



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۷۳۱۸

چاپ اول

اسفند ۱۳۹۲

INSO

17318

1st.Edition

Mar.2014

انتشار از منابع ساکن - تعیین غلظت جرمی
 $PM_{10}/PM_{2.5}$ در گاز دودکش - اندازه گیری در
غلظت های بالا با استفاده از ایمپکتورهای مجازی

**Stationary source emissions - Determination of
 $PM_{10}/PM_{2.5}$ mass concentration in flue gas-
Measurement at higher concentrations by use
of virtual impactors**

ICS:13.040.40

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

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

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

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

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

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

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

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

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

"انتشار از منابع ساکن - تعیین غلظت جرمی $PM_{2.5}$ و PM_{10} در گاز دودکش - اندازه گیری در

غلظت‌های بالا با استفاده از ایمپکتورهای مجازی"

رئیس:

جواهری، هومن

(فوق لیسانس مهندسی شیمی)

سمت و / یا نمایندگی

اداره کل استاندارد استان کردستان

دبیر:

حسن زاده، شهناز

(لیسانس بیولوژی)

اداره کل استاندارد استان کردستان

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

ابراهیمی، بهرام

(دکترای شیمی تجزیه)

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد سنندج

نبی، احسنی

(کارشناس ارشد محیط زیست)

اداره کل محیط زیست استان کردستان

بطی، فرید

(کارشناس شیمی)

اداره کل استاندارد استان کردستان

حسینی، حمید

(کارشناس ارشد شیمی)

اداره کل استاندارد استان کردستان

حیدری، حمید رضا

(دکترای بهداشت حرفه‌ای)

دانشگاه علوم پزشکی قم

خاکپور، امیر

(دکترای مهندسی محیط زیست)

شرکت عمران زیست آزما

دانشگاه صنعتی سهند تبریز

ظروفچی، خالد
(فوق لیسانس مهندسی شیمی گرایش محیط زیست)

دانشگاه صنعتی سهند تبریز

فاتحی فر، اسماعیل
(دکترای مهندسی شیمی گرایش محیط زیست)

شرکت سبک لوله نوین کردستان

فیاضی، فریبا
(کارشناس ارشد شیمی تجزیه)

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد سنندج

محمدی آذر، سیروان
(دکتری شیمی تجزیه)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مرادی، هیرش
(کارشناس ارشد پلیمر)

شرکت تولیدی کوهدانه

مروت، زهرا
(کارشناس ارشد محیط زیست)

شرکت سلامت اندیشان صنعت غرب

منصوری، هوشنگ
(کارشناس بهداشت حرفه‌ای)

دانشگاه آزاد اسلامی ایران - واحد سنندج

نصری، فریبرز
(دکتری شیمی تجزیه)

اداره کل استاندارد استان کردستان

یزدانی، ژیلا
(کارشناس ارشد شیمی فیزیک)

فهرست مندرجات

صفحه		عنوان
ج		آشنایی با سازمان ملی استاندارد
د		کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ز		پیش گفتار
ح		مقدمه
۱	۱	هدف و دامنه کاربرد
۱	۲	مراجع الزامی
۱	۳	اصطلاحات و تعاریف
۶	۴	نمادها و اصطلاحات کوتاه
۸	۵	اصول کلی
۱۰	۶	مشخصه‌های ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای
۱۷	۷	سری نمونه‌برداری
۲۰	۸	آماده سازی، روش اندازه‌گیری و بررسی نهایی
۲۵	۹	محاسبه نتایج
۲۵	۱۰	ویژگی های عملکرد
۲۷	۱۱	گزارش آزمون
۲۸		پیوست الف (اطلاعاتی) تخمین خاصیت فیزیکی برای محاسبه دبی حجمی جریان نمونه
۳۳		پیوست ب (اطلاعاتی) خطاهای ناشی از انحراف از نمونه‌برداری ایزوکینتیک
۳۶		پیوست پ (اطلاعاتی) مثالی از یک ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای
۴۱		پیوست ت (اطلاعاتی) تأثیر تغییرات در دما و ترکیب گاز دودکش بر روی عدد رینولدز
۴۴		پیوست ث (اطلاعاتی) نازل ورودی
۴۵		پیوست ج (اطلاعاتی) لیست تجهیزات
۴۷		پیوست چ (اطلاعاتی) تعیین نقطه نمونه‌برداری معرف
۴۹		پیوست ح (اطلاعاتی) تولید آئروسول استاندارد برای کالیبراسیون ایمپکتور مجازی
۵۱		پیوست خ (اطلاعاتی) کتابنامه

پیش گفتار

استاندارد " انتشار از منابع ساکن- تعیین غلظت جرمی $PM_{10}/PM_{2.5}$ در گاز دودکش- اندازه گیری در غلظت های بالا با استفاده از ایمپکتورهای مجازی" که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در نوزدهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد محیط زیست مورخ ۹۲/۱۲/۲۱ مورد تصویب قرار گرفته است ، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

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

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

ISO 13271:2012, Stationary source emissions — Determination of $PM_{10}/PM_{2.5}$ mass concentration in flue gas- Mesurment at higher concentrations by use of virtual impactors

مقدمه

به منظور تعیین مقدار ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ منتشر شده از منابع ساکن یا برای مشخص کردن سهم منابع انتشار در نشر PM_{10} و $PM_{2.5}$ ، در هوای پیرامون، لازم است که ذرات معلق^۱ در گاز دودکش منابع صنعتی اندازه‌گیری شود.

این استاندارد روشی را برای اندازه‌گیری غلظت جرمی انتشارات PM_{10} و $PM_{2.5}$ شرح می‌دهد که همان منحنی جداسازی مشروح در استاندارد ISO7708 برای PM_{10} و $PM_{2.5}$ در هوای پیرامون را تحقق می‌بخشد. این روش بر مبنای اصل جداسازی جریان گاز با استفاده از ایمپکتور دو مرحله‌ای می‌باشد. این مورد برای غلظت‌های گرد و غبار بیشتر از غلظت‌های مورد استفاده برای ایمپکتورهای با صفحات آبشاری به هم فشرده مناسب می‌باشد. روش اندازه‌گیری حاضر، امکان تعیین همزمان غلظت انتشارات PM_{10} و $PM_{2.5}$ را فراهم می‌سازد. این روش برای اندازه‌گیری‌های داخل دودکشی در انتشار از منابع ساکن با در نظر گرفتن امکان واکنش گازها و/یا بخار آب زیاد طراحی شده است.

سهم انتشارها از منابع ثابت در میزان غلظت‌های PM_{10} و $PM_{2.5}$ در هوای محیط به صورت اولیه و ثانویه دسته‌بندی شده است. انتشاراتی که به صورت ذرات در گازهای دودکش وجود دارند و مسقیماً به هوا نشر می‌شوند، می‌توانند ذرات «اولیه» باشند. ذرات ثانویه شامل آن انتشارهایی هستند که در هوای پیرامون و در اثر واکنش‌های شیمیایی جوی تشکیل می‌شوند. فن اندازه‌گیری در این استاندارد، برای اندازه‌گیری نشرهایی از دودکش که در تشکیل ذرات ثانویه در هوای پیرامون نقش دارند، کاربرد ندارد.

انتشار از منابع ساکن - تعیین غلظت جرمی $PM_{10}/PM_{2.5}$ در گاز دودکش - اندازه‌گیری در غلظت‌های بالا با استفاده از ایمپکتورهای مجازی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تشریح یک روش مرجع استاندارد برای تعیین غلظت جرمی PM_{10} و $PM_{2.5}$ از منابع انتشار ساکن با استفاده از ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای است. این روش اندازه‌گیری به طور خاص برای اندازه‌گیری‌های غلظت جرمی ذرات در گازهای درون دودکش مناسب‌تر است. این روش همچنین برای اندازه‌گیری گازهای دودکش که حاوی ترکیبات به‌شدت فعال هستند (مانند سولفور، کلرین، اسید نیتریک)، در دمای بالا و یا در رطوبت زیاد می‌تواند قابل استفاده باشد.

این استاندارد برای تعیین غلظت‌های بالاتر گرد و غبار کاربرد دارد. ذرات درشت در داخل نازل با برگشت ناچیز و پدیده افزودن حباب ذرات درشت جمع‌شده، جدا می‌شوند. به همین دلیل، محصولات مصنوعی به دلیل غلظت‌های بالا در گازها یا انتشارات کاملاً حذف شده‌اند.

این استاندارد برای تعیین غلظت جرمی کل گرد و غبار کاربرد ندارد.

۲ مراجع الزامی

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

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران - ایزو آی ای سی به شماره ۱۷۰۲۵

2-2 ISO 12141- Stationary source emissions — Determination of mass concentration of particulate matter (dust) at low concentrations — Manual gravimetric method

2-3

۳ اصطلاحات و تعاریف

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

۱-۳

قطر آیرودینامیکی^۱

قطر یک کره با چگالی 1 g/cm^3 ، با سرعت حدی^۱ یکسان، ناشی از نیروی گرانش در هوای آرام به عنوان ذره‌ای که تحت شرایط غالب دما، فشار و رطوبت نسبی قرار دارد.

1- Aerodynamic Diameter

یادآوری- به بند ۲-۲ از ردیف ۱ کتابنامه مراجعه کنید.

۲-۳

فیلتر پشتیبان^۲

فیلتر تخت مورد استفاده برای جمع‌آوری بخشی از ذرات $PM_{2.5}$ است (به بند ۳-۲-۱ از ردیف ۷ کتابنامه مراجعه شود).

۳-۳

فیلتر جمع‌آوری^۳

فیلتر تخت مورد استفاده برای جمع‌آوری ذرات درشت است.

۴-۳

ضریب کانینگهام^۴

ضریب تصحیح مورد استفاده برای پیش‌بینی تغییرات فعل و انفعال (برهمکنش) بین ذرات و فاز گاز است (به بند ۳-۱-۷ از ردیف ۷ کتابنامه مراجعه شود).

یادآوری- به بند الف-۲ پیوست الف مراجعه کنید.

۵-۳

قطر برشی^۵

قطر آیرودینامیکی که در آن راندمان جداسازی برای آن مرحله ایمپکتور ۵۰٪ باشد (به بند ۳-۱-۲ از ردیف ۷ کتابنامه مراجعه کنید).

یادآوری- جداسازی ذرات با ایمپکتورهای واقعی ایده‌آل نیست و منحنی‌های جداسازی مشابهی به‌عنوان مثال در شکل ۱ ارائه شده است.

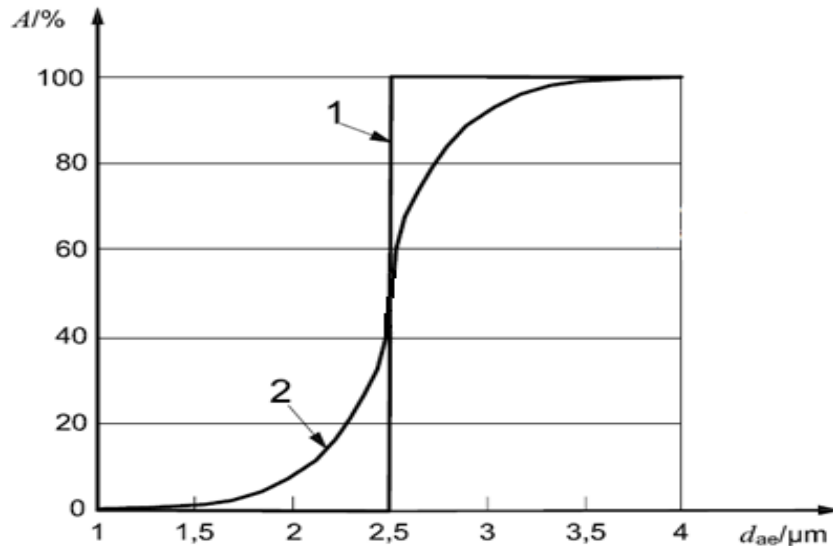
1-Terminal velocity

2-Backup filter

3-Collection filter

4 -Cunningham factor

5-Cut-off diameter



راهنما:

۱ فرضی	A راندمان جداسازی
۲ واقعی	d_{ae} قطر آیرودینامیکی

شکل ۱- راندمان جداسازی A یک ایمپکتور به صورت تابعی از قطر دینامیکی d_{ae} (مطابق با شکل ۲ از ردیف ۷ کتابنامه)

۶-۳

نگهدارنده‌ی فیلتر^۱

نگهدارنده‌ی بستر طراحی شده برای یک فیلتر که فقط ته‌نشست آن مورد آنالیز قرار می‌گیرد. (به بند ۲-۴ از ردیف ۴ کتابنامه مراجعه کنید).

۷-۳

سطح اندازه‌گیری^۲

سطح نمونه‌برداری^۳

صفحه عمود بر خط مرکزی مجرا در محل نمونه‌برداری است (به بند ۳-۳-۳ از ردیف ۷ کتابنامه مراجعه کنید).

۸-۳

بخش اندازه‌گیری^۴

ناحیه‌ای از مجرای گاز پسماند که شامل سطح (سطوح) اندازه‌گیری و بخش‌های ورودی و خروجی می‌باشد (به بند ۳-۳-۲ از ردیف ۷ کتابنامه مراجعه کنید).

-
- 1-Filter holder
 - 2- Measurement Plane
 - 3 -Sampling Plane
 - 4- Measurement Section

۹-۳

محل اندازه‌گیری^۱

محل نمونه برداری^۲

در مجرای عبور جریان گاز در ناحیه‌ی سطح (سطوح) اندازه‌گیری قرار داشته که شامل ساختارها و تجهیزات فنی است.

یادآوری- محل اندازه‌گیری به عنوان مثال شامل سکوه‌های کار^۳، درگاه‌های اندازه‌گیری و بخش تامین انرژی می‌باشد. (به بند ۳-۳-۱ ردیف از ۷ کتابنامه مراجعه کنید).

۱۰-۳

PM_{2.5}

ذراتی که از نازل با اندازه‌ی انتخابی^۴ و با راندمان برشی ۵۰٪، در قطر آیرودینامیکی ۲/۵ میکرومتر عبور کنند. (به بند ۳-۱-۴ از ردیف ۷ کتابنامه مراجعه کنید)

یادآوری- PM_{2.5} مربوط به «کنوانسیون تنفس با ریسک بالا»^۵ می‌باشد (به بند ۱-۷ از ردیف ۱ کتابنامه و بند ۳-۱-۴ از ردیف ۷ کتابنامه مراجعه کنید).

۱۱-۳

PM₁₀

ذراتی که از نازل با اندازه‌ی انتخابی و با راندمان برشی ۵۰٪، در قطر آیرودینامیکی ۱۰ میکرومتر عبور کنند. یادآوری- PM₁₀ مربوط به «کنوانسیون قفسه صدری» می‌باشد که در ISO 7708:1995 تعریف شده‌است (به بند ۶ از ردیف ۱ کتابنامه و بند ۳-۱-۳ از ردیف ۷ کتابنامه مراجعه کنید).

۱۲-۳

عدد رینولدز^۶

Re

$$Re = \frac{\rho v L}{\eta}$$

که در آن:

ρ چگالی جرمی؛
v سرعت گاز در نازل شتاب‌دهنده‌ی ذرات؛
L طول؛

1- Measurement site

2- Sampling site

3- Working platforms

4- Size-Selective nozzles

5- High risk respirable convention

6- Reynolds number

η سرعت دینامیکی می باشد.

یادآوری ۱- به بند ۱۱-۴-۱ از ردیف ۸ کتابنامه مراجعه کنید.

یادآوری ۲- پارامتر بدون بعد (پارامتر با بعد ۱) که شرایط جریان را تشریح می کنند.

۱۳-۳

عدد استوک^۱

St

$$St = \frac{\rho_{0,p} d_{ae}^2 C_m v}{9\eta D_0}$$

که در آن:

$\rho_{0,p}$ چگالی ذرات (g/cm^3)؛

d_{ae} قطر آیرودینامیک (m)؛

C_m فاکتور کانینگهام؛

v سرعت گاز در نازل شتاب دهنده ی ذرات (m/s)؛

η ویسکوزیته دینامیکی گاز (pa s) و؛

D_0 قطر نازل شتاب دهنده ی ذرات است (m).

یادآوری ۱- (به بند ب-۱ از ردیف ۷ کتابنامه مراجعه کنید).

یادآوری ۲- پارامتر بدون بعد، ویژه هر دستگاه^۲ (پارامتر با بعد ۱) اندازه گیری اینرسی جنبشی ذرات در جریان گاز نزدیک مانع را شرح می دهد.

۱۴-۳

نازل شتاب دهنده ی ذرات^۳

نازل شتاب دهنده ای که برای شتاب دادن گازهای حامل ذرات، قبل از جداسازی در نازل جمع آوری ذرات مورد استفاده قرار می گیرد.

۱۵-۳

نازل جمع آوری ذرات^۴

1- Stokes's number

2 -An instrument-specific "Dimensionless" parameter

3-Particle acceleration nozzle

4-Particle collection nozzle

نازل جمع‌آوری برای جداسازی ذرات درشت استفاده می‌شود.

۴ نمادها و اصطلاحات کوتاه شده

نمادها	۱-۴
راندمان جداسازی	A
فاکتور کانینگهام	C_m
قطر نازل شتاب دهنده‌ی ذرات	D_0
قطر نازل جمع‌آوری ذرات	D_1
قطر ایرودینامیکی	d_{ae}
قطر داخلی نازل ورودی	d_{entry}
قطر برشی	d_{50}
سری‌های عددی اجزا ^۱ $i = 1,2,3,\dots,m$ و یا زیرنویسی برای شناسایی جزء ذرات (i مساوی $2,5 \mu m$ و/یا $10 \mu m$)	I
سری‌های عددی اجزا، $j = 1,2,3,\dots,n$	J
طول نازل ایمپکتور	l_0
جرم ذرات در فیلتر پشتیبان	m_{BF}
جرم ذرات در فیلتر جمع‌آوری در مرحله دوم جداسازی	m_{CF2}
تعداد نازل‌های ایمپکتور	N
تعداد جفت‌های اندازه‌گیری	N
فشار پیرامون در محل اندازه‌گیری	P_{amb}
فشار استاندارد	P_n
اختلاف بین فشار استاتیک در سطح مقطع اندازه‌گیری و فشار اتمسفری در محل اندازه‌گیری	P_{st}
دبی حجمی جریان در شرایط عملیاتی ^۲	QV
دبی حجمی در شرایط استاندارد برای گاز خشک	QV_n
دبی حجمی به ازای هر نازل در شرایط عملیاتی برای کل جریان	QV_0

1 -Series element number

^۲ - منظور از شرایط عملیاتی، شرایط زمان نمونه‌برداری است.

دبی حجمی به ازای هر نازل در شرایط عملیاتی برای جریان فرعی	qV_1
دبی حجمی به ازای هر نازل در شرایط عملیاتی برای جریان اصلی	qV_2
عدد رینولدز	Re
عدد استوک وابسته به قطر برشی d_{50}	St_{50}
فاصله بین انتهای نازل شتاب دهنده ذرات و بالای نازل جمع‌آوری ذرات	S
دمای گاز	T
دمای استاندارد	T_n
عدم قطعیت استاندارد جفت اندازه‌گیری‌ها ^۱	$u(\gamma)$
سرعت گاز در نازل شتاب دهنده ذرات	V
سرعت گاز دودکش	v_{fg}
حجم نمونه در شرایط استاندارد و برای گاز خشک	V_n
غلظت جرمی بخار آب در شرایط استاندارد و با گاز خشک	$\gamma_{n,H_2O,v}$
غلظت $PM_{2.5}$	$\gamma(PM_{2.5})$
غلظت PM_{10}	$\gamma(PM_{10})$
آمین مقدار غلظت اولین سیستم اندازه‌گیری	$\gamma_{1,i}$
آمین مقدار غلظت دومین سیستم اندازه‌گیری	$\gamma_{2,i}$
ویسکوزیته دینامیکی گاز	η
چگالی بخار آب در شرایط استاندارد	$\rho_{n,H_2O,v}$
چگالی ذره (1 g/cm^3)	$\rho_{0,P}$
نسبت جریان فرعی در مرحله‌ی ایمپکتور	ξ
اصطلاحات کوتاه شده	۲-۴
فیلتر پشتیبانی	BF
فیلتر جمع‌آوری در مرحله‌ی اول جداسازی	CF1
فیلتر جمع‌آوری در مرحله‌ی دوم جداسازی	CF2

۵ اصول کلی

۱-۵ کلیات

- در اندازه‌گیری ذرات، سه ویژگی فیزیکی زیر را می‌توان متمایز کرد:
 - غلظت جرمی (مانند کل گرد و غبار، PM_{10} و $PM_{2.5}$) و توزیع کسر جرمی؛
 - غلظت تعداد ذرات و توزیع اندازه ذرات به صورت عددی؛
 - ریخت شناسی^۱ ذرات (مانند شکل، رنگ و خواص نوری).

غلظت جرمی PM_{10} و $PM_{2.5}$ توسط جداسازی براساس گزینش اندازه‌ی ذرات موجود در گاز با استفاده از اینرسی‌های مختلف ذرات تعیین می‌شود.

این استاندارد ملی، روش اندازه‌گیری برای تعیین PM_{10} و $PM_{2.5}$ با غلظت‌های جرمی بالاتر با استفاده از ایمپکتورهای مجازی دو مرحله‌ای و براساس اصل جداسازی جریان گاز بدون صفحات فشرده کننده^۲ و با برگشت ناچیز و پدیده تشکیل حباب، ذرات درشت جمع‌شده را مشخص می‌کند.

۲-۵ تئوری ایمپکتور مجازی

جداسازی بر اساس اندازه توسط یک ایمپکتور مجازی بر پایه اینرسی شتابی و کاهشی ذرات در جریان گاز می‌باشد. اساس عملکرد یک جداسازی و پارامترهای اصلی تاثیرگذار در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند.

مرحله‌ی جداسازی شامل تنظیمات اولیه، شتاب ذرات جهت‌دار هم‌راستا و نازل‌های جمع‌آوری که قطر آن‌ها به ترتیب با D_0 و D_1 طراحی شده‌است، می‌باشد (به شکل ۲ مراجعه کنید). گاز مملو از ذرات داخل نازل شده و بر اساس D_0 و دبی جریان کلی شتاب می‌گیرد و بخشی از جریان به طرف نازل‌های جمع‌آوری ذرات حرکت می‌کند. دبی جریان داخل نازل‌های جمع‌آوری ذرات که جریان فرعی نامیده می‌شود، حدود ۱۰٪ از دبی جریان کل را شامل می‌شود. جزء اصلی یا جریان اصلی مجدداً هدایت^۳ می‌شود و از نازل‌های جمع‌آوری از طریق راه فرعی رد می‌شود. بنابراین، ذراتی که دارای اندازه‌ی آیرودینامیکی معینی (اندازه برشی) هستند وارد جریان فرعی نازل جمع‌آوری کننده ذرات شده و روی فیلتر تجمع می‌یابند. ذرات نرم که کوچکتر از اندازه‌ی برشی هستند در جریان اصلی باقی مانده و وارد مرحله‌ی دوم جداسازی می‌شوند.

کارایی مرحله‌ی جداسازی با منحنی راندمان جداسازی توصیف می‌شود. به دلیل ویژگی‌های خاص فرآیند جداسازی، همیشه باقی‌مانده ذرات، بزرگتر از اندازه‌ی برشی جریان فرعی و کوچکتر از اندازه‌ی برشی جریان اصلی می‌باشد.

هر مرحله‌ی جداسازی با قطر برشی (d_{50}) مشخص می‌شود. برای ذرات با قطر آیرودینامیکی، راندمان جداسازی مرحله‌ی ایمپکتور ۵۰٪ است. فرمول ۱ برای محاسبه‌ی قطر برشی (d_{50}) استفاده می‌شود:

1- Morphology
2- Impaction Plates
3- Bypasses

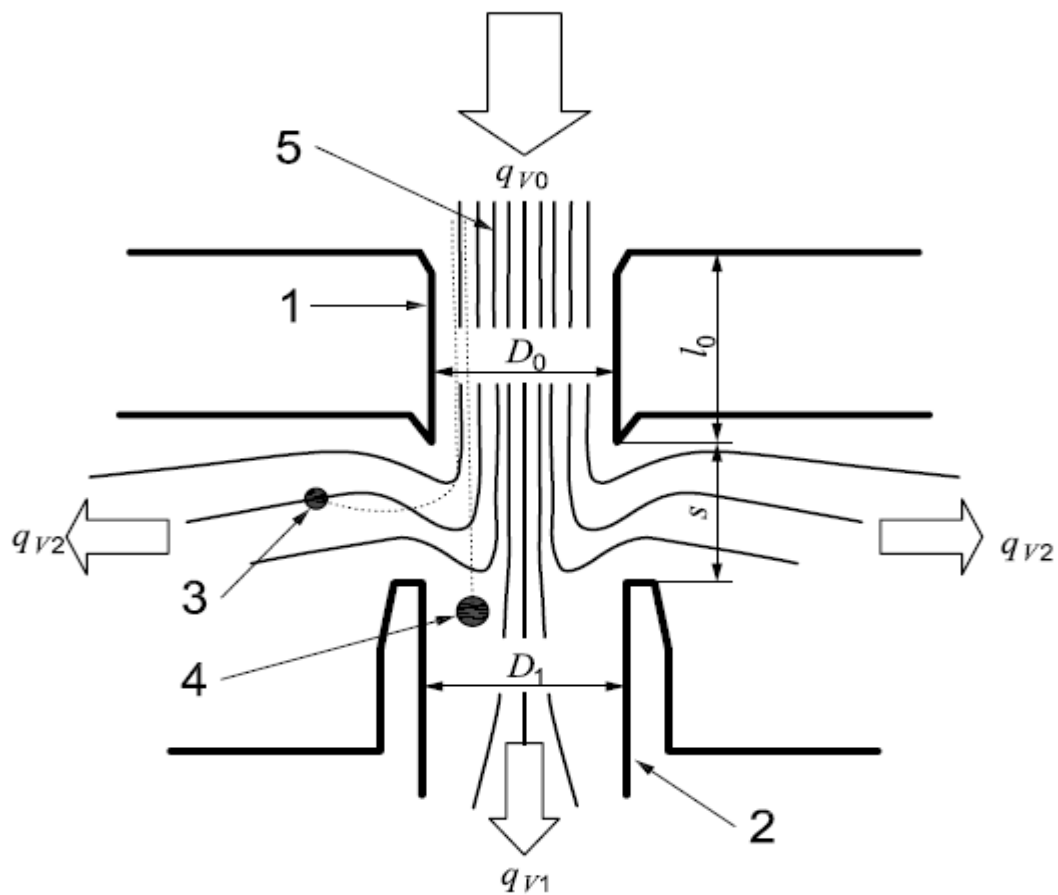
$$d_{50} = \sqrt{\frac{9\pi St_{50} \eta D_0^3}{4\rho_{0,p} C_m q_{v0}}} \quad (1)$$

که در آن:

St_{50}	عدد استوک وابسته به قطر برشی d_{50} و کمیت مخصوص دستگاه؛
η	ویسکوزیته دینامیکی گاز؛
q_{v0}	دبی حجمی کلی در هر نازل در شرایط عملیاتی؛
D_0	قطر نازل شتاب دهنده ذرات؛
$\rho_{0,p}$	چگالی ذرات 1g/cm^3 (قطر برشی اینرسی در اصطلاح با یک قطر آبرودینامیکی بیان می شود)؛
C_m	ضریب کانینگهام می باشد.

شرایط زیر برای طراحی و کاربرد فرمول (۱) مورد استفاده قرار می گیرد:

- برای طراحی مراحل جداسازی، مقدار St_{50} باید در بازه $0.4 \leq St_{50} \leq 0.5$ انتخاب شود (به بند ۱۰ کتابنامه مراجعه کنید).
- نسبت فاصله بین انتهای نازل شتاب دهنده ذرات و ابتدای نازل جمع آوری ذرات (s) قطر نازل شتاب دهنده ذرات (D_0) باید در بازه $2 < S/D_0 < 0.8$ باشد.
- نسبت طول نازل شتاب دهنده ذرات l_0 به قطر نازل شتاب دهنده ذرات D_0 باید کمتر از ۲٫۵ باشد.
- نسبت قطر نازل جمع آوری ذرات D_1 به قطر نازل شتاب دهنده ذرات D_0 باید تقریباً برابر ۱٫۳۳ باشد.
- عدد رینولدز Re جریان گاز در نازل شتاب دهنده ذرات باید در ناحیهی جریان آرام باشد: (عدد رینولدز بین ۱۰۰ و ۳۰۰۰ باشد)



راهنما:

۱	نازل شتاب دهنده ذرات	D_0	قطر نازل شتاب دهنده ذرات
۲	نازل گردآورنده ذرات	D_1	قطر نازل جمع‌آوری ذرات
۳	مسیر ذرات نرم جهت اندازه‌گیری	l_0	طول نازل ایمپکتور
۴	مسیر ذرات درشت	S	فاصله بین انتهای نازل شتاب دهنده ذرات و بالای نازل جمع‌آوری ذرات
۵	خطوط جریان	q_{V0}	دبی حجمی کل جریان
		q_{V1}	دبی حجمی جریان فرعی
		q_{V2}	دبی حجمی جریان اصلی

شکل ۲- کلیات ایمپکتور مجازی

۶ مشخصه‌های ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای

۱-۶ کلیات

این استاندارد یک ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای را برای تعیین غلظت جرمی PM_{10} و $PM_{2.5}$ شرح می‌دهد (به بند ۱۰ کتابنامه مراجعه کنید).

ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای شامل دو مرحله‌ی جداسازی می‌باشد. مرحله اول ذرات بزرگ را با استفاده از نازل جمع‌آوری ذرات جدا می‌کند. ذرات درشت در یک فیلتر تخت جمع‌آوری می‌شوند. ذرات ریز به مرحله‌ی بعدی راه می‌یابند.

ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای ذرات را به سه بخش زیر تقسیم می‌کند:

بخش ۱ - ذرات با قطر آیرودینامیکی بزرگتر از $10 \mu\text{m}$ (مرحله‌ی اول جداسازی)؛

بخش ۲ - ذرات با قطر آیرودینامیکی بین $2.5 \mu\text{m}$ و $10 \mu\text{m}$ (مرحله دوم جداسازی)؛

بخش ۳ - ذرات با قطر آیرودینامیکی کوچکتر از $2.5 \mu\text{m}$ (فیلتر پشتیبان)؛

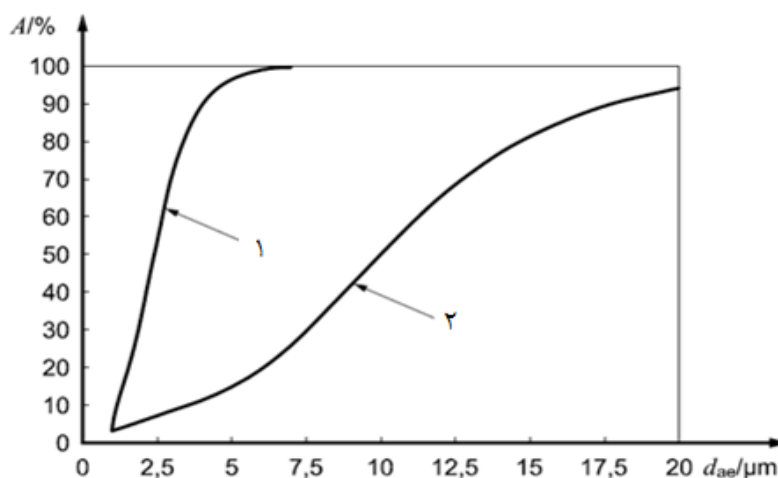
جرم ذرات $\text{PM}_{2.5}$ مربوط به بخش ۳ و PM_{10} مربوط به مجموع بخش‌های ۲ و ۳ می‌باشد.

اجزاء با قطر آیرودینامیکی بزرگتر از $10 \mu\text{m}$ برای ارزیابی داده‌های PM_{10} و $\text{PM}_{2.5}$ استفاده نمی‌شوند.

۲-۶ منحنی‌های جداسازی

منحنی‌های جداسازی اندازه‌گیری انتشار PM_{10} و $\text{PM}_{2.5}$ باید با منحنی‌های جداسازی اندازه‌گیری کیفیت هوای پیرامون برای PM_{10} و $\text{PM}_{2.5}$ که برای ذرات با قطر مشابه توصیف شده است، متناظر باشند (به شکل ۳ و بند ۱ کتابنامه مراجعه کنید). مراحل جداسازی ایمپکتور مجازی برای PM_{10} و $\text{PM}_{2.5}$ باید طوری طراحی شود که منحنی‌های جداسازی مراحل PM_{10} و $\text{PM}_{2.5}$ راندمان موردنیاز را که در جدول ۱ آمده است، دارا باشند.

انحراف مجاز بیان شده در جدول ۱ درصد‌های مطلق مربوط به راندمان‌های جداسازی می‌باشد (به بند ۱ کتابنامه مراجعه کنید).



راهنما:

۱	کنوانسیون تنفس با ریسک بالا ^۱ برای $\text{PM}_{2.5}$	A	راندمان جداسازی
۲	کنوانسیون قفسه صدی ^۲ برای PM_{10}	Dae	قطر آیرودینامیکی

شکل ۳- منحنی‌های جداسازی PM_{10} و $\text{PM}_{2.5}$ (به بند ۱ کتابنامه مراجعه کنید).

1- High Risk respirable convention
2- Thoracic convention

جدول ۱- راندمان جداسازی برای مرحله ایمپکتور مجازی با انحراف مجاز

مرحله $PM_{2.5}$	مرحله PM_{10}	قطر ذرات
	انحراف مجاز ± 10 درصد	بیشتر از ۳ میکرومتر
	انحراف مجاز ± 15 درصد	کمتر از ۳ میکرومتر
انحراف مجاز ± 10 درصد		بیشتر از ۱٫۵ میکرومتر
انحراف مجاز ± 20 درصد		کمتر از ۱٫۵ میکرومتر

۳-۶ تصدیق منحنی‌های جداسازی

ویژگی‌های جداسازی طراحی ایمپکتور مجازی باید برای هر مرحله و توسط سازنده به منظور اثبات معیارهای کارایی بیان شده در بند ۶-۲ ارزیابی شده باشد. تصدیق باید توسط آزمایشگاه آزمون انجام گیرد، که سیستم مدیریت کیفیت آن از لحاظ بین‌المللی به رسمیت شناخته شده است.

یادآوری- نیازمندی‌های آزمایشگاه آزمون به عنوان مثال در استاندارد ملی ایران - ایزو ۱۷۰۲۵ بیان شده است (به بند ۵ کتابنامه مراجعه کنید).

راندمان جداسازی ایمپکتور مجازی باید با انجام آزمایشاتی برای هر مرحله با یک آئروسول معلق^۱ مانند اولئیک اسید، پلی (آلفا- اولفین) یا دی‌اکتیل فتالات (به بند ۱۰ و ۱۲ کتابنامه مراجعه کنید)، لاتکس پلی استایرن (به بند ۱۳ کتابنامه مراجعه کنید) یا گوه‌های شیشه‌ای (به بند ۱۴ کتابنامه مراجعه کنید) با قطرهای مختلف در بازه‌ی ۱ میکرومتر تا ۲۰ میکرومتر تعیین شود. تشکیل آئروسول باید با استفاده از روش‌های همراه با نیروی الکتریکی یا مکانیکی انجام شده باشد (به پیوست ح مراجعه کنید).

برای مرحله $PM_{2.5}$ ، آزمایشات باید حداقل با ۶ ذره مختلف با قطر بین ۱ میکرومتر تا ۱۰ میکرومتر انجام شود. برای مرحله PM_{10} ، آزمایشات باید حداقل با ۶ ذره مختلف با قطر بین ۲ میکرومتر تا ۲۰ میکرومتر انجام گیرد. در هر دو مورد، قطر ذرات باید در کل بازه‌ی مربوط به قطر برشی توزیع شده باشد. یکی از این قطر ذرات باید تا حد امکان نزدیک به قطر برشی باشد.

مقدار عدد استوک St_{50} برای مراحل $2.5 \mu m$ و $10 \mu m$ ایمپکتور تحت بررسی در رابطه با قطر برشی باید براساس داده‌های تجربی و فرمول ۱ محاسبه شده باشد.

راندمان‌های جداسازی و مقادیر عدد استوک تعیین شده باید گزارش شوند.

۴-۶ شرایط عملیاتی

۱-۴-۶ ملاحظات عمومی

برای دستیابی به حدود برشی تعیین شده از ذرات با قطر $10 \mu\text{m}$ و $2.5 \mu\text{m}$ ، ایمپکتور باید با دبی حجمی نمونه‌ی ثابت که قبلاً تعیین شده است، کار کند. برای طراحی ایمپکتور مجازی داده شده، دبی حجمی فقط به شرایط گاز دودکش بستگی دارد و مطابق توضیحات بخش‌های ۲-۴-۶ و ۳-۴-۶ محاسبه شده است.

۲-۴-۶ متغیرهای محاسبه‌ی دبی حجمی نمونه‌ی ایمپکتور

متغیرهای زیر برای محاسبه‌ی دبی حجمی نمونه، مورد نیاز می‌باشند:

- ترکیب گاز؛

- شرایط گاز؛

- سرعت گاز.

۳-۴-۶ دبی حجمی نمونه و مکش

دبی حجمی مورد نیاز هر مرحله q_{Vi} ، تحت شرایط عملیاتی، توسط رابطه ۲ محاسبه شده است:

$$q_{vi} = \frac{9\pi D_{0,i} St_{50,i} \eta N_i}{4d_{50,i}^2 C_{m,i} \rho_{0,P}} \quad (2)$$

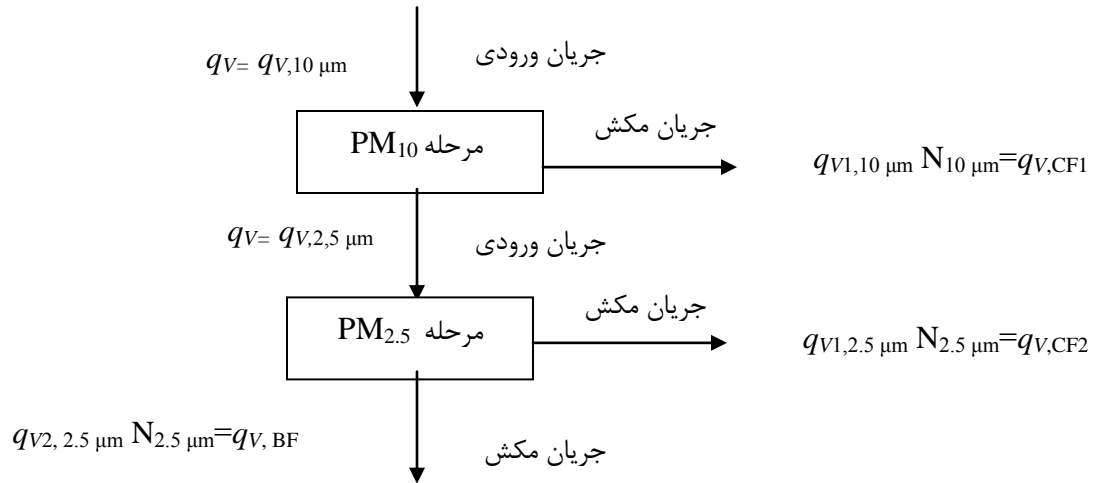
که در آن:

I	مشخص کننده کسر ذرات ($i = 2.5 \mu\text{m}, 10 \mu\text{m}$)؛
$D_{0,i}$	قطر نازل ایمپکتور (ثابت)؛
St_{50}	عدد استوک (ثابت)؛
η	ویسکوزیته گاز؛
N_i	تعداد نازل‌های ایمپکتور (ثابت)؛
$d_{50,i}$	قطر برشی ذرات (۵۰٪ مقدار جداسازی در نازل، ثابت)؛
$C_{m,i}$	ضریب کانینگهام کسر ذره‌ی μm ؛
$\rho_{0,P}$	چگالی ذره (1 g/cm^3).

دبی حجمی هر دو مرحله، جداگانه محاسبه شده است. ارتباط دبی حجمی نمونه q_v ، در یک ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای مطابق رابطه زیر است:

$$q_v = q_{v,10\mu m} \quad (3)$$

دبی حجمی خطوط مکش ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای در شکل ۴ نشان داده شده است و می‌تواند مطابق فرمول‌های ۴ تا ۶ ساده شوند:



شکل ۴ - طرح کلی دبی‌های حجمی در ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای

$$q_{v,CF1} = \xi_{10\mu m} q_{v,10\mu m} = q_{v,10\mu m} - q_{v,2.5\mu m} \quad (4)$$

$$q_{v,CF2} = \xi_{2.5\mu m} q_{v,2.5\mu m} \quad (5)$$

$$q_{v,BF} = (1 - \xi_{2.5\mu m}) q_{v,2.5\mu m} \quad (6)$$

که در آن‌ها:

q_v	دبی حجمی نمونه؛
$q_{v,2.5\mu m}$	دبی حجمی ورودی مرحله‌ی $PM_{2.5}$ ؛
$q_{v,CF1}$	دبی حجمی جریان مکش مرحله‌ی PM_{10} ؛
$q_{v,CF2}$	دبی حجمی جریان مکش مرحله‌ی $PM_{2.5}$ ؛
$q_{v,BF}$	دبی حجمی جریان مکش فیلتر پشتیبان؛
$q_{v,10\mu m}$	دبی جریان فرعی داخل نازل مرحله‌ی PM_{10} ؛

تعداد نازل‌های ایمپکتور در مرحله‌ی PM ₁₀ ؛	N _{10 μm}
دبی جریان فرعی داخل نازل مرحله‌ی PM _{2.5} ؛	q _{V1,2.5 μm}
تعداد نازل‌های ایمپکتور در مرحله‌ی PM _{2.5} ؛	N _{2.5 μm}
دبی جریان اصلی داخل نازل مرحله‌ی PM _{2.5} ؛	q _{V2,2.5 μm}
نسبت جریان فرعی در مرحله‌ی PM _{2.5} ؛	ξ _{2,5 μm}
نسبت جریان فرعی در مرحله‌ی PM ₁₀ است.	ξ _{10 μm}

توصیه می‌شود که تقریباً ۱۰٪ جریان مکش کل از هر مرحله باشد. بنابراین خواهیم داشت:

$$\xi_{2.5\mu m} \approx 0.1 \text{ و } \xi_{10\mu m} \approx 0.1$$

دبی حجمی نمونه در شرایط استاندارد و برای گاز خشک، q_{Vn} باید با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شود:

$$q_{vn} = q_v \frac{T_n (p_{amb} + p_{st})}{p_n T \left[1 + (\gamma_{n,H_2O,v} / \rho_{n,H_2O,v}) \right]} \quad (7)$$

که در آن:

دمای گاز تحت شرایط عملیاتی؛	T
دمای استاندارد، T _n = 273.15 K؛	T _n
فشار محیط در محل اندازه‌گیری؛	p _{amb}
فشار استاندارد، p _n = 1 013.25 hPa؛	p _n
تفاوت بین فشار استاتیک در سطح مقطع اندازه‌گیری و فشار اتمسفری در محل اندازه‌گیری (فشار بارومتري)؛	P _{st}
غلظت جرمی بخار آب در شرایط استاندارد و با گاز خشک؛	γ _{n, H₂O, v}
چگالی بخار آب در شرایط استاندارد می‌باشد.	ρ _{n, H₂O, v}

برای محاسبه دبی حجمی جریان با استفاده از رابطه (۲)، پارامترهای زیر باید محاسبه شده باشند:

- ویسکوزیته دینامیکی η(T)، مخلوط گازی در شرایط کارکرد؛
- ضریب کانینگهام C_{m,i} برای کسر ذره i.

رابطه‌ی محاسبه‌ی این پارامترها در پیوست الف آمده است.

۴-۴-۶ قطر نازل ورودی

قطر نازل ورودی d_{entry} برای استفاده در رابطه‌ی (۸) از روی دبی حجمی نمونه‌ی مورد نیاز qv و سرعت گاز دودکش v_{fg} ، در نقطه‌ی نمونه‌برداری محاسبه شده است:

$$0.9 \leq \frac{4qv}{\pi d_{entry}^2} \sqrt{v_{fg}} \leq 1.3 \quad (۸)$$

از آنجایی که خطا در راندمان جمع‌آوری کوچکتر از نمونه‌برداری در شرایط پایین‌تر از ایزوکینتیک است، نمونه‌برداری بالای ایزوکینتیک^۱ ارجحیت دارد (به پیوست ب مراجعه کنید).

۵-۴-۶ شرایط عملیاتی قابل اجرا

روش اندازه‌گیری مشروح در این استاندارد ملی برای شرایط ارائه شده در جدول ۲ قابل اجراست. دامنه‌ی ترکیبات گاز نمونه، می‌تواند از هوا تا گازهای دودکش متغیر باشد و حداکثر ۳۰٪ کسر حجمی آن‌ها دی اکسید کربن باشد.

جدول ۲- نمونه شرایط عملیاتی روش اندازه‌گیری

پارامتر	مقدار میانگین	مقدار کمینه	مقدار بیشینه
غلظت ذرات (mg/m^3)	۴۰	۱	۲۰۰
دما (درجه سانتیگراد)	۱۳۵	۲۰	۲۵۰
فشار (hPa)	۱۰۰۰	۸۵۰	۱۱۰۰
بخار آب موجود (g/m^3)*	۳۰	۰	۱۰۰

*نقطه شبنم باید کمتر از دمای گاز خروجی از دودکش باشد.

اگر این شرایط عملیاتی حاصل نشوند و مخصوصاً در شرایطی که میزان بخار آب و یا دمای گاز دودکش بالا باشد، اندازه‌گیری باید طوری انجام شود که عدد رینولدز در هر مرحله‌ی جداسازی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ باشد. در این حالت، شرایط مشابه مطابق با تئوری Marple and Liu هنوز هم برآورده می‌شود. عدد رینولدز برای جریان در هر مرحله می‌تواند مطابق پیوست ت تعیین شود.

۶-۴-۶ اجزاء سازنده

ایمپکتور دو مرحله‌ای باید دارای اجزای زیر باشند:

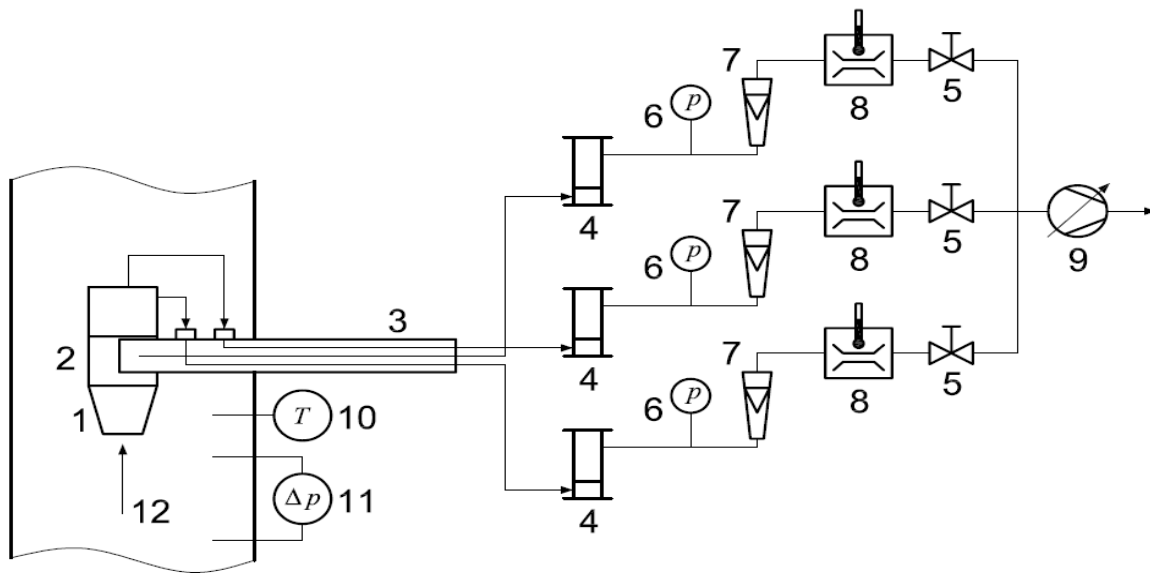
- در صورت نیاز، ورودی مخروطی شکل مطابق با الزامات بیان شده در ISO 12141؛
- نازل‌های شتاب دهنده‌ی ذرات در مرحله‌ی جداسازی PM_{10} ؛
- نازل‌های جمع‌آوری ذرات، فیلتر و نگه‌دارنده‌ی فیلتر برای کسر ذرات بزرگتر از $10 \mu m$ ؛

- نازل‌های شتاب دهنده‌ی ذرات در مرحله‌ی جداسازی $PM_{2.5}$ ؛
 - نازل‌های جمع‌آوری ذرات، فیلتر و نگه‌دارنده‌ی فیلتر برای کسری از ذرات بین $10\ \mu m$ و $2.5\ \mu m$ ؛
 - فیلتر پشتیبان و نگه‌دارنده‌ی فیلتر برای کسر ذرات کوچکتر از $2.5\ \mu m$.
- مثالی از ایمپکتور مجازی در پیوست پ آمده است.

۷ سری نمونه‌برداری

۱-۷ ترتیب اندازه‌گیری

شکل ۵ مثالی از توالی اجزای سیستم اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. وسایل اندازه‌گیری حجم گاز باید در فشار نشان داده‌شده در فشارسنج‌ها قابل کاربرد باشد.



راهنما:

۱	نازل ورودی	۷	جریان سنج
۲	ایمپکتور دو مرحله‌ای	۸	دستگاه اندازه‌گیری حجم گاز همراه با دماسنج
۳	لوله پشتیبان	۹	دستگاه مکش
۴	ستون سرد کننده و خشک کننده	۱۰	دستگاه اندازه‌گیری دما
۵	شیر	۱۱	لوله پیتو همراه با فشار سنج دیفرانسیلی
۶	فشار سنج	۱۲	جریان گاز در گاز خروجی دودکش

شکل ۵- مثالی از طراحی سیستم نمونه‌برداری

اندازه‌گیری‌های انجام شده با استفاده از سه وسیله‌ی مکش قابل قبول است. در این مورد، الزامات اجزای پایین دستی ایمپکتور باید مطابق با ISO12141 باشد.

توصیه می‌شود اندازه‌گیری‌ها با سیستم نمونه‌برداری درون دودکشی با یک نازل ورودی مستقیم انجام شود. اندازه‌گیری درون دودکشی^۱ با استفاده از نازل زانویی در جلوی ایمپکتور می‌تواند موجب تلف شدن ذرات بیشتری در پروب نمونه‌برداری^۲ شوند. به‌علاوه، اندازه‌گیری‌های برون دودکشی^۳ نیازمند کنترل دقیق دمای بیرون ایمپکتور برای رسیدن به قطر برشی دقیق می‌باشد. اگر اندازه‌گیری درون دودکشی با استفاده از نازل زانویی در جلوی ایمپکتور انجام شود، تصدیق باید با در نظر گرفتن میزان تلفات ذرات ریز و درشت انجام گیرد. این روش اندازه‌گیری فقط در صورتی باید مورد استفاده قرار گیرد که تلفات ذرات در سری نمونه‌برداری کمتر از ۱۰٪ از کل جرم ذرات ریز جمع‌شده در فیلترهای جمع‌آوری و پشتیبان باشد.

۲-۷ تجهیزات و مواد کار

۱-۲-۷ تجهیزات نمونه‌برداری

ایمپکتور مجازی باید از جنس مواد مقاوم در برابر خوردگی مانند تیتانیوم یا فولاد ضد زنگ باشد. نازل ورودی باید از همان جنس ایمپکتور مجازی باشد. مجموعه‌ای از نازل‌ها با قطر موثر مختلف حداقل بین ۳ تا ۱۸ میلی‌متر باید در دسترس باشد (به پیوست پ و ث مراجعه کنید).

۲-۲-۷ تجهیزات مورد نیاز برای استخراج و تنظیم دبی حجمی نمونه

وسایل و تجهیزات زیر باید برای استخراج و تنظیم دبی حجمی نمونه تهیه شوند:

- لوله‌های قابل انعطاف حمل گاز با طول مناسب برای اتصال بخش‌های پایین دستی از سری نمونه‌برداری لوله‌ی مکش
- قسمت‌های نگه‌دارنده با لوله ثابت و یا میله برای تنظیم ایمپکتور مجازی؛
- گرم‌کننده‌ی مخصوص برای گرم کردن کل ایمپکتور (در صورت نیاز)؛
- برج خشک‌کننده با مواد خشک‌کننده برای خشک کردن گاز نمونه؛
- وسیله‌ی مکش (مانند پمپ ضدزنگ درزبندی شده با فیلتر محافظ و کمترین خروجی دریافتی^۴
- $2 \text{ m}^3/\text{h}$ در 0.04 MPa در محل استخراج، ترجیحاً با کنترل جریان اتوماتیک)؛
- دبی سنج (حجمی) گاز با ظرفیت اسمی $3 \text{ m}^3/\text{h}$ و دو دبی سنج (حجمی) با ظرفیت اسمی $1 \text{ m}^3/\text{h}$ ؛

1- In-stack
2- Probe
3 -Out-stack
4- Delivery output

- جریان سنج^۱ گاز؛
- دستگاه اندازه‌گیری دمای جریان گاز نمونه؛
- دستگاه اندازه‌گیری فشار برای فشار استاتیک درون مجرا و یا اختلاف فشار استاتیک بین مجرا و اتمسفر در محل اندازه‌گیری؛

- دستگاه اندازه‌گیری زمان؛

- دستگاه اندازه‌گیری فشار برای اندازه‌گیری فشار اتمسفری در محل اندازه‌گیری؛

- شیرهای قطع کن و کنترل جریان و/یا سایر وسایل برای تنظیم جریان گاز نمونه.

با توجه به ویژگی‌های گاز، استفاده از تله میعان^۲ می‌تواند برای جلوگیری از برگشت جریان میعان به فیلتر اندازه‌گیری، ضروری باشد. در صورت نیاز، گرمایش و سرمایش تله میعان باید فراهم شود. یادآوری- الزامات تجهیزات استخراج و تنظیم دبی جریان نمونه به عنوان مثال در ISO12141 تعیین شده است.

۳-۲-۷ تجهیزات مورد نیاز برای اندازه‌گیری سرعت گاز، ترکیب گاز و مقادیر مرجع

برای اندازه‌گیری سرعت و ترکیب گاز تجهیزات زیر باید تهیه شوند:

- دستگاه اندازه‌گیری سرعت گاز مانند لوله پیتو همراه با میکرومانومتر؛

- آنالایزرهای گازی برای تعیین CO₂ و O₂ در گاز دودکش؛

- دستگاه اندازه‌گیری دما؛

- دستگاه اندازه‌گیری میزان بخار آب.

یادآوری- الزامات تجهیزات اندازه‌گیری سرعت و ترکیب گاز به عنوان مثال در ISO12141 تعیین شده است.

۴-۲-۷ تجهیزات مورد نیاز قبل و بعد از آزمایش در آزمایشگاه

تجهیزات زیر برای قبل و بعد از آزمایش نمونه‌های فیلتر در آزمایشگاه باید تهیه شوند:

- ترازوی حساس با محدوده‌ی اندازه‌گیری ۶۰ گرم و حساسیت ۰/۱ میلی‌گرم

- محفظه‌ی مخصوص خشک کردن

- محفظه مخصوص انتقال فیلترهای نمونه‌برداری

۵-۲-۷ مواد مورد استفاده

مواد کار زیر باید تهیه شوند:

1-Gas flowmeter
2-Condensate trap

۱-۵-۲-۷ فیلتر تخت از جنس فیبر کوارتز

۲-۵-۲-۷ عامل خشک کننده به عنوان مثال از جنس سیلیکاژل با شناساگر رنگ

فیلتر جمع آوری و فیلتر پشتیبان باید شامل فیلترهای تخت کوارتز فیبری باشند و با حداقل الزامات زیر مطابقت داشته باشند:

۱-۲-۵-۲-۷ راندمان فیلتر باید بیشتر از ۹۹/۵٪ در آزمون آئروسول با قطر میانگین ذرات $0.3 \mu\text{m}$ در بیشترین دبی جریان مورد انتظار یا ۹۹/۹٪ از آزمون آئروسول با قطر $0.6 \mu\text{m}$ باشد. این راندمان باید از سوی تهیه کننده‌ی فیلتر گواهی شود.

۲-۲-۵-۲-۷ ماده فیلتر نباید با ترکیبات گازی جادب در نمونه‌ی گازی واکنش داده و یا آن‌ها را جذب کند و همچنین باید نسبت به بیشترین دمای مورد انتظار مقاومت داشته باشند.

۸ آماده‌سازی، روش اندازه‌گیری و بررسی‌های نهایی

۱-۸ کلیات

توصیه می‌شود، درگاه‌های اندازه‌گیری با رعایت موقعیت، تعداد و طراحی با الزامات استانداردهای بین‌المللی یا ملی سازگار باشند.

توصیه می‌شود، ابعاد درگاه‌های اندازه‌گیری امکان تعبیه‌ی مستقیم ایمپکتور مجازی در مجرای گازی را بدون هیچ تماسی با دیواره‌ی داخلی مجاری ایجاد کند.

توصیه می‌شود، مقطع اندازه‌گیری با الزامات استاندارد کاربردی مطابقت داشته باشند.

یادآوری- نمونه الزامات مقطع اندازه‌گیری به عنوان مثال در ISO12141 یا EN15259 تعیین شده است (به بند ۹ کتابنامه مراجعه کنید).

شرایط دودکش گازی در حین نمونه‌برداری برای اطمینان از این که نرخ ایزوکینتیک بین ۹۰٪ و ۱۳۰٪ از مقدار محاسبه شده است، باید ثابت باشد (به بند ۸-۳-۴ مراجعه کنید).

ایمپکتور مجازی باید در مجرای دودکش گاز و با نازل ورودی در جهت مخالف جریان، استفاده شود (به شکل ۵ مراجعه کنید).

نمونه‌برداری باید در نقطه‌ی معرف نمونه‌برداری که بیانگر سرعت گاز دودکش است انجام گیرد. این نقطه معرف نمونه‌برداری باید مطابق پیوست چ تعیین شود.

عدم تغییر قطر برشی در حین نمونه‌برداری باید تضمین شود. هنگامی که که شرایط گاز دودکش ثابت است، این امر می‌تواند توسط جریان ثابت نمونه گاز تحقق یابد.

۲-۸ اقدامات اولیه

۱-۲-۸ ایمپکتور مجازی

ایمپکتور مجازی باید در فواصل زمانی مشخص شده در برنامه‌ی اندازه‌گیری مطابق دستورالعمل سازنده تمیز شود.

یادآوری- نمونه الزامات برنامه اندازه‌گیری به‌عنوان مثال در EN15259 تعیین شده است (به بند ۹ کتابنامه مراجعه کنید). تمامی سطوح داخلی ایمپکتور مجازی باید بین اندازه‌گیری‌ها به‌عنوان مثال با یک پارچه‌ی میکروفیبری تمیز شود.

۲-۲-۸ فیلترهای جمع‌آوری و پشتیبان

آماده‌سازی مجموعه فیلترها باید در آزمایشگاه انجام گیرد. فیلترهای جمع‌آوری و پشتیبان باید در نگاه‌دارنده‌های علامت‌گذاری شده منحصر بفرد قرار داده شوند. سپس فیلترهای جمع‌آوری و پشتیبان همراه با نگاه‌دارنده‌ها باید طبق ISO12141 خشک، و به حالت پایدار برسند^۱ و وزن شوند. فیلترهای جمع‌آوری و پشتیبان باید در جعبه‌های در بسته‌ای که به وضوح نشانه‌گذاری شده‌اند، نگاه‌داری و حمل شوند.

۳-۸ فرآیند اندازه‌گیری

۱-۳-۸ برنامه‌ریزی اندازه‌گیری

برنامه‌ریزی اندازه‌گیری بهتر است به‌طور کلی شامل موارد زیر باشد:

- شرایط عملیاتی واحد صنعتی، شامل: سوخت یا مواد اولیه، ترکیبات گاز دودکش و مقادیر مرجع (مثلاً دما، فشار، میزان بخار آب) باید اندازه‌گیری شده باشند؛
- تاریخ نمونه‌برداری، زمان و محل اندازه‌گیری؛
- بخش‌های اندازه‌گیری و محل‌های اندازه‌گیری؛
- روش‌های اندازه‌گیری به‌کار برده شده؛
- ناظر فنی و پرسنل لازم برای انجام اندازه‌گیری؛
- روش‌های گزارش‌دهی.

یادآوری- به عنوان مثال توصیه‌هایی برای آزمایشگاه‌های آزمون در استاندارد ملی ایران - ایزو ۱۷۰۲۵ آمده است.

مدت زمان نمونه‌برداری بستگی به غلظت ذرات و توزیع اندازه ذرات در گاز دودکش دارد. اگر این مقادیر نامشخص باشند، توصیه می‌شود قبل از اندازه‌گیری تعریف شوند. مدت زمان نمونه‌برداری باید طوری تعیین شود که از افزایش بار فیلترهای جمع‌آوری و پشتیبان جلوگیری شود و مقدار مناسبی از گرد و غبار نمونه‌برداری شود.

۸-۳-۲ اطلاعات گاز دودکش

اطلاعات گاز دودکش که در زیر بیان شده‌اند باید قبل از اندازه‌گیری تعیین شوند:

- سرعت گاز دودکش؛
- ترکیبات گاز دودکش: شامل بخار آب، O_2 , CO_2 , N_2 ؛
- دما؛
- فشار استاتیک.

۸-۳-۳ تعیین دبی حجمی گاز نمونه

دبی حجمی گاز نمونه تحت شرایط عملیاتی باید مطابق بند ۶-۴-۳ تعیین شود. این دبی حجمی باید به شرایط وسیله‌ی اندازه‌گیری حجم تبدیل شده باشد. کمیت‌های ورودی برای محاسبه، مقادیر اندازه‌گیری شده و تعیین شده در بند ۸-۳-۲ می‌باشند.

دبی حجمی گاز نمونه باید پایش شده و در حین نمونه‌برداری بین $\pm 5\%$ از مقدار اسمی ثابت نگه داشته شود تا از عدم تغییر مشخصه‌های برشی هر دو مرحله‌ی جداسازی اطمینان حاصل شود.

۸-۳-۴ انتخاب نازل ورودی

قطر موثر نازل ورودی باید طبق رابطه (۸) محاسبه شود.

نمونه برداری باید با نرخ ایزوکینتیک بین ۹۰٪ و ۱۳۰٪ از مقدار محاسبه شده انجام گیرد. نازل ورودی نیز باید طبق آن انتخاب شود. مثالی از انتخاب نازل ورودی در بند پ-۲ پیوست پ نشان داده شده است.

۸-۳-۵ بازرسی نشتی

سیستم نمونه‌برداری باید سرهم شده و برای امکان نشت توسط آب‌بندی نازل ورودی بازرسی شود و دستگاه مکش راه‌اندازی گردد. دبی نشتی باید کمتر از ۲٪ دبی جریان نرمال باشد. این مقدار را به عنوان مثال می‌توان با اختلاف فشارهای بعد از تخلیه‌ی سری نمونه‌برداری در بیشترین خلاء ممکن در حین نمونه‌برداری اندازه‌گیری کرد. در طول نمونه‌برداری، نشتی را می‌توان با اندازه‌گیری پیوسته‌ی غلظت ترکیبات گازی مرتبط (CO_2 , O_2 و...) به طور مستقیم در مجرا و در پایین دست سری نمونه‌برداری پایش کرد. هرگونه اختلاف نمایان شده بین غلظت‌ها، نشانگر نشتی در بخش‌های تجهیزات نمونه‌برداری است که در خارج از مجرا قرار دارند. این نشتی باید بررسی شده و برطرف گردد.

۸-۳-۶ اندازه‌گیری

ایمپکتور مجازی همراه با نازل ورودی نصب شده‌ی مناسب، باید قبل از شروع اندازه‌گیری به دمای گاز دودکش برسد. اگر دمای گاز دودکش نزدیک به نقطه‌ی شبنم بخار آب باشد، کل ایمپکتور مجازی باید بیرون از مجرا تا دمای گاز دودکش گرم شود.

یادآوری- ایمپکتور مجازی بزرگ می‌تواند منجر به طولانی شدن زمان گرمایش شود.

در طول نصب، سری نمونه‌برداری باید داخل مجرای گاز دودکش باشد تا از هرگونه تماس بین نازل ورودی و مجرای گاز دودکش جلوگیری شود. درگاه‌های اندازه‌گیری^۱ باید تا حد امکان گازبندی شوند تا کمترین اکسیژن وارد مجرا شود یا گازی از مجرا خارج نشود.

زاویه بین خط مرکزی نازل ورودی و جهت جریان باید کوچکتر از ۱۰ درجه باشد. ۳ شیر قطع کن باید باز باشند، دستگاه مکش باید روشن شود و جریان حجمی باید مطابق مقدار محاسبه شده در بند ۶-۴-۳ تنظیم شود.

دبی حجمی جریان باید در حین نمونه‌برداری حداقل هر ۵ دقیقه یکبار بررسی و گزارش شود و باید در موارد انحراف در مقدار محاسبه شده تنظیم شود.

فشار دینامیکی باید به طور پیوسته توسط لوله پیتو یا هر وسیله‌ی مناسب اندازه‌گیری دیگری که در محل ثابت یا در سری نمونه‌برداری نصب شده بررسی شود و یا باید حداقل هر ۵ دقیقه یکبار گزارش شود.

سری نمونه‌برداری باید پس از نمونه‌برداری از مجرای گاز دودکش جدا شود. در صورتی که فشار استاتیک منفی باشد، ایمپکتور مجازی باید قبل از متوقف کردن وسیله‌ی مکش جدا شود.

حجم نمونه اندازه‌گیری باید تعیین و گزارش شود. هر حجم نمونه در ۳ وسیله‌ی مکش باید گزارش گردد و کل حجم نمونه باید محاسبه شود.

۸-۳-۷ تعویض فیلتر

نگهدارنده‌ی فیلتر پشتیبان همراه با فیلتر پشتیبان و نگهدارنده‌های فیلتر جمع‌آوری همراه با فیلترهای جمع‌آوری باید از ایمپکتور مجازی جدا شده و به ظرف انتقال منتقل شوند. از هرگونه آلوده شدن فیلترها باید جلوگیری شود.

۸-۴ روش اجرایی وزن کردن

۸-۴-۱ کلیات

فیلتر پشتیبان و فیلتر جمع‌آوری مرحله‌ی دوم باید توزین شوند. فیلترها با و/یا بدون نگهدارنده باید وزن شوند. وزن کردن با نگهدارنده‌ی فیلتر قویاً توصیه می‌شود.

یادآوری- برای بررسی قابل پذیرش تر^۱، فیلتر جمع آوری مرحله‌ی اول را نیز می‌توان وزن کرد.

۲-۴-۸ اقدامات پیش از نمونه برداری^۲ قست‌های وزن شده

قسمت‌های وزن شده باید در آون خشک کن به مدت حداقل ۱ ساعت و در دمای حداقل ۲۰ درجه سانتی گراد، بیشتر از حداکثر دمایی که در حین نمونه برداری ایجاد می‌شود، خشک شوند. بعد از خشک کردن، فیلترها و/یا نگه‌دارنده‌ی فیلترها باید در دسیکاتوری که در اتاق توزین قرار دارند به مدت حداقل ۸ ساعت گذاشته شوند.

۳-۴-۸ توزین

فیلتر را در ترازوی الکترونیکی مناسب با حساسیت ± 0.1 میلی‌گرم وزن کنید. قویاً توصیه می‌شود که از یک ترازوی واحد برای وزن کردن اولیه و نهایی استفاده شود.

قبل از انجام هر گونه سری توزین باید:

- ترازو با وزنه‌های استاندارد کالیبره شود؛
 - بررسی‌های تکمیلی با توزین بخش‌های کنترلی انجام شود. این بخش‌ها، در دمای یکسان و شرایط رطوبتی کنترل شده و دور از آلودگی نگه‌داری شود؛
 - رطوبت نسبی متعادل و دمای اتاق گزارش شود.
- هرگونه افزایش و یا کاهش در نتایج وزن می‌تواند به دلایل زیر باشد:
- بارهای الکترواستاتیکی، که منجر به قرائت اشتباه می‌شوند و توصیه می‌شود، به زمین تخلیه شده و یا خنثی شوند.

- ویژگی‌های رطوبت‌گیری مواد فیلتر و/یا ذرات. توزین باید حدوداً یک دقیقه بعد از خارج کردن از دسیکاتور انجام گیرد. دو قرائت اضافی با فاصله زمانی ۵ ثانیه بعد از اولین قرائت انجام شود. در صورت مشاهده افزایش و یا کاهش آشکار در قرائت به‌عنوان تابعی از زمان که به علت طبیعت ماده ایجاد می‌شود، از روش‌های مخصوص مانند برون‌یابی قرائت نسبت به شرایط اولیه استفاده شود.
- تفاوت کوچک دمایی بین قسمتی که قرار است وزن شود و دمای محیط، می‌تواند تعادل را برهم زند.

۵-۸ اقدامات بعد از نمونه برداری قست‌های وزن شده

فیلتر پشتیبان و فیلتر جمع‌آوری مرحله‌ی دوم برای ارزیابی داده‌ها استفاده می‌شوند.

1- Plausibility check
2- Pre-sampling treatment

بخش‌های وزن شده، باید در آون خشک‌کن و در دمای بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ درجه سانتیگراد و به مدت حداقل یک ساعت خشک شده، به دمای محیط برسند و طبق بند ۸-۴-۲ و ۸-۴-۳ وزن شوند.

۹ محاسبه نتایج

غلظت $PM_{2.5}$ و یا $\gamma(PM_{2.5})$ در جریان گاز باید توسط رابطه (۹) محاسبه شود:

$$\gamma(PM_{2.5}) = \frac{m_{BF}}{V_n} \quad (9)$$

که در آن:

m_{BF} جرم ذرات روی فیلتر پشتیبان؛

V_n حجم نمونه در شرایط استاندارد و برای گاز خشک است.

غلظت PM_{10} و یا $\gamma(PM_{10})$ در جریان گاز باید توسط رابطه (۱۰) محاسبه شود:

$$\gamma(PM_{10}) = \frac{m_{BF} + m_{CF2}}{V_n} \quad (10)$$

که در آن:

m_{BF} جرم ذرات روی فیلتر پشتیبان؛

m_{CF2} جرم ذرات در فیلتر جمع‌آوری مرحله‌ی دوم؛

V_n حجم نمونه در شرایط استاندارد و برای گاز خشک است.

حجم نمونه V_n در شرایط استاندارد و برای گاز خشک باید از حجم نمونه در شرایط متداول در دستگاه اندازه‌گیری حجم محاسبه شود.

فیلتر جمع‌آوری مرحله اول جداسازی نباید برای تعیین غلظت کلی گرد و غبار استفاده شود.

یادآوری - همیشه در ایمپکتورهای مجازی تلفات ذرات وجود دارد. این تلفات توسط کنوانسیون به ذرات بزرگ نسبت داده شده است. اگر نیاز به تعیین کسر $PM_{2.5}$ و PM_{10} در کل گرد و غبار باشد، اندازه‌گیری موازی کل گرد و غبار لازم خواهد بود.

۱۰ ویژگی‌های عملکرد

۱-۱۰ بار ایمپکتور مجازی

بار فیلترهای پشتیبان و جمع‌آوری مراحل جداسازی نباید از حداکثر بار تعریف شده از سوی سازنده فراتر رود. طول مدت نمونه‌برداری به غلظت ذرات و توزیع اندازه ذرات در گاز دودکش بستگی دارد. هر دوی این‌ها ممکن است قبل از اندازه‌گیری و برای انتخاب طول مدت نمونه‌برداری تعیین شوند که باعث عدم تجمع بار اضافی در فیلترهای جمع‌آوری و پشتیبان خواهد شد.

۲-۱۰ حد تشخیص

حد تشخیص ایمپکتور مجازی باید بر اساس جرم مطلق قابل تشخیص در فیلتر و حجم اسمی نمونه تخمین زده شود.

حد تشخیص PM_{10} تحت تأثیر دو توزین مستقل (فیلتر پشتیبان و فیلتر جمع‌آوری در مرحله‌ی دوم) است. بنابراین حد تشخیص بالاتر از مقدار $PM_{2.5}$ است.

۳-۱۰ عدم قطعیت اندازه‌گیری

عدم قطعیت ایمپکتور باید با استفاده از دو بار اندازه‌گیری با دو سیستم اندازه‌گیری همسان تعیین شود. نمونه‌ها باید در همان نقطه اندازه‌گیری در مقطع عرضی اندازه‌گیری گرفته شوند. عدم قطعیت استاندارد، $u(\gamma)$ با استفاده از معادله (۱۱) محاسبه شود (به بند ۶ کتابنامه مراجعه کنید):

$$u(\gamma) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (\gamma_{1,i} - \gamma_{2,i})^2} \quad (11)$$

که در آن:

$\gamma_{1,i}$ i آمین مقدار غلظت در اولین سیستم اندازه‌گیری؛

$\gamma_{2,i}$ i آمین مقدار غلظت در دومین سیستم اندازه‌گیری؛

N تعداد مقادیر جفت‌های اندازه‌گیری می باشد.

عدم قطعیت اندازه‌گیری حداقل طی تصدیق ایمپکتور مجازی تحت شرایط عملیاتی واحد صنعتی و شرایط گاز آلوده تعیین می‌شود تا معرف کاربردهای بعدی ایمپکتور باشد. آزمون‌ها باید توسط یک آزمایشگاه آزمون انجام گیرد که عملکرد آن توسط یک سیستم کنترل کیفیت بین‌المللی تایید شده باشد. **یادآوری** - اطلاعات لازم در مورد آزمون‌های آزمایشگاهی به عنوان مثال در استاندارد ایران - ایزو ۱۷۰۲۵ آمده است.

۴-۱۰ تلفات ذرات

تلفات ذرات معمولاً در حین نمونه‌برداری ذرات و هنگامی که از ایمپکتور در حال استفاده است، رخ می‌دهد. بخشی از ذرات از لحاظ تئوری توسط فیلتر جمع‌آوری و پشتیبان جدا نمی‌شوند، بلکه در دیواره‌ها و مراحل ایمپکتور نشر می‌یابند (به بند ۱۷ کتابنامه مراجعه کنید). این ذرات در تعیین جرم اجزاء توسط کنوانسیون در نظر گرفته نمی‌شوند. بنابراین مجموع جرم روی فیلتر جمع‌آوری و فیلتر پشتیبان معمولاً با کل غلظت جرمی گرد و غبار در گاز دودکش برابر نیست.

بررسی‌های جامع نشان داده‌اند که تلفات ذرات با افزایش اندازه‌ی ذرات افزایش می‌یابد (به بندهای ۱۸ و ۱۹ کتابنامه مراجعه کنید).

یادآوری ۱- اگر اجزاء در نظر گرفته شده (PM_{10} و $PM_{2.5}$) مربوط به جرم جمع‌آوری شده باشند، توزیع محاسبه شده به ذرات ریزتر منتقل شده است، زیرا فرض بر توزیع مساوی ذرات در تلفات می‌باشد.

یادآوری ۲- اگر اجزاء در نظر گرفته شده (PM_{10} و $PM_{2.5}$) مربوط به جرم کل گرد و غبار در همان زمان باشند، توزیع محاسبه شده به ذرات درشت تر منتقل شده است، زیرا فرض بر این است که تلفات ذرات فقط به ذرات درشت مربوط است. این فرض به واقعیت نزدیک تر است، چرا که به خوبی مشهود است که تلفات ذرات مربوط به بخش ذرات درشت می باشد.

۱۱ گزارش آزمون

گزارش آزمون حداقل باید دارای اطلاعات زیر باشد:

- ۱-۱۱ نتایج اندازه گیری نشرها، شامل عدم قطعیت اندازه گیری؛
- ۲-۱۱ جزئیات اطلاعات واحد صنعتی و تمامی عناصر مربوط به برنامه اندازه گیری (به بند ۸-۳-۱ مراجعه کنید)؛
- ۳-۱۱ تمامی مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده و نتایج.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

تخمین خاصیت فیزیکی برای محاسبه دبی حجمی جریان نمونه

الف-۱) ویسکوزیته دینامیکی گاز وابسته به دما

برای محاسبه ویسکوزیته دینامیکی تحت شرایط عملیاتی، کسر حجمی اجزاء مختلف تشکیل دهنده گاز باید تعیین شده باشد، سپس ویسکوزیته دینامیکی اجزاء تشکیل دهنده تحت شرایط عملیاتی محاسبه می شود. ویسکوزیته مخلوط گازی از روی ویسکوزیته اجزاء تشکیل دهنده گاز محاسبه می شود. ویسکوزیته دینامیکی اجزاء تشکیل دهنده یک گاز مشخص از نمونه گازی و تحت شرایط عملیاتی توسط رابطه (الف-۱) محاسبه می شود:

$$\eta_j(T) = \eta_{nj} \sqrt{\frac{T}{T_n}} \frac{1 + (S_j/T_n)}{1 + (S_j/T)} \quad (\text{الف-۱})$$

که در آن:

j جزء متشکله اختصای گاز نمونه را مشخص می کند (هوا، بخار آب، CO_2 , O_2 , N_2)؛

$\eta_j(T)$ ویسکوزیته دینامیکی جزء j در شرایط عملیاتی؛

η_{nj} ویسکوزیته دینامیکی جزء j در دمای استاندارد؛

T دمای گاز؛

T_n دمای استاندارد ($T_n = 273.15 \text{ K}$)؛

S_j ثابت ساترلند^۱ جزء j است.

اجزاء حجمی متناظر Φ_j ، در گاز دودکش مرطوب بهتر است به ترتیب با روابط (الف-۲) و (الف-۳) محاسبه شود.

در صورتی که CO_2 , O_2 , N_2 و هوا $j =$ باشد، داریم:

$$\Phi_j = \Phi_{n,j} \times \frac{1}{\left(1 + \frac{\gamma_{n,H_2O,v}}{\rho_{n,H_2O,v}}\right)} \quad (\text{الف-۲})$$

در صورتی که، بخار آب $j =$ باشد، خواهیم داشت:

$$\varphi_{H_2O} = \frac{\gamma_{n,H_2O,v}}{\rho_{n,H_2O,v}} \times I / \left(I + \frac{\gamma_{n,H_2O,v}}{\rho_{n,H_2O,v}} \right) \quad \text{(الف-۳)}$$

که در آن‌ها:

$\varphi_{n,j}$ کسر حجمی جزء j در گاز خشک؛

$\gamma_{n,H_2O,v}$ غلظت جرمی بخار آب در شرایط استاندارد و با گاز خشک؛

$\rho_{n,H_2O,v}$ چگالی بخار آب در شرایط استاندارد است (ثابت).

ویسکوزیته دینامیکی وابسته به دمای گاز $\eta(T)$ ، در شرایط عملیاتی باید از رابطه (الف-۴) محاسبه شود:

$$\eta(T) = \frac{\sum_j \varphi_j \eta_j(T) \sqrt{M_j T_{crit,j}}}{\sum_j \varphi_j \sqrt{M_j T_{crit,j}}} \quad \text{(الف-۴)}$$

که در آن:

φ_j کسر حجمی جزء j در مخلوط گازی؛

$T_{crit,j}$ دمای بحرانی جزء j (ثابت)؛

M_j جرمی مولکولی جزء j است (ثابت).

الف-۲ ضریب کانینگهام

محاسبه‌ی ضریب کانینگهام نیازمند تعیین مسیر آزاد میانگین و همچنین میانگین جرم مولی گاز می‌باشد. مسیر آزاد میانگین λ با استفاده از رابطه (الف-۵) محاسبه می‌شود:

$$\lambda = 2 \times \frac{\eta(T)}{p} \sqrt{\frac{\pi RT}{8M}} \quad \text{(الف-۵)}$$

که در آن:

$\eta(T)$ ویسکوزیته‌ی وابسته به دمای گاز؛

P فشار مطلق گاز؛

M میانگین جرم مولی مخلوط گازی؛

R ثابت گازی است.

میانگین جرم مولی \overline{M} برای نمونه‌ی گازی از رابطه (الف-۶) محاسبه می‌شود:

$$\overline{M} = \sum_j \varphi_j M_j \quad (\text{الف-۶})$$

فاکتور کانینگهام، $C_{m,i}$ ، کسر ذره‌ی i باید از رابطه (الف-۷) محاسبه شود:

$$C_{m,i} = 1 + \frac{2\lambda}{d_{50,i}} \left[1.23 + 0.41 \exp\left(-0.88 \frac{d_{50,i}}{2\lambda}\right) \right] \quad (\text{الف-۷})$$

که در آن:

i کسر ذره i ($i = 2.5 \mu\text{m}, 10 \mu\text{m}$)؛
 λ مسیر آزاد میانگین؛
 $d_{50,i}$ قطر برشی جزء ذره i است.

الف-۳ چگالی گاز

چگالی یا ρ_{pTf} گاز مرطوب تحت شرایط کارکرد از رابطه (الف-۸) محاسبه می‌شود:

$$\rho_{pTf} = \frac{(p_{amb} + p_{st}) T_n (\rho_n + \gamma_{n,H2O,v})}{p_n T \left[1 + (\gamma_{n,H2O,v}) / \rho_{n,H2O,v} \right]} \quad (\text{الف-۸})$$

چگالی مخلوط گاز خشک ρ_n از رابطه (الف-۹) محاسبه می‌شود:

$$\rho_n = \sum_j \varphi_j \rho_{n,j} \quad (\text{الف-۹})$$

که در آن:

φ_j کسر حجمی جزء j در مخلوط گازی؛

T_n دمای استاندارد ($T_n = 273.15\text{K}$)؛

p_{amb} فشار پیرامون در محل اندازه‌گیری؛

p_n فشار استاندارد (25.1013hPa)؛

p_{st} اختلاف بین فشار استاتیک در مقطع عبوری اندازه‌گیری و فشار اتمسفر در محل اندازه‌گیری (فشار اتمسفر یا فشار باروماتیک)؛

$\gamma_{n,H2O,v}$ غلظت جرمی بخار آب در شرایط استاندارد و همراه با گاز خشک است.

الف-۴ ثابت‌ها

جدول الف-۱- ثابت‌های مورد نیاز برای محاسبات

واحد	مقدار	نماد	ثابت
J/(mol K)	۸,۳۱۴۵۱	R	ثابت گازها
K	۲۷۳,۱۵	T_n	دمای استاندارد
HPa	۱۰۱۳,۲۵	P_n	فشار استاندارد
kg/m ³	۱,۹۷۷	ρ_{n,CO_2}	دانسیتته CO ₂ در شرایط استاندارد
kg/m ³	۱,۴۲۹	ρ_{n,O_2}	دانسیتته O ₂ در شرایط استاندارد
kg/m ³	۱,۲۵۱	ρ_{n,N_2}	دانسیتته N ₂ در شرایط استاندارد
kg/m ³	۱,۲۹۳	$\rho_{n,air}$	دانسیتته هوای خشک در شرایط استاندارد
kg/m ³	۰,۸۰۴	$\rho_{n,H_2O,v}$	دانسیتته بخار آب در شرایط استاندارد
kg/m ³	۱۰۰۰	$\rho_{0,P}$	دانسیتته ذره
kg/ms	$۱,۳۷۰ \times 10^{-۵}$	η_{n,CO_2}	ویسکوزیته دینامیکی CO ₂
kg/ms	$۱,۹۲۸ \times 10^{-۵}$	η_{n,O_2}	ویسکوزیته دینامیکی O ₂
kg/ms	$۱,۶۵۲ \times 10^{-۵}$	η_{n,N_2}	ویسکوزیته دینامیکی N ₂
kg/ms	$۱,۷۱۷ \times 10^{-۵}$	$\eta_{n,air}$	ویسکوزیته دینامیکی هوا
kg/ms	$۸,۶۶۰ \times 10^{-۶}$	$\eta_{n,H_2O,v}$	ویسکوزیته دینامیکی بخار آب
g/mol	۴۴,۰۱	M_{n,CO_2}	جرم مولی CO ₂
g/mol	۳۲,۰۰	M_{n,O_2}	جرم مولی O ₂
g/mol	۲۸,۰۲	M_{n,N_2}	جرم مولی N ₂
g/mol	۲۸,۹۷	\overline{M}_{air}	جرم مولی میانگین هوای خشک
g/mol	۱۸,۰۲	$M_{H_2O,v}$	جرم مولی بخار آب
K	۲۷۳	S_{CO_2}	ثابت ساترلند CO ₂
K	۱۲۵	S_{O_2}	ثابت ساترلند O ₂
K	۱۰۴	S_{N_2}	ثابت ساترلند N ₂
K	۱۱۳	S_{air}	ثابت ساترلند هوا
K	۶۵۰	$S_{H_2O,v}$	ثابت ساترلند بخار آب
$\sqrt{gmol^{-1}K}$	۱۱۵,۷	$\sqrt{M_{CO_2}T_{crit,CO_2}}$	-

ادامه جدول الف-۱- ثابت‌های مورد نیاز برای محاسبات

واحد	مقدار	نماد	ثابت
$\sqrt{gmol^{-1}K}$	۷۰٫۴	$\sqrt{M_{O_2}T_{Crit,O_2}}$	-
$\sqrt{gmol^{-1}K}$	۵۹٫۵	$\sqrt{M_{N_2}T_{Crit,N_2}}$	-
$\sqrt{gmol^{-1}K}$	۶۱٫۹	$\sqrt{MT_{Crit,air}}$	-
$\sqrt{gmol^{-1}K}$	۱۰۷٫۹	$\sqrt{M_{H_2O}T_{Crit,H_2O,v}}$	-

پیوست ب

(اطلاعاتی)

خطاهای ناشی از انحراف از نمونه برداری ایزوکینتیک^۱

علاوه بر عدم قطعیت اندازه گیری تعیین شده توسط تعیین های چندگانه در شرایط تکرارپذیری و یا تکثیرپذیری، توزیع عدم قطعیت بعدی توسط نمونه برداری در فقط یک نقطه ای اندازه گیری در مقطع عبور یا انحراف از نمونه برداری ایزوکینتیک ایجاد می شود.

فرض بر این است که تمامی اندازه گیری ها در نقطه ای اندازه گیری انجام شده است که نماینده شرایط مقطع عبوری اندازه گیری است. بنابراین توصیه می شود توزیع عدم قطعیت نادیده گرفته شود.

قطر نازل ورودی برای نمونه برداری با سرعت یکسان را تنها می توان تخمین زد، زیرا جریان حجمی عبوری از ایمپکتور قبل از اندازه گیری محاسبه می شود و توصیه می شود، در طول نمونه برداری ثابت نگه داشته شود. توزیع متناظر عدم قطعیت اندازه گیری را می توان برای ذرات با اندازه های مختلف از لحاظ تئوری تخمین زد.

توصیه می شود، راندمان جمع آوری سیستم نمونه برداری برای ذرات با قطرهای آیرودینامیکی مختلف از سرعت کینتیکی یکسان محاسبه شود (به بند ۲۰ کتابنامه مراجعه شود). شکل (ب-۱) مثالی از راندمانی های جمع آوری کسر ذرات مختلف، به صورت تابعی از نسبت سرعت گاز در نازل ورودی به سرعت گاز در مجرای دودکش را نشان می دهد. محاسبات براساس هوای پیرامون با سرعت گاز ۱۰ متر بر ثانیه و نازل ورودی با قطر ۱۰ میلی متر انجام شده است.

بادآوری - راندمان جمع آوری برابر با نسبت غلظت نمونه گیری شده در سرعت ویژه ایزوکینتیکی به غلظت نمونه برداری در سرعت ایزوکینتیکی ۱/۰ است.

برای رسیدن به حد برشی $10 \mu\text{m}$ و $2.5 \mu\text{m}$ از قطر ذرات، ایمپکتور مجازی باید با دبی حجمی نمونه ای ثابت که قبلاً تعیین شده، کار کند. دبی حجمی فقط به شرایط گاز دودکش که بتوان آن را محاسبه کرد بستگی دارد. توصیه می شود، نمونه برداری در سرعت ایزوکینتیکی با انتخاب قطر مناسبی نازل نمونه برداری انجام شود. اگر این کار عملی نشد، نمونه برداری باید با سرعت ایزوکینتیکی بین ۹۰٪ و ۱۳۰٪ که با استفاده از فرمول دیویس^۲ [رابطه های (ب-۱) و (ب-۲)] محاسبه شده (به بند ۹ کتابنامه مراجعه کنید) و در شکل (ب-۱) نشان داده شده، انجام پذیرد. (سرعت ایزوکینتیکی نسبت سرعت گاز در نازل ورودی V_{entry} به سرعت گاز دودکش V_{fg} می باشد). نازل ورودی باید بر طبق آن انتخاب شود.

1-Isokinetic sampling
2- Davis's formula

$$E = \frac{\gamma_i}{\gamma_a} = \frac{v_{fg}}{v_{entry}} - \frac{1}{1 + 2St_{entry}} \left(\frac{v_{fg}}{v_{entry}} - 1 \right) \quad (\text{ب-۱})$$

$$St_{entry} = \frac{d_{ae}^2 \rho_{0,P} v_{fg}}{9\eta d_{entry}} \quad (\text{ب-۲})$$

که در آن:

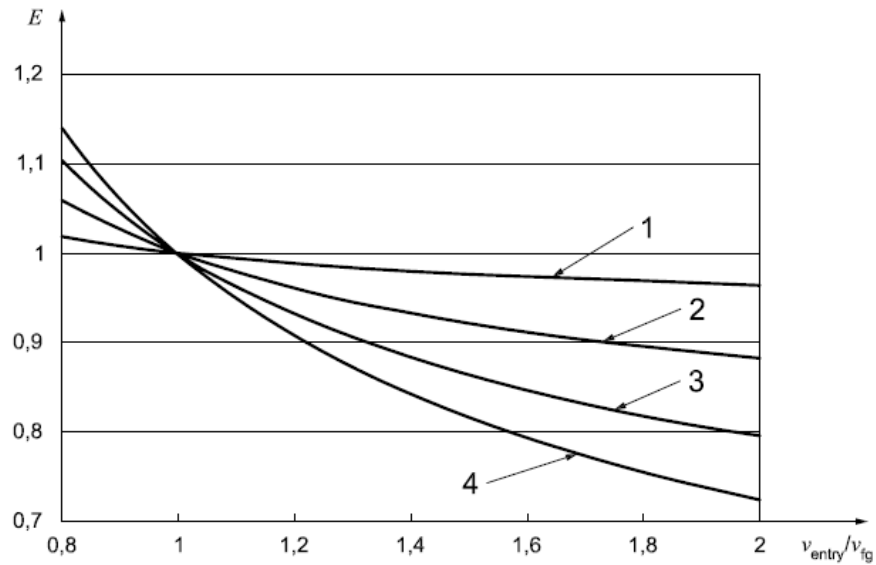
γ_i	غلظت گرد و غبار با نمونه‌برداری با سرعت ایزوکینتیکی؛
γ_a	غلظت ذرات با نمونه‌برداری با سرعت غیرایزوکینتیکی ^۱ ؛
v_{fg}	سرعت گاز دودکش؛
v_{entry}	سرعت گاز در نازل ورودی؛
H	ویسکوزیته گاز؛
d_{entry}	قطر داخلی نازل ورودی در دهانه ورودی؛
$\rho_{0,P}$	چگالی ذره (1 g/cm ³)؛
St_{entry}	عدد استوک؛
d_{ae}	قطر آیرودینامیک می‌باشد.

بادآوری - از آنجایی که خطای راندمان جمع‌آوری نمونه‌برداری فوق-سرعت ایزوکینتیکی^۲ همان‌طور که در شکل ب-۱ نشان داده شده است، کمتر از نرخ نمونه‌برداری زیر سرعت ایزوکینتیکی^۳ می‌باشد، نمونه‌برداری فوق-سرعت ایزوکینتیکی ارجحیت دارد.

1 -Anisokinetic sampling

2 -Over-isokinetic rate

3-Below- isokinetic rate



قطر آئرو دینامیکی

- | | |
|---------------|---|
| ۲,۵ میکرومتر | ۱ |
| ۵,۰ میکرومتر | ۲ |
| ۸,۰ میکرومتر | ۳ |
| ۱۰,۰ میکرومتر | ۴ |

راهنما:

E خطای ناشی از غلظت گرد و غبار در نمونه برداری غیر کینتیکی

V_{entry} سرعت گاز در نازل ورودی

V_{fg} سرعت گاز دودکش

شکل ب-۱ وابستگی تئوری خطای غلظت گرد و غبار در نسبت سرعت گاز در نازل ورودی به سرعت گاز دودکش

برای ذرات با قطر آئرو دینامیک یا $d_{ae} = 10 \mu m$ (با PM_{10} اشتباه گرفته نشود) و نمونه برداری فوق-سرعت کینتیکی با ضریب ۱,۵، نتایج تقریباً ۱۵ درصد کاهش می‌یابند. این خطا با افزایش اندازه ذرات افزایش یافته و در $d_{ae} = 2/5 \mu m$ بهتر است تقریباً نادیده گرفته شوند.

از آنجایی که در هنگام اندازه‌گیری گاز دودکش تصفیه شده، ذرات معمولاً دارای توزیع اندازه می‌باشند، خطای ایجاد شده به دلیل انحراف از نمونه برداری با سرعت کینتیکی یکسان، به طور قابل ملاحظه‌ای از بیشترین مقادیر داده شده‌ی قبلی که برای ذرات با اندازه $10 \mu m$ محاسبه شده است کوچکتر است.

پیوست پ

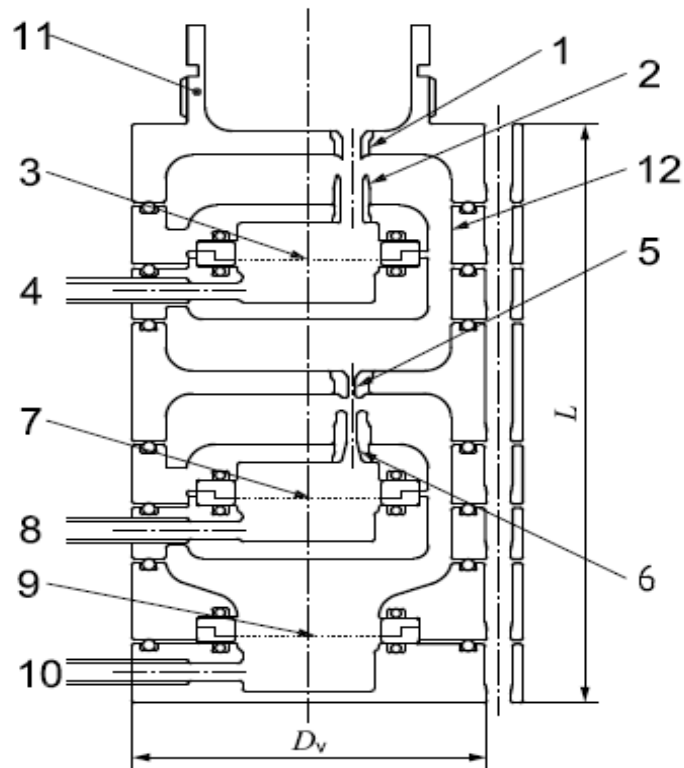
(اطلاعاتی)

مثالی از یک ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای

پ-۱ طراحی و مشخصات داده‌ها

شکل پ-۱ مثالی از یک ایمپکتور دو مرحله‌ای مجازی بدون نازل ورودی را نشان می‌دهد (به پیوست ت مراجعه کنید). ویژگی‌های داده‌های ایمپکتور مجازی در جدول پ-۱ آمده است. این ایمپکتور از نوع واحد جریان یکنواخت و در هر مرحله دارای کل تلفات داخلی^۱ زیر ۱٪ است.

1- Overall internal losses



راهنما:

- | | |
|-------|---|
| ۱ | نازل شتاب دهنده PM_{10} |
| ۲ | نازل جمع‌آوری ذرات بزرگتر از ۱۰ میکرومتر |
| ۳ | فیلتر جمع‌آوری ذرات بزرگتر از ۱۰ میکرومتر، CF_1 |
| ۴ | تیوب مکش برای ذرات درشت |
| ۵ | نازل شتاب دهنده $PM_{2.5}$ |
| ۶ | نازل جمع‌آوری برای ذرات با اندازه بین ۲٫۵ میکرومتر و ۱۰ میکرومتر |
| ۷ | نازل جمع‌آوری برای ذرات با اندازه بین صفر میکرومتر و ۲٫۵ میکرومتر، CF_2 |
| ۸ | لوله مکش |
| ۹ | فیلتر پشتیبان برای ذرات کوچکتر از ۲٫۵ میکرومتر، BK |
| ۱۰ | تیوب مکش |
| ۱۱ | اتصال نازل ورودی قابل تعویض (پیوست ث) |
| ۱۲ | کانال حلقوی جریان |
| D_v | قطر |
| L | طول |

شکل پ-۱- طرح اصلی یک ایمپکتور دو مرحله‌ای

جدول پ-۱ خصوصیات ایمپکتور مجازی

مرحله ی Pm _{2.5} (i=2.5 μm , j=2)	مرحله ی Pm ₁₀ (i=10 μm , j=1)	ایمپکتور	پارامتر
		تقریباً ۲۴۸ میلیمتر	طول به همراه نازل ورودی متصل شده
		تقریباً ۷۰ میلیمتر	قطر
	۱۲/۵ لیتر بر دقیقه		سرعت حجمی جریان نمونه، qv
۶	۶		تعداد نازل ها، N _i
۱/۵ میلیمتر	۳/۹ میلیمتر		قطر نازل شتاب دهنده ذرات، D _{0,i}
۲/۰ میلیمتر	۵/۱ میلیمتر		قطر نازل جمع آوری ذرات، D _{1,i}
۲/۵ میلیمتر	۳/۵ میلیمتر		فاصله بین انتهای نازل شتاب دهنده و بالای نازل جمع آوری ذرات، s _i
۴/۰ میلیمتر	۵/۰ میلیمتر		طول نازل شتاب دهنده، l _{0,i}
۰/۴۹	۰/۴۶		عدد استوک، St _{50,i}
۱۱/۵ لیتر بر دقیقه	۱۲/۵ لیتر بر دقیقه		جریان جرمی کلی به ازای هر مرحله، qV = qVo, i × N _i
۱/۲ لیتر بر دقیقه	۱/۰ لیتر بر دقیقه		جریان جرمی کوچک به ازای هر مرحله، qV, CF _j = qV1, i × N _i
۱۸/۱ متر بر ثانیه	۲/۹ متر بر ثانیه		سرعت در نازل، v _i
۱۸۰۰	۷۵۰		عدد رینولدز در نازل شتاب دهنده ذرات (در ۲۰ درجه سانتیگراد و هوای اتمسفر)

پ-۲ انتخاب قطر نازل ورودی

بر اساس رابطه (۸) مثالی از رابطه بین سرعت گاز دودکش و قطر نازل ورودی قابل استفاده در ایمپکتور مجازی مصور در شکل پ-۱ و جدول پ-۱، در جدول پ-۲ نشان داده شده است.

جدول پ-۲- رابطه بین سرعت گاز دودکش و قطر نازل ورودی قابل استفاده (هوا در شرایط محیط)

محدوده سرعت گاز دودکش m/s	قطر نازل ورودی mm	محدوده سرعت گاز دودکش m/s	قطر نازل ورودی Mm
۴/۲ تا ۶/۰	۷	۳۲/۷ تا ۲۲/۷	۳
۳/۲ تا ۴/۶	۸	۲۴/۱ تا ۱۶/۷	۳/۵
۲/۵ تا ۳/۶	۹	۱۸/۴ تا ۱۲/۸	۴
۲/۰ تا ۲/۹	۱۰	۱۴/۶ تا ۱۰/۱	۴/۵
۱/۴ تا ۲/۰	۱۲	۱۱/۸ تا ۸/۲	۵
۱/۰ تا ۱/۵	۱۴	۸/۲ تا ۵/۷	۶

پ-۳ منحنی جداسازی

شکل پ-۲ یک منحنی جداسازی که به صورت تجربی بدست آمده است را نشان می‌دهد. برای بررسی مطابقت جداسازی مراحل ایمپکتور با راندمان‌های جداسازی محاسبه شده، آزمایشاتی طبق پیوست ح انجام شده است. منحنی‌های راندمان جداسازی، با شرایط ارائه شده در جدول ۱ مطابقت دارند.

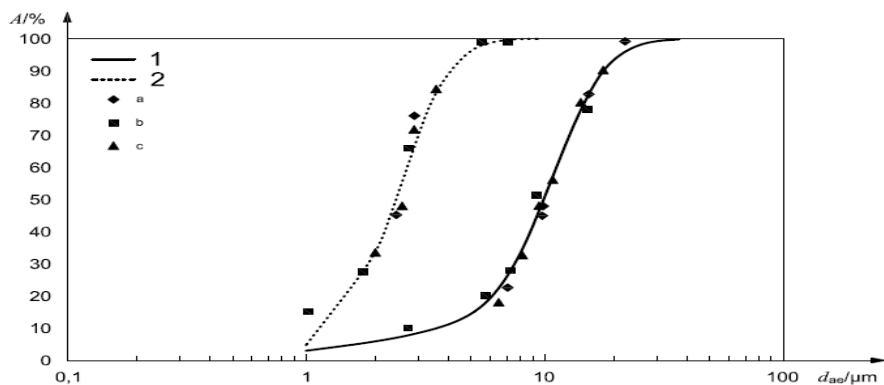
پ-۴ حد آشکارسازی

حد آشکارسازی برای وزن فیلترهای مجزا (فیلتر پشتیبان، فیلتر جمع‌آوری مرحله‌ی دوم جداسازی) ۰/۳ میلی‌گرم است. به همان نسبت حد آشکارسازی وزن $PM_{2.5}$ برابر ۰/۳ میلی‌گرم است. حد آشکارسازی غلظت نمونه‌ی یک مترمکعبی، ۰/۳ میلی‌گرم بر مترمکعب است.

از آنجایی که حد آشکارسازی PM_{10} تحت تأثیر دو وزن مستقل (فیلتر پشتیبان و فیلتر جمع‌آوری مرحله‌ی $PM_{2.5}$) است، حد آشکارسازی ۰/۴ میلی‌گرم بوده و بیشتر از مقدار مربوط به $PM_{2.5}$ است. به دلیل گسترش عدم قطعیت، حد آشکارسازی متناسب با غلظت نمونه‌ای ۱ مترمکعبی، ۰/۴ میلی‌گرم بر متر مکعب است.

پ-۵ عدم قطعیت اندازه‌گیری

جدول‌های پ-۳ و پ-۴ عدم قطعیت استاندارد جفت اندازه‌گیری‌های محاسبه شده را بر اساس رابطه ۱۱ نشان می‌دهند. این عدم قطعیت‌های استاندارد متأثر از نمونه‌برداری و اختلاف وزن فیلترهای جمع‌آوری و فیلترهای پشتیبان است.



راهنما:

A راندمان جداسازی
 A بدون سرپوش
 B با سرپوش
 C به شکل عکس
 d_{ae} قطر آیرودینامیکی
 ۱ قفسه صدی (به ردیف ۱ کتابنامه مراجعه کنید)
 ۲ تنفس با ریسک بالا (به ردیف ۱ کتابنامه مراجعه کنید)

شکل پ-۲- مثال هایی از منحنی های راندمان جداسازی ایمپکتور مجازی چندمرحله ای با نازل های چندگانه

جدول پ-۳- عدم قطعیت استاندارد از جفت اندازه گیری ها (روش یک کاربر)

عدم قطعیت استاندارد PM _{2.5} موجود mg/m ³	میانگین حسابی PM _{2.5} موجود mg/m ³	عدم قطعیت استاندارد PM ₁₀ موجود mg/m ³	میانگین حسابی PM ₁₀ موجود mg/m ³	تعداد جفت اندازه گیری ها N	نوع واحد صنعتی ^۱
۰٫۴	۲٫۴	۱/۲	۳۱٫۹	۷	کانال جریان گاز
۰٫۹	۵٫۸	۰٫۸	۶٫۴	۳	واحد تبدیل پسماند به خاکستر
۰٫۳	۱٫۵	۰٫۶	۳٫۸	۳	بوiler احتراق گاز طبیعی و نفت سنگین

جدول پ-۴- عدم قطعیت استاندارد از جفت اندازه گیری ها (روش دو کاربر)

عدم قطعیت استاندارد PM _{2.5} موجود mg/m ³	میانگین حسابی PM _{2.5} موجود mg/m ³	عدم قطعیت استاندارد PM ₁₀ موجود mg/m ³	میانگین حسابی PM ₁₀ موجود mg/m ³	تعداد جفت اندازه گیری ها N	نوع واحد
۰٫۶	۳٫۴	۴٫۴	۵۱٫۸	۷	کانال جریان گاز

پیوست ت

(اطلاعاتی)

تأثیر تغییرات در دما و ترکیب گاز دودکش بر روی عدد رینولدز

عدد رینولدز Re_i در نازل شتاب دهنده ذرات با قطر $D_{0,i}$ توسط رابطه (ت-۱) محاسبه می‌شود.

$$Re_i = \frac{v_i D_{0,i} \rho_{pTf}}{\eta} \quad (\text{ت-۱})$$

برای جریان اصلی، qv_2 عبوری از کانال حلقوی جریان هر مرحله (به شکل پ-۱ مراجعه کنید)، عدد رینولدز، $Re_{ann,i}$ برای کانال لوله‌ای جریان با استفاده از رابطه (ت-۲) محاسبه می‌شود.

$$Re_{ann,i} = \frac{v_{ann,i} d_{ann,i} \rho_{pTf}}{\eta} \quad (\text{ت-۲})$$

قطر کانال حلقوی جریان d_{ann} با استفاده از رابطه (ت-۳) محاسبه می‌شود.

$$d_{ann} = \frac{4A_{ann}}{\pi(d_{ann,1} + d_{ann,2})} \quad (\text{ت-۳})$$

با جایگزین کردن سرعت گاز در کانال جریان حلقوی $v_{ann,i} = qV_{2,i} \times N_i / A_{ann}$ و با جاگذاری رابطه (ت-۳) در رابطه‌ی (ت-۲) خواهیم داشت:

$$Re_{ann,i} = \frac{4\rho_{pTf} qV_{2,i} N_i}{\pi(d_{ann,1} + d_{ann,2})\eta} \quad (\text{ت-۴})$$

که در آن:

I	کسر هر ذره ($i = 2.5 \mu\text{m}, 10 \mu\text{m}$)؛
v_i	سرعت گاز در نازل‌های شتاب دهنده در مرحله i ؛
$v_{ann,i}$	سرعت گاز در کانال حلقوی در مرحله i ؛
Re_i	عدد رینولدز در مرحله i ؛
ρ_{pTf}	چگالی گاز در شرایط کارکرد؛
$D_{0,i}$	قطر نازل‌های شتاب دهنده‌ی ذرات در مرحله i (ثابت)؛

d_{ann}	قطر مساوی کانال‌ها حلقوی جریان (ثابت)؛
η	ویسکوزیته دینامیکی گاز در شرایط کارکرد؛
A_{ann}	مساحت کانال‌های حلقوی جریان؛
$d_{ann,1}$	قطر داخلی کانال حلقوی جریان؛
$d_{ann,2}$	قطر خارجی کانال حلقوی جریان؛
$q_{v2,i}$	دبی جریان اصلی گاز در هر نازل ایمپکتور؛
N_i	تعداد نازل‌های ایمپکتور در مرحله i می‌باشد.

مثال‌های زیر تأثیر تغییرات دما و ترکیب گاز دودکش را بر روی عدد رینولدز نشان می‌دهند. اطلاعات ورودی از اندازه‌گیری $PM_{10}/PM_{2.5}$ در یک واحد صنعتی - تجاری با سوخت زغال سنگ با یک ایمپکتور به دست آمده که در پیوست پ نشان داده شده است. این محاسبات نشان می‌دهند که تغییرات دمای گاز دودکش بالاترین تأثیر را بر روی عدد رینولدز دارد. عدد رینولدز جریان گاز در نازل شتاب دهنده ذرات، در ناحیه جریان آرام بین ۱۰۰ و ۳۰۰۰ است. عدد رینولدز در کانال‌های حلقوی جریان به قدر کافی پایین است.

جدول ت-۱- شرایط گاز دودکش و نمونه‌برداری

۲۵/۶ متر بر ثانیه	سرعت جریان گاز دودکش	شرایط گاز دودکش
۱۵۸ درجه سانتیگراد	دمای جریان گاز دودکش	
۱۰۳ کیلوپاسکال (۱۰۳۰ مگابار)	فشار گاز دودکش	
۶/۶ درصد	جزء حجمی O_2 (خشک)	
۱۲/۸ درصد	جزء حجمی CO_2 (خشک)	
۸۰/۶ درصد	جزء حجمی N_2 (خشک)	
۵۶/۸ گرم بر متر مکعب	بخار آب موجود در جریان گاز دودکش	
۱۴/۳ لیتر در دقیقه	دبی حجمی کل در شرایط گاز دودکش	شرایط نمونه‌برداری
۹/۲۲ لیتر در دقیقه	دبی حجمی کل در شرایط استاندارد	
۰/۸۶ لیتر در دقیقه	دبی گاز قسمت مکش در نازل‌های جمع‌آوری ذرات PM_{10} (در شرایط استاندارد)	
۱/۰۸ لیتر در دقیقه	دبی گاز قسمت مکش در نازل‌های جمع‌آوری ذرات $PM_{2.5}$ (در شرایط استاندارد)	
۳/۵ میلی‌متر	قطر نازل ورودی	

جدول ت-۲- عدد رینولدز برای دماهای مختلف گاز دودکش

عدد رینولدز (برای ۱۰ میکرومتر)	عدد رینولدز (برای ۲/۵ میکرومتر)	مقادیر دمای گاز دودکش
۵۴۲	۱۲۹۷	۱۵°K کمتر از دمای گاز دودکش
۵۳۵	۱۲۸۰	۱۰°K کمتر از دمای گاز دودکش
۵۲۸	۱۲۶۴	۵°K کمتر از دمای گاز دودکش
۵۲۲	۱۲۴۹	مقدار شروع به کار ^۱ (۱۵۸ درجه سانتیگراد)
۵۱۶	۱۲۳۳	۵°K بیشتر از دمای گاز دودکش
۵۰۹	۱۲۱۸	۱۰°K بیشتر از دمای گاز دودکش
۵۰۳	۱۲۰۴	۱۵°K بیشتر از دمای گاز دودکش

جدول ت-۳- عدد رینولدز برای گاز دودکش با ترکیب‌های مختلف CO₂

عدد رینولدز (برای ۱۰ میکرومتر)	عدد رینولدز (برای ۲/۵ میکرومتر)	مقادیر مختلف درصد حجمی CO ₂
۵۱۹	۱۲۴۱	۱/۵ درصد کمتر از جزء حجمی CO ₂
۵۲۰	۱۲۴۳	۱/۰ درصد کمتر از جزء حجمی CO ₂
۵۲۱	۱۲۴۶	۰/۵ درصد کمتر از جزء حجمی CO ₂
۵۲۲	۱۲۴۹	مقدار شروع به کار (۱۲/۸ درصد جزء حجمی CO ₂)
۵۲۳	۱۲۵۱	۰/۵ درصد بیشتر از جزء حجمی CO ₂
۵۲۴	۱۲۵۴	۱/۰ درصد بیشتر از جزء حجمی CO ₂
۵۲۵	۱۲۵۶	۱/۵ درصد بیشتر از جزء حجمی CO ₂

جدول ت-۴- عدد رینولدز برای گاز دودکش با ترکیب‌های مختلف بخار آب

عدد رینولدز (برای ۱۰ میکرومتر)	عدد رینولدز (برای ۲/۵ میکرومتر)	مقادیر مختلف درصد حجمی بخار آب
۵۲۵	۱۲۵۶	۱/۵ درصد کمتر از جزء حجمی بخار آب
۵۲۴	۱۲۵۳	۱/۰ درصد کمتر از جزء حجمی بخار آب
۵۲۳	۱۲۵۱	۰/۵ درصد کمتر از جزء حجمی بخار آب
۵۲۲	۱۲۴۹	مقدار شروع به کار (۶/۶ درصد جزء حجمی بخار آب)
۵۲۱	۱۲۴۶	۰/۵ درصد بیشتر از جزء حجمی بخار آب
۵۲۰	۱۲۴۴	۱/۰ درصد بیشتر از جزء حجمی بخار آب
۵۱۹	۱۲۴۱	۱/۵ درصد بیشتر از جزء حجمی بخار آب

پیوست ث

(اطلاعاتی)

نازل ورودی

شکل ث-۱ مثالی از نازل ورودی مطابق با استاندارد ISO 12141 را با طرحی قابل قبول برای اندازه‌گیری‌های کل ذرات دودکش با تجهیزات فیلتر سطح صاف و اندازه‌گیری غلظت جرمی $PM_{10}/PM_{2.5}$ با ایمپکتور نوع ۶ نشان می‌دهد. توصیه می‌شود، ویژگی‌های زیر برآورده شوند:

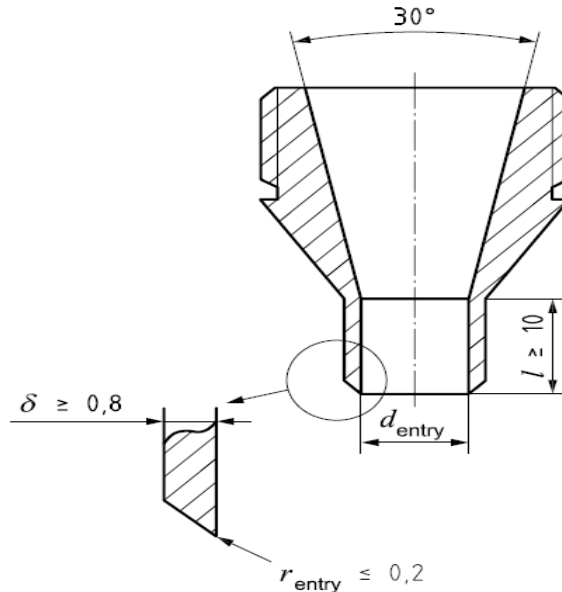
ث-۱ ضخامت دیواره (δ) نازل ورودی، بایستی کمتر از نسبت d_{entry} به ۱۲ بوده اما باید حداقل $0,8$ میلی‌متر باشد.

ث-۲ طول (l) با قطر داخلی ثابت؛ باید بیشتر از 10 میلی‌متر باشد.

ث-۳ شعاع (r_{entry}) لبه‌ی نازل ورودی؛ باید کمتر از $0,2$ میلی‌متر باشد.

ث-۴ قطر موثر (D_{eff})؛ که طبق رابطه $D_{eff} = d_{entry} + 2r_{entry}$ محاسبه می‌شود.

ث-۵ زاویه‌ی مخروطی (α)؛ که باید کمتر یا مساوی 30 درجه باشد.



راهنما:

δ	ضخامت دیواره نازل ورودی
d_{entry}	ضخامت داخلی نازل ورودی
l	طول همراه با قطر داخلی ثابت
r_{entry}	شعاع لبه‌ی نازل ورودی

شکل ث-۱- مثالی از یک نازل ورودی

پیوست ج

(اطلاعاتی)

لیست تجهیزات

جدول ج-۱- ایمپکتور و نازل ورودی

تجهیزات	نوع و/یا خصوصیات
ایمپکتور	مواد مقاوم در برابر خوردگی؛ برای مثال تیتانیوم و/یا فولاد ضد زنگ
نازل ورودی	قطر موثر ۳ میلیمتر تا ۱۸ میلیمتر (پیوست ث) و جنس مانند ایمپکتور

جدول ج-۲- تجهیزات استخراج و تنظیم دبی حجمی نمونه

تجهیزات	نوع و/یا خصوصیات
لوله قابل انعطاف حامل گاز	-
قسمت‌های نگه‌دارنده با لوله ثابت یا میله برای تنظیم ایمپکتور	مواد مقاوم در برابر خوردگی؛ برای طول بیشتر از ۱ متر ممکن است نیاز به لوله ثابت حمایت کننده و یا میله باشد.
تله میعان ^۱	توصیه می‌شود، بسته به خواص گاز، یک تله میعان را برای جلوگیری از برگشت جریان میعان به فیلتر اندازه‌گیری بکار برد. در صورت نیاز باید سردکننده و گرم‌کننده مهیا باشد.
برج خشک کن	باید با ماده خشک کننده ^۲ پر شده باشد.
دستگاه مکش	برای مثال یک پمپ غیر قابل نفوذ در مقابل گاز و مقاوم به خوردگی با یک فیلتر حمایت کننده و حداقل کمترین خروجی دریافتی ۲ متر مکعب بر ساعت (۴۰۰ هپتو پاسکال در سمت مکش)
دستگاه اندازه‌گیری حجم گاز	برای مثال یک دستگاه با ظرفیت اسمی ۳ متر مکعب بر ساعت و یا دو دستگاه با ظرفیت اسمی ۱ متر مکعب بر ساعت
جریان سنج گاز	برای مثال روتامتر ^۳
دستگاه اندازه‌گیری دما	برای جریان گاز نمونه
دستگاه اندازه‌گیری فشار	برای اندازه‌گیری فشار اتمسفری در محل اندازه‌گیری
دستگاه اندازه‌گیری فشار مجرا و فشار جریان سنج گاز	برای اندازه‌گیری فشار استاتیکی و یا فشار افتراقی استاتیکی بین نقطه اندازه‌گیری فشار و اتمسفر در محل اندازه‌گیری
زمان سنج	-
شیرهای کنترلی و قطع کننده	برای تنظیم جریان گاز نمونه

1- Condensate trap

2- Desiccant

3 -Rotameter

جدول ج-۳- تجهیزات اندازه‌گیری سرعت گاز، ترکیب گاز و مقادیر مرجع

تجهیزات	نوع و/یا خصوصیات
دستگاه اندازه‌گیری سرعت گاز	برای مثال لوله پیتو به همراه میکرومانومتر
آنالیز کننده‌های گاز	برای تعیین CO ₂ و O ₂ در جریان گاز دودکش
دستگاه اندازه‌گیری دما	برای جریان گاز دودکش
دستگاه اندازه‌گیری بخار آب موجود	برای جریان گاز دودکش

جدول ج-۴- تجهیزات قبل و بعد از آزمون آزمایشگاهی

تجهیزات	نوع و/یا خصوصیات
ترازوها	برای مثال با بازه اندازه‌گیری ۶۰ گرم و دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ میلی‌گرم
محفظه خشک کن	-
ظرف جابجایی	برای فیلترهای اندازه‌گیری
گرم‌کننده؛ در صورت نیاز	برای گرم کردن کل ایمپکتور

جدول ج-۵- مواد کار

تجهیزات	نوع و/یا خصوصیات
فیلتر تخت	ساخته شده از مواد فیبری کوارتز
عامل خشک کننده	برای مثال سیلیکاژل با شاخص رنگ

پیوست چ

(اطلاعاتی)

تعیین نقطه‌ی نمونه‌برداری معرف

یک نقطه‌ی نمونه‌برداری معرف بر روی سطح اندازه‌گیری را با استفاده از اندازه‌گیری شبکه‌ای تعیین کنید. با توجه به این که مؤلفه مورد اندازه‌گیری به دلیل نوسانات فرآیند تغییر می‌کند، اندازه‌گیری‌های موازی دیگری با یک سیستم اندازه‌گیری مستقل در نقطه‌ای ثابت در بخش اندازه‌گیری باید انجام گیرد.

یادآوری ۱- توزیع مولفه‌های مورد اندازه‌گیری در گاز دودکش حتی در صورت همگن بودن سرعت توزیع گاز دودکش، می‌تواند ناهمگن باشد.

یادآوری ۲- همگن بودن را می‌توان برای مؤلفه‌ی مورد اندازه‌گیری و یا برای پارامتر جانشین در نظر گرفت، به عنوان مثال دمای اندازه‌گیری شده‌ی پیوسته یا توزیع اکسیژن در سطح اندازه‌گیری.

روش اجرایی زیر برای تعیین نقطه‌ی نمونه‌برداری معرف بر روی سطح اندازه‌گیری باید مورد استفاده قرار گیرد:

- نقطه‌ی نمونه‌برداری را برای اندازه‌گیری شبکه‌ای، طبق استاندارد بند ۱۰ کتابنامه تعیین کنید.

یادآوری ۳- الزامات متناظر، مشابه با استاندارد ISO 15259 است (به بند ۹ کتابنامه مراجعه کنید).

- پروب سیستم اندازه‌گیری را برای اندازه‌گیری شبکه‌ای نصب کنید.
- پروب سیستم اندازه‌گیری مستقل (اندازه‌گیری مرجع) را در نقطه‌ای ثابت در مقطع اندازه‌گیری نصب کنید.
- دبی نمونه را در هر دو سیستم به منظور رسیدن به زمان پاسخ یکسان، تنظیم کنید.
- اندازه‌گیری شبکه‌ای در اندازه‌گیری موازی در نقطه ثابت در بخش اندازه‌گیری، با یک زمان نمونه‌برداری از حداقل چهار برابر زمان پاسخ سیستم اندازه‌گیری را اجرا کنید، اما این زمان نباید کمتر از ۳ دقیقه برای هر نقطه نمونه‌برداری باشد.

یادآوری ۴- طبق استاندارد ISO 14956 (به بند ۲ کتابنامه مراجعه کنید)، زمان نمونه‌برداری در هر نقطه چهار برابر زمان پاسخ برای فرآیندهای دینامیک و ۱۰ برابر زمان پاسخ برای فرآیندهای فوق دینامیکی^۱ است.

یادآوری ۵- اگر تغییرات قابل توجه در مقدار مرجع واقعی در زمان وجود داشته باشد، ناهمگن بودن نمی‌تواند از اثرات تغییرات فرآیند متمایز گردد. بنابراین، توصیه می‌شود، شرایط فرآیند، در طول اندازه‌گیری‌های شبکه‌ای تا حد امکان پایدار باشد.

- برای هر نقطه‌ی نمونه‌برداری i ، مقدار واقعی $(Y_{i,grid})$ ، اندازه‌گیری شبکه‌ای و مقدار اندازه‌گیری مرجع $(Y_{i,ref})$ را ثبت کنید.

1- Highly dynamic processes

- برای هر نقطه نمونه برداری i ، نسبت r_i را مطابق فرمول چ-۱ محاسبه کنید.

$$r_i = \frac{y_{i,grid}}{y_{i,ref}} \quad \text{(چ-۱)}$$

که در آن:

$y_{i,grid}$ i امین مقدار واقعی در اندازه گیری شبکه‌ای؛

$y_{i,ref}$ i امین مقدار مرجع اندازه گیری شده در نقطه ثابت می باشد.

- مقدار میانگین حسابی \bar{r} را از روی نسبت r_i ها، با استفاده از رابطه چ-۲ محاسبه کنید:

$$\bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i \quad \text{(چ-۲)}$$

که در آن:

N تعداد کل نقاط نمونه برداری؛

r_i i امین نسبت در اندازه گیری شبکه‌ای؛

I تعداد نقطه نمونه برداری است.

نزدیک ترین نقطه شبکه‌ای با نسبت r_i ، به مقدار میانگین نسبت‌ها (\bar{r}) به عنوان نماینده نقطه نمونه برداری فرض می شود.

پیوست ح

(اطلاعاتی)

تولید آئروسول استاندارد برای کالیبراسیون ایمپکتور مجازی

ح-۱ کلیات

برای اطمینان و تضمین کارایی برش ایمپکتور مجازی دو مرحله‌ای، کالیبراسیون ایمپکتور ضروری است. توصیه می‌شود، برای کالیبراسیون، تولیدکننده‌ی آئروسول مناسب که با نیروی مکانیکی یا الکتریکی کار می‌کند [مانند تولیدکننده‌ی آئروسول ارتعاشی^۱ (VOAG)، (مه پاش)] مورد استفاده قرار گیرد. موارد زیر، مثال‌هایی از روش‌های تولید آئروسول متشکل از اسید اولئیک، لاتکس پلی استایرن^۲ (PSL) و گوه‌های شیشه‌ای با قطر حدود $1\mu\text{m}$ تا $20\mu\text{m}$ می‌باشند.

ح-۲ روش VOAG

برای تولید ذرات آئروسول با قطر بین $1\mu\text{m}$ تا $20\mu\text{m}$ ، ذرات اولئیک اسید نشان‌دار شده با اورانین از محلول مایع و با استفاده از VOAG تولید شده است (به بند ۱۰ و ۱۲ کتابنامه مراجعه کنید). آئروسول‌های تولید شده با هوای فیلتر شده و خنثی، قبل از ورود به ایمپکتور رقیق می‌شوند. غلظت اورانین با استفاده از فلورومتر^۳ اندازه‌گیری می‌شود.

ح-۳ روش مه پاش

ح-۳-۱ لاتکس پلی استایرن

یک مه پاش پنوماتیک^۴ برای مه پاشی سوسپانسیون حاوی آب دیونیزه و گوه‌های PSL استفاده شده است. ذرات PSL تولید شده باید داخل محفظه ۱۰ لیتری تزریق شده و قبل از ورود به ایمپکتور، توسط هوای خشک و فیلتر شده رقیق شود. این روش برای تولید ذرات آئروسول با قطرهای در محدوده $1/8\mu\text{m}$ تا $4/6\mu\text{m}$ مناسب می‌باشد (به بند ۱۳ کتابنامه مراجعه کنید). ذرات PSL بین این محدوده را می‌توان با روش VOAG نیز تولید کرد (به بند ۱۳ کتابنامه مراجعه کنید).

1-Vibrating orifice aerosol generator

2- Polystyrene latex

3 -Fluorometer

4- Pneumatic nebulizer

ح-۳-۲ گوه‌های شیشه‌ای

یک مه‌پاش برای تولید آئروسول از یک سوسپانسیون آبی و گوه‌های شیشه‌ای جامد یا توخالی نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (به بند ۱۴ کتابنامه مراجعه کنید). قطر معمول گوه‌های توخالی و جامد به ترتیب $2\mu\text{m}$ تا $20\mu\text{m}$ و $3\mu\text{m}$ تا $10\mu\text{m}$ می‌باشد. ۱ گرم از ذرات گوهی شیشه‌ای در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به صورت پیوسته با همزن مغناطیسی مخلوط و با استفاده از تجهیزات فشاری، مه‌پاشی شده و سپس قبل از ورود به ایمپکتور با هوای بدون ذرات معلق پیرامون، خشک و رقیق شده است.

پیوست خ
(اطلاعاتی)
کتابنامه

- [1] ISO 7708:1995, Air quality — Particle size fraction definitions for health-related sampling
- [2] ISO 14956, Air quality — Evaluation of the suitability of a measurement procedure by comparison with a required measurement uncertainty
- [3] ISO 15510, Stainless steels — Chemical composition
- [4] ISO 15767:2009, Workplace atmospheres — Controlling and characterizing uncertainty in weighing collected aerosols
- [5] ISO/IEC 17025:2005, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
- [6] ISO 20988, Air quality — Guidelines for estimating measurement uncertainty
- [7] ISO 23210:2009, Stationary source emissions — Determination of PM₁₀/PM_{2.5} mass concentration in flue gas — Measurement at low concentrations by use of impactors
- [8] ISO 80000-11:2008, Quantities and units — Part 11: Characteristic numbers
- [9] EN 15259:2007, Air quality — Measurement of stationary source emissions — Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report
- [10] Szymanski W. W., Liu B. Y. H. An airborne particle sampler for the space shuttle. *J. Aerosol Sci.* 1989, 20, pp. 1569–1572
- [11] Kwon S. B., Lim K. S., Jung J. S., Bae G. N., Lee K. W. Design and calibration of a 5-stage cascade impactor (K-JIST cascade impactor). *J. Aerosol Sci.* 2003, 34, pp. 289–300
- [12] Loo B. W., Cork C. P. Development of high efficiency virtual impactors. *Aerosol Sci. Technol.* 1988, 9, pp. 167–176
- [13] Peters T. M., Vanderpool R. W., Weiner R. W. Design and calibration of the EPA PM_{2.5} well impactor ninety-six (WINS). *Aerosol Sci. Technol.* 2001, 34, pp. 389–397
- [14] Demokritou P., Lee S. J., Ferguson S. T. koutrakis, P. A compact multistage (cascade) impactor for the characterization of atmospheric aerosols. *J. Aerosol Sci.* 2004, 35, pp. 281–299
- [15] Marple V. A. Liu B. Y. H. Characteristics of laminar jet impactors. *Environ. Sci. Technol.* 1974, 8, pp. 648–654
- [16] Marple V. A., Chien C. M. Virtual impactors: A theoretical study. *Environ. Sci. Technol.* 1980, 14, pp. 976–984
- [17] Chen B. T., Yeh H. C., Cheng Y. S. Performance of a modified virtual impactor. *Aerosol Sci. Technol.* 1986, 5, pp. 369–376
- [18] Novičk V. J., Alvarez J. L. Design of a multistage virtual impactor. *Aerosol Sci. Technol.* 1987, 6, pp. 63–70

- [19] Davies C. N. The entry of aerosols into sampling tubes and heads. Br. J. Appl. Phys. (J. Phys. D 1968, 1, pp. 921–932
- [20] Kamiya H., Tsukada M., Lenggoro W., Szymanski W. W. Fine and nanometer scaled particle behaviour characterization and control for sustainable energy and environmental technology, Proceedings of 7th International Symposium on Gas Cleaning at High Temperature, New Castle Australia, 2008-06-23/25