INSO
20839
1st Edition
2020
Identical with
BS ISO 21683:
2019

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

استاندارد ملی ایران
۲۰۸۳۹
چاپ اول
۱۳۹۸

فناوری نانو- رنگ‌دانه‌ها و یازه‌ها - تعیین رهایش شبیه‌سازی‌شده تجربی نانوشیء از پوش‌رنگ‌ها، جلاها و پلاستیک‌های رنگ‌دانه‌دار

Nanotechnologies-Pigments and extenders- Determination of experimentally simulated nano-object release from paints, varnishes and pigmented plastics

ICS: 86.060.10

استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۸۳۹ (چاپ اول: سال ۱۳۹۸

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: http://www.isiri.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های 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 می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، 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 for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« فناوری نانو- رنگ‌دانه‌ها و یازه‌ها- تعیین رهایش شبیه‌سازی‌شده تجربی نانوشیء از پوش‌رنگ-ها، جلاها و پلاستیک‌های رنگ‌دانه‌دار»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
اعرابی، امیرمسعود (دکتری مهندسی مواد و متالورژی)	عضو هیئت علمی- پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ
دبیر:	
میرکاظمی، سیّد محمّد (دکتری مهندسی مواد و متالورژی)	عضو هیئت علمی- دانشگاه علم و صنعت ایران
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اسلامی پور، الهه (کارشناسی ارشد زیست شناسی)	کارشناس- کمیته استاندارد و ایمنی ستاد فناوری نانو
پوی پوی، حسن (کارشناسی ارشد شیمی)	دبیر- کمیته فنی متناظر فناوری نانو
دبّاغ کاشانی، فاطمه (دکتری فیزیک)	عضو هیئت علمی- دانشگاه علم و صنعت ایران
سیفی، مهوش (کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)	کارشناس استاندارد- نایب رئیس کمیته فنی متناظر فناوری نانو
منتظری، شادی (دکتری مهندسی پلیمر- گرایش رنگ	عضو هیئت علمی- پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ
ویراستار:	
سیفی، مهوش (کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)	کارشناس استاندارد- نایب رئیس کمیته فنی متناظر فناوری نانو

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار و
مقدمه ز
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۲
۳-۱ اصطلاحات و تعاریف عمومی ۲
۳-۲ اصطلاحات و تعاریف اختصاصی ۵
۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها ۷
۵ روش‌های اعمال تنش ۹
۵-۱ الزامات آزمونه‌ها ۹
۵-۲ الزامات دستگاهی آزمون ۹
۵-۳-۱ کلیات ۹
۵-۳-۲ فرایندهای اعمال تنش- مشخصه‌ها و پارامترهای فرایند ۱۰
۶ روش‌های اندازه‌گیری ۱۱
۶-۱ اندازه‌ده‌ها ۱۱
۶-۲ روش‌های اندازه‌گیری هواسُل ۱۱
۶-۳ آماده‌سازی آزمون ۱۴
۶-۳-۱ کلیات ۱۴
۶-۳-۲ پس‌زمینه هواسُل ۱۴
۶-۳-۳ خط نمونه‌برداری هواسُل ۱۴
۶-۳-۴ آمایش هواسل ۱۴
۷ روش‌اجرا ۱۵
۸ محاسبه ۱۶
۹ گزارش آزمون ۱۸
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) مثال‌هایی از ویژگی پارامتر روش‌های اعمال تنش ۲۰
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) تجهیزات انتخابی اندازه‌گیری هواسُل ۲۵
کتاب‌نامه ۲۸

پیش‌گفتار

استاندارد «فناوری نانو- رنگ‌دانه‌ها و یازه‌ها- تعیین رهایش شبیه‌سازی‌شده تجربی نانوشیء از پوش‌رنگ‌ها، جلاها و پلاستیک‌های رنگ‌دانه‌دار» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تهیه و تدوین شده، در هشتادوپنجمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۹۸/۱۱/۲۸ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم وخدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی/منطقه‌ای مزبور است:

BS ISO 21683: 2019, Pigments and extenders- Determination of experimentally simulated nano-object release from paints, varnishes and pigmented plastics

مقدمه

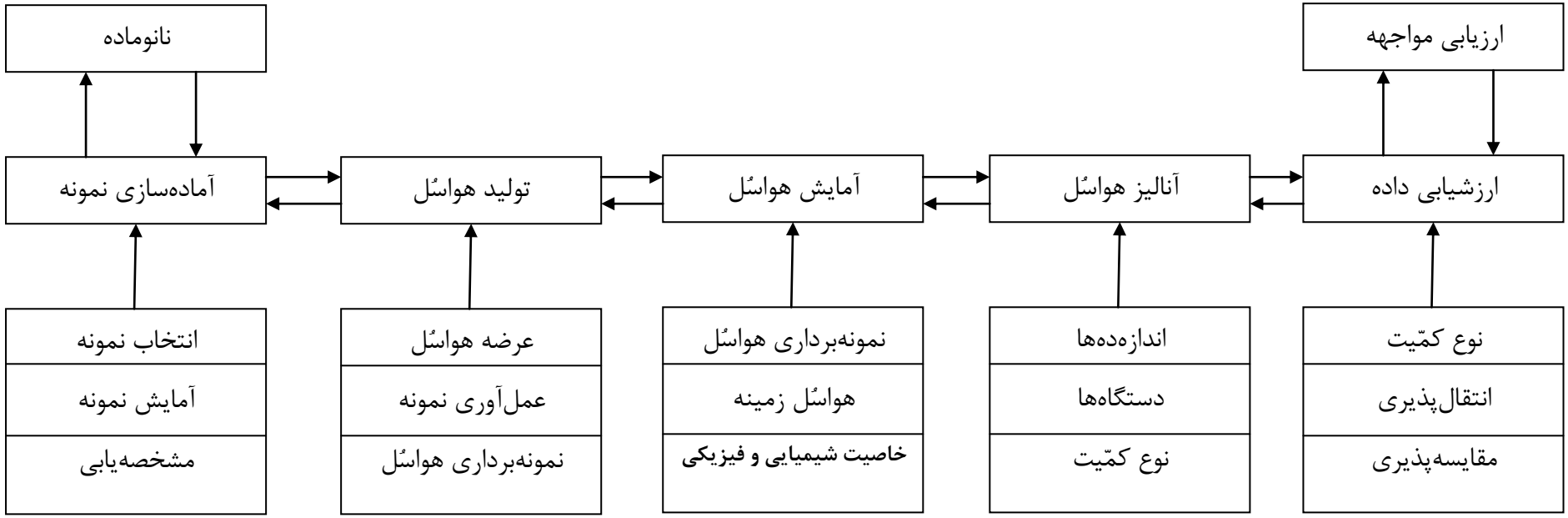
احتمال رهایش نانواشیاء (رنگ‌دانه‌ها و یازه‌های[1] نانومقیاس) از پوش‌رنگ‌ها، جلاها و پلاستیک‌های رنگ‌دانه‌دار در هوا یا مایع پیرامونی یک ملاحظه مهم در سلامت و ایمنی، برای کاربر نهایی و محیط‌زیست است. بنابراین، به‌دست آوردن داده‌ها در مورد تمایل پوش‌رنگ‌ها و پلاستیک‌های رنگ‌دانه‌دار برای رهایش نانواشیاء مهم است، در نتیجه آن می‌توان، مواجهه مجاز را ارزشیابی [10]، کنترل و کمینه کرد. این خاصیت احتمالاً هم به خواص فیزیکوشیمیایی نانواشیاء و هم ماتریس حاوی نانواشیاء وابسته است.

در حال حاضر، روش‌های موجود برای سنجش تمایل پوش‌رنگ‌ها، جلاها و پلاستیک‌های رنگ‌دانه‌دار برای رهایش نانواشیاء در هوا، نیاز به اعمال انرژی به نمونه دارد تا با القای سایش، فرسایش یا خردایش، سبب انتشار ذرات به فاز گاز، یعنی تولید هواسُل‌ها شود.

غلظت عددی و توزیع اندازه ذره وزن‌دهی‌شده- عددی به دلیل حساسیت بالاتر، برای کمّی‌سازی رهایش نانو اشیاء، ضروری است، زیرا جرم ذره وابسته به قطر ذره مکعبی[2] است و غلظت جرمی نانواشیاء به قدری کم است که آشکارسازی آن‌ها با دستگاه‌های موجود تجاری حال‌حاضر امکان‌پذیر نیست. با توجه به جنبه‌های سلامتی، اندازه‌گیری‌های بیشتر همچون غلظت سطحی ذره کل[3]، به‌طور مثال، مراجع [11] و [12]، می‌تواند مفید باشد. اگر شکل، ریخت‌شناسی، تخلخل و چگالی ذره شناخته شده‌باشد، با اندازه‌گیری توزیع اندازه ذره انباشت (تجمیعی)، تبدیل دقیق به انواع کمیت‌های مختلف امکان‌پذیر است.

ارزیابی کمّی رهایش ذره القاءشده ناشی از فرایند، علاوه بر انتخاب دستگاه اندازه‌گیری مناسب، به اطلاعات با جزئیات بیشتر نمونه‌ها، تنش اعمالی و نوع اتصال متقابل با دستگاه‌ها نیاز دارد. به‌عنوان مثال، مراحل منفردی که برای مشخصه‌یابی کمّی رهایش ذرات ریز هوابُرد[4] در نظر گرفته می‌شود در شکل ۱ نشان داده شده‌است.

1 - Extender
2 - Cubed particle diameter
3- Total particle surface concentration
4 - Airborne



شکل ۱- مراحل مشخصه‌یابی رهایش ذرات ریز هوابُرد القاءشده ناشی از فرایند [5]

فناوری نانو- رنگ‌دانه‌ها و یازه‌ها- تعیین رهایش شبیه‌سازی‌شده تجربی نانوشیء از پوش‌رنگ‌ها، جلاها و پلاستیک‌های رنگ‌دانه‌دار

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، مشخص کردن یک روش برای تعیین تجربی رهایش رنگ‌دانه‌ها و یازه‌های نانومقیاس در محیط‌زیست، پس از یک تنش مکانیکی بر پوش‌رنگ‌ها، جلاها و پلاستیک‌های رنگ‌دانه‌دار است.

این روش برای ارزیابی آن است که چرا و چگونه ذرات زیادی با توزیع و اندازه معین تحت تنش (نوع و دامنه انرژی اعمالی) از سطوح آزاد شده و به محیط‌زیست نشر[1] پیدا می‌کند.

نمونه‌ها پیرسازی، هوازده‌شده[2] یا در غیراین‌صورت آمایش می‌شود تا کل چرخه عمر شبیه‌سازی شود.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده‌است. بدین ترتیب آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی‌که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده‌باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام آور نیست، در مورد مراجعی که بدون ذکر انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده‌است. همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است.

2-1 ISO 9276-1, Representation of results of particle size analysis- Part 1: Graphical representation

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۸۲۰۱ : سال ۱۳۸۴، ارائه نتایج دانه بندی- قسمت اول: نمایش ترسیمی با استفاده از استاندارد ISO 9276-1:1998 تدوین شده است.

2-2 ISO 80004-1, Nanotechnologies- Vocabulary- Part 1: Core terms

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۸۰۰۰۴ : سال ۱۳۹۵، فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت اول: اصطلاحات اصلی با استفاده از استاندارد ISO 80004-1:2015 تدوین شده است.

1 - Emit
2 - Weathered

2-3 ISO 80004-2, Nanotechnologies- Vocabulary- Part 2: Nano- Objects

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۸۰۰۰۴ : سال ۱۳۹۵، فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت دوم: نانواشیاء با استفاده از استاندارد ISO 80004-2:2015 تدوین شده است.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه‌بر اصطلاحات و تعاریف ارائه‌شده در استانداردهای ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴ و ۲-۸۰۰۰۴، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به‌کار می‌روند[1](به‌منظور حفظ یکنواختی در استانداردهای ملی فناوری نانو، از تعاریف ارائه‌شده در مجموعه استاندارد ملی ایران- ایزو ۸۰۰۰۴ استفاده شده است).

۳-۱ اصطلاحات و تعاریف عمومی

۳-۱-۱

هواسُل

aerosol

سامانه‌ای از ذرات جامد یا مایع معلق در گاز است.

[منبع: زیربند ۲-۱، استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰: سال ۱۳۸۹]

۳-۱-۲

نانومقیاس

nanoscale

گستره اندازه بین تقریباً ۱ nm تا ۱۰۰ nm است.

یادآوری- خواصی که از اندازه‌های بزرگ‌تر، برون‌یابی می‌شوند غالباً در این گستره اندازه نشان داده می‌شوند.

[منبع: زیربند ۲-۱، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵]

---

۱ - اصطلاحات و تعاریف به‌کار رفته در استانداردهای ISO و IEC در وبگاه‌های http://www.iso.org/obp و http://www.electropedia.org/ قابل‌دسترس است.

۳-۱-۳

نانوذره

nanoparticle

نانوشیء با تمام ابعاد خارجی در *نانومقیاس* (۳-۱-۲) که در آن طول بلندترین و کوتاه‌ترین محورهای نانوشیء به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوت نداشته باشد.

یادآوری- چنانچه ابعاد به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوت داشته‌باشند (معمولاً بیشتر از سه برابر)، ممکن است اصطلاحاتی مانند نانولیف یا نانوصفحه ترجیح داده شود.

[منبع: زیربند ۴-۴، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۲-۸۰۰۰۴ : سال ۱۳۹۵]

۴-۱-۳

نانوشیء

nano-object

هر قطعه مجزا از ماده با یک، دو و یا سه بعد خارجی در *نانومقیاس* (۳-۱-۲) است.

یادآوری- ابعاد خارجی دوم و سوم عمود بر بعد اول و همچنین عمود بر یکدیگر هستند.

[منبع: زیربند ۲-۵، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴ : سال ۱۳۹۵]

۵-۱-۳

پوش‌رنگ

paint

ماده پوششی رنگ‌دانه‌دار، هنگامی‌که به زیرلایه (زیرآیند) اعمال می‌شود، یک فیلم خشک‌شده کدر (پشت‌پوش) شکل می‌دهد که خواص حفاظتی، تزیینی یا فنی ویژه دارد.

[منبع: زیربند 184.2، استاندارد ISO 4618: 2014]

۶-۱-۳

قطر کُروی معادل

equivalent spherical diameter

X

قطر یک کُره که خواص فیزیکی یکسان با ذره مورد اندازه‌گیری دارد.

یادآوری ۱- به‌عنوان مثال، خواص فیزیکی، سرعت ته‌نشینی یکسان یا حجم جابه‌جایی محلول الکترولیت (برق‌کاف) یا مساحت تابش زیر یک میکروسکوپ است.

یادآوری ۲- خاصیت فیزیکی که به قطر معادل به آن ارجاع داده می‌شود، باید با استفاده از یک زیرنویس مناسب نشان داده شود، به‌طور مثال: X_S برای قطرمساحت سطح معادل، یا X_V برای قطر حجم معادل.

[منبع: زیربند 6.1، استاندارد ISO 26824:2013]

۷-۱-۳

توزیع اندازه ذره

particle size distribution
PSD

غلظت انباشت کسری از ماده کوچک‌تر (فرواندازه) از اندازه‌های ذره معین، که با قطرهای کروی معادل یا دیگر ابعاد خطی یا چگالی توزیع کسری از ماده در یک طبقه اندازه، تقسیم بر پهنای آن طبقه بیان می‌شود.

یادآوری- توزیع اندازه ذره در استاندارد ISO 9276- 1 توصیف شده‌است.

۸-۱-۳

شمارشگر ذره متراکم

condensation particle counter
cpc

دستگاهی که غلظت عددی ذره یک *هواسُل* (۳-۱-۱) را اندازه‌گیری می‌کند.

یادآوری ۱- اندازه ذرات آشکارشده معمولاً کوچک‌تر از چند صد نانومتر و بزرگ‌تر از چند نانومتر است.

یادآوری ۲- یک CPC، آشکارساز بالقوه برای استفاده با DEMC است.

یادآوری ۳- در برخی از حالات شمارشگر ذره متراکم ممکن است شمارشگر هسته متراکم (CNC) نامیده شود.

[منبع: زیربند ۲-۵، در استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰: سال ۱۳۸۹]

۹-۱-۳

طبقه‌بندی‌کننده تحرک الکتریکی تفاضلی

differential electrical mobility classifier
DEMC

طبقه‌بندی‌کننده‌ای که توانایی گزینش ذرات *هواسُل* (۳-۱-۱) را طبق تحرک الکتریکی ذرات و عبور آن‌ها از خروجی دستگاه دارد.

یادآوری- یک DEMC، اندازه‌های ذره هواسُل را با متوازن کردن نیروی الکتریکی روی هر ذره با نیروی کشانده آئرودینامیکی[1] آن در میدان الکتریکی طبقه‌بندی می‌کند. ذرات طبقه‌بندی‌شده در یک بازه باریک از تحرک الکتریکی با وضعیت عملکرد و ابعاد فیزیکی DEMC تعیین می‌شوند، در حالی‌که آن‌ها به دلیل اختلاف در تعداد بارهایی که دارند، اندازه‌های مختلفی دارند.

[منبع: زیر بند ۲-۷، در استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰: سال ۱۳۸۹]

۳-۱-۱۰

سامانه تحلیل تحرک تفاضلی

differential mobility analysis system

DMAS

سامانه‌ای است برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات *هواسُل* (۳-۱-۱) کوچک‌تر از میکرومتر که شامل یک طبقه‌بندی‌کننده تحرک الکتریکی تفاضلی، جریان‌سنج، آشکارساز ذره، سامانه اتصالات داخلی[2]، رایانه و یک نرم‌افزار مناسب است.

[منبع: زیربند ۲-۸، در استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰: سال ۱۳۸۹]

۳-۲ اصطلاحات و تعاریف اختصاصی

۳-۲-۱

رهایش ذره از پوش‌رنگ‌ها، جلاها و پلاستیک‌ها

particle release from paints, varnishes and particles

انتقال ماده از پوش‌رنگ‌ها، جلاها و پلاستیک‌ها به مایع یا گاز در نتیجه تنش مکانیکی است.

۳-۲-۲

رهایش عددی ذره

particle number release

تعداد کل ذرات در بازه اندازه معین، رهایش‌یافته از آزمونه، در نتیجه تنش مکانیکی است.

1 - Aerodynamic
2- Interconnecting plumbing

۳-۲-۳

رهایش عددی ویژه- سطحی ذره

area- specific particle number release

n_A

رهایش عددی ذره (۳-۲-۲)، تقسیم بر مساحت سطح تحت تنش آزمونه است.

۴-۲-۳

رهایش عددی ویژه- جرمی ذره

mass- specific particle number release

n_m

رهایش عددی ذره (۳-۲-۲)، تقسیم بر جرم ماده خارج شده (برداشته‌شده) است.

۵-۲-۳

نرخ جریان حجمی کل

total volume flow rate

V_t

نرخ جریان حجمی که همه نشرهای جابه‌جا شده در منبع ذره به‌وسیله هوا را بلند کرده و آن‌ها را منتقل می‌کند.

۶-۲-۳

غلظت عددی ذره

particle number concentration

n_v

تعداد ذرات در حجم هوا است.

۷-۲-۳

غلظت فرایند

process concentration

غلظت عددی ذره (۳-۲-۶)، که از *نرخ جریان حجمی کل* (۳-۲-۵) و *رهایش عددی ذره* (۳-۲-۲) در نتیجه تنش مکانیکی بر آزمونه‌ها، حاصل می‌شود.

۸-۲-۳

غلظت نشانگر

measuring concentration

غلظت عددی ذره (۳-۲-۶)، که با رقیق‌سازی معین *غلظت فرایند* (۳-۲-۷)، به‌منظور ایجاد شرایط بهینه برای آنالیز هواسُل، کالیبره شده‌است.

۹-۲-۳

غلظت اتاق مدل

model room concentration

غلظت n_A که از رهایش تحت شرایط اختلاط بهینه برای یک ارتفاع معین اتاق، حاصل می‌شود.

یادآوری- غلظت اتاق مدل مستقل از شرایط آزمون انتخاب شده‌است و برای غلظت‌های عددی ذره واقعی (به‌طور مثال آلودگی ذره در آزمایشگاه)، غلظت مرجع را بیان می‌کند، هنگامی‌که ارتفاع اتاق مدل به دقت انتخاب شده‌است.

۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها

برای اهداف این استاندارد، نمادها (به جدول ۱ مراجعه شود) و کوته‌نوشت‌ها (به جدول ۲ مراجعه شود) زیر به‌کار می‌رود.

جدول ۱- نمادها

نمادها	بعد	واحد SI
N	رهایش عددی ذره	بدون بعد
n_V	غلظت عددی ذره	m^{-3}
n_A	رهایش عددی ویژه- سطحی ذره	m^{-2}
n_m	رهایش عددی ویژه- جرمی ذره	kg^{-1}
V_t	جریان حجمی کل	m^3s^{-1}

جدول ۲- کوته‌نوشت‌ها

کوته‌نوشت	عنوان کامل	معنی
ASP	Aerodynamic Particle Sizer	اندازه‌کننده ذره آئرودینامیکی
CPC	Condensation Particle Counter	شمارشگر ذره متراکم
DEMAS	Differential Electrical Mobility Analysing System	سامانه تحلیل تحرک الکتریکی تفاضلی
DEMC	Differential Electrical Mobility Classifier	طبقه‌بندی‌کننده تحرک الکتریکی تفاضلی
EAD	Electrical Aerosol Detector	آشکارساز هواسُل الکتریکی
EDX	Energy Dispersive X- ray Spectroscopy	طیف‌سنجی پرتوی ایکس بر اساس تفکیک انرژی
EEPS	Engine Exhaust Particle Sizer	اندازه‌کننده ذره خروجی (اگزوز) موتور
ELPI	Electrical Low Pressure Impactor	برخوردگر فشار پایین الکتریکی
ESP	Electrostatic Precipitator	رسوب‌ده ایستابرقی
FSPES	Fast Aerosol Particle Emission Spectrometer	طیف‌سنج نشر ذره هواسُل سریع
FMPS	Fast Mobility Particle Sizer	اندازه‌کننده ذره تحرک سریع
HEPA	High Efficiency Particulate Air Filter	صافی هوا ذره‌ای با کارایی بالا
ICP- MS	Inductively Coupled Plasma- Mass spectrometry	طیف‌سنجی جرمی- پلاسما جفت‌شده القائی
ICP- OES	Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry	طیف‌سنجی نشر نوری- پلاسما جفت‌شده القائی
LAS	Laser Aerosol Spectrometer	طیف‌سنج هواسُل لیزری
NSAM	Nanoparticle Surface Area Monitor	پایشگر مساحت سطح نانوذره
OPC	Optical Particle Counter	شمارشگر نوری ذره
OPS	Optical Particle Sizer	اندازه‌کننده نوری ذره
PM	Particulate matter	ماده ذره‌ای
PSD	Particle Size Distribution	توزیع اندازه ذره
SEM	Scanning Electron Microscopy	میکروسکوپی الکترونی روبشی
SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer	اندازه‌کننده ذره با روبش تحرکی
TEM	Transmission Electron Microscopy	میکروسکوپی الکترونی عبوری

رسوب‌ده حرارتی	Thermal Precipitator	TP
نمونه‌بردار هواسُل پهن‌بازه	Wide Range aerosol Sampler	WRAS

۵ روش‌های اعمال تنش

۵-۱ الزامات آزمونه‌ها

پوشش‌های به‌کاربرده‌شده روی زیرلایه‌های مربوطه یا مواد جامد، آزمونه‌های مناسبی هستند. توصیه می‌شود برای تجدیدپذیری مناسب، آزمونه‌ها تخت باشند و توزیع همگن رنگ‌دانه‌ها یا یازه‌ها در ماده زمینه نیز داده شود.

برای تفسیر نتایج اندازه‌گیری، علاوه بر آزمونه‌های واقعی، آزمونه‌های مرجع باید آماده شوند. آزمونه‌های بدون رنگ‌دانه یا بدون پرکننده می‌توانند اطلاعات تأثیر رنگ‌دانه و پرکننده را در مورد رهایش ذره، ارائه بدهند. به‌منظور آنالیز آزمونه‌های پیرسازی‌شده یا هوازده[1]، آزمونه‌های معادل پیرسازی‌نشده و هوازده‌نشده برای تفسیر داده‌ها باید مورد کنکاش قرار گیرد.

یک جنبه مهم، وضعیت مشخص آزمونه است. اطلاعات مشروح آماده‌سازی آزمونه‌ها، رنگ‌دانه‌ها و یازه‌های استفاده‌شده، پیش آمایش[2] و عمل‌آوری[3] (پیرسازی، مواجهه) باید مستند شود.

آلودگی‌های آزمونه‌ها در طی آماده‌سازی، پیش آمایش، پیش عمل‌آوری، حمل‌ونقل و انبارش باید به حد کمینه کاهش یابد. آزمونه‌های نهایی باید بی‌درنگ آنالیز شود تا از تغییر خواص فیزیکوشیمیایی (برای مثال، سختی، کشسانی) آزمونه‌ها، ناشی از اثرات خارجی (برای مثال، تغییر دما، تابش فرابنفش) جلوگیری شود.

هنگام حمل‌ونقل آزمونه‌ها، باید مراعات شود که آزمونه‌ها به دلیل تماس با ظرف مورداستفاده برای حمل و نقل یا دیگر آزمونه‌ها آلوده نشود. مدت تماس با هواسُل محیطی تا حد امکان باید کمینه شود.

۵-۲ الزامات دستگاهی آزمون

۵-۲-۱ کلیات

دستگاه آزمون باید جنبه‌های معرفی آزمونه‌ها، اعمال تنش بر آزمونه‌ها و نمونه‌برداری را پوشش دهد.

برای درستی‌سنجی آنالیز سامانمند، یعنی برای حصول نتایج تجدیدپذیر، آزمونه‌ها باید به‌گونه‌ای معرفی شوند که تنش فقط یک بار اعمال شود تا از تداخل اعمال انرژی‌های تکرارشونده و تغییرات ثابت شدت تنش آزمونه‌ها، جلوگیری شود.

1 - Weathered
2 - Pre- conditioning
3 - Treatment

کمّی‌سازی رهایش عددی ذره نیاز به دستگاه آزمون برای شبیه‌سازی تنش مکانیکی دارد. شدت[1] مکانیکی باید با خواص فیزیکوشیمیایی آزمونه‌ها قابل‌تنظیم باشد. توصیه می‌شود دستگاه آزمون به دقت توصیف شود و پارامتر آزمون مناسب باید پیش از آزمون مشخص شود. برای انجام آزمون، پارامتر آزمون تنظیم، بررسی و مستندسازی شود.

به‌منظور میسر کردن کمّی‌سازی رهایش عددی ذره، همه ذرات رهایش‌یافته در نتیجه تنش مکانیکی باید در حد امکان نزدیک محل شکل‌گیری آن‌ها اندازه‌گیری شوند.

یادآوری- اعمال تنش مکانیکی بر آزمونه‌ها می‌تواند منجر به تولید حرارتی ذره شود. این امر می‌تواند منجر به برآورد اضافی رهایش عددی ذره شود.

۵-۲-۲ فرایندهای اعمال تنش- مشخصه‌ها و پارامترهای فرایند

پارامترهای فرایند که برای آزمودن به‌کار می‌رود و مشخصات فرایند قابل‌اشتقاق، باید متناظر با ماده تحت تنش، انتخاب شود، به جدول ۳ مراجعه شود.

یادآوری- به پیوست **الف** مراجعه شود.

جدول ۳- مشخصه‌ها و پارامترهای فرایند در فرایندهای انتخابی اعمال تنش

فرایند (مثال)	پارامتر فرایند	مشخصات فرایند
اضافه جریان سایش باد روی ساختمان‌ها تنش جریان روی وسایل نقلیه متحرک	- نرخ جریان حجمی کل - قطر افشانک - سرعت، تغذیه آزمونه	- سرعت، جریان - کارایی مکش
اصطکاک تماس پوست با پوشش‌ها	- نرخ جریان حجمی کل - نیروی عمود - سطح تماس - مسیر اصطکاک - ترکیب ماده - سرعت، تغذیه آزمونه	- فشار پشتیبان - نیروی اصطکاک - کارایی اصطکاک
تنش سایشی فراوری مواد طی ساخت محصولات، انجام کار مجدد روی سطوح آسیب‌دیده	- نرخ جریان حجمی کل - نیروی عمود - سطح تماس	- فشار پشتیبان - نیروی مماسی - نسبت نیروی برش- کارایی برشی- نسبت سرعت

1 - Intensity

	- سطح سایشی - سرعت چرخشی/ دوران - سرعت، تغذیه آزمونه - کاغذ ساینده	(به مرجع [1] مراجعه شود)

۶ روش‌های اندازه‌گیری

۶-۱ اندازه‌ده‌ها

کمّی‌سازی رهایش ذره به آنالیز سه اندازه‌گیری با رتبه‌بندی بالاتر نیاز دارد.

- غلظت ذره
- اندازه ذره
- جنس ذره

اندازه ذره را می‌توان مانند غلظت ذره برای هواسُل‌ها با انواع کمیت‌های مختلف (برای مثال غلظت عددی ذره، غلظت طولی هواسُل، غلظت جرمی) تعیین کرد. تعداد، حساس‌ترین نوع کمیت را با توجه به نانوذرات ترابردشده به‌وسیله هوا نشان می‌دهد و برای مشخصات هواسُل (غلظت عددی ذره، توزیع اندازه ذره وزن‌دهی‌شده عددی) به‌دلیل در دسترس بودن افزاره‌های اندازه‌گیری موجود تجاری، ترجیحاً باید مدنظر قرار گیرد.

یادآوری- به پیوست **ب** مراجعه شود.

درحال‌حاضر، فقط یک کمّی‌سازی همه نشرهای ذره با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری ممکن است. یک کمّی‌سازی انتخابی ماده از رهایش نانوذرات رنگ‌دانه یا یازه جاسازی‌شده در پلاستیک‌های رنگ‌دانه‌دار یا پوش‌رنگ فقط به‌صورت محدود با روش‌های اندازه‌گیری مستقیم جداگانه (برای مثال EDX، ICP-MS، ICP-OES) و روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم (برای مثال آنالیز ریخت‌شناسی به‌وسیله SEM، TEM) امکانپذیر است.

برای تجدیدپذیری و انتقال‌پذیری نتایج آنالیز یا مشخصه‌یابی فرایند، بسته به هدف (شیء)، اندازه‌گیری‌های مناسب بیشتری باید انجام شود.

- سایش جرمی در طی اعمال تنش برای زدایش ماده[1]
- شرایط محیطی (دما، رطوبت)

1 - Material-removing

- وضعیت بار هواسُل

۶-۲ روش‌های اندازه‌گیری هواسُل

برای مشخصه‌یابی هواسُل‌ها، روش‌های اندازه‌گیری متعدد تجاری در دسترس است. مطابق با منابع [2]، [7] و [۹]، روش‌های اندازه‌گیری و جمع‌آوری هواسُل‌ها، می‌تواند به چهار رده زیر تقسیم شوند:

- روش‌های اندازه‌گیری به تفکیک اندازه و به تفکیک زمان (برای مثال، FMPS، EEPS، FAPES، ELPI، OPS)؛

- روش‌های اندازه‌گیری به تفکیک اندازه و زمان یکپارچه‌شده (برای مثال، برخوردگر[1] آبشاری، WRAS)؛

- روش‌های اندازه‌گیری اندازه یکپارچه‌شده و به تفکیک زمان (برای مثال CPC)؛

- روش‌های اندازه‌گیری اندازه یکپارچه‌شده و زمان یکپارچه‌شده (برای مثال ESP، TP، صافی).

انتخاب روش‌هایی که برای اندازه‌گیری هواسُل‌ها استفاده می‌شوند، به نوع مواجهه و هواسُل‌های حاصل، یعنی به توزیع اندازه ذره و حدود غلظت عددی ذره بستگی دارد. برای فرایندهایی با تولید هواسُل کوتاه‌مدت (<۶۰s) یا با تغییرات زیاد، باید روش‌های اندازه‌گیری با تفکیک‌پذیری بالای غلظت عددی ذره (≤ ۱s) نسبت به زمان استفاده شود (برای مثال، CPC، FMPS، EEPS، FAPES). با توجه به اصول کارکردی روش‌های اندازه‌گیری هواسُل موجود درحال‌حاضر (از رده الف)، برای بازه نانومتر، به منظور آشکارسازی سیگنال‌های مفید، غلظت‌های نشانگر کمینه مرتبط (< ۱۰۰ cm^{-3}) باید داده شوند.

اندازه‌کننده‌های ذره با تحرک روبشی (SMPS, DEMAS: DEMC + CPC) بالاترین حساسیت و دقت را برای مشخصه‌یابی هواسل‌ها در بازه اندازه‌های حدود ۵ nm تا ۱۰۰۰ nm دارند، هرچند، هنگامی‌که ناپیوستگی‌هایی در غلظت عددی ذره رخ می‌دهد، منجر به خطاهایی در توزیع اندازه ذره می‌شود (برای مثال افزایش غلظت در طول چرخه اندازه‌گیری در SMPS ،در افزایش پیوسته یا تدریجی ولتاژ روبش، منجر به PSD ناهنجارتر از PSD واقعی می‌شود).

برای غلظت‌های عددی بالای ذره، در حالی که غلظت‌دهی[2] به‌منظور دستیابی به غلظت نشانگر بهینه بسیار دشوار است، سنجش‌های فنی که برای کاهش (غلظت) تعریف‌شده، می‌تواند انجام شود. مطابق با اصول عملکردی فیزیکی آن‌ها، روش‌های اندازه‌گیری هواسل فقط می‌توانند بازه اندازه ذره محدودی را پوشش دهند، که مستلزم ترکیبی از چندین روش اندازه‌گیری برای مشخصه‌یابی کمّی هواسل فرایند است اگرچه در این حالت، شرایط عملیات مشخص‌شده توسط سازنده باید مراعات شود.

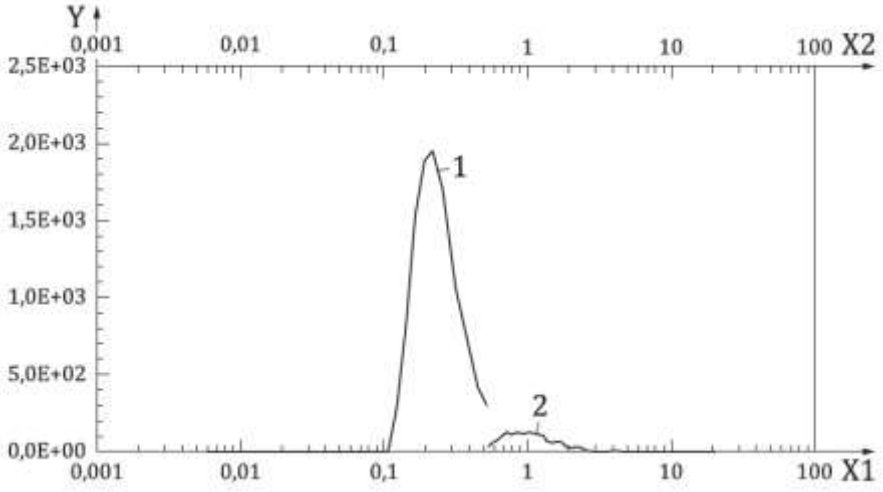
1 - Impactor
2 - Concentrating

روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری هواسل‌ها جهت آنالیز هواسل تحت فشار اتمسفر درنظر گرفته شده‌اند، تنها تغییرات جزئی سطح فشار (فشار بالا یا پایین) می‌تواند به‌شدت نتایج اندازه‌گیری را تحت‌تاثیر قرار دهد.

اکثر روش‌های تجاری موجود برای اندازه‌گیری هواسل‌ها، دارای یک جداساز برای ذرات بزرگ (برای مثال هواچرخند[1]، برخوردگر) روی تغذیه هواسل هستند. اساساً (این جداسازها) ترکیب‌بندی هواسل، در حاشیه‌های بازه، اندازه‌گیری را تغییر می‌دهند که به‌دلیل عملکرد جداسازی نامطلوب حین اندازه‌گیری‌ها است.

بسته به اساس اندازه‌گیری، نتیجه قطرهای ذره معادل مرتبط یا انواع مختلف کمیت‌ها، باید حین تفسیر داده‌های اندازه‌گیری پاسخگو باشد.

برای روش‌های اندازه‌گیری نوری هواسل، حد پایین و بالای بازه به‌صورت ٪۵۰ احتمال شمارش تعریف شده‌است. حد بالایی بازه، از نظر شرایط فیزیکی، ناشی از ته‌نشینی ذرات بزرگ در سامانه خط است، در حالی‌که حد پایینی بازه، از منظر فنی، به سیگنالی که هنوز باید آشکارسازی شود، بستگی دارد. به دلیل کاهش کارایی شمارش با کاهش اندازه ذره، کاهش PSD ممکن است رخ دهد (به منحنی APS در شکل ۲ مراجعه شود)، که اغلب منجر به تفسیری نادرست از نتایج اندازه‌گیری می‌شود. در نتیجه، برای انتخاب روش‌های اندازه‌گیری هواسل‌ها، بازه اندازه سراسر چندین طبقه اندازه همپوشانی داشته باشد.



راهنما:

X1 قطر تحرکی الکتریکی، بر حسب میکرومتر؛

X2 قطر تحرکی ذره آئرودینامیکی، بر حسب میکرومتر؛

Y $q_0^* = \mathrm{d}c_n / \mathrm{d}\log x$ ، برحسب عکس سانتیمتر مکعب $\left[cm^{-3}\right]$؛

1 اندازه‌کننده ذره اگزوز موتور (EEPS)؛

1- Aero-cyclone

2 اندازه‌کننده ذره آئرودینامیکی (APS).

شکل ۲- چگالی توزیع اندازه ذره تغییرشکل داده‌شده (مربوط به) غلظت عددی ذره یک هواسل که به‌وسیله فرآیند سایش تولید شده و با روش‌های EEPS و APS آنالیز شده‌است

۶-۳ آماده‌سازی آزمون

۶-۳-۱ کلیات

برای آماده‌سازی آزمون، عملیات مقدماتی منفرد (یعنی تولید هواسل)، آمایش هواسل (بهینه‌سازی معین خواص هواسل به شرایط اندازه‌شناختی) و آنالیز هواسل (همراه با فناوری اندازه‌گیری انتخابی) باید به‌منظور مشخصه‌یابی کمّی نشر با یکدیگر ترکیب شوند.

۶-۳-۲ پس‌زمینه هواسل

تا آنجا که ممکن است، به منظور برون‌رانی آلودگی‌های ذره خارجی و افزایش حساسیت برای مقادیر کم ذرات رهایش‌یافته، آزمون‌های رهایش ذره در یک اتمسفر پس‌زمینه بدون ذره انجام شود. غلظت پس‌زمینه ذره، قبل و بعد از روش اجرای آزمون، اندازه‌گیری شود.

۶-۳-۳ خط نمونه‌برداری هواسل

بسته به وضعیت بار هواسل موجود و مدت زمان اعمال تنش، توصیه می‌شود از مواد مناسب استفاده شود. اصولاً، استفاده از خطوط رسانای الکتریکی توصیه می‌شود. در مورد وضعیت بار هواسل دوقطبی، خطوط رسانای الکتریکی منجر به کمینه‌سازی تلفات ذره می‌شوند. در مورد وضعیت بار هواسل تک‌قطبی، خطوط نارسانای الکتریکی به‌منظور کاهش تلفات ذره مناسب هستند، با این حال، سطح داخلی سامانه خط باید ابتدا باردار شود. هنگامی‌که مدت اعمال تنش کوتاه باشد، سبب ایجاد مشکلاتی می‌شود. در نتیجه، در اعمال تنش کوتاه‌مدت، استفاده از سامانه خط رسانای الکتریکی نیز توصیه می‌شود.

ماده، طول و قطر داخلی خط انتقال باید ثبت و گزارش شود.

نفوذ، گرانش و لختی سبب تلفات ذره در سامانه‌های خط می‌شود که به همین دلیل باید تا حدامکان کوتاه نگه‌داشته شود. از آنجا که افزاره‌های اندازه‌گیری با نرخ‌های جریان حجمی متفاوت عمل می‌کنند، با وجود طول خط برابر، تلفات ذره می‌تواند متفاوت باشد.

غلظت‌های عددی ذره در سامانه‌های خط، به‌منظور اجتناب از تغییرات غلظت عددی ذره و توزیع اندازه ذره ناشی از تجمع ذرات کمتر از $1000000\ cm^{-3}$ توصیه می‌شود.

۶-۳-۴ آمایش هواسل

به‌منظور جلوگیری از خطاهای سامانمند، هواسل‌های تولیدشده به‌وسیله فرایند مرتبط باید با توجه به وضعیت بار هواسل و سطح غلظت آن‌ها برای مقابله با تجمع ذرات یا تلفات ذره، آمایش شوند. این موضوع همچنین شامل استفاده از عناصر اتصال مناسب بین دستگاه آزمون و افزاره‌های اندازه‌گیری نیز می‌شود (برای مثال سامانه رسانای الکتریکی لوله‌ای[1]):

- وضعیت بار هواسل؛

- خنثایش[2] (وارونی بار دوقطبی)؛

- کاهش غلظت (بدون اندازه‌گزینی).

۷ روش اجرا

برای انجام آزمون‌های نانوشیء رهایش‌یافته از رنگ‌دانه‌ها و یازه‌های نانومقیاس، گام‌های پیش- آزمون زیر توصیه می‌شوند:

الف- آزمودن روش‌های اندازه‌گیری،

۱- به‌وسیله یک هواسل آزمون بدون ذره با استفاده از یک صافی مطلق (HEPA، صافی هوای ذره‌ای با کارایی بالا) برای تعیین نرخ خطای شمارش،

۲- به‌وسیله هواسل‌های آزمون تولیدشده به‌صورت مصنوعی برای مشخصه‌یابی و درستی‌سنجی کارایی شمارش روش‌های اندازه‌گیری به‌کار برده شده؛

ب- آزمودن چیدمان آزمون،

۱- هنگام به‌کار بردن تمام اجزای یکپارچه‌شده در چیدمان آزمون (افزاره‌های اندازه‌گیری، مدول‌های تنش، اجزای کمکی) بدون تماس با عنصر اعمال تنش و آزمونه (اندازه‌گیری مرجع)، به‌منظور شناسایی منابع ثانویه محتمل نشر (برای مثال، هواکش افزاره اندازه‌گیری و غیره)؛

۲- به‌وسیله وارد کردن هواسل آزمون (برای مثال ۱۰۰ nm) برای مشخصه‌یابی تلفات ذره و درستی‌سنجی قابلیت آشکارسازی.

آنالیز رهایش باید مطابق با روش اجرایی زیر انجام شود:

۱- پاک‌سازی تمام اجزای چیدمان آزمون (واحد نمونه‌برداری، سامانه خط، جداساز ذرات بزرگ)، به‌منظور جلوگیری از آلودگی؛

1- Tube
2- Neutralization

۲- انجام آزمون‌های ثانویه روی آزمونه که بلافاصله قبل از اعمال تنش مورد آنالیز قرار می‌گیرد (برای مثال: آنالیز وزن‌سنجی برای فرایندهای زدایش ماده)؛

۳- تثبیت آزمونه برای آزمودن در دستگاه آزمون؛

۴- هوا- پاک‌سازی[1] چیدمان آزمون با هوای بدون ذره تا رسیدن به غلظت پس‌زمینه کافی (برای مثال $\leq$ ۰/۰۱ cm^{-3})؛

۵- روش‌اجرایی اعمال و اندازه‌گیری تنش؛

الف- ارزیابی اندازه‌شناختی فرایندهای اعمال تنش کوتاه مدت (مربوط به) غلظت و اندازه ذره (انجام شده) با فاصله زمانی معین قبل و بعد از اعمال واقعی تنش؛

ب- ارزیابی اندازه‌شناختی اعمال تنش بلندمدت تجدیدپذیر (مربوط به) غلظت و اندازه ذره (انجام شده) پس از دوره لازم در حال اجرا، در طی غلظت القایی تنشی ثابت[2]؛

۶- خارج کردن آزمونه‌ها؛

۷- انجام آزمون‌های ثانویه روی آزمونه تنش‌دهی‌شده (آنالیز وزن‌سنجی برای فرایندهای زدایش ماده).

۸ محاسبه

به‌عنوان نتیجه آنالیزها، داده‌های خام در قالب غلظت‌های ذره و توزیع‌های اندازه ذره ایجاد می شوند. در درجه نخست، باید مشاهده شود که داده‌های خام در همان نوع کمیت (برای مثال تعداد) موجود هستند. در نتیجه اعمال تنش، هواسل فرایند با یک غلظت فرایند تولید می‌شود. این غلظت فرایند نه تنها به خود فرایند، بلکه به شرایط آنالیز نیز بستگی دارد. بسته به نرخ جریان حجم‌سنجی در طول نمونه‌برداری و حضور هواسل پس‌زمینه (پس‌زمینه بدون ذره یا پس‌زمینه هواسل طبیعی) به رقیق‌سازی کم‌وبیش قابل‌توجه منجر می‌شود. در نتیجه، صرفاً[3] بیان مقادیر غلظت فقط درصورتی معنی‌دار است که شرایط آنالیز مشخصی نشان داده‌شود و هواسل تولیدی به‌صورت زمان- ثابت در دسترس باشد. صرف‌نظر از این، گاهی اوقات لازم است به‌منظور ایجاد غلظت‌های اندازه‌گیری بهینه برای آنالیز هواسل‌ها، غلظت ذره تولیدشده با ابزارهای فنی کاهش یابد. برای کمّی‌سازی رهایش نانوشیء، تمامی سنجه‌های تغییر غلظت باید در ارزیابی گنجانده شود.

برای مشخصه‌یابی رهایش نانوشیء، تعداد ویژه- اندازه ذرات[4] رهایش‌یافته، در ترکیب با توزیع‌های اندازه ذره مطابق با استاندارد ISO 9276-1 و غلظت‌های عددی ذره به‌دست می‌آید [3] [5]. تعداد ذره $n_{x,t}$ از کسر

1 - Air- flushing
2 - Plateau
3- Mere
4- Size-specific number

اندازه معین x_i - x_j رهایش‌یافته در بازه زمانی t_1 - t_2 ، را با توجه به نرخ جریان حجمی کل Vt و نسبت رقیق‌سازی مورد استفاده φ ، می‌توان مطابق با فرمول (۱) محاسبه کرد:

$$n_{x,t} = V_t . \phi . \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_i}^{x_j} q_0(\xi,\tau) c_{n,tot}(\tau) d\xi d\tau \qquad (۱)$$

غلظت‌های عددی ذره اندازه‌گیری‌شده در طبقه‌های اندازه مجزا $c_n(\xi,\tau)$، به‌عنوان مجموعه‌های داده گسسته در دسترس هستند. از آنجا که غلظت‌های عددی ذره در رده‌های اندازه مجزا و همچنین زمان‌سنجی درحال‌حاضر مقادیر میانگین هستند، می‌توان از گام‌های اضافی برای انتگرال عددی مجموعه‌های داده صرف‌نظر کرد. در نتیجه، برای به‌دست آوردن رهایش عددی ویژه- اندازه ذره، $n_{x,t}$ ، (از) فرمول (۲) (استفاده می‌شود):

$$n_{x,t} \approx V_t . \phi . \Delta t . \sum_{i=a}^{b} \left(\sum_{k=c}^{d} c_{n,k,i} \right) \qquad (۲)$$

که در آن:

Δt فاصله زمانی بین دو اندازه‌گیری متوالی است؛

k شاخص در حال اجرای رده اندازه است؛

i شاخص در حال اجرای زمان سپری شده است.

برای اینکه به‌توان یک مقایسه فرایند- متقابل از رهایش ذره را انجام داد، تعداد ذره ویژه- اندازه به‌دست آمده، n_x، را باید به مساحت تحت تنش مربوطه ارجاع داد [4]، [5]. رهایش عددی ویژه- اندازه‌ای و ویژه- سطحی، $n_{x,A}$، به‌صورت خارج‌قسمت تعداد ذره ویژه- اندازه‌ای، n_x ، و مساحت تنش‌یافته حقیقی، A_S، تعریف شده‌است، به فرمول (۳) مراجعه شود:

$$n_{x,A} = \frac{n_x}{A_S} \qquad (۳)$$

یادآوری ۱- علاوه‌بر مساحت، جرم سایشی نیز به‌عنوان مقدار مشخصه مرجع برای سناریوهای اعمال تنش زدایش ماده مناسب است.

برای انتقال‌پذیری نتایج به سناریوهای واقعی، داده‌های اندازه‌گیری به‌دست آمده باید به غلظت اتاق مدل یا غلظت مدل منتقل شوند. غلظت مدل را می‌توان از رهایش عددی ویژه- اندازه‌ای و ویژه- سطحی مطابق با فرمول (۴) به‌دست آورد:

$$c_{n,m} = \frac{n_{x,A} . A_m}{V_m} = \frac{n_{x,A} . A_m}{A_m . h_m} = \frac{n_{x,A}}{h_m} \qquad (۴)$$

که در آن:

A_m مساحت قاعده است؛

V_m حجم اتاق مدل است.

حجم اتاق مدل به‌صورت حاصل‌ضرب مساحت قاعده، A_m، و ارتفاع اتاق مدل h_m تعریف می‌شود، به‌طوری‌که مساحت قاعده حذف می‌شود و غلظت اتاق مدل فقط به ارتفاع اتاق یا به فاصله عملیاتی موقعیتی بستگی دارد.

یادآوری ۲ - برای غلظت اتاق مدل، یک هوادهی ایده‌آل با صرف‌نظر کردن از تلفات ذره و تجمع ذرات فرض می‌شود.

۹ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید حداقل شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- ارجاع به این استاندارد؛

ب- آزمونه، شامل:

۱- شناسایی آزمونه‌ها؛

۲- وضعیت آزمونه‌ها (تجمع رنگ‌دانه‌ها، پیش عمل‌آوری آزمونه‌ها)؛

۳- تاریخ آماده‌سازی آزمونه‌ها؛

۴- فاصله زمانی بین آماده‌سازی آزمونه و اندازه‌گیری.

پ- اعمال تنش، شامل:

۱- نوع تنش؛

۲- پارامترهای فرایندی مشخصه؛

ت- پیکربندی چیدمان آزمون، شامل:

۱- تجهیزات آمایش و اندازه‌گیری (تعیین هویت، سازنده)؛

۲- روندنما[1] چیدمان آزمون، شامل پارامترهای عملیاتی؛

۳- شکل چیدمان تجربی آماده‌سازی آزمون.

ث- نتایج، شامل:

۱- توزیع‌های اندازه ذره در تطابق با استاندارد ISO 9276-1؛

1 - Flow chart

۲- رهایش عددی ویژه- سطحی ذره در رده‌های اندازه انتخابی (برای مثال، $x \leq 100\,nm$، $10\,nm < x < 1000\,nm$، $x > 1000\,nm$)؛

۳- اطلاعات در مورد ریخت‌شناسی و گونه‌های ذرات؛

۴- تصویر سطح ماده آزموده شده پس از عمل‌آوری؛

ج- هر شاخصه غیرمعمول مشاهده شده حین آزمون؛

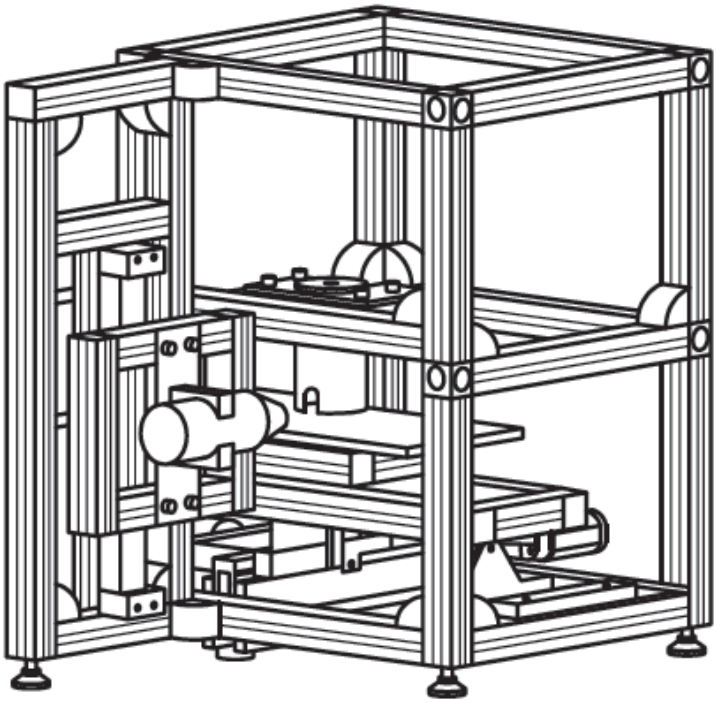
چ- تاریخ آزمون.

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

مثال‌هایی از ویژگی پارامتر روش‌های اعمال تنش

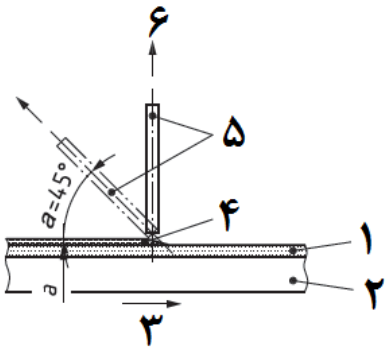
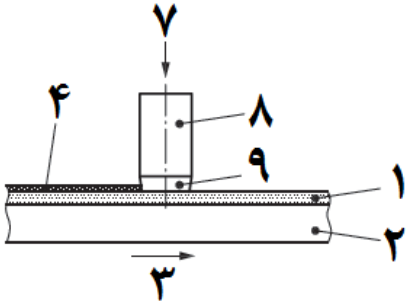
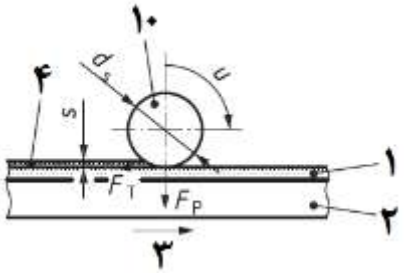
در مثال نشان داده‌شده در شکل الف-۱، آزمونه‌ها در جایی که نمونه‌گیری هواسل به‌وسیله محدودشدن ناحیه سایشی انجام می‌شود، زیر یک ابزار سنباده‌زنی متحرک در راستای عمودی تهیه می‌شوند.



شکل الف-۱- مثالی از یک دستگاه آزمون برای شبیه‌سازی تنش مکانیکی ناشی از سنباده‌زنی

مثال‌های تغییرپذیری پارامترهای فرایند نشان داده‌شده در جدول الف-۱ براساس دستگاه آزمون توصیف‌شده و مورداستفاده در مراجع [4] و [5] برای کمّی‌سازی رهایش عددی ذره از پوش‌رنگ‌ها، جلاها و پلاستیک‌ها به‌منظور شبیه‌سازی وضعیت‌های مختلف تنش هستند.

جدول الف- ۱- مثال‌های تغییرپذیری پارامترهای فرایند.

	پارامتر فرایند	واحد	بازه عملیات	نمودار طرح‌واره
اضافه جریان	نرخ جریان حجمی (افشانک)	$l.min^{-1}$	۱-۲۰	
	قطر داخلی افشانک	mm	۱-۵	
	نرخ تغذیه نمونه	$mm.s^{-1}$	۰٫۰۵-۵٫۰	
	سرعت جریان هوا	$m.s^{-1}$	۱٫۵-۱۰۰٫۰	
	مساحت تحت تنش	cm^2	۱-۵	
اصطکاک پویا	نیروی عمودی	N	۵-۱۵	
	نرخ جریان حجمی	$l.min^{-1}$	۱-۲۰	
	مساحت تماس	cm^2	۰٫۸-۱٫۵	
	نرخ تغذیه نمونه	$mm.s^{-1}$	۰٫۰۵-۵٫۰	
	فشار تماس	kPa	۳۰-۱۷۰	
	نیروی اصطکاک پویا	N	۵-۱۱	
فرایند سایشی	نیروی عمودی	N	۰/۵-۱۰٫۰	
	نرخ جریان حجمی	$l.min^{-1}$	۱۰-۳۰	
	نرخ تغذیه نمونه	$mm.s^{-1}$	۰٫۰۵-۵٫۰۰	
	بسامد چرخشی	min^{-1}	۵۰-۲۰۰۰ یا ۵۰۰۰-۳۳۰۰۰	
	کاغذ سنباده	-	P۶۰- P۲۰۰۰	
	سرعت چرخشی	$m.s^{-1}$	۰٫۰۲-۲۴٫۰	
	نیروی مماسی	N	۰٫۷-۱۴٫۰	
	مساحت تحت تنش	cm^2	۱-۱۵	

راهنما:

۱ پوشش

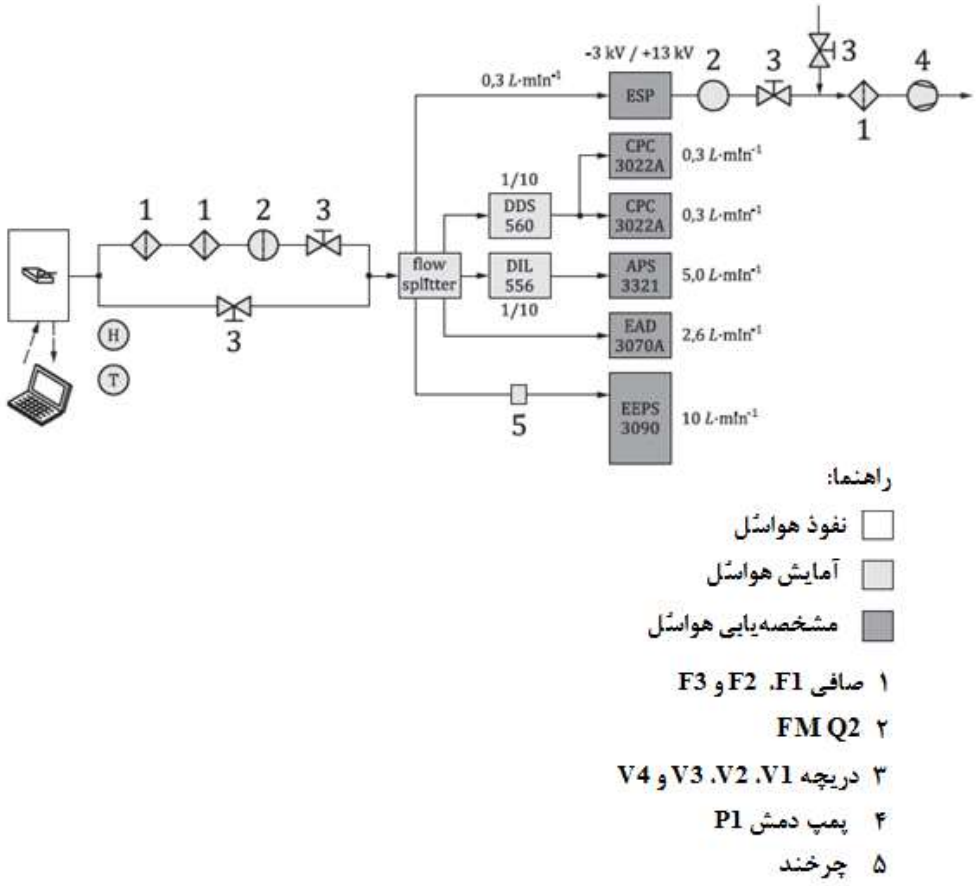
۲	زیرلایه
۳	جهت حرکت
۴	پوشش‌دهی زوال یافته (تبهگون)
۵	افشانک مکش
۶	هواسل
۷	نیروی عمودی
۸	پیستون اصطکاک
۹	عنصر اصطکاک
۱۰	چرخ ساینده
a	ضخامت پوشش زوال‌یافته (تبهگون)
s	ضخامت پوشش زوال‌یافته (تبهگون)
d_S	قطر چرخ ساینده
u	سرعت چرخشی
F_T	نیروی عمودی
F_P	نیروی مماسی

جدول الف-۲- مثال‌هایی برای پارامترهای فرایند و مشخصات شبیه‌سازی فرایند سایش [5]

پارامترهای فرایند	واحد	آزمونه‌های پوش‌رنگ و جلا	آزمونه‌های پلاستیک
نرخ تغذیه آزمونه‌ها (v_s)	$mm.s^{-1}$	۵/۰	۵/۰
بسامد چرخشی	min^{-1}	۵۰۰۰	۲۰۰۰
سرعت چرخشی چرخ ساینده (v_r)	$m.s^{-1}$	۱/۸۳	۰/۷۳
نیروی عمودی	N	۰/۵	۰/۵
نسبت سرعت (v_r/v_s)	-	۳۶۵/۵	۱۴۵/۶
توان برش P_c	W	۱/۳	۰/۵
کاغذ سمباده (مطابق با استاندارد ISO 6344-1)	-	P۱۲۰۰	P۲۴۰
مساحت تحت تنش	cm^2	۱۰/۴	۱۰/۴

با توجه به شبیه‌سازی فرایند سایش، توصیه می‌شود بر خلاف پوش‌رنگ‌ها، پارامترهای فرایند مختلفی بـرای پلاستیک‌ها انتخاب شوند. این امر به‌منظور مستثنی‌کردن (فرایندهایی)، برای مثال فرایندهای حرارتی تولید نانوذره است که منتج به ارزیابی اضافه علاوه‌بر ذرات تولیدشده مکانیکی می‌شود.

شکل الف-۲- نمودار طرحواره یک چیدمان آزمون برای آزمودن رهایش ذره در نتیجه تنش سایشی [5]



پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

تجهیزات انتخابی اندازه‌گیری هواسل

جدول ب-۱ - تجهیزات انتخابی اندازه‌گیری هواسل (برگرفته از استاندارد ISO/TS 12025 [7])

دستگاه	نتیجه	اندازه ذره nm	غلظت ذره cm^{-3}	حالت عملکرد	نرخ جریان 1/min
شمارشگر ذره متراکم CPC	غلظت عددی	۳۰۰۰ تا ۳	۱×۱۰^{۸} تا ۰	پیوسته (۱s)	۳ تا ۰٫۰۳
سامانه آنالیز جنبش تفاضلی DMAS	PSD	۱۰۰۰ تا ۳	۱×۱۰^{۸} تا ۱×۱۰^{۳}	دوره‌ای (۳۰۰s- ۳۰s)	۰٫۳
طیف‌سنج ذره تحرکی برق‌سنج پایه	PSD	۱۰۰۰ تا ۶	۱×۱۰^{۸} تا ۱×۱۰^{۴}	پیوسته (۱s)	۱۰
طیف‌سنج هواسل پراکندگی نور (حساسیت بالا)	PSD	۲۰۰۰۰ تا ۹۰ (۱۰۰۰ تا ۶۰)	۱×۱۰^{۵} تا ۰٫۰۱ ($۱٫۸\times۱۰^{۴}$ تا ۰)	پیوسته	۰٫۱ تا ۰٫۰۱
شمارشگر نوری ذره	غلظت عددی در چند رده	۱۰۰۰۰ تا ۵۰	۱×۱۰^{۵} تا ۰	پیوسته	۳ تا ۰٫۰۳
طیف‌سنج آئرودینامیکی	PSD	۲۰۰۰۰ تا ۳۷۰	۱×۱۰^{۴} تا ۰٫۰۰۱	پیوسته (۱۸s- ۱s)	۵ تا ۱
برخوردگر آبشاری فشار پایین برق‌سنج پایه	PSD، غلظت بار	۱۰۰۰۰ تا ۷	بدون داده	دوره‌ای (>۵s)	۳۰ ،۱۰
افزاره جمع‌آوری مبتنی بر صافش	غلظت جرمی کوچکتر از قطرهای آئرودینامیکی معین (برای مثال، PM2.5,PM10)	۳۰۰۰۰ <	بدون داده	ناپیوسته	۰٫۰۰۱ تا ۱۰

جدول ب-۲- روش‌های انتخابی جمع‌آوری و اندازه‌گیری هواسل.

رده		افزاره نمونه‌برداری/ اندازه‌گیری	بازه اندازه / تفکیک‌پذیری زمان / متریک+ قطر معادل
با تفکیک اندازه	با تفکیک زمان	اندازه‌کننده ذره با روبش تحرکی (SMPS)	۲٫۵ nm تا ۱۰۰۰ nm > ۳۰ s توزیع اندازه عددی، بر پایه قطر تحرکی الکتریکی
		اندازه‌کننده ذره تحرکی برق‌سنج پایه - اندازه‌کننده ذره تحرکی سریع (FMPS)/ اندازه‌کننده ذره اگزوز موتور (EEPS)	۵٫۶ nm تا ۵۶۰ nm ۰٫۱s / ۱s توزیع اندازه عددی، بر پایه قطر تحرکی الکتریکی
		برخوردگر فشار پایین الکتریکی (ELPI)	۶ nm تا ۱۰ µm ۰٫۱ s توزیع اندازه عددی، بر پایه قطر آئرودینامیکی
		اندازه‌کننده نوری ذره (OPS): طیف‌سنج لیزری هواسل (LAS)	۲۰ µm تا ۳۰۰ nm (>۶۰nm) ۱ s توزیع اندازه عددی، بر پایه قطر معادل پراکندگی نوری
		طیف‌سنج لختایی/ ابزارهای زمان پرواز: - اندازه‌کننده ذره آئرودینامیکی	۲۰ µm تا ۵۰۰ nm ۱ s توزیع اندازه عددی قطر آئرودینامیکی
	زمان یکپارچه	برخوردگر آبشاری فشار پایین	>۲۰nm غیر کاربردی توزیع اندازه جرمی، آنالیز شیمیایی، ریخت‌شناسی
		برخوردگر رسوب‌یکنواخت درشت‌روزنه (Moudi)	۲۰ µm تا ۱۰ nm غیر کاربردی توزیع اندازه جرمی، آنالیز شیمیایی، ریخت‌شناسی

		سامانه هواسل پهن‌بازه (WRAS)	۵/۵ nm تا ۳۲ µm ۵ min توزیع اندازه عددی
		رسوب‌ده حرارتی (TP)	۳۰۰ nm تقریباً تا ۲۰ nm غیرکاربردی توزیع اندازه
اندازه یکپارچه	با تفکیک زمان	شمارشگر ذره چگال (CPC)	۱/۵ nm تا ۹ µm ۱ s غلظت عددی ذره (NC)
		پایشگر مساحت سطح (برای مثال آشکارساز هواسل الکتریکی (EAD)، پایشگر مساحت سطح نانوذره (NSAM)، LQ1-DC)	۱۰ nm تا >۱ µm ۱ s طول هواسل (EAD)، مساحت سطح فعال (LQ1-DC)، مساحت سطح رسوبی در ریه (NSAM)
		نورسنج هواسل	۲۵۰ nm تا ۲۰ µm ۱ s غلظت جرمی
	زمان یکپارچه	رسوب‌ده ایستابرقی (ESP)	>۲۰ nm غیرکاربردی آنالیز شیمیایی، ریخت‌شناسی
		رسوب‌ده حرارتی (TP)	>۲۰ nm غیرکاربردی آنالیز شیمیایی، ریخت‌شناسی
		صافش (برای مثال PM2.5،PM10)	غلظت جرمی، ترکیب‌بندی شیمیایی

کتاب‌نامه:

[1] Perović B. (2000) Spanende und abtragende Fertigungsverfahren – Grundlagen und Berechnung. Schleifen Expert Verlag, 176-199

[2] Kuhlbusch T.A., Asbach C., Fissan H., Göhler D., Stintz M. Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review. *Part. Fibre Toxicol.* 2011, **8** (1) p. 22

[3] Vorbau M., Hillemann L., Stintz M. Method for the characterization of the abrasion induced nanoparticle release into air from surface coatings. *J. Aerosol Sci.* 2009, **40** (3) pp. 209–217

[4] Göhler D., Stintz M., Hillemann L., Vorbau M. Characterization of nanoparticle release from surface coatings by the simulation of a sanding process. *Ann. Occup. Hyg.* 2010, **54** (6) pp. 615–624

[5] Göhler D., Nogowski A., Fiala P., Stintz M. Nanoparticle release from nanocomposites due to mechanical treatment at two stages of the life-cycle. *J. Phys. Conf. Ser.* 2013, **429**, 012045

[6] ISO 4618:2014, *Paints and varnishes — Terms and definitions*

[7] ISO/TS 12025, *Nanomaterials — Quantification of nano-object release from powders by generation of aerosols*

یادآوری ۱- استاندارد ملی شماره ۱۷۱۴۹: سال ۱۳۹۲، فناوری نانو- تعیین کمی رهایش نانوشیء از پودرهای ناشی از هواسل‌ها با استفاده از استاندارد ISO 12025: 2012 ، تدوین شده است.

[۸] استاندارد ملی شماره ۱۳۸۳۰: سال ۱۳۸۹، تعیین توزیع اندازه ذره – تحلیل قابلیت حرکت الکتریکی تفاضلی برای ذرات ایروسل.

[۹] استاندارد ملی شماره ۲۲۴۸۳: سال ۱۳۹۶، اتمسفرهای محل کار- ذرات معلق بسیار ریز هواویزها، نانوذرات و نانوساختار– خصوصیات و ارزیابی مواجهه استنشاقی.

[10] Göhler D., Gritzki R., Rösler M., Felsmann C., Stintz M. Estimation of Inhalation Exposure on the Basis of Airborne Nanomaterial Release Data and Propagation Modeling. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2018, **6** pp. 9352−9359

[11] Wilson W.E., Stanek J., Han H.-S.R., Johnson T., Sakurai H., Pui D.Y.H. Use of the electrical aerosol detector as an indicator of the surface area of fine particles deposited in the lung. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 2007, **57** pp. 211–220

[12] Fissan H., Neumann S., Trampe A., Pui D., Shin W. Rationale and principle of an instrument measuring lung deposited nanoparticle surface area. J. Nanopart. Res. 2007, 9 pp. 53–59