع شود.

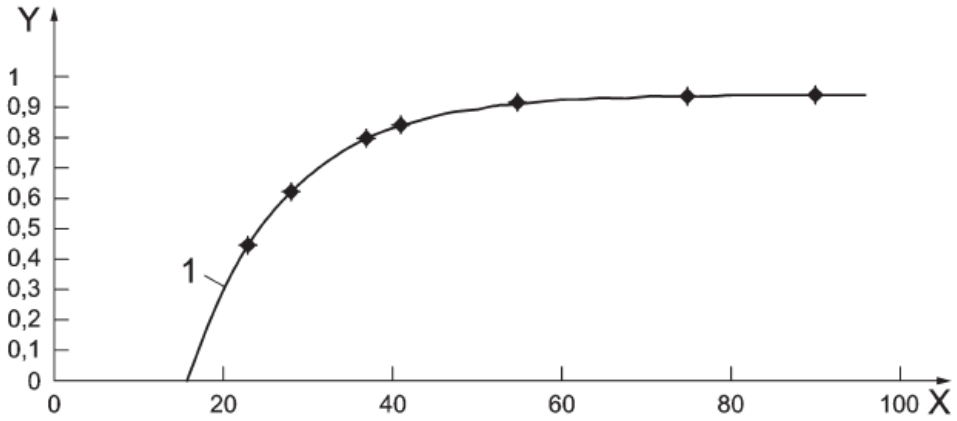
اندازه‌ای که براساس آن کارآیی آشکارسازی نصف کارآیی پلاتو است (یا اگر ٪۵۰ کارآیی پلاتو تا ۱ به صورت عادی درآمده باشد) اغلب حد آشکارسازی پایین‌تر یا اندازهٔ برش CPC نامیده می‌شود. قطرهایی که در بالا به آنها اشاره شد، می‌توان به طور تجربی تعیین کرد (یعنی یافتن این اندازه‌ها) یا با استفاده از فرمول‌هایی که کارآیی آشکارسازی اندازه‌گیری شده را در بخش شیب‌دار منحنی برازش می‌کنند، آنها را برآورد کرد. فرمول‌های گوناگون و سادهٔ تجزیه وتحلیل به کار رفته‌اند. برای مرور به مراجع (۲۸)،(۴۵)، (۴۷) و(۵۹) رجوع شود.

یک مثال از مراجع[۳۳]، [۴۶] و [۵۰] دیده می شود:

$$\eta(d)= b[1-e^{[(a_1-d)\times \ln 2/(a_2-a_1)]}] \qquad \text{(الف-۳)}$$

b شیب بوده و a_1 و a_2 الگوهای آزاد. مقدار a_2 حد کارآیی پایین‌تر را حاصل می‌کند.

شکل الف۷ کارآیی‌های اندازه‌گیری شده را برای جدول الف۱ و تطابق متناسب فرمول (الف-۳) نشان می‌دهد. براساس fit: $a1 = 15.1$ nm و $a_2 = 23.6$ nm



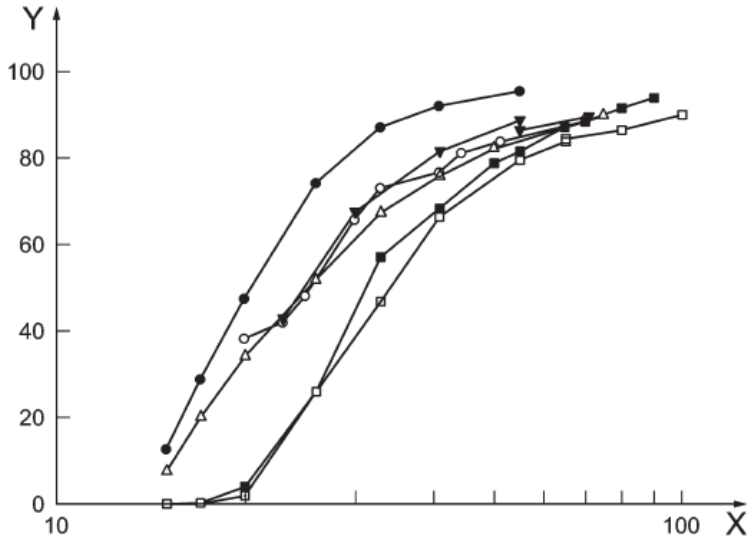
شکل الف۷- منحنی کارآیی آشکارسازی متناسب شدهٔ CPC مورد آزمون به عنوان تابعی از اندازه

پیوست ب

(اطلاعاتی)

تأثیر ویژگی های سطح بر کارآیی آشکارسازی CPC

چندین گروه داده در نوشتار وجود دارد که وابستگی کارآیی آشکارسازی CPCها را به عنوان مثال، با ترکیبات شیمیایی ذرات آزمونه نشان می‌دهند.[58][57][54][50][47][34][33][29][28][26][23][9][8] داده‌های منتشر شده در کارهای قبلی مربوط به CPCهای مبتنی بر ۱-بوتانل بودند که درآنها وابستگی مواد به طورعمده با سدیم کلراید و نقره مورد مطالعه قرار گرفت. تفاوت‌های چندی در کارآیی آشکارسازی بین دو ماده در محدودهٔ اندازهٔ نزدیک به حد تشخیص پایین‌تر مشاهده شد و به نظر رسید که نقره نسبت به کلراید سدیم کارآیی آشکارسازی کمی بالاتر را نشان می‌دهد. کارهای اخیر زیادی با CPCهای مبتنی بر۱-بوتانل بررسی تنوع گسترده‌تری از مواد را انجام دادند که نشان می‌دهد روغن‌ها آسان‌ترین مواد و نمک‌های آلی سخت‌ترین آنها برای تشخیص بودند (شکل ب-۱).



راهنما

- پلی آلفا اولفین (PAO)
- X اندازهٔ ذره nm
- انتشار دودهٔ شعله
- Y کارآیی آشکارسازی برحسب درصد
- ساکارز
- لاتکس پلی استیرن (PSL)
- نقرهٔ اکسید شده
- سدیم کلراید

شکل ب۱- مثالی از گروه داده‌ها برای نشان‌دادن وابستگی ترکیب شیمیایی کارآیی آشکارسازی یکCPC برمبنای ۱-بوتانل

برای CPCهای جدید تجاری بر مبنای آب، وابستگی کارآیی آشکارسازی بر روی ترکیب شیمیایی ذره مطالعه و در متون گزارش شده است. بر خلاف آشکارسازی‌های مبتنی بر ۱-بوتانل، آشکارسازی نمک‌های معدنی آسان‌تر از روغن‌ها برای CPCهای بر مبنای آب هستند.

زمینهٔ تئوری وابستگی کارآیی آشکارسازی CPC به ترکیب شیمیایی و در مورد حلالیت و ترشوندگی سطح یعنی دو پارامتر شیمی فیزیکی که توانایی واکنش بین سیال عامل CPC و ذره را نشان می‌دهند، در مراجع [42] ,[8] ,[25] ,[9] بحث شده است.

به استناد مشاهدات موجود در متون چاپی، کارآیی آشکارسازی CPCهای مشابه به طریق کالیبراسیون با ذرات دارای ترکیب شیمیایی متفاوت ممکن است با یکدیگر هم‌خوانی نداشته باشند؛ به ویژه با اندازهٔ نزدیک به حد تشخیص پایین‌تر ذرات. بنابراین، ترکیب شیمیایی ذرات به هنگام گواهی‌کردن کارآیی آشکارسازی باید مشخص شود و نمی‌توان اطمینان پیدا کرد که برای ذرات دارای ترکیب شیمیایی متفاوت نتایج قابل مقایسه‌ای حاصل شود. علاوه‌براین، درصورتی که درگواهینامهٔ CPC مرجع ذرات از جنس یکسان مشخص‌شده باشند، می‌توان از معتبربودن آن مطمئن شد (زیربند ۶-۴-۵ رجوع شود).

پیوست پ
(اطلاعاتی)
مثالی از گواهینامه‌های کالیبراسیون

پ-۱ کلیات

این پیوست حاوی مثال‌هایی از گواهینامه‌های اشاره‌شده در استاندارد می‌باشد.
این گواهینامه‌ها به طورخاص در زیر آمده‌اند:
- مثال گواهینامهٔ تکمیل شدهٔ CPC کالیبره‌شده در مقابل FCAE (بند پ-۲)،
-مثال گواهینامهٔ خالی کالیبراسیون CPC در برابر CPC مرجع (بند پ-۳)،
- مثال گواهینامهٔ خالی کالیبراسیون FCAE (بند پ-۴)،
- مثال گواهینامهٔ خالی کالیبراسیون CPC مرجع (بند پ-۵).

پ-۲ مثال گواهینامهٔ تکمیل شدهٔ CPC کالیبراسیون شده در برابر FCAE

نتایج کالیبراسیون درمثال گواهینامهٔ این زیربند درپیوست (خ) به کاربرده شده‌اند.

نام ونشانی مؤسسهٔ صادرکنندهٔ گواهینامه

مدل CPC *ABC 2000*

شمارهٔ شناسه/سریال CPC *35701*

نام مشتری

شمارهٔ سفارش 2012/A/4235

موضوع: کالیبراسیون مدل *ABC 2000* شمارشگرذرات چگال‌شده (CPC)

تاریخ کالیبراسیون

(گواهینامه) مرجع:

تاریخ صدور **امضاء** **(امضای مجاز)**

بررسی شده توسط **نام** **برای مدیرعامل**

تاریخ پذیرش دستگاه دراتاق کالیبراسیون

(مؤسسهٔ کالیبراسیون) شمارهٔ شناسه دستگاه : *CPC/2012/5/3*

مدل وشمارهٔ سریال دستگاه : *ABC 2000 S/N 35701*

نتیجهٔ بررسی اولیه: *هیچ آسیبی مشاهده نشد*

نتیجهٔ آزمون عملی دستگاه: *هیچ موردی مشاهده نشد*

تنظیمات پارامترهای داخلی (درصورت وجود): *دبی نامی شارش 1 l/min*

دامنه های تراکم حالات شمارش دستگاه

(برگرفته از دفترچهٔ راهنما): *حالت شمارش ذرهٔ منفرد(باتصحیح تصادفی)بالاتر از* $10\ 000\ cm^3$

نوع ومشخصات الکترومترکاپ فارادی: *XYZ 1000*

مرجع گواهینامهٔ کالیبراسیون FCAE: *NMI_FCAE_CAL_60*

تصحیحات خوانده FCAE ، برای مثال اگر شارش درروادارى: شارش گواهینامه *l/min ۰/۹۹ ، شارش اندازه‌گیری* اندازه‌گیری شده از شارش گواهینامه متفاوت باشد: *l/min ۰/۹۵ باشد*

روش اکتساب داده‌ها: *ABC software version 3*

تاریخ کالیبراسیون:

دماو فشار آزمایشگاه: *21 °C, 996 mbar*

فشارنمونه نسبت به فشارآزمایشگاه: *-1.4 mbar*

دبی شارش اندازه‌گیری شدهٔ CPC مورد آزمون

(دبی حجمی درشرایط آزمایشگاهی): *0.99 l/min*

عدم قطعیت دبی شارش اندازه‌گیری شده[a] : *3 %*

دبی‌سنج مورداستفاده(مدل، مشخصات، تاریخ کالیبراسیون): *IJK 179A Mass Flow Meter S/N 12341, calibration date*

جنس ذره وگاز مورداستفاده درکالیبراسیون: *دود درهوا*

روش تولید ذره: مولد شعلهٔ پخشی با تهویه

خوانده صفردستگاه: *0 particles per cm3 (mean value of 2 minutes)*

جدول نتایج

اندازهٔ ذره (nm)	۷۰		
عدم قطعیت دراندازه (nm)[a]	۵		
تراکم نامی (cm^{-3})	۷۰۰۰		
کسراندازه‌گیری‌شدهٔ ذرات با بار دوتایی درطول کالیبراسیون	۰/۰۴۹۹		
کسراندازه گیری شدهٔ ذرات بابارسه تایی درطول کالیبراسیون	۰/۰۰۱۶		
کارآیی آشکارسازی η	۰/۹۶۳۵		
عدم قطعیت درکارآیی آشکارسازی [a]	۰/۰۶۹۲		

مرجع کالیبراسیون: روش داخلی *QPAS -548*

تاریخ انقضای گواهینامه(گواهینامه درصورت بروز مشکل

عملیاتی یا قراردادن CPC درمعرض انبوه ذرات نیز بی‌اعتبارخواهد بود)

مرجع:

بررسی‌شده توسط:

[a] عدم قطعیت گسترده گزارش‌شده براساس عدم قطعیت استاندارد ضرب‌در ضریب هم‌پوشانی k=2، یک سطح اطمینان باتقریب ٪۹۵ ایجاد می‌کند.

پ-۳ گواهینامهٔ خالی CPC کالیبره‌شده در مقابل CPC مرجع

نام ونشانی مؤسسهٔ صادرکنندهٔ گواهینامه

مدل CPC

شمارهٔ شناسه /سریال CPC

نام مشتری

شمارهٔ سفارش

موضوع:

تاریخ کالیبراسیون

(گواهینامه) مرجع:

تاریخ صدور **امضاء** **(امضای مجاز)**

بررسی شده توسط **نام** **برای مدیرعامل**

پذیرش دستگاه دراتاق کالیبراسیون

(مؤسسهٔ کالیبراسیون) شمارهٔ شناسه دستگاه :

مدل وشمارهٔ سریال دستگاه :

نتیجهٔ بررسی اولیه:

نتیجهٔ آزمون عملی دستگاه:

تنظیمات پارامترهای داخلی (درصورت وجود):

دامنه های تراکم حالات شمارش دستگاه

(برگرفته ازدفترچهٔ راهنما):

نوع ومشخصات CPC مرجع:

مرجع گواهینامهٔ کالیبراسیون CPC مرجع :

تصحیحات خوانده‌CPC مرجع ، برای مثال اگرشارش

اندازه‌گیری شده از شارش گواهینامه متفاوت باشد:

روش اکتساب داده‌ها:

تاریخ کالیبراسیون:

دما و فشار آزمایشگاه:

فشارنمونه نسبت به فشارآزمایشگاه:

دبی شارش اندازه‌گیری شدهٔ CPC مرجع

(دبی حجمی درشرایط آزمایشگاهی) $[cm^3/s]$:

عدم قطعیت دبی شارش اندازه‌گیری شده[a] :

دبی‌سنج مورداستفاده (مدل، مشخصات، تاریخ کالیبراسیون):

جنس ذره وگاز مورداستفاده درکالیبراسیون:

روش تولید ذره:

خوانده صفردستگاه: *x particles per cm^3 (mean value ofy minutes)*

جدول نتایج

اندازهٔ ذره (nm)			
عدم قطعیت دراندازه (nm)[a]			
تراکم نامی (cm-3)			
کسر اندازه‌گیری شدهٔ ذرات بابارد‌وتایی درطول کالیبراسیون			
کسر اندازه‌گیری شدهٔ ذرات بابارسه تایی درطول کالیبراسیون			
کارآیی آشکارسازی η			
عدم قطعیت درکارآیی آشکارسازی [a]			

مرجع کالیبراسیون:

تاریخ انقضای گواهینامه(گواهینامه درصورت بروز مشکل

عملیاتی یا قراردادن CPC درمعرض انبوه ذرات نیزبی اعتبارخواهد بود)

مرجع:

بررسی شده توسط:

[a] عدم قطعیت گسترده گزارش‌شده براساس عدم قطعیت استاندارد ضربدر ضریب هم‌پوشانی $k=2$، یک سطح اطمینان با تقریب ٪۹۵ ایجاد می‌کند.

پ-۴ گواهینامهٔ خالی کالیبراسیون FCAE

نام و نشانی مؤسسهٔ صادرکنندهٔ گواهینامه

گواهینامهٔ استاندارد ایران ایزو آی ای سی ۱۷۰۲۵ (یا معادل آن، درصورتیکه مؤسسهٔ صادرکنندهٔ گواهینامه، مؤسسهٔ بین‌المللی اندازه‌گیری نباشد)

مدل الکترومتر آیروسل:

شمارهٔ شناسه /سریال الکترومتر آیروسل:

نام مشتری:

شمارهٔ سفارش:

توضیحات: کالیبراسیون مدل..... الکترومتر آیروسل

تاریخ کالیبراسیون:

(گواهینامه) مرجع:

تاریخ صدور : **امضاء** **(امضای مجاز)**

بررسی شده توسط **نام** **برای مدیرعامل**

پذیرش دستگاه دراتاق کالیبراسیون

(مؤسسهٔ کالیبراسیون) شمارهٔ شناسه دستگاه :

مدل وشمارهٔ سریال دستگاه :

نتیجهٔ بررسی اولیه:

نتیجهٔ آزمون عملی دستگاه:

روش اکتساب داده ها :

تاریخ کالیبراسیون:

دبی تنظیم‌شدهٔ نامی شارش [cm^3/s]:

دبی شارش اندازه‌گیری شده:

(دبی حجمی درشرایط آزمایشگاهی) [cm^3/s]

تنظیمات پارامترهای داخلی (درصورت وجود):

عدم قطعیت دبی شارش اندازه‌گیری شده[a] :

جنس ذره وگاز مورد استفاده درکالیبراسیون:

روش تولید ذره:

خوانده صفردستگاه[b]: [$C.cm^3$]

جدول نتایج

اندازهٔ ذره (nm)			
عدم قطعیت دراندازه (nm)[a]			
تراکم بارمرجع باتصحیح صفر			
عدم قطعیت استاندارد در تراکم بارمرجع باتصحیح صفر,[b] ($C.cm^{-3}$)			
دستگاه تراکم بار با تصحیح صفر ($C.cm^{-3}$) [b],			
تکرارپذیری دستگاه تراکم بار با تصحیح صفر ($C.cm^{-3}$) [b,c,]			
کارآیی آشکارسازی η			
عدم قطعیت درکارآیی آشکارسازی [a]			

مشاهدات/نظرات:

دستگاه مورداستفاده(مدل، مشخصات، تاریخ کالیبراسیون): برای مثال الکترومترمرجع، دبی‌سنج
مرجع کالیبراسیون:
تاریخ انقضای گواهینامه:

مرجع:
بررسی شده توسط:

[a] عدم قطعیت گسترده گزارش‌شده براساس عدم قطعیت استاندارد ضرب‌در ضریب هم پوشانی k=2، یک سطح اطمینان باتقریب ٪۹۵ ایجاد می‌کند.
[b] این ممکن است از ترکیب دبی شارش وجریان مشتق شود
[c] تکرارپذیری انحراف استاندارد از باراندازه گیری‌های مکرر می‌باشد

پ-۵ گواهینامهٔ خالی کالیبراسیون CPC مرجع

نام ونشانی مؤسسهٔ صادرکنندهٔ گواهینامه

گواهینامهٔ استاندارد ایران ایزو آی ای سی ۱۷۰۲۵ (یا معادل آن، درصورتیکه مؤسسهٔ صادرکنندهٔ گواهینامه، مؤسسهٔ بین‌المللی اندازه‌گیری نباشد)

مدل CPC :

شمارهٔ شناسه /سریال CPC:

نام مشتری:

شمارهٔ سفارش:

توضیحات: کالیبراسیون مدل..... شمارشگر ذرات چگال شده

تاریخ کالیبراسیون:

(گواهینامه) مرجع:

تاریخ صدور :	**امضاء**	**(امضای مجاز)**
بررسی شده توسط	**نام**	**برای مدیرعامل**

پذیرش دستگاه دراتاق کالیبراسیون

(مؤسسهٔ کالیبراسیون) شمارهٔ شناسه دستگاه :

مدل وشمارهٔ سریال دستگاه :

نتیجهٔ بررسی اولیه:

نتیجهٔ آزمون عملی دستگاه:

تنظیمات پارامترهای داخلی (درصورت وجود):

دامنه های تراکم حالات شمارش دستگاه

(برگرفته از دفترچهٔ راهنما):

روش اکتساب داده ها:

تاریخ کالیبراسیون:

دما و فشار آزمایشگاه:

فشارنمونه نسبت به فشارآزمایشگاه:

دبی تنظیم‌شدهٔ نامی شارش [cm^3/s]:

دبی شارش اندازه گیری شده

(دبی حجمی درشرایط آزمایشگاهی) [cm^3/s]:

عدم قطعیت دبی شارش اندازه گیری شده[a] :

جنس ذره وگاز مورداستفاده درکالیبراسیون:

روش تولید ذره:

خوانده صفردستگاه: x ذره در cm^3 (مقداردر y دقیقه)

جدول نتایج

اندازهٔ ذره (nm)			
عدم قطعیت دراندازه (nm)[a]			
تراکم نامی (cm-3)			
کسراندازه گیری شدهٔ ذرات بابارد‌وتایی درطول کالیبراسیون			
کسراندازه گیری شدهٔ ذرات بابارسه تایی درطول کالیبراسیون			
کارآیی آشکارسازی η			
عدم قطعیت درکارآیی آشکارسازی [a]			

برآورد مقادیر CPC d90 و d50 (وچگونگی بدست آوردن آنها):

دستگاه مورداستفاده(مدل، مشخصات، تاریخ کالیبراسیون): برای مثال الکترومترمرجع، دبی‌سنج

مرجع کالیبراسیون:

تاریخ انقضای گواهینامه:

تاریخ انقضای گواهینامه(گواهینامه درصورت بروز مشکل

عملیاتی یا قراردادن CPC درمعرض انبوه ذرات نیز بی‌اعتبارخواهد بود)

مرجع:

بررسی شده توسط:

[a] عدم قطعیت گسترده گزارش شده براساس عدم قطعیت استاندارد ضرب‌در ضریب هم پوشانی $k=2$، یک سطح اطمینان با تقریب ٪۹۵ ایجاد می کند.

پیوست (ت)

(الزامی)

محاسبهٔ کارآیی آشکارسازی CPC

ت-۱ اندازه وتراکم ذرات در کالیبراسیون آیروسل توسط DEMC

براساس اندازه گیری های کالیبراسیون در بندهای ۶و۷، ذرات از منبع آیروسل اولیه از DEMC عبور می‌کنند ودرآنجا تبدیل به ذرات با تحرک الکتریکی معین می‌شوند. دسته‌بندی ویژگی تحرک الکتریکی ذرات توسط DEMC تابعی از هندسه، دبی شارش حجمی و ولتاژ DEMC است. برای DEMC استوانه‌ای با هوای بازچرخشی غلاف و با دبی q_s ، تحرک الکتریکی ویژه و ولتاژ U است:

$$Z(u)=\{[q_s \ln(r_2/r_1)]/[2\pi LU]\}\propto 1/U \qquad (ت-۱)$$

L طول مفید الکترود بین ورودی وخروجی آیروسل،

r_2 و r_1 به ترتیب شعاع الکترودهای داخلی وخارجی هستند.

برای جزئیات بیشتر به پیوست E استاندارد ISO 15900:2009 رجوع کنید.

تحرک الکتریکی ذره به اندازه و بار الکتریکی آن بستگی دارد.ارتباط بین تحرک الکتریکی واندازهٔ ذره برای ذرات کروی با فرمول ت-۲ به دست می‌آید:

$$Z(d,p)=p\times e/(3\pi\mu_{gas}d)\times\{1+[2l_{gas}/d]\times[1,165+0,483\exp(-0,997d/2l_{gas})]\} \qquad (ت-۲)$$

d قطر ذره؛

p تعداد بارهای خالص ذره،

e باربنیادی،

μgas گرانروی دینامیک گاز حمل‌کننده،

$l$gas پویش آزاد میانگین مولکول‌های حامل گاز

برای هوای خشک در ۲۹۶/۱۵ K و ۱۰۱٫۳ kPa مقادیر زیر استفاده می‌شوند (استاندارد ISO 15900):

μgas = 1,832 45 × 10^{-5} kg m^{-1} s^{-1}

$l$gas = 6,730 × 10^{-8} m

شکل ت-۱ ارتباط بین تحرک الکتریکی، ولتاژ DEMC و اندازهٔ ذرات را نشان می‌دهد. وقتی ولتاژ DEMC روی U تنظیم می شود، آیروسل خروجی از DEMC تحرک الکتریکی $Z(U)$ را دارد وممکن است حاوی ذرات با بار منفرد $d_1(U)$ ، ذرات با باردوتایی $d_2(U)$ ، ذرات با بار سه تایی $d3(U)$ باشد وغیره.

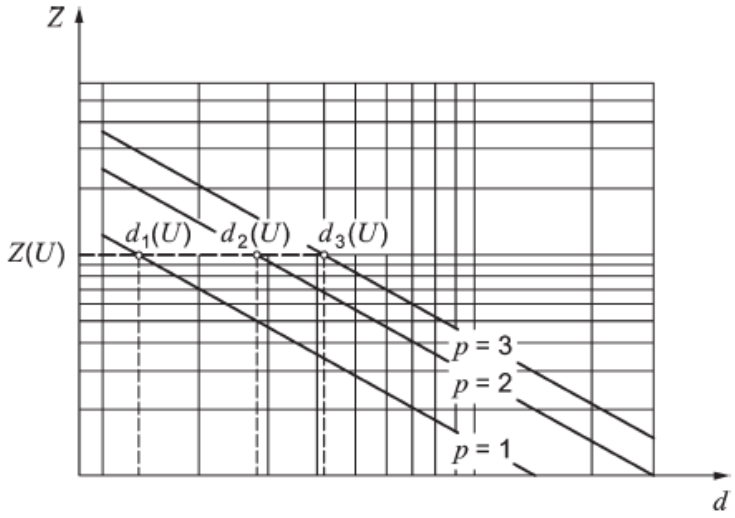
بنابراین،عدد کلی تراکم $C_N(U)$ ذرات موجود در شارش خروجی DEMC می تواند شامل ذرات با بار بنیادی e و اندازه های مرتبط $dp(U)$ باشد. برای سهولت در فرمول زیر وقتی نیازی به صراحت نیست U حذف می شود.

$$C_N = \sum_{p\geq 1} C_N(d_p) \qquad (ت-۳)$$

کسرذرات با بار خالص ، $\square_P$، که با فرمول (۶) و (۱۵) معین می شود رامی توان با نماد زیر شرح داد:

$$\varnothing_p = [(C_N(d_p)/C_N] \qquad (ت-۴)$$

و به توزیع اندازه و بارآیروسل اولیه بستگی دارد. دانستن مقادیرϕ_p و CN برای محاسبهٔ کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون از نتایج اندازه‌گیری‌ها ضروری است به زیربند ت-۳ رجوع شود.



شکل ت۱- ارتباط بین تحرک الکتریکی، ولتاژ DEMC و اندازهٔ ذره

ت-۲ فرمول های محاسبهٔ کارآیی CPC مورد آزمون

ت-۲-۱ فرمول های عمومی

یک FCAE یک شارش (عدد تراکم $C_{N,FCAE}$ ذره، بافرض ذرات با بار منفرد) را طبق تعداد بارهای الکترون به ازای هر ذره،کارآیی آشکارسازی خود FCAE(dp) و اریبی شکافنده β اندازه خواهد گرفت:

$$C_{N,FCAE} = \sum_{p\geq 1} C_N(d_p) \times p \times \eta_{FCAE}(d_p) \times \beta$$
$$= C_N \times \beta \sum_{p\geq 1} \emptyset_p \times p \times \eta_{FCAE}(d_p) \qquad (ت-۵)$$

CPC مورد آزمون این ذرات را مطابق کارآیی آشکارسازی مستقل از اندازهٔ خود $\eta_{CPC}(dp)$ شمارش خواهد کرد:

$$C_{N,CPC} = \sum_{p\geq 1} C_N(d_p) \times \eta_{CPC}(d_p)$$
$$= C_N \sum_{p\geq 1} \emptyset_p \times \eta_{CPC}(d_p) \qquad (ت-۶)$$

برای CPC مرجع اریبی شکافنده β است:

$$C_{N,CPC,ref} = \sum_{p\geq 1} C_N(d_p) \times \eta_{CPC,ref}(d_p) \times \beta$$
$$= C_N \times \beta \sum_{p\geq 1} \emptyset_p \times \eta_{CPC,ref}(d_p) \quad (ت-۷)$$

درپایین فرض شده است که کارآیی آشکارسازی FCAE وCPC مرجع درمحدودهٔ اندازهٔ بالاترازd_1 ثابت هستند. براساس این فرض، این مقادیر از فرمول‌های (ت-۵) و(ت-۷) به دست می‌آیند:

$$C_{N,FCAE} = \eta_{FCAE} \times \beta \times C_N \sum_{p\geq 1} \emptyset_p \times p$$

(ت- ۸) (برای FCAE)

$$C_{N,CPC,ref} = \eta_{CPC,ref} \times \beta \times C_N$$

(ت-۹) برای CPC مرجع

η_{FCAE} کارآیی FCAE، و

$\eta_{CPC,ref}$ کارآیی CPC مرجع در پلاتوی مستقل از اندازه.

براساس فرمول های (ت-۶)،(ت-۸) و(ت-۹)، کارآیی آشکارسازی دراندازهٔ d_1، CPC مرجع به این ترتیب خواهدبود:

$$\eta_{CPC}(d_1) = [(C_{N,CPC} - C_N \sum_{p\geq 2} \emptyset_p \times \eta_{CPC}(d_p)) / (C_{N,FCAE} - \eta_{FCAE} \times \beta \times C_N \sum_{p\geq 2} \emptyset_p \times p)] \times \eta_{FCAE} \times \beta$$

(ت-۱۰) (برای FCAE)

$$\eta_{CPC}(d_1) = [(C_{N,CPC} - C_N \sum_{p\geq 2} \emptyset_p \times \eta_{CPC}(d_p)) / (C_{N,CPC,ref} - \eta_{FCAE} \times \beta \times C_N \sum_{p\geq 2} \emptyset_p)] \times \eta_{CPC,ref} \times \beta$$

فرمول ت-۱۱ (برای CPC مرجع)

برای محاسبهٔ $\eta CPC(d1)$ با فرمول (ت-۱۰) یا(ت-۱۱)، مقادیر $\eta CPC(dp)$ باید برای $p \geq 2$ شناخته شده باشد که معمولا" دست نایافتنی است. بنابراین، مفروضات بیشتری لازم است تا $\eta_{CPC}(d1)$ به دست آید. این موضوع در زیربندهای ت-۲-۲ وت-۲-۳ شرح داده شده است. کسر ذرات با بار خالص ϕp، درغیاب ذرات با بار چندتایی (درزیربند ت-۴-۲ جزئیات آن آمده است) مساوی صفر است. زیربند ت-۳ نحوهٔ محاسبهٔ ϕp و C_N را با کالیبراسیون آیروسل با ذرات با بارچندتایی توصیف می‌کند.

ت-۲-۲ کالیبراسیون در محدودهٔ اندازه وقتی که کارآیی آشکارسازی CPC مرجع با اندازه تغییر می کند

درروش زیر مقدار $\eta_{CPC}(d1)$ به عنوان میانگین عددی مقادیر $\eta_{CPC}(d1)$ تحت دو حالت شدید برآورد می شود.

الف- بافرض اینکه $\eta_{CPC}(dp)$ برای $p \geq 2$ ثابت بوده و برابر می باشند، مقدار $\eta_{CPC}(d_1)$ را محاسبه کنید. ازآنجایی که $\eta_{CPC}(dp)$ برای $p \geq 2$ را با تخمین کم برآورد کردیم، طبق فرمول‌های (ت-۱۰) و (ت-۱۱)، $\eta_{CPC}(d_1)$ با تخمین بالا برآورد خواهد شد.

با این مفروضات، فرمول (ت-۶) به این فرمول تبدیل خواهد شد.

$$C_{N,CPC} = \eta_{CPC}(d_1) \times C_N \quad (ت-۱۲)$$

بااین فرمول و نیز فرمول های (ت-۸) و (ت-۹)، فرمول‌های زیر را می‌توان استخراج کرد:

$$\eta_{CPC,a}(d_1) = (C_{N,CPC}/C_{N,FCAE})\times\eta_{FCAE}\times\beta \sum_{p\geq 1} \phi_p \times p$$

ت-۱۳ (برای FCAE)

$$\eta_{CPC,a}(d_1) = (C_{N,CPC}/C_{N,CPC,ref})\times\eta_{CPC,ref}\times\beta$$

ت-۱۴ (برای CPC مرجع)

اندیس "a " نشان می‌دهد که مقدار $\eta_{CPC,a}(d1)$ براساس فرضیهٔ بالا به دست آمده و حد بالاتر $\eta_{CPC}(d1)$ است. برای استفاده از فرمول (ت-۱۳) مقادیر ϕ_p باید معلوم باشند (به زیربند ت-۳ رجوع شود).

ب- با فرض اینکه CPC(dp) برای $p \geq 2$ ثابت بوده و برابر η'_{CPC} می‌باشد، مقدار $\eta_{CPC}(d_1)$ را محاسبه کنید؛ وقتی که η'_{CPC} کارآیی آشکارسازی CPC مرجع دراندازهٔ بزرگ (مثلا" ۱۰۰ nm) بوده و نسبت به تغییر اندازه ثابت می‌باشد. چون دراین مورد $\eta_{CPC}(dp)$ برای $p \geq 2$ را با تخمین بالا برآورد کردیم، طبق فرمول‌های (ت-۱۰) و (ت-۱۱)، $\eta_{CPC}(d_1)$ با تخمین پایین برآورد خواهد شد.

با این مفروضات فرمول‌های زیر را می‌توان از فرمول‌های (ت-۱۰) و (ت-۱۱) استخراج کرد:

$$\eta_{CPC,b}(d_1) = [(C_{N,CPC} - \eta'_{CPC} C_N \sum_{p\geq 2} \phi_p)\times\eta_{FCAE}\times\beta]/[C_{N,FCAE} - \eta_{FCAE}\times\beta\times C_N \sum_{p\geq 2} \phi_p \times p]$$

ت-۱۵ (برای FCAE)

$$\eta_{CPC,b}(d_1) = [(C_{N,CPC} - \eta'_{CPC} C_N \sum_{p\geq 2} \phi_p)\times\eta_{CPC,ref}\times\beta]/[C_{N,CPC,ref} - \eta_{CPC,ref}\times\beta\times C_N \sum_{p\geq 2} \phi_p]$$

(ت-۱۶) (برای CPC مرجع)

اندیس "b " در $\eta_{CPC,b}(d_1)$ نشان می دهد که براساس فرضیهٔ بالابدست آمده وحد پایین‌تر $\eta_{CPC}(d_1)$ است. برای استفاده ازفرمول‌های (ت-۱۵) و (ت-۱۶)، مقادیر C_N هم ارز ϕp باید معلوم باشند (به زیربند ت-۳ رجوع شود).

پ- مقدار $\eta_{CPC}(d1)$ را به عنوان میانگین عددی $\eta_{CPC,a}(d_1)$ و $\eta_{CPC,b}(d_1)$ محاسبه کنید. یعنی

$$\eta_{CPC}(d_1)=[\eta_{CPC,a}(d_1)+\eta_{CPC,b}(d_1)]/2 \qquad \text{(ت-۱۷)}$$

تفاوت بین $\eta_{CPC,a}(d_1)$ و $\eta_{CPC,b}(d_1)$ بیانگر مقدارعدم قطعیت در برآورد $\eta_{CPC}(d_1)$ با روش بالاست و باید دربرآورد $\eta_{CPC}(d_1)$ در بندهای ۶ و۷ در نظر گرفته شود.

ت-۲-۳ کالیبراسیون در محدودهٔ اندازه وقتی که کارآیی آشکارسازی CPC مرجع نسبت به تغییر اندازه ثابت می‌باشد

وقتی کاربرد کالیبراسیون برای محدوده ای ازاندازه که کارآیی آشکارسازی CPC مرجع نسبت به تغییرات اندازه ثابت می‌ماند، طراحی می‌شود از فرمول‌های (ت-۲-۲الف) می‌توان استفاده کرد. یعنی:

$$\eta_{CPC}(d_1) = (C_{N,CPC}/C_{N,FCAE})\times\eta_{FCAE}\times\beta \sum_{p\geq 1} \phi_p \times p]$$

(ت-۱۸) (برای FCAE)

$$\eta_{CPC}(d_1) = (C_{N,CPC}/C_{N,CPC,ref})\times\eta_{CPC,ref}\times\beta$$

(ت-۱۹) (برای CPC مرجع)

برای استفاده از فرمول (ت-۱۸) مقادیرϕ_p باید معلوم باشد (به زیربند ت-۳رجوع شود).

ت-۲-۴ کالیبراسیون باذرات بابارچندتایی درغیاب کالیبراسیون آیروسل

اگر کالیبراسیون آیروسل ازDEMC فقط حاوی ذرات با بارمنفرد و اندازهٔ d_1 باشد، ضرورتی به تصحیح هیچ بارچندتایی نیست. در این‌صورت، ϕ_1 برابر ۱ شده و فرمول‌های (ت-۸)،(ت-۹) و(ت-۶) موارد زیر را نتیجه می- دهند.

$$C_{N,FCAE} = C_N \times \beta \times \eta_{FCAE}(d_1)$$

(ت-۲۰) (برای FCAE)

$$C_{N,CPC,ref} = C_N \times \beta \times \eta_{CPC,ref}(d_1)$$

(ت-۲۱) (برای CPC مرجع)

$$C_{N,CPC} = C_N \times \eta_{CPC}(d_1)$$

(ت-۲۲) (برای CPC مورد آزمون)

$$\eta_{CPC}(d_1) = (C_{N,CPC}/C_{N,FCAE}) \times \eta_{FCAE}(d_1) \times \beta$$

(ت-۲۳) (برای FCAE)

$$\eta_{CPC}(d_1) = (C_{N,CPC}/C_{N,CPC,ref}) \times \eta_{CPC,ref}(d_1) \times \beta$$

(ت-۲۴) (برای CPC مرجع)

ت-۳ روش های تعیین ϕp وC_N

ت-۳-۱ کلیات

دوروش برای تعیین ϕp و C_N در زیر توصیف شده است. روش اول در (ت-۳-۲) فرض می‌کند که آیروسل اولیه به هنگام عبور از شارژر دوقطبی به یک تعادل معلوم در توزیع بار می‌رسد. این مفروضات وقتی الزامات (ت-۴-۲) فراهم شود، به تقریب دیده می‌شوند. فرمول‌های ارائه‌شده فقط برای ذرات با بیش از سه بار بنیادی کاربرد دارند.

روش دوم در(ت-۳-۳) بر پایهٔ تعیین یک توزیع دقیق ذرات توسط DMAS است که یک دستگاه اضافی محسوب می شود.نتیجه به اندازهٔ ذرات، گمانه زنی توزیع بارآنها در نرم‌افزار DMAS و دیگر نرم افزارهای تصحیحی DMAS بستگی دارد. نیازی به دانستن توزیع بارآیروسل اولیه نیست.

مطالب منتشرشده دربارهٔ تعادل توزیع بار(ISO 15900:2009, 4.5 و پیوست الف) فقط برای ذرات کروی معتبرهستند. بنابراین، باید توجه داشت که این دو روش برای ذرات کروی نسبت به ذرات با شکل متفاوت دقیقتر خواهندبود. در موارد سخت نظیرالیاف یا آگلومراهای سست، استفاده ازDEMC دوم برای برآورد ذرات با بار چندتایی در کالیبراسیون آیروسل، به یک روش انتخابی تبدیل می‌شود.

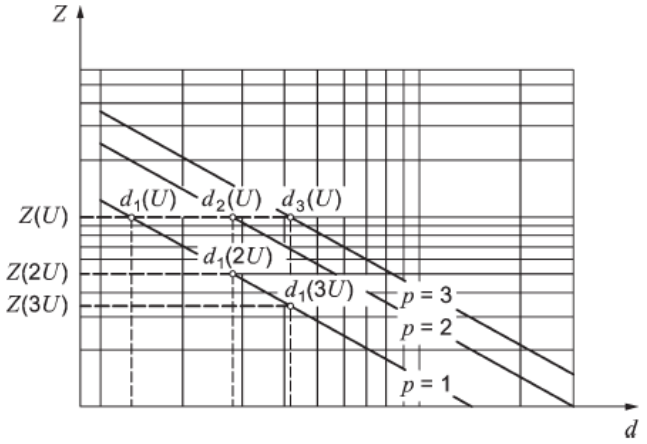
اگرچه این دو روش باید نتایج مشابهی داشته باشند، کاربرها باید روش مناسب اهداف خود را مشخص کنند.

ت-۳-۲ تعیین کسر ذرات با بارچندتایی بااستفاده از ولتاژهای چندگانهٔ DEMC

ت-۳-۲-۱ اصول

ت-۳-۲-۱-۱ کلیات

طبق فرمول‌های (ت-۱) و (ت-۲)، قطرذرات با بار دوتایی که به وسیلهٔ DEMC درولتاژ U, $d_2(U)$ دسته بندی شده اند، باقطرذرات تک بار $d_1(2U)$ که دسته‌بندی آنها با همان DEMC درولتاژ $2U$ تحت شرایط مشابه صورت گرفته است مساوی است، یعنی $d_2(U) = d_1(2U)$. شکل ت-۲ رابطهٔ بین این قطرهاو تحرک الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل ت۲- رابطهٔ بین اندازهٔ ذرات دسته بندی شده با DEMC در ولتاژهای U, $2U$ و$3U$

فرض بر این است که در آیروسل DEMC با ولتاژ U فقط ذرات با بار بیش ازسه تایی و با ولتاژ $2U$ و$3U$ فقط ذرات تک‌بار وجود دارند. یعنی

$$C_N(U)= \sum_{p=1}^{3} C_N\,(d_p(U)) \qquad (ت-۲۵)$$

$$ø_p = [C_N(d_p(U)]/[C_N(U)] \ (p=1,2,3) \qquad (ت-۲۶)$$

$$C_N(2U) = C_N(d_1(2U)) \qquad (ت-۲۷)$$

$$C_N(3U) = C_N(d_1(3U)) \qquad (ت-۲۸)$$

با DEMC است، برای شرایط آماده‌سازی بار پیش از d که حامل بارهای p وقتی احتمال شارژ یک ذره با قطر بیان می‌شود، روابط زیر به کار می‌روند: $fp(d)$

$$C_N(d_2(U)) = C_N(d_1(2U))\times[f_2(d_1(2U))/\ f_1(d_1(2U))] \qquad (ت-۲۹)$$

$$C_N(d_3(U)) = C_N(d_1(3U))\times[f_3(d_1(3U))/\ f_1(d_1(3U))] \qquad (ت-۳۰)$$

اگرازاشعهٔ آلفا یا بتا درآماده ساز بار پیش از DEMC برای یونیزاسیون استفاده شود، تعادل توزیع بار (استاندارد ISO 15900:2009, 4.5 و پیوست الف رجوع شود) $fp(d)$ را استفاده می‌کند. برای سایر آماده‌سازهای بار، توزیع بار باید بر این اساس باشد.

یادآوری- محاسبات بالا شامل ذرات بزرگتر و با بار چندتایی موجود در تراکم $C_N(2U)$ و $C_N(3U)$ نمی‌شود. برای بیشتر آیروسل‌های اولیه، خطای ناشی از این ساده‌سازی قابل ملاحظه نیست. در دومین ردیف تصحیحات، $C_N(4U)$ برای تصحیح $C_N(2U)$ و سرانجام $C_N(6U)$ برای تصحیح $C_N(3U)$ ممکن است استفاده شوند. این درصورتی است که آیروسل اولیه توزیع اندازهٔ گسترده (انحراف استاندارد هندسی σg بزرگتراز ۲) داشته باشد و نیز اگر درکالیبراسیون آیروسل قطرآن d_1 برای ذرات تک باز از 100 nm بزرگترباشد.اگر d_1 = 100 nm و σg = 2,1 باشد درصورت استفاده از دومین ردیف تصحیحات، $C_N(d_1(U))$ با تقریب ٪۳ تغییر می‌کند.

ت-۳-۲-۱-۲ برای کالیبراسیون با یک FCAE

رابطهٔ زیر، در این مورد، بین تراکم های واقعی و اندازه‌گیری‌شده به کار می‌رود:

$$C_N(U)=\eta_{FCAE} \sum_{p=1}^{3} C_N\left(d_p(U)\right) \times p \qquad (ت-۳۱)$$

$$C_N(2U) = \eta_{FCAE} \times C_N(d_1(2U)) \qquad (ت-۳۲)$$

$$C_N(3U) = \eta_{FCAE} \times C_N(d_1(3U)) \qquad (ت-۳۳)$$

وقتی ولتاژ DEMC بترتیب U ، $2U$ و $3U$ باشد، تراکم‌های اندازه‌گیری‌شده به وسیلهٔ FCAE، $C_N(U)$ ، $C_N(2U)$ و $C_N(3U)$ خواهند بود. از فرمول‌های (ت-۳۲) و (ت-۳۳) تراکم‌های واقعی $C_N(d1(2U))$ و $C_N(d1(3U))$ از تراکم‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ $C_N(2U)$ و $C_N(3U)$ استخراج می‌شوند. یعنی

$$C_N(d_1(2U))=C_N(2U)/\eta_{FCAE} \qquad (ت-۳۴)$$

$$C_N(d_1(3U))=C_N(3U)/\eta_{FCAE} \qquad (ت-۳۵)$$

فرمول‌های (ت-۲۹) و (ت-۳۰)، می‌توانند به ترتیب به فرمول‌های (ت-۳۴) و (ت-۳۵)تبدیل شوند. چنان‌چه:

$$C_N(d_2(U))=[C_N(2U)/\eta_{FCAE}]\times[f_2(d_1(2U))/ f_1(d_1(2U))] \qquad (ت-۳۶)$$

$$C_N(d_3(U))=[C_N(3U)/\eta_{FCAE}]\times[f_3(d_1(3U))/ f_1(d_1(3U))] \qquad (ت-۳۷)$$

بنابراین،تراکم واقعی $C_N(d_1(U))$ از فرمول‌های (ت-۳۱)،(ت-۳۶) و (ت-۳۷) به دست می‌آید:

$$C_N(d_1(U))=(C_N(U)/\eta_{FCAE})-2C_N(d_2(U))-3C_N(d_3(U))$$
$$=\{C_N(U)-[2C_N(2U)\times f_2(d_1(2U))/f_1(d_1(2U))]-[3C_N(3U)\times f_3(d_1(3U))/ f_1(d_1(3U))\}/ \eta_{FCAE} \qquad (ت-۳۸)$$

با $CN(d3(U))$ ، $CN(d2(U))$ و $CN(d1(U))$ ازفرمول های(ت-۳۶)،(ت-۳۷) و (ت-۳۸) به ترتیب $C_N(U)$ و ϕp می‌توانند از فرمول‌های (ت-۲۵) و(ت-۲۶) حاصل شوند.

ت-۳-۲-۱-۳ برای کالیبراسیون با یک CPC مرجع

رابطهٔ زیر، دراین مورد، بین تراکم‌های واقعی و اندازه‌گیری‌شده به کار می‌رود:

$$C_N(U)=\eta_{CPC,ref} \sum_{p=1}^{3} C_N\left(d_p(U)\right) \qquad (ت-۳۹)$$

$$C_N(2U)=\eta_{CPC,ref} \times C_N(d_1(2U)) \qquad (ت-۴۰)$$

$$C_N(3U)=\eta_{CPC,ref}\times C_N(d_1(3U)) \quad (ت-۴۱)$$

وقتی ولتاژ DEMC به ترتیب U ، $2U$ و $3U$ باشد، تراکم‌های اندازه‌گیری‌شده به وسیلهٔ CPC مرجع ،$C_N(U)$ ، $C_N(2U)$ و $C_N(3U)$ خواهند بود. از فرمول‌های (ت-۴۰) و (ت-۴۱) تراکم‌های واقعی ($C_N(d_1(2U))$ و $C_N(d_1(3U))$) از تراکم‌های اندازه‌گیری شدهٔ $C_N(2U)$ و $C_N(3U)$ استخراج می‌شوند. یعنی

$$C_N(d_1(2U))=C_N(2U)/\eta_{CPC,ref} \quad (ت-۴۲)$$

$$C_N(d_1(3U))=C_N(3U)/\eta_{CPC,ref} \quad (ت-۴۳)$$

فرمول‌های (ت-۲۹) و(ت-۳۰)، می‌توانند به ترتیب به فرمول‌های (ت-۴۲) و(ت-۴۳) تبدیل شوند. چنان‌چه:

$$C_N(d_2(U))=[C_N(2U)/\eta_{CPC,ref}]\times[f_2(d_1(2U))/f_1(d_1(2U) \quad (ت-۴۴)$$

$$C_N(d_3(U))=[C_N(3U)/\eta_{CPC,ref}]\times[f_3(d_1(3U))/f_1(d_1(3U))] \quad (ت-۴۵)$$

بنابراین،تراکم واقعی $C_N(d_1(U))$ از فرمول‌های (ت-۳۹)،(ت-۴۴) و(ت-۴۵) به دست می‌آید:

$$C_N(d_1(U))=(C_N(U)/\eta_{CPC,ref})-C_N(d_2(U))-C_N(d_3(U))$$
$$=\{C_N(U)-[C_N(2U)\times f_2(d_1(2U))/f_1(d_1(2U))]-[C_N(3U)\times f_3(d_1(3U))/ f_1(d_1(3U))\}/ \eta_{CPC,ref}$$
(ت-۴۶)

با $C_N(d_2(U))$ ، $C_N(d_3(U))$ و $C_N(d_1(U))$ از فرمول‌های (ت-۴۴)،(ت-۴۵) و (ت-۴۶) به ترتیب $C_N(U)$ و ϕp می‌توانند از فرمول‌های (ت-۲۵) و (ت-۲۶) به دست بیایند.

ت-۳-۲-۲ روش اندازه گیری

الف- با استفاده از FCAE یا CPC مرجع،$C_N(U)$ ، $C_N(2U)$ و $C_N(3U)$ را اندازه گیری کنید. U ولتاژ DEMC است که برای کالیبراسیون ذرات تک‌بار با قطر d_1 تنظیم شده است.

ب- با استفاده از فرمول‌های (ت-۳۶) تا (ت-۳۸)،

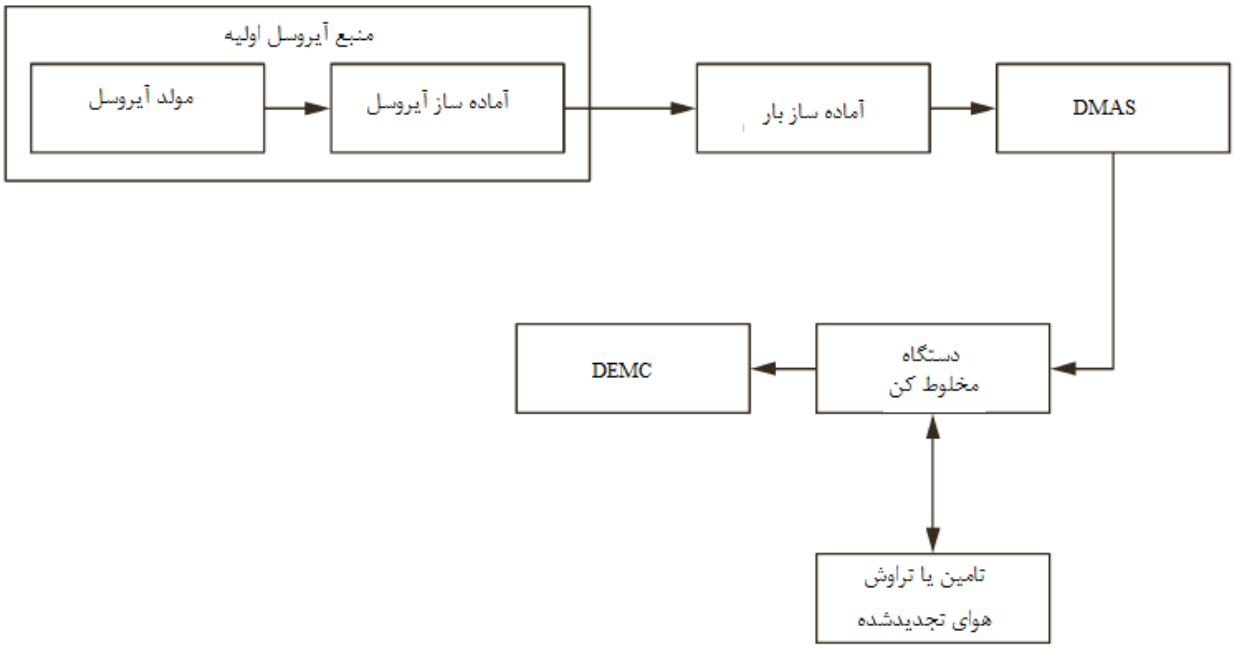
پ- با فرمول های (ت-۲۵) و(ت-۲۶)، $C_N(U)$ و ϕ_p را محاسبه کنید.

ت- برای برآورد تکرارپذیری تصحیح بارهای چندتایی، برای هراندازهٔ ذره حداقل ۵ اندازه‌گیری لازم است؛ همان‌طور که برای محاسبهٔ عدم قطعیت در زیربند ۶-۴ نیازبود. مؤلفه‌های عدم قطعیت $u(1)$،$u(2)$ و$u(3)$ مربوط به زیربند ۶-۴ باید به ترتیب انحراف استاندارد اندازه‌گیری‌های ϕ_1، ϕ_2 وϕ_3 باشند.

یادآوری- اگرنسبت $C_N(d_2(U))/C_N(U)$ ثابت بماند، پایش توصیه شده است. تغییرات در این نسبت یا نشان‌دهندهٔ توزیع بار نامتعادل هستند یا p تکرارناپذیر. برای اطلاعات بیشترپیوست (ذ) رجوع شود.

ت-۳-۳ اندازه‌گیری کسر ذرات با بارچندتایی به وسیلهٔ DMAS

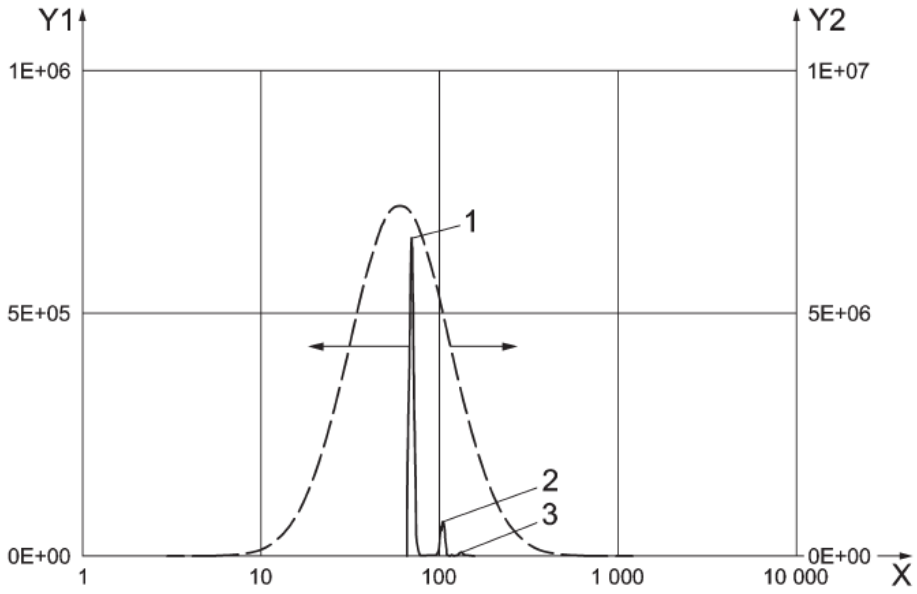
اندازه‌گیری کسرهای گوناگون از بار و اندازه درکالیبراسیون آیروسل، طبق استاندارد ISO 15900 آمده است توسط DMAS ممکن می‌شود. برای تنظیم شارش صحیح ورودی به DMAS ، به خروجی چندتایی با دستگاه مخلوط‌کن متصل می‌شود (شکل ت-۳).



شکل ت۳- راه‌اندازی اندازه گیری کسر ذرات با بارچندتایی با DMAS

برگردان داده‌های اندازه‌گیری DMAS باید شامل تصحیح بارهای چندگانه و تصحیح اتلاف در توزیع باشد. فرض براین است که در اندازه‌گیری کسر ذرات با بارچندتایی با این روش، تصحیحات به درستی و با دقت انجام گرفته‌اند. هم‌چنین، فرض بر این است که آیروسل هنگام عبور از آماده‌ساز بار DMAS، به تعادل مشخص توزیع بار می‌رسد.

اگر توزیع تحرک الکتریکی حاصل از DEMC باریک (یعنی انحراف استاندارد هندسی ذرات تک‌بار کمتر از ۱٫۱ است) و اگر دوام اندازهٔ DMAS کافی باشد، نتیجهٔ اندازه‌گیری به صورت پیک‌های جداگانه و واضح برای هر کسر اندازه و بار ظاهر خواهد شد. شکل (ت-۴) مثالی در این مورد است.



راهنما

X d [nm]

Y1 کالیبراسیون آیروسل- $dCN/d\log(d)$ [cm^{-3}] 1 بار بنیادی

Y2 آیروسل اولیه - $dCN/d\log(d)$ [cm^{-3}] 2 دوبار بنیادی

3 سه باربنیادی

یادآوری ۱ – آیروسل اولیه: NaCl اتمیزه، قطر میانگین ۶۰ nm ، انحراف استاندارد هندسی ۱٫۹.

یادآوری ۲ – کالیبراسیون آیروسل: پس از DEMC با نسبت شارش غلاف به شارش آیروسل 10:1، تنظیم برای ذرات تک بار با اندازهٔ ۷۰ nm

شکل ت-۴ یک مثال برای پیک های واضح اندازه ازکالیبراسیون ذراتی که تک بار،با باردوتایی وسه تایی درخروجی DEMC بودندو توزیع اندازهٔ آیروسل اولیه با DMAS سنجیده شده است.

پیک واقع در انتهای سمت چپ، به اندازهٔ کالیبراسیون آیروسل که با راه‌اندازی کالیبراسیون DEMC انتخاب شده است، بستگی دارد. پیک بعدی ذراتی را نشان می‌دهد که در خروجی DEMC باردوتایی دارند و به همین ترتیب. هرپیک برای کسب عددتراکم ذرهٔ مربوط، همانطور که درفرمول (ت-۴۷) نشان داده شده است، باید یکپارچه شود.

$$C_N(d_p)=C_{N,p,DMAS}(d_p) \qquad (ت-۴۷)$$

کسر ϕp برای بارهای خالص p با استفاده از فرمول(ت-۴۸) محاسبه می‌شود.

$$ø_p=(C_{N,p,DMAS}(d_p))/(\sum_{i\geq 1} C_{N,i,DMAS}(d_i)) \qquad (ت-۴۸)$$

یادآوری- عدد قطر میانگین هرپیک(یا اندازه گیری مستقیم یا برازش منحنی) اندازهٔ نمایندهٔ هرکسرباراست. قراردادن dp و p درفرمول (ت-۲) برای ثابت کردن اینکه تحرک الکتریکی DEMC برای تمام کسرهای بار بدون تغییر می ماند استفاده می شود. این مدرک خوبی برای معتبربودن اندازه‌گیری است.

عدد تراکم بسته به دبی‌های متفاوت شارش برای اندازه گیری های کالیبراسیون و اندازه‌گیری با DMAS ، درآزمون کالیبراسیون ممکن است تغییر کند. (یعنی به عنوان مثال دراندازه گیری کالیبراسیون، C_N ممکن است با $\sum_{i\geq 1} C_{N,i,\mathrm{DMAS}}(d_i)$ فرق کند. کسرϕp، با این‌حال بدون تغییر باقی می‌ماند. تراکم C_N را می‌توان با فرمول (ت-۴۹) بااستفاده از ϕp برای مورد استفاده ازFCAE *محاسبه* کرد:

$$C_N=C_{N,FCAE}/(\eta_{FCAE}\sum_{p\geq 1}\emptyset_p \times p) \qquad (ت-۴۹)$$

در این فرمول فرض براین است که کارآیی آشکارسازی FCAE با اندازه های $dp,\ p \geq 1$ ثابت و مساوی η_{FCAE} می باشد.

به طریق مشابه در مورد استفاده ازCPC مرجع درکالیبراسیون، عددکل تراکم ذرات با فرمول (ت-۵۰) محاسبه می‌شود:

$$C_N=C_{N,CPC,ref}/\eta_{CPC,ref} \qquad (ت-۵۰)$$

در این فرمول فرض براین است که کارآیی آشکارسازی CPC مرجع با اندازه‌های $dp,\ p \geq 1$ ثابت و مساوی $\eta_{CPC,ref}$ می باشد.

پیوست (ث)

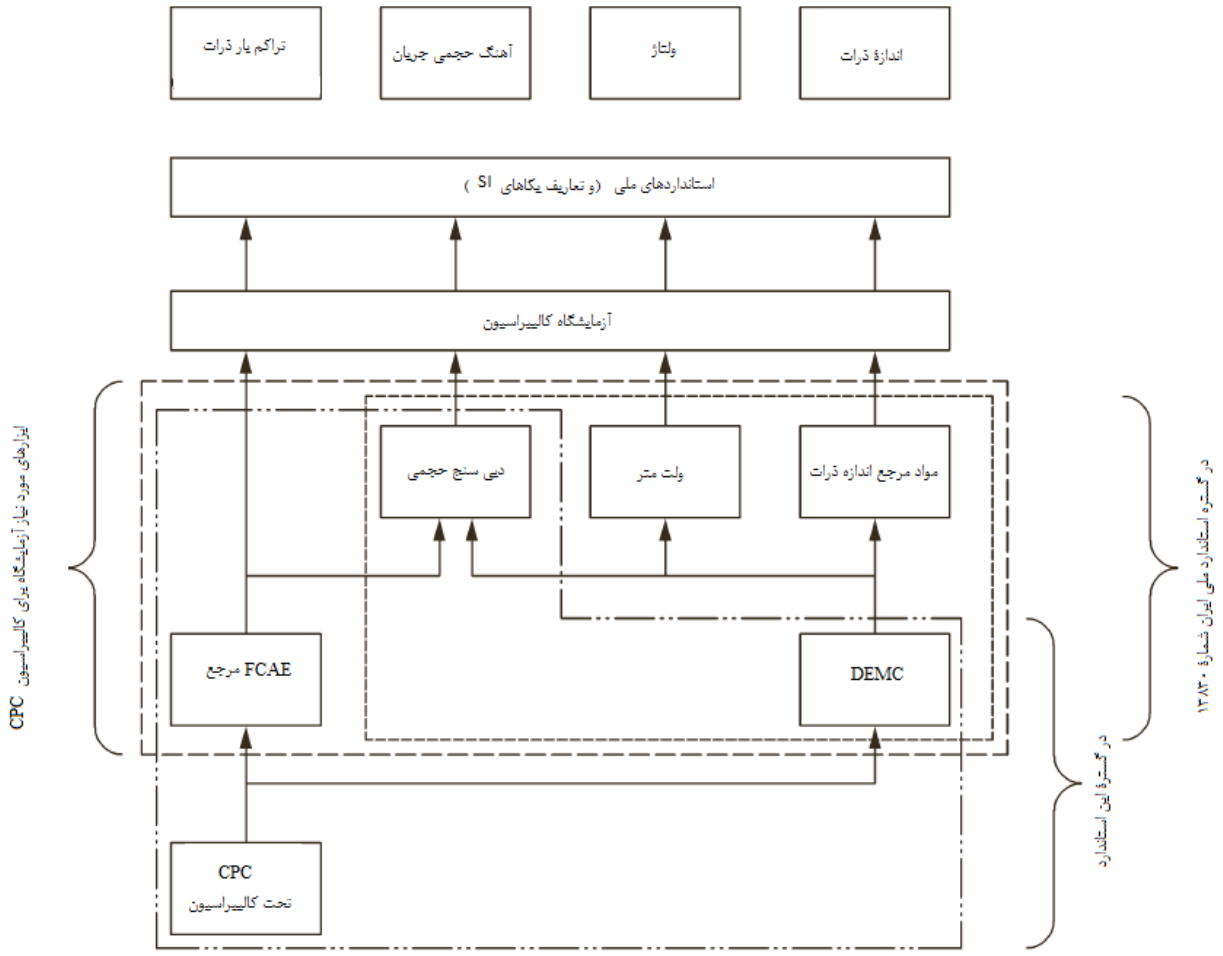
(اطلاعاتی)

نمودارهای قابلیت ردیابی

به منظور قابلیت ردیابی نتایج کالیبراسیون CPC که مطابق با این استاندارد انجام می‌شوند، ابزارهای استفاده‌شده در این کالیبراسیون، شامل FCAE و CPC مرجع باید با استانداردهای ملی اندازه‌شناسی قابل ردیابی باشند. شکل‌های این پیوست، زنجیرهٔ قابلیت ردیابی کمیت‌هایی که بر نتایج کالیبراسیون FCAE تاثیرگذار هستند، را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری‌های آهنگ حجمی جریان، شامل اندازه‌گیری‌های دما و فشار جریان است. بنابراین، قابلیت ردیابی کالیبراسیون آهنگ حجمی جریان، شامل قابلیت ردیابی دما و فشار است.

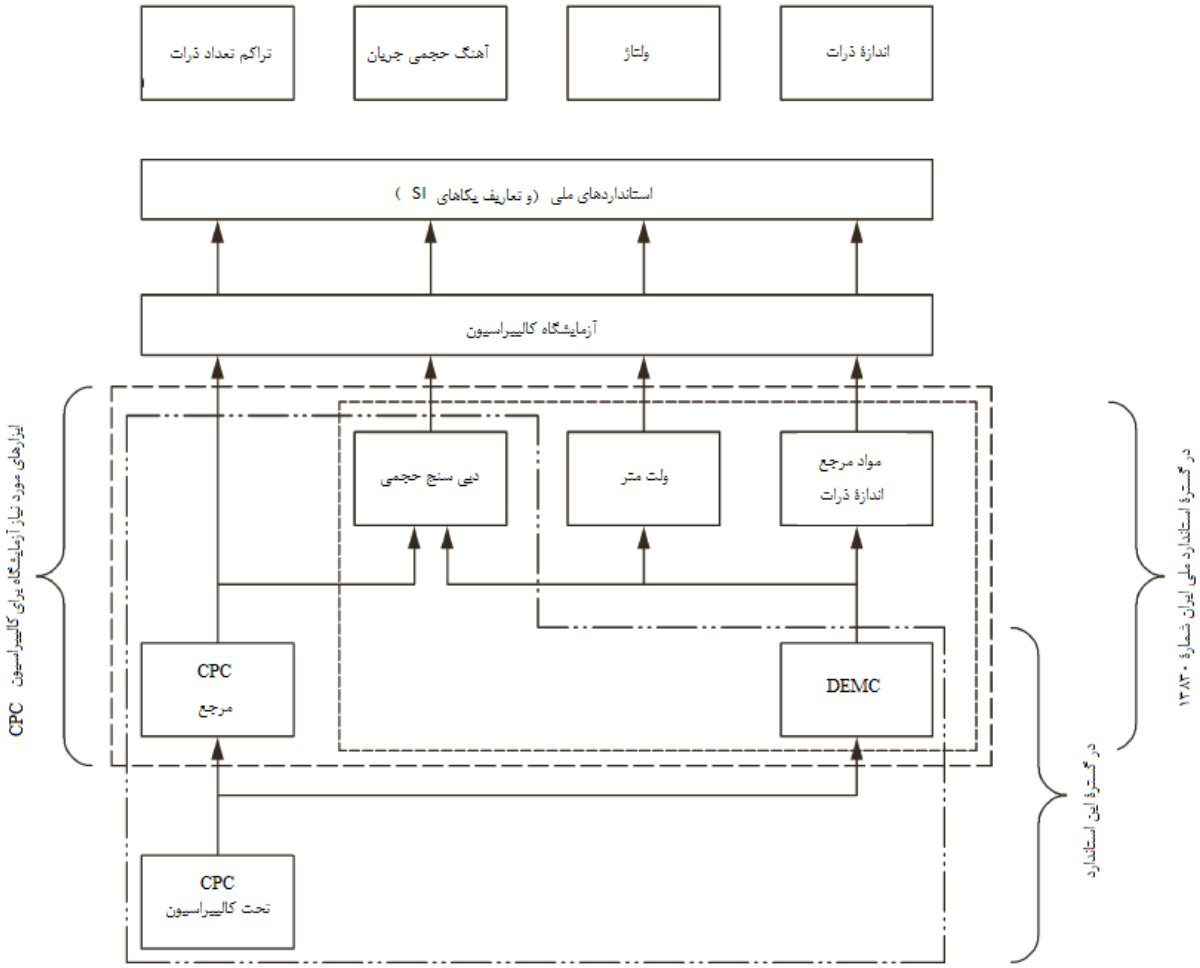
به شکل ث۱ رجوع شود.



شکل ث۱- نمودار قابلیت ردیابی برای کالیبراسیون با FCAE

چهار کمیت مستقیم قابل ردیابی به طور کامل زیربنای کمیت‌های اندازه‌گیری‌شده به وسیلهٔ CPC، تراکم تعداد ذرات نیست. پارامترهای بیشتر، بار میانگین بر ذرات استفاده‌شده برای کالیبراسیون، به وسیلهٔ تنظیم آزمایشی و به وسیلهٔ روش‌ها و توصیفات پیوست ت تعیین می‌شود.

به شکل ث۲ رجوع شود.


اندازهٔ ذرات
ولتاژ
آهنگ حجمی جریان
تراکم تعداد ذرات
استانداردهای ملی (و تعاریف یکاهای SI)
آزمایشگاه کالیبراسیون
مواد مرجع
اندازهٔ ذرات
ولت متر
دبی سنج حجمی
DEMC
CPC
مرجع
CPC
تحت کالیبراسیون
در گسترهٔ استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۱۳۸۳۰
در گسترهٔ این استاندارد
ابزارهای مورد نیاز آزمایشگاه برای کالیبراسیون CPC

پیوست (ج)

(اطلاعاتی)

رقیق‌ساز

ج-۱ کلیات

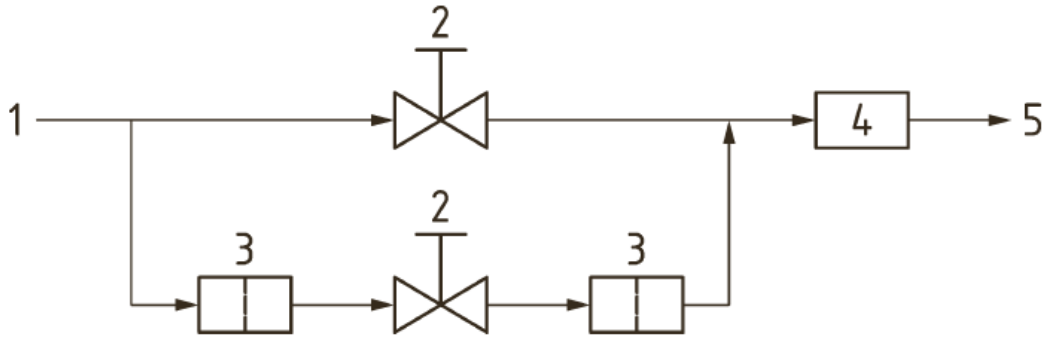
رقیق‌سازها ابزارهایی هستند که امکان کاهش تراکم ذرات را به صورت کنترل‌شده می‌دهند. همهٔ آنها دارای مکانیزمی برای افزودن تمیزی، هوای رقیق عاری از ذرات و اختلاط موثر هستند. برای کالیبراسیون CPC با تنظیمات توصیف شده در این استاندارد، مطلوب است که رقیق‌ساز، همان آهنگ جریان ورودی و خروجی را داشته باشد.

اگر منبع آیروسل اولیه نیاز به عوامل رقیق‌سازی بالا داشته‌باشد، آبشارها یا ترکیبی از سامانه‌های رقیق‌سازی می‌تواند مورد نیاز باشد. عموما توصیه می‌شود سامانه‌های رقیق‌سازی استفاده‌شده برای کالیبراسیون الزامات زیر را برآورده کنند:

- تراکم ذرات در هوای رقیق‌شده کمتر از ٪ ۰٫۱ عدد تراکم آیروسل در جریان هوای رقیق‌شده باشد؛
- قطر میانی کالیبراسیون آیروسل قبل و بعد از رقیق‌شدن در محدودهٔ ٪ ۳± بدون تغییر بماند؛
- انحراف استاندارد هندسی کالیبراسیون آیروسل قبل و بعد از رقیق‌شدن در محدودهٔ ٪ ۳± بدون تغییر بماند؛
- اگر هوای رقیق‌شده توسط یک منبع خارجی تحویل می‌شود، به منظور جلوگیری از رشد تراکم ذرات، توصیه می‌شود رطوبت نسبی هوای رقیق‌شده کمتر از ٪ ۴۰ باشد؛
- توصیه می‌شود تغییرات جریان در رقیق‌ساز به منظور پایدار نگه‌داشتن تراکم تعداد ذرات به اندازه کافی کوچک نگه‌داشته شود؛

ج-۲ پل رقیق‌سازی

پل رقیق‌سازی دارای دو مسیر با تنظیم محدودیت جریان در هر کدام است، در حالی که فیلتر ذرات در یکی از مسیرها قرار داده می‌شود. جریان ورودی به دو مسیر تقسیم می‌شود. اگر جریان بیشتری از مسیر بدون فیلتر عبور کند، تراکم ذرات تغییر زیادی نمی‌کند. به طوری که آهنگ جریان از فیلتر نسبت به مسیر بدون فیلتر افزایش می‌یابد، رقیق‌سازی اثر افزایشی و تراکم اثر کاهشی روی جریان خروجی دارد. برای جلوگیری از افت فشار غیر ضروری در پل رقیق‌سازی، یکی از دو تنظیمات محدودیت جریان باید به طور کامل باز نگه‌داشته شود. به شکل ج۱ رجوع شود.



راهنما:

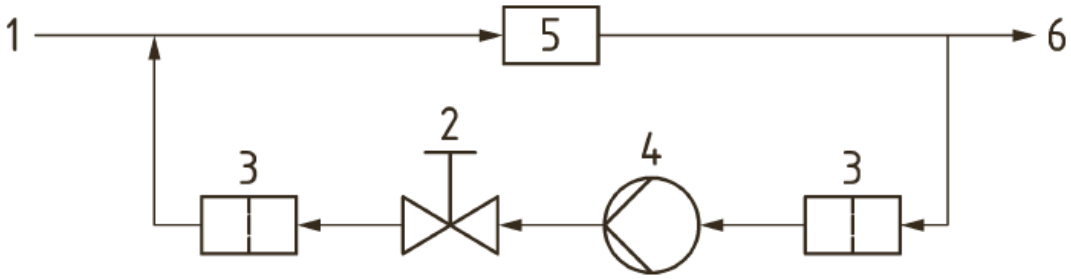
1 ورودی
2 شیر
3 فیلتر
4 مخلوط‌کن
5 خروجی

شکل ج۱- شمای پل رقیق‌سازی

ج-۳ حلقهٔ رقیق‌سازی

در حلقهٔ رقیق‌سازی هوای رقیق‌شده از پایین‌دست مخلوط‌کن فیلتر می‌شود و به صورت پیوسته به هوای رقیق‌شده برگشت داده می‌شود. محدودکنندهٔ جریان (مثل شیر سوزنی یا کنترل کنندهٔ جریان جرمی) برای تنظیم جریان هوای رقیق‌شده و بنابراین نسبت رقیق‌سازی استفاده می‌شود. در مقایسه با پل رقیق‌سازی، حلقهٔ رقیق‌سازی نیاز به تنظیم محدودکنندهٔ جریان آیروسل ندارد. افت فشار در کل شرایط عملیاتی جزئی نگه‌داشته می‌شود و از تنش برشی روی ذرات آیروسل اجتناب شود.

به شکل ج۲ رجوع شود.



راهنما:

1 ورودی
2 شیر
3 فیلتر
4 پمپ
5 مخلوط‌کن
6 خروجی

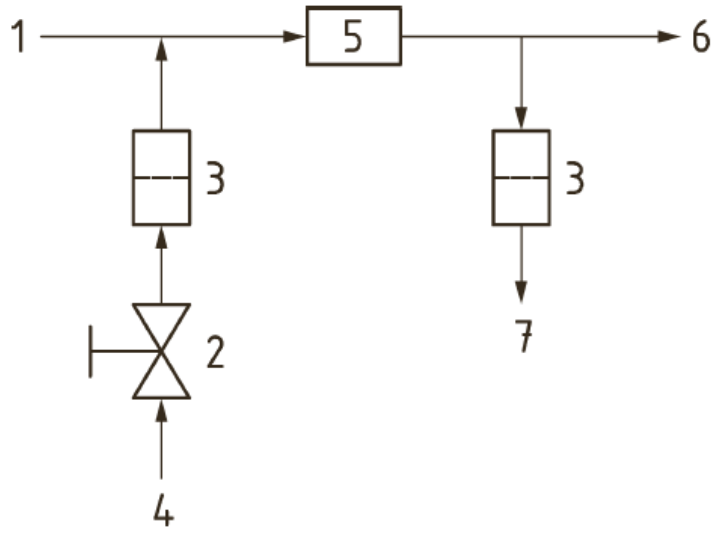
شکل ج۲- شمای حلقهٔ رقیق‌سازی

ج-۴ رقیق‌سازی با افزودن هوای تمیز و دمش هوای اضافی

اپراتور فشار از فیلتر باید کم برای جلوگیری مجبور جریان از طریق ابزار متصل)بازدید کنندگان (نگهداری می شود .بدون کنترل جریان مانند، مسیر جریان بیش از حد خود را باید یک مکانیزم به جلو و جریان توسط یک پمپ و با یک کنترل میزان جریان داشته باشد.

در این نوع رقیق‌سازی، هوای رقیق‌شده توسط منبع خارجی هوای فشرده تحویل داده می‌شود. توصیه می‌شود ترکیب ورودی جریان و جریان هوای رقیق‌شده بالاتر از جریان خروجی رقیق‌شده باشد. اگر جریان خروجی رقیق‌شده کنترل می شود، به عنوان مثال، کنترل توسط ابزارهای متصل، جریان اضافی ممکن است از طریق فیلتر به هوای محیط تهویه شود. توصیه می‌شود، پس‌فشار فیلتر برای جلوگیری از ایجاد جریان واداشته، با استفاده از ابزارهای متصل به آن، کم نگه‌داشته شود. بدون چنین کنترل‌هایی برای جریان، مسیر جریان اضافی دارای مکانیزم رفت‌وبرگشتی برای پمپاژ جریان و کنترل آهنگ آن داشته باشد.

به شکل ج۳ رجوع شود.



راهنما:

1 ورودی	5 مخلوط‌کن
2 شیر	6 خروجی
3 فیلتر	7 هوای محیط
4 هوای فشرده	

شکل ج۳- شمای رقیق‌سازی با افزودن هوای تمیز و دمش هوای اضافی

ج-۵ روش‌های دیگر رقیق‌سازی

بسته به ماهیت منبع آئروسل اولیه، روش‌های دیگر رقیق‌سازی (مثلا رقیق‌ساز دیسک چرخشی) ممکن است لازم باشد یا ممکن است مزایای آن بیش از روش‌های بحث‌شده در بالا باشد . تا زمانی که الزامات مشخص‌شده در بندهای ۵، ۶ و ۷ برآورده شود، این روش‌های رقیق‌سازی ممکن است استفاده شود.

پیوست (چ)

(الزامی)

ارزیابی ضریب تصحیح اریبی تراکم بین ورودی های دستگاه مرجع و CPC مورد آزمون

چ-۱ کلیات

روش‌های درنظرگرفته شده در این پیوست، پیش از کالیبراسیون CPC برای کارآیی آشکارسازی آن ، به کار می‌روند. نتایج اندازه‌گیری انحراف قویا" فقط برای دبی‌های شارش واندازهٔ ذرات موجود درطول اندازه‌گیری معتبرهستند. ضریب تصحیح β پیکربندی وابسته است و باید مطابق توافق نامهٔ شرح داده شده دراین پیوست اندازه گیری شود. اگرکالیبراسیون های کارآیی آشکارسازی CPC درمحدوده های بالاترازاندازهٔ ذرات انجام شود، برای هرذره اریبی شکافنده باید سنجیده شود.این بررسی درصورتی که فقط تراکم تغییر می یابد ضرورتی ندارد.
ارزیابی ضریب تصحیح β است انجام پذیر است اگر:
الف- دو آشکارساز ذره به یک شارش شکافنده متصل می‌شوند که نمونه‌برداری را با دبی‌های ثابت و مساوی (یعنی درمحدودهٔ % 10) شارش ورودی انجام می‌دهند (برای جزئیات بیشتر به بند چ-۲ رجوع کنید)، یا اگر:
ب- دو آشکارساز ذره به یک شارش شکافنده متصل می شوند که نمونه برداری را با دبی‌های ثابت و نامساوی ورودی انجام می‌دهند (برای جزئیات بیشتر به بند چ-۳ رجوع کنید).
برای انجام اندازه‌گیری ضریب تصحیح اریبی، لولهٔ اتصال آشکارسازها به شکافنده و دستگاه مخلوط‌کن باید هدایت الکتریکی داشته باشد.

چ-۲ اندازه‌گیری ضریب تصحیح اریبی β برای آشکارساز مساوی دبی‌های شارش

راهکار آن به دانش کارآیی آشکارسازی دستگاه مرجع یا CPC مورد آزمون که درطول زمان ارزیابی، کارآیی‌های آشکارسازی را ثابت نگه می دارند، نیازمند نیست. بنابراین، روش باید تاجایی که ممکن است با ثابت نگه‌داشتن هم تراکم و هم اندازهٔ ذره، انجام بگیرد. وقتی شرایط ثابت نباشند $|\beta - 1|$ افزایش خواهد یافت.
ضریب تصحیح اریبی β، به صورت ضریب صحیح اندازه‌گیری تراکم ایجاد شده با آشکارسازهای متصل به لوله-های A و B دردو پیکربندی تعریف می شود. درشکل‌های (چ-۱) و(چ-۲) به ترتیب نشان داده شده‌اند.

چ-۲-۱ اندازه‌گیری در پیکربندی اول

با پیکربندی شکل(چ۱) دبی شارش را در q تنظیم کرده وذرات با اندازهٔ d را از سامانهٔ مولد ذرهٔ کالیبراسیون تغذیه کنید. اجازه دهید راه اندازی برای ۳۰ ثانیه پایدار بماند. هنگام استفاده از CPC به عنوان دستگاه مرجع، n جفت از خوانده‌های تراکم (کمینه یک جفت خوانده درثانیه) دستگاه مرجع، $C_{N,\mathrm{ref,1a}}$ وCPC مورد آزمون ، $C_{N,\mathrm{CPC,1a}}$، را طی ۳۰ ثانیهٔ بعدی ثبت کنید. میانگین عددی تراکم‌ها را با فرمول‌های (چ-۱) و (چ-۲) محاسبه کنید:

$\bar{C}_{N,CPC,1a} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} C_{N,CPC,1a,i}$ چ-۱

$\bar{C}_{N,ref,1a} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} C_{N,ref,1a,i}$ چ-۲

هنگام استفاده از FCAE به عنوان دستگاه مرجع، تراکم‌های زمینه و سیگنال بار باید اندازه‌گیری شوند. روش توصیه شدهٔ ثبت داده‌ها در پیوست (ر) آمده است. فرمول‌های (چ-۲) و (چ-۳) را برای محاسبهٔ میانگین عددی تراکم‌های FCAE استفاده کنید.

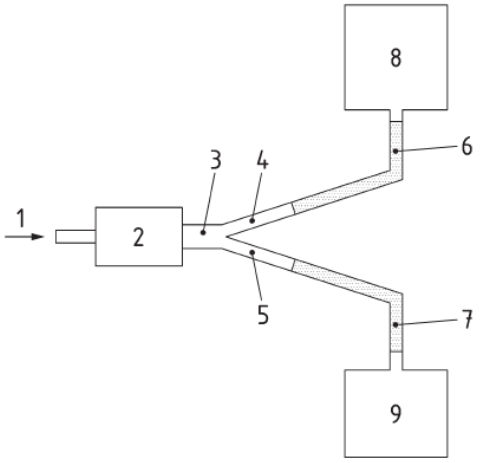
$C_{N,ref,1a,I} = (C_{Q,1a,i} - C_{Q,0,1a,i}) / e$ چ-۳

با استفاده از فرمول (چ-۴)، r_{1a} را محاسبه کنید.

$r_{1a} = (\bar{C}_{N,CPC,1a}) / (\bar{C}_{N,ref,1a})$ چ-۴

روش بالارا دو بار یا بیشتر تکرار کنید تا کمینه سه اندازه‌گیری از r_{1a} دردسترس باشد. مقدار میانگین عددی r_{1a} را با استفاده از فرمول (چ-۵) محاسبه کنید.

$\overline{r_{1a}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} r_{1a,i}$ چ-۵



راهنما

1 کالیبراسیون آیروسل
2 مخلوط‌کن
3 شارش شکافنده
4 پورت A
5 پورت B
6 لولهٔ A
7 لولهٔ B
8 دستگاه مرجع
9 CPC مورد آزمون

شکل چ۱ - پیکربندی اتصال اول شارش شکافنده و لوله های پس ازآن

چ-۲-۲ اندازه‌گیری در پیکربندی دوم

راه اندازی مورد آزمون را به پیکربندی شکل (چ۲) طوری تغییردهید که دستگاه مخلوط‌کن، شارش شکافنده و لوله‌های دستگاه‌ها برگردانده شده‌اند. اجازه دهید راه‌اندازی برای ۳۰ ثانیه پایدار بماند. هنگام استفاده از CPC به

عنوان دستگاه مرجع، n جفت ازخوانده‌های تراکم (کمینه یک جفت خوانده درثانیه)دستگاه مرجع،$C_{N,ref,2}$ و CPC مورد آزمون ، $C_{N,CPC,2}$، را طی ۳۰ ثانیهٔ بعدی ثبت کنید. کسرمیانگین r_2 را در پیکربندی دوم، همانند پیکربندی اول اندازه‌گیری و محاسبه کنید.

با استفاده از فرمول (چ-۶)، r_2 را محاسبه کنید:

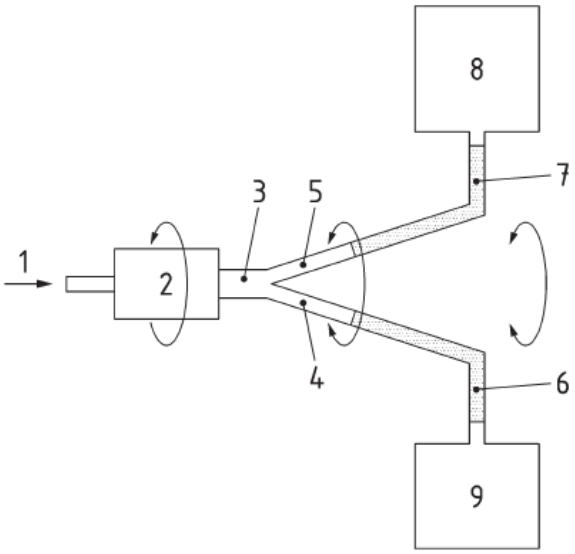
$$r_2 = \bar{C}_{N,CPC,2} / \bar{C}_{N,ref,2} \qquad \text{چ-۶}$$

روش بالا را بیشتر از دو بار تکرارکنید تا کمینه سه اندازه گیری از r_2 در دسترس باشد. مقدار میانگین عددی r_2 را با استفاده از فرمول (چ-۷) محاسبه کنید:

$$\bar{r_2} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} r_{2,i} \qquad \text{چ-۷}$$

یادآوری- این اندازه‌گیری را می‌توان بدون برگرداندن دستگاه مخلوط ساز، شارش شکافنده و لوله‌ها باحرکت دو ابزار، با جابه‌جایی CPC مورد آزمون و دستگاه مرجع، جایگزین کرد. درحالیکه درپیکربندی اول دستگاه مرجع درموقعیت CPC مورد آزمون قرار گرفته است.

پس از این اندازه‌گیری، دستگاه مخلوط‌ساز و مجموعهٔ شکافنده باید به پیکربندی شکل (چ۱) برگردانده شده و یک تکرار دیگر انجام شود.



راهنما

1 کالیبراسیون آیروسل	6 لولهٔ A
2 مخلوط ساز	7 لولهٔ B
3 شارش شکافنده	8 دستگاه مرجع
4 پورت A	9 CPC مورد آزمون
5 پورت B	

شکل چ۲- شمایی از دستگاه مخلوط‌کن، شارش شکافنده و لوله‌های پس از آنها وقتی که برگردانده شده‌اند

چ-۲-۳ اندازه‌گیری تکرار شده در پیکربندی اول

r_{1b} را مانند (چ-۲-۱) و را به عنوان میانگین عددی r_{1a} و r_{1b} حساب کنید.

چ-۲-۴ محاسبهٔ β و عدم قطعیت آن

اگر اندازه‌گیری با اندازه و تراکم ثابت ذره انجام گرفته باشد، اریبی β وعدم قطعیت آن با فرمول‌های (چ-۸) تا (چ-۱۱) معین می‌شوند:

$$\beta = \sqrt{\frac{\bar{r}_2}{\bar{r}_1}} \qquad \text{چ-۸}$$

$$\left[\frac{u(\beta)}{\beta}\right]^2 = \left[\frac{1}{2}.\frac{u(\overline{r_1})}{\overline{r_1}}\right]^2 + \left[\frac{1}{2}.\frac{u(\overline{r_2})}{\overline{r_2}}\right]^2 \qquad \text{چ-۹}$$

$$u(\overline{r_1}) = \sqrt{\frac{\sum_i^n (r_{1,i}-\overline{r_1})^2}{n(n-1)}} \qquad \text{چ-۱۰}$$

$$u(\overline{r_2}) = \sqrt{\frac{\sum_i^n (r_{2,i}-\overline{r_2})^2}{n(n-1)}} \qquad \text{چ-۱۱}$$

چ-۳ اندازه گیری ضریب تصحیح β برای آشکارساز نامساوی دبی‌های شارش

اگر برای مثال، دبی شارش دستگاه مرجع ثابت شده باشد یا دبی شارش CPC مورد آزمون خارج از محدوده‌ای باشد که دستگاه مرجع برای آن تخصیص یافته است؛ دراین صورت این دو دستگاه مورد آزمون و مرجع نمی‌توانند با دبی‌های شارش مشابه کارکنند. ضریب تصحیح اریبی β با تعویض موقعیت‌های آشکارسازها نمی‌تواند تعیین شود و مقدار $\beta = 1$ باید جایگزین آن شود. اندازه‌گیری عدم قطعیت درمقایسه با روش دبی‌های مساوی که در بند (چ-۲) شرح داده شد، افزایش خواهدیافت. بیشینهٔ نسبت بین دو دبی شارش 7:1خواهدبود.

برای ارزیابی اندازه‌گیری عدم قطعیت β برای دبی‌های نامساوی شارش، به دو شمارشگر ذره با دبی‌های مساوی شارش نیاز است. مجموع دبی‌های برابر شارش باید از مجموع دبی‌های نابرابر کمتر باشد. ابتدا، با به کارگیری دوشمارشگر ذره با دبی‌های برابر، اریبی شکافنده را طبق فرمول (چ-۲) اندازه‌گیری کنید. با استفاده از فرمول‌های (چ-۱) تا (چ-۸)، β راحساب کرده واین مقدار را (β_{equal}) بنویسیدکه $0.95 < \beta_{equal} < 1.05$ می باشد. اگر(β_{equal}) خارج ازاین دامنه باشداندازه‌گیری نمی‌تواند پیش رود. عدم قطعیت (β_{equal}) با فرمول‌های (چ-۹) تا (چ-۱۱) محاسبه کرده و این مقدار را $[u(\beta_{equal})/\beta_{equal}]^2$ بنویسید. سهم عدم قطعیت اضافی همراه با دبی‌های نابرابر شارش با فرمول(چ-۱۲) محاسبه می‌شود:

$$u(\beta_{unequal}) = |1 - \beta_{equal}| \qquad \text{چ-۱۲}$$

عدم قطعیت کلی را برای دبی‌های نابرابر شارش با فرمول (چ-۱۳) حساب کنید:

$$\left[\frac{u(\beta)}{\beta}\right]^2 = \left[\frac{u(\beta_{equal})}{\beta_{equal}}\right]^2 + \left[\frac{u(\beta_{unequal})}{\beta_{unequal}}\right]^2 \qquad \text{چ-۱۳}$$

در فرمول (چ-۱۳) و درحین کالیبراسیون $\beta_{\text{unequal}} = 1$ است.

وقتی دو دستگاه با دبی‌های نابرابر شارش به شکافنده متصل می‌شوند، طول لولهٔ اتصال طبق فرمول (چ-۱۵) باید برای جبران اختلاف درتلفات انتقال به کار رود. برای شارش آرام لوله، اتلاف توزیع از قطرلوله مستقل است[3]. با این حال، برای کاهش عدم قطعیت جبران، دو لولهٔ نمونه‌برداری باید جنس و قطر مساوی داشته و طوری انتخاب شوند که عدد رینولدز شارش لوله در هردوی آنها کوچکتر از ۱۵۰۰ باشد.

$$\text{Re} = \frac{4q}{\pi d \upsilon} < 1500 \qquad \text{چ-۱۴}$$

که در آن:

Re عددرینولدز شارش لوله،

q دبی شارش حجمی ورودی CPC مورد آزمون یا دستگاه مرجع،

d قطر داخلی لوله،

υ گرانروی جنبشی گاز حامل (هوا) در لوله است.

با دردست داشتن طول لوله دستگاه مرجع و دبی شارش آن، طول لازم لوله برای CPC مورد آزمون از فرمول (چ-۱۵) محاسبه می‌شود:

$$l_{cpc} = l_{ref}(q_{cpc}/q_{ref}) \qquad \text{چ-۱۵}$$

که در آن:

l_{CPC} طول لوله به CPC مورد آزمون؛

l_{ref} طول لوله به دستگاه مرجع؛

q_{CPC} دبی شارش حجمی ورودی به CPC مورد آزمون؛

q_{ref} دبی شارش حجمی ورودی به دستگاه مرجع است.

پیوست (ح)

(اطلاعاتی)

گسترش دامنهٔ کالیبراسیون به تراکم های پایین‌تر

ح-۱ کلیات

این پیوست روش کالیبراسیون را برای اندازه‌گیری تناسب پاسخ CPC با تراکم آیروسل شرح می‌دهد. این روش یک کالیبراسیون نسبی پاسخ CPC در محدودهٔ گسترده‌ای از تراکم‌هاست و برای کالیبره‌کردن CPC زیر حد پایین‌تر FCAE ،همانطورکه در زیربندهای ۶-۳-۶ و ۶-۳-۷ توضیح داده‌شد به کار می‌رود. اندازه‌گیری‌های جداگانهٔ انجام شده با یک FCAE یا CPC مرجع درتراکم بالا برای اندازه‌گیری ثابت تناسب ضروری بوده و نتیجهٔ آن یک کالیبراسیون مطلق با قابلیت آشکارسازی به واحدهای SI است. پاسخ متناسب، یک مورد ویژه از پاسخ خطی با عرض از مبدأ برابر صفر است. درنتیجه یک ضریب تصحیح منفرد درطول محدودهٔ تراکم‌های مورد آزمون به کار می‌رود.

روش کالیبراسیون به یک رقیق‌ساز آیروسل و دو CPC نیاز دارد: CPC مرجع و CPC مورد آزمون ساختگی. برای کالیبراسیون مطلق نیازی به CPC نیست. تمام اندازه‌گیری‌های تراکم باید به صورت تصادفی تصحیح شوند؛ این تصحیح یا از یک تفریق زمان مرده با استفاده از نرم‌افزارCPC انجام می‌شود یا یک تصحیح تکرارشونده بر پایهٔ پهنای پالس CPC است.

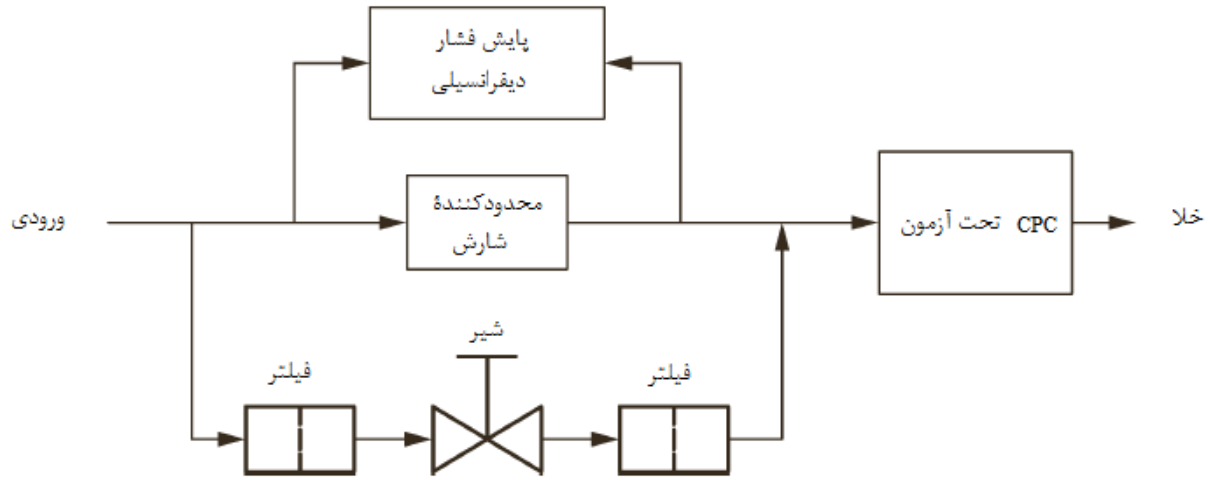
ح- ۲ رقیق‌ساز

ح-۲-۱ الزامات رقیق‌ساز

رقیق‌ساز باید یک ضریب رقیق سازی پایدار، با توجه به زمان و در طول محدودهٔ تراکم دلخواه آیروسل را فراهم کند. برای اطمینان از پایداری ضریب رقیق سازی با توجه به زمان، دبی شارش حجمی ازمیان رقیق‌کننده باید ثابت باقی بماند و اتلاف ذره در رقیق‌کننده درطول زمان تغییر نکند. یک آیروسل متقارن برای ثابت نگه‌داشتن اتلاف ذره درطول زمان به کار رود. پایداری رقیق‌کننده درطول محدودهٔ تراکم دلخواه آیروسل باید مطابق روش این پیوست اندازه‌گیری شود.

شکل ح۱ پیکربندی رقیق‌کنندهٔ توصیه شده را برای آزمون تناسب نشان می‌دهد. ولی هر نوع رقیق‌کننده‌ای که بتواند الزامات ذکر شده در بالا را رفع کند، می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. این رقیق‌ساز، مشابه پل رقیق‌سازی درپیوست (ج) است. رقیق‌ساز، شارش ورودی را در دو مسیر هدایت می‌کند: یکی با محدودکنندهٔ شارش و دیگری با شیر و فیلتر. محدودکننده می‌تواند یک روزنه، یک لولهٔ نازک یا یک شیر باشد، ولی نباید ذرات بیشتری

تولید کند. دو مسیر در پایین‌دست انتهای رقیق‌ساز به هم می‌پیوندند. برای زیرنظرداشتن پایداری دبی‌های شارش حجمی رقیق‌ساز، شیر فشار درطول محدودکنندهٔ شارش جاسازی شدند و برای پایش پایداری شارش حجمی فیلترنشده به کار می‌روند. اگر CPC برای کنترل شارش ازروزنهٔ بحرانی استفاده کند، می‌توان اطمینان حاصل کرد تمام شارش حجمی در رقیق‌ساز در طول زمان ثابت می‌ماند. اگرCPC از روزنهٔ بحرانی استفاده نکند، باید دبی شارش حجمی CPC با دبی‌سنج پایش شود یا باید افت فشار در مسیر شارش دارای فیلتر از نظر پایداری پایش شود.

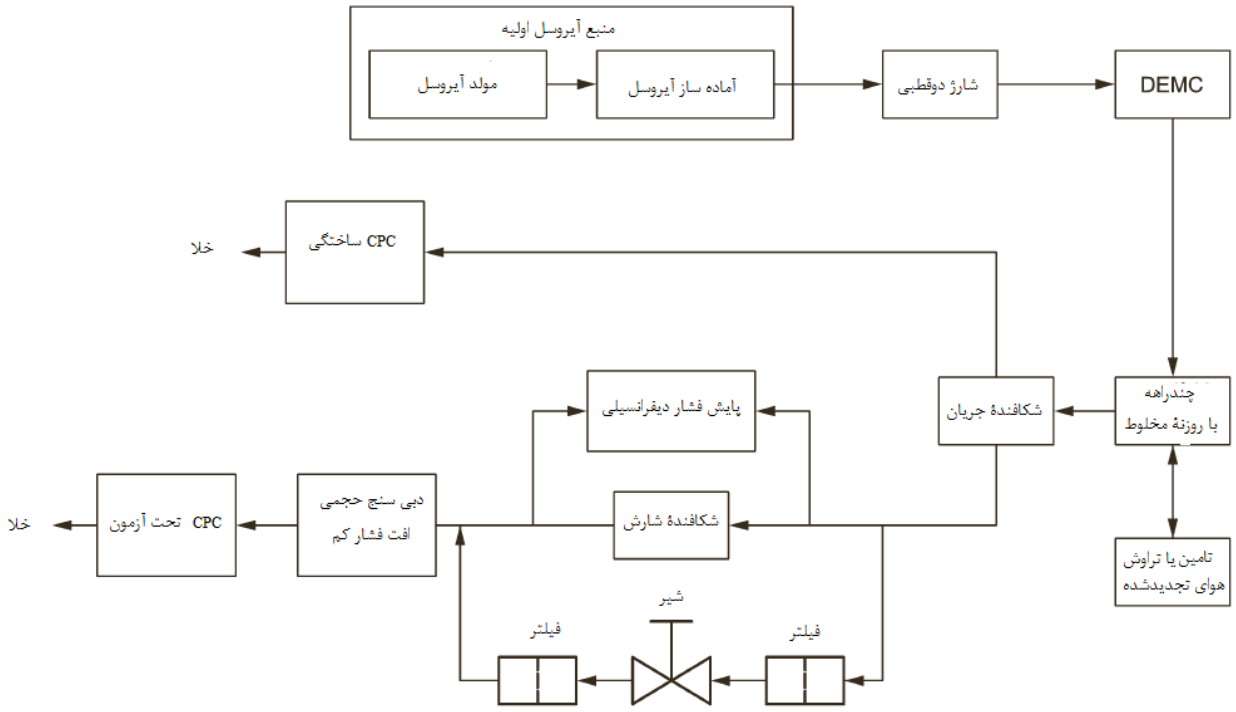


شکل ح۱ - شمایی از رقیق کننده و پیکربندی CPC

ح-۲-۲ صحه‌گذاری رقیق کننده: اثر تراکم ذره بر دبی شارش

برای اینکه رقیق‌ساز درطی آزمون تناسب، یک ضریب پایدار رقیق‌سازی ایجاد کند، دبی‌های شارش آن باید به تغییر تراکم آیروسل حساس نباشند. سه دبی شارش دررقیق کننده وجود دارند: شارش کلی رقیق‌ساز، شارش فیلترنشده از میان محدودکنندهٔ شارش و شارش فیلترشده. تأثیر آیروسل برروی دو مورد از این دبی‌های شارش باید اندازه‌گیری شود. دبی‌سنج به کار رفته دراین اندازه‌گیری باید افت فشار پایینی داشته باشد و هم‌چنین تغییر تراکم ذره بر آن بی‌تأثیر باشد.

شکل‌های (ح۱) و (ح۲) با توجه به حضورآیروسل، روش انجام صحه‌گذاری پایداری دبی شارش رقیق‌ساز توصیه شده را نشان می‌دهند. در این روش شارش کل رقیق‌ساز و شارش فیلترنشده از محدودکنندهٔ شارش بررسی می‌شود.



شکل ح۲ - شمایی ازراه‌اندازی اعتباربخشی به رقیق‌ساز موردنظر و پیکربندی CPC

الف- آزمون را مطابق شکل (ح۲) باجداکردن دبی‌سنج حجمی افت فشار پایین از ورودی CPC مورد آزمون راه‌اندازی کنید. اجازه دهید دستگاه‌ها تا یک ساعت گرم بشوند و مولد شارش‌ها و آیروسل پایدارشوند.

ب- با ولتاژ DEMC و دبی شارش غلاف، اندازهٔ دلخواه ذره را تنظیم کنید. آماده‌ساز آیروسل راطوری تنظیم کنید که CPC ساختگی تا حدود cm^{-3} ۱۰۰۰ را بخواند.

پ- شیر و/یا محدودکنندهٔ شارش در رقیق‌کنندهٔ آیروسل را طوری تنظیم کنید که CPC مورد آزمون تا حدود cm^{-3} ۱۰۰۰ را بخواند.

ت- اختلاف فشار در محدودکنندهٔ شارش را ثبت کنید. چون استفاده از آن برای تولید کمینه Pa ۵۰۰ اختلاف فشار مفید است.

ث- ولتاژ DEMC را روی صفرتنظیم کرده و منتظر بمانید تا CPCها به صفر برسند. دبی‌سنج حجمی افت فشار را در ورودی CPC مورد آزمون نصب کنید. اجازه دهید تا مولد شارش‌ها و آیروسل پایدارشود.

ج- ولتاژ DEMC را برای انتخاب اندازهٔ دلخواه ذره و تنظیم کردن آماده ساز آیروسل تنظیم کنید. به این ترتیب، CPC ساختگی بالاترین تراکم ذره را که برای آزمون تناسب لازم است، می‌خواند.

چ- شیر و/یا محدودکنندهٔ شارش در رقیق‌کنندهٔ آیروسل را تنظیم کنید تا اختلاف فشار با اختلاف ثبت‌شده در مرحلهٔ (ت) برابر شود.

ح- اختلاف فشار در محدودکنندهٔ شارش را به صورت dPON یادداشت کنید. سپس دبی شارش ورودی CPC که از دبی‌سنج حجمی افت فشارپایین استفاده می‌کند را به صورت QON یادداشت کنید.

خ- ولتاژ DEMC راروی صفرتنظیم کرده و منتظر بمانیدتا CPCها به صفربرسند. اختلاف فشار در محدودکنندهٔ شارش را به صورت dP_{OFF} یادداشت کنید. سپس دبی شارش ورودی CPC مورد آزمون که از دبی‌سنج حجمی افت فشار پایین استفاده می‌کند را به صورت Q_{OFF} یادداشت کنید.

د- ولتاژ DEMC را روی مقدار مرحلهٔ (ج) تنظیم کنید.

ذ- مراحل (ح) تا (د) را حداقل دوبار تکرار کنید.

ر- میانگین عددی مقادیر دواختلاف فشار و دو دبی شارش ورودی CPC را به صورت dP_{ON}, dP_{OFF}, Q_{ON} و Q_{OFF} حساب کنید.

ز- نسبت‌های $r\text{dP} = dP_{ON}/dP_{OFF}$ و $r_Q = Q_{ON}/Q_{OFF}$ را محاسبه کنید.

برای اینکه رقیق‌ساز قابل قبول باشد، نسبت r_Q باید برابر واحد درون عدم قطعیت دبی‌سنج حجمی با ٪۹۵ اطمینان باشد. هم‌چنین نسبت rdP در دامنهٔ $0.98 < r\text{dP} < 1.02$ است.

ح-۳ کالیبراسیون تناسب

کالیبراسیون تناسب به دو مرحله نیاز دارد: یک مقایسهٔ مستقیم بین مورد آزمون و ساختگی و اندازه‌گیری ضریب رقیق سازی درطول محدودهٔ تراکم آیروسل.

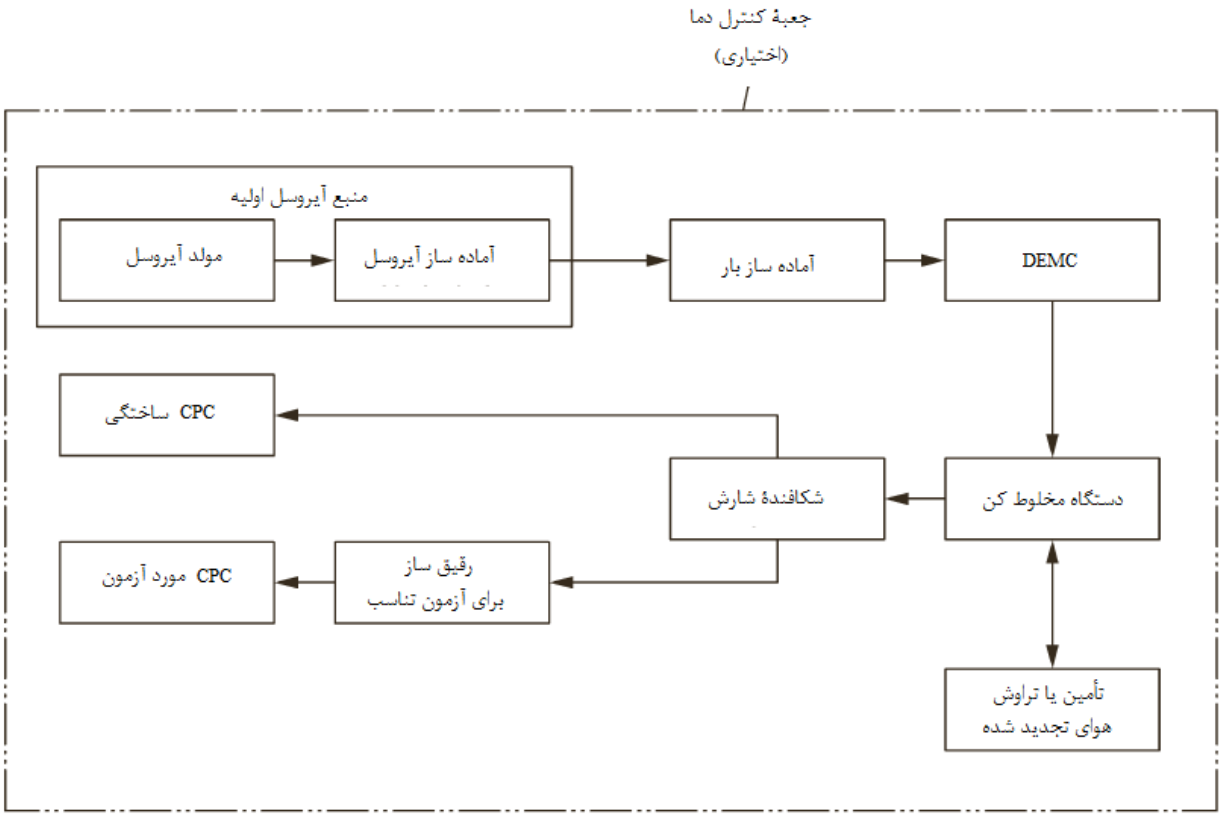
ح-۳-۱ راه‌اندازی تجربی

کاربر باید تراکم نقاط آزمون را که کالیبراسیون درآنها انجام خواهدشد، با استفاده از ضریب رقیق‌سازی نامی 10:1تعریف کند. کمینه ۷ نقطهٔ آزمون درمحدودهٔ دلخواه از تراکم لازم است. این نقاط باید در فواصل تقریبا" مساوی در مقیاس لگاریتمی قرار بگیرند. برای مثال، وقتی کالیبراسیون درطول محدودهٔ $10\ cm^{-3}$ تا $104\ cm^{-3}$ انجام می شود، از نقاط داده $(10,30,100,300,1000,3000,10000)cm^{-3}$ استفاده کنید.

نقاط آزمون با استفاده ازعدد شبه تصادفی مولد، باید دریک توالی تصادفی مرتب شوند.

نسبت رقیق سازی رقیق کننده باید بین 9:1 و11:1 و نسبت نامی 10:1باشد.

راه اندازی تجربی آزمون تناسب در شکل (ح۳) نشان داده شده است.



شکل ح۳ - شمایی از راه اندازی کالیبراسیون برای آزمون تناسب

ح-۳-۲- صفر CPC

فیلتر HEPA را به ورودی CPC حین نمونه‌برداری ازهوای اتاق وصل کنید و اجازه دهید تا به صفر برسد. عدد شمارش‌ها را باید درطول ۵ دقیقه اندازه‌گیری کرده و با زمان نمونه و دبی شارش برای محاسبهٔ تراکم استفاده کنید. تراکم محاسبه شده باید کمینه ۱۰۰بار پایین‌تر از پایین‌ترین تراکم انتخابی در زیربند (ح-۳-۱) باشد.

ح-۳-۳ هم‌بستگی CPC

ازیک مقایسهٔ مستقیم بین CPC ساختگی و CPC مورد آزمون، برای مشخص‌شدن هرگونه اختلاف بین دو آشکارساز استفاده کرد. آزمون را طبق شکل (ح-۳) راه‌اندازی کنید ولی با رقیق‌کنندهٔ آزمون تناسب که جداشده است. دراین‌صورت، یک اندازه‌گیری موازی از همان آیروسل می‌تواند انجام بگیرد. دستگاه‌ها را روشن کنید و بگذارید تا ۱ساعت گرم شوند. شارش‌های DEMC و ولتاژ را روی مقادیر مرتبط به قطر دلخواه ذره تنظیم کنید. برای هر تراکم، نقطهٔ آزمون در زیربند (ح-۳-۱) مشخص است؛ میانگین عددی تراکم آیروسل را با هردو CPC در یک زمان نمونهٔ مناسب اندازه‌گیری کنید. زمان‌های نمونه باید درتراکم‌های پایینتر برای کاهش عدم قطعیت اندازه‌گیری، طولانی‌تر باشند.

$$k(C_{dummy}) = C_{test} / C_{dummy}$$ ح-۱

ضریب تصحیح k را مطابق فرمول (ح-۱) محاسبه کنید.

ح-۳-۴ اندازه‌گیری‌های متناسب

روش زیر را برای اندازه‌گیری متناسب دنبال کنید.

الف- سامانه را مطابق شکل (ح۳) راه اندازی کنید.

ب- ولتاژDEMC و دبی شارش غلاف را برای ایجاد اندازهٔ دلخواه ذره تنظیم کنید.

پ- تراکم آیروسل اندازه‌گیری‌شده با CPC ساختگی را درنقطهٔ آزمون، جایی که تصحیح تصادفی حدود ٪۱ است، تنظیم کنید.

ت- رقیق‌کننده را طوری تنظیم کنید که CPC مورد آزمون، تراکمی را بخواند که به تقریب ۱۰ بار پایین‌تر از تراکم CPC ساختگی باشد.

ث- اندازه‌گیری‌های تراکم CPC را برای ۱۰ اندازه‌گیری با استفاده از زمان نمونهٔ مناسب یادداشت کنید.

یادآوری- زمان‌های نمونه باید در تراکم‌های پایین تر، برای افزایش تعداد ذرات شمارش شده درفاصلهٔ زمانی کاهش عدم قطعیت اندازه‌گیری، طولانی‌تر باشد.

هرگونه فشار دیفرانسیلی یا اندازه‌گیری‌های دبی شارش رقیق‌کننده را یادداشت کنید.

ج- تراکم آیروسل را در مقدار اول (یا بعدی) توالی تصادفی نقاط آزمون، همانند اندازه‌گیری انجام شده توسط CPC ساختگی، تنظیم کنید.

چ- اندازه‌گیری‌های هم‌زمان تراکم‌های CPC رایادداشت کنید. کمینه ۱۰ اندازه‌گیری با استفاده از زمان نمونهٔ مناسب لازم است. هرگونه فشار تفاضلی یا اندازه‌گیری‌های دبی شارش رقیق‌کننده را یادداشت کنید.

ح- مراحل (ج) و(چ) را تکرارکنید تا نیمی از نقاط آزمون توالی تصادفی اندازه‌گیری شوند.

خ- تراکم آیروسل را در تراکم مورد استفاده برای راه‌اندازی رقیق‌کننده درمرحلهٔ (پ) تنظیم کنید. اندازه‌گیری‌های هم‌زمان تراکم CPC رایادداشت کنید. کمینه۱۰اندازه گیری با استفاده از زمان نمونهٔ مناسب لازم است. هرگونه فشاردیفرانسیلی یا اندازه‌گیری‌های دبی شارش رقیق‌کننده را یادداشت کنید.

د- مراحل (ج) و (چ) رابرای نگه‌داشتن نقاط آزمون توالی تصادف تکرار کنید.

ذ- مرحلهٔ (خ) را تکرارکنید.

برای هرنقطه آزمون، میانگین عددی تراکم اندازه‌گیری شده با هرCPC را مانند فرمول (ح-۱۲) محاسبه کنید:

$$C = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} C_i$$ ح-۲

ضریب رقیق سازی رادرهرنقطه آزمون مانند فرمول (ح-۳) محاسبه کنید:

$$R_D=C_{test} / k(c_{dummy})\times c_{dummy})$$ ح- ۳

ح-۴ تجزیه‌وتحلیل داده‌ها وآزمون پذیرش

این بخش دو آزمون آماری را که در داده‌های کالیبراسیون استفاده می‌شوند، توضیح می‌دهد. اولی پاسخ CPC برای تناسب را آزمون می‌کند و دومی رقیق‌کننده را برای لغزش درطول زمان. هردو آزمون باید کالیبره‌شده تا معتبر تلقی شوند.

ح-۴-۱ وابستگی نسبت رقیق‌سازی با تراکم

برای مشخص‌شدن تغییرات نسبت رقیق‌سازی با تراکم، نسبت رقیق‌سازی می‌تواند به عنوان تابعی از تراکم سنجیده شده با CPC ساختگی، طراحی شود. اگر نسبت رقیق‌سازی مستقل از تراکم باشد، شیب خط برازش‌شدهٔ گروه داده‌ها صفر خواهد شد.

برای انجام یک آزمون کمیتی، شیب گروه داده ها باید با استفاده از رگرسیون خطی کمترین مربع محاسبه شود. آزمون t برای تعیین اختلاف قابل توجه شیب از صفر، درصورت وجود، انجام می‌شود. هر نقطه آزمون در زیربند (ح-۳-۴) مقادیر R_D، k ، C_{dummy}، C_{test} و عدد اندازه‌گیری m می‌باشد. شیب خط $\hat{b}$ ، عرض ازمبدأ $\hat{a}$ و خطای استاندارد $SE\hat{b}$ را وقتی n تعداد اندازه‌گیری‌هاست، محاسبه کنید:

$$b = n\sum_{i=1}^{n} R_{D,i} - \left[\left(\sum_{i=1}^{n} C_{dummy,i}\right)\left(\sum_{i=1}^{n} R_{D,i}\right)\right] / n\sum_{i=1}^{n} C_{dummy,i}^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} C_{dummi,i}\right)^2$$ ح-۴

$$\hat{a} = \frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n} R_{D,i} - \hat{b}\sum_{i=1}^{n} C_{dummy,i}\right]$$ ح-۵

$$SE_{\hat{b}} = \left\{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[R_{D,i}-(\hat{a}+\hat{b}\,C_{dummy,i}\right]^2}{(n-2)\sum_{i=1}^{n}\left(C_{dummy,i}-\overline{C_{dummy}}\right)^2}\right\}^{\frac{1}{2}}$$ ح-۶

آزمون آماری Z را با شیب فرضی $b_0 = 0$ به ترتیب زیر محاسبه کنید:

$$Z = (\hat{b} - b_0) / SE_{\hat{b}}$$ ح-۷

از جدول توزیع t، آمار را با اطمینان ٪۹۵ با به‌کارگیری $n - 2$ درجه آزادی $T95\ \%$ ثبت کنید. اگر $Z < T95\%$ باشد، داده‌ها نشان می‌دهند که شیب، اختلاف شاخصی از صفر ندارد و تجزیه وتحلیل می‌تواند ادامه پیدا کند. درغیراین‌صورت، شیب اختلاف شاخصی از صفر دارد و پاسخ CPC متناسب نیست. تصحیح اطمینان، رقیق‌کنندهٔ شارش‌ها و فشارهای دیفرانسیل برای لغزش، و/یا کالیبراسیون را در تراکم بیشینهٔ پایینتر انجام دهید.

ح-۴-۲ بستگی نسبت رقیق‌سازی با زمان

برای تشخیص لغزش نسبت رقیق سازی درطول زمان، این نسبت می‌تواند به عنوان تابعی از عدد اندازه‌گیری در نموداری رسم شود. اگر نسبت رقیق‌سازی با زمان دچار راندگی نشود، شیب یک خط برازش‌شدهٔ گروه داده‌ها صفرخواهد شد.

برای انجام آزمون کمیتی، شیب گروه داده‌ها باید با استفاده از رگرسیون خطی کمترین مربع محاسبه شود. آزمون t برای تعیین اختلاف قابل توجه شیب از صفر(درصورت وجود) انجام می‌شود. هرنقطه آزمون در زیربند (ح-۳-۴) مقادیر R_D، k ، C_{dummy}، C_{test} و عدد اندازه‌گیری m می‌باشد. شیب خط $\hat{b}$ ، پهنای $\hat{a}$ و خطای استاندارد $SE\hat{b}$ را وقتی n تعداد اندازه‌گیری‌هاست، محاسبه کنید:

$$\hat{b} = (n\sum_{i=1}^{n} m_i \ . R_{D,i} - (\sum_{i=1}^{n} m_i)(\sum_{i=1}^{n} R_{D,i})) / (n\sum_{i=1}^{n} m_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} m_i)^2) \qquad \text{ح-۸}$$

$$\hat{a} = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{n} R_{D,i} - \hat{b} \ \sum_{i=1}^{n} m_i\right] \qquad \text{ح-۹}$$

$$SE_{\hat{b}} = \left\{\frac{\sum_{i=1}^{n}[R_{D,i}-(\hat{a}+\hat{b}m_i)]^2}{(n-2)\sum_{i-1}^{n}(m_i-\bar{m})^2}\right\}^{\frac{1}{2}} \qquad \text{ح-۱۰}$$

آزمون آماری Z را با شیب فرضی $b_0 = 0$ به ترتیب زیر محاسبه کنید:

$$Z = (\hat{b} - b_0) / SE_{\hat{b}} \qquad \text{ح-۱۱}$$

از جدول توزیع t، آمار را با اطمینان ٪۹۵ و به کارگیری $n-2$ درجه آزادی $T95\ \%$ ثبت کنید. اگر $Z < T95\ \%$ باشد، داده‌ها نشان می‌دهند که شیب، اختلاف شاخصی از صفر ندارد و تجزیه وتحلیل می تواند ادامه پیداکند. درغیراین‌صورت، شیب اختلاف شاخصی ازصفر دارد و نسبت رقیق‌سازی با زمان دچار راندگی می‌شود. نشتی‌ها، پایداری شارش یا تغییرات سامانهٔ دما و فشار را بررسی کنید. کالیبراسیون را دوباره انجام دهید.

ح-۵ تجزیه وتحلیل عدم قطعیت

اگر داده‌های کالیبراسیون دو آزمون آماری (ح-۴) را گذرانده باشند، عدم قطعیت پاسخ متناسب CPC می‌تواند به روش زیر محاسبه شود:

الف- محاسبهٔ میانگین عددی ضریب رقیق سازی

$$R_D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} R_{D,i} \qquad \text{ح- ۱۲}$$

ب- محاسبهٔ عدم قطعیت استاندارد نسبی پاسخ متناسب CPC

$$u_r\ (R_D) = \frac{100}{R_D} \ . \sum_{i=1}^{n} \sqrt{\frac{(R_D - R_{D,i})^2}{n(n-1)}} \qquad \text{ح-۱۳}$$

این عدم قطعیت می تواند در ربع عدم قطعیت‌های کالیبراسیون مطلق با استفاده از دستگاه مرجع ترکیب شود.

پیوست خ

(اطلاعاتی)

گسترش دامنهٔ کالیبراسیون به تراکم‌های پایین‌تر

خ-۱ کلیات

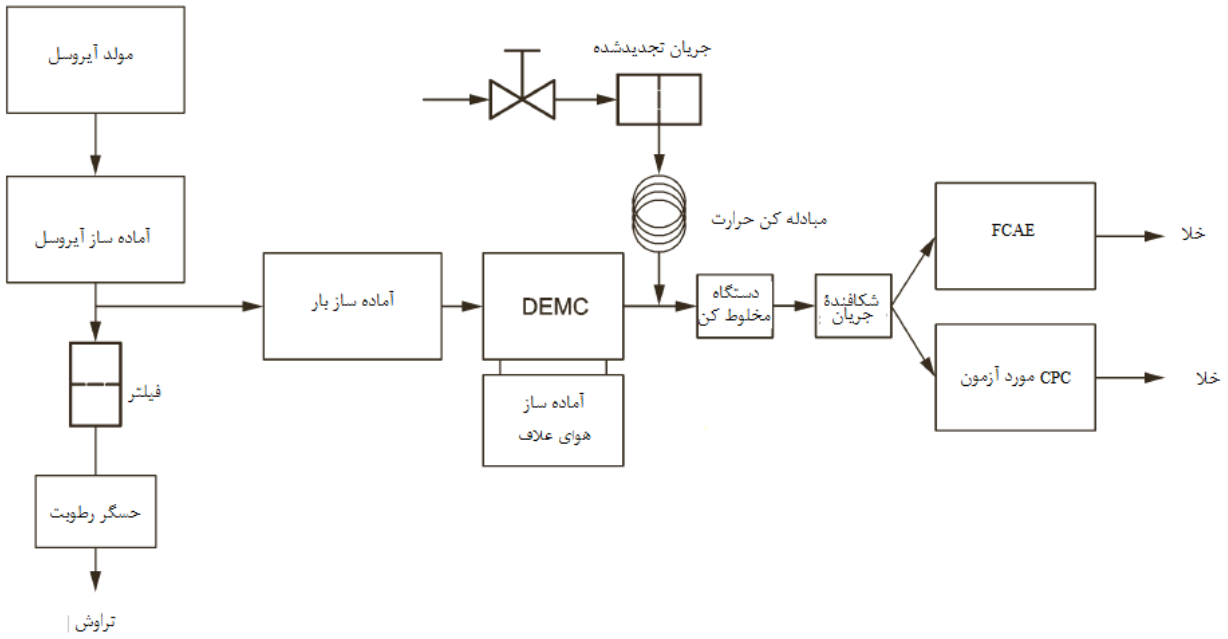
این پیوست مثالی از اندازه‌گیری کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون با استفاده از یک دستگاه FCAE مرجع است. تجزیه وتحلیل در مورد یک اندازهٔ ذره (۷۰ nm) و یک تراکم ذره (تقریبا" $7000\ cm^{-3}$) است. روش توضیح داده شده در بند ۶ پیروی شود. گواهینامهٔ کالیبراسیون در بند (پ-۲) یک مثال است.

کارآیی آشکارسازی FCAE ،η_{FCAE}، و عدم قطعیت استاندارد آن، $u(\eta_{FCAE})$ ، در ۷۰ nm و $7000\ cm^{-3}$ در گواهینامهٔ کالیبراسیون به ترتیب ۰٫۹۹۷ و ۰٫۰۰۶ آمده است. دبی شارش FCAE در زمان کالیبراسیون ۰٫۹۹ l/min است. CPC مورد آزمون ، یک روزنهٔ بحرانی دارد. این روزنه برای کنترل شارش و دبی حجمی نامی ورودی شارش ۱۰۰ l/min مورد استفاده در محاسبهٔ تراکم داخلی CPC، به کار می‌رود. اندازه‌گیری کسر ذرات با بارچندتایی درکالیبراسیون آیروسل، با دو برابر وسه برابر کردن ولتاژ DEMC انجام می‌شود.

خ-۲ بررسی اجمالی راه اندازی و روش کالیبراسیون (به زیربند ۶-۱ رجوع شود)

شمایی از راه‌اندازی در شکل (خ-۱) ارائه شده است. تمام عملیات در دمای کنترل‌شدهٔ اتاق در °C ۲۳ و فشارمحیطی kPa ۹۸ انجام شده است. مولد آیروسل، یک مولد پخش شعله براساس ایجاد دود بود. آماده‌ساز آیروسل هم یک رقیق‌کنندهٔ گرم در °C ۱۵۰ بود که به دنبال آن یک لولهٔ تبخیر در°C ۳۵۰ و یک رقیق‌کننده در دمای محیط برای کاهش دمای نمونه دردمای محیط قرار داشت. رطوبت نسبی نمونهٔ رقیق شده تقریبا" ٪ ۵ (کمتر از ٪۴۰) بود.

آماده‌ساز بار یک شارژر دوقطبی Kr-85 (خنثی) بود. برای انتخاب ذرات یکنواخت از DEMC استفاده شد. شارش هوای تجدیدشده با یک شیر در دریچهٔ گاز و رطوبت آن تقریبا" بر روی ٪۲۰ (کمتر از ٪۴۰) تنظیم شدند. روزنهٔ مخلوط به عنوان ابزار مخلوط‌ساز و FCAE و CPC مورد آزمون، به وسیلهٔ یک شکافندهٔ دوراهی با شیلنگ هادی سیلیکون نمونه‌برداری شدند. این شیلنگ‌ها از لوله‌هایی با طول مساوی و دبی شارش تقریبا" مساوی (~1 l/min) بودند.



شکل خ۱- راه اندازی تجربی مثال فرضی

خ-۳ آماده‌سازی (به زیربند ۶-۲ رجوع شود)

خ-۳-۱ کلیات آماده‌سازی

در ابتدا تمام ابزار به طورجداگانه بررسی شدند (یعنی مانند شکل خ۱ متصل نشده بودند).

خ-۳-۲ آیروسل اولیه

مولد آیروسل وآماده‌ساز آن روشن شدند و زمان رسیدن به پایداری ۱ ساعت بود. اندازهٔ آیروسل که به DEMC تغذیه می‌شد با DMAS اندازه‌گیری شد. میانگین توزیع اندازه ۴۹ nm و انحراف استاندارد هندسی نیز ۱٫۴۶ بود.

خ-۳-۳ سایر تجهیزات

حسگرفشار، حسگرهای دما، دبی‌سنج وحسگر رطوبت روشن‌شده و مطابق مشخصات کارخانهٔ سازنده بررسی شدند.

خ-۳-۴ DEMC

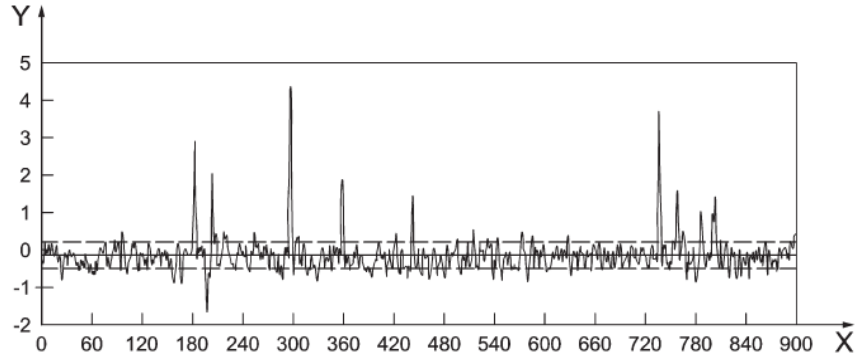
DEMC مطابق ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰، بررسی شد.

خ-۳-۵ FCAE

FCAE روشن شد و زمان رسیدن به پایداری ۱ ساعت بود. فیلتر HEPA در ورودی FCAE قرار داشت و صفرتنظیم شده بود.

الف- بررسی صفر

سطوح ثبت شدهٔ شارش پس از FCAE در شکل (خ۲) دیده می‌شوند. درهمان شکل، میانگین عددی صفرشدهٔ داخلی و انحراف استاندارد نشان داده شده‌اند. میانگین عددی مقادیر مطلق از fC/s ۰٫۱۳۳ (از بیشینهٔ مورد نیاز fC/s ۱ کمتر است) و انحراف استاندارد fC/s ۰٫۳۶ (از fC/s ۰٫۵ مورد نیازکمتر است) دارد. بنابراین، این اندازه‌گیری معتبر بوده و روش کالیبراسیون می‌تواند ادامه یابد.



FCAE

mean

mean ± σ

mean = –0,133 fC/s

σ = 0,360 fC/s

X time [s]

Y $C_{Q \times q\mathrm{FCAE}}$ [fC/s]

شکل خ۲ - سطوح صفر

ب- آزمون نشتی سراسری FCAE

شمارش ذرات از هوای فیلترشدهٔ HEPA، نمونه برداری شده بوسیلهٔ CPC N_{HEPA} ، تعداد محیط اندازه‌گیری شده بوسیلهٔ CPC N_{ambient} تعداد ذرات ناشی از هوای اتاق عبوری ازFCAE N_{FCAE} ؛ به ترتیب ۳،۷۸۰ ۱۰۵۶ و۵ هستند. نسبت R_{FCAE}، 1,9E-6است و از آستانهٔ 1E-4 خیلی پایین‌تر، درنتیجه کالیبراسیون می‌تواند ادامه یابد.

پ- اندازه‌گیری دبی شارش

دبی شارش حجمی ورودی FCAE بوسیلهٔ دبی‌سنج کالیبره‌شده، $q_{\mathrm{FCAE,cal,amb},i}$ ، همراه با خوانده از دبی‌سنج FCAE ، $q_{\mathrm{FCAE,amb},i}$ ، ۵ بار درطول ۱۵ دقیقه اندازه‌گیری می‌شوند. داده‌ها در جدول (خ-۱) ارائه شده‌اند.

جدول خ-۱ اندازه‌گیری های دبی حجمی شارش FCAE

آزمون	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	میانگین ریاضی
$q_{FCAE,amb,i}$ [l/min]	0.99	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00
$q_{FCAE,cal,amb,i}$[l/min]	1.00	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01

مقدار میانگین عددی $q_{FCAE,cal,amb}$، 1,01 l/min می باشد. CV مربوط به $q_{FCAE,cal,amb}$ هم ۰٫۰۰۷۱ است که مربوط به ٪ ۰٫۷۰ (از بیشینهٔ مورد نیاز ٪۲ کمتر است) می‌باشد؛ و هیچ‌گونه تمایل به کاهش یا افزایش در این مقادیر دیده نمی‌شود. اختلاف دبی‌های شارش ٪۱ است که در محدودهٔ مشخص شده توسط سازندهٔ FCAE (٪ ۳٫۵) قراردارد. پس اندازه‌گیری معتبر بوده وکالیبراسیون می‌تواند ادامه یابد.

خ-۳-۶ CPC مورد آزمون

CPC مورد آزمون روشن شد.پس از پرشدن با سیال عامل به همراه فیلتر HEPA در ورودی، ۱ساعت تا رسیدن به پایداری زمان داده شد.

الف- بررسی شمارش صفر

بررسی صفر CPC به آسانی انجام شد.میانگین عددی تراکم از۵ دقیقه اندازه‌گیری (۱ثانیه خوانده و۱ثانیه میانگین زمانی) با فیلتر HEPA در ورودی و انحراف استاندارد کاملا" صفر بود.

ب- بررسی حساسیت پاسخ

اندازه‌گیری هوای محیط تقریبا" cm^{-3} ۳۵۰۰ را نشان می‌دهد، پس می توان فرض کرد که دستگاه به درستی کار می‌کند.

پ- اندازه‌گیری دبی شارش

CPC مورد آزمون یک روزنهٔ بحرانی دارد وهیچ اندازه گیری شارش داخلی ندارد.مقدارنامی دبی شارش ۱ l/min می باشد.CPC از دبی نامی شارش برای محاسبات عدد تراکم داخلی استفاده می‌کند. دبی شارش حجمی ورودی با دبی‌سنج کالیبره‌شده، $q_{FCAE,cal,amb,i}$ ، پنج بار درطول ۱۵دقیقه اندازه‌گیری می‌شود. داده‌ها درجدول (خ۲) نشان داده شده اند.

جدول خ۲ - اندازه‌گیری‌های دبی شارش حجمی CPC مورد آزمون

آزمون	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	میانگین ریاضی
$q_{FCAE,amb,i}$ [l/min]	۱.۰۰	*1.00*	*1.0۰*	*1.00*	*1.00*	*1.00*
$q_{FCAE,cal,amb,i}$[l/min]	*1.00*	*1.01*	*1.02*	*1.01*	*1.01*	*1.01*

میانگین عددی اندازه‌گیری‌شده در دبی شارش ورودی ۱٫۰۱ l/min، است و CV مربوط به $q_{CPC,cal,amb}$ هم ۰٫۰۰۷۰ بوده که به ٪ ۰٫۷۰ مربوط است. همچنین تمایلی به کاهش یا افزایش دراین مقادیر دیده نمی‌شود و

میانگین عددی آنها ٪۱ بیشترازمقدار نامی CPC است. سازنده دقت شارش را ٪۵ معین کرده است، درنتیجه این اندازه‌گیری معتبر بوده وکالیبراسیون می‌تواند ادامه یابد. دبی اندازه‌گیری شدهٔ شارش ورودی CPC ، ٪۱ بالاتر از مقدار نامی به کاررفته توسط CPC برای محاسبهٔ عدد تراکم داخلی ذرات ثبت شده است.

خ-۳-۷ بررسی راه‌اندازی کامل

دستگاه‌ها مطابق شکل (خ-۱) وصل شده اند.

الف- شارش‌های DEMC

شارش‌ها بدین ترتیب تنظیم شده اند: شارش غلاف ۱۰ l/min و شارش نمونه ۱ l/min. بنابراین نسبت ۱۰:۱ (مورد نیاز ۷:۱< است) یک توزیع یکنواخت باریک به پایین دست DEMC را تضمین می‌کند. ولتاژ روی صفر(خاموش) تنظیم شده است.

ب- اندازه‌گیری دبی شارش FCAE

دبی‌سنج کالیبراسیون شده در راه‌اندازی بین شکافنده و ورودی جاسازی شد. شارش حجمی اندازه‌گیری (q_{FCAE}) $q_{FCAE,cal}$ = 0.95 l/min شد. این مقدار درگواهینامهٔ کالیبراسیون ثبت‌شده و با مقدار نشان داده شدهٔ ۰٫۹۸ l/min مقایسه شد. اختلاف (٪ ۳/۱-) درمحدودهٔ مشخصات سازنده یعنی (٪ ۳٫۵) قراردارد. اختلاف در مقایسه با مقدارثبت شده درگواهینامهٔ FCAE، (٪ ۴-) است که از انحراف مجاز در فرمول (۳) یعنی (٪ ۷٫۶) کمتر است.

پ- اندازه‌گیری دبی شارش CPC مورد آزمون

دبی‌سنج کالیبره‌شده در راه‌اندازی بین شکافنده و ورودی CPC مورد آزمون جاسازی شد. شارش حجمی اندازه‌گیری شده ۰٫۹۹ l/min بود. این مقداردرگواهینامهٔ کالیبراسیون ثبت شد که حدود ٪۱ با مقدار نامی (1 l/min) اختلاف دارد؛ یعنی ٪۵> که توسط سازنده مجاز شناخته شده است.

ت- سطوح صفر

ولتاژ DEMC روی صفر(یا خاموش) تنظیم شد و سطوح صفر FCAE وCPC مورد آزمون برای مدت ۲دقیقه ثبت شد (شکل خ۳، 160 s – 40). میانگین عددی ۳۰ ثانیه محاسبه شدکه در مورد شارش FCAE این مقدار بین 0.37− و 0.24+ (یعنی در محدودهٔ 1 fC/s ±) ومیانگین عددی انحراف استاندارد ۰٫۱۳ fC/s (پایین ترازبیشینهٔ مجازیعنی ۰٫۵ fC/s) بود. به همین ترتیب میانگین عددی CPC مورد آزمون صفرشد که بسیار پایین‌تر از بیشینهٔ سطح مجاز $1\ cm^{-3}$ قرارداشت.

ث- کمینهٔ سطح FCAE

مجموع میانگین عددی ۳۰ ثانیهٔ آخر(0,23 fC/s) و۳ ضرب‌درانحراف استاندارد از ۲ دقیقه اندازه‌گیری (0,13 fC/s)، یعنی 0.62 fC/s ، با پایین ترین مقدار q_{FCAE} × CQ درگواهینامهٔ کالیبراسیون FCAE- دراین مثال 2.67 fC/s- مقایسه شد. چون مورد آخر بزرگتر بود، کمینهٔ مجاز شارش که FCAE می‌تواند درطی روش کالیبراسیون اندازه بگیرد، 2.67 fC/s بود.

خ-۴ روش کالیبراسیون کارآیی آشکارسازی (به زیربند ۶-۳ رجوع شود)

خ-۴-۱ کلیات

روش زیر اندازه گیری کارآیی آشکارسازی CPC رادریک اندازه ویک عددتراکم ذرات توصیف می کند.

خ-۴-۲ تنظیم قطرDEMC

DEMC در 70 nm تنظیم شد. این اندازه بقدر کافی برای رسیدن CPC مورد آزمون به بیشینهٔ کارآیی آشکارسازی خود، بزرگ است. باید توجه داشت که این مقدارحتی از میانگین تولید توزیع اندازهٔ ورودی به DEMC بزرگتراست. بدین ترتیب، اثر ذرات با بار چندتایی به کمینهٔ مقدار خود می‌رسد.

خ-۴-۳ تنظیم آیروسل اولیه

آماده سازآیروسل برروی یک عدد تراکم تقریبی cm^{-3} ۷۰۰۰ (همانگونه که توسط CPC مورد آزمون اندازه گرفته شده است) تنظیم شد. موارد زیر تکمیل شدند:

الف- سطح کمینه

به طورتقریبی، FCAE آن را fC/s ۱۹ اندازه گرفت که ازکمینهٔ سطح مجاز از fC/s ۲/۶۷ بالاتر بود.

ب- سطح بیشینه

به طورتقریبی، FCAE آن را fC/s ۱۹ اندازه گرفت که از بیشینهٔ سطح مجاز مشخص‌شده درگواهینامهٔ FCAE از fC/s ۱۵۰۰بالاتر بود. تراکم برای رسیدن به تعادل درآماده‌ساز بار، به قدرکافی پایین بود که طبق پیوست (د) بررسی شد.

پ- کسر ذرات با بارچند تایی

کسر ذرات با بارچندتایی طبق روش توصیف شده درپیوست (ت) تعیین می‌شود، یعنی با دو برابر کردن ولتاژ (شکل خ۳). به جدول (خ۳) رجوع شود.

جدول خ۳- اندازه‌گیری‌های انجام‌شده برای تعیین کسرهای ذرات با بارچندتایی

	U	$2U$	$3U$
Voltage [V]	−767	−1 533	−2 300
Size [nm]	70	103	130
FCAE [fC/s]	19.0	5.8	1.3
Test CPC [cm^{-3}]	6 871	2 229	447

فرض براین است که در $C_N(U)$ تنها ذرات با بیش از سه بار موجود هستند و ذرات تک بار در $C_N(2U)$ و در $C_N(3U)$. تراکم های اندازه گیری شده در U ، $2U$ و $3U$ محاسبه شدند:

C_N (U) = $(C_Q \times q_{FCAE})$ / $(e \,.\, q_{FCAE})$ =(19,0E-15)/[$(1{,}602E-19)(0{,}95.1000/60)$] =7490,6 cm^{-3} خ-۱

$C_N(2U) = \left(C_Q . q_{FCAE}\right)/(e. q_{FCAE}) = (5{,}8E-15)/[(1{,}602E-19)(0{,}95\ .1000/60)] = 2286{,}6\ cm^{-3}$ خ-۲

$C_N(3U) = \left(C_Q . q_{FCAE}\right)/(e. q_{FCAE}) = (1{,}3E\text{-}15)/[(1{,}602E-19)(0{,}95.1000/60)]=512{,}5cm^{-3}$ خ-۳

کسربار برای قطرهر ذره برای محاسبهٔ تراکم ذرات با بار چندتایی عبوری از DEMC، مطابق فرمول(ت-۳۶) تا فرمول (ت-۳۸) به کار می‌رود.

$$C_N\,(d_2(U)) = \frac{C_N(2U)}{\eta_{FCAE}} . \frac{f_2(d_{1(2U)})}{f_1(d_{1(2U)})} = \frac{2286{,}6cm^{-3}}{0{,}997} . \frac{0{,}0333}{0{,}2146} = 355.9cm^{-3}$$ خ-۴

$$C_N\,(d_3(U)) = \frac{C_N(3U)}{\eta_{FCAE}} . \frac{f_3(d_{1(3U)})}{f_1(d_{1(3U)})} = \frac{512{,}5cm^{-3}}{0{,}997} . \frac{0{,}0048}{0.2168} = 11.38cm^{-3}$$ خ- ۵

$$C_N\,(d_1(U)) = \frac{C_N(U)}{\eta_{FCAE}} - 2.c_N\left(d_2(U)\right) - 3.c_N\left(d_3(U)\right)$$
$$= \frac{7490.6cm^{-3}}{0.997} - 2.(355.9cm^{-3}) - 3.(11.38cm^{-3}) = 6767.2cm^{-3}$$ خ- ۶

فرمول های (ت-۲۵) و (ت-۲۶) برای محاسبهٔ کسر ذرات با بار چندتایی به کار می‌روند.

$C_N = \sum_{P=1}^{3} C_N(d_p\,(U)) = (6767.2 + 355.9 + 11.38)cm^{-3} = 7134.5cm^{-3}$ خ-۷

$\emptyset_1 = C_N(d_1(U))/C_N$= 6767.3/7134.5=0.9485 خ-۸

$\emptyset_2 = C_N(d_2(U))/C_N$=355.9/7134.5=0.0499 خ-۹

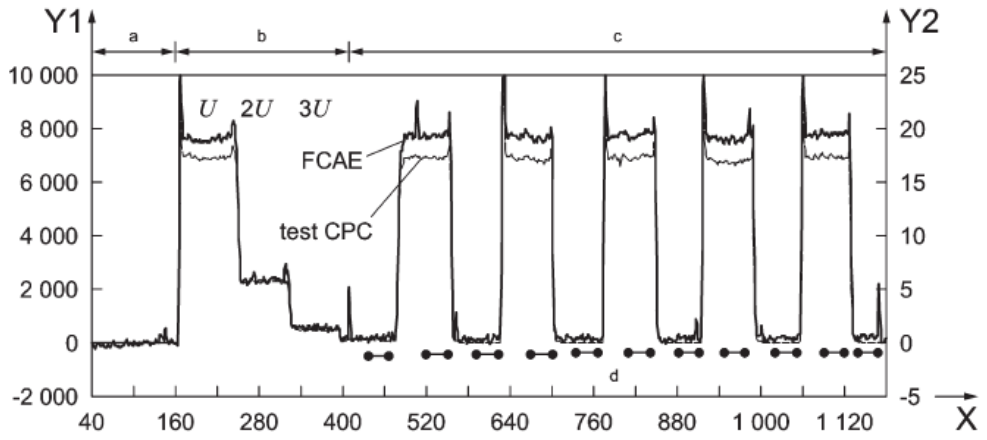
$\emptyset_3 = C_N(d_3(U))/C_N$=11.38/7134.5=0.0016 خ-۱۰

کسر کل ذرات با بار چندتایی با فرمول (۷) به دست می‌آید:

$$\Phi = \sum_{p\geq 2} \phi_p = \phi_2 + \phi_3 = 0{,}049\,9 + 0{,}001\,6 = 0{,}051\,5$$

فرمول خ-۱۱

براساس تراکم های اندازه گیری شده درولتاژهای مختلف، کسرذرات با بار چندتایی ٪۵٫۱۵ برآورد می شود که پایین‌تر از ٪۱۰ بیشینهٔ مجاز است.



راهنما

a	اندازه‌گیری صفر	X	زمان
b	اندازه‌گیری بارچندتایی	Y1	$C_{N,\,CPC}$ [cm^{-3}]
c	اندازه‌گیری کارآیی آشکارسازی	Y2	C_Q qFCAE [fC/s]
d	فاصلهٔ زمانی برای کسب داده ها حین اندازه گیری کارآیی		

شکل خ-۳ مثالی از روش کالیبراسیون یک کارآیی آشکارسازی

با اینکه درشکل نشان داده نشده است، تراکم به نصف کاهش یافت وتعیین کسر ذرات با بار چندتایی تکرارشد.کسر ٪ ۵٫۵ مشخص شد که مشابه مقداراولیه است. پس می توان فرض کرد که آیروسل به تعادل بار با تراکم اولیه رسیده است.

خ-۴-۴ کارایی شکافنده

اندازه‌گیری اریبی شکافنده طبق زیربند ۶-۳-۴ و مراجعه به پیوست (چ) انجام شد. با پیروی از فرمول (چ-۱) در پیوست (چ-۲-۱)، ۵ جفت خوانده تراکم از FCAE و CPC مورد آزمون هنگام راه‌اندازی دستگاه‌ها مطابق پیکربندی ۱ درشکل (چ۱)، ثبت شدند. روش ثبت داده‌ها در پیوست (ر) داده شده است. با این روش خوانده‌های

جاری FCAE که به تراکم تبدیل خواهند شد، ثبت می‌شود. خوانده‌های جاری و تراکم در جدول (خ۴) نشان داده شده اند.

جدول خ۴- خوانده جاری اریبی شکافندهٔ FCAE وتراکم CPC از پیکربندی 1a

	zero	$i = 1$	zero	$i = 2$	zero	$i = 3$	zero	$i = 4$	zero	$i = 5$	zero
FCAE [fC/s]	0,4	19,5	0,5	19,1	0,5	19,5	0,6	19,8	0,4	19,5	0,6
CPC [cm^{-3}]	0	6 970	0	6 980	0	6 980	0	6 960	0	6 970	0

موقعیت‌های دستگاه مخلوط کن وشکافنده طبق (چ-۲-۲) با یکدیگر تعویض شد و ۵ جفت از خوانده‌های تراکم از FCAE و CPC مورد آزمون هنگام راه‌اندازی آنها براساس پیکربندی ۲ درشکل (چ۲) ثبت شدند.

جدول خ۵ - خوانده جاری اریبی شکافندهٔ FCAE وتراکم CPC از پیکربندی۲

	zero	$i = 1$	zero	$i = 2$	zero	$i = 3$	zero	$i = 4$	zero	$i = 5$	zero
FCAE [fC/s]	0,5	19,6	0,6	19,6	0,4	19,6	0,5	19,6	0,4	19,6	0,6
CPC [cm^{-3}]	0	6 970	0	6 980	0	6 970	0	6 960	0	6 970	0

موقعیت‌های دستگاه مخلوط‌کن و شکافنده طبق (چ-۲-۳) بایکدیگر تعویض شد و ۵ جفت ازخوانده‌های تراکم از FCAE و CPC مورد آزمون هنگام راه اندازی آنها براساس پیکربندی ۱ درشکل (چ۱) ثبت شدند.

جدول خ۶- خوانده جاری اریبی شکافندهٔ FCAE وتراکم CPC از پیکربندی1b

	zero	$i = 1$	zero	$i = 2$	zero	$i = 3$	zero	$i = 4$	zero	$i = 5$	zero
FCAE [fC/s]	0,2	19,2	0,4	19,6	0,7	19,4	0,6	19,7	0,5	19,3	0,6
CPC [cm^{-3}]	0	7 001	0	6 965	0	6 970	0	6 940	0	6 975	0

فرض براین است که دبی شارش FCAE دقیقا" 1 l/min است وبه تصحیح آن نیازی نیست ونیز تمام ذرات حامل بار منفرد هستند. تراکم FCAE از فرمول (۸) در بند ۶-۳-۵ و میانگین عددی سطوح صفر پیش و پس از آزمون i محاسبه شدند. سپس نسبت های $r_{1,i}$ و $r_{2,i}$ با استفاده از فرمول‌های (چ-۴) و (چ-۷) به دست آمدند. نتایج در جدول (خ۷) آمده اند.

جدول خ۷- تراکم‌ها و نسبت‌ها از آزمون اریبی شکافنده

i	1	2	3	4	5
$C_{N,\mathrm{ref},1a,i}$	7 135	6 966	7 097	7 228	7 116
$C_{N,\mathrm{ref},1a,i}$	6 970	6 980	6 980	6 960	6 970
$r_{1a,i}$	0,976 9	1,002 0	0,983 5	0,962 9	0,979 5
$C_{N,\mathrm{ref},2,i}$	7 135	7 154	7 172	7 172	7 154
$C_{N,\mathrm{CPC},1a,i}$	6 970	6 980	6 970	6 960	6 970
$r_{2,i}$	0,976 9	0,975 7	0,971 8	0,970 4	0,974 3
$C_{N,\mathrm{ref},1b,i}$	7 079	7 135	7 022	7 172	7 022
$C_{N,\mathrm{ref},1b,i}$	7 001	6 965	6 970	6 940	6 975
$r_{1b,i}$	0,989 0	0,976 2	0,992 5	0,967 6	0,993 2

میانگین عددی نسبت‌های r_1 و r_2 از فرمول (چ-۵) و فرمول (چ-۷) با استفاده از داده‌های جدول (خ۷) محاسبه می شوند. ضریب تصحیح اریبی شکافنده با فرمول (چ-۸) حساب شده و مقدار $\beta = 0.9957$ به دست آمده است. این مقدار از 0.95 بزرگتر وکمتر از 1.05 است، پس روش کالیبراسیون می‌تواند ادامه یابد. عدم قطعیت با انحراف استاندارد اندازه‌گیری‌های (1 0.012 و0.0027) به دست می‌آید و ۰/۰۰۸۸ می‌باشد.

خ-۴-۵ کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون

شکل (خ۳)، ۵ تکرارازتراکم های بالاوصفر برای هر دو FCAE و CPC مورد آزمون را نشان می‌دهد. میانگین عددی ۳۰ ثانیهٔ آخر و انحراف استاندارد آنها برای هر اندازه گیری درجدول (خ۸) آمده است.

جدول خ۸- میانگین عددی خوانده های FCAE وتراکم CPC در ۳۰ ثانیه

	zero	$i = 1$	zero	$i = 2$	zero	$i = 3$	zero	$i = 4$	zero	$i = 5$	zero
FCAE [fC/s]	0,3	19,3	0,3	19,0	0,3	19,4	0,4	18,8	0,4	19,5	0,5
Std Dev [fC/s]	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
CV [%]	—	1,04	—	1,58	—	1,55	—	1,06	—	0,51	—
CPC [cm^{-3}]	0,1	6 887,4	0,1	6 807,4	0,1	6 914,7	0,3	6 712,2	0,1	6 908,2	1,6
Std Dev [cm^{-3}]	—	31,6	—	64,8	—	59,9	—	42	—	34,2	—
CV [%]	—	0,46	—	0,95	—	0,87	—	0,63	—	0,50	—

تجهیزات درتمام موارد تکمیل بودند (یعنی برای اندازه گیری های صفر، میانگین عددی و انحراف استاندارد به ترتیب fC/s ۱> و 0.5 fC/s> برای FCAE ؛ وتراکم میانگین $1\ cm^{-3}$> برای CPC مورد آزمون بود). برای اندازه‌گیری تراکم‌های بالا، انحراف استاندارد 0.5 fC/s> برای FCAE و CV < 3 % برای هردو FCAE وCPC مورد آزمون بود.

این زیربند فرمول‌های بند ۶ و پیوست (الف) را برای اندازه گیری کارآیی آشکارسازی CPC با استفاده از داده‌های ثبت شده طی روش اندازه‌گیری به کار می‌گیرد.

تراکم FCAE با فرمول (۸) در زیربند ۶-۳-۵ و $CQ_{,0,i} \times q_{\mathrm{FCAE}}$ به عنوان میانگین عددی شارش صفر پیش و پس از آزمون i در جدول (خ۸) محاسبه می‌شوند. یک مثال محاسباتی برای آزمون $i = 1$ در فرمول (خ-۱۲) و فرمول(خ-۱۳) نشان داده شده است. نتایج در جدول (خ۱۹) ازائه شده‌اند.

$$C_{Q,0,1} \times q_{FCAE} = (0.3 + 0.3)/2 = 0.3 \qquad \text{خ-۱۲}$$

$$C_{N,FCAE,1} = \left|C_{Q,1} \times q_{FCAE} - C_{Q,0,1} \times q_{FCAE}\right| / \text{e}.q_{FCAE} = \frac{|19.0-0.3|.10^{-15}C/S}{(1.602.10^{-19}C).(\frac{0.95l}{min}.\frac{1000cm^3 min}{60 \quad l \quad s}}$$

$=7490.6cm^{-3}$

خ-۱۳

جدول خ۹- خوانده شارش خالص وتراکم FCAE وتراکم CPC

i	1	2	3	4	5
FCAE [fC/s]	19,00	18,70	19,05	18,40	19,05
FCAE [cm-3]	7 490,6	7 372,4	7 510,3	7 254,1	7 510,3
CPC [cm-3]	6 887,4	6 807,4	6 914,7	6 712,2	6 908,2
$\eta_{CPC,i}$	0,961 2	0,965 3	0,962 5	0,967 3	0,961 6

کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون برای هر اندازه‌گیری با فرمول(ت-۱۸)، محاسبه می شود. با تراکم‌های CPC مورد آزمون درجدول (خ۸)، تراکم‌های FCAE در مورد شارش و اریبی شکافنده، کارآیی آشکارسازی FCAE از گواهینامهٔ کالیبراسیون وکسر ذرات حامل بار منفرد، دوتایی و سه‌تایی تصحیح می‌شود. یک مثال در پایین برای اولین اندازه‌گیری نشان داده شده است:

$$\eta_{CPC,1} = \frac{C_{N,CPC,1}}{C_{N,FCAE,1}}\ \eta_{FCAE}\ .\beta\ \sum_{P\geq 1} \emptyset_P.P$$

$$= \frac{6887.4\ cm^{-3}}{7490.6cm^{-3}}\ .(0.997).(0.9957).[0.9485 + 2(0.0499) + 3(0.0016)] = 0.9612 \qquad \text{خ-۱۴}$$

میانگین عددی کارآیی آشکارسازی وانحراف استاندارد به ترتیب ۰٫۹۶۳۵ و ۰٫۰۰۲۶ می باشند.

خ-۵ عدم قطعیت

محاسبهٔ عدم قطعیت درکارآیی آشکارسازی درجدول(خ-۱۰) خلاصه شده است:

جدول خ۱۰ - مؤلفه های عدم قطعیت نسبی

مؤلفه	نماد	مقدار بر حسب درصد	به دست آمده از
کارآیی آشکارسازی FCAE			گواهینامهٔ کالیبراسیونFCAE – مقدارعدم قطعیت استاندارد نسبی(بدون گسترش) بکاربرده درشارش مربوط به کالیبراسیون CPC مورد آزمون
تصحیح بارچندتایی			براساس ۳ اندازه گیری دریک هفته
ضریب تصحیح اریبی شکافنده			خ-۴-۴
انحراف دبی شارشFCAE			خ-۳-۷ (ب)
تکرار پذیری			خ-۴-۵

دراین صورت عدم قطعیت استاندارد نسبی ترکیبی درفرمول (خ-۱۵) آمده است:

$$u_{c,r}(\eta) = \sqrt{0.90^2 + 2.4^2 + 0.88^2 + 2.33^2 + 0.27^2}$$

=3.59% خ-۱۵

عدم قطعیت گستردهٔ نسبی برای ضریب هم پوشانی $k=2$ در فرمول (خ-۱۷) آمده است:

$U_r(\eta) = 2 \cdot 3.59\% = 7.18\%$ خ-۱۶

خ-۶ یک مثال پروتکل برای کالیبراسیون با یک FCAE

۶-۲ آماده سازی

۶-۲-۲ مولد وآماده ساز آیروسل (توزیع اندازه)

میانگین [nm]	۴۹	انحراف استاندارد هندسی	۱.۴۶
RH آیروسل	۵٪		

۶-۲-۳ سایرتجهیزات (برای مثال دبی سنج برای داخل لوله ها و غیره)

۶-۲-۴ DEMC بررسی شده طبق ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰، ۶-۲-۵FCAE

الف- بررسی صفر

FCAE به طور داخلی صفر شده است

میانگین صفر مطلق 1.0 fC/s> ، انحراف استاندارد2.5 fC/s> (از میانگین ۱ ثانیه درطول ۱۵ دقیقه)

	خوانده	محدوده	نتیجه
بزرگترین میانگین صفرمطلق [fC/s] FCAE	-۰/۱۳۳	± ۱/۰	ok
بزرگترین انحراف استاندارد [fC/s] FCAE	-۰/۱۳۳	± ۱/۰	ok

ب- آزمون کلی نشت FCAE

N_{HEPA}	3
$N_{ambient}$	1 056 780
N_{FCAE}	5
N_{leak}	2
R_{FCAE}	1,9E -06
Limit	1,0E -04
Result	ok

$q_{FCAE,cert}$	0,99
$r_{q,FCAE}$	3,5 %
$u(q_{FCAE,cert})$	2 %
η_{FCAE}	0,997
$u(\eta)$ [%]	0,90
FCAE max current [fC/s]	1 500

ازگواهی سازنده

پ- اندازه‌گیری دبی شارش

اندازه‌گیری شارش و پایداری ٪۲> (از ۵ اندازه گیری در۱۵دقیقه)

تفاوت‌های مشخص و اندازه‌گیری شده در مشخصات ارائه شده توسط سازنده.

تمام مقادیر زیر برحسب *l/min* هستند مگر اینکه ذکرشود.

اندازه‌گیری	دبی شارش معلوم **FCAE**	دبی شارش اندازه‌گیری شدهٔ **FCAE**
۱	0,99	1,00
۲	1,00	1,01
۳	1,01	1,02
۴	1,00	1,01
۵	1,00	1,01
میانگین	1,00	1,01
انحراف استاندارد	0,007 1	0,007 1
CV[%] محدودهٔ CV نتیجه		0,70 < 2 % ok

اختلاف از مقدار مشخص	محدودهٔ مشخص شدهٔ سازنده
1,0 %	3,5 % ok
اختلاف از مقدارگواهی شده	محدودهٔ ناشی ازعدم قطعیت‌های دبی‌سنج
2,0 %	7,6 % ok[a]

[a] با فرض ٪۲٫۵ عدم قطعیت دبی سنج که درطول کالیبراسیون از آن استفاده شد.

۶-۲-۶ CPC مورد آزمون

الف- بررسی شمارش صفر

میانگین صفر cm^{-3} ۰٫۱> (ازمیانگین ۱ثانیه درطول ۱۵ دقیقه)

	خوانده	محدوده	نتیجه
بزرگترین خوانده صفر CPC [cm^{-3}]	۰	۰٫۱	ok

ب) بررسی حساسیت پاسخ

	خوانده	محدوده	نتیجه
CPC [cm^{-3}]	۳۵۰۰	>۵۰۰	ok

پ) اندازه‌گیری دبی شارش

اندازه‌گیری شارش و پایداری ٪۲> (از۵ اندازه گیری در۱۵دقیقه)

اختلاف های مشخص واندازه گیری شده درمشخصات ارائه شده توسط سازنده.

تمام مقادیر زیربرحسب *l/min* هستند مگر اینکه ذکرشود.

شمارهٔ اندازه گیری	دبی شارش معلوم **CPC**	دبی شارش اندازه گیری شدهٔ
۱	۱٫۰۰	۱٫۰۰
۲	۱٫۰۰	۱/۰۱
۳	۱٫۰۰	۱٫۰۲
۴	۱/۰۰	۱٫۰۱
۵	۱٫۰۰	۱٫۰۱
میانگین	۱٫۰۰	۱٫۰۱
انحراف استاندارد	۰٫۰۰	۰٫۰۰۷۱
CV[%] محدودهٔCV نتیجه		۰٫۷۰ < ۲ ٪ ok

اختلاف از مقدار مشخص	محدودهٔ مشخص شدهٔ سازنده
1,0 %	<5 % ok

۶-۲-۷ اتصال دستگاه هاومولد/آماده ساز آیروسل به DEMC

الف) دبی شارش DEMC

DEMC (ولتاژ خاموش) غلاف به نمونه ۷:۱>	مقدارگزارش شده	۱۰:۱	نتیجه	ok

ب) اندازه گیری شارش FCAE [l/min]

1	0,98	0,95

اختلاف از مقدار مشخص	محدودهٔ مشخص شدهٔ سازنده
-3,1 %	3,5 % ok

اختلاف از مقدارگواهی شده ۲.۳۳٪	محدودهٔ ناشی ازعدم قطعیت های دبی‌سنج
-4,0 %	7,6 % ok[a]

[a] بافرض ۲٫۵٪ عدم قطعیت دبی‌سنج که درطول کالیبراسیون ازآن استفاده شد.

پ- اندازه گیری CPC مورد آزمون [l/min]

اندازه‌گیری	دبی مشخص شدهٔ شارش FCAE	دبی اندازه گیری شدهٔ شارش FCAE
۱	۱٫۰۰	۰٫۹۹

اختلاف از مقدار مشخص	محدودهٔ مشخص شدهٔ سازنده
1,0 %	<5 % ok

ت)سطوح صفر

سطح صفر FCAE 1> fC/s ، انحراف استاندارد ۰٫۵ fC/s> (از میانگین ۳۰ ثانیه در ۲ دقیقه)

	خوانده	محدوده	نتیجه	
بزرگترین شارش صفرFCAE	-۰.۳۷	±۱	ok	انتخابی
بزرگترین انحراف استاندارد FCAE	۰.۱۳	۰.۵	ok	

میانگین صفرCPC مورد آزمون $1cm^{-3}$> ،انحراف استاندارد $0.5\ cm^{-3}$> (ازمیانگین ۳۰ثانیه درطول ۲ دقیقه).

	خوانده	محدوده	نتیجه
بزرگترین شارش صفر CPC	صفر	۱	ok
بزرگترین انحراف استاندارد CPC	صفر	۰٫۵	ok

ث)تعیین سطح کمینهٔ FCAE

آخرین ۳۰ ثانیهٔ شارش صفر [fC/s]	۰٫۲۳
انحراف میانگین ۲ دقیقه اندازه گیری [fC/s]	۰٫۱۳
مجموع [fC/s] بالا	۰٫۶۳
پایین‌ترین q_{FCAE} × CQ درگواهینامه [fC/s]	۲٫۶۷
سطح کمینه [fC/s]	۲٫۶۷

۶-۳ اثرات آشکارسازی

۶-۳-۲ تنظیم قطر DEMC [70nm]

۶-۳-۳ تنظیم آیروسل اولیه

ظرفیت آماده ساز باردربرگیرندهٔ تراکم است:

Voltage	$1U$	$2U$	$3U$
	−767	−1 533	−2 300
Size [nm]	70	103	130
FCAE [fC/s]	19	5,8	1,3
C_{CPC} [cm^{-3}]	6 871	2 229	447
C_{FCAE} [cm^{-3}]	7 491	2 287	513

$f_{103nm,+1}$	$f_{103nm,+2}$	$f_{130nm,+1}$	$f_{130nm,+3}$
0,214 6	0,033 3	0,216 8	0,004 8

$C_N(2U)$	355,9
$C_N(3U)$	11,38
$C_N(U)$	6 767
C_N	7 135

ϕ_1	0,948 5
ϕ_2	0,049 9
ϕ_3	0,001 6
Φ	0,051 5
Φ_{LIMIT}	< 0,1
Result	ok

تراکم درمحدودهٔ FCAE

شارش ۱۹ fC/s مربوط به FCAE بالای حدپایین ترآشکارسازی است و نیز پایین بیشینهٔ FCAE.

۶-۳-۴ اندازه‌گیری اریبی (β) FCAE

Configuration 1				
test	FCAE [fC/s]	CPC [cm^{-3}]	FCAE [cm^{-3}]	r_1
zero	0,4	0		
i = 1	19,5	6 970	7 135	0,976 9
zero	0,5	0		
i = 2	19,1	6 980	6 966	1,002 0
zero	0,5	0		
i = 3	19,5	6 980	7 097	0,983 5
zero	0,6	0		
i = 4	19,8	6 960	7 228	0,962 9
zero	0,4	0		
i = 5	19,5	6 970	7 116	0,979 5
zero	0,6	0		

Configuration 2				
test	FCAE [fC/s]	CPC [cm^{-3}]	FCAE [cm^{-3}]	r_2
zero	0,5	0		
i = 1	19,6	6 970	7 135	0,976 9
zero	0,6	0		
i = 2	19,6	6 980	7 154	0,975 7
zero	0,4	0		
i = 3	19,6	6 970	7 172	0,971 8
zero	0,5	0		
i = 4	19,6	6 960	7 172	0,970 4
zero	0,4	0		
i = 5	19,6	6 970	7 154	0,974 3

Configuration 2				
zero	0,6	0		

Configuration 1, repeat				
test	FCAE [fC/s]	CPC [cm^{-3}]	FCAE [cm^{-3}]	r_1
zero	0,2	0		
i = 1	19,2	7 001	7 079	0,989 0
zero	0,4	0		
i = 2	19,6	6 965	7 135	0,976 2
zero	0,7	0		
i = 3	19,4	6 970	7 022	0,992 5
zero	0,6	0		
i = 4	19,7	6 940	7 172	0,967 6
zero	0,5	0		
i = 5	19,3	6 975	7 022	0,993 2
zero	0,6	0		

$< r_1 >$	0,982 3	Std Dev r_1	0,012 1
$< r_2 >$	0,973 8	Std Dev r_2	0,002 7
β	0,995 7	$u(\beta)$	0,008 8

ohibited.

محدوده ها ۰.۹۵-۱.۰۵

۵-۳-۶ اندازه‌گیری کارآییCPC مورد آزمون با قطر و تراکم مشخص

داده‌های ثبت‌شده

test	FCAE [fC/s]	Std Dev [fC/s]	FCAE CV [%]	CPC [cm^{-3}]	Std Dev [cm^{-3}]	CPC CV [%]
zero	0,3	0,2	—	0,1	—	—
i = 1	19,3	0,2	1,04	6 887,4	31,6	0,46
zero	0,3	0,2	—	0,1	—	—
i = 2	19	0,3	1,58	6 807,4	64,8	0,95
zero	0,3	0,2	—	0,1	—	—
i = 3	19,4	0,3	1,55	6 914,7	59,9	0,87
zero	0,4	0,2	—	0,3	—	—
i = 4	18,8	0,2	1,06	6 712,2	42	0,63
zero	0,4	0,2	—	0,1	—	—
i = 5	19,5	0,1	0,51	6 908,2	34,2	0,50
zero	0,5	0,2	—	1,6	—	—

Single-user licence only, copying

مقادیرمحاسبه شده

i	FCAE [fC/s]	FCAE [cm^{-3}]	η_{CPC}
1	19,0	7 490,6	0,961 2
2	18,7	7 372,4	0,965 3
3	19,1	7 510,3	0,962 5
4	18,4	7 254,1	0,967 3
5	19,1	7 510,3	0,961 6

$<\eta_{CPC}>$	0,963 5
Std Dev η	0,002 6

بیشینهٔ اختلاف ازمیانگین

۰.۰۰۳۷ <۰.۰۲ok

۶-۴ عدم قطعیت

مؤلفه	نماد	مقدار [%]
کارآیی آشکارسازی FCAE	u_r(FCAE)	۰/۹۰
تصحیح بارهای چندتایی	u_r(MCC)	۲/۴۰
تصحیح ضریب اریبی شکافنده	$u_r(\beta)$	۰/۸۸
انحراف دبی شارش FCAE	$u_r(q_{FCAE})$	۲/۳۳
تکرارپذیری	$ur(\eta_{rep})$	۰/۲۷
ترکیب نسبی	$uc,r(\eta)$	۳/۵۹
گسترش نسبی	$Ur(\eta)$	۷/۱۸

از کارآیی آشکارسازی CPC (η_{CPC} = 0.963 5) وعدم قطعیت گسترش یافتهٔ نسبی ($U_r(\eta)$ = 7.18 %)، نتیجهٔعدم قطعیت گسترش یافته$U(\eta)$ ، (۰/۰۶۹۲) خواهد شد.

پیوست (د)

(الزامی)

کالیبراسیون دبی شارش حجمی

دبی شارش حجمی ازمیان یک FCAE یا CPC، دبی شمارش ذره (تعداد ذرات در واحد زمان) را مستقیما" تحت تأثیر قرار می‌دهد. کالیبراسیون نادرست دبی شارش منجر به بروز خطا درمحاسبهٔ عدد تراکم ذره می‌شود. بنابراین،کنترل‌کننده‌ها و دبی‌سنج‌های کالیبره‌شدهٔ مناسب برای پیشبرد اندازه‌گیری‌های دقیق و صحیح دبی شارش نمونه و ایجاد قابلیت آشکارسازی، مورد نیاز است.

به طورکلی از سه نوع کنترل شارش درFCAEها و CPCها استفاده می‌شود: دبی‌سنج‌های حرارتی با شیرکنترل، روزنهٔ بحرانی، یا محدودکنندهٔ شارش (روزنه‌های مویی یا غیربحرانی) با اندازه‌گیری اختلاف فشار و شیرکنترل. به جای شیرکنترل، می‌توان سرعت پمپ را برای ثابت نگه‌داشتن شارش کنترل کرد.

نتایج اولیه حاکی از دبی حجمی ثابت درشرایط نرمالیزه (برای مثال، ۲۷۳٫۱۵ K و ۱۰۱٫۳ kPa) شده است؛ که به دبی شارش حجمی واقعی با احتساب دما و فشار در ابزار اندازه‌گیری (یعنی FCAE وCPC) تبدیل می‌شود. این معمولا" توسط سازنده انجام می گیرد.

اگر یک دستگاه دبی شارش حجمی نرمالیزه شده (q_n) را گزارش دهد، فرمول (د-۱) برای تبدیل به دبی شارش حجمی واقعی (q) به کار می‌رود:

$$q = q_n \frac{T}{T_n}\frac{P_n}{P} \qquad \text{د-۱}$$

دراینجا T وP دما و فشار واقعی هنگام اندازه‌گیری شارش دستگاه و T_n و P_n دما و فشار نرمالیزهٔ دبی‌سنج حرارتی هستند.

نتیجهٔ دوم (یعنی روزنهٔ بحرانی) دبی شارش حجمی ثابت ومستقل ازفشار بالادست روزنهٔ بحرانی، به هنگام عبوراز میان آن را تضمین می‌کند. بدین ترتیب، فشار پایین‌دست روزنه برای رسیدن به شرایط بحرانی به قدرکافی پایین خواهد بود. دبی شارش حجمی از میان روزنه فقط تحت تأثیر دمای ورودی روزنه T، قرار می‌گیرد. همان‌طورکه فرمول (د-۲) نشان می‌دهد:

$$q = q_0 \frac{T}{T_0} \qquad \text{د-۲}$$

که در آن q_0 دبی حجمی نامی شارش در دمای نامی T_0 است. معمولا"دما در روزنهٔ بحرانی ثابت نگه‌داشته می‌شود(یعنی $T_0 = T$) تا دبی شارش حجمی ازمیان روزنه ثابت بماند. اگر دما یا فشار درورودی دستگاه از دما و فشار درروزنه متفاوت باشد، تصحیحات بیشتری لازم خواهند بود که درفرمول (د-۳) آمده است:

$$q_{in} = \mathrm{q}\,\frac{T_{in}}{T}\frac{P}{P_{in}} = q_0\,\frac{T_{in}}{T_0}\frac{P}{P_{in}} = q_0\,\frac{T_{in}}{T_0}\frac{P_{in}-\Delta P}{P_{in}} \qquad \text{د-۳}$$

که در آن، T وP به ترتیب دما و فشار ورودی هستند.ΔP اختلاف فشار بین ورودی دستگاه و بالادست روزنهٔ بحرانی است. تا زمانی که ΔP درمقایسه با P_{in} کوچک باشد، تأثیر تغییر فشار ورودی نیز کوچک باقی می‌ماند.

نتیجهٔ سوم یعنی محدودیت شارش با اندازه‌گیری اختلاف فشار، وابستگی دبی شارش حجمی را هم به دما وهم به فشار نشان می دهد.

صرف‌نظراز روش مورد استفاده دراندازه گیری یا کنترل شارش،کالیبراسیون دوره‌ای اثرات افزایشی خطاهای ناشی از تغییر شرایط محیطی یا گرفتگی جزئی روزنه، هم چنین اثرات افزایشی استفاده از سیال‌های عامل متفاوت مثلا" حضور CO_2 دربرخی برنامه‌های کاربردی الکتروسکوپی را کاهش می‌دهد.

مثال: ترکیب گاز بر شارش انسدادی که به CPC می‌رود تأثیر می‌گذارد. شارش حجمی ورودی نسبت عکس با جذر جرم مولکولی نسبی گاز دارد. ازجمله گازهای همراه آیروسل‌ها به غیر از هوا می‌توان به آیروسل‌های دیکوتیل فتالات از حلال ۲-پروپانول وآیروسل‌های الکتروسکوپی که برای کاهش تخلیهٔ هاله‌ای به آنها CO2 اضافه شده است، نام برد. تراکم بخاراشباع شدهٔ۲-پروپانول در ۲۵ °C، دبی شارش را نزدیک ۳٪ افزایش و تراکم ۱۰٪ از CO_2، نزدیک ۲٫۵٪ آن راکاهش می‌دهد. این مثال‌ها نشان می‌دهند که ترکیب گاز هنگام عبور از DEMC رقیق نمی‌شود. این امر مربوط به می شدکه در آن DEMC درحالت چرخشی کار می‌کرد. برای پیشگیری از این خطا در شارش، باید در اندازه‌گیری کالیبراسیون شارش امکان جایگزینی نوع دبی‌سنج استفاده‌شده در آیروسل با ترکیب منحصر به فرد گاز آن فراهم شود. خطای شارش با کار بدون چرخش DEMC ، می‌تواند به مقادیرخیلی کمتر کاهش یابد. این کار تراکم CO_2 یا ۲- پروپانول را کمینه به نسبت شارش آیروسل به شارش کل رقیق خواهد کرد. برای مورد ۱۰ به ۱ نسبت شارش غلاف به شارش آیروسل، دبی شارش نزدیک ٪۳ در هر دو مورد ذکر شده در بالا کاهش می‌یابد. برای بسیاری از کاربردها این مقدار ناچیزی است.

روش‌های کالیبراسیون در بندهای ۶ و۷ برای مقایسهٔ دبی‌های اندازه‌گیری شدهٔ شارش حجمی ورودی دستگاه مرجع و CPC مورد آزمون ، q_{meas} ، با مقادیر مربوط دردستگاه های گواهی شده یا مقادیر گزارش شده به وسیلهٔ دستگاه‌ها به کار می‌روند. فرمول های (۲) تا (۴) و(۱۱) تا (۱۳) رجوع شود. پیش از این مقایسه‌ها، دبی حجمی شارش q_{meas} ، که در T_{amb} و P_{amb} اندازه‌گیری شده است باید به q_{cal} درشرایط P_{cert} و T_{cert} تبدیل شده و

همراه هم با q_{cert} گزارش شوند. در این تبدیل باید روش کنترل شارش دستگاه به هنگام تغییر P و T درنظرگرفته شود. سه مورد بیشترین رواج را دارند.

الف- روزنهٔ بحرانی بادمای ثابت $T0$؛ شارش حجمی ازمیان روزنه ثابت است.

$$q_{cal} = q_{meas} \frac{T_{cert}}{T_{amb}} \frac{P_{amb}}{P_{cert}} \frac{P_{cert}-\Delta P}{P_{amp}-\Delta P}$$ د-۴

ب- روزنهٔ بحرانی با دمای شناوری $T_{in} + \Delta T$ ، اختلاف دمای اندازه‌گیری شده بین ورودی و روزنهٔ بحرانی ثابت نگه‌داشته می‌شود:

$$q = q_{meas} \frac{T_{cert}}{T_{amb}} \frac{T_{amb}+\Delta T}{T_{cert}+\Delta T} \frac{P_{amb}}{P_{cert}} \frac{P_{cert}-\Delta P}{P_{amb}-\Delta P}$$ د-۵

$$q_{cal} = q_{meas} \frac{T_{cert}}{T_{amb}} \frac{P_{amb}}{P_{cert}}$$ د- ۶

اگر یک دستگاه وقتی شارش حجمی ثابت است ازیک سامانهٔ کنترل شارش فعال استفاده کند، فرمول (د-۴) اگر دما در نقطهٔ اندازه‌گیری شارش ثابت نگه‌داشته شود، باید به کار برود. وگرنه از فرمول(د-۵) باید استفاده شود.

پیوست (ذ)
(الزامی)
آزمون آماده‌ساز بار و DEMC در بیشینهٔ عدد تراکم ذره

این پیوست روش تعیین مرحله‌ای را توضیح می‌دهد که برپایهٔ آن آماده‌ساز بار به تعادل بار می‌رسد و DEMC بدون انحراف در بیشینهٔ سطح تراکم با بار عمل می‌کند. این آزمون برای بندهای ۶-۳-۳ و۷-۳-۳ مورد نیاز است. تمام آماده‌سازی پیشین که در بندهای ۶ و ۷ توضیح داده شده‌اند، قبل از انجام این آزمون باید با موفقیت تکمیل شوند. این آزمون مهم خواهد بود اگر:

- تراکم آیروسل اولیهٔ ورودی به DEMC بالاتر از cm^{-3} ۱۰۶ باشد،
- کالیبراسیون آیروسل محتوی ذرات با باردوتایی است و بنابراین کارآیی آشکارسازی نیاز به تصحیحات مطابق پیوست (ت) دارد، یا
- اندازه‌گیری‌های تصحیح بارچندتایی مطابق ت-۳-۲ تفاوت‌هایی در نسبت‌های تراکم نشان می‌دهند.

از روش آزمون زیر پیروی کنید:

الف)DEMC را روی اندازهٔ دلخواه ذره تنظیم کنید(۶-۳-۲ یا ۷-۳-۲)

ب) عملیات منبع آیروسل را بر روی سطح دلخواه بیشینهٔ تراکم تنظیم کنید.

پ) یا تراکم بار(برای یک FCAE از روش ۶-۳-۵ ب استفاده کنید) یا عدد تراکم ذره را (برای یک CPC مرجع از روش ۷-۳-۵ الف و ب استفاده کنید) اندازه‌گیری کنید.

ت) ولتاژ DEMC را دو برابر کنید.

ث) اندازه گیری درحال شارش یا تراکم را با دستگاه مرجع (مرحلهٔ پ) تکرار کنید.

ج) نسبت شارش‌های اندازه‌گیری شده (FCAE) یا عدد تراکم ذرات (CPC مرجع از مرحلهٔ پ تا ث) را محاسبه کنید.

چ) DEMC را دوباره روی اندازهٔ ذرهٔ دلخواه تنظیم کنید مانند مرحلهٔ الف.

ح) تراکم آئروسل اولیه را به حدود نیمی از سطح تراکم بیشینه با استفاده از رقیق کنندهٔ تراکم آیروسل کاهش دهید (اگر این تراکم برای دستگاه مرجع بسیار پایین باشد، تراکم آیروسل را متناوبا" به اندازهٔ دوبرابر مقدار بیشینه برای آزمون کالیبراسیون دو برابرکنید). توجه داشته باشید که این تغییر تراکم نباید با تغییر پارامترهای عملیات خود مولد آیروسل اولیه انجام شود. چرا که می تواند بر توزیع بار در آیروسل اولیه تأثیر کند.

خ) مراحل پ تاج را تکرار کنید.

د) اگر نسبت‌های محاسبه شدهٔ درحال شارش یا تراکم در مرحلهٔ (ج) برای دو سطح تراکم بیشتر از ٪۱۰ تفاوت نکند، آماده ساز بار و DEMC با توجه به تراکم آیروسل به درستی کار می کنند.

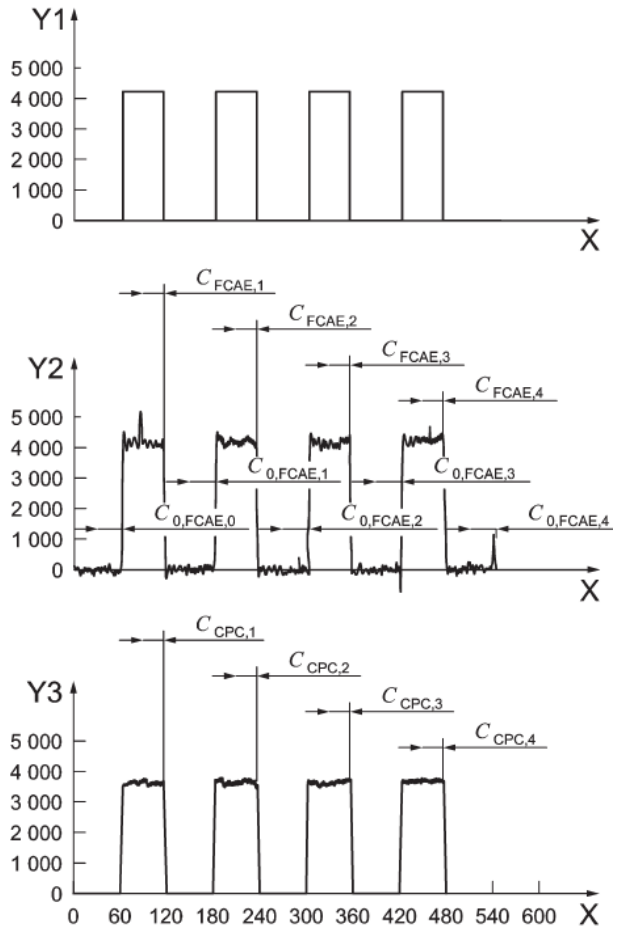
پیوست (ر)
(اطلاعاتی)
روش گزارش داده های توصیه شده به هنگام استفاده از FCAE

ر-۱ کلیات

درکالیبراسیون یک CPC با مقایسه با یک دستگاه مرجع، عدد تراکم ذرهٔ یک آیروسل همزمان با دو دستگاه اندازه گیری می شود. این اعداد ثبت شده و برای محاسبهٔ کارآیی آشکارسازی CPC مورد آزمون بکار می روند. به دلایل متعدد تراکم اندازه‌گیری شده توسط دو دستگاه مرجع وCPC مورد آزمون معمولا" گاهی تفاوت نشان می دهند. برای مثال، زمانی که تراکم پایین است نوساناتی در تراکم اندازه گیری شده نشان می‌دهد. این در CPCها رخ می دهد چون عدد شمارش ذرات در واحد زمان در تراکم‌های پایین بسیار کم است. درFCAEها، نوفه درتراکم های پایین درمقایسه با CPCها بیشتر قابل توجه است، زیرا اندازه گیری درحال جریان در دامنهٔ فمتوآمپر پایین بوده و نوفهٔ الکتریکی برآن تأثیر منفی می گذارد. حتی در تراکم‌های بالا اگر مولد ذرهٔ آیروسل ناپایدارباشد، یا اگر شارش‌ها در سامانهٔ کالیبراسیون نظیر آنهایی که در رقیق کردن بودند به خوبی به روشی پایدار کنترل نشوند؛ تراکم‌های اندازه‌گیری شده ممکن است تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشند. اینها منابعی چند از خطاهای تصادفی درکالیبراسیون کارآیی آشکارسازی هستند. قدرنوسان کارآیی آشکارسازی باتکرار اندازه گیری قابل مطالعه است. روش توصیف شده در بخش زیر مثالی است از چگونگی انجام چنین اندازه گیری های تکراری.

ر-۲ چرخهٔ ولتاژ DEMC برای اندازه‌گیری های تکراری تراکم

شکل ر-۱ مثالی از یک روش انجام اندازه گیری های تکراری را به تصویر می کشد که درآن ولتاژ بین صفر وولتاژ اندازهٔ دلخواه ذره دربازهٔ زمانی ثابت، نوسان دارد. دراین مثال این زمان ۶۰ ثانیه است وازیک FCAE به عنوان مرجع استفاده می شود. به همان نسبت FCAE وCPC مورد آزمون بین تراکم های بالاوپایین هر ۶۰ ثانیه می چرخند. تراکم بالا میزان تراکم اندازهٔ دلخواه ذره را نشان می دهد و تراکم پایین صفر جبران FCAE یا شمارش نادرست CPC مورد آزمون (درصورت وجود) را نشان می دهند. بنابراین، تراکم خالص ذره، تفاوت بین تراکم بالا($C_{FCAE,i}$ و $C_{CPC,i}$ درشکل) ومیانگین عددی دو تراکم پایین مجاور ($C_{0,FCAE,i}$ درشکل) است. ازآنجایی که پس از نوسان ولتاژ چندثانیه تا رسیدن تراکم به پایداری طول می کشد، فقط یک خوانده برای FCAE و CPC مورد آزمون برای هر بازهٔ ۶۰ ثانیه‌ای میسر می شود؛ همانگونه که در شکل نشان میانگین عددی ۳۰ ثانیهٔ آخر از تراکم پایدار با فلش‌های دو انتهایی داده شده است. امتیازی که این روش تفاضل جبران FCAE دارد این است که اندازه‌گیری تراکم خالص، حتی وقتی متعادل (جبران) می‌شود دقیق‌تر خواهد بود. این دقت درمقایسه با تفاضل مقدارتعادل(جبران) که اندازه گیری آن فقط به صورت گزینشی، اغلب فقط درآغاز یا انتهای سلسله اندازه‌گیری‌ها صورت گرفته است، به دست می‌آید.



راهنما:

X زمان برحسب (s)

Y_1 تنظیم ولتاژ روی DEMC برحسب (V)

Y_2 تراکم FCAE برحسب (cm^{-3})

Y_3 تراکم CPC مورد آزمون برحسب (cm^{-3})

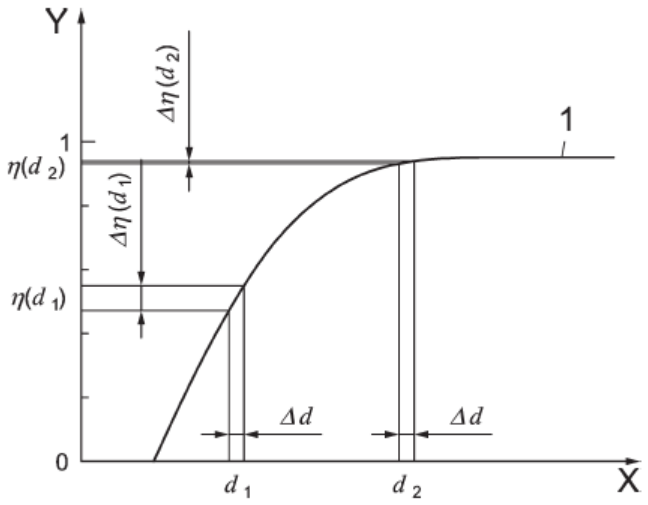
شکل ر۱ – مثالی از چرخهٔ ولتاژ DEMC و خوانده‌های متناظر تراکم FCAE و CPC مورد آزمون

پیوست (ز)

(اطلاعاتی)

عدم قطعیت کارآیی آشکارسازی وابسته به عدم قطعیت اندازهٔ ذره

خطاهای رخ داده در کارآیی آشکارسازی CPC که ناشی از بروز خطا در اندازهٔ ذرات کالیبراسیون هستند، ممکن است درنتیجهٔ کالیبراسیون ظاهرشوند. به شکل (ز-۱) رجوع شود.



راهنما:

1 منحنی کارآیی

X قطرذره

Y کارآیی آشکارسازی

شکل ز۱ - خطاهای کارآیی آشکارسازی ناشی از خطاهای اندازهٔ ذره و وابستگی آنها روی شیب منحنی کارآیی

همانطور که شکل (ز-۱)به تصویر می کشد ، مقدار خطا ممکن است براساس شیب منحنی کارآیی آشکارسازی تغییرکند و این خطا نزدیک حد اندازهٔ پایین تر، جایی که منحنی شیب داراست اهمیت بیشتری دارد. خطای کارآیی $\Delta\eta$ ، دراندازهٔ d_1، به عنوان تابعی از خطای اندازه Δd ، بیان می شود به طوری‌که:

$$\Delta\eta(d_1) \cong \left.\frac{\partial\eta}{\partial d}\right|_{d=d_1} \cdot \Delta d \qquad \text{ز-۱}$$

اندازهٔ ذرات مورداستفاده درکالیبراسیون کمی عدم قطعیت دارند. یعنی اینکه، کارآیی آشکارسازی حاصل از کالیبراسیون کمی عدم قطعیت ناشی از عدم قطعیت اندازه دارد که باید برآورد شده ودرارزیابی کل عدم قطعیت گنجانده شود.عدم قطعیت کارآیی ناشی ازعدم قطعیت اندازه$u(\eta\text{size})$ ، بافرمول(ز-۲) محاسبه می شود:

$$u(\eta_{\text{size}}) = \left.\frac{\mathrm{d}\eta}{\mathrm{d}d}\right|_{d=d_1} \cdot u(d)$$

فرمول ز-۲

فرمول (ز-۲) به این معنی است که برای برآوردعدم قطعیت کارآیی ناشی ازعدم قطعیت اندازه $u(\eta\text{size})$، باید منحنی کارآیی CPC مورد آزمون $\eta(d)$ ، وعدم قطعیت اندازۀ ذره $u(d)$ ، هردومعلوم باشند.

دلایل زیادی عدم قطعیت اندازۀ ذره را افزایش می دهند. دلایلی مانندعدم قطعیت اندازۀ ذرات با اندازۀ استاندارد شده، عدم قطعیت‌های ناشی ازپهنای محدود توزیع اندازۀ ذرات طبقه بندی شده با DEMC وغیره.

شیب منحنی کارآیی CPC ، $(\mathrm{d}\eta/\mathrm{d}d\ d = d1)$ ، اغلب به خوبی شناخته شده نیست،چراکه منحنی کارآیی خود هدف تعیین در کالیبراسیون است. به این جهت، درارزیابی شیب نیاز به داده های کالیبراسیون پیشین CPC یا CPC های مشابه (به عنوان مثال، یک CPC دیگر ازهمان مدل) است.

برای به حداقل رساندن عدم قطعیت، اندازه بندی DEMC با ذرات دارای اندازۀ استاندارد وعدم قطعیت های کوچک، باید کالیبراسیون شود.روش کالیبراسیون اندازه بندیDEMC در استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰، شرح داده شده است.

پیوست ژ

(اطلاعاتی)

کاربرد نتایج کالیبراسیون

کاربرCPC در ابتدا به تراکم تصحیح شدهٔ ذرات و عدم قطعیت آن علاقمند می‌شود. نتیجهٔ کالیبراسیون ابزار را می توان با تراکم تصحیح شده C ، به عنوان تابعی از تراکم اندازه‌گیری شدهٔ CPC بیان کرد.

$$C = C_{CPC} / \eta \qquad (ژ-۱)$$

بیشترین مثال ذرهٔ بنیادی وقتی مطرح می شودکه درمنطقهٔ پلاتو قطریک ذرهٔ منفرد وجوددارد، یک تراکم منفرد درنظرگرفته شده است وCPC درحالت شمارش یک ذرهٔ منفرد عمل می کند. بااجرای قانون انتشارعدم قطعیت ها، عبارت زیربرای عدم قطعیت استاندارد همراه نسبی$u_{c,r}(C)$ ، بدست می آید:

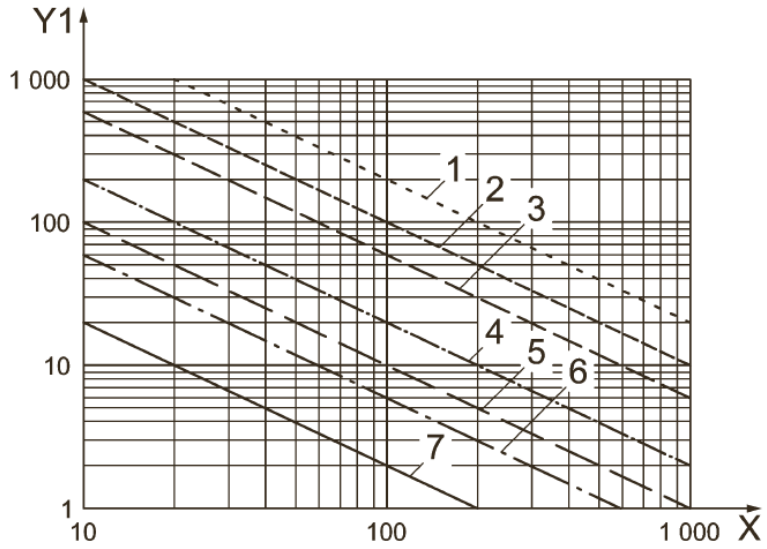
$$u_{c,r}(C) = u_C(C) / C = \sqrt{u_r^2(C_{CPC}) + u_r^2(\eta)} \qquad (ژ-۲)$$

مقدار $u_r(\eta)$ برای قطرذره و تراکم موردنظرازفرمول (۱۰) براساس کالیبراسیون با یک FCAE، یافرمول(۱۷) براساس کالیبراسیون با یک CPC مرجع محاسبه می شود. مقدارحد پایین ترعدم قطعیتCPC ازعدم قطعیت درخطای شمارش ناشی می شود، که به طورکلی برای دنبال کردن احتمال توزیع Poisson فرض می‌شود. عبارت زیرعدم قطعیت ناشی ازشمارش را بیان می‌کند:

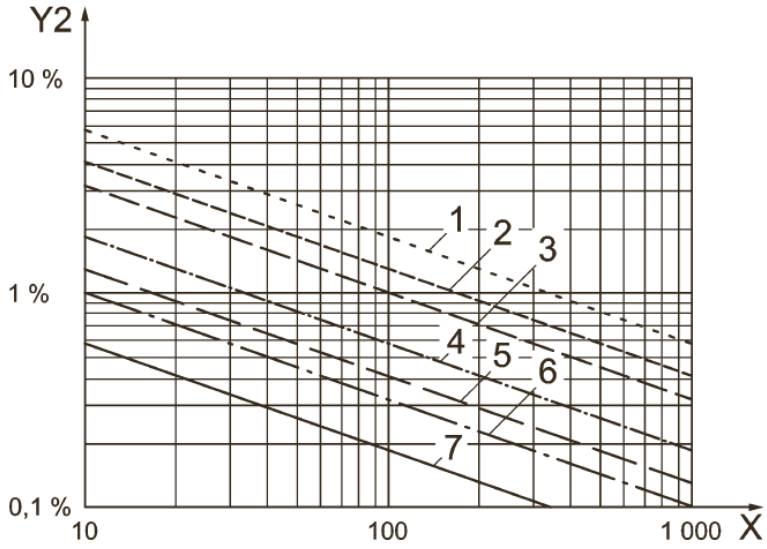
$$u_{c,r}(C) = \sqrt{1/(C_{CPC} q_{CPC} t)} \qquad (ژ-۳)$$

که درآن q_{CPC} دبی شارش آشکارساز CPC و t زمان نمونه‌برداری است. فرمول (ژ-۳) وقتی معتبر است که عبارت $C_{CPC} q_{CPC} t$ از ۱۰۰ بزرگتر باشد. شکل (ژ-۱) فرمول (ژ-۳) رابرای یک عدم قطعیت استاندارد معلوم 1 % و برای زمان اندازه‌گیری معلوم از ۱ دقیقه، به تصویر می‌کشد.

عدم قطعیت 1 % به تراکم $60\ cm^{-3}$ براساس شارش 1 l/min و یک میانگین زمانی ۱۰ ثانیه مربوط است.



a) $u_r(C_{CPC})$ **= 1,00 %**



b) t **= 1 min**

q_{cpc} [l/min]

1	0,03	6	1,0
2	0,06	7	3,0
3	0,1	X	C_{CPC} [cm^{-3}]
4	0,3	Y1	t [s]to achieve $u_r(C_{CPC})$ of 1,0 %
5	0,6	Y2	$u_r(C_{CPC})$ [%] when t = 1 min

شکل ژ۱ – نمودارهای رابطهٔ عدم قطعیت شمارش با دبی شارش آشکارسازو زمان میانگین

یک پسرفت در تراکم منبع آیروسل که بیش از وقفه دراندازه‌گیری بوده، و یک خطا در اندازه‌گیری شارش هم سهمی درعدم قطعیت CPC دارند. این اثرات به کاربرد ویژهٔ CPC بستگی دارد و محقق باید به هنگام محاسبهٔ عدم قطعیت ترکیب شده، این مواردرا نیز در نظر بگیرد.

پیوست س

(اطلاعاتی)

کتابنامه

[1] ISO 15900, Determination of particle size distribution — Differential electrical mobility analysis for aerosol particles.

[2] ISO 21501-1, Determination of particle size distribution — Single particle light interaction methods — Part 1: Light scattering aerosol spectrometer.

[3] ISO/IEC Guide 99, International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM).

[4] ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

[5] VDI 3491 part 4, Particulate matter measurement – Generation of test aerosols. Sinclair-La Mer- Generator. Beuth Verlag, Berlin, Dec. 1980.

[6] VDI 3491 part 19, Particulate matter measurement — Generation of carbon aerosols using a spark aerosol generator. Beuth Verlag, Berlin, Nov. 1996. (Revised 2007)

[7] Agarwal J .K., & S em G.J. Continuous flow, single-particle-counting condensation nucleus counter. J. Aerosol Sci. 1980, **11** pp. 343–357

[8] Ankilov A., Baklanov A., Colhoun M., Enderle K.-H., Gras J., Julanov Yu., Kaller D., Lindner A., Lushnikov A.A., Mavliev R., McGovern F., O'Connor T.C., Poszimek J., Preining O., Reischl G.P., Rudolf R., Sem G.J., Szymanski W.W., Vrtala A.E., Wagner P.E., Winklmayr W., Zagaynov V. Particle size dependent response of aerosol counters. Atmos. Res. 2002, **62** pp. 209–237

[9] Ankilov A., B aklanov A., C olhoun M., E nderle K.-H., Gras J., J ulanov Yu., K aller D., Lindner A., Lushnikov A.A., Mavliev R., McGovern F., O'Connor T.C., Poszimek J., Preining O., Reischl G.P., Rudolf R., Sem G.J., Szymanski W.W., Vrtala A.E., Wagner P.E., Winklmayr W., Zagaynov V. I ntercomparison of number concentration measurements by various aerosol particle counters. Atmos. Res. 2002, **62** pp. 177–207

[10] Bartz H., Fissan H., Liu B.Y.H. A new generator for ultrafine aerosols below 10 nm. Aerosol Sci. Technol. 1987, **6** pp. 163–171

[11] Bland J.M., & Altman D.G. Comparing methods of measurement: why plotting difference against standard method is misleading. Lancet. 1995, **346** pp. 1085–1087

[12] Bland J.M., & Altman D.G. Measuring agreement in method comparison studies. Stat. Methods Med. Res. 1999, **8** pp. 135–160

[13] Bland M. An Introduction to Medical Statistics. Oxford University Press, Third Edition, 2000

[14] Berry W.D Understanding regression assumptions. Newbury Park, California, Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, series no. 07-092, 1993

[15] Bureau International des Poids et Mesures. The international system of units (SI). 8th Edition, 2006

[16] Chen D.-R., Pui D.Y.H., Kaufman S.L. Electrospraying of conducting liquids for monodisperse aerosol generation in the 4 nm to 1.8 μm diameter range. J. Aerosol Sci. 1995, **26** (6) pp. 963–977

[17] Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, Second Edition, 1988

[18] Covert D ., Wiedensohler A ., Russell L . P article charging and t ransmission efficiencies of aerosol charge neutralizers. Aerosol Sci. Technol. 1997, **27** pp. 206–214
[19] Drew R.T., Bernstein D.M., Laskin S. The Laskin aerosol generator. J. Toxicol. Environ. Health. 1978, **4** pp. 661–670
[20] Eksborg S. Evaluation of method-comparison data. Clin. Chem. 1981, **27** pp. 1311–1312
[21] Fletcher R.A., Mulholland G.W., Winchester M.R., King R.L., Klinedinst D.B. Calibration of a condensation particle counter using a NIST traceable method. Aerosol Sci. Technol. 2009, **43** pp. 425–441
[22] Giechaskiel B., & Stilianakis N. A note on the comparison of particle number counters. Meas. Sci. Technol. 2009, **20** p. 077003
[23] Giechaskiel B., Wang X., Horn H.-G., Spielvogel J., Gerhart C., Southgate J. Calibration of condensation particle counters for legislated vehicle number emission measurements. Aerosol Sci. Technol. 2009, **43** pp. 1164–1173
[24] Giechaskiel B., & Bergmann A. Validation of 14 used, re-calibrated and new TSI 3790 condensation particle counters according to the UN-ECE Regulation 83. J. Aerosol Sci. 2011, **42** pp. 195–203
[25] Giechaskiel B., Wang X., Gilliand D., Drossinos Y. The effect of particle chemical composition on the activation probability in n-butanol condensation particle counters. J. Aerosol Sci. 2011, **42** pp. 20–37
[26] Hämeri K., Koponen I.K., Aalto P.P., Kulmala M. The particle detection efficiency of the TSI- 3007 condensation particle counter. J. Aerosol Sci. 2002, **33** pp. 1463–1469
[27] Helsper C. Investigations of a new aerosol generator for the production of carbon aggregate particles. Atmos. Environ. 1993, **27A** pp. 1271–1275
[28] Hering S.V., Stolzenburg M.R., Quant F.R., Oberreit D.R., Keady P.B. A laminar-flow, waterbased condensation particle counter (WCPC). Aerosol Sci. Technol. 2005, **39** pp. 659–672
[29] Herrmann M., Wehner B., Bischof O., Han H.S., Krinke T., Liu W. Particle counting efficiencies of new TSI condensation particle counters. J. Aerosol Sci. 2007, **38** pp. 674–682
[30] Hinds W .C. Aerosol t echnology: properties, behavior, a nd measurement of a irborne particles Wiley & Sons, Inc, Second Edition, 1998
[31] Ji J .H., Bae G .N., Hwang J . C haracteristics of aerosol charge neutralizers for h ighly charged particles. J. Aerosol Sci. 2004, **35** pp. 1347–1358
[32] Jing L. Standard combustion aerosol generator (SCAG) for calibration purposes. 3rd ETH Workshop "Nanoparticle Measurement", ETH Hönggerberg Zürich, August 1999
[33] Kesten J ., R eineking A ., P orstendörfer J. Calibration of a TSI Model 3025 Ultrafine Condensation Particle Counter. Aerosol Sci. Technol. 1991, **15** pp. 107–111
[34] Kulmala M., Mordas G., Petaja T., Gronholm T., Aalto P.P., Vehkamki H. The condensation particle counter battery (CPCB): A new tool to investigate the activation properties of nanoparticles. J. Aerosol Sci. 2007, **38** pp. 289–304
[35] Liu B.Y.H., & Pui D.Y.H. Electrical neutralization of aerosols. J. Aerosol Sci. 1974, **5** pp. 465–472
[36] Liu B.Y.H., & Pui D.Y.H A submicron aerosol standard and the primary, absolute calibration of the condensation nuclei counter. J. Colloid Interface Sci. 1974, **47** pp. 155–171
[37] Liu B.Y.H., & Kim C.S. On the counting efficiency of condensation nuclei counters. Atmos. Environ. 1977, **11** pp. 1097–1100
[38] Liu B .Y.H., & P ui D .Y.H. P article s ize d ependence o f a c ondensation n uclei c ounter. A tmos. Environ. 1979, **13** pp. 563–568

[39] Liu B.Y.H., Pui D.Y.H., Mckenzie R .L., Agarwal J.K., Jaenicke R ., Pohl F.G. Intercomparison of different "absolute" instruments for measurement of aerosol number concentration. J. Aerosol Sci. 1982, **13** pp. 429–450
[40] Liu P .S.K., & D eshler T. Causes of concentration differences between a scanning mobility particle sizer and a condensation particle counter. Aerosol Sci. Technol. 2003, **37** pp. 916–923
[41] Liu W., Osmondson B .L., Bischof O .F., Sem G.J Calibration of condensation particle counters. SAE Tech. Pap. Ser.: 2005-2001-0189. 2005
[42] Mamakos A., Giechaskiel B., Drossinos Y. Experimental and theoretical investigations of the effect of the calibration aerosol material on the counting efficiencies of TSI 3790 condensation particle counters. Aerosol Sci. Technol. 2013, **47** pp. 11–21
[43] May K.R. The Collison nebulizer: Description, performance and application. J. Aerosol Sci. 1973, **4** pp. 235–243
[44] Mcmurry P .H. T he h istory of c ondensation nucleus c ounter. A erosol S ci. Technol. 2 000, **33** pp. 297–322
[45] Mertes S., Schröder F., Wiedensohler A . The particle detection efficiency curve of the TSI-3010 CPC as a function of the temperature difference between saturator and condenser. Aerosol Sci. Technol. 1995, **23** pp. 257–261
[46] Mordas G., Mulmala M., Petäjä T., Aalto P.P., Matulevicius V., Grigoraitis V., Ulevicius V., Grauslys V., Ukkonen A., Hämeri K. Design and performance characteristics of a condensation particle counter UF-02proto. Boreal Env. Res. 2005, **10** pp. 543–552
[47] Mordas G., Manninen H.E., Petäjä T., Aalto P.P., Hämeri K., Kulmala M. On operation of the ultra-fine water-based CPC TSI 3786 and comparison with other TSI models (TSI 3776, TSI 3772, TSI 3025, TSI 3010, TSI 3007). Aerosol Sci. Technol. 2008, **42** pp. 152–158
[48] Owen M., Mulholland G., Guthrie W. Condensation particle counter proportionality calibration from 1 particle·cm−3 to 104 particles·cm−3. Aerosol Sci. Technol. 2011, **46** pp. 444–450
[49] Peineke C., Attoui M.B., Schmitt-Ott A. Using a glowing wire generator for production of charged, uniformly sized nanoparticles at high concentrations. J. Aerosol Sci. 2006, **37** pp. 1651–1661
[50] Petäjä T., Mordas G., Manninen H., Aalto P.P., Hämeri K., Kulmala M. Detection efficiency of a water-based TSI Condensation Particle Counter 3785. Aerosol Sci. Technol. 2006, **40** pp. 090–1097
[51] Prodi V. . In: Assessment of A irborne Particles, (Mercer T.T., & Morrow P. eds.). W., 1972, pp. 169–81.
[52] Sakurai H., & Ehara E. Primary standard for aerosol particle number concentration. Proc. 11th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich. 2007
[53] Scheibel H.G., & Porstendörfer J. Generation of monodisperse Ag- and NaCl-aerosols with particle diameters between 2 and 300 nm. J. Aerosol Sci. 1983, **14** pp. 113–126
[54] Sem G.J. Design and performance characteristics of three continuous-flow condensation particle counters: a summary. Atmos. Res. 2002, **62** pp. 267–294
[55] Stolzenburg M.R., & Mcmurry P.H. An Ultrafine Aerosol Condensation Nucleus Counter. Aerosol Sci. Technol. 1991, **14** pp. 48–65
[56] Wahl C ., A igner M., Krüger V. Rußgenerator, Vorrichtung und Verfahren zur kontrollierten Erzeugung von Nano-Rußpartikeln, Deutsche Patentanmeldung, Amtl. Aktenzeichen 102 43 307.0 (German patent application)

[57] Wang X ., C aldow R ., Sem G .J., H ama N ., Sakurai H. Evaluation of a condensation particle counter for vehicle emission measurement: Experimental procedure and effects of calibration aerosol material. J. Aerosol Sci. 2010, **41** pp. 306–318
[58] Wiedensohler A ., H ansson H .-C., K eady P.B., C aldow R . E xperimental verification of the particle detection efficiency of TSI 3025 UCPC. J. Aerosol Sci. 1990, **21** pp. 617–620
[59] Wiedensohler A ., O rsini D ., C overt D .S., C offmann D ., C antrell W ., H avlicek M. Intercomparison study of the size-dependent counting efficiency of 26 condensation particle counters. Aerosol Sci. Technol. 1997, **27** pp. 224–242
[60] Yli-Ojanperä J ., M äkelä J .M., M arjamäki M ., Rostedt A ., K eskinen J . Towards t raceable particle number concentration standard: Single charged aerosol reference (SCAR). J. Aerosol Sci. 2010, **41** pp. 719–728