



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iran National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران
(شماره استاندارد)

.....

۱۴۰۲

INSO
(Std. No.)

.....

2023

Identical with
ISO/TS 23302:

2021

فناوری نانو- الزامات و توصیه‌ها برای
شناسایی اندازه‌ده‌های مشخصه‌یابی نانواشیاء
و مواد حاوی آنها

**Nanotechnologies — Requirements and
recommendations for the identification of
measurands that characterise nano-objects
and materials that contain them**

ICS: 07.120

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@inso.gov.ir

وبگاه: <http://www.inso.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@inso.gov.ir

Website: <http://www.inso.gov.ir>

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد 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.

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 منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادهای 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 پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته 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)، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۱ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۲ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین 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 زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) و سایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی و سایل 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- الزامات و توصیه‌ها برای شناسایی اندازه‌ده‌های مشخصه‌یابی نانواشیاء و مواد حاوی آنها»

رئیس:

صادق حسنی، صدیقه
(دکتری شیمی تجزیه-الکتروشیمی)

دبیر:

اسدیان، الهام
(دکتری علوم و فناوری نانو)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اژه‌ای، فائزه
(دکتری علوم و فناوری نانو)

اسلامی‌پور، الهه
(کارشناسی ارشد زیست‌شناسی)

باوی، امید
(دکتری علوم و فناوری نانو)

سهرابی جهرمی، ابوذر
(دکتری فناوری نانو)

سیفی، مهوش
(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

شاهوی، محمدحسن
(دکتری مهندسی شیمی)

گل‌زردی، سمیرا
(کارشناسی ارشد، مهندسی مواد)

میرسپاه، علی
(کارشناسی ارشد فیزیک)

سمت و/یا محل اشتغال:

مدیر تحقیق و توسعه- شرکت آرال تجهیز آزما

عضو هیئت علمی- دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی- دانشکده
فناوری‌های نوین پزشکی

عضو مستقل

کارشناس اسئول- گروه استاندارد و ایمنی ستاد فناوری نانو

عضو هیئت علمی- دانشگاه صنعتی شیراز- دانشکده مهندسی
مکانیک

مدیر عامل- شرکت راصد توسعه فناوری‌های پیشرفته

مشاور- گروه استاندارد و ایمنی ارزیابی محصولات ستاد ویژه
توسعه فناوری نانو

عضو هیئت علمی- دانشگاه تخصصی فناوری‌های نوین آمل

کارشناس مسئول- گروه ارزیابی و نظارت محصولات ستاد فناوری
نانو

عضو مستقل

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

ناصری، آمنه

(دکتری علوم و فناوری نانو)

ویراستار:

سیفی، مهوش

(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

سمت و/یا محل اشتغال:

عضو هیئت علمی - پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی - سازمان
تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مشاور - گروه استاندارد و ایمنی محصولات ستاد ویژه توسعه
فناوری نانو

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ل	پیش‌گفتار
م	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۳-۱ اصطلاحات اصلی عمومی
۴	۳-۲ اصطلاحات مرتبط با اندازه‌دهیها
۱۰	۴ کوتاه‌نوشت‌ها
۱۳	۵ رویکردهایی برای مشخص کردن اندازه‌دهیها با هدف مشخصه‌یابی نانواشیاء و انبوهه‌ها و کلوخه‌های آنها و مواد حاوی نانواشیاء
۱۴	۵-۱ روش
۱۴	۵-۲ انواع اندازه‌دهیها
۱۴	۵-۳ حالت نانواشیاء
۱۵	۶ اندازه‌دهیهای مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها
۱۵	۶-۱ کلیات
۱۶	۶-۲ اندازه‌دهیهای مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل
۱۷	۶-۲-۱ مرور کلی
۱۷	۶-۲-۲ استانداردهای عمومی مرتبط
۱۷	۶-۳ اندازه‌دهیهای مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل در هواسل‌ها
۱۷	۶-۳-۱ مرور کلی
۲۰	۶-۳-۲ استانداردهای عمومی مرتبط
۲۰	۶-۳-۳ برخوردگری کم‌فشار الکتریکی (ELPI)
۲۱	۶-۳-۴ برخوردگرهای آبشاری
۲۱	۶-۳-۵ سامانه آنالیز تحرک‌پذیری تفاضلی
۲۲	۶-۳-۶ استانداردهای مرتبط
۲۲	۶-۳-۷ شمارشگر نوری ذره
۲۳	۶-۳-۸ استانداردهای مرتبط
۲۳	۶-۳-۹ اندازه‌سنجی ذره آئرو‌دینامیک
۲۳	۶-۳-۱۰ TEM تلفیق‌شده با نمونه‌گیرهای توری TEM
۲۴	۶-۳-۱۱ استانداردهای مرتبط

صفحه	عنوان
۲۴	۱۲-۳-۶ میکروسکوپی الکترونی روبشی
۲۵	۱۳-۳-۶ استانداردهای مرتبط
۲۵	۴-۶ اندازه‌دهی‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل در پودرها
۲۵	۱-۴-۶ مرور کلی
۲۷	۲-۴-۶ استانداردهای مرتبط
۲۷	۳-۴-۶ میکروسکوپی الکترونی روبشی
۲۷	۴-۴-۶ استانداردهای مرتبط
۲۷	۵-۴-۶ جذب سطحی گاز، روش BET
۲۸	۶-۴-۶ استانداردهای مرتبط
۲۸	۷-۴-۶ پراش لیزری
۲۸	۸-۴-۶ استانداردهای مرتبط
۲۸	۹-۴-۶ پراش پرتو ایکس
۲۸	۱۰-۴-۶ استانداردهای مرتبط
۲۹	۱۱-۴-۶ طیف‌سنجی رامان
۳۰	۵-۶ اندازه‌دهی‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل نانواشیاء در پراکنش‌های مایع
۳۰	۱-۵-۶ مرور کلی
۳۱	۲-۵-۶ ته‌نشینی مرکزگرمز مایع
۳۲	۳-۵-۶ استانداردهای مرتبط
۳۲	۴-۵-۶ پراکندگی پویای نور
۳۲	۵-۵-۶ استانداردهای مرتبط
۳۲	۶-۵-۶ پراش لیزری
۳۴	۷-۵-۶ استانداردهای مرتبط
۳۴	۸-۵-۶ پراکندگی پرتو ایکس زاویه کوچک
۳۴	۹-۵-۶ استانداردهای مرتبط
۳۴	۱۰-۵-۶ آنالیز ردیابی ذرات
۳۵	۱۱-۵-۶ استانداردهای مرتبط
۳۵	۱۲-۵-۶ میکروسکوپی الکترونی
۳۸	۱۳-۵-۶ جزء کردن جریان با میدان
۳۸	۱۴-۵-۶ استانداردهای مرتبط
۳۸	۱۵-۵-۶ ICP-MS تک‌ذره
۳۸	۱۶-۵-۶ استانداردهای مرتبط

صفحه	عنوان
۳۹	۶-۶ اندازه‌ده‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل روی سطح (روش‌های میکروسکوپی)
۳۹	۶-۶-۱ مرور کلی
۳۹	۶-۶-۲ میکروسکوپی الکترونی روبشی
۴۰	۶-۶-۳ میکروسکوپی نیروی اتمی
۴۰	۶-۶-۴ استانداردهای مرتبط
۴۱	۷ اندازه‌ده‌های مربوط به آنالیز شیمیایی نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها
۴۱	۷-۱ کلیات
۴۳	۷-۲ اندازه‌ده‌های مربوط به آنالیز شیمیایی سطح نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها
۴۳	۷-۲-۱ اندازه‌ده‌ها
۴۳	۷-۲-۲ طیف‌سنجی الکترون اوژه
۴۳	۷-۲-۳ استانداردهای مرتبط
۴۴	۷-۲-۴ طیف‌سنجی اتلاف انرژی الکترون
۴۴	۷-۲-۵ استانداردهای مرتبط
۴۴	۷-۲-۶ طیف‌سنجی جرمی یون ثانویه
۴۵	۷-۲-۷ استانداردهای مرتبط
۴۵	۷-۲-۸ طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس
۴۶	۷-۲-۹ استانداردهای مرتبط
۴۶	۷-۲-۱۰ پراش پرتو ایکس
۴۷	۷-۲-۱۱ استانداردهای مرتبط
۴۷	۷-۲-۱۲ طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو ایکس
۴۸	۷-۲-۱۳ استانداردهای مرتبط
۴۸	۷-۲-۱۴ طیف‌سنجی پرتو ایکس تفکیک انرژی
۴۹	۷-۲-۱۵ پراکندگی یون کم‌انرژی
۴۹	۷-۳ اندازه‌ده‌های مربوط به آنالیز شیمیایی نانواشیاء به شکل نمونه حجیم
۴۹	۷-۳-۱ اندازه‌ده‌ها
۵۱	۷-۳-۲ طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه
۵۲	۷-۳-۳ استانداردهای مرتبط
۵۲	۷-۳-۴ آنالیز حرارتی به کمک آنالیزگر گاز خروجی همراه با FTIR یا QMS
۵۳	۷-۳-۵ استانداردهای مرتبط
۵۳	۷-۳-۶ طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی
۵۳	۷-۳-۷ استانداردهای مرتبط

صفحه	عنوان
۵۴	۷-۳-۸ طیف‌سنجی رامان
۵۴	۷-۳-۹ تکنیک‌های پلاسمای جفت‌شده القایی
۵۴	۷-۳-۱۰ استانداردهای مرتبط
۵۴	۷-۳-۱۱ زاویه تماس
۵۵	۸ اندازه‌دهه‌های مربوط به جرم و چگالی
۵۵	۸-۱ کلیات
۵۵	۸-۲ هواسل‌ها
۵۵	۸-۲-۱ اندازه‌دهه‌ها
۵۵	۸-۲-۲ استانداردهای مرتبط
۵۶	۸-۲-۳ تحلیلگر جرم ذره هواسل
۵۶	۸-۲-۴ طیف‌سنجی جرمی زمان پرواز
۵۶	۸-۳ پودرها
۵۶	۸-۳-۱ اندازه‌دهه‌ها
۵۷	۸-۳-۲ چگالی‌سنجی
۵۶	۸-۳-۳ استانداردهای مرتبط
۵۷	۸-۴ پراکنش‌های آبی
۵۷	۸-۴-۱ اندازه‌دهه‌ها
۵۸	۸-۴-۲ استانداردهای مرتبط
۵۹	۸-۴-۳ ته‌نشینی مرکزگریز مایع (روش هم‌چگالی)
۵۹	۸-۴-۴ پراکندگی نور ایستا
۵۹	۸-۴-۵ اندازه‌گیری جرم تشدید
۵۹	۹ اندازه‌دهه‌های مربوط به بار-پراکنش‌های مایع
۵۹	۹-۱ اندازه‌دهه‌ها
۶۰	۹-۲ استانداردهای مرتبط
۶۰	۹-۳ پراکندگی نوری الکتروکوچی
۶۰	۹-۴ اندازه‌گیری پدیده‌های الکتروصوتی
۶۱	۱۰ اندازه‌دهه‌های مربوط به بلورینگی
۶۱	۱۰-۱ اندازه‌دهه‌ها
۶۴	۱۰-۲ پراکندگی پرتو ایکس زاویه کوچک/ زاویه بزرگ
۶۴	۱۰-۳ پراش پرتو ایکس
۶۴	۱۰-۴ میکروسکوپی الکترونی عبوری با تفکیک‌پذیری بالا

صفحه	عنوان
۶۴	۵-۱۰ پراش الکترون برگشتی
۶۵	۶-۱۰ پراش نوترونی
۶۵	۷-۱۰ بازتاب پراش الکترون انرژی بالا و انرژی پایین
۶۵	۸-۱۰ گرماسنجی روبشی تفاضلی
۶۶	۹-۱۰ استانداردهای مرتبط
۶۶	۱۰-۱۰ بلورنگاری تشدید مغناطیسی هسته حالت جامد
۶۶	۱۱-۱۰ بلورنگاری رامان
۶۶	۱۲-۱۰ استانداردهای مرتبط
۶۷	۱۱ اندازه‌دهی‌های خواص نوری
۶۷	۱-۱۱ کلیات
۶۸	۲-۱۱ اندازه‌دهی‌ها
۶۸	۳-۱۱ روش‌های طیف‌سنجی
۶۹	۴-۱۱ استانداردهای مرتبط
۷۱	۱۲ اندازه‌دهی‌های الکتریکی و الکترونیکی
۷۱	۱-۱۲ اندازه‌دهی‌ها
۷۲	۲-۱۲ روش‌ها
۷۲	۱-۲-۱۲ اندازه‌گیری رسانایی دونقطه‌ای یا چهارنقطه‌ای
۷۲	۲-۲-۱۲ طیف‌سنجی نورگسیل فرابنفش با تفکیک زاویه‌ای
۷۲	۳-۲-۱۲ میکروسکوپی تونل‌زنی روبشی
۷۲	۴-۲-۱۲ میکروسکوپی نیروی اتمی رسانا
۷۲	۵-۲-۱۲ میکروسکوپی نیروی پیرو
۷۳	۱۳ اندازه‌دهی‌های مغناطیسی
۷۳	۱-۱۳ کلیات
۷۴	۲-۱۳ اندازه‌دهی‌ها
۷۵	۳-۱۳ روش‌ها
۷۵	۱-۳-۱۳ دستگاه تداخل کوانتومی ابررسانا
۷۶	۲-۳-۱۳ مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی
۷۶	۳-۳-۱۳ طیف‌سنجی موسبائر
۷۶	۴-۳-۱۳ طیف‌سنجی تشدید پارامغناطیسی الکترون
۷۶	۵-۳-۱۳ خاصیت مغناطیسی-نوری کر
۷۷	۶-۳-۱۳ میکروسکوپی نیروی مغناطیسی

صفحه	عنوان
۷۷	۷-۳-۱۳ میکروسکوپی روبشی اثر هال
۷۷	۸-۳-۱۳ میکروسکوپی تونل زنی روبشی اسپین قطبیده
۷۷	۹-۳-۱۳ استانداردهای مرتبط
۷۸	۱۴ اندازه‌ده‌های حرارتی
۷۸	۱-۱۴ اندازه‌ده‌ها
۷۹	۲-۱۴ روش‌ها
۷۹	۱-۲-۱۴ اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی ویژه
۷۹	۲-۲-۱۴ میکروسکوپی گرمایی روبشی
۷۹	۳-۱۴ استانداردهای مرتبط
۷۹	۱۵ سایر اندازه‌ده‌های مربوط به عملکرد
۷۹	۱-۱۵ کلیات
۸۰	۲-۱۵ پودرها- گرد و غبار
۸۰	۱-۲-۱۵ اندازه‌ده‌ها
۸۱	۲-۲-۱۵ استانداردهای مرتبط
۸۱	۳-۱۵ پراکنش‌های مایع
۸۲	۱-۳-۱۵ اندازه‌ده‌ها
۸۲	۲-۳-۱۵ گرانروی
۸۴	۳-۳-۱۵ قابلیت پراکنش‌پذیری
۸۵	۴-۳-۱۵ استانداردهای مرتبط
۸۵	۵-۳-۱۵ حلالیت و سرعت انحلال
۸۶	۶-۳-۱۵ استانداردهای مرتبط
۸۷	۴-۱۵ خواص مکانیکی
۸۷	۱-۴-۱۵ کلیات
۸۸	۲-۴-۱۵ اندازه‌گیری ثابت‌های کشسانی با روش‌های ایستا
۸۸	۳-۴-۱۵ استانداردهای مرتبط
۸۹	۴-۴-۱۵ اندازه‌گیری ثابت‌های کشسانی با روش‌های پویا
۸۹۳	۵-۴-۱۵ استانداردهای مرتبط
۸۹	۶-۴-۱۵ اندازه‌گیری خواص کشسانی و پلاستیک با روش‌های فروروندگی ابزاری
۹۰	۷-۴-۱۵ استانداردهای مرتبط
۹۰	۸-۴-۱۵ اندازه‌گیری خواص سطح و سایش
۱۰۵	۹-۴-۱۵ استانداردهای مرتبط

صفحه

عنوان

۹۲

کتابنامه

پیش‌گفتار

استاندارد «فناوری نانو- الزامات و توصیه‌ها برای شناسایی اندازه‌دهی مشخصه‌یابی نانو اشیاء و مواد حاوی آنها» 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 شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در اجلاس کمیته ملی استاندارد مورخ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده 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 شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، 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:

ISO/TS 23302, Nanotechnologies — Requirements and recommendations for the identification of measurands that characterise nano-objects and materials that contain them

مقدمه

واژه «نانوشیء» برای موادی که در یک، دو یا سه بعد بیرونی دارای مقیاس نانو (در گستره تقریباً ۱ nm تا ۱۰۰ nm) هستند، به کار می‌رود. خواص ویژه وابسته به اندازه معمولاً در این گستره اندازه نمایان می‌شوند، حتی اگر بطور ناگهانی در بالاتر از این گستره از بین نروند. نانواشیاء، چه طبیعی باشند و چه ساخته شده، می‌توانند به شکل نانوصفحات (یک بعد در گستره نانو)، نانوالیاف (دارای دو بعد یا قطر در گستره نانو) و نانوذرات (سه بعد در گستره نانو) یافت شوند. نانواشیاء مساحت‌های سطح ویژه بیشتری نسبت به اشیای بزرگتر از خود نشان می‌دهند. آنها به دلیل برهمکنش‌های جاذبه در طول چرخه عمر خود، به ویژه مستعد پدیده‌های انبوهگی و کلوخگی هستند.

استفاده از نانواشیاء در تحقیق و توسعه، صنعت و کاربردهای تجاری رو به افزایش است. مشخصه‌یابی نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها (NOAAs) نقش اساسی در تحقیقات پایه و کاربردی، از طریق کنترل کیفیت فرآیند و محصول و تجاری‌سازی برای حفاظت از محیط زیست و سلامت، دارد. مشخصه‌یابی نانواشیاء برای تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی، عملکرد و طول عمر آنها کلیدی است. غالباً روش‌های دسترس‌پذیر برای مشخصه‌یابی مواد در مقیاس بزرگتر، گاهی اوقات به دلیل محدودیت‌های سامانه‌های آزمون (مانند حساسیت کم، وضوح ناکافی تجهیزات)، برای نانواشیاء به‌سختی اعمال می‌شوند. این امر منجر به توسعه روش‌های جدید و انطباق روش‌های موجود شده‌است.

انتخاب روش اغلب به‌شدت تحت‌تأثیر هزینه اولیه و در دسترس بودن، زمان و سازگاری نمونه است. هرچند، جنبه‌ای که به‌راحتی فراموش می‌شود این است که آیا روش انتخاب‌شده واقعاً خاصیت فیزیکی یا شیمیایی ماده‌ای را که برای اندازه‌گیری در نظر گرفته شده («اندازه‌ده»)، هدف قرار می‌دهد. این موضوع ممکن است بدیهی به‌نظر برسد، اما در عمل، دانش یا توجه ناکافی در مورد اساس واقعی اندازه‌گیری و/یا خاصیت اندازه‌گیری شده می‌تواند مانع از ارزیابی صحیح نتایج اندازه‌گیری شود.

فنون و روش‌های اندازه‌گیری معمولاً براساس خواص ماده‌ای که می‌توانند اندازه‌گیری کنند، طبقه‌بندی می‌شوند. یکی از تعریف‌های «اندازه‌ده» که در بسیاری از استانداردهای ISO استفاده می‌شود، «کمیت موردنظر برای اندازه‌گیری» است. در فناوری نانو، خواص رایج مواد که معمولاً به عنوان «اندازه‌ده موردنظر» در نظر گرفته می‌شوند، می‌تواند اندازه، شکل، ترکیب شیمیایی و بار سطح باشد. با این حال، در واقعیت، به دلیل اصول زیربنایی متفاوت اندازه‌گیری فیزیکی، نتایج به‌دست‌آمده از فنون مختلف، برای یک خاصیت رایج ماده، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی متفاوت باشد. دلیل منطقی این امر آن است که روش‌های مختلف، اندازه‌ده موردنظر را اندازه‌گیری نمی‌کند، بلکه اندازه‌ده‌های متفاوتی را اندازه‌گیری می‌کنند که مختص روش بوده اما ارتباط نزدیکی با اندازه‌ده موردنظر دارند.

برای استفاده موردنظر در سامانه‌های زیست‌شناختی و اهداف درمانی، ممکن است مشخصه‌یابی اضافی فراتر از مواردی که در این استاندارد ذکر شده‌است نیاز باشد.

این استاندارد اندازه‌دهه‌هایی را که برای مشخصه‌یابی نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها استفاده شده‌است، توصیف می‌کند. استاندارد به ۱۰ بند اصلی زیر تقسیم می‌شود:

- بند ۶: اندازه‌دهه‌های اندازه و شکل؛
- بند ۷: اندازه‌دهه‌های آنالیز شیمیایی؛
- بند ۸: جرم و چگالی؛
- بند ۹: اندازه‌دهه‌های بار؛
- بند ۱۰: اندازه‌دهه‌های بلورینگی؛
- بند ۱۱: اندازه‌دهه‌های خواص نوری؛
- بند ۱۲: اندازه‌دهه‌های الکتریکی و الکترونیکی؛
- بند ۱۳: اندازه‌دهه‌های مغناطیسی؛
- بند ۱۴: اندازه‌دهه‌های گرمایی؛
- بند ۱۵: سایر اندازه‌دهه‌های مربوط به عملکرد.

فناوری نانو- الزامات و توصیه‌ها برای شناسایی اندازه‌ده‌های مشخصه‌یابی نانوشیاء و مواد حاوی آنها

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد مشخص کردن الزامات و ارائه توصیه‌هایی برای شناسایی اندازه‌ده‌ها به‌منظور مشخصه‌یابی نانوشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها و ارزیابی خواص ویژه مرتبط با عملکرد مواد حاوی آنها است. این استاندارد توصیه‌هایی برای اندازه‌گیری‌های مرتبط ارائه می‌دهد.

۲ مراجع الزامی

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

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت ۱: اصطلاحات اصلی

۲-۲ استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۲-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت ۲: نانوشیاء

۳-۲ استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱، فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت ۶: مشخصه‌یابی نانوشیاء

2-4 ISO 20579-4, Surface chemical analysis — Guidelines to sample handling, preparation and mounting — Part 4: Reporting information related to the history, preparation, handling and mounting of nano-objects prior to surface analysis

۳ اصطلاحات و تعاریف

برای اهداف این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف ارائه‌شده در استانداردهای ملی ایران- ایزو شماره‌های ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵، ۲-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵ و ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱ به کار می‌رود!

۱-۳ اصطلاحات اصلی عمومی

۱-۱-۳

نانومقیاس

nanoscale

گستره اندازه تقریباً بین ۱ nm تا ۱۰۰ nm است.

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

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

۲-۱-۳

نانوشیء

nano-object

هر قطعه مجزا از یک ماده با یک، دو و یا سه بعد خارجی نانومقیاس (۱-۱-۳) 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]

۳-۱-۳

کلوخه

agglomerate

مجموعه‌ای از ذرات (۳-۱-۵) یا *انبوهه‌ها* (۳-۱-۴) یا مخلوطی از هر دو آنها که به‌شکلی ضعیف به یکدیگر متصل شده‌اند، به‌طوری که مساحت سطح خارجی حاصل آنها، مشابه مجموع مساحت سطوح تک‌تک اجزاء تشکیل‌دهنده باشد.

یادآوری ۱- نیروهایی که کلوخه را نزدیک به یکدیگر نگاه می‌دارد، نیروهای ضعیفی مانند نیروهای وان‌دروالس و یا درهم‌تافتگی‌های فیزیکی ساده هستند.

یادآوری ۲- کلوخه‌ها به‌عنوان ذرات ثانویه نیز در نظر گرفته می‌شوند و ذرات اصلی منشاء، ذرات *اولیه* (۳-۱-۶) نامیده می‌شوند.

[منبع: زیربند ۳-۱۰، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۴-۱-۳

انبوهه

aggregate

ذره (۳-۱-۵) متشکل از ذراتی با پیوندهای قوی یا جوش خورده که مساحت سطح خارجی حاصل آنها به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مجموع مساحت سطوح تک تک اجزاء تشکیل دهنده باشد.

یادآوری ۱- نیروهایی که یک انبوهه را کنار یکدیگر نگه می‌دارد نیروهای قوی هستند، مانند پیوندهای کووالانسی و یا نتیجه جوش خوردن و گره خوردگی فیزیکی پیچیده هستند.

یادآوری ۲- انبوهه‌ها به عنوان ذرات ثانویه نیز در نظر گرفته می‌شوند و ذرات اصلی منشاء، ذرات اولیه (۳-۱-۶) نامیده می‌شوند.

[منبع: زیربند ۳-۱۱، استاندارد ملی ایران - ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۳-۱-۵

ذره

particle

تکه کوچکی از ماده با مرزهای فیزیکی معین است.

یادآوری ۱- مرز فیزیکی را می‌توان به عنوان فصل مشترک نیز توصیف کرد.

یادآوری ۲- ذره می‌تواند به عنوان یک واحد جابه‌جا شود.

یادآوری ۳- این تعریف کلی از ذره برای *نانوشیاء* (۳-۱-۲) به کار می‌رود.

[منبع: زیربند 1.1، استاندارد ISO 26824: 2013]

۳-۱-۶

ذره اولیه

primary particle

ذره اصلی منشاء (۳-۱-۵) *کلوخه‌ها* (۳-۱-۳) یا *انبوهه‌ها* (۳-۱-۴) یا مخلوطی از هر دو است.

یادآوری ۱- ذرات تشکیل دهنده کلوخه‌ها یا انبوهه‌ها در یک حالت واقعی خاص ممکن است ذرات اولیه باشند، اما غالباً انبوهه‌ها اجزاء تشکیل دهنده هستند.

یادآوری ۲- کلوخه‌ها و انبوهه‌ها ذرات ثانویه نیز نامیده می‌شوند.

[منبع: زیربند 1.4، استاندارد ISO 26824: 2013]

۳-۱-۷

ذره سازنده

constituent particle

جزء قابل تشخیص و یکپارچه از یک ذره (۳-۱-۵) بزرگتر است.

یادآوری- جزء سازنده ممکن است ذره /ولیه (۳-۱-۶) یا ذره ثانویه باشد.

[منبع: زیربند ۳-۳، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۲-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵]

۲-۳ اصطلاحات مرتبط با اندازه‌دهه‌ها

۱-۲-۳

اندازه‌ده

measurand

کمیتی که اندازه‌گیری آن مدنظر است.

یادآوری ۱- تعیین مشخصات یک اندازه‌دهه مستلزم آگاهی از نوع کمیت، توصیف حالت پدیده، جسم یا ماده حامل کمیت شامل هر جزء مرتبط و اجزای شیمیایی درگیر می‌باشد.

یادآوری ۲- در ویرایش دوم VIM و در IEC 60050-300: 2001، اندازه‌دهه به‌عنوان «کمیت خاص مورد اندازه‌گیری» تعریف شده‌است.

یادآوری ۳- اندازه‌گیری، شامل سامانه اندازه‌گیری و شرایطی که اندازه‌گیری تحت آن انجام می‌گیرد، ممکن است پدیده، جسم، یا ماده را طوری تغییر دهد که کمیت مورد اندازه‌گیری با اندازه‌دهه تعریف شده متفاوت باشد. در این مورد، اصلاح کافی لازم است.

مثال ۱- اختلاف پتانسیل بین پایانه‌های یک باتری ممکن است در هنگام استفاده از ولت‌متر با رسانایی داخلی قابل توجه برای انجام اندازه‌گیری، کاهش یابد. اختلاف پتانسیل مدار-باز می‌تواند از مقاومت‌های داخلی باتری و ولت‌متر محاسبه شود.

مثال ۲- طول یک میله فولادی در تعادل با دمای سلسیوس محیطی 23°C متفاوت از طول آن در دمای معین 20°C که اندازه‌دهه موردنظر است، خواهد بود. در این مورد، اصلاح لازم است.

یادآوری ۴- در شیمی، «سنجیدنی»^۱ یا نام یک ماده یا ترکیب، اصطلاحاتی هستند که گاهی اوقات برای «اندازه‌دهه» استفاده قرار می‌گیرند. این به‌کارگیری اشتباه است زیرا این اصطلاحات به کمیت‌ها اشاره نمی‌کنند.

[منبع: زیربند ۳-۳، استاندارد ملی ایران شماره ۴۷۲۳: سال ۱۳۹۰]

۲-۲-۳

اندازه ذره

particle size

بعد خطی یک ذره (۳-۱-۵) که با یک روش اندازه‌گیری مشخص و تحت شرایط اندازه‌گیری ویژه، تعیین می‌شود.

^۱ Analyte

یادآوری - روش‌های مختلف آنالیز بر پایه اندازه‌گیری خواص مختلف فیزیکی هستند. مستقل از خاصیت ذره که واقعا اندازه‌گیری شده است، اندازه ذره می‌تواند به‌عنوان یک بعد خطی، برای مثال به‌عنوان قطر کروی معادل، گزارش شود.

[منبع: زیربند 1.5، استاندارد ISO 26824: 2013]

۳-۲-۳

توزیع اندازه ذره

particle size distribution

توزیع کمیت ذرات (۳-۱-۵) به‌صورت تابعی از/اندازه ذرات (۳-۲-۲) است.

یادآوری ۱ - توزیع اندازه ذره را می‌توان به صورت توزیع انباشتی و یا چگالی توزیع (توزیع کسر حجمی ماده در رده اندازه‌های متفاوت تقسیم بر پهنای همان رده) بیان شود.

یادآوری ۲ - به‌عنوان مثال کمیت می‌تواند براساس عدد، جرم یا حجم باشد.

[منبع: زیربند ۴-۱-۲، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۴-۲-۳

شکل ذره

particle shape

حالت هندسی بیرونی یک ذره (۳-۱-۵) است.

[منبع: زیربند ۴-۱-۳، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۵-۲-۳

نسبت منظری

aspect ratio

نسبت طول یک ذره (۳-۱-۵) به عرض آن است.

[منبع: زیربند ۴-۱-۴، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۶-۲-۳

قطر معادل

equivalent diameter

قطر کره‌ای است که با یک روش اندازه‌گیری معین اندازه ذره، پاسخی معادل با پاسخ ایجاد شده به وسیله ذره (۳-۱-۵) اندازه‌گیری شده دارد.

یادآوری ۱- برای مثال، خواص فیزیکی، سرعت ته‌نشینی یکسان یا جابه‌جایی حجمی محلول الکترولیت یا ناحیه قابل مشاهده در زیر میکروسکوپ هستند. خاصیت فیزیکی که به قطر معادل اشاره دارد، با استفاده از یک پایین‌نویس مناسب بیان می‌شود. [به استاندارد ملی ایران شماره ۱-۸۲۰۱: سال ۱۳۸۴ مراجعه شود]. به‌عنوان مثال، پایین‌نویس "V" برای قطر حجمی معادل و پایین‌نویس "S" برای قطر مساحت سطح معادل استفاده می‌شود.

یادآوری ۲- برای شمارش گسسته ذرات، دستگاه‌های پراکندگی نور، از یک قطر نوری معادل استفاده می‌شود.

یادآوری ۳- سایر پارامترهای ماده به‌عنوان مثال چگالی موثر ذرات در یک سیال نیز برای محاسبه قطر معادل مانند قطر استوکس یا قطر معادل ته‌نشینی، استفاده می‌شوند. توصیه می‌شود پارامترهایی که برای محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرند، نیز گزارش شود.

یادآوری ۴- برای دستگاه‌های لخت، قطر آئرودینامیک (۳-۲-۹) استفاده می‌شود. قطر آئرودینامیک، قطر کره‌ای با چگالی 1000 kg m^{-3} است که سرعت ته‌نشینی معادل با آن ذره مورد مطالعه را دارد.

[منبع: زیربند ۴-۱-۵، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۷-۲-۳

پراکندگی نور

light scattering

تغییر در انتشار نور در فصل مشترک دو محیط با خواص نوری متفاوت است.

[منبع: زیربند ۴-۲-۵، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۸-۲-۳

قطر هیدرودینامیکی

hydrodynamic diameter

قطر معادل (۳-۲-۶) یک ذره (۳-۱-۵) در یک مایع دارای ضریب نفوذ یکسان به‌عنوان یک ذره کره‌ای بدون لایه مرزی در آن مایع است.

یادآوری ۱- در عمل، نانوذرات در محلول می‌توانند غیر کره‌ای، پویا و حل شده باشند.

یادآوری ۲- یک ذره در یک مایع یک لایه مرزی خواهد داشت. این یک لایه نازک از سیال یا مواد جذب شده نزدیک به سطح جامد است که در آن تنش‌های برشی تاثیر قابل توجهی بر توزیع سرعت سیال تأثیر می‌گذارند. سرعت سیال از صفر در سطح جامد تا سرعت جریان آزاد در فاصله مشخصی از سطح جامد، تغییر می‌کند.

[منبع: زیربند ۴-۲-۶، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۹-۲-۳

قطر آئرویدینامیکی

aerodynamic diameter

قطر کره‌ای با چگالی 1 g/cm^3 با همان سرعت نهایی ناشی از نیروی گرانشی در هوای آرام ذره (۳-۱-۵)، تحت شرایط غالب دما، فشار و رطوبت نسبی است.

یادآوری - برگرفته از زیربند 2.2، استاندارد ISO 7708: 1995

[منبع: زیربند ۳-۱-۱، استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۱۰: سال ۱۳۹۱]

۱۰-۲-۳

قطر تحرک پذیری

mobility diameter

قطر تحرک پذیری ذره

particle mobility diameter

قطر معادل تحرک پذیری ذره

particle mobility equivalent diameter

قطر معادل تحرک پذیری

mobility equivalent diameter

قطر کره‌ای حامل بار پایه اولیه با سرعت رانش یکسان ذره (۳-۱-۵) در میدان الکتریکی تحت شرایط غالب دما و فشار است.

یادآوری ۱- قطر تحرک پذیری یک ذره به اندازه، شکل و میزان بار الکتریکی آن (که به فرایند باردار شدن شامل ظرفیت الکتریکی آن، یعنی ظرفیت آن برای باردار شدن الکتریکی با یون‌های دوقطبی هوا بستگی دارد) وابسته است، اما به چگالی آن بستگی ندارد.

[منبع: استاندارد EN 16966: 2018]

۱۱-۲-۳

مساحت سطح ویژه جرمی

mass specific surface area

مساحت سطح کل نمونه تقسیم بر جرم آن است.

یادآوری - یکای مساحت سطح ویژه جرمی، m^2/kg دارد.

[منبع: زیربند ۴-۶-۱، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۱۲-۲-۳

فوتولومینسانس (نوردرخشایی)

photoluminescence

درخشایی ناشی از جذب تابش نوری است.

[منبع: زیربند ۵-۳، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۱۳-۲-۳

اثر رامان

Raman effect

تابش نشریافته همراه با مولکول‌های روشن‌شده با تابش تک‌فام که با یک کاهش یا افزایش انرژی ناشی از برانگیختگی چرخشی یا ارتعاشی، مشخصه‌یابی می‌شود.

[منبع: زیربند ۵-۹، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۱۴-۲-۳

پارامترهای شبکه

lattice parameters

ابعاد خطی و زاویه‌ای سلول واحد بلورشناختی است.

[منبع: زیربند 3.19، استاندارد ISO 21432: 2019]

۱۵-۲-۳

زاویه پراکندگی

scattering angle

زاویه بین جهت ذره (۳-۱-۵) یا فوتون فرودی و جهتی که ذره یا فوتون پس از پراکندگی می‌پیماید.

[منبع: زیربند 4.18، استاندارد ISO 18115-1: 2013]

۱۶-۲-۳

پتانسیل زتا

zeta potential

پتانسیل الکتروجنبشی

electrokinetic potential

تفاوت پتانسیل الکتریکی بین صفحه برشی^۱ و مایع توده است.

یادآوری - پتانسیل الکتروجنبشی با یکای ولت بیان می‌شود.

[منبع: زیربند ۴-۵، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۱۷-۲-۳

فلورسانس

fluorescence

پدیده‌ای است که در آن نور با یک طول موج مشخص به‌وسیله ماده جذب شده و با طول موج بلندتری از آن نشر می‌یابد.

[منبع: زیربند ۴-۵-۱۲، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۱]

۱۸-۲-۳

دمای کوری

Curie temperature

دمایی که در آن یک ماده فرومغناطیس از حالت فرومغناطیس به حالت پارامغناطیس یا بالعکس گذار می‌کند.

[منبع: زیربند ۳-۳، استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۶۷۶: سال ۱۳۹۳]

۱۹-۲-۳

نفوذپذیری گرمایی

thermal diffusivity

نسبت رسانایی گرمایی به ظرفیت گرمایی ویژه در واحد جرم، که سرعتی را توصیف می‌کند که در آن گرما از طریق یک ماده جریان می‌یابد و با یکای m^2/s بیان می‌شود.

[منبع: زیربند ۲-۱، استاندارد ملی ایران شماره ۹-۱۸۴۰۹: سال ۱۳۹۳]

^۱ Slipping plane

۲۰-۲-۳

انحلال پذیری

solubility

بیشینه جرم یک نانوماده که در یک حجم معین از یک حلال خاص تحت شرایط مشخص قابل حل است.

یادآوری - انحلال پذیری با یکای گرم بر لیتر حلال بیان می شود.

[منبع: زیربند ۳-۱۷، استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۹۸۱۶: سال ۱۳۹۷]

۲۱-۲-۳

پراکنش پذیری

dispersibility

مشخصه یا خاصیت کمی یا کیفی از یک ماده منبع ذره‌ای که سهولت پراکنش ماده مذکور در یک فاز پیوسته را ارزیابی می کند.

یادآوری ۱- توزیع یکنواخت فضایی (همگنی) فاز پخش شده، به عنوان یک جزء جدایی ناپذیر از نقطه نهایی مطلوب در نظر گرفته می شود.

یادآوری ۲- *اندازه ذره* (۲-۲-۳) یا *توزیع اندازه ذره* (۳-۲-۳) غالباً به عنوان نقطه پایانی نسبت به معیار تعریف شده برای کاربرد ویژه، مورد استفاده قرار می گیرد.

یادآوری ۳- پراکنش پذیری به یک فرآیند پراکنش معین و زمان فرآیند خاص اشاره دارد.

یادآوری ۴- پایداری پراکنش، علیرغم اینکه یک پدیده مرتبط است، نباید با پراکنش پذیری اشتباه گرفته شود.

[منبع: زیربند 3.6، استاندارد ISO/TS 22107:2021]

۴ کوتاه نوشت‌ها

برای اهداف این استاندارد، کوتاه نوشت‌های زیر به کار می روند.

در فهرست کوتاه نوشت‌های زیر، توجه داشته باشید که بسته به مفهوم، "M" که به عنوان «میکروسکوپی» در نظر گرفته می شود، ممکن است به طور یکسان برای «میکروسکوپ» و "S" که به عنوان «طیفسنجی» در نظر گرفته می شود، ممکن است به طور یکسان برای «طیفسنج» در نظر گرفته شود.

کوتاه نوشت‌ها	معادل انگلیسی	معادل فارسی
1D	one dimensional	یک بعدی
2D	two dimensional	دو بعدی

3D	Three dimensional	سه بعدی
AES	Auger electron spectroscopy	طیف‌سنجی الکترون اوژه
AFM	Atomic force microscopy	میکروسکوپی نیروی اتمی
AGFM	Alternating gradient-field magnetometer	مغناطیس‌سنج گرادیان میدان متناوب
APM	Aerosol particle mass analyser	تحلیلگر جرم ذره هواسل
APS	Aerodynamic particle sizing	اندازه‌سنجی ذره آئروپینامیک
ARPES	Aerodynamic particle sizing	طیف‌سنجی نورگسیل فرابنفش با تفکیک زاویه‌ای
ATR	Attenuated total reflectance	بازتاب کلی تضعیف‌شده
BET method	Brunauer, Emmet and Teller method	روش بت
CLS	Centrifugal liquid sedimentation	ته‌نشینی مرکزگریز مایع
CPC	Condensation particle counter	شمارنده تراکم ذره
CVC	Colloid vibration current	جریان ارتعاش کلویید
DC	Direct current	جریان مستقیم
DCS	Differential centrifugal sedimentation	ته‌نشینی مرکزگریز تفاضلی
DEMC	Differential electrical mobility classifier	طبقه‌بندی‌کننده تحرک‌پذیری الکتریکی تفاضلی
DLS	Dynamic light scattering	پراکندگی پویای نور
DMAS	Differential mobility analysis system	سامانه آنالیز تحرک‌پذیری تفاضلی
DRIFT	Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy	طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ بازتاب انتشاری
DSC	Differential scanning calorimetry	گرماسنجی روبشی تفاضلی
EBSD	Electron backscatter diffraction	پراش الکترون برگشتی
EDX	Energy dispersive X-ray spectroscopy	طیف‌سنجی پرتو ایکس تفکیک انرژی یادآوری - EDS کو‌ته‌نوشت دیگر برای این روش است.
EELS	Electron energy loss spectroscopy	طیف‌سنجی اتلاف انرژی الکترون
EGA	Evolved gas analyser	آنالیز گاز بیرون داده شده (خروجی)
EL	Electroluminescence	درخشایی الکتریکی
ELPI	Electrical low-pressure impaction	برخوردگری کم‌فشار الکتریکی
EPR	Electron paramagnetic resonance	تشدید پارامغناطیسی الکترونی
ESA	Electrokinetic sonic amplitude	دامنه صوتی الکتروجنبشی
ESR	Electron spin resonance	تشدید اسپین الکترون
FFF	Field-flow fractionation	جزء‌جزء کردن جریان با میدان
FIB	Focused ion beam	باریکه یونی متمرکز
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy	طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه
HRTEM	High-resolution transmission electron microscopy	میکروسکوپی الکترونی عبوری با وضوح بالا
LD	Laser diffraction	پراکندگی لیزر
ICP	Inductively coupled plasma	پلاسمای جفت‌شده القایی

ICP-AES	Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy	طیف‌سنجی نشر اتمی-پلاسمای جفت‌شده القایی
ICP-OES	Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy	طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت‌شده القایی
ICP-MS	Inductively coupled plasma mass spectrometry	طیف‌سنجی جرمی- پلاسمای جفت‌شده القایی
IR	Infrared	فروسرخ
LALS	Low angle light scattering	پراکندگی نور زاویه کم
LEED	Low-energy electron diffraction	پراکندگی الکترونی کم‌انرژی
LEIS	Low-energy ion scattering	پراکندگی یونی کم‌انرژی
MALS	Multi-angle light scattering	پراکندگی نوری چندزاویه‌ای
MFM	Magnetic force microscopy	میکروسکوپی نیروی مغناطیسی
MOKE	Magneto-optical Kerr effect	اثر مغناطیسی-نوری کِر
NP	Nanoparticle	نانوذره
NIR	Near infrared	فروسرخ نزدیک
NMR	Nuclear magnetic resonance	تشدید مغناطیسی هسته
NOAA	Nano-objects, and their agglomerates and aggregates	نانوذرات و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها
OPC	Optical particle counter	شمارش‌گر نوری ذره
PAS	Photoacoustic spectroscopy	طیف‌سنجی نورصوتی
PFM	Piezoforce microscopy	میکروسکوپی نیروی پیزو
PL	Photoluminescence	نوردرخشایی
PSD	Particle size distribution	توزیع اندازه ذره
PTA	Particle tracking analysis	تحلیل ردیابی نانوذرت
QMS	Quadrupole mass spectrometer	طیف‌سنج جرمی چهارقطبی
RALS	Right angle light scattering	پراکندگی نور زاویه قائمه
RF	Radio frequenc	بسامد رادیویی
RBM	Radial breathing mode	مد تنفس شعاعی
RHEED	Reflection high-energy electron diffraction	پراش الکترون بازتابی با انرژی بالا
RLC	Resistor, inductor and capacitor	مقاومت، القاگر و خازن
RMM	Resonant mass measurement	اندازه‌گیری جرمی تشدید
SAXS	Small angle X-ray scattering	پراکندگی پرتو ایکس زاویه کوچک
SEM	Scanning electron microscopy	میکروسکوپی الکترونی روبشی
SIMS	Secondary ion mass spectroscopy	طیف‌سنجی جرمی یون ثانویه
SLS	Static light scattering	پراکندگی ایستا نور
SMLS	Static multiple light scattering	پراکندگی چندگانه ایستا نور
SMPS	Scanning mobility particle spectrometer	طیف‌سنج روبشی تحرک‌پذیری ذره
sp-ICP-MS	Single particle ICP-M	طیف‌سنجی جرمی- پلاسمای جفت‌شده القایی تک‌ذره

SPR	Surface plasmon resonance	تشدید پلاسمون سطحی
SP-STM	Spin polarized scanning tunnelling microscopy	میکروسکوپی تونل‌زنی روبشی پولاریزه‌شده با اسپین
SThM	Scanning thermal microscopy	میکروسکوپی گرمایی روبشی
STM	Scanning tunnelling microscopy	میکروسکوپی تونل‌زنی روبشی
STS	Scanning tunnelling spectroscopy	طیف‌سنجی تونل‌زنی روبشی
SQUID	Superconducting quantum interference device	دستگاه تداخل کوانتومی ابررسانا
TEM	Transmission electron microscopy	میکروسکوپی الکترونی عبوری
TGA	Thermogravimetric analysis	آنالیز گرمایزن‌سنجی
TOF	Time of flight	زمان پرواز
TXRF	Total reflection X-ray fluorescence	فلورسانس بازتاب کلی پرتو ایکس
UHV	Ultra-high vacuum	خلأ بسیار بالا
UV-Vis	Ultraviolet-visible	فرابنفش-مرئی
USAXS	Ultra-small angle X-ray scattering	پراکندگی زاویه بسیار کوچک پرتو ایکس
VSM	Vibrating sample magnetometer	مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش
WAXS	Wide angle X-ray scattering	پراکندگی زاویه باز پرتو ایکس
XRD	X-ray diffraction	پراش پرتو ایکس
XRF	X-ray fluorescence spectroscopy	طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس
XPS	X-ray photoelectron spectroscopy	طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو ایکس

۵ رویکردهایی برای مشخص کردن اندازه‌دهها با هدف مشخصه‌یابی نانواشیاء و انبوهه‌ها و کلوخه‌های آنها و مواد حاوی نانواشیاء

۵-۱ روش اجرایی

انتخاب اندازه‌دهها برای مشخصه‌یابی NOAAs از طریق نوع و کیفیت اطلاعات موردنیاز کاربر تعریف می‌شود. معمولاً چندین روش برای یک اندازه‌ده معین در دسترس است و بنابراین روش(ها) یا فنون انتخاب شده باید برای هدف مناسب و با ماده نمونه سازگار باشد.

در این استاندارد، اندازه‌دهها از دسته‌های مختلف توضیح داده شده‌اند. توصیه می‌شود از یک یا بیشتر از یکی از اندازه‌دهها برای مشخصه‌یابی NOAAs استفاده شود. اندازه‌دههایی که باید استفاده شوند به اطلاعات مورد نیاز کاربر بستگی دارند. خیلی اوقات کاربر به بیش از یک اندازه‌ده نیاز دارد؛ به‌عنوان مثال اندازه، شکل، بار و شیمی، بنابراین اندازه‌دهها از زیربندهای مختلف این استاندارد باید در صورت نیاز استفاده شوند.

کاربر نباید «اندازه‌ده» را با «روش» اشتباه کند، دومی یک ابزار برای دستیابی به اولی است. همچنین کاربر باید بداند که روش‌های مختلفی که به‌صورت اسمی نوع یکسانی از اطلاعات را فراهم می‌سازند، به‌عنوان مثال

اندازه، در واقع به دلیل تفاوت وابسته به روش و سایر عوامل، می‌توانند نتایج متفاوتی را به همراه داشته باشند. بنابراین، در صورت عملی بودن، یک رویکرد متعامد (استفاده از روش‌های متعامد چندگانه) باید برای تعیین اندازه‌دهه زمانی که وابستگی‌های روش شناخته‌شده یا مورد تردید هستند، به کار برده شود. از سوی دیگر، اگر روش‌های گوناگون دقیقاً اندازه‌دهه یکسانی را هدف قرار داده‌اند، زمانی که این اندازه‌دهه مشخصاً تعریف شده است، به‌عنوان مثال به‌وسیله اصول بنیادی یا ساختاری، آنگاه نتایج باید همیشه قابل قیاس و مستقل از روشی باشند که آنها را فراهم کرده است، مشروط بر اینکه روش‌ها به‌درستی کالیبره شده باشند.

۵-۲ انواع اندازه‌دهه‌ها

برای کمک به کاربر برای انتخاب اندازه‌دهه‌ها و روش‌ها و فنون معین، این استاندارد اندازه‌دهه‌ها را برای مشخصه یابی نانواشیاء براساس روش‌های رایج مورد استفاده و تفکیک‌شده به «انواع» اندازه‌دهه‌ها توصیف می‌کند. جداول و متن در هر زیربند موارد زیر را توصیف می‌کند:

الف - اندازه‌دهه نهایی: این اندازه‌دهه معمولاً به‌عنوان خروجی نهایی مورد نظر برای اندازه‌گیری است.

ب - اندازه‌دهه ویژه هر روش: اندازه‌دهه‌های اندازه‌گیری شده با دستگاه هستند و به اندازه‌دهه نهایی مرتبط هستند. نتایج به‌دست‌آمده با روش‌های مختلف به‌دلیل تفاوت در اصول اندازه‌گیری فیزیکی زیربنایی روش می‌تواند به‌طور قابل توجهی با یکدیگر متفاوت باشد.

پ - گستره و تفکیک‌پذیری فنون خاص: برای یک‌گانه‌هایی که به اندازه‌دهه خاص بستگی دارند و برای دستگاه‌های تجاری معمول کنونی هستند، استفاده می‌شوند. دستگاه‌های تحقیقاتی پیشرفته می‌توانند تفکیک‌پذیری بالاتری نسبت به آنچه گفته شد، داشته باشند. تفکیک‌پذیری هر اندازه‌دهه و روش متفاوت است و با ابزارهای مختلف محاسبه می‌شود. تفکیک‌پذیری می‌تواند بسته به روش، درصدی از اندازه‌دهه، توان تفکیک دو قله یا عملکرد نهایی یک دستگاه باشد. تفکیک‌پذیری تنها به‌عنوان راهنما ارائه شده است و در اینجا به تفصیل مورد بحث قرار نگرفته است.

ت - محدودیت‌ها و مراجع: مراجع استانداردهای ISO در صورت در دسترس بودن، بیان شده‌اند. برای اطلاعات بیشتر باید این مراجع مورد مشورت قرار گیرند. محدودیت‌ها به محدودیت‌های روش اشاره دارند.

۵-۳ حالت نانواشیاء

نانواشیاء در حالات گوناگونی وجود دارند که خلاصه‌ای از آنها در جدول ۱ بیان شده است. برای آنالیز، روش‌ها مستلزم این هستند که نانواشیاء در شکل‌های مختلف یا فازهای پراکنده شده باشند.

‡ Overarching measurand

‡ Measurand specific to method

ماده مورد آزمون می‌تواند به‌طور کامل فقط از نانواشیاء تشکیل شده باشد یا حاوی درصدی از نانواشیاء باشد که این درصد ممکن است به‌وسیله اندازه‌دهی‌های مختلف مثل تعداد یا جرم و در نتیجه روش‌های مختلف، اندازه‌گیری شود. درجه و طبیعت پراکنش نانواشیاء نیز اهمیت دارد و توصیه می‌شود در نظر گرفته شود. به بند ۱۵ مراجعه شود.

جدول ۱- حالات مختلف نانواشیاء

فاز پراکنده			فاز پیوسته
جامد	مایع	گاز	
نانوچندسازه، مخلوط نانوپودر/پودر نانو ساختار	ماده نانومتخلخل	ماده نانومتخلخل نانوکف جامد	جامد
نانوتعلیق/کلوئید	نانوامولسیون	نانوکف مایع	مایع
نانوهواسل (جامد)	نانوهواسل (مایع)	(به کار برده نمی‌شود)	گاز

عوامل دیگری که باید در نظر گرفته شوند شامل آماده‌سازی نمونه است. در اینجا، حالت نانواشیاء قبل، حین و بعد از آماده‌سازی نمونه و قبل از آنالیز می‌تواند به‌طور قابل توجهی متفاوت باشد و نتایج اندازه‌گیری شده را تحت تاثیر قرار دهد. مثال‌ها شامل نوع و مدت زمان امواج‌دهی با صوت، متغیرها، روش‌های استخراج و رسوب می‌شود.

۶ اندازه‌دهی‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها

۱-۶ کلیات

شکل، اندازه میانگین و توزیع اندازه ذرات NOAA تاثیر زیادی بر خواص ذاتی آنها یا خواص مواد چندسازه حاوی آنها دارند. بسپارها و کشسان‌های تقویت‌شده با پرکننده‌های در اندازه نانو، مواردی به‌عنوان نمونه هستند. نانواشیاء و مواد حاوی آنها باید در طول چرخه عمر خود مشخصه‌یابی شوند. چندین مرحله زمانی قابل شناسایی را می‌توان تعیین کرد که در آن مشخصه‌یابی می‌تواند مناسب باشد. این موارد عبارتند از: پس از سنتز، بعد از حمل و نقل، بعد از ذخیره‌سازی و پردازش قبل از استفاده. این مشخصه‌یابی اجازه بررسی اینکه آیا اندازه‌دهی خاصی را که برای آن‌ها طراحی شده‌اند را نمایش می‌دهند یا خیر، فراهم می‌کند. این مورد حتی اگر رابطه بین مشخصه‌های ذاتی نانواشیاء و خاصیت کاربردی مورد نظر (به‌عنوان مثال نوری، الکتریکی و مکانیکی) به‌طور کامل قابل درک نباشد، برقرار است. با توجه به اندازه و شکل، مشخصه‌یابی آن‌ها توصیه می‌شود به‌شکل خشک و یا پراکنه مایع، بسته به روش آنالیزی مورد استفاده، انجام گیرد. با توجه به احتمال اثرات توکسیکولوژیکی برخی از نانواشیاء، روش‌های اندازه‌گیری در بستر هوا، چه در محل کار و چه در هوای محیط در مجاورت خط تولید می‌تواند مفید باشد. در این مورد، اندازه‌گیری‌های درجا و آبی ترجیح داده می‌شوند زیرا اجازه پایش بر

افت و خیز انتشار را می‌دهند، درحالی‌که روش‌های آزمایشگاهی کلاسیک بعد از نمونه‌برداری روی پایه مناسب استفاده می‌شوند. در زمان استفاده از موادی که حاوی نانوآشیاء هستند، برخی از آنها می‌توانند در نتیجه سایش مکانیکی یا جوی مانند برش و یا سوراخ‌کاری مصالح ساختمانی، استهلاک رنگ‌ها یا جلادهنده‌ها، از ماده آزاد شوند. در این مورد اندازه‌گیری‌ها در هوا نیز موردنیاز است. نانوآشیاء را می‌توان بر روی سطوح پوشش داد تا به‌عنوان مثال خواص ضدباکتریایی، نوری یا خودتمیزشوندگی^۱ را ارائه دهند. سپس اندازه‌گیری‌های ویژه‌ای از پارامترهای اندازه و شکل روی سطح مواد موردنیاز است.

اندازه‌دهی ویژه و نهایی با توجه به روش‌های مورد استفاده و فاز پیوسته حاوی نانوآشیاء، متفاوت هستند. این اندازه‌دهی و روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی آنها در زیر ارائه شده‌است.

۲-۶ اندازه‌دهی‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل

۱-۲-۶ مرور کلی

توزیع اندازه ذره (PSD) فهرستی از مقادیر عددی است که نشان‌دهنده تعداد نسبی و یا در موارد نادر تعداد مطلق ذرات موجود در طبقه‌ها یا خانک‌های^۲ اندازه مختلف است که از کوچک‌ترین تا بزرگ‌ترین اندازه ذره را شامل می‌شود. تعدادی عوامل ارزشیابی متفاوت مقدار (انواع) وجود دارد که مرتبط‌ترین آنها عبارتند از:

الف- تعداد ذرات در یک طبقه اندازه؛

ب- مساحت سطح کل ذرات در یک طبقه اندازه؛

پ- حجم کلی ذرات در یک طبقه اندازه؛

ت- جرم ذرات در یک طبقه اندازه.

عوامل ارزشیابی مانند شدت نور پراکنده‌شده برای به‌دست آوردن توزیع‌های اندازه ذره در روش‌های استفاده از پراکنندگی نور (به‌عنوان مثال DLS) به کار می‌روند. این PSDs را می‌توان با استفاده از مدل‌های ریاضی خاص به توزیع‌های اندازه ذره عددی یا حجمی تبدیل کرد که اغلب به فرضیاتی در مورد شکل کروی ذرات، چگالی یکنواخت ذرات یا دانش سایر پارامترهای فیزیکی مانند ضریب شکست نیاز دارند. در اینجا اصطلاح «ذره» به NOAAs اشاره دارد زیرا بسیاری از روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری اندازه قادر نیستند بین آنها تمایز قائل شوند و توزیع‌های اندازه ذره جداگانه را برای تک‌تک نانوآشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها به‌دست آورند. شکل، صورت هندسی بیرونی یک ذره است. هنگامی که روش‌های مشاهده مستقیم مانند میکروسکوپی به کار می‌روند، اندازه‌دهی خاص‌تری می‌توانند در نرم‌افزار تحلیل تصویر برای توصیف شکل یک شیء تعریف شوند.

^۱ Fluctuations

^۲ Self-washing

^۳ Bins

اندازه‌ده‌های رایج عبارتند از کشیدگی فِرِت^۱ (نسبت بین بیشینه و کمینه قطر فِرِت که در آن قطر فِرِت فاصله بین دو خط مماسی موازی در یک جهت معین است)، نسبت منظری (نسبت طول یک ذره به عرض آن) و تحدب (نسبت بین مساحت تصویر شده شیء و مساحت بدنه محدب آن).

توزیع شکل ذرات حاوی مقدار ذرات در طبقه‌های شکلی مختلف را می‌توان با استفاده از تحلیل تصویر به‌دست آورد. مقدار توزیع بر اساس تعداد ذره، مساحت و یا حجم آن طبقه‌بندی می‌شود.

یادآوری - هنگام به‌کارگیری تعریف نسبت منظری (یک پارامتر ۲ بعدی) در مورد مواد با شکل‌های مختلف (که ۳ بعدی هستند) باید دقت شود. طول‌های مرتبط به ریخت‌شناسی نانوشیء بستگی دارد، به‌عنوان مثال، ذره در مقابل میله در مقابل صفحه.

۲-۲-۶ استانداردهای عمومی مرتبط

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

ISO 9276-2, Representation of results of particle size analysis - Part 2: Calculation of average particle sizes/diameters and moments from particle size distributions

ISO 9276-3, Representation of results of particle size analysis - Part 3: Adjustment of an experimental curve to a reference model

ISO 9276-4, Representation of results of particle size analysis - Part 4: Characterization of a classification process

ISO 9276-5, Representation of results of particle size analysis - Part 5: Methods of calculation relating to particle size analyses using logarithmic normal probability distribution

ISO 9276-6, Representation of results of particle size analysis - Part 6: Descriptive and quantitative representation of particle shape and morphology

ISO 26824, Particle characterization of particulate systems - Vocabulary

ISO/TS 80004-6, Nanotechnologies - Vocabulary- Part 6: Nano-object characterization

۳-۶ اندازه‌ده‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل در هواسل‌ها

۱-۳-۶ مرور کلی

نانواشیاء در تمام بسترهایی که در آنها توزیع می‌شوند در معرض انبوهه شدن و کلوخه شدن هستند. این امر به‌ویژه در مورد هواسل‌ها که انبوهه‌ها و کلوخه‌ها در اغلب شرایط وجود دارند، صادق است. در نتیجه، روش‌های اندازه‌گیری نه تنها در گستره نانومقیاس بلکه برای ذرات بالای ۱۰۰ nm نیز باید قابل اجرا باشند.

جدول ۲ خلاصه‌ای از اندازه‌ده‌ها و روش‌های مورد استفاده برای تعیین اندازه و شکل نانواشیاء در هواسل‌ها را ارائه می‌دهد. در این جدول و جدول‌های بعدی در این استاندارد، اصطلاح «اندازه‌ده نهایی» به پارامتر فیزیکی اشاره دارد که روش مربوط به اندازه‌گیری آن در نظر گرفته شده است. اصطلاح «اندازه‌ده(های) ویژه هر روش»

^۱ Feret elongation

به پارامتر فیزیکی اشاره دارد که در واقع به وسیله آن روش، اندازه‌گیری می‌شود. به‌عنوان مثال، در برخوردگری الکتریکی، لختی ذرات، اندازه‌دهنده ویژه است زیرا مسیر حرکت آنها را در افزاره و بنابراین صفحه‌ای که آنها را جمع‌آوری می‌کند، مشخص می‌کند. این صفحه با یک طبقه اندازه قطر آئرودینامیک خاص مطابقت دارد (مقدار ذرات روی این صفحه- و روی همه صفحات دیگر- توزیع اندازه ذره را تولید می‌کند که اندازه‌دهنده نهایی است). اصطلاح «تفکیک‌پذیری» به کمینه اندازه قابل‌دستیابی از طریق روش به‌کار رفته اشاره نمی‌کند (این کمینه اندازه با «گستره اندازه متداول» مشخص می‌شود)، بلکه به توانایی تمایز دو اندازه متفاوت اشاره دارد: بنابراین عمدتاً با تعداد **گزینه‌های** اندازه‌گیری که معمولاً به وسیله افزاره‌ها ارائه می‌شوند، مرتبط است.

«محدودیت» به اشکال اصلی روش اشاره دارد. این محدودیت می‌تواند گستره غلظت، زمان اندازه‌گیری یا حداقل اندازه قابل‌دستیابی باشد. حتی اگر یک روش خاص، PSD وزن‌دهی شده عددی را بدهد، گستره غلظت به صورت غلظت‌های جرمی داده می‌شود زیرا قبل از اندازه‌گیری به راحتی مشخص می‌شود، برای مثال، با نمونه‌برداری از فیلترها.

جدول ۲ شامل روش‌هایی است که آنی اندازه‌گیری می‌کنند، به استثنای برخوردگری آبشاری در انتهای جدول که دو روش میکروسکوپی را مشخص می‌کند. روش‌های آنی فقط اندازه را اندازه‌گیری می‌کنند درحالی‌که روش‌های میکروسکوپی می‌توانند علاوه بر اندازه، شکل را نیز اندازه‌گیری کنند.

جدول ۲- اندازه‌دهنده‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل در هواسل‌ها

اندازه‌دهنده نهایی	اندازه‌دهنده ویژه هر روش	روش	گستره اندازه	تفکیک‌پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
توزیع اندازه وزن‌دهی شده عددی، به‌طوریکه «اندازه» قطر آئرودینامیکی معادل ذره است.	آشکارسازی الکتریکی از برخوردگری	ELPI	قطر آئرودینامیکی معادل میانگین بین ۶ nm و ۱۰ μm	معمولاً ۱۳ طبقه تا ۵۰۰ طبقه یا خانک اندازه تقسیم‌شده در کل گستره اندازه	گستره غلظت: ۱۰ μg/m ³ تا ۱۰۰ mg/m ³ چگالی ذره باید مشخص باشد. مشکلات واگشتی ذره و انتقال بار	[1]
توزیع اندازه وزن‌دهی شده جرمی	لختی	برخوردگری آبشاری	۱۰ nm تا ۱۸ μm (بسته به طراحی خاص)	معمولاً بین ۳ طبقه تا ۱۴ طبقه یا خانک مجزا در کل گستره اندازه		

۱ Electrical impaction

جدول ۲ (ادامه)

[2]	اندازه‌گیری حداقل ۱ دقیقه زمان می‌برد- با پدیده‌های سریع سازگار نیست.	زیر nm	۳ nm تا ۱۰۰۰ nm	DMAS	تحرك پذیری الکتریکی	تعداد- توزیع اندازه تحرك پذیری الکتریکی
[3]	برای NOAA، فقط برای انبوهه‌ها و کلوخه‌های $0.5 \mu\text{m}$ (مورد نانو صفحه) قابل استفاده است. ضریب شکست باید مشخص باشد.	$0.1 \mu\text{m}$	$0.5 \mu\text{m}$ تا $20 \mu\text{m}$	OPC	سطح مقطع پراکندگی	توزیع اندازه وزن دهی شده عددی، «اندازه» قطر نوری معادل ذرات است.
[4]	تفکیک پذیری برای ذرات غیر کروی پایین تر است.	$0.1 \mu\text{m}$	$0.5 \mu\text{m}$ تا $20 \mu\text{m}$	APS	سرعت	توزیع اندازه آنرو دینامیکی وزن دهی شده جرمی
[5], [6]	کار آیی نمونه برداری نوعی یک کمینه (۱۰٪) در 20 nm تا 30 nm دارد. TEM یک روش آنی نیست.	0.2 nm	1 nm تا $10 \mu\text{m}$	نمونه بردار ذرات با TEM و تحلیل تصویر	اندازه و شکل تصویر شده دوبعدی NOAA. توزیع شکل و اندازه هندسی وزن دهی شده عددی	اندازه و شکل NOAA
[7]	نیاز به آماده سازی نمونه روی یک بستره دارد. اندازه گیری آهسته و مجزا. SEM یک روش آنی نیست.	5 nm	5 nm تا 1 mm	SEM از فیلترها	اندازه و شکل تصویر شده دوبعدی NOAA. توزیع شکل و اندازه هندسی وزن دهی شده عددی	اندازه و شکل NOAA

یادآوری - در جدول ۲ و جدول‌های بعدی، گستره اندازه پارامترها، تفکیک‌پذیری و محدودیت‌ها به روش اندازه‌گیری مربوط می‌شوند.

۲-۳-۶ استانداردهای عمومی مرتبط

ISO/TR 18196, Nanotechnologies - Measurement technique matrix for the characterization of nano-objects

ISO/TR 27628, Workplace atmospheres - Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols- Inhalation exposure characterization and assessment

۳-۳-۶ برخوردگری کم‌فشار الکتریکی (ELPI)

در روش ELPI، ذرات هواسل ابتدا با یک اثر تاجی شکل^۱ باردار می‌شوند و به یک برخوردگر کم‌فشار مجهز به چندین صفحه فرستاده می‌شوند. بزرگ‌ترین ذرات (یا انبوهه‌ها و کلوخه‌ها)، به علت حرکت لختی‌شان، روی صفحات بالایی جمع شده در حالی که کوچک‌ترین آنها، روی صفحات پایینی جمع می‌شوند. هر صفحه مجهز به یک سامانه شمارشگر الکتریکی است که سیگنالی متناسب با بار الکتریکی دریافت شده به وسیله صفحه می‌فرستد. به این ترتیب یک عدد PSD حاوی تعدادی از طبقه‌های اندازه برابر با تعداد صفحات در برخوردگر به دست می‌آید.

اندازه‌دهی ویژه مرتبط با این روش، لختی اشیاء است. این اندازه‌دهی مستقیماً با چگالی و قطر آئرویدینامیک برای یک جریان گاز معین، مرتبط است. بنابراین، هر صفحه ذرات را در یک گستره قطر آئرویدینامیکی معین با چگالی مشخص جمع‌آوری می‌کند.

در هر صفحه، تعداد کل ذرات جمع‌آوری‌شده در گستره جرم یا قطر متناظر، از سیگنال جریان الکتریکی اندازه‌گیری‌شده به دست می‌آید. این امر پس از تعیین تجربی کارکرد بازده شارژر امکان‌پذیر است. برای هر قطر آئرویدینامیکی، این کارکرد اتلاف ذره در داخل شارژر، کسری از ذرات باردار و بار متوسط آنها را در نظر می‌گیرد. چگالی ذرات باید معلوم باشد. توزیع‌های اندازه وزن‌دهی شده عددی را می‌توان با این روش به دست آورد.

طراحی‌های پیشرفته اخیر (برخوردگرهای کم‌فشار الکتریکی با تفکیک‌پذیری بالا) می‌توانند توزیع اندازه را تا ۵۰۰ طبقه اندازه فراهم کنند. فناوری برخوردگری خاص آنها، آنالیز شیمیایی پس از اندازه‌گیری ذرات طبقه‌بندی شده براساس اندازه را ممکن می‌سازد.

چون در این روش فرض بر این است که ذرات کروی هستند، قادر به ارائه اطلاعات مستقیم در مورد شکل نانو اشیاء نیست. با این حال، برای به دست آوردن اطلاعات شکل، بررسی ذرات مجزا روی صفحات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی امکان‌پذیر است.

^۱ Corona effect

^۲ Impactor

۴-۳-۶ برخوردگرهای آبخاری

طراحی‌های دیگر عبارتند از برخوردگرهای آبخاری ۱۳ و ۱۴ مرحله‌ای که ذرات را براساس لختی آنها به ۱۳ یا ۱۴ کسره‌های اندازه در گستره ۱۶ nm تا ۱۰ μm طبقه‌بندی می‌کنند. هر مرحله قبل و بعد از اندازه‌گیری وزن می‌شود؛ بنابراین، توزیع اندازه ذره وزن‌دهی شده جرمی به دست می‌آید.

برخوردگرهای نهشتی یکنواخت میکرو-روزنه، برخوردگرهای آبخاری هستند که برای جزء کردن ذرات هواسل براساس اندازه آئرودینامیک آنها استفاده می‌شوند. برخوردگرهای نهشتی با سایر برخوردگرهای آبخاری رایج از این نظر تفاوت دارند که از تعداد زیادی افشانک‌های میکرو-روزنه به منظور کاهش سرعت جت و افت فشار، به حداقل رساندن واگشت ذره و بازهمراه‌بری^۲ و افزایش کارایی جمع‌آوری استفاده می‌کنند. این امر منجر به مشخصه‌های اندازه-برش تیزتر و توزیع‌های اندازه وزن‌دهی شده جرمی درست‌تر می‌شود.

یادآوری - برخوردگرهای الکتریکی معمول، گستره اندازه را در مرتبه ۱۶ nm تا ۱۰ μm تعیین می‌کنند. گستره غلظت جرمی قابل‌اندازه‌گیری به اندازه بستگی دارد. به عنوان مثال، برای یک قطر آئرودینامیک ۱۰۰ nm، این گستره حدود ۱۰ μg/m³ تا ۱۰۰ mg/m³ است.

۵-۳-۶ سامانه آنالیز تحرک‌پذیری تفاضلی

یک سامانه آنالیز تحرک‌پذیری تفاضلی، که تحت عنوان SMPS نیز شناخته می‌شود، تلفیقی از یک طبقه‌بندی‌کننده تحرک‌پذیری الکتریکی تفاضلی (DEMC) و یک شمارنده تراکم ذره (CPC) است. در اینجا، ذرات در ابتدا به وسیله یک منبع رادیواکتیو، طبق قانون توزیع بار تعادلی فوش^۳، باردار می‌شوند. یک میدان الکتریکی قابل‌تنظیم بین دو الکترود اعمال می‌شود تا مسیر اشیاء باردار وارد شده به DEMC را منحرف کند. از آنجائی‌که این انحراف متناسب با تحرک‌پذیری الکتریکی است، هر تنظیم ولتاژ یک طبقه اندازه خاص از اشیاء را از سامانه استخراج می‌کند. روش DEMC اساساً به عنوان یک فیلتر عبور نوار^۴ عمل می‌کند و تنها به اشیاء با یک اندازه تحرک‌پذیری خاص اجازه خروج از ستون را می‌دهد. تحرک‌پذیری الکتریکی با نسبت بار به اندازه تعیین می‌شود. برای کره‌های تک‌بار، اندازه معادل قطر کروی هندسی شیء است. برای اشیاء غیرکروی، اندازه برابر با قطر تحرک‌پذیری کروی معادل است که نیروی پسا^۵یکسانی را با شیء اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. یک شمارنده تراکم ذره قرار داده شده در خروجی، غلظت عددی هر طبقه را با استفاده از روش مبتنی بر نور ثبت می‌کند. بنابراین یک توزیع اندازه تحرک‌پذیری معمول در گستره اندازه ۳ nm تا ۱۰۰۰ nm به دست می‌آید، اگرچه دستگاه‌های جدید گستره اندازه را تا ۰٫۵ nm بهبود می‌بخشند. ستون‌های مختلف (DEMCs) گستره‌های اندازه متفاوتی را در DMAS کلاسیک پوشش می‌دهند و CPCs مختلف حد تشخیص‌های متفاوتی را نشان می‌دهند. اندازه‌ده ویژه دخیل در این روش، تحرک‌پذیری الکتریکی است که به طور مستقیم با بار و

^۱ Micro-orifice uniform deposit impactors

^۲ Reentrainment

^۳ Fuchs

^۴ Band pass filter

^۵ Drag force

قطر آئرویدینامیک اشیاء مرتبط است چراکه قانون بار آن‌ها شناخته شده است. اطلاعات مربوط به شکل اشیاء را نمی‌توان به‌طور مستقیم به‌دست آورد، اما مدل‌هایی برای برازش داده‌ها به یک تابع شکل شناخته‌شده، برای مثال توزیع‌های طول، برای استخراج وجود دارند. برای اشیاء بسیار ناهمسانگرد مانند نانوالیاف، قانون بارداری شدن می‌تواند غیرقابل‌پیش‌بینی باشد، که منجر به عدم قطعیت‌های زیادی در نتایج می‌شود.

برخی از طراحی‌های جایگزین DEMC وجود دارند که در آنها یکی از الکترودها به چند بخش تقسیم می‌شود که هر کدام به الکتروسنج‌های خیلی حساس متصل هستند. این امر امکان بسط گستره اندازه روش را معمولاً از ۱۰ nm تا ۱۰ μm می‌دهد. طیف‌سنج اندازه ذره با تحرک‌پذیری بالا مثالی از چنین طراحی است و می‌تواند ذرات را در گستره از ۵-۶ nm تا ۵۶۰ nm با مجموع ۳۲ کانال اندازه‌گیری کند.

این طراحی‌ها خیلی سریع‌تر از یک DMAS کلاسیک هستند چراکه می‌توانند اندازه‌گیری‌ها را در بیش از یک هرتز انجام دهند.

۶-۳-۶ استانداردهای مرتبط

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

EN ISO 28439, Workplace atmospheres - Characterization of ultrafine aerosols/nano aerosols - Determination of the size distribution and number concentration using differential electrical mobility analysing systems

۶-۳-۷ شمارشگر نوری ذره

هواسل حاوی نانوآشیاء به درون سلولی که با باریکه لیزر روشن شده، جریان می‌یابد. آشیایی که از باریکه عبور می‌کنند نور را براساس اندازه و شکل ذرات خود پراکنده می‌کنند. این پدیده ناشی از اثرات فیزیکی پراش، بازتاب و شکست است. یک آشکارساز نوری، درخش‌های نور دریافتی در یک زاویه خاص را به تپ‌های الکتریکی تبدیل می‌کند. با استفاده از ارتفاع و نرخ شمارش تپ‌ها، غلظت عددی و قطر کروی معادل را می‌توان از نظریه «مای»^۴ به‌دست آورد. برای توزیع‌های اندازه دقیق، ضریب شکست ذرات باید معلوم باشد. معمولاً این دستگاه با استفاده از یک هواسل تک‌پراکنه با ضریب شکست معین مانند لاتکس پلی‌استایرن کالیبره می‌شود. توزیع اندازه حاصل که به‌وسیله دستگاه نمایش داده می‌شود، براساس قطر معادل است. محاسبات پراکندگی مای، هم برای مدل کردن پاسخ دستگاه‌ها و هم برای معکوس کردن داده‌های حاصله، استفاده شده‌اند اما به آگاهی از ضریب‌های شکست و شکل ذره محدود می‌شوند. با استفاده از این شمارشگرها، توزیع اندازه معادل نوری وزن‌دهی‌شده عددی را می‌توان در گستره ۰٫۳ μm تا ۲۰ μm اندازه‌گیری کرد. این گستره اندازه ممکن است برای مقیاس نانو نامربوط به‌نظر آید، اما مکمل اندازه‌گیری‌های SMPS است زیرا نانوذرات غالباً در هواسل‌ها به شکل انبوهه‌ها و کلوخه‌ها یافت می‌شوند.

^۴ Flashes

^۴ Mie theory

ISO 13320, Particle size analysis- Laser diffraction methods

ISO 21501-1, Determination of particle size distribution - Single particle light interaction methods - Part 1: Light scattering aerosol spectrometer

۹-۳-۶ اندازه‌سنجی ذره آئروپنایمیک

در اندازه‌سنجی ذره آئروپنایمیک (APS)، هواسل از طریق یک افشانک پمپ شده و شتاب می‌گیرد. ذرات خروجی از جت سرعتی دارند که به مساحت سطح و جرم آنها بستگی دارد. ذرات از دو باریکه لیزری عبور می‌کنند که با فاصله معلومی از هم جدا شده‌اند و دو تپ نور پراکنده‌شده را تولید می‌کنند. اندازه‌گیری تاخیر زمانی بین دو تپ امکان تعیین سرعت را می‌دهد. قطر آئروپنایمیک ذرات (اندازه نهایی) از سرعت اندازه‌گیری شده، با فرض شکل کروی و چگالی واحد، به دست می‌آید. یک توزیع اندازه ذرات جرمی در گستره اندازه $0.5 \mu\text{m}$ تا $20 \mu\text{m}$ به دست می‌آید، بنابراین این روش فقط برای اندازه‌گیری انبوه‌ها و کلوخه‌های نانواشیاء مناسب است و برای خود نانواشیاء مناسب نیست.

۱۰-۳-۶ TEM تلفیق‌شده با نمونه‌گیرهای توری TEM

روش TEM یک روش میکروسکوپی است که در آن یک باریکه از الکترون‌ها از میان یک آزمون نازک عبور می‌کند تا تصویری شکل بگیرد. توزیع‌های اندازه و شکل هندسی وزن‌دهی شده عددی را می‌توان با استفاده از تحلیل تصویری میکروگراف‌های TEM، با برخی موانع و محدودیت‌ها، به دست آورد. معمولاً امکان به دست آوردن توزیع‌های اندازه ذره مجزا برای نانواشیاء وجود ندارد، زیرا جداسازی ذرات اولیه در یک انبوه یا کلوخه، به‌ویژه با معیارهای خودکار مورد استفاده با نرم‌افزار، بسیار مشکل است. نانوالیاف بسیار بلند، مانند نانولوله‌های کربنی را به‌سختی می‌توان به‌عنوان الیاف مجزا از هم جدا کرد زیرا اغلب درون کلوخه‌های پیچیده درهم‌تنیده‌اند. هنگام استفاده از افزاره‌های نمونه‌برداری، نرخ جریان و مدت‌زمان نمونه‌برداری باید با دقت تنظیم شوند تا مقدار ذرات جمع‌آوری شده بهینه شود. در واقع، غلظت‌های پایین می‌تواند آمار شمارش را محدود کند در حالی که غلظت‌های بالا می‌توانند مانع شمارش شده و اشیاء هم‌پوشان به‌صورت ذره منفرد با نرم‌افزار دیده شوند. کالیبراسیون اولیه اندازه پیکسل باید با استفاده از مواد مرجع گواهی شده انجام شود.

نرم‌افزار تحلیل تصویر، دسترسی به توزیع‌های اندازه و شکل هندسی وزن‌دهی شده عددی (که به‌شکل قطر دایره‌ای معادل یا پارامترهای ابعادی گوناگون مانند طول، عرض، قطرهای فرت، محیط و مساحت تصویر شده بیان می‌شود) را فراهم می‌کند. معمولاً به شناسایی و جداسازی اشیاء از پس‌زمینه با استفاده از آستانه شدت اعمال شده بر یک تصویر سطح خاکستری نیاز است و عموماً به اطلاعات دو بعدی محدود می‌شود. توزیع‌های شکل را نیز می‌توان برای مثال با اندازه‌گیری نسبت منظری مجزای NOAA (طول تقسیم بر عرض) به دست

۴ Feret diameters

آورد. روش TEM امکان تفکیک بین ذرات تشکیل دهنده را که می‌توانند ذرات اولیه و یا کلوخه‌ها و انبوهه‌ها باشند، فراهم می‌کند.

افزارهای نمونه‌برداری، جمع‌آوری ذرات هواسل را روی توری‌های TEM با تحلیل متعاقب در دستگاه برای به‌دست آوردن اطلاعات اندازه و شکل، ممکن می‌سازند.

روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری نمونه در دسترس هستند. یک روش از توری‌های سوراخ‌دار TEM برای جمع‌آوری ذرات از طریق فیلتر کردن با استفاده از یک افزاره پمپ‌زنی استفاده می‌کند. سپس توری در یک میکروسکوپ الکترونی عبوری مورد بررسی قرار می‌گیرد. بازده جمع‌آوری - درصد ذرات حفظ‌شده روی توری برای یک طبقه اندازه معین - به اندازه ذرات بستگی دارد. از فیلترهای هپا^۱ قابل حل نیز می‌توان استفاده کرد.

مثال: برای یک دستگاه با نرخ پمپ‌زنی ۰/۳ لیتر در دقیقه، بازده جمع‌آوری دارای حداقل مقدار حدود ۱۵٪ در ۲۰ nm تا ۳۰ nm است و در اندازه‌های پایین‌تر و بالاتر، بیشتر است [5].

روش دیگر از یک میدان الکتریکی تولیدشده به‌وسیله یک الکتروود برای رسوب‌دهی ذرات باردارشده هواسل روی یک توری TEM استفاده می‌کند. بازده جمع‌آوری به چندین پارامتر (تنش الکتریکی و قطر الکتروود) بستگی دارد. اندازه‌گیری غلظت با CPC قبل و بعد از نمونه‌برداری، بازده جمع‌آوری کلی ۵۰٪ را فراهم می‌کند. اما بازده واقعی جمع‌آوری در توری‌های TEM، آن‌چیزی که با TEM اندازه‌گیری شده، کم‌تر از ۱٪ است که به معنی اتلاف شدید در محلی درون افزاره است. ایراد این روش این است که ذرات باید باردار شوند.

۱۱-۳-۶ استانداردهای مرتبط

ISO/TS 10797, Nanotechnologies - Characterization of single-wall carbon nanotubes using transmission electron microscopy

ISO 13322-1, Particle size analysis - Image analysis methods - Part 1: Static image analysis methods

ISO 13322-2, Particle size analysis - Image analysis methods - Part 2: Dynamic image analysis methods

ISO 21363, Nanotechnologies - Measurements of particle size and shape distributions by transmission electron microscopy

ISO/TR 27628, Workplace atmospheres - Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols - Inhalation exposure characterization and assessment

ISO 29301, Microbeam analysis- Analytical electron microscopy - Methods for calibrating image magnification by using reference materials with periodic structures

۱۲-۳-۶ میکروسکوپی الکترونی روبشی

در روش SEM، یک باریکه الکترونی تولید شده، با ولتاژ بالا شتاب می‌گیرد، روی سطح نمونه متمرکز شده و آن را روبش می‌کند. در هر نقطه روبش‌شده روی سطح، برهم‌کنش نمونه-الکترون سیگنال‌های خاصی را

^۱HEPA

می‌دهد که در میان آنها تصویربرداری الکترون ثانویه بازمودی از ریخت‌شناسی سطح را ارائه می‌کند. تصویربرداری الکترون پس‌پراکنده اطلاعاتی مربوط به ترکیب شیمیایی موضعی ارائه می‌دهد و فوتون‌های پرتو ایکس را می‌توان برای به‌دست آوردن اطلاعات در مورد آنها به‌کار برد. میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی همچنین می‌توانند در حالت عبوری کار کنند که اندازه‌گیری اندازه و شکل را تسهیل می‌کنند.

همچنین می‌توان از تحلیل خودکار تصویر نیز استفاده کرد. آستانه‌گذاری تصویر در این روش از میکروسکوپ الکترونی عبوری سخت‌تر است به این دلیل که تباین در تصویربرداری ثانویه که بهترین تفکیک‌پذیری عرضی را ایجاد می‌کند، به اندازه کافی قوی نیست و به ضخامت نانوشیء و عدد اتمی و نیز جهت‌گیری موضعی سطح با توجه به باریکه الکترونی بستگی دارد. تفکیک‌پذیری نهایی قابل‌دستیابی، بسته به دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد استفاده، ۱ nm تا ۵ nm است. اطلاعات اندازه و شکل معمولاً به اطلاعات دو بعدی محدود می‌شود.

دستگاه مورد استفاده ممکن است قدرت تفکیک کافی برای تشخیص ذرات بسیار کوچک (> ۱۰ nm) را نداشته باشد. میکروسکوپ الکترونی روبشی می‌تواند بین ذرات تشکیل‌دهنده و ذرات انبوه‌ها و کلوخه‌ها تمایز قائل شود.

ذرات هواسل به‌وسیله افزاره‌های پمپ‌زنی خاص با نرخ جریان کم یا زیاد، روی فیلترها جمع‌آوری می‌شوند. این افزاره‌ها را می‌توان با سرفیلترهای مختلف برای نمونه‌برداری از تمام مواد ذره‌ای یا ذرات کوچک‌تر از ۱۰ μm، ۲٫۵ μm یا ۰٫۱ μm نصب کرد. این فیلترها را همچنین می‌توان فلزاندود کرد تا امکان مشاهده آنها در میکروسکوپ الکترونی روبشی پس از انتقال به پایه یا نگهدارنده‌های نمونه مناسب، فراهم شود. برای به‌دست آوردن چگالی به اندازه کافی کم به‌طوریکه امکان بررسی و اندازه‌گیری ذرات مجزا وجود داشته باشد، باید به چگالی نهشت دقت شود.

از میکروسکوپ الکترونی روبشی و سایر روش‌های میکروسکوپی همچنین می‌توان برای مطالعه خواص نانوچندسازه‌ها و سایر مواد با شاخصه‌های سطح در مقیاس نانو استفاده نمود.

۳-۳-۶ استانداردهای مرتبط

ISO 13322-1, Particle size analysis- Image analysis methods - Part 1: Static image analysis methods

ISO 13322-2, Particle size analysis- Image analysis methods - Part 2: Dynamic image analysis methods

ISO/TR 27628, Workplace atmospheres - Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols - Inhalation exposure characterization and assessment

ISO 19749, Nanotechnologies - Measurements of particle size and shape distributions by scanning electron microscopy

۴-۶ اندازه‌دهی مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل در پودرها

۴-۶-۱ مرور کلی

جدول ۳ خلاصه‌ای از اندازه‌دهی‌ها و روش‌های مورد استفاده برای تعیین اندازه و شکل نانوآشپاء پودری را ارائه می‌دهد.

جدول ۳- اندازه‌دهی‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل در پودرها

اندازه‌دهی نهایی	اندازه‌دهی ویژه هر روش	روش	گستره اندازه	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
اندازه و شکل NOAA	شکل و اندازه تصویر شده دوبعدی NOAA. توزیع‌های شکل و اندازه هندسی وزن‌دهی شده عددی	SEM	۵ nm تا ۱ mm	۵ nm	عموما نهشت فلز ضروری است.	[8]
مساحت سطح ویژه جرمی	جرم گاز جذب سطحی شده (مساحت سطح کل نمونه اندازه‌گیری شده را می‌دهد)	جذب سطحی گاز با استفاده از روش بت	۱ nm تا ۱ μm	چند نانومتر	به مقدار نسبتاً زیادی از نمونه (بسته به مساحت سطح ویژه مورد انتظار) نیاز دارد. به نمونه خشک و گاززدایی شده نیاز دارد.	[9]
توزیع اندازه وزن‌دهی شده حجمی (اندازه، قطر هندسی معادل است)	توزیع زاویه‌ای نور پراکنده شده	LD	۳۰ nm تا ۱ mm	۱۰ nm	تخمین کمتر تعداد نسبی ذرات زیر میکرومتر برای نمونه‌های بس پراکنه	[10]
قطر میانگین وزن‌دهی شده حجمی	پهن‌شدگی پیک‌های پراش پرتو ایکس	XRD	۵ nm تا ۱۰۰ nm	۵ nm	برای اندازه‌گیری ساختارهای بلوری بزرگ درست‌تر است تا ساختارهای کوچک.	[11]
میانگین قطر وزن‌دهی شده حجمی نانولوله‌های کربنی	جابه‌جائی بسامد	طیف‌سنجی رامان	۰٫۵ nm تا ۲ nm	۰٫۰۵ nm	برای نانولوله‌های کربنی چنددیواره ساده نیست.	[12], [13]
<p>یادآوری- TEM در این جدول گنجانده نشده است، زیرا آماده‌سازی نمونه برای TEM غالباً نیاز به این دارد که پودر حاوی نانوآشپاء در یک مایع پراکنده‌ساز مناسب پراکنده شود. TEM در زیربندهای ۶-۳-۱۰ و ۶-۵-۱۲ مورد بحث قرار گرفته است.</p>						

۶-۴-۲ استانداردهای مرتبط

ISO 17200, Nanotechnology - Nanoparticles in powder form - Characteristics and measurements

ISO/TS 21356-1, Nanotechnologies - Structural characterization of graphene - Part 1: Graphene from powders and dispersions

ISO 26824, Particle characterization of particulate systems - Vocabulary

۳-۴-۶ میکروسکوپی الکترونی روبشی

نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها به شکل پودری را می‌توان روی پایه‌های مناسب طراحی شده برای قرارگیری در نگهدارنده آزمونه SEM، پخش کرد. روش‌های نهشت مناسب، به‌عنوان مثال استفاده از یک نوار چسب دوطرفه رسانا برای تثبیت اشیاء بر روی پایه، می‌باشد. به‌منظور دستیابی به چگالی به‌اندازه کافی کم به‌طوریکه امکان بررسی و اندازه‌گیری ذرات مجزا فراهم شود، باید به چگالی نهشت دقت شود.

روش SEM می‌تواند با برخی محدودیت‌ها، اطلاعاتی را در مورد اندازه و شکل ذرات ارائه دهد (برای جزئیات و اصول عملیات به زیربند ۳-۶-۱۲ مراجعه شود).

به‌طور خاص برای پودرها، تمایل به کلوخه شدن زمانی که روی یک بستر نهشته می‌شوند یک اشکال جدی برای تحلیل بعدی تصویر است. بنابراین، به‌دست آوردن توزیع اندازه ذرات پودرها در SEM دشوار است. با این حال، SEM برای توصیف شکل NOAA از طریق تفسیر دیداری ریزنگاشت، بسیار مفید است. به‌همین دلیل، به‌طور معمول این روش در بسیاری از محل‌های تولیدی یا تحقیقاتی NOAA استفاده می‌شود.

۴-۴-۶ استانداردهای مرتبط

ISO/TS 10798, Nanotechnologies- Characterization of single-wall carbon nanotubes using scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry analysis

ISO 16700, Microbeam analysis- Scanning electron microscopy- Guidelines for calibrating image magnification

۵-۴-۶ جذب سطحی گاز، روش BET

روش BET شامل جذب سطحی یک تک‌لایه گاز (معمولاً نیتروژن، اگرچه کریپتون، آرگون و کربن دی‌اکسید نیز استفاده می‌شوند) روی سطح اشیاء تشکیل‌دهنده نمونه پودری است. در مورد نیتروژن، نمودار ایزوترم جذب سطحی در نقطه جوش (۷۷ K) در گستره‌ای از فشارهای جزئی نسبی، تعیین می‌شود. مقدار کل گاز جذب سطحی شده در تک‌لایه با برازش ایزوترم جذب سطحی در فرمول BET و تبدیل به دمای استاندارد ۲۷۳٫۱۵ K و فشار اتمسفر $10^5 \times 10^{13}$ Pa به‌دست می‌آید. از آنجاکه اندازه مولکول نیتروژن جذب شده مشخص است، مساحت سطح کل نمونه به‌دست می‌آید. سپس این مقدار با تقسیم بر جرم خشک نمونه، به مساحت سطح ویژه جرمی تبدیل می‌شود. از این اندازه‌دهی می‌توان برای مشخصه‌یابی پودرهای NOAA استفاده کرد. چنانچه چگالی مشخص باشد، با فرض یک شکل کروی برای اشیاء و اینکه اشیاء غیرمتخلخل هستند، می‌توان آن را به قطر میانگین هندسی وزن‌دهی شده جرمی نیز تبدیل کرد. اندازه‌دهی، مساحت سطح ویژه جرمی

و قطر میانگین هندسی وزن‌دهی شده جرمی است. یک محدودیت این روش آن است که نتیجه BET نماینده نمونه پودری است و لزوماً نماینده خود ذرات نیست.

۶-۴-۶ استانداردهای مرتبط

ISO 9277, Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption- BET method

۶-۴-۷ پراش لیزری

یک پراکنه (به‌عنوان مثال پودر هواسل شده) که با باریکه لیزر تحت تابش قرار می‌گیرد، در زوایا و شدت‌های مختلفی پراکنده می‌شود، بطوری که شدت‌ها به اندازه ذرات بستگی دارد. حل «مای» برای معادلات مکسول؛ پراکنده‌گی نور به وسیله ذرات را با هر اندازه‌ای که باشند، با توجه به طول موج و ضریب‌های شکست توصیف می‌کند. درحالی که ذرات بزرگتر نور بیشتری را به سمت زوایای کمتر پراکنده می‌کنند، ذرات کوچکتر نور را به صورت ضعیف و به شکل همسانگرد پراکنده می‌کنند. بنابراین، برای ثبت الگوی پراکنده‌گی برای محدوده وسیعی از اندازه‌ها، آشکارسازهای قرار داده شده در زوایای پراکنده‌گی کم و زیاد در پراش لیزری استفاده می‌شوند. همچنین می‌توان از طول‌موج‌های لیزری چندگانه برای افزایش تشخیص اشیاء در انتهای پائینی محدوده قابل اجرا استفاده کرد که امکان اندازه‌گیری تا حدود ۱۰ nm را فراهم می‌کند. باید دقت شود که دستگاه‌های متداول LD (پراکنده‌گی با زاویه کم) برای آنالیز نانو اشیاء در نظر گرفته نشده‌اند و عموماً به اندازه‌های بزرگتر از ۱۰۰ nm محدود می‌شوند.

در تحلیل داده‌های پراکنده‌گی از تفاوت‌های زاویه‌ای و وابسته به طول موج استفاده می‌شود. اندازه‌دهی ویژه، توزیع زاویه‌ای نور پراکنده است. با استفاده از آنالیز «مای» و با فرض یک شکل کروی برای اشیاء، این اندازه‌دهی به توزیع اندازه وزن‌دهی شده حجمی تبدیل می‌شود. ضریب شکست باید مشخص باشد.

معمولاً NOAA به شکل پودری و با استفاده از یک تغذیه‌کننده ارتعاشی و به دنبال آن هوای فشرده یا شتاب خلاء در یک افشانه ونتوری، همراه با یا بدون برخورد، به سلول اندازه‌گیری در LD تحویل داده می‌شود. پراش لیزری اطلاعات شکل را ارائه نمی‌دهد؛ همه اندازه‌ها به صورت قطرهای کروی معادل ارائه می‌شوند. از این‌رو، مانند بسیاری دیگر از روش‌ها که از یک مدل کروی استفاده می‌کنند، عدم قطعیت‌ها برای اشیاء غیر کروی افزایش می‌یابد. گستره اندازه قابل اجرا به پیکربندی نوری بستگی دارد، اما می‌تواند از ده‌ها نانومتر تا تقریباً ۱ mm متغیر باشد. در یک نمونه بس پراکنه، مقدار نسبی ذرات زیر میکرومتری ممکن است کمتر از مقدار واقعی برآورد شود. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری اندازه پودرها را می‌توان به شکل مایع، از طریق پراکنش در یک بستر مایع مناسب و معمولاً به دنبال عملیات فراصوت برای جلوگیری از کلوخه شدن ذرات، انجام داد. به منظور حفظ سطح یکسانی از کلوخگی با شکل پودری خشک، لازم است به بهینه‌سازی

‡ Maxwell's equations

‡ Venturi nozzle

زمان و انرژی عملیات فرا صوت دقت شود. سپس می‌توان روش‌های شرح داده شده در زیربند ۶-۵ را به کار برد.

۸-۴-۶ استانداردهای مرتبط

ISO 13320, Particle size analysis - Laser diffraction methods

۹-۴-۶ پراش پرتو ایکس

پراش پرتو ایکس روش اصلی برای مشخصه‌یابی ساختار بلوری مواد است. شرح این روش و اطلاعات افزوده‌ای در مورد آماده‌سازی نمونه، کاربردها، مزایا و محدودیت‌ها در زیربند ۷-۲-۱۰ ارائه شده است. روش XRD همچنین می‌تواند اطلاعاتی در مورد قطر میانگین وزن‌دهی شده حجمی حوزه‌های بلوری اولیه ارائه دهد. نانواشیاء تک‌بلوری فقط یک حوزه بلوری دارند، بنابراین اندازه بلورک اندازه‌گیری شده در XRD با ابعاد نانوشیء متناظر است. در مورد نانواشیاء چندبلوری، اندازه‌گیری شده، کوچکتر از اندازه بیرونی نانوشیء است.

این اطلاعات در مورد اندازه بلورک از پهن‌شدگی پیک‌های پراش پرتو ایکس تولید شده به وسیله نمونه به دست می‌آید. از آنجاکه پروفایل دستگاهی، میکروتنش‌ها و بی‌نظمی‌های موضعی بر روی پهن‌شدگی پیک تأثیر دارند، آنها نیز باید در نظر گرفته شوند. این پهن‌شدگی زمانی اتفاق می‌افتد که حوزه‌های بلوری کوچکتر از حدود ۱۰۰ nm باشند. در مورد مواد بلوری ناهمسانگرد، پهن‌شدگی قله‌های پراش پرتو ایکس به ابعاد بلورها در جهت متعامد به صفحات اتمی که پیک را ایجاد می‌کنند، بستگی دارد.

۱۰-۴-۶ استانداردهای مرتبط

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۲۹۳۸: سال ۱۳۹۹، آزمون غیرمخرب- پراش پرتو ایکس (XRD) از مواد چندبلوری و بی‌شکل - قسمت ۱: اصول کلی

استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۲۹۳۸: سال ۱۳۹۹، آزمون غیرمخرب- پراش پرتو ایکس (XRD) از مواد چندبلوری و بی‌شکل - قسمت ۲: روش‌های اجرایی

EN 13925-3:2005, Non-destructive testing- X-ray diffraction from polycrystalline and amorphous materials – Instruments

۱۱-۴-۶ طیف‌سنجی رامان

طیف‌سنجی رامان معمولاً برای آنالیز شیمیایی استفاده می‌شود. با این حال، می‌توان از آن در موارد خاصی، به‌عنوان مثال در نانولوله‌های کربنی یا ضخامت لایه پرک‌های گرافن، برای تعیین اندازه استفاده کرد. اثر رامان، پراکندگی غیرکشسان نور با تغییر بسامد، به دلیل انتقال انرژی بین نمونه و نور فرودی می‌باشد. این جابه‌جائی بسامد اطلاعاتی در مورد حالت‌های ارتعاشی در یک مولکول (یا در مورد نانولوله‌های کربنی، یک مجموعه مولکولی خاص) می‌دهد.

در مورد نانولوله‌های کربنی، یک حالت ارتعاشی خاص، "RBM"^۱ متناظر با انبساط شعاعی حلقوی و انقباض لوله تحت برانگیختگی با نور است. بسامد این حالت با قطر نانولوله نسبت عکس دارد.

۵-۶ اندازه‌دهی‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل نانواشیاء در پراکنه‌های مایع

۶-۵-۱ مرور کلی

جدول ۴ خلاصه‌ای از اندازه‌دهی‌ها و روش‌های مورد استفاده برای تعیین اندازه و شکل نانواشیاء در مایعات را ارائه می‌دهد.

جدول ۴- اندازه‌دهی‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل در مایعات

اندازه‌دهی نهایی	اندازه‌دهی ویژه هر روش	روش	گستره اندازه	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجعه
توزیع اندازه وزن‌دهی شده جرمی (اندازه) معادل قطر (هیدرودینامیکی)	قطر استوکس در CLS (قطر) هیدرودینامیکی معادل براساس سرعت ته‌نشینی اشیاء در یک محیط معلق)	CLS	۲۰ nm تا ۱ μm	۵ nm	برای افزاره‌هایی که از آشکارسازهای جذب پرتو ایکس استفاده می‌کنند، غلظت‌های نسبی بالا (< ۱۰ g/l) مورد نیاز است. به چگالی موثر و ضریب شکست معین ذرات نیاز دارد.	[14]
توزیع اندازه وزن‌دهی شده حجمی (اندازه) معادل قطر (هیدرودینامیکی)	تابع خودهمبستگی نور پراکنده شده در یک زاویه معین و ضریب انتشار انتقالی	DLS	۶ nm تا ۱۰۰۰ nm	۱۰ nm	برای نمونه‌های غلیظ، رنگی یا بس‌پراکنه قابل استفاده نیست.	[14]
توزیع اندازه وزن‌دهی شده حجمی (اندازه) معادل قطر (هندسی)	توزیع زاویه‌ای نور پراکنده شده	پراش لیزری	۳۰ nm تا ۱ mm	۱۰ nm	تخمین کمتر ذرات زیر میکرومتر برای نمونه‌های بس‌پراکنه	[10]

^۱ Radial breathing mode

جدول ۴ (ادامه)

[15]	برای استخراج اندازه‌دهی ویژه، باید از مدل‌های پیچیده استفاده شود. برای نمونه‌های بس پراکنه مناسب نیست.	۲۰ nm	۱ nm تا ۱۵۰ nm	SAXS	توزیع زاویه‌ای پرتوهای ایکس پراکنده شده	توزیع اندازه وزن‌دهی شده مربع حجم (اندازه معادل قطر هندسی)، بُعد برخال ^۱
[16]	برای نمونه‌های غلیظ یا خیلی بس پراکنه قابل استفاده نیست. محدوده اندازه قابل اجرا می‌تواند به نوع نمونه بستگی داشته باشد.	۱۰ nm	۱۰ nm تا ۲ μm	PTA	ضریب نفوذ	توزیع اندازه هیدرودینامیکی وزن‌دهی شده عددی
	نیاز به آماده‌سازی نمونه بر روی بستره دارد. اندازه‌گیری آهسته و مجزا ذرات	۵ nm	۵ nm تا ۱ mm	SEM	اندازه و شکل تصویر شده دوبعدی NOAA. توزیع‌های شکل و اندازه هندسی وزن‌دهی شده عددی	توزیع شکل و اندازه ذرات
[17], [18]	نیاز به توسعه و اعتبارسنجی روش دارد. زمان طولانی آنالیز برای نمونه‌های بس پراکنه (بیش از یک ساعت)	بسته به آشکارساز(های) مورد استفاده، معمولاً ۱ nm	۱ nm تا ۵۰ μm	FFF شامل جریان نامتقارن و ن‌گریز از مرکز	توزیع زاویه‌ای نور پراکنده شده، تابع خودهمبستگی نور پراکنده شده در یک زاویه ثابت، جذب UV-Vis در یک یا چند طول موج.	اندازه و جرم مولی ذرات
[19]	به رقت مناسب نیاز دارد (به‌طور مستقیم برای غلظت عددی بالا قابل استفاده نیست). به چگالی و شکل مشخص ذرات نیاز دارد.	۱۰ nm	۱۰ nm تا ۲ μm	sp-ICP-MS	قطر معادل کروی از جرم اندازه‌گیری شده سنجیدنی و چگالی فرضی ذرات	توزیع اندازه ذرات وزن‌دهی شده عددی

1-Fractal

۶-۵-۲ ته‌نشینی مرکزگریز مایع

تهنشینی مرکزگریز مایع، روشی است که براساس اندازه‌گیری نرخ ته‌نشینی (اندازه ویژه) اشیاء پراکنده در یک سیال است. این سرعت ته‌نشینی به قطر و چگالی موثر اشیاء مرتبط است. چگالی و گرانشی سیال وابسته به دما نیز باید مشخص باشد. ته‌نشینی مرکزگریز دیسکی^۱ پرکاربردترین نوع این روش است. به‌طور معمول، یک گرادیان چگالی ساکارز با برهم‌گذاری ملایم غلظت‌های پایین‌تر ساکارز در غلظت‌های بالاتر در یک دیسک سانتریفیوژ، ایجاد می‌شود. از سوی دیگر، همزن‌های گرادیان یا گرادیان‌سازها می‌توانند برای تشکیل یک گرادیان استفاده شوند. پراکنه رقیق حاوی ذرات موردنظر در بالای گرادیان تزریق شده و با نیروهای مرکزگریز نسبی بیش از ۱۵۰۰۰۰ سانتریفیوژ می‌شود. چرخش پرسرعت دیسک باعث جدایش شعاعی اشیاء با توجه به اندازه و چگالی آنها می‌شود. یک آشکارساز کدری نوری یا پرتو ایکس به‌طور مداوم تضعیف نور یا غلظت جرمی را در یک موقعیت شعاعی معین در طول دیسک ثبت می‌کند. زمان ته‌نشینی اندازه‌گیری شده با استفاده از قانون استوکس به قطر معادل مربوط می‌شود. PSDs به‌دست آمده یا خاموشی نوری وزن‌دهی شده^۲ (آشکارساز کدری) یا وزن‌دهی شده جرمی (آشکارساز پرتو ایکس) هستند. PSD خاموشی نوری وزن‌دهی شده را می‌توان با استفاده از تئوری «مای» به توزیع وزن‌دهی شده حجمی و در نهایت به توزیع اندازه وزن‌دهی شده عددی تبدیل کرد. در این صورت، ضریب شکست ماده، از جمله قسمت فرضی آن، باید مشخص باشد.

محدوده اندازه قابل‌اعمال حدود ۲۰ nm تا ۱۰۰۰ nm است که به چگالی نسبی ذرات و مایع پراکنده‌ساز بستگی دارد. تشخیص پرتو ایکس عمدتاً برای ذرات معدنی مناسب است. برای به‌دست آوردن خاموشی پرتو ایکس کافی، غلظت پراکنش نسبی بالا (بسته به ماهیت مواد پراکنده‌شده معمولاً در محدوده ۱۰ g/l تا ۱۰۰ g/l) موردنیاز است.

۳-۵-۶ استانداردهای مرتبط

ISO 13318-1, Determination of particle size distribution by centrifugal liquid sedimentation methods - Part 1: General principles and guidelines

ISO 13318-2, Determination of particle size distribution by centrifugal liquid sedimentation methods - Part 2: Photocentrifuge method

ISO 13318-3, Determination of particle size distribution by centrifugal liquid sedimentation methods- Part 3: Centrifugal X-ray method

۴-۵-۶ پراکندگی پویای نور

در یک مایع، حرکت براونی اشیاء پراکنده‌شده منجر به افت‌وخیز وابسته به زمان نور پراکنده‌شده می‌شود که به دلیل تداخل سازنده و مخرب تصادفی شده است. در DLS، این افت‌وخیزهای سریع با استفاده از طیف‌سنجی خودهمبستگی (حوزه زمانی) یا تحلیل بسامد (حوزه طیفی) اندازه‌گیری و تحلیل می‌شوند. اجسام بزرگتر آهسته‌تر از اجسام کوچکتر حرکت کرده و بنابراین حرکت براونی کندتری را نشان می‌دهند که با ضریب نفوذ

^۱ Disc centrifuge sedimentation

^۲ Light extinction-weighted

کوچکتر مشخصه‌یابی می‌شود. از این‌رو، تعیین تابع خودهمبستگی یا طیف توان نور پراکنده‌شده در یک زاویه معین (اندازه‌ده ویژه)، امکان تعیین توزیع ضرایب نفوذ اشیاء پراکنده‌شده را فراهم می‌کند. ضریب نفوذ متوسط با استفاده از معادله استوکس-انیشترین به قطر هیدرودینامیکی متوسط تبدیل می‌شود. این روش مستلزم آن است که دما و گرانش پویای محیط پراکنده‌ساز مشخص باشد. لازم به ذکر است که در این آنالیز، اشیاء کروی فرض می‌شوند، بنابراین عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری می‌تواند برای نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری اشیاء غیرکروی به‌طور قابل توجهی افزایش یابد. با در نظر گرفتن همه این ملاحظات، یک میانگین اندازه هماهنگ وزن‌دهی شده شدت نور پراکنده (که اغلب به‌عنوان متوسط Z نامیده می‌شود) و شاخص بس پراکندگی (واریانس (وردایی) نسبی) از طریق آنالیز تجمع‌کننده‌های مشخص، به‌دست می‌آیند. علاوه‌براین و با توجه به شرایط غیرعادی، یک توزیع اندازه وزن‌دهی شده شدت نور پراکنده را می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های رایج از قبیل حداقل مربعات نامنفی^۱ تولید کرد که سپس می‌تواند با استفاده از ضریب شکست مشخص پراکنده‌سازها به توزیع اندازه وزن‌دهی شده حجمی تبدیل شود. بس پراکندگی در یک نمونه می‌تواند منجر به تخمین کمتر کوچکترین اشیاء شود، زیرا سیگنال کم نور پراکنده‌شده آنها به‌وسیله سیگنال بسیار بزرگتر ناشی از اشیاء با جرم بیشتر پوشانده می‌شود و شدت پراکندگی متناسب با قطر جسم به توان شش است. به‌طور کلی، DLS برای نمونه‌های بس پراکنده مناسب نیست. معمولاً DLS به نمونه‌های غیرجاذب محدود می‌شود، اگرچه ذرات جاذب را می‌توان تا زمانی که پراکندگی کافی وجود داشته باشد، اندازه‌گیری کرد. این روش برای غلظت‌های بالا به دلیل اثرات پراکندگی نور چندگانه قابل استفاده نیست، اگرچه پراکندگی چندگانه را می‌توان با استفاده از سل‌های ویژه، با تمرکز در نقطه‌ای کم‌عمق در سل یا با استفاده از DLS همبستگی متقاطع، کاهش داد. محدوده اندازه تقریباً از ۶ nm تا ۱۰۰۰ nm است.

۵-۵-۶ استانداردهای مرتبط

ISO 21501-2, Determination of particle size distribution- Single particle light interaction methods- Part 2: Light scattering liquid-borne particle counter

ISO 22412, Particle size analysis- Dynamic light scattering (DLS)

ISO/TR 22814, Good practice for dynamic light scattering (DLS) measurements

ASTM E2490-09, Standard guide for measurement of particle size distribution of nanomaterials in suspension by Photon Correlation Spectroscopy (PCS) [20]

ASTM E3247-20, Standard Test Method for Measuring the Size of Nanoparticles in Aqueous Media Using Dynamic Light Scattering [21]

۶-۵-۶ پراش لیزری

روش پراش لیزری که در زیربند ۶-۴-۷ برای پودرها توضیح داده شده‌است، همچنین امکان مشخصه‌یابی توزیع‌های اندازه ذره برای پراکنش‌های مایع را فراهم می‌کند. آماده‌سازی ساده نمونه (پراکنش NOAA در

^۱ Non-negative least squares

یک محلول آبی، گاهی اوقات با کمک عملیات فراصوت یا عوامل فعال-سطحی، یا هر دو) در محدوده غلظت 0.1 g/l تا 1 g/l ، امکان به دست آوردن توزیع اندازه وزن دهی شده حجمی را برای NOAA، فراهم می کند. در اینجا نیز مزایا و محدودیتها مانند پودرها هستند (به ۶-۴-۷ مراجعه شود).

۶-۵-۷ استانداردهای مرتبط

ISO 13320, Particle size analysis- Laser diffraction methods

۶-۵-۸ پراکندگی پرتو ایکس زاویه کوچک

روش SAXS از تابش سنکروترون یا منابع پرتو ایکس تجاری در مقیاس آزمایشگاهی استفاده می کند. اساس روش مانند پراش لیزر است، با این تفاوت که در SAXS شدت پراکندگی با مجذور اختلاف چگالی الکترون در ذرات و محیط اطراف آنها، متناسب (به طور ذاتی وزن شده) است. طول موج بسیار کوچک پرتو ایکس امکان دسترسی به ابعاد فیزیکی و کلوخه ها را می دهد یا در موارد مطلوب (وجود حوزه برخال در یک محدوده اندازه معین)، اطلاعات ساختار سطح در گستره نانومتری را فراهم می کند.

اندازه دهی ویژه، توزیع زاویه ای پرتوهای ایکس پراکنده شده برای یک طول موج مشخص پرتو ایکس است. اندازه دهی نهایی عبارتند از توزیع اندازه وزن دهی شده حجمی ذرات عنصری، مساحت سطح کل آنها در واحد حجم نمونه، توان برخال انبوهه های برخال و در برخی موارد، اندازه میانگین کلوخه ها. همه این اندازه دهی ها با برازش مدل های مناسب برای منحنی شدت پراکندگی تجربی، که به عنوان تابعی از زاویه پراکندگی اندازه گیری می شوند، در حالی که از یک طول موج مشخص پرتو ایکس استفاده می کنند، به دست می آیند.

۶-۵-۹ استانداردهای مرتبط

ISO 17867, Particle size analysis- Small angle X-ray scattering (SAXS)

۶-۵-۱۰ آنالیز ردیابی ذرات^۱

روش PTA از یک میکروسکوپ نوری با باریکه لیزر استفاده می کند. نور پراکنده شده از هر ذره به وسیله دوربین CCD آشکارسازی می شود. حرکت هر ذره از یک فریم^۲ به فریم دیگر به وسیله نرم افزار تحلیل تصویر، ردیابی می شود. حرکت براونی هر ذره (اندازه ویژه)، مربوط به قطر هیدرودینامیکی آن، ثبت می شود. بنابراین، توزیع اندازه هیدرودینامیکی وزن دهی شده عددی به دست می آید.

گرانروی محیط پراکنش باید مشخص باشد. این روش برای آزمونهای رقیق متشکل از NOAA در گستره 10 nm تا 2000 nm کاربرد دارد. این گستره به خواص پراکندگی ذرات بستگی دارد. برای مثال، حد پایین بیان شده برای ذرات متشکل از مواد با ضریب شکست بالا، مانند طلا و نقره است. برای ذراتی مانند پلی استایرن

^۱ Particle tracking analysis

^۲ Frame

و سیلیس که نور را بسیار ضعیف‌تر پراکنده می‌کنند، حدود پایین به ترتیب حدود ۴۰ nm و ۸۰ nm است [22]. برای نمونه‌های بس‌پراکنه، آمارهای با فراوانی بالا باید برای کاهش عدم قطعیت‌ها در توزیع اندازه استفاده شوند.

۶-۵-۱۱ استانداردهای مرتبط

ISO 19430, Particle size analysis- Particle tracking analysis (PTA) method

ASTM E2834-12, Standard Guide for Measurement of Particle Size Distribution of Nanomaterials in Suspension by Nanoparticle Tracking Analysis (NTA) [23]

۶-۵-۱۲ میکروسکوپی الکترونی

نانواشیاء پراکنده‌شده در مایعات را می‌توان با SEM یا TEM بررسی کرد. برای این منظور، بهتر است یک محیط پراکنده‌ساز مطلوب انتخاب شود تا از کلوخگی بیش از حد جلوگیری شود. برای مثال، نانواشیاء اکسید فلزی اغلب یک مشخصه آب‌دوست از خود نشان می‌دهند که ناشی از وجود گروه‌های هیدروکسیل در سطح است. در این مورد، آب یا مخلوط‌های آب و اتانول اغلب محیط‌های پراکنده‌ساز مطلوبی هستند. در مقابل، نانولوله‌های کربنی به شدت آبگریز هستند و در حلال‌های غیرقطبی بهتر پراکنده می‌شوند.

برای SEM، مقدار کمی از پراکنه (۵ μl تا ۵۰ μl) را می‌توان روی یک نگه‌دارنده صاف، به‌عنوان مثال یک دیسک شیشه‌ای یا بستره سیلیکونی، منتقل کرد و اجازه داد خشک شود. برای آنالیز نمونه‌های نارسانا، پوشش آنها از طریق کندوپاش فلزی برای گذر از اثرات شارژ که مانع از فرایند تصویربرداری می‌شود، ضروری است. با این حال، استفاده از ولتاژهای شتاب‌دهنده کمتر اغلب امکان تصویربرداری بدون نیاز به پوشش‌های فلزی را فراهم می‌کند. برای TEM، ۲ μl تا ۱۰ μl از پراکنه را می‌توان به توری TEM حاوی پوشش کربنی منتقل کرد. در مورد پراکنه‌های آبی، آب‌دوست شدن بستره‌ها، قبل از نهشت، می‌تواند یک مزیت قابل توجه باشد زیرا از کلوخگی ساختگی پس از خشک شدن (به‌عنوان مثال حین قطره‌گذاری)، جلوگیری می‌کند. این امر به راحتی با استفاده از دستگاه تخلیه تابش (پلاسمای گازی) که قادر به تثبیت بارهای الکتریکی روی نگه‌دارنده‌ها است، به دست می‌آید. پلاسمای مرطوب اکسیژن برای تمیز کردن و اکسید کردن سطح سیلیکون مورد استفاده برای نهشت، استفاده شده است. نهشت الکتروایستا بر روی بستره‌های باردار معمولاً برای جلوگیری از آلاینده‌های در حال خشک شدن استفاده می‌شود. علاوه بر استفاده از یک اکسید طبیعی با بار منفی، بستره را می‌توان به صورت شیمیایی اصلاح کرد تا بار الکتروایستایی تولید شود که مخالف بار نانواشیاء سنجیدنی است. پلی-ال-لیزین^۱ و آمینوسیلان‌ها به‌طور گسترده‌ای برای این منظور (زمانی که سنجیدنی بار منفی دارد) استفاده شده‌اند.

^۱ Poly-l-lysine

^۲ Amino-silanes

روش cryo-TEM تلفیقی از آماده‌سازی زم‌زایشی نمونه و مشاهده آن بر روی یک نگهدارنده نمونه اختصاصی در دمای نیتروژن مایع است. یک فیلم بسیار نازک (۱۰۰ nm تا ۵۰۰ nm) از نمونه مایع، که روی یک توری TEM آماده شده، به سرعت با انجماد در اتان یا پروپان مایع، منجمد می‌شود. در مورد پراکنه‌های آبی، سرعت خنک شدن آنقدر زیاد است که از تشکیل بلور یخ جلوگیری می‌شود. برای پراکنه‌های مبتنی بر حلال‌های آلی، باید از انجماد سریع در نیتروژن مایع استفاده شود.

سپس اشیاء به یکباره یک موقعیت ثابت خواهند داشت: بنابراین کلوخگی نمی‌تواند رخ دهد. سپس توری TEM با استفاده از نگهدارنده آزمونه زم‌زایشی، برای مشاهده منتقل می‌شود. این روش دارای این مزیت منحصر به فرد است که می‌تواند پراکنه‌های مایع را در حالت طبیعی خود تصویر کند، زیرا از آلاینده‌های در حال خشک شدن اجتناب می‌شود.

اندازه‌گیری‌های اندازه و شکل پراکنه‌های خشک‌شده در SEM و TEM یا نمونه‌های Cryo-TEM را می‌توان همانطور که قبلاً توضیح داده شد (زیربندهای ۶-۳-۱۰ و ۶-۳-۱۲) و استانداردهای مربوطه فهرست شده در ۶-۳-۱۱ و ۶-۳-۱۳ انجام داد.

۶-۵-۱۳ جزء جزء کردن جریان با میدان^۲

جزء جزء کردن جریان با میدان گروهی از روش‌های جداسازی مرتبط است که در آن جداسازی اجزای تشکیل دهنده نمونه حل شده، معلق و پراکنده شده در گستره اندازه ۱ nm تا تقریباً ۵۰ μm در یک کانال نازک نوارمانند بدون فاز ثابت انجام می‌شود. روش FFF ظرفیت جزء جزء کردن جمعیت‌های متنوعی از NOAAها را با حداقل آشفستگی در نمونه ارائه می‌دهد. روش FFF یک روش ماژولار است که در آن چندین آشکارساز را می‌توان پشت سر هم مرتب کرد. به این ترتیب، اندازه ذره، غلظت، جرم مولی و ترکیب را می‌توان پس از جداسازی، برای نوارهای شستشو بر اساس یک یا چند میدان اعمال شده عمود بر جهت جریان، تعیین کرد. برای حفظ جریان آرام بین صفحه پایینی که تحت عنوان دیواره تجمع^۳ نامیده می‌شود و صفحه بالایی که به عنوان دیوار تخلیه^۴ شناخته می‌شود، ضخامت کانال کمتر از ۱ mm (معمولاً ۳۵۰ μm) است. بسته به میدان نیروی اعمالی، FFF را می‌توان به روش‌های فرعی مختلفی تقسیم کرد. دستگاه‌های تجاری موجود که برای آنالیز NOAAها استفاده می‌شوند عبارتند از FFF با جریان نامتقارن، FFF مرکزگریز و FFF الکتریکی (که به صورت هم‌یوگی^۵ با FFF جریان نامتقارن استفاده می‌شود).

برای FFF با جریان نامتقارن، سازوکار یا حالت جداسازی به اندازه ذره بستگی دارد. برای ذرات کوچکتر از حدود ۵۰۰ nm، جداسازی حالت عادی غالب است و ذرات کوچکتر قبل از ذرات بزرگتر شسته می‌شوند. از

۱ Cryogenic

۲ Field flow fractionation

۳ Accumulation wall

۴ Depletion wall

۵ In conjugation

تقریباً ۵۰۰ nm تا ۱۰ μm، جداسازی حالت فضایی منجر به شستشوی ذرات به ترتیب معکوس اندازه می‌شود. بیش از تقریباً ۱۰ μm، حالت بیش‌لایه^۱ غالب است، که همچنین منجر به شستشو با معکوس اندازه می‌شود. به‌طور معمول، برای NOAAs روش جز جزء کردن جریان با میدان با ذرات در محدوده حالت عادی، کار می‌کند. به‌طور کلی نمی‌توان یک جز جزء کردن را انجام داد که در آن بدون پیچیدگی‌های حالت‌های مختلط جداسازی، اندازه ذرات در هر دو گستره طبیعی و فضایی/بیش‌لایه قرار گیرد.

جز جزء کردن جریان با میدان زمانی که برای مشخصه‌یابی نانوشی استفاده می‌شود، یک سامانه اندازه‌گیری یکپارچه است که جداسازی بالادست را با آنالیز چند آشکارساز پایین دست تلفیق می‌کند. مزایای FFF عبارتند از: نیاز به اندازه نسبتاً کم نمونه، توانایی تطبیق فاز متحرک با نمونه، فقدان فاز جامد (در مقایسه با کروماتوگرافی اندازه‌گزین)، ظرفیت جداسازی نمونه‌های بس‌پراکنه برای آنالیز اندازه با تفکیک‌پذیری بالا یا برای آنالیز برون‌خط با بسیاری از روش‌ها و وجود گستره وسیعی از آشکارسازهای برخط در دسترس.

رایج‌ترین آشکارسازهای مربوط به آنالیز NOAAs عبارتند از DLS، MALS و جذب UV-Vis. در یک حالت ایده‌آل، تعیین قطر ذرات بر اساس زمان ماند^۲ و استفاده از نظریه FFF خواهد بود. اگرچه روش‌های اندازه‌گیری محدودیت‌هایی را از نظر گستره قابل تشخیص اندازه و غلظت دارند، با این حال، از آنجایی که جداسازی FFF اغلب تحت تأثیر برهم‌کنش‌های بین ذرات و غشایی است که در بالای دیواره تجمع قرار دارد، اندازه‌گیری مستقیم اندازه به اندازه‌گیری اندازه مبتنی بر ماند ترجیح داده می‌شود. روش FFF، هنگامی که با DLS و MALS همراه شود، همچنین می‌تواند برخی از اطلاعات شکل، به‌عنوان مثال اندازه‌گیری نسبت منظری میله، را ارائه دهد.

برای اندازه‌گیری‌های برخط غلظت، جذب UV-Vis، آشکارساز ضریب شکست و ICP-MS رایج‌ترین موارد در سامانه‌های FFF هستند. این روش‌ها عموماً به جرم سنجیدنی موجود حساس هستند. از آنجایی که ICP-MS یک روش مخرب است، از آن به عنوان آشکارساز نهایی در آنالیز پی‌اپی استفاده می‌شود. روش‌های مبتنی بر ICP-MS حد تشخیص‌های بسیار پایینی دارند (بسته به دستگاه و عنصر تقریباً تا رژیم ng/l) و برای نانوآشپاء حاوی فلز، خاص عنصری هستند. در مقایسه با روش‌های ICP-MS، حد تشخیص‌های UV-Vis به خواص جذب شونده‌گی و پراکندگی مواد بستگی داشته و به عنصر خاصی element specific بستگی ندارد روش UV-Vis برای مواد فعال نوری که نوار جذب مشخصی دارند یا در جایی که فقط یک گونه جذب‌کننده منفرد وجود داشته باشد، بهترین کارایی را دارد. خطی بودن جذب باید برای سنجیدنی در محدوده غلظت مربوطه تایید شود. برخلاف آنالیز برخط، روش‌های اجرائی آنالیز برون‌خط (اندازه‌دهی و ارزشیابی غلظت پس از جمع‌آوری جزء‌ها پس از جداسازی) امکان استفاده از روش‌های تشخیص اضافی مانند میکروسکوپی الکترونی و میکروسکوپی نیروی اتمی را فراهم می‌سازند. اگرچه نتایج آنالیز میکروسکوپی به

^۱ Hyperlayer

^۲ Retention time

روش‌های آماده‌سازی نمونه بستگی دارد، اطلاعات دیداری‌سازی شده می‌توانند برای مشخصه‌یابی NOAAs مفید باشند.

در نهایت، با استفاده از یک شکست‌سنج^۱ تفاضلی با اندازه‌گیری تغییر افزایشی در ضریب شکست با توجه به تغییر غلظت و تلفیق آن با نتایج MALS با استفاده از روابط به‌خوبی تثبیت شده، می‌توان جرم مولی را برای نانواشیاء بسپاری به‌دست آورد.

۱۴-۵-۶ استانداردهای مرتبط

ISO/TS 21362, Nanotechnologies - Analysis of nano-objects using asymmetrical-flow and centrifugal field-flow fractionation

۱۵-۵-۶ ICP-MS تک‌ذره

روش sp-ICP-MS می‌تواند به‌طور هم‌زمان اطلاعاتی در مورد اندازه، توزیع اندازه، غلظت عددی ذرات و محتوای یونی برای آنالیز تعلیق‌های بسیار رقیق نانوذرات ارائه دهد. روش ICP-MS تک‌ذره بر این اصل متکی است که در هر زمان، یک نانوذره آشکارسازی می‌شود. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دوره‌های اندازه‌گیری کوتاه متوالی (میکروثانیه تا میلی‌ثانیه)، انجام می‌شوند. هر نانوذره در پلاسما، اتمی و یونیزه می‌شود و یک بسته متمرکز فضایی از یون‌ها تولید می‌کند که به‌عنوان یک سیگنال خیزه‌ای گذرا^۲ که روی سیگنال حالت پایدار تولید شده به‌وسیله هر سنجیدنی حل شده سوار شده و اندازه‌گیری می‌شود. شدت سیگنال گذرا از یک ذره منفرد، پس از تفریق شدت سیگنال زمینه^۳ متناسب با تعداد اتم‌های ذره است که می‌تواند به جرم عنصر و در نتیجه قطر به توان سوم، با فرض شکل کروی ذرات، تبدیل شود. چگالی و شکل ذرات باید مشخص باشد. تعداد تپ‌های شمارش شده متناسب با غلظت عددی نانوذرات است. شدت سیگنال پیوسته معیاری از سنجیدنی حل شده را ارائه می‌دهد. ابزارهای شمارش خودکار برای افزایش کارایی و درستی زمان توسعه یافته‌اند.

حدود تشخیص به ترکیب عنصری، چگالی ذرات، محتوای سنجیدنی حل شده و حساسیت دستگاه تجاری مورد استفاده، بستگی دارند. برای نانوذرات شیمیایی همگن متشکل از یک عنصر تک‌ایزوتوپی (به عنوان مثال طلا) و حاوی غلظت جرمی کم از یون‌ها، حدود تشخیص اندازه ۱۰ nm را می‌توان به‌دست آورد. گستره اندازه بالایی برای ذرات اکسید فلزی با چگالی کم می‌تواند به ۲۰۰۰ nm برسد. غلظت‌های عددی در محدوده ۱۰^۳ در میلی لیتر تا ۱۰^۵ در میلی لیتر قابل اندازه‌گیری هستند. غلظت‌های یونی در سطوح قسمت در تریلیون در نمونه رقیق شده قابل اندازه‌گیری هستند.

۱۶-۵-۶ استانداردهای مرتبط

^۱ Refractometer

^۲ Transient signal spike

^۳ Dissolved

ISO/TS 19590, Nanotechnologies- Size distribution and concentration of inorganic nanoparticles in aqueous media via single particle inductively coupled plasma mass spectrometry

۶-۶ اندازه‌ده‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل روی سطوح (روش‌های میکروسکوپی)

۶-۶-۱- مرور کلی

جدول ۵ خلاصه‌ای از اندازه‌ده‌ها و روش‌های مورد استفاده برای تعیین اندازه و شکل نانواشیاء را زمانی که نانواشیاء روی یک سطح قرار گرفته باشند، ارائه می‌کند.

جدول ۵- اندازه‌ده‌های مربوط به اندازه‌گیری اندازه و شکل روی سطوح

اندازه‌ده نهایی	اندازه‌ده ویژه هر روش	روش	گستره اندازه	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
اندازه و شکل NOAA	شکل و اندازه تصویر شده دوبعدی NOAA. توزیع شکل و اندازه هندسی وزن‌دهی شده عددی	SEM	۵ nm تا ۱ mm	۵ nm	نیاز به آماده‌سازی نمونه روی بستره دارد. روش کند، اندازه‌گیری ذرات مجزا	
نقشه سه‌بعدی توپوگرافی سطح	نیروی تماسی برای دستیابی به شکل و اندازه سه‌بعدی	AFM	۱ nm تا ۱۰۰۰ nm	۰/۱ nm	از ارتفاع (Z) ذرات به عنوان تفکیک‌پذیری محدود شده به وسیله اندازه پروب در جهت X و Y استفاده می‌کند.	[24]

۶-۶-۲ میکروسکوپی الکترونی روبشی

نانواشیاء را می‌توان به راحتی در SEM بررسی کرد. یک قطعه کوچک از ماده که سطح را نشان می‌دهد، با استفاده از خمیر رسانا روی نگهدارنده مناسب SEM نصب می‌شود. برای مشاهده در SEM کلاسیک (خلاء بالا)، ممکن است نیاز باشد که سطح نمونه با کندوپاش فلز در یک پوشش‌دهنده خلاء رسانا شود، اگرچه ممکن است این امر با دستگاه‌های جدیدی که می‌توانند در ولتاژهای شتاب‌دهنده پایین و در نتیجه شارژ شدن کمتری کار کنند، ضروری نباشد. با این حال، خواص ویژه نمونه (مانند مقدار زیاد آب جذب سطحی شده) می‌تواند حتی پس از کندوپاش فلز منجر به رسانایی ضعیف شود. SEM با خلاء کم به دلیل طراحی خاص آشکارساز الکترون پس‌پراکنده، امکان مشاهده بدون نیاز به این آماده‌سازی را فراهم می‌کند.

تحلیل تصویر در صورتی امکان‌پذیر است که اندازه اشیاء با تفکیک‌پذیری عرضی دستگاه سازگار باشد. زبری سطح باید بسیار کم باشد، در غیر این صورت افت‌وخیزهای تباین موضعی ناشی از توپوگرافی می‌تواند مانع از

۱ Backscattered electron

تشخیص اشیاء براساس تحلیل سطح خاکستری تصویر شود. غلظت سطح باید بسیار کمتر از آستانه نفوذ جریان^۱ باشد تا امکان شناسایی اشیاء مجزا فراهم شود.

۳-۶-۶ میکروسکوپی نیروی اتمی

سطح نمونه به صورت یک طرح شطرنجی مستطیل شکل به وسیله نوک بسیار تیز (معمولاً از جنس سیلیکون، با شعاع انحنای حدود ۵ nm تا ۱۰ nm) روبش می شود. اجزای پیزوالکتریک برای حرکت یک سوزن که روی یک تیرک^۲ سوار شده است در جهات x، y و z نسبت به نمونه، استفاده می شوند. در نزدیکی سطح، سوزن نیروهای مختلفی را تجربه می کند که عموماً از طریق انحراف تیرک که با استفاده از یک باریکه لیزر متصل به یک آشکارساز نوری پایش می شود، تشخیص داده می شود. در حالت تماسی نیروی ثابت، کل نیروی وارد شده به سوزن، با تنظیم ارتفاع z سوزن نسبت به نمونه، در سطح ثابتی حفظ می شود. این سیگنال بازخورد باعث تولید اندازه دهده نهایی به صورت یک تصویر توپوگرافی از سطح می شود. بنابراین اندازه دهده ویژه این روش، یک نیروی تماسی (به عنوان مثال واندروالس یا الکتروایستا) است که به انحراف باریکه لیزر و در نهایت به یک نقشه سه بعدی از سطح تبدیل می شود.

در حالت تماسی، سوزن تمایل دارد تحت تأثیر نیروهای جاذبه ایجاد شده از لایه های مایع جذب سطحی شده، به سطح بسیاری از مواد بچسبد یا به سطح آن ها آسیب برساند. حالت تماس متناوب با نوسان کردن تیرک در راستای z، به گونه ای که سوزن پروب با سطح نمونه برای کسری از نوسان سینوسی تماس برقرار کند، از این آسیب رساندن جلوگیری می کند. در این حالت، می توان از تغییر دامنه ناشی از تماس متناوب برای کنترل ارتفاع نسبی نمونه و سوزن در تصویر روبش شده منتهی به تصویر توپوگرافی، استفاده کرد. از این رو، AFM می تواند اطلاعات مفیدی در مورد اطلاعات شکل سه بعدی، برای مثال برای نانومیلها و مواد دوبعدی که ضخامت و اندازه عرضی آن ها را می توان اندازه گیری کرد، ارائه دهد.

۴-۶-۶ استانداردهای مرتبط

ISO 11775, Surface chemical analysis - Scanning-probe microscopy - Determination of cantilever normal spring constants

ISO 11952, Surface chemical analysis - Scanning-probe microscopy - Determination of geometric quantities using SPM: Calibration of measuring systems

ISO 13095, Surface Chemical Analysis - Atomic force microscopy - Procedure for in situ characterization of AFM probe shank profile used for nanostructure measurement

ASTM E2859-11, Standard Guide for Size Measurement of Nanoparticles Using Atomic Force Microscopy [25]

^۱ Percolation

^۲ Cantilever

۷ اندازه‌دهی‌های مربوط به آنالیز شیمیایی نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها

۷-۱ کلیات

مشخصه‌یابی ترکیب شیمیایی نانواشیاء از این جهت که اطلاعاتی را درباره طبیعت شیمیایی اجزاء، افزودنی‌ها، محل قرارگیری گونه‌های شیمیایی و حالت‌های شیمیایی سطح فراهم می‌کند، مهم است. چنین مشخصه‌یابی گاهی اوقات برای نانواشیاء مجزا و گاهی برای گروهی از آنها و یا کل مجموعه، به عنوان مثال نانواشیاء به همراه یک بستره، انجام می‌شود. برخی از اندازه‌گیری‌ها همچنین می‌توانند به بررسی آلودگی نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها مانند اجزای آلی باقی‌مانده (از آماده‌سازی اولیه) یا آلودگی فلزی، کمک کنند. برخی از اطلاعات را می‌توان برای اجزای فرار به کمک مطالعات آنالیزهای گرمایی و با شناسایی گازهای ایجادشده در طول حرارت‌دهی (مانند روش EGA) تعیین کرد. روش‌های توضیح داده شده در بند ۷ به‌طور ویژه برای استفاده نانواشیاء طراحی نشده‌اند و معمولاً تفکیک‌پذیری در حد مقیاس نانو ندارند، اما می‌توانند اطلاعات بسیار ارزشمندی را درباره آنها ارائه کنند.

فرایند مشخصه‌یابی نانواشیاء باید احتمال ساختار پیچیده آنها را نیز در نظر بگیرد. چنین ساختارهایی (به عنوان مثال ساختار هسته-پوسته یا مولکول‌های سطحی پیچیده) به روش‌های مشخصه‌یابی نیاز دارند که اطلاعات تفصیلی در مورد اجزاء فعال شیمیایی ارائه دهند. علاوه بر این، توسعه نانوچندسازه‌ها مستلزم آگاهی از خواص شیمیایی ساختار هسته-پوسته است. خواص مواد نانوچندسازه‌ای حاوی نانوپرکننده‌ها می‌تواند به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نسبت اختلاط زمینه آلی و نانوپرکننده‌ها قرار گیرد. برای این منظور، درجهٔ پراکنش در سراسر نمونه موردنیاز است.

فرایند ساخت نانواشیاء می‌تواند مواد را آلوده کند. روش‌های اندازه‌دهی مربوط به آنالیز شیمیایی توصیف‌شده در بند ۷ می‌تواند برای تشخیص انواع مختلف آلودگی نانواشیاء مفید باشد. این روش‌ها می‌توانند به شناسایی ناخالصی‌های موجود روی سطح نانواشیاء یا در محلول کمک کنند.

بسیاری از انواع مختلف نانواشیاء به شکل پراکنه آبی تهیه می‌شوند. نانواشیاء در چنین پراکنه‌هایی می‌توانند به‌صورت ذرات اولیه، کلوخه‌ها و انبوهه‌ها وجود داشته باشند. پایداری پراکنه به تأثیر همه نیروها بستگی دارد که عمدتاً به‌وسیله خواص ذره و محیط پراکنش و خواص سطح ذرات، یعنی شیمی سطح، تعیین می‌شود. در نظر گرفتن ارتباط اساسی عملیات سطحی یا اصلاحات نانواشیاء مهم است. در غیراین‌صورت، بسیاری از نانواشیاء تمایل به تشکیل کلوخه‌های بزرگ دارند و ذرات اولیه در آب پراکنده نمی‌شوند. علاوه بر این، نانواشیاء می‌توانند با اجزای فاز مایع برهم‌کنش داشته باشند و به‌طور جزئی یا کامل باعث تخریب یا تبدیل محصولات شوند که می‌تواند بر سمیت کلی و نتیجه نهایی فرآیندها تأثیر داشته باشد.

۷-۲ اندازه‌دهی‌های مربوط به آنالیز شیمیایی سطح نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها

۷-۲-۱ اندازه‌دهی‌ها

اندازه‌ده‌ها در جدول ۶ ارائه شده‌اند و در زیربندهای بعدی با جزئیات بیشتر همراه با روش‌ها توضیح داده می‌شوند. همانطور که اندازه شیء کوچکتر می‌شود، سطوح کسر بزرگی از «حجم» آنالیز را تشکیل می‌دهند. آماده‌سازی نمونه و کار کردن با دقت برای کمینه کردن آلودگی و اطمینان از آنالیز صحیح، ضروری است. تفکیک‌پذیری‌های عرضی و عمقی ارائه‌شده در جدول ۶ مقادیر متداول کارکرد دستگاهی تجاری فعلی هستند.

جدول ۶- اندازه‌ده‌های مربوط به آنالیز شیمیایی سطح نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها

اندازه‌ده نهایی	اندازه‌ده ویژه هر روش	روش	تفکیک‌پذیری عرضی روش	تفکیک‌پذیری عمقی روش	محدودیت‌ها	مراجع
شناسایی شیمیایی	انرژی جنبشی الکترون‌ها (eV)	AES	۱۰ nm	۲ تا ۲۰ nm	نمونه‌ها تحت خلاء بالا آنالیز می‌شوند؛ نمونه‌های غیرسانا نیاز به مراقبت دارند. حساسیت (۰/۳ درصد اتمی). اثرات زمینه در AES کمی نمونه‌های چندجزئی باید موردتوجه قرار گیرد.	[26], [27], [28], [29]
ترکیب، پیوندهای شیمیایی، خواص سطحی	تغییر در توزیع انرژی باریکه الکترونی عبوری از یک نمونه نازک (eV)	TEM با EELS	۰/۱ nm	۱۰ nm	نیاز به آزمونه‌های بسیار نازک (nm < ۳۰)، شدت ضعیف برای اتلاف انرژی < ۳۰۰ eV. فقط با TEM انجام می‌شود.	[29], [30], [31]
ترکیب عنصری، ایزوتوپی یا مولکولی سطح	یکاهای جرم اتمی یک‌دست (u)	SIMS	۲۰۰ nm	≈ ۱ nm (معدنی) ≈ ۱۰ nm (آلی)	چالش‌های کمی‌سازی. نمونه‌ها تحت خلاء آنالیز می‌شوند.	[29], [32], [33]
آنالیز شیمیایی و عنصری	طیف فلوئورسانس (شدت) برحسب طول موج با واحد (cm ⁻¹)	XRF	۱ تا ۱۰۰ μm	۵ تا ۲۰ μm	حد کمی متداول: ۱۰ ppm تا ۱۰۰ ppm (قسمت در میلیون). همراه با منبع تابش سنکروترون، حدود آشکارسازی مطلق: ۱۰۰ ppb (قسمت در میلیارد)	[34], [35], [36]
اندازه بلوری، فاز بلورشناختی، پارامترهای شبکه، ساختار	زویا و شدت‌های پرتو ایکس پراشیده‌شده (شدت، درجه)	XRD	۵۰ μm	۵ تا ۲۰ μm	برای اندازه‌گیری ساختارهای بلوری بزرگ، در مقایسه با ساختارهای کوچک‌تر، درست‌تر است.	[37]

جدول ۶ (ادامه)

مراجع	محدودیت‌ها	تفکیک پذیری عمقی روش	تفکیک پذیری عرضی روش	روش	اندازه دهه ویژه هر روش	اندازه نهایی
[26], [28], [29]	نمونه‌ها معمولاً تحت خلاء آنالیز می‌شوند. حساسیت (۰٫۱ درصد اتمی)	> ۱ nm	> ۱۰ μm	XPS	انرژی جنبشی الکترون‌ها (eV)	ترکیب سطح، شیمی پوشش، عامل‌دار شدن سطح
[29], [30]	برای EDX با استفاده از SEM باید نمونه‌ها رسانا و کاملاً صیقل داده شده باشند. ترکیب به دست آمده نسبی است.	۰٫۳ μm تا ۵ μm	۰٫۵ μm	EDX	برهم‌کنش بین باریکه الکترونی و نمونه، فوتون تولید می‌کند.	ترکیب
[29]	گونه‌های جذب سطحی شده روی نانو اشیاء باید قبل از آنالیز حذف شوند.	۱ nm تا ۱۰ nm	۰٫۱ mm تا ۰٫۵ mm	LEIS	پراکندگی یون‌های گاز نجیب	ضخامت پوشش

۲-۲-۷ طیف‌سنجی الکترون اوزه

روش AES اطلاعاتی در مورد ماهیت شیمیایی مواد ارائه داده و در خلاء فوق‌العاده بالا کار می‌کند. این روش از اثر اوزه استفاده می‌کند که واپاشی غیرتابشی ناشی از برخورد الکترونی است که حفره‌ای در هسته ایجاد کرده و منجر به نشر یافتن الکترون‌های پراثری اوزه از یک اتم برانگیخته شده و به وسیله طیف‌سنج الکترونی آنالیز می‌شود. در طیف‌سنجی اوزه، اثرات باردار شدن در نمونه‌های نارسانا رایج‌ترین محدودیت است، اگرچه با دقت، آنالیز نانو اشیاء نارسانای قرار گرفته روی یک بستره رسانا و استفاده از تفنگ الکترونی با جریان بالا، امکان پذیر می‌شود. این روش اطلاعات عنصری و حالت شیمیایی نیمه‌کمی ارائه می‌دهد. حساسیت سطحی در AES از این واقعیت ناشی می‌شود که الکترون‌های نشر یافته معمولاً دارای انرژی‌هایی در گستره ۵۰ eV تا ۳ keV هستند. حدود آشکارسازی تقریباً ۰٫۱ درصد اتمی تا ۱ درصد اتمی (at. %) قابل دستیابی است و به عنصر مورد آنالیز بستگی دارد. این روش می‌تواند برای آنالیز نانو ذرات مجزا یا مجموعه‌ای از نانو ذرات و همچنین به دست آوردن نقشه‌های عنصری، استفاده شود.

۳-۲-۷ استانداردهای مرتبط

۱ Electron flood gun

ISO/TR 14187, Surface chemical analysis- Characterization of nanostructured materials
ISO 15471, Surface chemical analysis- Auger electron spectroscopy- Description of selected instrumental performance parameters

ISO 16242, Surface chemical analysis- Recording and reporting data in Auger electron spectroscopy (AES)

ISO 16531, Surface chemical analysis- Depth profiling- Methods for ion beam alignment and the associated measurement of current or current density for depth profiling in AES and XPS

ISO 18116, Surface chemical analysis- Guidelines for preparation and mounting of specimens for analysis

ISO 18117, Surface chemical analysis- Handling of specimens prior to analysis

ISO 18118, Surface chemical analysis- Auger electron spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy- Guide to the use of experimentally determined relative sensitivity factors for the quantitative analysis of homogeneous materials

ISO 20579-4, Surface chemical analysis- Guidelines to sample handling, preparation and mounting — Part 4: Reporting information related to the history, preparation, handling and mounting of nano-objects prior to surface analysis

ISO 29081, Surface chemical analysis- Auger electron spectroscopy- Reporting of methods used for charge control and charge correction

۷-۲-۴ طیف‌سنجی اتلاف انرژی الکترون

در روش EELS، یک ماده در معرض باریکه‌ای از الکترون‌ها با محدوده مشخص و باریکی از انرژی‌های جنبشی قرار می‌گیرد که باعث پراکندگی غیرکشسان برخی از الکترون‌ها می‌شود. مقدار اتلاف انرژی را می‌توان از طریق یک طیف‌سنج الکترونی اندازه‌گیری و برحسب اینکه چه عاملی باعث اتلاف انرژی شده‌است، تفسیر کرد. روش EELS درون TEM کار می‌کند و می‌توان آن را مکمل EDX در نظر گرفت، اما با قابلیت آشکارسازی ۱۰ برابر بیشتر از EDX و بسیار مناسب‌تر برای عناصری که عدد اتمی کمتر دارند. سیگنال خروجی شامل اطلاعات شیمیایی و اطلاعات مستقیمی درباره ساختار جامدات و حالت اکسایش عناصر است. روش EELS می‌تواند ترکیب اتمی، پیوندهای شیمیایی، ظرفیت و خواص الکترونی نوار هدایت را اندازه‌گیری کند. همچنین در مقایسه با EDX، تمایز بهتری را بین عناصر ارائه می‌دهد. نمونه‌ها برای بررسی با EELS در TEM نیاز به آماده‌سازی دقیق دارند و باید به صورت برش‌های نازکی از ماده به وسیله باریکه یونی متمرکز (FIB) یا فرایزبر^۱ تهیه شوند.

۷-۲-۵ استانداردهای مرتبط

ISO/TR 14187, Surface chemical analysis- Characterization of nanostructured materials

^۱ Ultramicrotomer

۶-۲-۷ طیفسنجی جرمی یون ثانویه

طیفسنجی جرمی یون ثانویه روشی است که در علم مواد و علم سطح برای آنالیز ترکیب (شناسایی عناصر کیمیا، مولکول‌های آلی و بسپارها روی سطوح، با حساسیت بالاتر از ۱ ppm) سطوح جامد استفاده شده و از طریق کندوپاش کردن سطح نمونه با باریکه یون اولیه متمرکز و جمع‌آوری و آنالیز یون‌های ثانویه خارج شده، انجام می‌شود. نسبت جرم به بار این یون‌های ثانویه با یک طیفسنج جرمی اندازه‌گیری می‌شود تا ترکیب عنصری، ایزوتوپی یا مولکولی سطح تا عمق ۱ nm تا ۲ nm تعیین شود. تفکیک‌پذیری عرضی این روش معمولاً ۲۰۰ nm است، بنابراین مجموعه‌ای از نانواشیاء آنالیز می‌شوند. بسته به ماده، برخی از تنظیمات، اجازه تفکیک‌پذیری ۵۰ nm تا ۱۰۰ nm را هم می‌دهند. این یک روش بسیار حساس برای بررسی شیمی سطح (۱ nm بالایی) در نمونه‌هاست که در این حالت، مجموعه‌ای از نانواشیاء هستند.

۷-۲-۷ استانداردهای مرتبط

ISO/TR 14187, Surface chemical analysis - Characterization of nanostructured materials

ISO 18114, Surface chemical analysis - Secondary-ion mass spectrometry - Determination of relative sensitivity factors from ion-implanted reference materials

ISO 20341, Surface chemical analysis - Secondary-ion mass spectrometry - Method for estimating depth resolution parameters with multiple delta-layer reference materials

ISO 20579-4, Surface chemical analysis - Guidelines to sample handling, preparation and mounting - Part 4: Reporting information related to the history, preparation, handling and mounting of nano-objects prior to surface analysis

ISO 22048, Surface chemical analysis - Information format for static secondary-ion mass spectrometry

ISO 23830, Surface chemical analysis - Secondary-ion mass spectrometry - Repeatability and constancy of the relative-intensity scale in static secondary-ion mass spectrometry

۸-۲-۷ طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس

روش XRF برای آنالیز شیمیایی عنصری مواد استفاده می‌شود. یک منبع پرتو ایکس جهت تابش به نمونه استفاده می‌شود که سبب می‌شود عناصر موجود در نمونه، پرتوهای ایکس مشخصه خود را نشر (یا برانگیخته) کنند. یک سامانه آشکارسازی (پاشنده طول موج) برای اندازه‌گیری قله‌های پرتو ایکس نشر یافته به منظور اندازه‌گیری‌های کمی و کیفی عناصر و مقادیر آنها، استفاده می‌شود. این روش در دهه ۱۹۷۰ برای آنالیز فیلم‌های نازک گسترش یافت. به‌طور معمول XRF برای تعیین ترکیب عنصری فیلم استفاده می‌شود. هنگامی که مواد با تابش پرتو ایکس با طول موج کوتاه (مانند پرتو ایکس) برانگیخته شوند، می‌توانند یونیزه شوند. اگر انرژی تابش برای جابجایی یک الکترون محکم در لایه داخلی کافی باشد، اتم ناپایدار می‌شود و یک الکترون لایه بیرونی جایگزین الکترون داخلی از دست رفته می‌شود. جدا از ماهیت غیرمخرب آن، این روش چندعنصری و سریع است و در مطالعات شیمیایی انواع مختلف مواد، با موفقیت به کار می‌رود. قبل از اندازه‌گیری XRF،

نیازی به هیچ‌گونه فرایند ترمیم یا پاکسازی نیست، مگر با هدف حذف مکانیکی آلودگی از سطح نمونه‌ها که تحت دیداری‌سازی میکروسکوپی انجام می‌شود. تمام آنالیزها به‌منظور آشکارسازی عناصر سبک در خلاء انجام می‌شود. عناصر موجود در نمونه‌ها بر اساس خطوط مشخصه پرتو ایکس شناسایی می‌شوند و می‌توانند در گستره وسیعی از عناصر، از سدیم (عدد اتمی ۱۱) تا اورانیم (عدد اتمی ۹۲) استفاده شده و حد آشکارسازی در محدوده ppm فراهم می‌کند. روش XRF یک روش سریع (ترکیبات شیمیایی در عرض چند ثانیه تعیین می‌شوند) و برای استفاده، آسان است. حجم آنالیزشده در مقایسه با هر گونه آلودگی سطحی بسیار زیاد است. مواد مرجع برای کالیبراسیون موردنیاز است. علیرغم این واقعیت که این روش دارای تفکیک‌پذیری عرضی تقریباً ۱۰۰ نانومتر است، می‌توان از آن برای شناسایی شیمیایی نانوآشیاء و مواد حاوی آنها استفاده کرد [30]، [31]، [32].

فلورسانس بازتاب کلی پرتو ایکس (TXRF) شبیه به روش XRF پاشنده انرژی است، اما در هندسه تنظیم‌شده کار می‌کند. در اینجا، یک پرتو فرودی با زاویه‌ای کمتر از زاویه بحرانی بازتاب خارجی کل برای پرتو ایکس، به یک نمونه برخورد می‌کند که باعث بازتاب تقریباً ۱۰۰٪ فوتون‌های پرتو تحریک می‌شود. مزیت این روش کاهش سهم پس‌زمینه اندازه‌گیری با حذف پراکندگی ناشی از نمونه و در نتیجه افزایش حساسیت اندازه‌گیری عنصری است. روش TXRF همچنین یک روش کاملاً پذیرفته‌شده برای آنالیز شیمیایی است و عمدتاً برای کنترل کیفیت صنایع الکترونیکی استفاده می‌شود. با توجه به حساسیت بالا نسبت به آشکارسازی فلزات سنگین، روش TXRF برای اندازه‌شناسی شیمیایی زیست‌محیطی در مقیاس نانو مناسب است. با توجه به استانداردهای مناسب، روش TXRF را می‌توان به عنوان یک آنالیز متداول کمی در زمینه‌های محیط‌زیستی در آینده در نظر گرفت. علاوه بر این، گسترش روش TXRF به‌منظور اندازه‌گیری وابستگی سیگنال فلورسانس به زاویه، باعث افزایش توجه به آنالیز لایه نازکی از نانوذرات شده‌است.

۷-۲-۹ استانداردهای مرتبط

ISO 14706, Surface chemical analysis - Determination of surface elemental contamination on silicon wafers by total-reflection X-ray fluorescence (TXRF) spectroscopy

ISO/TS 18507, Surface chemical analysis - Use of total reflection X-ray fluorescence spectroscopy in biological and environmental analysis

۷-۲-۱۰ پراش پرتو ایکس

پراش پرتو ایکس روشی است برای تعیین ساختار اتمی و مولکولی یک بلور که در آن اتم‌ها باعث می‌شوند پرتو ایکس به جهات خاص مختلفی پراکنده شود. این روش برای مشخصه‌یابی و شناسایی فازهای چندبلوری مختلف مناسب است.

روش XRD یک روش پایه برای مشخصه‌یابی ساختار بلوری مواد است. یکی از شاخصه‌های مهم تابش پرتو ایکس این واقعیت است که نمی‌توان آن را به راحتی متمرکز کرد، بنابراین اطلاعات در مورد ساختار مواد معمولاً از یک منطقه نسبتاً بزرگ (تقریباً $50 \mu\text{m}$) ارائه می‌شود. نمونه‌های پودری روی یک نگهدارنده نمونه

صفحه‌ای تخت قرار می‌گیرند. در پراش پودری، داشتن نمونه‌ای با سطح صاف بسیار مهم است. از مزایای این روش این است که می‌توان از آنالیز غیرمخرب ساختار برای مقدار کمی پودر استفاده کرد و اندازه‌گیری‌ها را با افزایش دما انجام داد. برای آنالیز نانوشیء، این احتمال وجود دارد که پهن‌شدگی خطوط پراش مشاهده شود، که این امر آنالیز فاز را دشوار می‌سازد.

روش XRD می‌تواند متوسط فاصله بین لایه‌ها یا ردیف‌های اتم‌ها را اندازه‌گیری کند، جهت‌گیری یک تک‌بلور یا دانه را تعیین کند، ساختار کریستالی یک ماده ناشناخته و همچنین تنش داخلی نواحی بلوری کوچک را بیابد و ویژگی‌های ساختاری مانند پارامترهای شبکه، کرنش، اندازه دانه، برآرایی، فاز و ترکیب را تعیین کند.

۷-۲-۱۱ استانداردهای مرتبط

ISO/TR 14187, Surface chemical analysis - Characterization of nanostructured materials

۷-۲-۱۲ طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو ایکس

در روش XPS، نمونه به وسیله پرتو ایکس که در آن نفوذ می‌کند، تحت تابش قرار می‌گیرد. هنگامی که فوتون‌های پرتو ایکس یک فوتوالکترون تراز-هسته‌آ را تحریک می‌کنند، فوتوالکترون با انرژی جنبشی وابسته به پرتو ایکس فرودی و انرژی بستگی اوربیتال اتمی که از آن سرچشمه گرفته، منتشر می‌شود. در XPS، فوتوالکترون‌ها به عنوان تابعی از انرژی جنبشی‌شان، آزاد، شناسایی و شمارش می‌شوند. انرژی جنبشی و شدت فوتوالکترون‌ها برای شناسایی و تعیین غلظت سطحی عناصر موجود و حالت شیمیایی یا وضعیت پیوندی اتم تابشگر، آنالیز می‌شوند. XPS عناصری از لیتیم تا اورانیم را شناسایی می‌کند. روش XPS می‌تواند عناصری با غلظت سطحی تقریبی ۰/۱ درصد اتمی را تشخیص دهد. حساسیت این روش به سطح مقطع فوتویونش^۳ هر عنصر بستگی دارد. با این روش، هم مواد رسانا و هم عایق را می‌توان آزمود. برای مواد غیررسانا، از افزاره‌های خنثی‌کننده مانند تفنگ‌های الکترونی با جریان بالا یا تفنگ‌های یون آرگون و یا هر دو، استفاده می‌شود تا بار سطحی به شیوه‌ای کنترل شده پایدار شود.

پرتو ایکس در برخی از سامانه‌های تصویربرداری تجاری می‌تواند به کوچکی $10\ \mu\text{m}$ باشد. نقشه‌برداری شیمیایی با تفکیک‌پذیری عرضی تقریباً $10\ \mu\text{m}$ امکان‌پذیر است. با این حال، این تفکیک‌پذیری عرضی برای بررسی یک نانوذره مجزا بسیار کم است، بنابراین مجموعه‌ای از نانوذرات باید اندازه‌گیری شوند. پرتوهای ایکس همچنین به عمق سطح نفوذ می‌کنند، با این حال، عمق فرار فوتوالکترون‌ها از مرتبه کمتر از $10\ \text{nm}$ بوده و بنابراین اطلاعات از درون این عمق به دست می‌آید. روش XPS را می‌توان برای اندازه‌گیری شیمی و همچنین

۱ Epitaxy

۴ Core-level

۴ Photo-ionization

ضخامت پوشش‌های دور نانو اشیاء، مانند پوسته در نانوذرات هسته-پوسته، و نیز عامل دار شدن شیمیایی سطح استفاده کرد.

آماده‌سازی دقیق نمونه برای اطمینان از کیفیت خوب داده‌ها ضروری است (به ISO 20579-4 مراجعه شود). روش XPS در خلاء فوق‌العاده بالا کار می‌کند و می‌تواند به همراه پایه‌های گرمایشی و سرمایشی استفاده شود.

یادآوری - در آینده، آنالیز XPS از نانو اشیاء را می‌توان با استفاده از XPS تحت فشار نزدیک به محیط یا فناوری‌های جت مایع که در آن نانو اشیاء در مایع پراکنده می‌شوند، انجام داد. این فنون جدید در حال توسعه هستند [38].

۷-۲-۱۳ استانداردهای مرتبط

ISO 13424, Surface chemical analysis - X-ray photoelectron spectroscopy - Reporting of results of thin-film analysis

ISO/TR 14187, Surface chemical analysis - Characterization of nanostructured materials

ISO 16243, Surface chemical analysis - Recording and reporting data in X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)

ISO 16531, Surface chemical analysis - Depth profiling - Methods for ion beam alignment and the associated measurement of current or current density for depth profiling in AES and XPS

ISO 18116, Surface chemical analysis - Guidelines for preparation and mounting of specimens for analysis

ISO 18117, Surface chemical analysis - Handling of specimens prior to analysis

ISO 20579-4, Surface chemical analysis - Guidelines to sample handling, preparation and mounting - Part 4: Reporting information related to the history, preparation, handling and mounting of nano-objects prior to surface analysis

۷-۲-۱۴ طیف‌سنجی پرتو ایکس تفکیک انرژی

روش EDX اغلب به همراه SEM و TEM استفاده می‌شود. در این روش، یک باریکه الکترونی به سطح یک نمونه رسانا برخورد می‌کند. انرژی باریکه معمولاً در گستره ۱۰ keV تا ۲۰ keV است. این برخورد باعث می‌شود که پرتوهای ایکس از نقطه‌ای در ماده که با باریکه الکترونی اولیه تحت تابش قرار گرفته است، نشر کنند. انرژی پرتوهای ایکس نشر شده به ترکیب شیمیایی موضعی ماده مورد مطالعه بستگی دارد.

این روش می‌تواند در مورد ترکیب عنصری از بریلیم (عدد اتمی ۴) تا انیشتینیم (عدد اتمی ۹۹) با حد آشکارسازی تقریباً ۰٫۱ درصد اتمی، اطلاعات ارائه دهد. نمونه‌های غیررسانا با EDX مشکل ایجاد می‌کنند، زیرا بمباران نمونه با الکترون‌ها شروع به باردار شدن خود نمونه می‌کند که مانع از خروج پرتوهای ایکس به‌طور مؤثر می‌شود. با این حال، شناسایی و آنالیز عناصر با عدد اتمی کم (مانند نیتروژن و کربن) به‌وسیله EDX به دلیل همپوشانی بین قله‌های مشخصه پرتو ایکس دشوار است. تفکیک‌پذیری فضایی برای EDX در

تلفیق با SEM معمولاً برای نمونه‌های توده در گستره یک میکرومتر است. در انرژی‌های برانگیختگی پایین‌تر (زیر ۱۰ keV) یا زمانی که نانواشیاء روی فیلم‌های شفاف نسبت به الکترون آماده می‌شوند، تفکیک پذیری می‌تواند به زیر ۱۰۰ nm کاهش یابد [39]. هنگامی که EDX با TEM به کار می‌رود، تفکیک پذیری زیر ۱ nm است و توزیع (نقشه‌های) عنصری EDX با تفکیک‌پذیری بالا را می‌توان بر روی نانواشیاء چندسازه‌ای، مانند نانوذرات هسته-پوسته، انجام داد.

۷-۲-۱۵ پراکندگی یون کم انرژی

در روش LEIS نمونه با یون‌های گاز نجیب (هلیوم، نئون و آرگون) با انرژی چند keV بمباران می‌شود که برخی از آنها به وسیله اتم‌های سطحی پس پراکنش می‌یابند. یون‌های گاز نجیب از نمونه پراکنده شده و در یک زاویه پراکندگی ثابت جمع‌آوری می‌شوند که سبب ایجاد یک طیف انرژی یون‌های پراکنده شده می‌شود. اتلاف انرژی در فرآیند پراکندگی حاوی اطلاعاتی درباره جرم اتمی که یون هلیوم از آن پراکنده شده و عمقی که پراکندگی در آن رخ داده است، می‌باشد. مساحت زیر یک قله مستقیماً به تعداد اتم‌های یک گونه خاص موجود در سطح آنالیز شده مربوط می‌شود.

آنالیز LEIS در خلاء فوق‌العاده بالا انجام می‌شود. از این روش می‌توان برای اندازه‌گیری ضخامت پوسته نانوذرات هسته-پوسته استفاده کرد که تطابق معناداری با XPS دارد [40].

۷-۳ اندازه‌دهی‌های مربوط به آنالیز شیمیایی نانواشیاء به شکل نمونه‌های توده

۷-۳-۱ اندازه‌دهی‌ها

اندازه‌دهی‌های شرح داده شده در زیربند ۷-۳ را می‌توان برای آزمودن خواص شیمیایی کل نمونه که حاوی نانواشیاء است یا در برخی روش‌ها برای آنالیز حجم و عمق بزرگتری نسبت به لایه‌های سطحی، استفاده کرد. اکثر روش‌های ارائه شده، امکان آزمودن نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آن‌ها را در اشکال مختلف از جمله پودر، فیلم‌های نازک، محصولات حاوی نانواشیاء مانند چندسازه‌ها و پراکنه‌ها فراهم می‌کند. اندازه‌دهی‌ها در جدول ۷ خلاصه شده است.

جدول ۷- اندازه‌دهی‌های مربوط به آنالیز شیمیایی نانواشیاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها

اندازه‌دهی نهایی	اندازه‌دهی ویژه روش	روش	تفکیک پذیری عرضی روش	تفکیک پذیری عمقی روش	محدودیت‌ها	مراجع
ساختار، ترکیب سطوح زبر	ارتعاشات شیمیایی به صورت عدد موج (cm^{-1})	DRIFT ^۲	$> 15 \mu\text{m}$	$0.1 \mu\text{m}$ تا $2.5 \mu\text{m}$ بسته به طول موج نور، زاویه	غالباً روی پودرهای خشک قابل اجراست. حساس به کربن دی‌اکسید و آب.	[41], [42]

¹ Electron-transparent films

^۲ Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy

		برخورد و ضریب شکست نمونه			اندازه‌گیری می‌شوند.	
--	--	--------------------------	--	--	----------------------	--

جدول ۷ (ادامه)

مراجع	محدودیت‌ها	تفکیک پذیری عمقی روش	تفکیک پذیری عرضی روش	روش	اندازه‌دهنده ویژه روش	اندازه‌دهنده نهایی
[42], [43]	غالباً روی پودرهای خشک قابل اجرا است. حساس به کربن دی‌اکسید و آب. مولکول باید در ناحیه فرسرخ فعال باشد. حساسیت و محدودیت تشخیص: % ۰٫۲ (که با فنون خاص به % ۰٫۱ می‌رسد).	۰٫۱ μm تا ۲٫۵ μm	$>15 \mu\text{m}$	FTIR	شدت در گستره باریکی از طول موج در یک زمان. ارتعاشات شیمیایی به صورت اختلاف عدد موج (cm^{-1}) اندازه‌گیری می‌شود.	ساختار، ترکیب
[44], [45]	عموماً: QMS: ۱۵۰-۲ amu FTIR: 400 cm^{-1} - 5500 cm^{-1} دما: دمای محیط تا 1500°C ۰٫۱ ppm - ۵۰٪	N/A	N/A	آنالیزهای گرمایی (مانند TGA EGA FTIR مشابه QMS یا	جریان یونی (A.s) عدد موج (cm^{-1})، از دست دادن کمی جرم نمونه (mg)	ترکیب، شناسایی گازهای رهائش یافته از نمونه
[29]	تصحیحاتی برای پراکندگی ممکن است نیاز باشد. نمونه‌های جامد به لوازم جانبی بازتابی نیاز دارند.	N/A	N/A	UV-Vis	طیف جذب که به صورت جذب بر حسب طول موج (nm) رسم می‌شود.	غلظت، ترکیب
[46]	برای فلزات و آلیاژها قابل استفاده نیست. فلورسانس ناشی از ناخالصی‌ها یا خود	۰٫۵ nm	۰٫۵ nm تا ۱۰ nm	طیف‌سنجی رامان	جابجایی بسامد پراکندگی غیرکشسان نور بر حسب تغییرات	ساختار، ترکیب

	نمونه می تواند طیف رامن را بپوشاند. گرم کردن نمونه با تابش قوی لیزر می تواند به نمونه آسیب رساند.				عدد موج (cm^{-1})	
--	---	--	--	--	------------------------------	--

جدول ۷ (ادامه)

مراجع	محدودیتها	تفکیک پذیری عمقی روش	تفکیک پذیری عرضی روش	روش	اندازه ده ویژه روش	اندازه ده نهایی
[47], [48], [49]	به رقیق شدن مناسب نیاز دارد (مستقیماً برای غلظت عددی بالا قابل استفاده نیست). جدول ۴ را مشاهده کنید.	N/A	N/A	sp-ICP-MS (به زیربند ۱۵-۵-۶ مراجعه شود)	جرم عنصری به ازای هر ذره؛ غلظت عددی ذرات؛ کسر جرمی عنصری (یونی) حل شده	ترکیب عنصری و جرم به ازای هر ذره
[50]	نیاز به تجزیه اسیدی و انحلال کامل نمونه دارد.	N/A	N/A		غلظت جرمی عنصری کل (جمع گونه های ذره ای و یونی)	ترکیب عنصری و جرم (-ICP) ICP-MS, OES, ICP-AES ترکیب ایزوتوپها (ICP-MS)
در این جدول، تفکیک پذیری عمقی در ابتدا اشاره دارد به عمق آنالیز در نمونه ای که روش مورد نظر در حال آشکارسازی آن است.						

۷-۳-۲ طیفسنجی فروسرخ تبدیل فوری

روش FTIR اطلاعات ویژه ای را در مورد پیوندهای شیمیایی و ساختارهای مولکولی ارائه می دهد که آن را برای آنالیز مواد آلی و معدنی مشخص، قابل استفاده می کند. پیوندهای شیمیایی در بسامدهای مشخصی ارتعاش می کنند و وقتی در معرض تابش فروسرخ قرار می گیرند، تابش را در بسامدهایی که با حالت های ارتعاشی آنها مطابقت دارد، جذب می کنند. اندازه گیری جذب تابش به صورت تابعی از بسامد، طیفی را تولید می کند که می تواند برای شناسایی گروه های عاملی و ترکیبات استفاده شود. روش FTIR می تواند برای شناسایی نوع و محل گروه های عاملی شیمیایی نانو اشیاء و کلوخه ها و انبوهه های آنها و همچنین شناسایی مکان های فعال مختلف در نانو اشیاء فلزی و اکسید فلزی استفاده شود. این روش نیاز به آماده سازی کم و یا بدون آماده سازی دارد و در آن از انواع نگهدارنده های نمونه و سل های موجود، استفاده می شود. در صورت امکان بهتر است آب

از نمونه خارج شود. از مهمترین مزایای این روش، سرعت بالای اندازه‌گیری، داشتن پایگاه داده بزرگی از مواد آزمون شده و غیرمخرب بودن آن است.

هنگامی که FTIR با بلور ATR جفت شود، می‌تواند فیلم بسیار نازک (با ضخامت تک‌لایه) یا گونه‌های مولکولی در فاز آبی (نیاز به تنظیم خاصی دارد) را تشخیص دهد. زمان تخمینی برای به‌دست آوردن طیف از یک نمونه معمولی بسته به نوع دستگاه و تفکیک‌پذیری موردنیاز از ۱ دقیقه تا ۱۰ دقیقه متغیر است. بسیاری از دستگاه‌های FTIR مجهز به کالیبراسیون خودکار با درستی بهتر از 0.1 cm^{-1} هستند. این امر نیاز به کالیبراسیون خارجی را از بین می‌برد. روش DRIFT یک روش طیف‌سنجی فروسرخ است که برای نمونه‌های پودری (با مساحت سطح بالا) استفاده می‌شود. عمق نفوذ در نمونه به خواص فیزیکی و نوری نمونه و همچنین پودر رقیق‌کننده مورد استفاده برای پروفایل‌سنجی عمقی بستگی دارد. از این روش می‌توان به‌عنوان جایگزینی برای روش قرص‌های فشرده شده استفاده کرد. DRIFT به راحتی می‌تواند بین مواد آلی و معدنی تمایز قائل شود.

نور فروسرخ بر روی یک نمونه بسته به خواص توده ماده در درجات مختلفی منعکس شده و عبور می‌کند. بازتاب پخشیده با انعکاس نور از سطوح ناهموار نمونه در تمام جهات تولید و با استفاده از یک آینه بیضی یا مخروطی جمع می‌شود. اندازه ذرات باید کوچکتر از طول موج نور فرودی باشد، بنابراین برای طیف‌سنجی فروسرخ متوسط، باید کمتر از $5 \mu\text{m}$ باشد. طیف‌ها در واحد لگاریتم معکوس بازتاب ($\log 1/R$) نسبت به عدد موج رسم می‌شوند. نمونه را می‌توان مستقیماً به شکل توده یا به‌صورت پراکنه‌هایی در زمینه‌های شفاف نسبت به فروسرخ، مانند پتاسیم برومید و پتاسیم کلرید، آنالیز کرد. رقیق شدن سنجیدنی در یک زمینه غیرجاذب، نسبت بازتاب پخشیده را در تمام نور منعکس شده افزایش می‌دهد. به‌طور معمول، نمونه جامد با استفاده از پتاسیم برومید به‌صورت همگن تا حدود ۵ تا ۱۰ درصد وزنی رقیق می‌شود.

روش FTIR توان عملیاتی بالا، نسبت سیگنال به نوفه بالا و درستی طول موج بالایی دارد. عمق نفوذ زیاد آن بدین معناست که می‌شود برای نیم‌رساناهای با گاف انرژی کم، طیف را به‌دست آورد. برای اکثر نمونه‌ها حداقل اطلاعات عنصری موجود است. حلال زمینه یا ماتریس جامد باید در ناحیه طیفی موردنظر نسبتاً شفاف باشد. به‌دست آوردن طیف فروسرخ از نمونه‌های مختلف مایع، جامد و گاز امکان‌پذیر است. با این حال، بسیاری از مواد در برابر تابش فروسرخ غیرشفاف هستند و برای به‌دست آوردن طیف‌ها، باید در یک ماتریس شفاف حل یا رقیق شوند. در این شرایط به عنوان جایگزین امکان به‌دست آوردن مستقیم طیف بازتابشی یا نشری از نمونه‌های غیرشفاف فراهم می‌شود.

۳-۳-۷ استانداردهای مرتبط

ISO 10640, Plastics - Methodology for assessing polymer photoageing by FTIR and UV/visible spectroscopy

ISO/TS 14101, Surface characterization of gold nanoparticles for nanomaterial specific toxicity screening: FT-IR method

۷-۳-۴ آنالیز گرمایی به کمک آنالیزگر گاز خروجی همراه با FTIR یا QMS

روش TGA روشی برای آنالیز گرمایی است که در آن تغییرات جرم ماده به‌عنوان تابعی از افزایش دما با نرخ حرارت‌دهی ثابت، اندازه‌گیری می‌شود. این روش برای مطالعه گاز رهایش‌یافته از نمونه‌های حرارت داده شده که دستخوش تجزیه یا واجذب می‌شوند، استفاده می‌شود. با جفت کردن دستگاه آنالیز حرارتی (DSC یا TGA) با یک QMS یا FTIR، آشکارسازی گازهای رهایش‌یافته از نمونه و آنالیز آنها در زمان واقعی امکان‌پذیر است که همبستگی با سایر سیگنال‌های آنالیز گرمایی (از دست دادن جرم یا انتقال گرماگیر) را فراهم می‌کند. برای آزمون DSC مقدار کمی از نمونه (۵ mg تا ۱۰ mg) استفاده می‌شود و نمونه‌ها باید با گاز بی‌اثر گازدهی شوند تا پایداری شرایط اندازه‌گیری فراهم شود. قبل از آزمون لازم است یک آزمون شاهد با دستگاه آنالیز حرارتی و طیف‌سنج با تنظیمات مشابهی که برای نمونه استفاده می‌شود، انجام گیرد.

آنالیز گرمایی می‌تواند ترکیب شیمیایی مواد در فاز جامد یا گاز را تعیین و نوع و محل گروه‌های عاملی شیمیایی نانوآشپاء و کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها را شناسایی کند. با استفاده از طیف‌سنج QMS و FTIR به همراه دستگاه آنالیز گرمایی می‌توان نتایج تکمیلی را به‌دست آورد. روش TGA با EGA معمولاً اطلاعات کیفی در مورد ترکیب ارائه می‌دهد، اما کمی‌سازی حتی به‌وسیله FTIR یا QMS چالش برانگیز است.

۷-۳-۵ استانداردهای مرتبط

ISO/TS 11308, Nanotechnologies - Characterization of carbon nanotube samples using thermogravimetric analysis

ISO 11358-1, Plastics - Thermogravimetry (TG) of polymers - Part 1: General principles

ISO 21870, Rubber compounding ingredients - Carbon black - Determination of high-temperature loss on heating by thermogravimetry

۷-۳-۶ طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی

طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی (UV-Vis) می‌تواند برای شناسایی برخی از گروه‌های عاملی در مولکول‌ها و سنجش آنها استفاده شود. در فناوری نانو، طیف‌سنجی UV-Vis می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد نانوآشپاء از طریق مطالعات SPR ارائه کند و اطلاعاتی در مورد اندازه‌ها و کمی‌سازی مقدار مواد، ارائه دهد. مقدار جذب شدیداً به اندازه ذرات، محیط دی‌الکتریک و محیط شیمیایی اطراف بستگی دارد. تفکیک‌پذیری یک طیف‌سنج نوری UV-Vis معمولاً به پهنای طیف نوری آن مرتبط است. هرچه پهنای طیف نوری کوچکتر باشد، تفکیک‌پذیری تصویر ریزتر است. پهنای طیف نوری به عرض شکاف و قدرت پراکندگی تک‌فام‌ساز بستگی دارد. برای دستگاه‌های دیود آرایه‌ای، تفکیک‌پذیری به تعداد دیودهای داخل آرایه نیز بستگی دارد. محدوده طول موج عموماً بین ۱۹۰ nm تا ۹۰۰ nm با تفکیک‌پذیری ۰٫۱ nm است [45].

۷-۳-۷ استانداردهای مرتبط

ISO 10640, Plastics - Methodology for assessing polymer photoageing by FTIR and UV/visible spectroscopy

ISO/TS 10868, Nanotechnologies - Characterization of single-wall carbon nanotubes using ultraviolet-visible-near infrared (UV-Vis-NIR) absorption spectroscopy

۷-۳-۸ طیفسنجی رامان

طیفسنجی رامان از اثر رامان استفاده می‌کند که پراکندگی غیرکشسان نور با تغییر بسامد ناشی از انتقال انرژی بین نمونه و نور فرودی است. این جابه‌جایی بسامد، اطلاعاتی در مورد حالت‌های ارتعاشی در نمونه و از این‌رو، اطلاعات شیمیایی فراهم می‌آورد و مکمل طیفسنجی فرسرخ است. طیفسنجی رامان می‌تواند بین ایزوتوپ‌ها تمایز قائل شود. همچنین در شرایط خاص، می‌تواند اطلاعاتی دربارهٔ ابعاد ارائه دهد (به زیربند ۱۱-۴-۶ مراجعه شود).

۷-۳-۹ روش‌های پلاسمای جفت‌شده القایی

در روش ICP، یک نمونهٔ پراکنه مایع در دمای بالا درون پلازما اسپری می‌شود که در آنجا اتم‌ها یونیزه شده و آشکارسازی می‌شوند. آشکارساز می‌تواند ICP-MS یا ICP-OES باشد که دومی، با نام ICP-AES نیز شناخته می‌شود. شدت هر قله در نسبت جرم به بار (ICP-MS) یا طول موج (ICP-OES/AES) معین با عناصر مرجع که غلظت جرمی مشخص دارند، مقایسه می‌شود تا غلظت هر عنصر محاسبه شود. این روش امکان به‌دست آوردن اطلاعات غلظتی و شیمیایی را فراهم می‌کند.

برای روش sp-ICP-MS، به زیربند ۶-۵-۱۵ مراجعه شود، زمان اندازه‌گیری برای یک نسبت خاص جرم عنصر به بار، به پنجره‌های زمانی به اندازه کافی کوچک تقسیم می‌شود، به طوری که ذرات منفرد با شدت سیگنال متناسب با تعداد اتم‌های هر ذره آشکارسازی می‌شوند. این فرآیند، اطلاعات شیمیایی را همراه با اندازه‌گیری جرم عنصری هر ذره فراهم می‌کند و در تلفیق با غلظت عددی اندازه‌گیری‌شده، غلظت جرمی ذره را می‌دهد.

۷-۳-۱۰ استانداردهای مرتبط

ISO 11885, Water quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)

ISO/TS 13278, Nanotechnologies - Determination of elemental impurities in samples of carbon nanotubes using inductively coupled plasma mass spectrometry

ISO 17294-1, Water quality - Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) - Part 1: General guidelines

ISO 17294-2, Water quality - Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) - Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes

۷-۳-۱۱ زاویهٔ تماس

زاویه تماس، زاویه اندازه‌گیری شده بین یک مایع و یک سطح است. این زاویه، ترشوندگی سطح به‌وسیله مایع را مشخص می‌کند. همچنین می‌توان زوایای تماس را به‌صورت پویا نیز اندازه‌گیری نمود. این زوایا معمولاً با استفاده از روش قطره ثابت‌شده روی سطح اندازه‌گیری می‌شوند که در آن، زاویه قطره روی سطح به‌صورت نوری اندازه‌گیری می‌شود. این روش برای اندازه‌گیری خواص یک نانوشیء منفرد نیست، بلکه باید از پوشش پیوسته نانوشیء روی یک سطح استفاده کرد و می‌تواند از پراکنه مایع به‌دست آید. زاویه تماس به‌دست آمده، هم به شیمی و هم به توپوگرافی (پستی و بلندی) سطح بستگی دارد.

۸ اندازه‌ده‌های مربوط به جرم و چگالی

۸-۱ کلیات

بند ۸، اندازه‌ده‌های مربوط به جرم و چگالی را پوشش می‌دهد. اندازه‌ده‌های اصلی در این بخش عبارتند از:

الف- جرم و توزیع جرمی نانوشیء؛

ب- چگالی و توزیع چگالی نانوشیء؛

پ- اندازه‌ده‌های حجم و اندازه نانوشیء به‌طوریکه با جزئیات در بند ۶ توضیح داده شده‌اند.

۸-۲ هواسل‌ها

۸-۲-۱ اندازه‌ده‌ها

اندازه‌ده‌ها در جدول ۸ نمایش داده شده‌اند و در زیربندهای پیش‌رو با جزئیات کامل و به همراه روش‌های اندازه‌گیری شرح داده خواهند شد.

جدول ۸- اندازه‌ده‌های مرتبط با اندازه‌گیری جرم و چگالی نانوشیء در یک هواسل

اندازه‌ده نهایی	اندازه‌ده ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
توزیع جرمی	توزیع جرم به بار (m/z)	تحلیلگر جرم ذره هواسل	۰٫۰۰۱ fg تا ۱۰۰ fg ۱۰ nm تا ۱۰ μm	کسر جرمی ۱۰٪ جرم مرکزی توزیع	متکی بودن به ذرات باردار شده	[51]
	توزیع زمان پرواز جرم به بار (m/z)	تحلیلگر زمان پرواز جرم ذره	۱ m/z تا ۱۲۰۰	m/Δm تا مقدار ۴۰۰۰ برای ۰٫۰۵ μgm ⁻³		[52]

۸-۲-۲ استانداردهای مرتبط

ISO 8573-8, Compressed air - Part 8: Test methods for solid particle content by mass concentration

ISO 9276-5, Representation of results of particle size analysis - Part 5: Methods of calculation relating to particle size analyses using logarithmic normal probability distribution

ISO 10808, Nanotechnologies - Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing

ISO/TS 12025, Nanomaterials - Quantification of nano-object release from powders by generation of aerosols

ISO 12154, Determination of density by volumetric displacement - Skeleton density by gas pycnometry

۸-۲-۳ تحلیلگر جرم ذره هواسل

این تحلیلگر از دو الکتروستات تشکیل شده است که حول یک محور مشترک می چرخند. ذرات نمونه هواسل، باردار شده و وارد شکاف حلقوی می شوند و الکترودها با سرعت مشابه در حال چرخش هستند. هنگامی که ولتاژی به الکتروستات داخلی اعمال می شود، ذرات دو نیروی مخالف مرکزگرا و الکتروایستا را تجربه می کنند. از توازن این نیروها می توان جرم ذرات را محاسبه کرد.

۸-۲-۴ طیفسنجی جرمی زمان پرواز

این روش نوعی از طیفسنجی جرمی است که در آن نسبت جرم به بار یک نانوذره باردار شده از طریق اندازه گیری زمان پرواز تعیین می شود. ابتدا ذرات به وسیله یک میدان الکتریکی با قدرت مشخص شتاب می گیرند. این شتاب باعث می شود که ذرات با بار یکسان، انرژی جنبشی یکسانی داشته باشند. بنابراین سرعت ذره به نسبت جرم به بار بستگی دارد. زمانی که متعاقباً طول می کشد تا ذره به آشکارساز در فاصله ای مشخص برسد، اندازه گیری می شود. این زمان به نسبت جرم به بار ذره بستگی دارد (ذرات سنگین تر با سرعت کمتری می رسند و به زمان بیشتری نیاز دارند). براساس این زمان و پارامترهای مشخص آزمون، نسبت جرم به بار نانوذره تعیین می شود. همچنین می توان از این روش برای تعیین توزیع اندازه به شکل هواسل و آنالیز شیمیایی هواسل ها استفاده کرد.

۸-۳ پودرها

۸-۳-۱ اندازه ده ها

برای اندازه گیری های جرم یا چگالی عموماً لازم است که نانوشیانی که به صورت پودر هستند به هواسل تبدیل شده یا در یک حلال پراکنده شوند و سپس به ترتیب با روش های شرح داده شده در زیربندهای ۸-۲ و ۸-۴ آنالیز شوند. چنانچه به دنبال توزیع اندازه ذرات مجزا باشیم، باید دقت شود کلوخه ها و انبوهه ها حذف شوند. با این حال، چگالی پودر نانوشیاء را می توان به طور مستقیم با چگالی سنجی^۱ گازی به طوریکه در جدول ۹ ارائه شده است، اندازه گیری کرد.

^۱ Pycnometry

جدول ۹- اندازه‌دهی مرتب با اندازه‌گیری جرم و چگالی نانوآشپاء به شکل پودر

مراجع	محدودیت‌ها	تفکیک پذیری	محدوده	روش	اندازه‌دهی ویژه هر روش	اندازه‌دهی نهایی
[53] [54] ISO 12154	حجم و جرم به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شده و بر هم تقسیم می‌شوند تا چگالی به‌دست آید.	$\pm 0.1\%$	تا 0.1 g/cm^3 10 g/cm^3	چگالی سنجی	حجم جابه‌جایی گاز	چگالی

۸-۳-۲ چگالی سنجی

چگالی سنجی، چگالی توده‌ای یا اسکلتی جامدات، در اینجا پودر نانوشیء را از طریق جابه‌جایی گاز و با استفاده از قانون بویل^۱ که بر رابطه حجم-فشار حاکم است، اندازه‌گیری می‌کند. دستگاه، مقدار جابه‌جایی حجم گاز به‌وسیله پودر نانوذره را اندازه‌گیری کرده و با اندازه‌گیری جرم به‌طور جداگانه، می‌توان چگالی را محاسبه کرد.

۸-۳-۳ استانداردهای مرتب

ISO 12154, Determination of density by volumetric displacement - Skeleton density by gas pycnometry

۸-۴-۴ پراکنه‌های مایع

۸-۴-۱ اندازه‌دهی‌ها

اندازه‌دهی‌ها در جدول ۱۰ نشان داده شده‌اند و در زیربندهای زیر با جزئیات کامل و به همراه روش‌های اندازه‌گیری شرح داده خواهند شد.

جدول ۱۰- اندازه‌دهی‌های مربوط به جرم و چگالی برای نانوآشپاء در پراکنه‌های مایع

مراجع	محدودیت‌ها	تفکیک پذیری	محدوده	روش	اندازه‌دهی ویژه هر روش	اندازه‌دهی نهایی
[14], [29]	هنوز در مراحل توسعه قرار دارد.	کسر جرمی $\pm 4\%$	تا 0.1 gcm^{-3} 10 gcm^{-3}	تشنشینی مایع مرکزگریز (روش‌های	عبور نور به‌عنوان تابعی از نرخ تشنشی براساس موقعیت	توزیع چگالی

^۱ Boyle's law

				هم چگالی و چندسرعتی)		
--	--	--	--	-------------------------	--	--

جدول ۱۰ (ادامه)

مراجع	محدودیت‌ها	تفکیک پذیری	محدوده	روش	اندازه‌ده ویژه هر روش	اندازه‌ده نهایی
[14], [29]	هنوز در مراحل توسعه قرار دارد.	کسر جرمی $\pm 4\%$	10^{-18} g تا 10^{-11} g (۱ ag تا ۱۰ pg)	ته‌نشینی مایع مرکزگریز (روش هم‌چگالی)	عبور نور به عنوان تابعی از نرخ ته‌نشینی بر اساس موقعیت	
[55]	نمونه پراکنده شده باید شفاف باشد و نور با طول موج استفاده شده را جذب نکند. معمولاً حجم بالایی از نمونه (۱ ml) لازم است.	کسر جرمی ۵٪	۰٫۰۰۱ ag تا ۱۰۰ ag (۱۰ kD تا ۱۰ MD) ۰٫۰۵ μm تا ۲۰۰۰ μm	پراکنندگی ایستای نور	شدت پراکنندگی به صورت تابعی از زاویه توزیع اندازه ذرات	توزیع جرمی
[56]		کسر جرمی $\pm 3\%$ 0.002 gcm^{-3}	۳۵۰ ag ۵۰ nm تا ۵ μm	اندازه‌گیری جرم تشدید	جرم ذرات مجزا	توزیع جرمی، توزیع چگالی

۸-۴-۲ استانداردهای مرتبط

ISO 8573-8, Compressed air - Part 8: Test methods for solid particle content by mass concentration

ISO 9276-5, Representation of results of particle size analysis - Part 5: Methods of calculation relating to particle size analyses using logarithmic normal probability distribution

ISO 13318-1, Determination of particle size distribution by centrifugal liquid sedimentation methods - Part 1: General principles and guidelines

ISO 16014-5, Plastics - Determination of average molecular weight and molecular weight distribution of polymers using size-exclusion chromatography - Part 5: Light-scattering method

ISO 18747-1, Determination of particle density by sedimentation methods - Part 1: Isopycnic interpolation approach

ISO 18747-2, Determination of particle density by sedimentation methods - Part 2: Multi-velocity approach

۸-۴-۳ ته‌نشینی مرکز‌گریز مایع (روش هم‌چگالی)^۱

به زیربند ۸-۳-۲ مراجعه شود. ذرات در سطحی ته‌نشین می‌شوند که چگالی آن‌ها با محیط اطراف مطابقت داشته باشد، از این‌رو اصطلاح هم‌چگال به معنای «با چگالی مشابه» است. میزان نرخ ته‌نشینی، جرم ذرات را می‌دهد و نقطه ته‌نشینی تعادلی یا غیرتعادلی، چگالی را مشخص می‌کند.

۸-۴-۴ پراکندگی ایستای نور

در روش SLS، یک نور تک‌رنگ با شدت بالا، معمولاً نور لیزر، از محلولی حاوی نانوذرات عبور می‌کند. آشکارسازهای تکی یا چندگانه برای اندازه‌گیری شدت پراکندگی در یک یا چند زاویه استفاده می‌شوند. وابستگی زاویه‌ای شدت پراکندگی برای به‌دست آوردن اندازه نانوذرات با شعاع بالاتر از ۱٪ تا ۲٪ طول موج فرودی استفاده می‌شود. بسته به جهت زوایای آشکارساز نسبت به جهت نور تابشی، روش SLS به صورت LALS، RALS، MALS^۴ اجرا می‌شود.

۸-۴-۵ اندازه‌گیری جرم تشدید

روش RMM ذراتی در محدوده اندازه ۵۰ nm تا ۵ μm را شناسایی و شمارش کرده و جرم شناور و اندازه آنها را اندازه می‌گیرد. این روش از یک مجرای میکروسیال که از درون یک تیرک تشدید عبور می‌کند، جرم ذرات داخل مایع عبوری از مجرا را شمارش، اندازه‌گیری و آشکارسازی می‌کند. جرم ذره، بسامد تشدید تیرک را تغییر می‌دهد که مستقیماً با جرم شناور ذره مرتبط است. این روش همچنین امکان شمارش درست ذرات در نمونه را فراهم می‌کند. در این روش، ذرات با چگالی مشابه ذرات محلول، آشکارسازی نمی‌شوند. همچنین مقدار چگالی برای ارزشیابی اندازه یا حجم مورد نیاز است. از این‌رو، کمینه اندازه یک ذره شناسایی شده به کمینه جرم قابل آشکارساز بستگی دارد.

۹ اندازه‌دهی‌های مربوط به بار-پراکنه‌های مایع

۹-۱ اندازه‌دهی‌ها

پتانسیل الکتروجنبشی یا پتانسیل زتا، پتانسیل الکتریکی در فصل مشترک لایه دوگانه در محل صفحه لغزش نسبت به یک نقطه در توده سیال و دور از فصل مشترک است. به عبارت دیگر، پتانسیل زتا اختلاف پتانسیل

^۱ Isopycnic

^۲ Of the same density

^۳ Low angle light scattering

^۴ Right angle light scattering

^۵ Multi- angle light scattering

بین محیط پراکنه و لایه ثابت سیال که به ذره پراکنده متصل است را نشان می‌دهد. پتانسیل زتا یک ویژگی ذاتی نانوشیء نیست، زیرا هم به ذرات و هم به محیطی که در آن پراکنده شده‌اند، بستگی دارد. اندازه‌دهها در جدول ۱۱ آورده شده‌اند و با جزئیات بیشتر همراه با روش‌ها در زیربندهای بعدی توضیح داده خواهند شد.

جدول ۱۱- اندازه‌دههای مربوط به بار

اندازه‌ده نهایی	اندازه‌ده ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
بار، پتانسیل زتا	تحرك پذیری الكتروكوچى (سرعت ذره / شدت میدان اعمالی)	پراكنده‌گی نور الكتروكوچى	- ۵۰۰ mV تا ۵۰۰ mV	۰٫۱ mV	امكان تخريب برخى از مواد در میدان الكتریكى اعمالی وجود دارد. غلظت‌ها باید برای آشكارسازی پراكنده‌گی نور مناسب باشند.	[57], [58]
بار، پتانسیل زتا	تحرك پذیری پویای الكتروكوچى	اندازه‌گیری الكتروصوتی	- ۵۰۰ mV تا ۵۰۰ mV	۰٫۱ mV	نیاز به كالیبراسیون دارد. برای ذرات بزرگتر (nm) ۳۰۰ > پاسخ به جرم ذره بستگی دارد.	[59]

۹-۲ استانداردهای مرتبط

ISO 13099-1, Colloidal systems - Methods for zeta-potential determination - Part 1: Electroacoustic and electrokinetic phenomena

ISO 13099-2, Colloidal systems - Methods for zeta-potential determination - Part 2: Optical methods

ISO 13099-3, Colloidal systems - Methods for zeta-potential determination - Part 3: Acoustic methods

۹-۳ پراكنده‌گی نوری الكتروكوچى

الكتروكوچى حرکت ذرات پراكنده در یک سیال تحت تأثیر میدان الكتریكى فضایی یکنواخت است. پتانسیل زتای پراكنه با اعمال میدان الكتریكى در سراسر پراكنه اندازه‌گیری می‌شود. ذرات درون پراكنه با پتانسیل زتا، با سرعتی متناسب با بزرگی پتانسیل زتا به سمت الكترود با بار مخالف، مهاجرت می‌کنند. این سرعت با استفاده از آنومتری داپلر لیزری^۱ اندازه‌گیری می‌شود. جابجائی بسامد یا جابجائی فاز یک باریکه لیزر فرودی که به سبب وجود این ذرات متحرک ایجاد شده‌است، مقدار حرکت پذیری ذرات را نشان می‌دهد و این حرکت پذیری

^۱ Laser Doppler anemometry

با توجه به گرانبودی ماده پراکنده ساز و تراوایی دی الکتریک و به کارگیری تئوری مناسب، به پتانسیل زتا تبدیل می شود.

۹-۴ اندازه گیری پدیده های الکترو صوتی

از دو اثر الکترو صوتی برای تعیین پتانسیل زتا استفاده می شود: جریان ارتعاش کلئوئید (CVC)^۱ و دامنه صوتی الکترو جنبشی (ESA)^۲. این دستگاهها تحرک پذیری پویای الکترو کوچی را اندازه گیری می کنند که به پتانسیل زتا بستگی دارد.

جریان ارتعاش کلئوئید زمانی ایجاد می شود که امواج فرا صوت درون سیالی حاوی نانوذرات باردار منتشر می شود. گرادیان فشار در موج فرا صوت، نانوذرات را نسبت به سیال حرکت می دهد. حرکت سیال نسبت به ذره، یون های نفوذ کرده در لایه دوگانه الکتریکی را در جهت یکی از قطبها می کشاند. در نتیجه این کشش، یون های منفی بیشتری در مجاورت یک قطب و تجمع بار سطحی مثبت در قطب دیگر به وجود می آید که منجر به یک گشتاور دو قطبی آدر ذره می شود. این گشتاورهای دو قطبی یک میدان الکتریکی ایجاد می کنند که به نوبه خود جریان الکتریکی تولید می کند.

دامنه صوتی الکترو جنبشی، معکوس جریان ارتعاشی کلئوئیدی است. این اثر تحت تأثیر یک میدان الکتریکی نوسانی رخ می دهد. این میدان نانوذرات را نسبت به مایع حرکت می دهد که منجر به تولید فرا صوت می شود. روش های الکترو صوتی این مزیت را دارند که می توانند اندازه گیری ها را در نمونه های تازه تولید شده، بدون نیاز به رقیق سازی و در کسر حجمی تا ۵۰٪ انجام دهند. محاسبه پتانسیل زتا از تحرک پذیری پویای الکترو کوچی به اطلاعاتی در مورد چگالی ذرات و مایع نیاز دارد. علاوه بر این، برای ذرات بزرگتر از ۳۰۰ nm، اطلاعات مربوط به اندازه ذرات لازم است تا میرایی وابسته به اندازه حرکت الکترو صوتی تصحیح شود.

۱۰ اندازه ده های مربوط به بلورینگی

۱۰-۱ اندازه ده ها

اندازه ده های اصلی مرتبط با بلورینگی عبارتند از:

الف - درجه بلورینگی؛

ب- ساختار بلوری شامل سامانه شبکه و پارامترهای شبکه؛

پ- شاخص بلورین - درصد ماده بلوری؛

^۱ Colloid vibration current

^۲ Electrokinetic sonic amplitude

^۳ Dipole moment

^۴ Damping

ت- نقطه ذوب؛

ث- دمای انتقال شیشه‌ای.

اندازه‌ده‌ها در جدول ۱۲ خلاصه شده‌اند. در این جدول، بیشتر روش‌ها برای به‌کارگیری در مورد انبوهه‌ها و پودرها هستند. برای نانوشیء منفرد، روش‌های SEM، TEM و بلورشناسی رامان را می‌توان استفاده کرد.

جدول ۱۲- اندازه‌ده‌های مرتبط با بلورینگی

اندازه‌ده نهایی	اندازه‌ده ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری (در بهترین نقطه محدوده)	محدودیت‌ها	مراجع
سامانه شبکه ثابت شبکه	زاویه و شدت پراکندگی پرتو ایکس	SAXS	۱ nm تا ۱۵۰ nm	۰٫۵ nm	کیفی	[60], [61]
سامانه شبکه، ثابت شبکه	زاویه و شدت پراکندگی پرتو ایکس	USAXS	۱ nm تا ۲/۵ μm	۰٫۱ nm	کیفی؛ غیرایده‌آل برای سامانه‌های دوجزئی و بی‌شکل	[62]
سامانه شبکه، ثابت شبکه	زاویه و شدت پراکندگی پرتو ایکس	WAXS	< ۱ nm	< ۰٫۱ nm	کیفی	[62]
سامانه شبکه، ثابت شبکه، بلورینگی، شاخص بلورین	زاویه و شدت پراکندگی پرتو ایکس	پراش پرتو ایکس	۰٫۱ nm تا ۲ nm %۰ تا %۱۰۰	۰٫۵ nm تا ۰٫۱۰۵ nm	تفکیک‌پذیری به طور معکوس با اندازه سلول واحد متناسب است. اطلاعاتی راجع به فاز نمی‌دهد. اتم‌های سبک در حضور اتم‌های سنگین به سختی تمایز داده می‌شوند.	[63]
سامانه شبکه، بلورینگی، شاخص بلورین	زاویه، دامنه و فاز پراکندگی الکترون	TEM	۵۰ μm تا ۰٫۵ nm	۰٫۱۰۵ nm	تفکیک‌پذیری با نسبت معکوس نسبت به مساحت تصویربرداری (بزرگنمایی) تغییر می‌کند. نیاز به خلاء بسیار بالا دارد. باریکه الکترونی باعث تخریب می‌شود.	[64]

جدول ۱۲ (ادامه)

مراجع	محدودیت‌ها	تفکیک پذیری (در بهترین نقطه محدود)	محدوده	روش	اندازه‌ده ویژه هر روش	اندازه‌ده نهایی
[65], [66]	معمولاً به یک نمونه رسانا الکتریکی یا دارای پوشش رسانا در خلاء نیاز دارد.	EBSD ۰٫۵ nm RHEED ۰٫۵nm LEED < ۰٫۱ nm	۱ nm تا ۱۰۰۰ μm	EBSD, RHEED, LEED	زاویه، دامنه و فاز پراکندگی الکترون	سامانه شبکه بلورینگی شاخص بلورین
[67]	نیاز به پودر یا بلورهایی بزرگتر از ۱ mm ³ دارد.	۰٫۱ nm	۰٫۱ nm تا ۵۰۰۰ μm	پراش نوترون	زاویه، دامنه و فاز پراکندگی نوترون	سامانه شبکه بلورینگی شاخص بلورین
[68], [69]		۰٫۰۲ °C	۱۷۵۰ °C تا -۱۸۰ °C	DCS	شارش گرما	بلورینگی نقطه ذوب دمای انتقال شیشه‌ای شاخص بلورین
[70], [71]	روش کند و گران نیاز به برچسب‌زنی با ایزوتوپ‌ها دارد.	< ۰٫۱ nm	تا ۱۰۰ kDa	بلورنگاری NMR	بسامد تشدید به صورت تابعی از میدان مغناطیسی	بلورینگی شاخص بلورین
[72]				بلورنگاری رامان	جابجایی بسامد پراکندگی رامان	بلورینگی

						دستوارگی ^۱ (برای نانولوله کربنی)
1- Chirality						

۱۰-۲ پراکندگی پرتو ایکس زاویه کوچک / زاویه بزرگ

روش‌های SAXS و WAXS شامل پراکندگی کشسان پرتوهای ایکس با طول موج nm ۰/۱ تا nm ۰/۲ به وسیله نمونه حاوی نانو اشیاء هستند. پرتوهای ایکس پراکنده شده، در زوایای کوچک (۰/۱ تا ۱۰ درجه) یا در زوایای بزرگ (۱۰ درجه تا ۹۰ درجه) ثبت می‌شوند. این روش‌ها اطلاعاتی راجع به شکل و اندازه نانوذرات، فواصل مشخصه مواد تقریباً منظم، اندازه حفرات و سایر داده‌ها فراهم می‌کنند. در روش SAXS، امکان به دست آوردن اطلاعات ساختاری از نانوذرات با ابعاد nm ۱ تا nm ۱۵۰ وجود دارد. روش WAXS حتی ابعاد کوچکتر را نیز شناسایی می‌کند. به طور کلی، روش WAXS برای مطالعه ساختارهای به شدت منظم و بلورین به کار می‌رود، در حالی که SAXS بیشتر برای مواد بی‌شکل یا غیرهمگن و سامانه‌های دوجزئی کاربرد دارد.

۱۰-۳ پراش پرتو ایکس

پراش پرتو ایکس روشی است که در آن اتم‌های بلورین باعث می‌شوند باریکه‌ای از پرتو ایکس به جهات به خوبی تعریف شده‌ای پراکنده شود. با اندازه‌گیری زوایا و شدت‌های این باریکه‌های پراشیده، تصویری سه‌بعدی از چگالی الکترون‌های درون بلور ایجاد می‌شود. از این نقشه چگالی الکترون، موقعیت اتم‌ها در بلور و همچنین حالت‌های پیوند شیمیایی آنها، ماهیت هر نوع بی‌نظمی و اطلاعات مختلف دیگری مشخص می‌شود. هر چقدر که سلول واحد بلور بزرگتر و پیچیده‌تر شود، تفکیک پذیری پراش پرتو ایکس کاهش می‌یابد. در حضور اتم‌های سنگین با الکترون‌های زیاد، تشخیص اتم‌های سبک با پراش پرتو ایکس دشوارتر می‌شود. پراکندگی کل یا تحلیل تابع توزیع جفت، نه تنها از پراکندگی ماده بر اساس قانون براگ^۱، بلکه از پراکندگی نفوذی نیز استفاده می‌کند تا فراتر از ساختار میانگین ماده، ساختار موضعی یا کوتاه‌برد را نیز بررسی کند.

۱۰-۴ میکروسکوپی الکترونی عبوری با تفکیک پذیری بالا

روش HRTEM قادر به تصویربرداری مستقیم از ساختار بلورین و اتمی یک نمونه NOAA است. در این روش، از نانوشیء به کمک ثبت توزیع دامنه موج فضایی دوبعدی در صفحه تصویر، مشابه یک میکروسکوپ نوری، تصویربرداری می‌شود. در حال حاضر، بالاترین تفکیک‌پذیری نقطه‌ای در TEM از نوع تباین فاز، برابر ۰/۵ Å است. در این مقیاس، اتم‌های منفرد یک بلور و هر گونه نقص ساختاری را می‌توان مشاهده کرد. برای بلورهای سه‌بعدی، لازم است چندین نمای گرفته شده از زوایای مختلف در یک نقشه سه‌بعدی تلفیق شوند.

1- Bragg scattering

۱۰-۵ پراش الکترون برگشتی

پراش الکترونی شامل شلیک الکترون‌ها به یک نمونه NOAA و مشاهده الگوی تداخل حاصل از الکترون‌های پراکنده شده، است. ساختار تناوبی یک جامد بلورین مانند یک توری پراش عمل کرده و الکترون‌ها را با الگویی متناظر با آن پراکنده می‌کند. بنابراین ساختار بلور با عملیات بازگشت به شبکه معکوس از الگوی پراش الکترون مشاهده شده، به دست می‌آید. پراش الکترونی همچنین برای مطالعه نظم کوتاه‌برد در نانوذرات بی‌شکل نیز استفاده می‌شود. روش EBSD می‌تواند برای اندیس‌گذاری و شناسایی سامانه‌های بلوری، نقشه‌برداری جهت‌گیری بلوری، بررسی نقص‌ها، شناسایی فاز، مطالعات مرزخانه و ریخت‌شناسی، بررسی‌های ناهمگنی منطقه‌ای، تمایز مواد، نقشه‌برداری میکرو کرنش^۱ و شناسایی فیزیکی شیمیایی با استفاده از روش‌های تکمیلی، مورد استفاده قرار گیرد. این روش می‌تواند مکمل روش پراش پرتو ایکس برای مطالعه بلورهای بسیار کوچک (با ابعاد کمتر از $0.1 \mu\text{m}$) از مواد معدنی، آلی و زیستی مانند پروتئین‌هایی که نمی‌توانند به راحتی بلورهای سه‌بعدی بزرگ مورد نیاز برای XRD را تشکیل دهند، باشد. برخلاف XRD، اطلاعات عامل فاز ساختار بلورنگاشتی^۲ را می‌توان به صورت تجربی در پراش الکترونی تعیین کرد. روش EBSD تجربی با استفاده از یک SEM مجهز به آشکارساز EBSD انجام می‌شود.

۱۰-۶ پراش نوترونی

بلورنگاری نوترونی شامل استفاده از پراکندگی نوترون برای تعیین ساختار بلورنگاشتی و اتمی یک ماده NOAA است. یک نمونه در برابر باریکه‌ای از نوترون‌های گرمایی یا سرد قرار می‌گیرد تا الگوی پراشی به دست آید که اطلاعاتی در مورد ساختار ماده ارائه می‌دهد. این روش مشابه پراش پرتو ایکس است، اما به دلیل خواص پراکندگی متفاوتی که نوترون‌ها و پرتو ایکس دارند، اطلاعات مکمل یکدیگر را ارائه می‌دهند. این روش معمولاً به صورت پراش پودری روی پودر NOAA بس‌بلورین^۳ انجام می‌شود. برای بلورنگاری نوترونی در تک‌بلورها، بلور باید بسیار بزرگتر (تقریباً 1 mm^3) نسبت به اندازه‌ای باشد که در پراش پرتو ایکس استفاده می‌شود و بنابراین، برای نانواشیاء مناسب نیست. پراش پودری یک روش علمی با استفاده از پراش پرتو ایکس، نوترون یا الکترون بر روی نمونه‌های پودری یا میکروبلوری برای مشخصه‌یابی ساختار مواد است. پراش تک‌بلور، همانطور که از نام آن پیداست، نیاز به یک تک‌بلور از ماده دارد. اگرچه می‌توان ساختارهای بلوری را فقط از داده‌های پودری به دست آورد، اما هم‌ساختار تک‌بلور آن روش بسیار قوی‌تری برای تعیین ساختار است. پراش پودری اکثراً برای مشخصه‌یابی و شناسایی فازها استفاده می‌شود و بیشتر برای تصحیح جزئیات ساختاری که از قبل شناخته شده‌است به کار می‌رود تا یافتن ساختارهای ناشناخته.

۱۰-۷ پراش الکترون بازتابی با انرژی بالا و انرژی پایین

^۱ Microstrain

^۲ Crystallographic structure factor phase

^۳ Polycrystalline

روش RHEED برای مشخصه‌یابی سطح مواد بلورین استفاده می‌شود. باریکه الکترونی با انرژی ۱۰ keV تا ۳۰ keV با زاویه بسیار کوچکی نسبت به سطح نمونه به آن برخورد می‌کند. الکترون‌های برخوردی از اتم‌های سطح نمونه پراکنده می‌شوند و بخش کوچکی از الکترون‌های پراکنده به‌طور سازنده در زوایای خاص تداخل کرده و الگوهای منظمی را روی آشکارساز تشکیل می‌دهند. علاوه بر این، از LEED برای تعیین ساختار سطح مواد بلورین با استفاده از باریکه موازی از الکترون‌های کم‌انرژی (۲۰ eV تا ۲۰۰ eV) و مشاهده الکترون‌های پراشیده، استفاده می‌شود.

۱۰-۸ گرماسنجی روبشی تفاضلی

گرماسنجی روبشی تفاضلی یک روش آنالیز گرمایی است که در آن تفاوت در مقدار شارش حرارت مورد نیاز برای تغییر دمای نمونه و مرجع به‌عنوان تابعی از دما اندازه‌گیری می‌شود. هم نمونه و هم مرجع در حین آزمایش تقریباً در دمای یکسانی نگهداری می‌شوند.

مقدار کمی از نمونه (۵ mg تا ۱۰ mg) برای اندازه‌گیری DSC استفاده می‌شود. محدوده دمایی وسیعی برای این آزمون از ۱۸۰ °C تا ۷۰۰ °C و یا از دمای اتاق تا ۱۶۰۰ °C امکان‌پذیر است.

این روش اطلاعاتی در مورد انتقال فاز، دمای انتقال شیشه‌ای، همجوشی نانوآشیاء و تبلور ارائه می‌دهد.

۱۰-۹ استانداردهای مرتبط

ISO 11357-1, Plastics - Differential scanning calorimetry (DSC) - Part 1: General principles

ISO 11357-7, Plastics - Differential scanning calorimetry (DSC) - Part 7: Determination of crystallization kinetics

۱۰-۱۰ بلورنگاری تشدید مغناطیسی هسته حالت جامد

طیف‌های NMR از قرار گرفتن نمونه در یک میدان مغناطیسی قوی و کاوش به‌وسیله امواج رادیویی، به‌دست می‌آیند. مجموعه تشدیدهای به‌دست آمده آنالیز می‌شوند تا هسته‌های اتمی که در مجاورت یکدیگر قرار دارند و صورت‌بندی موضعی اتم‌هایی که به یکدیگر پیوند دارند، به‌دست آید.

۱۰-۱۱ بلورنگاری رامان

طیف‌سنجی رامان (به زیربند ۶-۴-۱۱ مراجعه شود) برای مشاهده حالت‌های فونون ارتعاشی، چرخشی و سایر مدهای با بسامد کم یک سامانه استفاده می‌شود. پراکندگی رامان به‌وسیله یک بلور ناهمسانگرد برای به‌دست آوردن اطلاعات در مورد جهت‌گیری بلوری استفاده می‌شود. طول موج و قطبش نور پراکنده شده رامان با توجه به جهت‌گیری بلوری و نور لیزر فرودی می‌تواند برای تعیین ساختار بلوری استفاده شود.

۱ Fusion

۴ Crystallography

در مورد نانولوله‌های کربنی می‌توان از طیف‌سنجی رامان همچنین برای تعیین دستوارگی یا نوع نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره، به کمک آنالیز موقعیت «حالت تنفس شعاعی» و شکل و شدت‌های اجزای حالت G که به دلیل ارتعاشات صفحه‌ای اتم‌های کربن ایجاد می‌شوند، استفاده کرد.

۱۰-۱۲ استانداردهای مرتبط

ISO/TS 10797, Nanotechnologies - Characterization of single-wall carbon nanotubes using transmission electron microscopy

ISO/TS 10798, Nanotechnologies - Characterization of single-wall carbon nanotubes using scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry analysis

ISO 13067, Microbeam analysis - Electron backscatter diffraction - Measurement of average grain size

ISO 24173, Microbeam analysis - Guidelines for orientation measurement using electron backscatter diffraction

ISO 25498, Microbeam analysis - Analytical electron microscopy - Selected area electron diffraction analysis using a transmission electron microscope

۱۱ اندازه‌ده‌های خواص نوری

۱-۱۱ کلیات

خواص نوری نانواشیاء و مواد حاوی نانواشیاء شامل خواص پودرهای خشک، هواسل‌ها در هوا، پراکنه‌های مایع، ذرات جامد روی سطوح جامد، لایه‌های نازک و مواد چندسازه‌ای می‌شود. اندازه‌ده‌ها و روش‌های مورد استفاده برای تعیین آنها به نوع مواد و محیط بستگی دارد.

۲-۱۱ اندازه‌ده‌ها

خواص نوری نانواشیاء، نانومواد و نانساختارها از برهم‌کنش اساسی نور با ماده ناشی می‌شود. اندازه‌ده‌ها در جدول ۱۳ خلاصه شده‌اند.

جدول ۱۳- اندازه‌ده‌ها برای خواص نوری

مراجع	تفکیک پذیری	محدوده	روش	اندازه‌ده ویژه روش	اندازه‌ده نهایی
[73]	۰٫۲ nm تا ۰٫۰۵ nm وابسته به محدوده	۳۳۰۰ nm تا ۱۷۵ nm	طیف‌سنجی جذب UV-Vis-NIR	طیف جذب	رنگ بسامد پلاسمون
[74]	۰٫۰۵ nm (UV) تا ۰٫۲ nm (IR)	۳۳۰۰ nm تا ۱۷۵ nm	طیف‌سنجی جذب	طول موج جذب شده	جذب نوری
[75]	۰٫۰۵ nm (UV) تا ۰٫۲ nm (IR)	۲۷۰۰ nm تا ۴۰۰ nm	طیف‌سنجی نوردرخشایی	طول موج نشر شده	نشر نوری

	تا ۰٫۵ nm (UV) تا ۰٫۲ nm (IR)	۲۷۰۰ nm تا ۴۰۰ nm	طیف‌سنجی الکترودرخشایی	طول موج نشر شده	نشر نوری
[73]	تا ۰٫۵ nm (UV) تا ۰٫۲ nm (IR)	۳۳۰۰ nm تا ۱۷۵ nm	طیف‌سنجی جذب	طول موج عبوری یا جذب‌شده	رنگ
[75]	۵۰ fm فلورسئین ^۱	طول موج ۲۰۰ nm تا ۸۵۰ nm	طیف‌سنج فلورسانس	شدت	فلورسانس
1- Fluorescein					

۱۱-۳ روش‌های طیف‌سنجی

تعدادی از طیف‌سنجی‌های نوری استاندارد شده را می‌توان برای ارزشیابی انتشار، طیف کامل نشری، موقعیت قله (رنگ) و عرض قله استفاده کرد. اکثر تجهیزات طیف‌سنجی نوری، نور ورودی را به اجزای طیفی تقسیم کرده و سپس شدت این اجزای طیفی را برای تعیین اطلاعات نوری اندازه‌گیری می‌کنند.

طیف‌سنجی جذب نور (UV-Vis-NIR): طیف‌سنجی جذبی به روش‌های طیف‌سنجی اطلاق می‌شود که در آنها میزان جذب تابش، به‌عنوان تابعی از بسامد یا طول موج، در اثر برهم‌کنش آن با یک نمونه اندازه‌گیری می‌شود. نمونه، انرژی یا به عبارت دیگر فوتون‌ها، را از میدان تابشی جذب می‌کند. شدت جذب به‌صورت تابعی از بسامد تغییر می‌کند و این تغییر، طیف جذبی است. روش‌های طیف‌سنجی مختص مقیاس نانو نیستند، اما برخی از پارامترهای مقیاس نانو از قبیل ضخامت فیلم، اندازه و غلظت ذره را می‌توان از اندازه‌گیری‌های طیف‌سنجی استنباط کرد. این روش شامل هدایت باریکه‌ای از تابش به یک نمونه و آشکارسازی شدت تابشی است که از آن عبور می‌کند. از انرژی عبوری می‌توان برای محاسبه میزان جذب استفاده کرد. طیف‌سنجی جذبی می‌تواند برای مشخصه‌یابی نانومواد مانند نانولوله‌های کربنی تک دیواره یا اندازه و غلظت نقاط کوانتومی در یک پراکنه استفاده شود. در مورد نقاط کوانتومی، حالت الکترونی محصور شده در یک نقطه کوانتومی منجر به جذب و نشر بسامد کاملاً کنترل شده تابش نوری می‌شود (مقیاس طول: ۳ nm تا ۲۰ nm). در مورد مواد فوتونیک، ساختار تکرارشونده ماده منجر به تعدادی اثرات غیرخطی می‌شود (مقیاس طول: ۲۰۰ nm تا ۴۰۰ nm).

طیف‌سنجی PL (یا فلورسانس)، که طیف‌سنجی نشر نوری نیز نامیده می‌شود، پراکندگی نشر نور از یک نانوشیء تحریک شده ناشی از جذب فوتون‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. این روش، یک روش غیرتماسی غیرمخرب و برای کاوش خواص اپتو-الکترونیکی^۲ مواد است. نور به یک نمونه هدایت می‌شود، که در آنجا جذب شده و فرایندی به نام برانگیختگی نوری^۳ می‌تواند رخ دهد. برانگیختگی نوری باعث می‌شود که ماده به حالت الکترونیکی با انرژی بالاتر جهش یافته و سپس در حین واهلش^۴ و برگشتن به سطح انرژی پایین‌تر، انرژی (فوتون‌ها) را آزاد کند. نشر نور یا نوردرخشایی از طریق این فرآیند PL است.

‡ Opto-electronic
‡ Photoexcitation
‡ Relaxes

الکترودرخشایی یک پدیده اپتو-الکترونیکی است که در آن یک نانوشیء زمانی که در اثر عبور جریان الکتریکی یا یک میدان الکتریکی قوی تحریک شود، نور نشر می‌کند. الکترون‌ها و حفره‌ها را می‌توان از طریق آلیاژ^۱ نانوشیء برای تشکیل یک اتصال p-n یا از طریق تحریک با برخورد الکترون‌های پرنرژی که به وسیله یک میدان الکتریکی قوی شتاب گرفته‌اند، از هم جدا کرد. الکترون‌ها و حفره‌های برانگیخته سپس به صورت تابشی با هم بازترکیب می‌شوند تا نور آزاد کنند و مشخصه‌یابی طیف‌سنجی نور نشرشده به عنوان طیف‌سنجی EL شناخته می‌شود.

۱۱-۴ استانداردهای مرتبط

ISO/TS 10868, Nanotechnologies - Characterization of single-wall carbon nanotubes using ultraviolet-visible-near infrared (UV-Vis-NIR) absorption spectroscopy

ISO/TS 17466, Use of UV-Vis absorption spectroscopy in the characterization of cadmium chalcogenide colloidal quantum dots

۱۲ اندازه‌دهی‌های الکتریکی و الکترونیکی

۱-۱۲ اندازه‌دهی‌ها

اندازه‌دهی‌های مهم مرتبط با اندازه‌گیری‌های الکتریکی و الکترونیکی نانواشیاء عبارتند از:

الف - رسانایی ویژه/مقاومت ویژه^۲ (رسانندگی/مقاومت ویژه): عبارت است از مقاومت یا رسانایی یک نانوذره که برای حجم آن (طول و سطح مقطع عرضی) بهنجار شده‌است. رسانایی/مقاومت ویژه به صورت خاصیت الکتریکی ذاتی ماده در نظر گرفته می‌شود.

ب- مقاومت ورقه‌ای درون صفحه: به ویژه برای نانومواد دو بعدی مانند گرافن استفاده می‌شود. به صورت مقاومت یک سطح مربعی از ماده تعریف می‌شود.

پ- گاف نواری؛ شکاف انرژی بین نوار ظرفیت و هدایت یک نانوشیء نیم‌رسانا. گاف نواری نانواشیاء فلزی به صورت صفر تعریف می‌شود. گاف نواری می‌تواند مستقیم یا غیرمستقیم باشد، بدین معنا که آیا یک الکترون از نوار ظرفیت می‌تواند با یا بدون احتمال در تکانهٔ مربوطه، به نوار هدایت برانگیخته شود.

اندازه‌دهی‌های مربوط به خواص الکتریکی و الکترونیکی نانواشیاء در جدول ۱۴ خلاصه شده‌است.

۱ Doping
 2 Specific conductance
 3 Specific resistance
 4 Conductivity
 5 Resistivity
 6 Bandgap

جدول ۱۴- اندازه‌دهی‌های مربوط به اندازه‌گیری‌های الکتریکی و الکترونیکی نانوشیاء

اندازه‌دهی نهایی	اندازه‌دهی ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
رسانایی/مقاومت ویژه (رسانندگی/مقاومت ویژه)	رسانایی/مقاومت (به همراه ابعاد ذره)	اندازه‌گیری الکتریکی دوپروبه یا چهارپروبه	مقاومت ویژه Ωm تا $10^{16} \Omega m$	$\mu\Omega.m$ / ۰٫۱		[76], [77]

جدول ۱۴ (ادامه)

اندازه‌دهی نهایی	اندازه‌دهی ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
مقاومت ورقه‌ای درون صفحه	مقاومت (به همراه ضخامت)	پروپ چهارنقطه‌ای مثال: روش واندرپاف ^۱	صفر (ابرسانا) تا بی‌نهایت (عایق)	$0.1 \mu\Omega$		[76], [77]
گاف نواری	شدت فوتوگسیل به صورت تابعی از زاویه	ARPES		۱ meV		
گاف نواری	مقاومت	اندازه‌گیری مقاومت به صورت تابعی از دما	عموماً بین $0.5 eV$ تا $5 eV$	$0.1 eV$ در $300 K$	در مرحله تحقیقات	
گاف نواری	جذب نور	طیف‌سنجی جذب نور (UV/Vis/IR)	عموماً بین $0.5 eV$ تا $5 eV$	$0.1 eV$ در $300 K$	نیاز به پراکنه‌های بسیار رقیق از نانوشیاء دارد، برای نانوشیاء پراکنده مجزا بهترین عملکرد را دارد.	[74]
گاف نواری	طول موج جذب/نشر نوری	طیف‌سنجی نوردرخشایی (فلورسانس)	عموماً بین $0.5 eV$ تا $5 eV$	$0.1 eV$ در $300 K$	نیاز به نانوشیاء پراکنده مجزا دارد.	[75]

	فقط برای نانواشیاء خاصی که رامان فعال دارند مثل نانولوله‌ها، کاربرد دارد.	۰٫۱ eV در ۳۰۰K	عموماً بین تا ۰٫۵ eV ۵ eV	طیف‌سنجی رامان	محل قلّه رامان که ابعاد شیء را می‌دهد.	گاف نواری
--	---	----------------------	---------------------------------	-------------------	--	-----------

جدول ۱۴ (ادامه)

مراجع	محدودیت‌ها	تفکیک پذیری	محدوده	روش	اندازه‌ده ویژه هر روش	زده نهایی
[78]	روش خلاء فوق‌بالا، آماده‌سازی خاص نمونه و زیرلایه رسانا لازم است.	۰٫۱ nm	۰٫۱ eV تا ۵ eV تفکیک‌پذیری: ۰٫۱ eV در K ۳۰۰	میکروسکوپی تونل‌زنی روبشی (طیف‌سنجی تونل‌زنی روبشی)	جریان تونل‌زنی	گاف نواری
[79]	محدود به نمونه‌های رسانا. همچنین محدود شده با گستره روبشگر	تا ۰٫۱ nm تقریباً ۱۰ nm	ناحیه روبش با ابعاد $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ ؛ جریان‌ها از چند pA تا ۵۰۰ nA	میکروسکوپی نیروی اتمی رسانا	جریان	رسانندگی نانومقیاس
[80]	محدود شده با گستره روبشگر	۰٫۱ nm تا تقریباً ۱۰ nm	ناحیه روبش با ابعاد $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ ؛ جریان‌ها از چند pA تا ۵۰۰ nA	میکروسکوپی نیروی پیرو	بار سطح و جابجایی	ضریب پیزوالکتریک

1- Van der Pauw method

۱۲-۲ روش‌ها

۱۲-۲-۱ اندازه‌گیری رسانایی دونقطه‌ای یا چهارنقطه‌ای

اندازه‌گیری رسانایی می‌تواند با اندازه‌گیری‌های رسانایی دونقطه‌ای یا چهارنقطه‌ای انجام گیرد. برای اندازه‌گیری مقاومت ورقه می‌توان از روش‌های مبتنی بر جریان گردابی غیرتماسی^۱ نیز استفاده کرد. در اندازه‌گیری‌های هدایت پوشش، ثابت شده‌است که چنین روش‌هایی مفید هستند. پوشش‌های جامد به بهترین شکل به صورت فیلم‌های نانومقیاس یا نانوساختار تعریف می‌شوند و نه نانواشیاء که تمرکز این استاندارد روی آنها است. گاف نواری یک نانوماده را می‌توان با اندازه‌گیری مقاومت به‌عنوان تابعی از دما و برازش منحنی به‌دست آمده، اندازه‌گیری کرد. همچنین می‌توان آن را با استفاده از جذب و نشر نوری، مانند طیف‌سنجی نوردرخشایی (که با عنوان طیف‌سنجی فلورسانس نیز شناخته می‌شود) و طیف‌سنجی رامان، اندازه‌گیری کرد.

۱۲-۲-۲ طیف‌سنجی نورگسیل فرابنفش با تفکیک زاویه‌ای

گاف نواری را می‌توان با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی نورگسیل مانند ARPES اندازه‌گیری کرد. طیف‌سنجی نورگسیل با تفکیک زاویه‌ای یک روش تجربی مستقیم برای مشاهده توزیع الکترون‌ها در فضای وارون^۲ جامدات است. با این روش می‌توان اطلاعات انرژی و تکانه یک الکترون را به‌دست آورد و در نتیجه اطلاعات دقیقی در مورد پراکندگی نواری^۳ و سطح فرمی ارائه داد.

۱۲-۲-۳ میکروسکوپی تونل‌زنی روبشی

گاف نواری را می‌توان با استفاده از STS نیز اندازه‌گیری کرد که بسط‌یافته روش STM است و اطلاعاتی در مورد چگالی الکترون‌ها در نمونه به‌عنوان تابعی از انرژی آن‌ها ارائه می‌دهد.

روش STM مبتنی بر قابلیت قرار گرفتن یک نمونه رسانا و یک سوزن رسانای تیز در حد اتمی، در فاصله تونل‌زنی از یکدیگر است. جریان تونل‌زنی از سوزن به نمونه در صورتی که نمونه آریبی شده^۴ باشد، وابستگی بسیار زیادی به فاصله نمونه تا سوزن (گاف تونل‌زنی) دارد. تجهیزات موجود می‌توانند با پایش جریان تونل‌زنی در حین روبش سطح نمونه، چنین فاصله ثابتی را حفظ کنند. نمونه و سوزن معمولاً با استفاده از عملگرهای پیزوالکتریک نسبت به هم قرار می‌گیرند. در هر نقطه از سطح، منحنی جریان بر حسب ولتاژ (I-V) را می‌توان در حالت طیف‌سنجی به‌دست آورد. این روش امکان تفکیک‌پذیری زیراتمی و همچنین دستکاری اتمی (حرکت کنترل‌شده اتم‌ها روی سطح نمونه) را فراهم می‌کند.

۱۲-۲-۴ میکروسکوپی نیروی اتمی رسانا

^۱ Non-contact eddy-current

^۲ Reciprocal space

^۳ Band dispersion

^۴ Biased

روش AFM رسانا نوعی از AFM است (به زیربند ۶-۶-۳ مراجعه شود) که هدایت الکتریکی موضعی و همچنین تصویر توپوگرافی نمونه را ثبت می‌کند. برای حصول اندازه‌گیری رسانایی در مقیاس نانو، یک سوزن پروب رسانا، برای مثال یک تیرک از جنس سیلیکون یا سیلیکون نیتريد با پوششی از مواد رسانا مانند طلا یا الماس، موردنیاز است. رسانایی به‌صورت جریانی که بین سوزن و سطح نمونه در یک اریبی ثابت شارش می‌کند، اندازه‌گیری می‌شود. جریان‌های 10^{-12} A تا 10^{-6} A ممکن است به سوزن اعمال شود. مرز پایین جریان به‌وسیله سطح نوفه در سامانه دیکته می‌شود. در نقاط خاص موردنظر، منحنی‌های موضعی I به V را می‌توان در یک حالت طیف‌سنجی اندازه‌گیری کرد.

۱۲-۲-۵ میکروسکوپی نیروی پیزو

پیزوالکتریسته توانایی یک ماده برای تولید بار الکتریکی بر اثر تغییر شکل مکانیکی و یا ایجاد تغییر شکل مکانیکی در اثر اعمال یک میدان الکتریکی است. ارتباط بین میدان الکتریکی و افزایش طول مکانیکی با عنوان ضریب پیزوالکتریک شناخته می‌شود که یک اندازه‌ده اصلی برای این دسته از مواد است. موادی که خاصیت پیزوالکتریک دارند عموماً سرامیک‌ها یا چندسازه‌هایی هستند که به‌صورت فیلم نازک استفاده می‌شوند. سه نوع متفاوت از ضریب پیزوالکتریک بسته به جهت‌گیری نیروی اعمالی و محور پیزوالکتریک شناخته شده‌است: اثر عرضی (که در آن یک نیرو در امتداد یک محور خنثی (Y) اعمال می‌شود و بارها در امتداد جهت (X) تولید می‌شوند)، اثر طولی (که در آن بارها در همان جهت X که نیروها اعمال شده آزاد می‌شوند) و اثر برشی.

سه روش اندازه‌گیری اصلی برای مشخصه‌یابی ضریب پیزوالکتریک وجود دارد: روش بسامد، روش تداخل‌سنجی الیزری و روش شبه‌ایستا. در اکثر روش‌ها یک پتانسیل به نمونه موازی با یک خازن صفحه‌ای یا سایر پیکربندی‌ها، اعمال و تغییر طول اندازه‌گیری می‌شود. تنها روشی که قادر به دستیابی به تفکیک‌پذیری فضایی در مقیاس نانو است، مبتنی بر روش AFM رسانا است که به‌عنوان PFM شناخته می‌شود. همچنین می‌توان از این روش برای تصویربرداری از شاخصه‌های نانومقیاس حوزه‌ها در لایه‌های نازک پیزوالکتریک و کاوش پارامترهای پیزوالکتریک موضعی، استفاده کرد.

۱۳ اندازه‌ده‌های مغناطیسی

۱۳-۱ کلیات

نانواشیاء مغناطیسی که در برخی جوامع علمی با عنوان «نانومغناطیس‌ها» شناخته می‌شوند، خواص خود را از سهم خواص مغناطیسی کلاسیک (توده‌ای) میدان مغناطیس‌زدا^۳ و نیروی نظم‌دهنده مغناطیسی که به نام «برهم‌کنش تبادلی» نیز شناخته می‌شود، به‌دست می‌آورند. مورد دوم از فرآیندهای مکانیک کوانتومی سرچشمه گرفته و فقط در محدوده کوتاه‌برد طول تبادلی قدرتمند است.

۱ Interferometry
 ۲ Quasi-static method
 ۳ Demagnetising field

مشابه سایر اندازه‌ده‌ها، روش‌هایی مانند میکروسکوپی پروبی وجود دارد که می‌تواند به خواص مغناطیسی توزیع‌شده فضایی دسترسی پیدا کند و برخی روش‌ها اندازه‌گیری توده (میانگین فضایی) یک خاصیت را انجام می‌دهند. اندازه‌ده‌های میانگین‌گیری‌شده فضایی مانند مغناطش خالص، دمای کوری، وادارندگی^۱ و موارد دیگر، اغلب برای صنعت بسیار مفید هستند و روش‌های اندازه‌گیری غیراختصاصی نانو محسوب می‌شوند. لازم به ذکر است که در برخی از کاربردها، ورود نانوآشپاء مغناطیسی به یک زمینه غیرمغناطیسی مانند پلاستیک یا سرامیک، خاصیت ویژه‌ای را اضافه می‌کند اما ممکن است نیازی به تفکیک‌پذیری فضایی بالا نداشته باشد.

۱۳-۲ اندازه‌ده‌ها

خلاصه‌ای از اندازه‌ده‌های مرتبط در جدول ۱۵ نشان داده شده‌است.

جدول ۱۵- اندازه‌ده‌های مربوط به خواص مغناطیسی مواد نانوچندسازه‌ای جامد

اندازه‌ده نهایی	اندازه‌ده ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
مغناطش اشباع	امپدانس (رهبندی) القایی	اندازه‌گیری مدار RLC برای جزء القایی مدار. VSM و AGFM می‌توانند برای این اندازه‌گیری استفاده شوند.	$1/2$ $MA/m < H_{max}$ $< 4 MA/m$ $m_{max}: 1 Am^2$	H: ۰/۱ kA/m M: ۱۰-۹ Am^2	لازم است حجم نمونه مشخص باشد.	[81], [82], [83]
دمای کوری	تغییر پذیرفتاری مغناطیسی یا شدن یا انرژی نشر یافته	اثر مغناطیسی-نوری کر با کنترل دما مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش به وسیله DCS با کنترل دما	$K < T < 2/2$ $K 500$	از K ۰/۱ تا ± 1 K ± 1 بسته به پایداری کنترل دمایی	اندازه‌گیری‌های مغناطیس‌سنجی نیاز به تغییرات آهسته دمایی دارد. DSC با تغییرات بسیار کم گرمایی محدود می‌شود.	[81], [82], [83], [84]
دمای کوری	میدان فوق‌ریز	طیف‌سنجی موسبائر	$K < T < 2/2$ $K 500$	از K تا $\pm 1/0$ $\pm 1 K$ بسته به پایداری	فقط برای ایزوتوپ‌های بسیار خاص استفاده می‌شود. می‌تواند برای تعیین دمای نیل (دمایی که بالاتر از آن ماده فرومغناطیس به	[85], [86]

^۱ Spatially averaged

^۴ Coercivity

	پارامغناطیس تبدیل می‌شود) هم به کار رود.	کنترل دمایی				
[81], [82], [83]	این یک روش اندازه‌گیری توده است.	H: ۰/۱ kA/m ۱۰ ^{-۹} M: Am ²	۱/۲ MA/m < H _{max} < 4 MA/m Am ² \ m _{max} :	اندازه‌گیری مدار RLC برای جزء القایی مدار. از VSM و AGFM می‌توان برای اندازه‌گیری استفاده کرد.	شیب مغناطش بر حسب قدرت میدان مغناطیسی (M-) (H)	پذیرفتاری مغناطیسی

جدول ۱۵ (ادامه)

مراجع	محدودیت‌ها	تفکیک پذیری	محدوده	روش	اندازه‌ده ویژه هر روش	اندازه‌ده نهایی
[79], [80], [83], [87]	میدان سوزن می‌تواند نمونه را تغییر داده و فقط اطلاعاتی درباره میدان‌های سرگردان بدهد. فقط می‌تواند عمقی از نمونه را که متناسب با عمق لیزر (نور) در پوست است را کاوش کند. اطلاعاتی راجع به میدان‌های سرگردان می‌دهد.	محدود شده به سوزن. محدود شده به تفکیک‌پذیری نوری. ۰/۳ تا ۰/۵٪	معمولاً میدان با قدرت (H) کم (تا ۰/۳ تسلا)	MFM MOKE مغناطیس‌سنج روبشی اثر هال	نیروی چرخشی کر (Kerr) نیروی محرکه بیضایی اثر هال که مستقیماً با میدان مغناطیسی سرگردان مرتبط است.	مغناطش سطح
[79], [80]		H: ۰/۱ kA/m Am ² ۱۰ ^{-۹} M:	۱/۲ MA/m < H _{max} < 4 MA/m m _{max} : Am ²	مغناطیس‌سنجی القایی یا مغناطیس‌سنجی نوری که امکان اشباع کامل ماده را فراهم می‌کند.	سیگنال القایی، چرخش کر (برای MOKE)	میدان وادارنده ^۱

[85], [86]	به ایزوتوپ‌های بسیار ویژه عناصر خاص، مانند آهن، محدود می‌شود.	حدود ۱٪	صفر تا ۱۰۰٪ (نسبی)	طیف‌سنجی موسبائر	تغییر ایزومر	ترکیب فاز مغناطیسی
1- Coercive field						

۱۳-۳ روش‌ها

۱۳-۳-۱ افزاره تداخل کوانتومی ابرسانا^۱

افزاره تداخل کوانتومی ابرسانا یک مغناطیس سنج بسیار حساس است که میدان‌های مغناطیسی بسیار کوچک را براساس اتصالات جوزفسون اندازه می‌گیرد. دو نوع اصلی SQUID وجود دارد: DC و RF. افزاره‌های تداخل کوانتومی ابرسانا RF فقط می‌توانند با اتصالات جوزفسون کار کنند که باعث می‌شود ارزانتز ولی دارای حساسیت کمتری باشند.

یادآوری- محدودیت اندازه‌گیری میدان مغناطیسی برای روش SQUID برابر $T = 10^{-18} \times 5$ است.

۱۳-۳-۲ مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی

مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی، میزان مغناطش نمونه ماده مغناطیسی را که در یک میدان مغناطشگر^۳ قرار دارد و به‌طور سینوسی نوسان می‌کند، از طریق تبدیل میدان دوقطبی نمونه به سیگنال الکتریکی جریان متناوب، اندازه می‌گیرد.

یادآوری- محدودیت اندازه‌گیری میدان مغناطیسی برای روش VSM برابر 10^{-17} emu است.

۱۳-۳-۳ طیف‌سنجی موسبائر^۴

طیف‌سنجی موسبائر یک روش طیف‌سنجی مبتنی بر اثر موسبائر است که شامل جذب و نشر تشدید بدون پس‌زنی^۵ پرتوهای گاما در جامدات می‌باشد. طیف‌سنجی موسبائر تغییرات کوچک سطوح انرژی یک هسته اتمی را در پاسخ به محیط آن کاوش می‌کند. سه نوع از برهم‌کنش‌های هسته‌ای در طیف‌سنجی موسبائر مشاهده می‌شود: یک جابه‌جایی ایزومر که به‌عنوان جابه‌جایی شیمیایی هم شناخته می‌شود؛ شکافتگی چهارقطبی؛ و شکافتگی مغناطیسی یا فوق‌ریز که به‌عنوان اثر زیمان نیز شناخته می‌شود. طیف‌سنجی موسبائر از نظر حساسیت به تغییرات کوچک در محیط شیمیایی هسته از جمله تغییرات حالت اکسایش، تأثیر

^۱ Superconducting quantum interference device

^۴ Josephson junctions

^۴ Magnetizing filed

^۴ Mössbauer spectroscopy

^۵ Recoil-free

^۶ Zeeman Effect

لیگندهای مختلف بر یک اتم خاص و محیط مغناطیسی نمونه، منحصر به فرد است. فقط ایزوتوپ‌های خاصی از عناصر خاص برای طیف سنجی موسبائر مناسب هستند که شامل ^{57}Fe ، ^{129}I ، ^{119}Sn و ^{121}Sb می‌شوند.

۱۳-۳-۴- طیف‌سنجی تشدید پارامغناطیسی الکترون

طیف‌سنجی EPR یا ESR روشی برای مطالعه مواد با الکترون‌های غیرجفت‌شده است. مجموعه‌ای از مراکز پارامغناطیس، مانند رادیکال‌های آزاد، تحت تابش امواج مایکروویو با بسامد ثابت قرار می‌گیرند. زمانی که شکافتگی اسپین تحت میدان مغناطیسی خارجی با انرژی مایکروویو منطبق می‌شود، جذب تقویت‌یافته رخ می‌دهد. مشتق‌گیری از طیف جذب رایج‌ترین راه برای ثبت و ارائه طیف EPR است.

۱۳-۳-۵- خاصیت مغناطیسی-نوری کر

روش MOKE چرخش نور قطبیده منعکس شده از سطح یک نمونه مغناطیسی را اندازه‌گیری می‌کند. یادآوری- اندازه‌گیری‌های MOKE معمولاً به تغییرات بازتابی کوچک‌تر از ۰/۰۲٪ و تغییرات قطبش کوچک‌تر از ۰/۰۰۵ درجه محدود می‌شوند.

در روش MOKE روبشی، نیاز به یک میکروسکوپ نوری با امکان آنالیز قطبش است. این روش، تباین تصویر مربوط به جهت مغناطش روی سطح نمونه را نشان می‌دهد. این روش به‌وسیله تفکیک‌پذیری نوری میکروسکوپ محدود می‌شود، اما استفاده از MOKE بدون دریچه و دارای قابلیت روبش می‌تواند این تفکیک‌پذیری را افزایش دهد. معمولاً محدوده روبش $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ استفاده می‌شود. تفکیک‌پذیری فضایی حدود ۵۰ nm قابل دستیابی است.

۱۳-۳-۶- میکروسکوپی نیروی مغناطیسی

روش MFM نوعی از AFM است (به زیربند ۶-۶-۳ مراجعه شود) که در آن سوزن، دارای یک گشتاور مغناطیسی قوی است که با میدان مغناطیسی نمونه برهم‌کنش دارد. روش MFM میدان‌های سرگردان نمونه را تشخیص داده و انحراف تیرک را ثبت می‌کند. نیروی وارد بر سوزن با شیو میدان پراکنده متناسب است و می‌تواند آن را با استفاده از تعدادی مفروضات میکرومغناطیسی به مغناطش سطح تبدیل کند. محدوده روبش تقریباً $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ با وضوح ویژه تقریباً ۱۰ nm است. محدودیت‌ها به برهم‌کنش سوزن با نمونه مرتبط هستند به‌طوری‌که مغناطش نمونه ممکن است در حضور سوزن تغییر کند. اندازه‌گیری‌ها اغلب در هوا و در دمای اتاق انجام می‌شوند.

۱۳-۳-۷- میکروسکوپی روبشی اثر هال

یک حسگر مغناطیس سنج اثر هال می تواند یک سطح مغناطیسی را روبش کند تا توزیع میدان مغناطیسی در مجاورت سطح به دست آید. سیگنال به دست آمده متناسب با شدت میدان است و می تواند به حالت مغناطش سطح تبدیل شود. تفکیک پذیری جانبی این روش شدیداً به طراحی و اندازه بستگی دارد.

۱۳-۳-۸ میکروسکوپی تونل زنی روبشی اسپین قطبیده

میکروسکوپی تونل زنی روبشی اسپین قطبیده نوعی از STM است (به زیربند ۱۲-۲-۳ مراجعه شود) که در آن سوزن STM یک قطبش مغناطیسی خالص در راس تیز خود در ابعاد اتمی دارد. این امر منجر به یک جریان تونل زنی اسپین-قطبیده می شود که بین سوزن و نمونه طی زمان، جریان دارد. اگر مغناطش نمونه در جهت مشابه باشد، احتمال تونل زنی بیشتر از حالتی است که مغناطش در جهت غیر موازی باشد. علاوه بر توپوگرافی، قطبش مغناطیسی موضعی (یا در واقع احتمال تونل زنی اسپین-قطبیده) با STM با تفکیک پذیری ویژه، نقشه برداری می شود. برای اکثر سامانه ها، SP-STM تحت خلاء فوق بالا (کمتر از 10^{-5} Pa (10^{-7} mbar)) و در دمای پایین (زیر ۶۶ K) کار می کند.

۱۳-۳-۹ استانداردهای مرتبط

استاندارد ملی ایران- ایزو، شماره ۶-۹۸۱۹: سال ۱۳۹۱، کمیت ها و یکاها- قسمت ۶- الکترومغناطیس ASTM A342/A342M-14, Standard Test Methods for Permeability of Weakly Magnetic Materials [88]

۱۴ اندازه ده های گرمایی

۱-۱۴ اندازه ده ها

مواد حاوی نانو اشیاء و کلوخه ها و انبوهه های آن ها می توانند خواص گرمایی ویژه ای داشته باشند که از افزودن نانو اشیاء به زمینه چند سازه یا از لایه بندی و تولید فیلم نازک حاصل می شوند. در برخی موارد، رسانندگی گرمایی مواد را می توان با افزودن نانولوله های کربنی یا ظرفیت گرمایی را از طریق افزودن نانو اشیاء، افزایش داد. انبساط گرمایی مواد چند سازه نیز ممکن است به وسیله مواد افزودنی مناسب کنترل شود. بنابراین، اندازه ده های بحرانی برای چند سازه های جامد حاوی نانو اشیاء و کلوخه ها و انبوهه های آن ها عبارتند از رسانندگی گرمایی، ظرفیت گرمایی ویژه و انبساط گرمایی. در برخی حیطه ها، «پخشایی گرمایی»^۱ و «نفوذ پذیری گرمایی»^۲ نیز به عنوان اندازه ده های اولیه که می توانند سه کمیت دیگر را بدهند، در نظر گرفته می شوند.

این اندازه ده ها در جدول ۱۶ خلاصه شده اند.

جدول ۱۶- اندازه ده های مربوط به خواص گرمایی

^۱ Thermal diffusivity

^۲ Thermal effusivity

اندازه نهایی	اندازه و ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
ظرفیت گرمایی	ظرفیت گرمایی ویژه [J/(K kg)]	گرماسنجی و DSC	از دمای اتاق تا ۱۵۰۰ °C	$< 1 \mu\text{m}$ بسته به نرخ گرمایش	مقدار زیادی نمونه مورد نیاز است.	
رسانندگی گرمایی تفکیک فضایی	رسانایی گرمایی [W/(m K)]	SThM	گستره روبش: $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$	۵۰ nm تا ۱۰۰ nm برای تفکیک پذیری عرضی، تفکیک پذیری پروب T $> 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$	تعیین حجم تماس سوزن-نمونه (گرمایش) دشوار است.	[89]

یادآوری - اندازه‌گیری‌های گرمایی نانوویژه نیستند. برای بسیاری از اندازه‌گیری‌های گرمایی رایج مورد استفاده خواص نانوبهبود (مانند ظرفیت حرارتی بالا)، به متون اندازه‌شناسی متداول مراجعه شود [85].

۲-۱۴ روش‌ها

۱-۲-۱۴ اندازه‌گیری ظرفیت حرارتی ویژه

ظرفیت حرارتی ویژه در جامدات به توانایی ماده در ذخیره گرما اشاره دارد. ظرفیت حرارتی ویژه را می‌توان با تعدادی از روش‌های مواد توده مانند گرماسنجی و DSC اندازه‌گیری کرد (به زیربند ۷-۳-۲ مراجعه شود).

۲-۲-۱۴ میکروسکوپی گرمایی روبشی

میکروسکوپی پروب گرمایی روبشی ترکیبی از تفکیک‌پذیری فضایی، تصویربرداری و اندازه‌گیری موضعی دما و رسانندگی گرمایی را ارائه می‌دهد. میکروسکوپی گرمایی روبشی از روش میکروسکوپی پروبی روبشی برای حصول تفکیک‌پذیری ویژه بالا در حد تک‌ذره از طریق روبش یک پروب روی نمونه، استفاده می‌کند. توپوگرافی نمونه و همچنین اندازه‌گیری موضعی دما و هدایت گرمایی ممکن است به‌دست آید. دمای موضعی ممکن است به‌وسیله یک اتصال گرماجفت‌آدر سوزن پروب و پروب‌های مقاومتی یا تفسنجی^۳ که در آن دمای پروب با یک مقاومت فیلم نازک در سوزن پروب کنترل می‌شود، پایش شود. از آنجائی که سوزن در تماس مستقیم با نمونه قرار می‌گیرد، گرما به نمونه شارش می‌یابد و رسانندگی گرمایی را می‌توان تعیین

۱ Nano-enhanced

۴ Thermocouple junction

۳ Bolometer

کرد. این امر تفکیک‌پذیری جانبی (عرضی) بالایی از رسانندگی گرمایی را با توانایی همبستگی توپوگرافی و اطلاعات گرمایی، می‌دهد.

لازم به ذکر است که تبادل حرارت بین سوزن و نمونه ممکن است با تماس مستقیم (جامد-جامد)، که منجر به نقشه‌برداری رسانندگی می‌شود، از طریق همرفت مایع سطح نمونه و سوزن (جامد-مایع) و همرفت هوا (گاز-جامد) انجام گیرد. گستره روبش این روش به مرحله روبش مورد استفاده بستگی دارد و از مرتبه $100\ \mu\text{m}$ در $100\ \mu\text{m}$ است. دقت دمایی کمتر از $0.1\ ^\circ\text{C}$ ممکن است به دست آید.

۱۴-۳ استانداردهای مرتبط

ISO 11357-7, Plastics - Differential scanning calorimetry (DSC) - Part 7: Determination of crystallization kinetics

۱۵ سایر اندازه‌دهه‌های مربوط به عملکرد

۱-۱۵ کلیات

سایر اندازه‌دهه‌های مربوط به عملکرد برای مشخصه‌یابی نانوشیاء به شکل‌های مختلف در بند ۱۵ به تفصیل توضیح داده شده‌اند. این اندازه‌دهه‌ها گرد و غبار، حلالیت و قابلیت پراکنش‌پذیری و خواص مکانیکی را پوشش می‌دهند.

۲-۱۵ پودرها- گرد و غبار

۱-۲-۱۵ اندازه‌دهه‌ها

گردوغبار یک ویژگی ذاتی فیزیکی یا شیمیایی تعریف شده یک پودر نیست. گرد و غبار به‌عنوان «تمایل یک ماده برای تولید گردوغبار هوابرد در حین کار با آن» [86] تعریف شده‌است. گردوغبار به عوامل متعددی از جمله مشخصه‌های فیزیکی پودرها [به‌عنوان مثال شکل‌های (پودر، گرانول‌ها، قرص‌ها) و محتوی رطوبت]، خواص فیزیکوشیمیایی ذرات موجود در پودر (مانند اندازه و شکل، مساحت سطح، نوع پوشش، خواص آبدوستی و آبریزی، انبوهش ذرات)، محیط (به‌عنوان مثال رطوبت، دما)، نوع تولید هواسل (انرژی فعال‌سازی یا انرژی ورودی) و برهم‌کنش بین ذرات در حین هم‌زدن پرتلاطم^۴ (مانند برش اصطکاکی، نیروهای واندروالس) بستگی دارد. بنابراین، مقادیر متفاوتی ممکن است با روش‌های آزمون مختلف به دست آیند.

خلاصه‌ای از اندازه‌دهه‌های مربوط به گرد و غبار در جدول ۱۷ ارائه شده است.

جدول ۱۷- اندازه‌دهه‌های مربوط به گرد و غبار

۱ Convection

۴ Pellets

۴ Agitation

اندازه نهایی	اندازه ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری	محدودیتها	مراجع
مقادیر گرد و غبار بر حسب تعداد ذرات، توزیع اندازه ذرات (قطر آئروپنایمیکی معادل یا قطر تحرک پذیری الکتریکی) و ریخت‌شناسی. مقادیر گرد و غبار بر حسب کسرهای جرمی بیولوژیکی (قابل استنشاق، مربوط به قفسه سینه و قابل تنفس) همانگونه که در EN 481 تعریف شده است.	مثال‌ها: روش استوانه چرخشی، روش قطره مداوم، روش استوانه چرخان کوچک، ورتکس ^۱ (استانداردهای در دست تدوین)	چند نانومتر تا $\approx 10 \mu\text{m}$ برای مقادیر گرد و غبار بر حسب تعداد ذرات، توزیع اندازه ذرات و ریخت‌شناسی. برای مقادیر گرد و غبار بر حسب کسر جرمی که در EN 481 تعریف شده است.	بستگی به روش‌ها و کارکرد دستگاه ی اندازه‌گیری دارد.	روش‌های جرمی مرتبط زیست شناختی بر اساس EN 15051-1، EN 15051-2 و EN 15051-3 استاندارد شده‌اند. استانداردسازی روش‌های غیر وزن سنجی در دست تدوین است.	EN 481 EN 15051-1 EN 15051-2 EN 15051-3	

۱۵-۲-۲ استانداردهای مرتبط

EN 481:1993, Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles

EN 15051-1:2013, Workplace exposure - Measurement of the dustiness of bulk materials - Part 1: Requirements and choice of test methods

EN 15051-2:2016, Workplace exposure - Measurement of the dustiness of bulk materials - Part 2: Rotating drum method

EN 15051-3:2013, Workplace exposure - Measurement of the dustiness of bulk materials - Part 3: Continuous drop method

۱۵-۳ پراکنه‌های مایع

۱۵-۳-۱ اندازه‌دهها

این دسته از مواد به‌عنوان تعلیقه‌های نانوآشپاء جامد در مایعات نیز شناخته می‌شوند. وجود نانوآشپاء می‌تواند خواص مکانیکی، گرمایی، الکتریکی یا نوری مایع را تغییر دهد. در زیربند ۱۵-۳، حالت و پایداری پراکنه مهم است و ماهیت زمانی پراکنه است. اندازه‌دهها در جدول ۱۸ خلاصه شده‌اند.

1 Vortex shaker

جدول ۱۸- اندازه‌ده‌های مربوط به خواص تعلیقه‌های نانواشیاء در مایعات

اندازه‌ده نهایی	اندازه‌ده ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
گرانروی	گرانروی (Pa s)	گرانروی سنج ^۱	$0.1 \text{ Pa s} < \eta < 10000 \text{ Pa s}$	درستی $\pm 1\%$ گستره کامل	گرانروی سنج دیسک دوار به مقادیر زیاد نمونه نیاز دارد.	ISO 3219-1 ISO 3219-2
اندازه‌ده نهایی	اندازه‌ده ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
گرانروی	گرانروی (Pa s) رفتار گرانرو کشسان: مدول ذخیره‌سازی و مدول اتلاف (Pa)	شارش سنج ^۲	$0.1 \text{ Pa s} < \eta < 10000 \text{ Pa s}$	درستی $\pm 1\%$ مقدار اندازه‌گیری شده فعلی		ISO 3219-1 ISO 3219-2

جدول ۱۸ (ادامه)

قابلیت پراکنش پذیری	شدت عبور داده شده و منعکس شده	SMLS	اندازه ۱۰ nm تا ۱۰۰۰ μm کسر حجمی ۰/۰۱ تا کسر حجمی ۹۵٪ غلظت.	۵٪ میانگین اندازه ذرات	به مقداری کالیبراسیون مستقل نیاز دارد و فقط میانگین اندازه ذره یا غلظت ذره را می‌دهد.	ISO/TS 21357 ^a
در دست تدوین، مرحله در زمان انتشار ISO/PRF TS 21357:2021						
1- Viscometer 2- Rheometer						

۱۵-۳-۲ گرانروی

۱۵-۳-۲-۱ مرور کلی

گرانروی یک مایع اغلب تابعی از دما و سایر عوامل خارجی است. تعلیقه نانوشیاء در مایع ممکن است رفتار پیچیده‌تری داشته باشد که منجر به تغییر در گرانروی می‌شود. به‌عنوان مثال، اگر پودر ریزی از مواد مغناطیسی (مانند آهن یا Fe_2O_3) در روغن یا آب پراکنده شود، مایع ترکیبی ممکن است دارای گرانروی‌ای باشد که به‌صورت تابعی از میدان مغناطیسی اعمال شده خارجی تغییر می‌کند. چنین سیالی به نام فروسیال نیز شناخته می‌شود.

در بیشتر موارد عملی، گرانروی یک پراکنه دقیقاً به همان روش یک مایع خالص اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین، اثر نانوشیاء پراکنده را می‌توان با روش‌های تثبیت‌شده‌ای مانند گرانروی‌سنج چرخشی، اصل موئینگی گرانشی، روش گوی چرخان و شارش‌سنج به‌دست آورد. لازم به ذکر است که هیچ‌یک از این روش‌ها مختص اندازه‌گیری‌های نانومقیاس نیستند، اما معمولاً برای تعلیقه‌های پیچیده نانومواد استفاده می‌شوند. یکاهای گرانروی، پاسکال در ثانیه ($Pa \cdot s = kg/(s \cdot m)$) است.

۱۵-۳-۲-۲ گرانروی سنج چرخشی

این نوع گرانروی‌سنج از یک فنجان پرشده از نمونه و چرخک آزمون^۱ تشکیل شده‌است. در بیشتر موارد، چرخک چرخانده می‌شود (اصل سرل^۲). ISO 3219-1 و ISO 3219-2 را می‌توان برای تعلیقه‌های حاوی NOAA اعمال کرد، اگرچه آنها برای استفاده برای همه مایعات گرانرو نوشته شده باشند.

۱۵-۳-۲-۳ اصل موئینگی وزنی^۳

سرعت شارش یک مایع گرانرو از درون یک لوله عمودی یا موئینه تحت نیروی گرانش را می‌توان برای تعیین گرانروی مایع استفاده کرد. این روش اغلب برای بسپارها و نمونه‌های زیستی استفاده می‌شود. این روش دارای مزیت کوچک‌سازی تا اندازه نمونه‌های نانولیتتری می‌باشد. با لوله‌هایی به قطر $30 \mu m$ تا $300 \mu m$ و زمان اندازه‌گیری از مرتبه $100 s$ ، می‌توان به درستی ۳ درصد در اندازه‌گیری‌ها دست یافت.

۱۵-۳-۲-۴ اصل گوی چرخان یا اُفتان^۴

روش گوی چرخان از کشش جاذبه روی گویی که از درون لوله پرشده از نمونه در حرکت است، استفاده می‌کند. لوله ممکن است در یک زاویه نسبت به عمود باشد که اجازه می‌دهد کشش را تغییر داد. گرانروی‌سنج‌های گوی چرخان پیشرفته بین $5^\circ C$ تا $100^\circ C$ کار می‌کنند و می‌توانند برای نمونه‌هایی از $5 mPa \cdot s$ تا $10000 mPa \cdot s$ با حجم‌های حدود $100 \mu l$ اعمال شوند. زمان‌های اندازه‌گیری از مرتبه ده‌ها ثانیه است.

^۱ Testing bob

^۲ Searle principle

^۳ Gravimetric capillary principle

^۴ Rolling or falling ball principle

۱۵-۳-۲-۵ شارش سنجی

هدف شارش سنجی به طور کلی آزمون خواص سیالات در پاسخ به فشار اعمالی است. شارش سنجی اغلب برای مایعاتی استفاده می شود که نمی توان آنها را با یک مقدار گرانیوی توصیف کرد (به عنوان مثال، تعلیق های پیچیده، دوغاب). مایعات با مقادیر گرانیوی از ۱ mPa s تا ۱۰۰ Pa s ممکن است مورد مطالعه قرار گیرند. برخی از شارش سنج ها از فناوری میکروسیال استفاده می کنند که به حجم های نمونه به کمی ۱۰۰ µl با درستی $\pm 2\%$ و تکرار پذیری $\pm 0.5\%$ از مقدار اندازه گیری شده فعلی نیاز دارد. محدوده دمایی برای چنین اندازه گیری هایی تقریباً 20°C تا 65°C است. محدوده دماهای بزرگتر تا 500°C تحت شرایط نیرو (با فشار) بالا یا سرعت برشی بالا، یا هر دو، به صورت تجاری در دسترس هستند.

۱۵-۳-۲-۶ استانداردهای مرتبط

ISO 1628-1, Plastics - Determination of the viscosity of polymers in dilute solution using capillary viscometers - Part 1: General principles

ISO 2884-1, Paints and varnishes - Determination of viscosity using rotary viscometers - Part 1: Cone-and-plate viscometer operated at a high rate of shear

ISO 2884-2, Paints and varnishes - Determination of viscosity using rotary viscometers - Part 2: Disc or ball viscometer operated at a specified speed

ISO 3219-1, Rheology - Part 1: Vocabulary and symbols for rotational and oscillatory rheometry

ISO 3219-2, Rheology - Part 2: General principles of rotational and oscillatory rheometry

ISO 4575, Plastics - Poly(vinyl chloride) pastes - Determination of apparent viscosity using the Severs rheometer

ISO 6721-10, Plastics - Determination of dynamic mechanical properties - Part 10: Complex shear viscosity using a parallel-plate oscillatory rheometer

ISO 11443, Plastics - Determination of the fluidity of plastics using capillary and slit-die rheometers

ISO 12058-1, Plastics - Determination of viscosity using a falling-ball viscometer - Part 1: Inclined-tube method

ISO 13145, Rubber - Determination of viscosity and stress relaxation using a rotorless sealed shear rheometer

ISO 16790, Plastics - Determination of drawing characteristics of thermoplastics in the molten state

ISO/TS 21357, Nanotechnologies - Evaluation of the mean size of nano-objects in liquid dispersions by static multiple light scattering (SMLS)

† Slurry

۱۵-۳-۳ قابلیت پراکنش پذیری

پراکنش نانواشیاء در یک مایع اغلب از نظر یکنواختی یا پایداری ارزیابی می‌شود. نانواشیاء تمایل به انبوه شدن و سپس لخته شدن یا رسوبدهی دارند. برای فرموله کردن محصولی که به یکنواختی چنین پراکنه‌ای در طی زمان یا سایر شرایط (مانند دما) بستگی دارد، پارامتر پراکنش پذیری بسیار مهم است.

تعدادی روش برای تعیین یکنواختی و پایداری زمانی پراکنه موجود است. یکی از روش‌ها، پراکنندگی ایستای نور چندگانه است که امکان آزمون پراکنه‌های بسیار متراکم (پراکنه‌های رقیق نشده) را فراهم می‌کند و می‌تواند میانگین اندازه ذرات و همچنین غلظت ذرات را به‌عنوان تابعی از زمان و موقعیت در ظرف آزمون فراهم آورد.

پراکنندگی ایستای نور چندگانه مبتنی بر اصل پراکنندگی ایستای نور است که در محیط‌های غلیظ به کار می‌رود. این روش شامل پراکنندگی متوالی تابش در محیط پراکنده‌کننده است. در نمونه‌های غلیظ، نور فرودی به‌طور متوالی بارها پراکنده می‌شود و در نتیجه به سرعت حافظه جهت تابش فرودی^۱ را از دست می‌دهد. شدت نور چندپراکنده^۲ به طول موج نور نشریافته، غلظت ذرات، اندازه ذرات، ضریب شکست فاز پیوسته و پراکنده، قابلیت جذب و موقعیت حسگر بستگی دارد.

یادآوری - تلفیقی از روبش عمودی و گردآوری‌های متعدد از ارتفاع نمونه، ثبت ناهمگونی‌های محلی نمونه، حالت پراکنه و تکامل زمانی آن (پایداری فیزیکی) را امکان‌پذیر می‌سازد.

در این روش نیازی به آماده‌سازی نمونه نیست (یعنی رقیق‌سازی حتی برای نمونه‌های خیلی غلیظ مورد نیاز نیست) زیرا گستره وسیعی از غلظت (کسر حجمی % ۰٫۰۱ تا % ۹۵) را پوشش می‌دهد. این روش می‌تواند گستره وسیعی از اندازه ذرات (۱۰ nm تا ۱۰۰۰ μm) را اندازه‌گیری کرده و به حالت پراکنه حساس است. روش پراکنندگی ایستای نور آنالیز وابسته به زمان حالت پراکنه را در نمونه بسیار مشابهی ارائه می‌دهد: و از این رو، به سازوکارهای بی‌ثبات‌کننده (به‌عنوان مثال رسوبدهی) زمانی که با فناوری روبش همراه شود، حساس است.

محدودیت‌های این روش آن است که روش فقط میانگین اندازه ذرات را به جای توزیع اندازه می‌دهد. کسر حجمی و ضرایب شکست برای محاسبه میانگین اندازه ذرات مورد نیاز است و قابلیت جذب ممکن است برخی از اندازه‌گیری‌ها را محدود کند.

۱۵-۳-۴ استانداردهای مرتبط

ISO/TR 13097, Guidelines for the characterization of dispersion stability

^۱ Memory of the incident direction

^۲ Multi-scattered light

۱۵-۳-۵ حلالیت و سرعت انحلال

حلالیت به بیشینه جرم نانوشیء اطلاق می‌شود که می‌تواند در یک حلال حل شده تا یک فاز منفرد، همگن و از لحاظ زمانی پایدار به دست آید. حلالیت زمانی اتفاق می‌افتد که ماده در سطح مولکولی با حلال احاطه شده باشد.

این امر اهمیت دارد که حلالیت و پراکنش‌پذیری اشتباه گرفته نشوند. در مورد اول، ذرات مشخصه ذره‌ای خود را از دست می‌دهند و شکل خود را تغییر داده تا به مولکول‌ها و یون‌های کوچکتر تبدیل شوند. پراکنش‌پذیری شامل توزیع ذرات در یک مایع برای تشکیل یک تعلیق است. تاکید بر این تفاوت مهم است، زیرا تشخیص این تمایز در مورد نانوشیء دشوار می‌باشد.

ممکن است با اصطلاحات امتزاج‌پذیر و غیرقابل امتزاج در هنگام در نظر گرفتن حلالیت یک مایع در مایع دیگر، بطوریکه امتزاج‌پذیر به معنای محلول بودن بدون محدودیت است، مواجه شویم. هنگامی که یافته‌هایی در مورد حلالیت نانومواد در محیط‌های زیست‌شناختی موجود باشد، این یافته‌ها باید در درجه اول برای ارزیابی پایداری زیستی^۱ مورد استفاده قرار گیرند. حلالیت در آب ممکن است به‌عنوان معیاری برای پایداری زیست‌شناختی به کار رود. چنانچه حلالیت در آب مطلوب باشد، معمولاً ممکن است حلالیت مطلوبی در محیط‌های زیست‌شناختی فرض شود. با این حال، این نکته در تمام موارد صادق نمی‌باشد. در موارد مجزا، حلالیت ضعیف در آب ممکن است با حلالیت مطلوب در محیط‌های زیست‌شناختی همراه باشد. به‌عنوان مثال، کبالت فلزی در آب محلول نیست، اما در سرم حلالیت خوبی نشان می‌دهد. در سطح بین‌المللی، هیچ تعریف واحدی از محدوده غلظت برای تو صیف حلالیت در آب وجود ندارد. تعدادی از نانوشیء به‌طور عمدی به‌گونه‌ای ساخته می‌شوند تا پوشش خاصی داشته باشند که بر حلالیت آنها تأثیر می‌گذارد. در چنین مواردی، استفاده از داده‌های حلالیت هسته برای تخمین پایداری زیستی کل نانوذره مناسب نیست. نانوشیء پوشش داده شده ممکن است کمتر و یا بیشتر از معادل‌های بدون پوشش آنها حل شوند.

اندازه‌دهی برای حلالیت، بیشینه جرم یا غلظت حل‌شونده، در این مورد نانوشیء است، که می‌توانند در واحد جرم یا حجم حلال در دما و فشار معین (یا استاندارد) حل شوند، یکاها: [kg/kg] یا [kg/m³], یا g/l یا [mole/mole].

عوامل زیادی بر حلالیت تأثیر می‌گذارند، از جمله:

- الف - فشار، فشار روی سطح محلول تأثیر بسیار کمی بر حلالیت جامدات و مایعات دارد.
- ب - دما، حلالیت جامدات و مایعات معمولاً با افزایش دما افزایش می‌یابد.
- پ - نیروهای بین ذرات، یکی از عواملی که بر حلالیت تأثیر می‌گذارد، ماهیت نیروهای بین‌مولکولی یا نیروهای بین‌یونی در هر دو ماده حل‌شونده و حلال است. هنگامی که یک ماده در ماده دیگر حل می‌شود، باید بر نیروهای جاذبه هر دو غلبه شود. حل‌شونده باید بتواند انبوهه مولکول‌ها در حلال را

^۱ Biopersistence

شکسته و مولکول‌های حلال باید جاذبه کافی برای ذرات حل‌شونده داشته باشند تا آنها را یکی‌یکی از هم سایگان خود در حل‌شونده حل‌نشده جدا کنند. اگر حل‌شونده یونی باشد، تنها یک حلال بسیار قطبی مانند آب، برهم‌کنش کافی را برای تأثیر بر انحلال فراهم می‌کند. در این ترکیبات نامحلول یونی، برهم‌کنش بین یون‌ها بیشتر از آن است که بتوان با برهم‌کنش با مولکول‌های قطبی آب بر آن غلبه کرد. اگر ذرات حل‌شونده مولکول‌های قطبی باشند، حلال‌های قطبی مانند الکل‌ها معمولاً می‌توانند بر انحلال تأثیر بگذارند. اگر حل‌شونده غیرقطبی باشد، فقط در حلال‌های غیرقطبی حل می‌شود، نه به این دلیل که مولکول‌های قطبی حلال قادر به غلبه بر نیروهای پراکنش ضعیف بین مولکول‌های حل‌شونده نیستند، بلکه به این دلیل که این نیروهای پراکنش برای غلبه بر برهم‌کنش دوقطبی-دوقطبی بین مولکول‌های حلال بسیار ضعیف هستند. به همین دلیل، مقدار حلالیت باید برای هر ترکیب حلال-حل‌شونده اندازه‌گیری شود و می‌تواند به عنوان تابعی از دما، غلظت‌های ناخالصی و سایر پارامترهای خارجی مشخصه‌یابی شود.

سرعت انحلال عموماً به مساحت سطح، دما و مقدار حل‌شونده موضعی در دسترس بستگی دارد. تخمینی از این سرعت را می‌توان با مطالعه سرعت تغییر اندازه نانو شیء به عنوان تابعی از زمان به دست آورد. اگرچه، به تمایز بین رسوب‌دهی و انحلال باید دقت شود. انحلال نانوذرات فلزی و اکسید فلزی اغلب با ICP-MS یا ICP-OES اندازه‌گیری می‌شود.

۱۵-۳-۶ استانداردهای مرتبط

ISO 7579, Dyestuffs - Determination of solubility in organic solvents - Gravimetric and photometric methods

ISO/TR 13014, Nanotechnologies - Guidance on physico-chemical characterization of engineered nanoscale materials for toxicologic assessment

۱۵-۴ خواص مکانیکی

۱۵-۴-۱ کلیات

افزودن نانو شیء به مواد زمینه مانند پلاستیک، لاستیک یا ساخت مواد جامد از نانو شیء مانند سرامیک، خواص مکانیکی مواد زمینه و همچنین سایر پارامترها را تغییر می‌دهد. پارامترهای کلیدی مکانیکی چنین چندسازه‌ای را می‌توان به عنوان اندازه‌دهی توده‌ای طبقه‌بندی کرد که در آن هیچ تفکیک‌پذیری فضایی وجود ندارد یا پارامترهای تفکیک‌شده فضایی با پروب‌های با تفکیک‌پذیری بالا در مقیاس نانو اندازه‌گیری می‌شوند. برخی از روش‌ها امکان اندازه‌گیری خواص با تفکیک فضایی را فراهم می‌کنند (مانند AFM)، در حالی که برخی دیگر فقط خواص کل ماده را اندازه‌گیری می‌کنند. نتایج سختی موضعی یا هدایت الکتریکی ممکن است به طور قابل توجهی با اندازه‌گیری‌های مقیاس بزرگتر متفاوت باشند. این خواص مکانیکی باید با همان روش‌های آزمون‌ی اندازه‌گیری شوند که طی سال‌های متمادی برای مواد معمول توسعه یافته‌اند. خلاصه‌ای از اندازه‌دهی در جدول ۱۹ ارائه شده است.

یادآوری - خلاصه مطلوبی از روش‌های آزمون در مرجع [90] ارائه شده است.

جدول ۱۹- اندازه‌ده‌های مربوط به خواص مکانیکی مواد نانوچندسازه جامد

اندازه‌ده نهایی	اندازه‌ده ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
خواص کشسانی در مقیاس بزرگ	مدول یانگ، نسبت پواسون، مدول برشی	مبدل تفاضلی متغیر خطی یا کرنش‌سنج	۱۰۰ nm تا ۵۰۰mm	اندازه‌گیری توده ای	دماهای زم‌زایشی یا تا دمای ۶۵۰°C درستی ۵٪ تا ۷٪	[91]
اندازه‌ده نهایی	اندازه‌ده ویژه هر روش	روش	محدوده	تفکیک پذیری	محدودیت‌ها	مراجع
خواص کشسانی در مقیاس بزرگ	بسامد تشدید	روش فراصوت تپی، روش ارتعاش آزاد، تشدید آزاد با تحریک ضربه ای، تشدید آزاد با تحریک مداوم	فقط نوسانات کوچک	اندازه‌گیری توده ای	تنها برای اندازه گیری‌های کرنش کم قابل استفاده است. درستی ۰٫۱٪ تا ۱٪	[92], [93]

جدول ۱۹ (ادامه)

خواص تغییر شکل کشسان و پلاستیکی موضعی	مدول یانگ (Pa)، سختی (Pa). بطور بالقوه پارامترهای استحکام تسلیم، حداکثر کرنش پلاستیک، شکل پذیری (چکش خواری) و خزش را می‌دهد.	فروروندگی ابرازی ^۱ یا AFM	کاوش در مقیاس طول نانومتر تا میکرومتر	تفکیک پذیری آزمون موضعی می‌تواند در مقیاس نانو باشد.	تفکیک پذیری بار نوعی: $< 1 \text{ nN}$ و تفکیک پذیری جابجایی: 0.000 nN ۴	ISO 12696-1 ISO 12696-2 ISO 12696-3 ISO 12696-4
خواص مکانیکی	استحکام تسلیم (Pa)، مدول یانگ، UTS ^۲	آزمون کشش	بسته به روش مورد استفاده	عدم قطعیت نوعی بین ۱٪ تا ۵٪ است.		ISO 10272-1

	تفکیک پذیری فضایی ضعیف	روش آزمون در مقیاس بزرگ	معمولاً mm ۱ تا mm ۱۰۰۰	تریبومتری ^۳	سرعت سایش (m ³ /Nm)، ضریب اصطکاک، مقاومت در برابر سایش، مقاومت در برابر فرسایش	عملکرد تریبولوژی
۱ Instrumented indentation 2- Ultimate tensile strength 3- Tribometry						

۱۵-۴-۲ اندازه‌گیری ثابت‌های کشسانی با روش‌های ایستا

آزمایش‌های بارگذاری ایستا تعدادی پارامتر مربوط به خواص تغییر شکل کشسان و پلاستیکی جامدات را به دست می‌دهند. پارامترهای کلیدی شامل مدول یانگ، نسبت پواسون و مدول برشی هستند.

برای نمونه‌های در اندازه ماکرو ساخته‌شده از سرامیک یا مواد دیگر مانند بتن، مدول یانگ را می‌توان با روش‌های خمشی^۳ نقطه‌ای و^۴ نقطه‌ای اندازه‌گیری کرد. برای الیاف ساخته شده از فلزات، سرامیک یا شیشه، مدول یانگ را می‌توان از اندازه‌گیری‌های افزایش طول و سطح مقطع به‌دست آورد. ورق‌های پلاستیکی یا بسپاری در حالت کشش آزموده می‌شوند. درستی اندازه‌گیری ممکن است فقط ۵٪ تا ۷٪ باشد. برخی از مزایای این روش عبارتند از امکان آزمون گستره وسیعی از طول اندازه‌گیری‌ها از ۱۰ mm تا ۲۵۰۰ mm و در گستره وسیع دما از حدود ۷۵ °C تا ۱۲۰۰ °C.

۱۵-۴-۳ استانداردهای مرتبط

ASTM C1341-13, Standard Test Method for Flexural Properties of Continuous Fibre-Reinforced Advanced Ceramic Composites [96]

ASTM D882-12, Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting [97]

ASTM E111-04, Standard test method for Young's modulus, tangent modulus, and chord modulus [91]

ASTM E132-04, Standard test method for Poisson's ratio at room temperature [94]

ASTM E143-13, Standard test method for shear modulus at room temperature [95]

۱۵-۴-۴ اندازه‌گیری ثابت‌های کشسانی با روش‌های پویا

روش‌های پویا برای اندازه‌گیری خواص کشسانی مانند مدول یانگ، مدول برشی و نسبت پواسون برای تعدادی از مواد جامد، درستی بالایی ارائه می‌دهند و از اثراتی مانند خزش یا پسماند کشسان جلوگیری

می‌کنند. روش‌های پویا برای تعیین ثابت‌های کشسانی شامل روش فراصوت تپی، روش ارتعاش آزاد، تشدید آزاد با تحریک ضربه‌ای و تشدید آزاد با تحریک مداوم است.

در عمل دو نوع آزمون تست پویا وجود دارد. یکی از روش‌ها از اندازه‌گیری زمان پرواز یک تپ فراصوت استفاده می‌کند و سرعت فراصوت را در مواد با ابعاد و چگالی شناخته‌شده به‌دست می‌دهد که به مدول یانگ با درستی ۰/۱ در صد منجر می‌شود. روش دیگر میله (آزمونه) که بطور آزادانه ارتعاش می‌کند را برای یافتن بسامد تشدید، به طور مکانیکی تحریک می‌کند. ابعاد آزمون برای محاسبه پارامترهای کشسانی استفاده می‌شود. مزایای این روش آنست که از اثرات پیچیده کرنش بزرگ مانند خزش یا پسماند کشسان اجتناب می‌شود. بسامدهای آزمایشی از ۵۰۰ Hz تا ۳۰ kHz استفاده می‌شود.

۱۵-۴-۵ استانداردهای مرتبط

ASTM E1875-13, Standard test method for dynamic young's modulus, shear modulus, and Poisson's ratio by sonic resonance [92]

ASTM E1876-09, Standard test method for dynamic young's modulus, shear modulus, and Poisson's ratio by impulse excitation of vibration [93]

۱۵-۴-۶ اندازه‌گیری خواص کشسانی و پلاستیک با روش‌های فروروندگی ابزاری

بیشتر اندازه‌گیری‌های کشسانی به خواص ماکرومقیاس مانند مدول یانگ یا نسبت پواسون و سختی سطح اشاره دارد، اگرچه در برخی موارد اندازه‌گیری ماکرومقیاس به سادگی ممکن نیست یا در حالتی که اندازه‌گیری اجزای خاصی از یک سامانه مواد از قبیل فازهای مجزا در چندسازه‌ها یا پوشش‌ها مورد نیاز است، مناسب نیست.

در این حالت، یک فروروندگی در سطح نمونه ایجاد می‌شود. یک نیروی معین (با عناصر پیزوالکتریک، بصورت الکتروایستایی یا الکترومغناطیسی) اعمال می‌شود و جابجایی به وسیله انواع سنج‌ها (ح سگرهای خازنی، مبدل‌های تفاضلی متغیر خطی یا تداخل‌سنج‌های لیزری) اندازه‌گیری می‌شود. فرورونده‌ها می‌توانند به شکل هرم‌های ۴ یا ۳ وجهی (یا هندسه گوشه مکعبی) و همچنین کروی باشند. ساخت مورد دومی دشوار است اما داده‌های تغییر شکل کشسانی مطلوبی به‌دست می‌دهد. تغییر شکل اغلب ترکیبی از تغییر شکل پلاستیک و کشسان در نمونه است. منحنی بار در مقابل جابجایی را می‌توان برای به‌دست آوردن سختی از عمق دائمی فرورفتگی، و مدول یانگ از شیب منحنی باربرداری^۱ تحلیل کرد، اما این تحلیل متکی بر یک سامانه آزمون خوب کالیبره‌شده از جمله کالیبراسیون شکل سوزن و ورودی مقدار نسبت پواسون (برآورد شده یا اندازه‌گیری شده با روش‌های دیگر) است، اما نتیجه‌ای برای مدول یانگ با خطای ۵٪ قابل دستیابی است. سایر پارامترها، پارامترهای تغییر شکل پلاستیک مانند استحکام تسلیم، بیشینه کرنش پلاستیک و شکل‌پذیری و خواص

^۱ Unloading curve

گرانروکشسانی برای مواد گرانروکشسان را می‌توان با این روش ارزشیابی کرد. این آزمون‌ها اندازه‌گیری موضعی پارامترهای مواد کشسان و پلاستیک را در محل ارائه می‌دهند.

۱۵-۴-۷ استانداردهای مرتبط

ISO 14577-1, Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters — Part 1: Test method

ISO 14577-2, Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters — Part 2: Verification and calibration of testing machines

ISO 14577-3, Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters — Part 3: Calibration of reference blocks

ISO 14577-4, Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters — Part 4: Test method for metallic and non-metallic coatings

۱۵-۴-۸ اندازه‌گیری خواص سطح و سایش

سایش مکانیکی ممکن است با تعدادی از روش‌های میکرو و ماکرومقیاس یا نانومقیاس با استفاده از AFM اندازه‌گیری شود. روش آزمون مناسب به سازوکار سایش که در حال مطالعه است، بستگی دارد. سایش از طریق برهم‌کنش دو سطح با انواع مختلف سایش از جمله تماس لغزشی، غلته‌شی،^۴ فر سایش^۳ و سایش^۲ رخ می‌دهد. روش‌های مختلف آزمون برای این انواع مختلف تماس مکانیکی موجود است. اکثر آزمون‌های سایش مکانیکی به‌طور خاص به مقیاس نانو مربوط نمی‌شوند، اما بزرگی سایش و اصطکاک ایجادشده تقریباً همیشه به‌وسیله پدیده‌های در مقیاس میکرو و نانو که در فصل مشترک تماس رخ می‌دهند، کنترل می‌شوند. اندازه‌دهی کلیدی، ضریب اصطکاک و نرخ سایش^۵ هستند که با بار عمودی و فاصله لغزش و همچنین خواص مواد مرتبط هستند.

۱۵-۴-۹ استانداردهای مرتبط

ISO/TR 11811, Nanotechnologies - Guidance on methods for nano- and microtribology measurements

-
- ۱ Sliding
 - ۲ Rolling contact
 - ۳ Erosion
 - ۴ Abrasion
 - ۵ Wear rate

کتابنامه

- [1] KESKINEN J., PIETARINEN K., LEHTIMÄKI M. Electrical-low pressure impactor. *J. Aerosol Sci.* 1992, **23** pp. 353–360
- [2] WANG S.C., FLAGAN R.C. Scanning electrical mobility spectrometer. *Aerosol Sci. Technol.* 1990, **13** pp. 230–240
- [3] KOO J.H. HIRLEMAN E.D. Review of principles of optical techniques for particle size measurements. In: *Recent advances in spray combustion: spray atomization and drop burning phenomena*, (Kuo K.K., ed.). American Institute of Aeronautics, Reston, VA, **Vol. 1**, 1996, pp. 3–32.
- [4] WILSON J.C., LIU B.H.Y. Aerodynamic particle size measurement by Laser-Doppler velocimetry. *J. Aerosol Sci.* 1980, **11** pp. 139–150
- [5] R'MILI B., LE BIHAN O., DUTOUQUET C., AGUERRE-CHARIOL O., FREJAFON E., Particle Sampling by TEM Grid Filtration. *Aerosol Sci. Technol.* 2013, **47** (7) pp. 767–775
- [6] LE BIHAN O., ZANTMAN A., THEVENET S. R'Mili, B.; Ustache, A. Evaluation de l'efficacité de prélèvement d'un précipitateur électrostatique. 26eme Congrès Français sur les Aérosols (CFA 2011), Paris, France, 2011, pp.NC. HAL Id: ineris-00973609 <http://hal -ineris .ccsd .cnrs .fr/ ineris -00973609>
- [7] PACHAURI T., SINGLA V., SATSANGI A., LAKHANI A., MAHARAJ KUMARI K. SEM-EDX Characterization of Individual Coarse Particles in Agra, India. *Aerosol Air Qual. Res.* 2013, **13** pp. 523–536
- [8] HODOROABA V.-D., RADES S., KISHORE N., ORTS-GIL G., UNGER W.E.S. Morphology of Nanoparticles: A Characterization Using High-Resolution SEM. *Imaging & Microscopy.* 2013, **15** p. 54
- [9] BRUNAUER S., EMMETT P.H., TELLER E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.* 1938, **60** pp. 309–319
- [10] MCCAVE I.N., BRYANT R.J., COOK H.F., COUGHANOWR C.A. Evaluation of a Laser-Diffraction-Size Analyzer For Use with Natural Sediments. *J. Sediment. Res.* 1986, **56** (4) pp. 561–564
- [11] INGHAM B X-ray scattering characterisation of nanoparticles, *Crystallography Reviews*, 2015 **21**(4), pp. 229-303

- [12] DRESSELHAUS M.S., JORIO A., HOFMANN M., DRESSELHAUS G., SAITO R. Perspectives on Carbon Nanotubes and Graphene Raman Spectroscopy. *Nano Lett.* 2010, **10** (3) pp. 751–758
- [13] BOKOVA S.N., OBRAZTSOVA E.D., GREBENYUKOV V.V., ELUMEEVA K.V., ISHCENKO A.V., KUZNETSOV V.L. Raman diagnostics of multi-wall carbon nanotubes with a small wall number. *Phys. Status Solidi.* 2010, **247** (11-12) pp. 2827–2830 [b]
- [14] BRAUN A.COUTEAU O., FRANKS K., KESTENS V., ROEBBEN G., LAMBERTY A. et al. , Validation of dynamic light scattering and centrifugal liquid sedimentation methods for nanoparticle characterization. *Adv. Powder Technol.* 2011, **22** (6) pp. 766–770
- [15] GUINIER A., FOURNET G. *Small-Angle Scattering of X-rays.* Wiley, New York, 1955
- [16] QIAN H., SHEETZ M.P., ELSON E.L. Single particle tracking. Analysis of diffusion and flow in two dimensional systems. *Biophys. J.* 1991, **60** (4) pp. 910–921
- [17] SCHIMPF, ME; CALDWELL, K; GIDDINGS, JC, *Field flow fractionation handbook.* Wiley-Interscience: New York, 2000.
- [18] GIGAULT, J; PETTIBONE, JM; SCHMITT, C; HACKLEY, VA, Rational strategy for characterization of nanoscale particles by asymmetric-flow field flow fractionation: A tutorial. *Anal Chim Acta* 2014, **809**, 9-24
- [19] DEGUELDRE C. AND FAVARGER P.Y., Colloid analysis by single particle inductively coupled plasma mass spectroscopy: a feasibility study. *Colloids Surf., A*, 2003, **217**, 137–142
- [20] ASTM E2490-09, Standard guide for measurement of particle size distribution of nanomaterials in suspension by Photon Correlation Spectroscopy (PCS)
- [21] ASTM E3247-20, Standard Test Method for Measuring the Size of Nanoparticles in Aqueous Media Using Dynamic Light Scattering
- [22] KESTENS V., BOZATZIDIS V, DE TEMMERMAN P-J, RAMAYE Y, ROEBBEN G, *J. Nanopart. Res.*, 2017, **19**:271
- [23] ASTM E2834-12, Standard Guide for Measurement of Particle Size Distribution of Nanomaterials in Suspension by Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۴۵۴: سال ۱۳۹۵، موضوع: اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات نانومواد در سوسپانسیون به روش آنالیز ردیابی مسیر حرکت نانو ذره (NTA) با استفاده از استاندارد ASTM E 2834: 2012 تدوین شده‌است.

- [24] GROBELNY J. W., Pradeep, N.; Kim D. I.; Hackley V. A.; Cook R. F. Size measurement of nanoparticles using atomic force microscopy. *Methods Mol. Biol.* 2011, **697** pp. 71–82. Available at: Del Rio, F.
- [۲۵] استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۶۰۳: سال ۱۳۹۷، فناوری نانو- تعیین اندازه نانوذرات با استفاده از روش میکروسکوپی نیروی اتمی - راهنما
- [26] BRIGGS D., SEAH M.P. *Practical Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy*. John Wiley & Sons, Chichester, 1983
- [27] RADES S., WIRTH T., UNGER W., Investigation of silica nanoparticles by Auger electron spectroscopy (AES), *Surf. Interface Anal.* 2014, **46**, 952–956
- [28] BAER DR, GASPAR DJ, NACHIMUTHUA P., TECHANE SD, CASTNER DG Application of Surface Chemical Analysis Tools for Characterization of Nanoparticles. *Anal. Bioanal. Chem.* 2010 February, **396** (3) pp. 983–1000.
- [29] HODOROABA V-D, UNGER W, SHARD A (Eds), *Characterization of Nanoparticles, Measurement Processes for Nanoparticles*, Elsevier, 2019
- [30] EGERTON R.F. *Electron Energy-Loss Spectroscopy in the Electron Microscope*. Springer New York, Third Edition, 2011 – lots of references elsewhere
- [31] IAKOUBOVSKII K., MITSUISHI K., NAKAYAMA Y., FURUYA K. Thickness measurements with electron energy loss spectroscopy. *Microsc. Res. Tech.* 2008, **71** (8) pp. 626–631. DOI: 10.1002/jemt.20597
- [32] BENNINGHOVEN F.G., Rüdener, H. W. Werner “Secondary Ion Mass Spectrometry: Basic Concepts, Instrumental Aspects, Applications, and Trends”. Wiley, New York, 1987, 1227 p.
- [33] SENONERA M, UNGER WES, SIMS imaging of the nanoworld: applications in science and technology, (Critical Review) *J. Anal. At. Spectrom.*, 2012, **27**, 1050-1068
- [34] LACHANCE G.R., CLAISSE F. *Quantitative X-ray fluorescence analysis*. Wiley-Interscience, New York, 1994
- [35] BECKHOFF B., KANNGIEßER N., LANGHOFF, WEDELL R, WOLFF H, *Handbook of practical X-ray fluorescence analysis*. Springer, 2006
- [36] SCHOONJANS T.SILVERSMIT G., VEKEMANS B., SCHMITZ S., BURGHAMMER M., RIEKEL C. et al. , Fundamental parameter based quantification algorithm for confocal nano-X-ray fluorescence analysis. *Spectrochim. Acta B At. Spectrosc.* 2012, **67** pp. 32–42

- [37] A. BUNACIUA A., UDRIȘTIOIUB E.G. ABOUL-ENEIN H.Y., X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Crit. Rev. Anal. Chem.* 2015, **45** (4) pp. 289–299
- [38] KJÆRVIK M. et al, 2017 *J. Phys.: Condens. Matter* **29** 47400 DOI 10.1088/1361-648X/aa8b9d
- [39] HODOROABA V-D RADES S, SALGE T, MIELKE J, ORTEL E, SCHMIDT R, Characterisation of nanoparticles by means of high-resolution SEM/EDS in transmission mode, 2016 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 109 012006
- [40] BELSEY NACANT DJH, MINELLI C, ARAUJO JR, BOCK B, SHARD AG et al, Versailles Project on Advanced Materials and Standards Interlaboratory Study on Measuring the Thickness and Chemistry of Nanoparticle Coatings Using XPS and LEIS, *J Phys Chem C Nanomater Interfaces.* 2016 Oct 27; **120**(42): 24070–24079.
- [41] FONDEUR F, MITCHELL B S. A modified diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy cell for depth profiling of ceramic fibers *Spectrochimica Acta Part A* 56 (2000) pages 467–473
- [42] SAPTARI V., *Fourier-Transform Spectroscopy Instrumentation Engineering.* SPIE Publication, Bellingham, 2003
- [43] SHERMAN HSU C.-P., *Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry Infrared Spectroscopy. Chapter 15.* Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 2000
- [44] MALKA I J. BYSTRZYCKI. The effect of storage time on thermal behavior of nanocrystalline magnesium hydride with metal halide additives, *Int. J. Hydrogen Energy*, 2014 (39:7) pages 3352- 3359;
- [45] DOUGLAS A. SKOOG, F., HOLLER J., STANLEY R. CROUCH; *Principles of Instrumental Analysis.* Thomson Brooks/Cole, Belmont, CA, Sixth Edition, 2007
- [46] [http:// www .raman .de/](http://www.raman.de/)
- [47] LABORDA F., JIMENEZ-LAMANA J., BOLEA E., AND CASTILLO J., Selective identification, characterization and determination of dissolved silver(I) and silver nanoparticles based on single particle detection by inductively coupled plasma mass spectrometry, *J. Anal. At. Spectrom.*, 2011, **26**, 1362-1371.
- [48] LIU, J. Y., MURPHY, K. E., MACCUSPIE, R. I., AND WINCHESTER, M. R., “Capabilities of Single Particle Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry for the Size Measurement of Nanoparticles: A Case Study on Gold Nanoparticles,” *Analytical Chemistry*, **86**, 3405-3414 (2014).
- [49] PETERS, R.J.B., VAN BEMMEL, G., HERRERA-RIVERA, Z., HELSPER, H.P.F.G., MARVIN, H.J.P., WEIGEL, S., TROMP, P.C., OOMEN, A.G., RIETVELD, A.G.,

- BOUWMEESTER, H. Characterization of titanium dioxide nanoparticles in food products: Analytical methods to define nanoparticles. *J. Agric. Food Chem.*, 2014, **62**, 6285–6293
- [50] OLESIK W., Elemental analysis using ICP-OES and ICP-MS, *Anal. Chem.*, 1991, **63**, 12A-21A.
- [51] EHARA K., HAGWOOD C., COAKLEY K.J. Novel method to classify aerosol particles according to their mass-to-charge ratio—Aerosol particle mass analyser. *J. Aerosol Sci.* 1996 March, **27** (2) pp. 217–234
- [52] NOBLE C.A., PRATHER K.A. Real-time single particle mass spectrometry: A historical review of a quarter century of the chemical analysis of aerosols. *Mass Spectrom. Rev.* 2000, **14** pp. 248–274
- [53] TAMARI S., Optimum design of the constant-volume gas pycnometer for determining the volume of solid particles. *Meas. Sci. Technol.* 2004, **5** pp. 549–558
- [54] LOWELL S, SHIELDS J E, THOMAS M A, THOMMES M, Characterization of Porous Solids and Powders: Surface Area, Pore Size and Density, Springer, 2004
- [55] WYATT P.J., Light scattering and the absolute characterization of macromolecules. *Anal. Chim. Acta.* 1993, **272** pp. 1–40
- [56] BURG T P, GODIN M, KNUDSEN S M, SHEN W, CARLSON G, FOSTER J S, BABCOCK K, MANALIS S R, Weighing of biomolecules, single cells and single nanoparticles in fluid, *Nature* . 2007 Apr 26; **446**(7139):1066-9.
- [57] XU R., Progress in nanoparticles characterization: Sizing and zeta potential measurement. *Particuology*. 2008 April, **6** (2) pp. 112–115
- [58] LOWRY G.V., HILL R.J., HARPER S., RAWLE A.F., HENDREN C.O., KLAESSIG F., NOBBMANN U., SAYREH P., RUMBLE J. Guidance to improve the scientific value of zeta-potential measurements in nanoEHS. *Environ. Sci.: Nano.* 2016, **3** pp. 953-965
- [59] O'BRIEN R.W., CANNON D.W., ROWLANDS W.N. Electroacoustic determination of particle size and zeta potential. *J. Colloid Interface Sci.* 1995 August, **173** (2) pp. 406–418
- [60] CRAIEVICH A.F. Synchrotron SAXS Studies of Nanostructured Materials and Colloidal Solutions, A Review. *Mater. Res.* 2002, **5** (1) pp. 1–11
- [61] GRAEWERT M.A., SVERGUN D.I. Impact and progress in small and wide angle X-ray scattering (SAXS and WAXS). *Curr. Opin. Struct. Biol.* 2013, **23** (5) pp. 748–754
- [62] ZHANG F., ILAVSKY J. Ultra-small-angle X-ray scattering of polymers. *J. Macromol. Sci. Part C Polym. Rev.* 2010, **50** (1) pp. 59–90

- [63] CLEGG, W. (1998). Crystal structure determination. Oxford Chemistry Primers, 60(1)
- [64] KISIELOWSKI C.FREITAG B., BISCHOFF M., VAN LIN H., LAZAR S., KNIPPELS G. et al. , Detection of single atoms and buried defects in three dimensions by aberration-corrected electron microscope with 0.5-Å information limit. *Microsc. Microanal.* 2008, **14** (05) pp. 469–477
- [65] BABA-KISHI K.Z., Review Electron backscatter Kikuchi diffraction in the scanning electron microscope for crystallographic analysis. *J. Mater. Sci.* 2002, **37** (9) pp. 1715–1746
- [66] SUBRAMANIAN A., MARKS L.D. Surface crystallography via electron microscopy. *Ultramicroscopy.* 2004, **98** (2) pp. 151–157
- [67] BLAKELEY M.P., LANGAN P., NIIMURA N., PODJARNY A. Neutron crystallography: opportunities, challenges, and limitations. *Curr. Opin. Struct. Biol.* 2008, **18** (5) pp. 593–600
- [68] WILLIAMS H.W., CHAMBERLAND B.L. Determination of Curie, Neel, or crystallographic transition temperatures via differential scanning calorimetry. *Anal. Chem.* 1969, **41** (14) pp. 2084–2086
- [69] FLAMMERSHEIM H.-J. *Differential Scanning Calorimetry, An Introduction for Practitioners.* Springer- Verlag, Berlin, 1996
- [70] HARRIS R.K., NMR crystallography: the use of chemical shifts. *Solid State Sci.* 2004, **6** (10) pp. 1025–1037
- [71] TAULELLE F., NMR crystallography: crystallochemical formula and space group selection. *Solid State Sci.* 2004 October, **6** (10) pp. 1053–1057
- [72] CAREY P.R., Raman crystallography and other biochemical applications of Raman microscopy. *Annu. Rev. Phys. Chem.* 2006, **57** pp. 527–554
- [73] TISSUE, B. M. (2002). *Ultraviolet and Visible Absorption Spectroscopy. Characterization of Materials*
- [74] GILLILAND G.D., Photoluminescence spectroscopy of crystalline semiconductors. *Mater. Sci. Eng. Rep.* 1997, **18** (3) pp. 99–399
- [75] LAKOWICZ J.R., ed. *Principles of fluorescence spectroscopy.* Springer Science & Business Media, 2013
- [76] DEEN M.J., PASCAL F. Electrical characterization of semiconductor materials and devices - review. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 2006, **17** (8) pp. 549–575

- [77] STALLINGA P., *Electrical Characterization of Organic Electronic Materials and Devices*. John Wiley & Sons, 2009
- [78] KANO S, TADA T, MAJIMA Y, Nanoparticle characterization based on STM and STS, *Chemical Society Reviews*, **44** 970-987, 2015
- [79] LANZA M (Editor), *Conductive Atomic Force Microscopy: Applications in Nanomaterials*, Wiley, 2017.
- [80] PROKSCH R., KALININ S. Piezoresponse Force Microscopy. *Micros. Today*. 2009, **17** (06) pp. 10–15
- [81] NASIRPOURI F., NOGARET A. *Nanomagnetism and spintronics: fabrication, materials, characterization and applications*. World Scientific, 2011
- [82] MILLS D.L.L., BLAND J.A.C. *Nanomagnetism: ultrathin films, multilayers and nanostructures*. Elsevier, **Vol. 1**, 2006
- [83] FONER S. Review of magnetometry. *Magnetics. IEEE Transactions on*. 1981, **17** (6) pp. 3358–3363
- [84] KLEEMANN, W. *Magneto-optical Materials. Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials*
- [85] FOCK J, BOGART L K, GONZÁLEZ-ALONSO D, ESPESO J I, MIKKEL HANSEN F, VARÓN M, FRANDBSEN C, PANKHURST Q. A., On the 'centre of gravity' method for measuring the composition of magnetite/maghemite mixtures, or the stoichiometry of magnetite-maghemite solid solutions, via 57Fe Mössbauer spectroscopy, *Journal of Physics D: Applied Physics*, **50**, 265005
- [86] BOGART L K., BLANCO-ANDUJAR C, PANKHURST Q.A., Environmental oxidative aging of iron oxide nanoparticles featured, *Appl. Phys. Lett.* **113**, 133701 (2018);
- [87] RUGAR D.MAMIN H.J., GUETHNER P., LAMBERT S.E., STERN J.E., MCFADYEN I. et al. , Magnetic force microscopy: General principles and application to longitudinal recording media. *J. Appl. Phys.* 1990, **68** (3) pp. 1169–1183
- [88] ASTM A342/A342M-14, *Standard Test Methods for Permeability of Weakly Magnetic Materials*
- [89] GOMÈS S ASSY A, CHAPUIS P-O, *Scanning thermal microscopy: A review, physica status solidi (a)*, 212, 477-494, 2015
- [90] CZICHOS S. SMITH S., eds. *Handbook of Metrology and Testing*. 2011
- [91] ASTM E111 -04: 2010, *Standard test method for Young's modulus, tangent modulus, and chord modulus*

- [92] ASTM E1875-13, Standard test method for dynamic young's modulus, shear modulus, and Poisson's ratio by sonic resonance
- [93] ASTM E1876-09, Standard test method for dynamic young's modulus, shear modulus, and Poisson's ratio by impulse excitation of vibration
- [94] ASTM E132 -04: 2010, Standard test method for Poisson's ratio at room temperature
- [95] ASTM E143-13, Standard test method for shear modulus at room temperature
- [96] ASTM C1341-13, Standard Test Method for Flexural Properties of Continuous Fibre-Reinforced Advanced Ceramic Composites
- [97] ASTM D882-12, Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting
- [98] ISO 26824:2013, Particle characterization of particulate systems - Vocabulary
- [99] ISO/IEC Guide 99, International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM)
- [100] ISO 13322-1, Particle size analysis - Image analysis methods - Part 1: Static image analysis methods
- یادآوری-** استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۰۹۹: سال ۱۳۹۵، آنالیز اندازه ذرات- روش‌های آنالیز تصویری قسمت ۱: روش‌های آنالیز تصویری ایستا با استفاده از استاندارد ISO 13322-1: 2014 تدوین شده‌است.
- [101] ISO 23210, Stationary source emissions - Determination of PM10/PM2,5 mass concentration in flue gas - Measurement at low concentrations by use of impactors
- یادآوری-** استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۱۰: سال ۱۳۹۱، انتشارات ذرات از منبع ثابت- تعیین غلظت جرمی ذرات PM2.5 , خروجی از گاز دودکش اندازه‌گیری در غلظت کم با استفاده از ایمپکتورها با استفاده از استاندارد ISO 23210: 2009 تدوین شده‌است.
- [102] ISO 13138, Air quality - Sampling conventions for airborne particle deposition in the human respiratory system
- یادآوری-** استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۵۸۷: سال ۱۳۹۶، کیفیت هوا- توافق‌های نمونه‌گیری از رسوب ذرات هوایی در سامانه تنفسی انسان با استفاده از استاندارد ISO 13138: 2012 تدوین شده‌است.
- [103] EN 16966:2018, Workplace exposure. Measurement of exposure by inhalation of nano-objects and their aggregates and agglomerates. Metrics to be used such as number concentration, surface area concentration and mass concentration
- [104] ISO 21432, Non-destructive testing - Standard test method for determining residual stresses by neutron diffraction
- [105] ISO 18115-1, Surface chemical analysis - Vocabulary - Part 1: General terms and terms used in spectroscopy
- [106] ISO 11358-1, Plastics - Thermogravimetry (TG) of polymers - Part 1: General principles

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۶۷۶: سال ۱۳۹۳، پلاستیک - وزن سنجی- گرمایی (TG) - پلیمرها

قسمت ۱: اصول کلی با استفاده از استاندارد ISO 11358-1: 2014 تدوین شده است.

[107] ISO 13826, Metallic and other inorganic coatings - Determination of thermal diffusivity of thermally sprayed ceramic coatings by laser flash method

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۹-۱۸۴۰۹: سال ۱۳۹۳، پوشش‌های فلزی و سایر پوشش‌های معدنی - تعیین نفوذپذیری گرمایی پوشش‌های سرامیک پاششی گرمایی بوسیله روش تاباندن لیزر با استفاده از استاندارد ISO 13826: 2013 تدوین شده است.

[108] ISO/TS 12901-2, Nanotechnologies - Occupational risk management applied to engineered nanomaterials - Part 2: Use of the control banding approach

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۹۸۱۶: سال ۱۳۹۷، فناوری نانو- مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی شده - قسمت ۲: استفاده از رویکرد دسته‌بندی اقدامات کنترلی با استفاده از استاندارد ISO/TS 12901-2: 2014 تدوین شده است.

[109] ISO/TS 22107, Dispersibility of solid particles into a liquid

[110] 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 دانه‌بندی قسمت اول: نمایش ترسیمی با استفاده از استاندارد ISO 9276-1: 1998 تدوین شده است.

[111] ISO 9276-2, Representation of results of particle size analysis - Part 2: Calculation of average particle sizes/diameters and moments from particle size distributions

[112] ISO 9276-3, Representation of results of particle size analysis - Part 3: Adjustment of an experimental curve to a reference model

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۳-۸۲۰۱: سال ۱۳۹۰، نمایش نتایج آنالیز اندازه ذره- قسمت ۳- تطبیق منحنی تجربی با مدل مرجع با استفاده از استاندارد ISO 9276-3: 2008 تدوین شده است.

[113] ISO 9276-4, Representation of results of particle size analysis - Part 4: Characterization of a classification process

[۱۱۳] استاندارد ملی ایران شماره ۴-۸۲۰۱: سال ۱۳۸۴، ارائه نتایج دانه‌بندی- قسمت چهارم: توصیف فرآیند طبقه‌بندی با استفاده از استاندارد ISO 9276-4: 2001 تدوین شده است.

[114] ISO 9276-5, Representation of results of particle size analysis - Part 5: Methods of calculation relating to particle size analyses using logarithmic normal probability distribution

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۵-۱۱۶۱۷: سال ۱۳۸۷، نمایش نتایج آنالیز اندازه ذره- قسمت ۵: روش‌های محاسبه مربوط به آنالیزهای اندازه ذره که از توزیع احتمال نرمال لگاریتمی استفاده می‌کنند با استفاده از استاندارد ISO 9276-5: 2005 تدوین شده است.

[115] ISO 9276-6, Representation of results of particle size analysis – Part 6: Descriptive and quantitative representation of particle shape and morphology

[116] ISO/TR 27628, Workplace atmospheres - Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols - Inhalation exposure characterization and assessment

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۴۸۳: سال ۱۳۹۶، اتمسفرهای محل کار - ذرات معلق (آئروسول) بسیار ریز، نانوذرات و نانو ساختار - خصوصیات و ارزیابی مواجهه استنشاق با استفاده از استاندارد ISO/TR 27628: 2007 تدوین شده است.

[117] ISO/TR 18196, Nanotechnologies - Measurement technique matrix for the characterization of nano-objects

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۶۱۱: سال ۱۳۹۶، فناوری نانو - ماتریس روش اندازه‌گیری برای مشخصه‌یابی نانو اشیاء با استفاده از استاندارد ISO/TR 18196: 2016 تدوین شده است.

[118] ISO 15900, Determination of particle size distribution - Differential electrical mobility analysis for aerosol particles

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۳۰: سال ۱۳۸۹، تعیین توزیع اندازه ذره - تحلیل قابلیت حرکت الکتریکی تفاضلی برای ذرات آئروسول با استفاده از استاندارد ISO 15900: 2009 تدوین شده است.

[119] EN ISO 28439, Workplace atmospheres - Characterization of ultrafine aerosols/nano aerosols - Determination of the size distribution and number concentration using differential electrical mobility analysing systems

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۲۹۹: سال ۱۳۹۶، هوای محل کار - ویژگی‌های آئروسول‌های بسیار ریز/نانو آئروسول‌ها - تعیین توزیع اندازه و غلظت عددی با استفاده از سامانه تحلیل تحرک الکتریکی تفاضلی با استفاده از استاندارد ISO 28439: 2011 تدوین شده است.

[120] ISO 27891, Aerosol particle number concentration - Calibration of condensation particle counters

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۷۲۷: سال ۱۳۹۴، تراکم تعداد ذرات آئروسول - کالیبراسیون شمارشگرهای ذرات چگال شده با استفاده از استاندارد ISO 27891: 2015 تدوین شده است.

[121] ISO 13320, Particle size analysis - Laser diffraction methods

[122] ISO 21501-1, Determination of particle size distribution - Single particle light interaction methods - Part 1: Light scattering aerosol spectrometer

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۱۰۵: سال ۱۳۸۹، هوای محل کار - ویژگی‌های آئروسول‌های بسیار ریز/نانو آئروسول‌ها - تعیین توزیع اندازه و غلظت عددی با استفاده از سامانه تحلیل تحرک الکتریکی تفاضلی با استفاده از استاندارد ISO 21501-1: 2009 تدوین شده است.

[123] ISO 21363, Nanotechnologies - Measurements of particle size and shape distributions by transmission electron microscopy

یادآوری - استاندارد ملی ایران، شماره ۲۲۸۹۳: سال ۱۳۹۹، فناوری نانو- اندازه‌گیری توزیع‌های اندازه و شکل ذرات به وسیله میکروسکوپی الکترونی عبوری با استفاده از استاندارد ISO 21363: 2020 تدوین شده است.

[124] ISO/TS 10797, Nanotechnologies - Characterization of single-wall carbon nanotubes using transmission electron microscopy

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۰۸۵: سال ۱۳۹۳، فناوری نانو- تعیین مشخصات نانولوله‌های کربنی تک جداره با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (tem) با استفاده از استاندارد ISO/TS 10797: 2012 تدوین شده است.

[125] ISO 13322-2, Particle size analysis - Image analysis methods - Part 2: Dynamic image analysis methods

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۰۹۹-۲: سال ۱۳۸۶، تجزیه و تحلیل اندازه ذره- روش‌های تجزیه و تحلیل تصویری دینامیک با استفاده از استاندارد ISO 13322-2: 2006 تدوین شده است.

[126] ISO 29301, Microbeam analysis - Analytical electron microscopy - Methods for calibrating image magnification by using reference materials with periodic structures

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۷۳۹۸: سال ۱۳۹۹، تحلیل میکروباریکه- میکروسکوپی الکترونی تحلیلی- روش‌های کالیبراسیون بزرگ‌نمایی تصویر با استفاده از مواد مرجع دارای ساختارهای متناوب با استفاده از استاندارد ISO 29301: 2017 تدوین شده است.

[127] ISO 19749, Nanotechnologies - Measurements of particle size and shape distributions by scanning electron microscopy

[128] ISO 17200, Nanotechnology - Nanoparticles in powder form - Characteristics and measurements

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۷۸۵: سال ۱۳۹۴، فناوری نانو- نانوذرات پودری شکل- مشخصه‌ها و اندازه‌گیری‌ها با استفاده از استاندارد ISO/TS 17200: 2013 تدوین شده است.

[129] ISO/TS 21356-1, Nanotechnologies - Structural characterization of graphene - Part 1: Graphene from powders and dispersions

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۱۱۱-۱: سال ۱۴۰۰، فناوری نانو- مشخصه‌یابی ساختاری گرافن- قسمت ۱: گرافن حاصل از پودرها و پراکنه‌ها با استفاده از استاندارد ISO/TS 21356-1: 2021 تدوین شده است.

[130] ISO/TS 10798, Nanotechnologies - Characterization of single-wall carbon nanotubes using scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry analysis

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۰۹۵: سال ۱۳۹۰، فناوری نانو- تعیین مشخصات نانولوله‌های کربنی تک جداره با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز طیف سنجی پرتو ایکس براساس توزیع انرژی (EDX) با استفاده از استاندارد ISO DTS 10798: 2011 تدوین شده است.

[131] ISO 16700, Microbeam analysis - Scanning electron microscopy - Guidelines for calibrating image magnification

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۱۴۱: سال ۱۳۹۵، تجزیه میکروپرتویی - میکروسکوپ الکترونی روبشی - راهنما برای کالیبراسیون بزرگ‌نمایی تصویربا استفاده از استاندارد ISO 16700: 2004 تدوین شده‌است.

[132] ISO 9277, Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption - BET method

[۱۳۳] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۲۹۳۸: سال ۱۳۹۹، آزمون غیرمخرب - پراش پرتو ایکس (XRD) از مواد چندبلوری و بی‌شکل - قسمت ۱: اصول کلی

[۱۳۴] استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۲۹۳۸: سال ۱۳۹۹، آزمون غیرمخرب - پراش پرتو ایکس (XRD) از مواد چندبلوری و بی‌شکل - قسمت ۲: روش‌های اجرایی

[135] EN 13925-3:2005, Non-destructive testing - X-ray diffraction from polycrystalline and amorphous materials - Instruments

[136] ISO 13318-1, Determination of particle size distribution by centrifugal liquid sedimentation methods - Part 1: General principles and guidelines

[137] ISO 13318-3, Determination of particle size distribution by centrifugal liquid sedimentation methods - Part 3: Centrifugal X-ray method

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۱۴۷: سال ۱۳۹۲، تعیین توزیع اندازه ذره توسط روش‌های سانتریفیوژیته نشستی مایع - قسمت ۳ - روش سانتریفیوژ توسط اشعه X با استفاده از استاندارد ISO 13318-3: 2004 تدوین شده‌است.

[138] ISO 13318-2, Determination of particle size distribution by centrifugal liquid sedimentation methods - Part 2: Photocentrifuge method

[139] ISO 21501-2, Determination of particle size distribution - Single particle light interaction methods - Part 2: Light scattering liquid-borne particle counter

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۰۱۰۵: سال ۱۳۸۶، تعیین توزیع اندازه ذره - اندازه‌گیری با روش‌های مبتنی بر تعامل نوری ذره منفرد - قسمت دوم - شمار شگر ذره مایع با پراکندگی نوری با استفاده از استاندارد ISO 21501-2: 2007 تدوین شده‌است.

[140] ISO 22412, Particle size analysis - Dynamic light scattering (DLS)

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۲۴۷: سال ۱۳۹۶، آنالیز اندازه ذره - پراکندگی نور دینامیک (DLS) با استفاده از استاندارد ISO 22412: 2017 تدوین شده‌است.

[141] ISO 17867, Particle size analysis - Small angle X-ray scattering (SAXS)

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۱۱۳: سال ۱۴۰۰، آنالیز اندازه ذرات - پراکندگی پرتو ایکس زاویه - کوچک (SAXS) با استفاده از استاندارد ISO 17867: 2020 تدوین شده‌است.

[142] ISO 19430, Particle size analysis - Particle tracking analysis (PTA) method

[143] ISO/TS 21362, Nanotechnologies - Analysis of nano-objects using asymmetrical-flow and centrifugal field-flow fractionation

[144] ISO/TS 19590, Nanotechnologies - Size distribution and concentration of inorganic nanoparticles in aqueous media via single particle inductively coupled plasma mass spectrometry

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۳۲۶: سال ۱۳۹۶، فناوری نانو- توزیع اندازه و غلظت نانوذرات معدنی در محیط آبی با استفاده از طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی تک‌ذره‌ای با استفاده از استاندارد ISO/TS 19590: 2017 تدوین شده‌است.

[145] ISO 11952, Surface chemical analysis - Scanning-probe microscopy - Determination of geometric quantities using SPM: Calibration of measuring systems

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۹۲۲: سال ۱۳۹۹، آنالیز شیمیایی سطح- میکرو سکویی پروبی (کاوندی) روبشی (SPM)- تعیین مقادیر هندسی با استفاده از SPM: کالیبراسیون سامانه‌های اندازه‌گیر با استفاده از استاندارد ISO 11952: 2019 تدوین شده‌است.

[146] ISO 11775, Surface chemical analysis - Scanning-probe microscopy - Determination of cantilever normal spring constants

[147] ISO 13095, Surface Chemical Analysis - Atomic force microscopy - Procedure for in situ characterization of AFM probe shank profile used for nanostructure measurement

[148] ISO 16531, Surface chemical analysis - Depth profiling - Methods for ion beam alignment and the associated measurement of current or current density for depth profiling in AES and XPS

[149] ISO 18118, Surface chemical analysis - Auger electron spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy - Guide to the use of experimentally determined relative sensitivity factors for the quantitative analysis of homogeneous materials

[150] ISO 16242, Surface chemical analysis - Recording and reporting data in Auger electron spectroscopy (AES)

[151] ISO 29081, Surface chemical analysis - Auger electron spectroscopy - Reporting of methods used for charge control and charge correction

[152] ISO/TR 14187, Surface chemical analysis - Characterization of nanostructured materials

[153] ISO 15471, Surface chemical analysis - Auger electron spectroscopy - Description of selected instrumental performance parameters

[154] ISO 18116, Surface chemical analysis - Guidelines for preparation and mounting of specimens for analysis

[155] ISO 18117, Surface chemical analysis - Handling of specimens prior to analysis

- [156] ISO 20341, Surface chemical analysis - Secondary-ion mass spectrometry - Method for estimating depth resolution parameters with multiple delta-layer reference materials
- [157] ISO 18114, Surface chemical analysis - Secondary-ion mass spectrometry - Determination of relative sensitivity factors from ion-implanted reference materials
- [158] ISO 23830, Surface chemical analysis - Secondary-ion mass spectrometry - Repeatability and constancy of the relative-intensity scale in static secondary-ion mass spectrometry
- [159] ISO 22048, Surface chemical analysis - Information format for static secondary-ion mass spectrometry
- یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۶۶۹: سال ۱۳۹۲، تجزیه شیمیایی سطح - قالب اطلاعات برای طیف سنجی جرمی یون ثانویه استاتیک با استفاده از استاندارد ISO 22048: 2004 تدوین شده است.
- [160] ISO 14706, Surface chemical analysis - Determination of surface elemental contamination on silicon wafers by total-reflection X-ray fluorescence (TXRF) spectroscopy
- [161] ISO/TS 18507, Surface chemical analysis - Use of Total Reflection X-ray Fluorescence spectroscopy in biological and environmental analysis
- [162] ISO 16243, Surface chemical analysis - Recording and reporting data in X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)
- [163] ISO 13424, Surface chemical analysis - X-ray photoelectron spectroscopy - Reporting of results of thin-film analysis
- [164] ISO 11357-1, Plastics - Differential scanning calorimetry (DSC) - Part 1: General principles
- یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۷۱۸۶-۱: سال ۱۳۹۴، پلاستیک‌ها - گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC) - قسمت ۱: اصول کلی با استفاده از استاندارد ISO 11357-1: 2009 تدوین شده است.
- [165] ISO 11357-7, Plastics - Differential scanning calorimetry (DSC) - Part 7: Determination of crystallization kinetics
- [166] ISO 10640, Plastics - Methodology for assessing polymer photoageing by FTIR and UV/visible spectroscopy
- یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۴۱۱: سال ۱۳۹۲، پلاستیک‌ها - اصولی برای شناسایی پیرسازی نوری پلیمر به وسیله طیف‌سنجی FTIR و ماوراء بنفش - مرئی با استفاده از استاندارد ISO 10640: 2011 تدوین شده است.
- [167] ISO/TS 14101, Surface characterization of gold nanoparticles for nanomaterial specific toxicity screening: FT-IR method
- [168] ISO 21870, Rubber compounding ingredients - Carbon black - Determination of high-temperature loss on heating by thermogravimetry

[169] ISO/TS 11308, Nanotechnologies - Characterization of carbon nanotube samples using thermogravimetric analysis

[170] ISO/TS 10868, Nanotechnologies - Characterization of single-wall carbon nanotubes using ultraviolet-visible-near infrared (UV-Vis-NIR) absorption spectroscopy

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۷۴۳: سال ۱۳۹۱، فناوری نانو- تعیین مشخصات نانولوله‌های کربنی تک‌جداره با استفاده از طیف سنجی جذبی فرابنفش -مرئی- فرو سرخ نزدیک با استفاده از استاندارد ISO/TS 10868: 2011 تدوین شده‌است.

[171] ISO/TS 13278, Nanotechnologies - Determination of elemental impurities in samples of carbon nanotubes using inductively coupled plasma mass spectrometry

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۹۹۳: سال ۱۳۹۹، فناوری نانو- تعیین ناخالصی‌های عنصری در نمونه‌های نانولوله‌های کربنی با استفاده از طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده-القایی با استفاده از استاندارد ISO/TS 13278: 2017 تدوین شده‌است.

[172] ISO 17294-1, Water quality - Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) - Part 1: General guidelines

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۹۴۵: سال ۱۳۹۱، کیفیت آب- کاربرد طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی- قسمت ۱: راهنمایی‌های کلی با استفاده از استاندارد ISO 17294-1: 2004 تدوین شده‌است.

[173] ISO 17294-2, Water quality - Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) - Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۴۹۴۵: سال ۱۳۹۹، کیفیت آب- کاربرد طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) - قسمت ۲: تعیین عناصر انتخاب شده از جمله ایزوتوپ‌های اورانیم با استفاده از استاندارد ISO 17294-2: 2016 تدوین شده‌است.

[174] ISO 11885, Water quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۸۴۸: سال ۱۳۸۷، کیفیت آب- اندازه‌گیری عناصر انتخاب شده به روش اسپکترومتری نشر نوری با پلاسمای جفت شده القایی با استفاده از استاندارد ISO 11885: 2007 تدوین شده‌است.

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

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۱۴۹: سال ۱۳۹۲، فناوری نانو- تعیین کمی رهائش نانو شیء از پودرهای ناشی از تولید هواسل‌ها با استفاده از استاندارد ISO/TS 12025: 2012 تدوین شده‌است.

[176] ISO 12154, Determination of density by volumetric displacement - Skeleton density by gas pycnometry

[177] ISO 8573-8, Compressed air - Part 8: Test methods for solid particle content by mass concentration

[178] ISO 10808, Nanotechnologies - Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۱۱۱: سال ۱۳۹۳، فناوری نانو- تعیین مشخصات نانوذرات در محفظه‌های مواجهه استنشاقی برای آزمون سمیت استنشاقی با استفاده از استاندارد ISO 10808: 2010 تدوین شده است.

[179] ISO 16014-5, Plastics - Determination of average molecular weight and molecular weight distribution of polymers using size-exclusion chromatography - Part 5: Light-scattering method

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۹۷۷-۵: سال ۱۳۹۲، پلاستیک‌ها- تعیین جرم مولکولی متوسط و توزیع جرم مولکولی پلیمرها با استفاده از کروماتوگرافی اندازه-طردهی- قسمت ۵- استفاده از روش آشکار سازی تفرق نور با استفاده از استاندارد ISO 16014-5: 2012 تدوین شده است.

[180] ISO 18747-1, Determination of particle density by sedimentation methods - Part 1: Isopycnic interpolation approach

[181] ISO 18747-2, Determination of particle density by sedimentation methods - Part 2: Multi-velocity approach

[182] ISO 13099-1, Colloidal systems - Methods for zeta-potential determination - Part 1: Electroacoustic and electrokinetic phenomena

[183] ISO 13099-2, Colloidal systems - Methods for zeta-potential determination - Part 2: Optical methods

[184] ISO 13099-3, Colloidal systems - Methods for zeta potential determination - Part 3: Acoustic methods

[185] ISO 24173, Microbeam analysis - Guidelines for orientation measurement using electron backscatter diffraction

[186] ISO 25498, Microbeam analysis - Analytical electron microscopy - Selected area electron diffraction analysis using a transmission electron microscope

[187] ISO 13067, Microbeam analysis - Electron backscatter diffraction - Measurement of average grain size

[188] ISO/TS 17466, Use of UV-Vis absorption spectroscopy in the characterization of cadmium chalcogenide colloidal quantum dots

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۶۱۲: سال ۱۳۹۶، فناوری نانو- استفاده از طیف‌سنجی جذب فرابنفش- مرئی در مشخصه‌یابی نقاط کوانتومی کلوییدی کالکوژنیدی کادمیومی با استفاده از استاندارد ISO 17466: 2015 تدوین شده است.

[۱۸۹] استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۱۹-۶: سال ۱۳۹۱، کمیت‌ها و یکاها- قسمت ۶- الکترومغناطیس

- [190] EN 481:1993, Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles
- [191] EN 15051-1:2013, Workplace exposure - Measurement of the dustiness of bulk materials - Requirements and choice of test methods
- [192] EN 15051-2:2016, Workplace exposure - Measurement of the dustiness of bulk materials - Part 2: Rotating drum method
- [193] EN 15051-3:2013, Workplace exposure. Measurement of the dustiness of bulk materials. Continuous drop method
- [194] ISO 3219-1, Rheology - Part 1: Vocabulary and symbols for rotational and oscillatory rheometry
- [195] ISO 3219-2, Rheology - Part 2: General principles of rotational and oscillatory rheometry
- [196] ISO 1628-1, Plastics - Determination of the viscosity of polymers in dilute solution using capillary viscometers - Part 1: General principles
- [۱۹۶] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۳۲۴۹: سال ۱۴۰۰، پلاستیک‌ها- تعیین گرانیوی پلیمرهای محلول رقیق با استفاده از گرانیوی سنج‌های مویینه- قسمت ۱: اصول کلی با استفاده از استاندارد ISO 1628-1: 2009 تدوین شده‌است.
- [197] ISO 2884-1, Paints and varnishes - Determination of viscosity using rotary viscometers - Part 1: Cone-and-plate viscometer operated at a high rate of shear
- [198] ISO 2884-2, Paints and varnishes - Determination of viscosity using rotary viscometers - Part 2: Disc or ball viscometer operated at a specified speed
- [199] ISO 12058-1, Plastics - Determination of viscosity using a falling-ball viscometer - Part 1: Inclined-tube method
- یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۷۱۳۸: سال ۱۳۹۸، پلاستیک‌ها- تعیین گرانیوی با استفاده از گرانیوی سنج سقوط گوی- قسمت ۱: روش لوله شیب‌دار با استفاده از استاندارد ISO 12058-1: 2018 تدوین شده‌است.
- [200] ISO 4575, Plastics - Poly(vinyl chloride) pastes - Determination of apparent viscosity using the Severs rheometer
- یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۱۲: سال ۱۳۸۷، پلاستیک‌ها- خمیر پلی وینیل کلرید- تعیین گرانیوی ظاهری با استفاده از ریومتر سیورس با استفاده از استاندارد ISO 4575: 2007 تدوین شده‌است.
- [201] ISO 16790, Plastics - Determination of drawing characteristics of thermoplastics in the molten state
- یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۲۵۷: سال ۱۳۹۲، پلاستیک‌ها- تعیین مشخصه‌های کششی مواد گرمانرم در حالت مذاب با استفاده از استاندارد ISO 16790: 2005 تدوین شده‌است.

- [202] ISO 11443, Plastics - Determination of the fluidity of plastics using capillary and slit-die rheometers
- [203] ISO 6721-10, Plastics - Determination of dynamic mechanical properties - Part 10: Complex shear viscosity using a parallel-plate oscillatory rheometer
- [204] ISO 13145, Rubber - Determination of viscosity and stress relaxation using a rotorless sealed shear rheometer
- یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۲۰۱: سال ۱۳۹۳، لاستیک- تعیین ویسکوزیته و تنش رهایی با استفاده از رئومتر برشی درزبندی شده بی چرخانه با استفاده از استاندارد ISO 13145: 2012 تدوین شده است.
- [205] ISO/TS 21357, Nanotechnologies - Evaluation of the mean size of nano-objects in liquid dispersions by static multiple light scattering (SMLS)
- [206] ISO/TR 13097, Guidelines for the characterization of dispersion stability
- [207] ISO 7579, Dyestuffs - Determination of solubility in organic solvents - Gravimetric and photometric methods
- یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۳۸: سال ۱۳۸۹، مواد رنگزا- تعیین میزان حلالیت در حلال‌های آلی- روش وزنی با استفاده از استاندارد ISO 7579: 2009 تدوین شده است.
- [208] ISO/TR 13014, Nanotechnologies - Guidance on physico-chemical characterization of engineered nanoscale materials for toxicologic assessment
- یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۲۰۶: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو- راهنمای مشخصه‌یابی فیزیکی- شیمیایی مواد نانو مقیاس مهندسی شده برای ارزیابی توکسیکولوژیک با استفاده از استاندارد ISO/TR 13014: 2012 تدوین شده است.
- [209] ISO 14577-1, Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and materials parameters - Part 1: Test method
- یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۲۶۹۶: سال ۱۳۹۵، مواد فلزی- آزمون سختی و خواص مواد به روش فرورفتگی ابزاری- قسمت ۱- روش آزمون با استفاده از استاندارد ISO 14577-1: 2015 تدوین شده است.
- [210] ISO 14577-2, Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and materials parameters - Part 2: Verification and calibration of testing machines
- یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۲۶۹۶: سال ۱۳۹۵، مواد فلزی- آزمون سختی و خواص مواد به روش فرورفتگی ابزاری- قسمت ۲- تصدیق و کالیبراسیون دستگاه‌های آزمون با استفاده از استاندارد ISO 14577-2: 2015 تدوین شده است.
- [211] ISO 14577-3, Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and materials parameters - Part 3: Calibration of reference blocks
- یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۲۶۹۶: سال ۱۳۹۵، مواد فلزی- آزمون سختی و خواص مواد به روش فرورفتگی ابزاری- قسمت ۳- کالیبراسیون بلوک‌های مرجع با استفاده از استاندارد ISO 14577-3: 2015 تدوین شده است.
- [212] ISO 14577-4, Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and materials parameters - Part 4: Test method for metallic and non-metallic coatings

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۲۶۹۶: سال ۱۳۹۵، مواد فلزی- آزمون سختی و خواص مواد به روش فرورفتگی ابزاری- قسمت ۴- روش آزمون پوشش‌های فلزی و غیرفلزی با استفاده از استاندارد ISO 14577-4: 2016 تدوین شده‌است.
[213] ISO/TR 11811, Nanotechnologies - Guidance on methods for nano- and microtribology measurements

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۰۸۶: سال ۱۳۹۳، فناوری نانو- راهنمای روش‌هایی برای اندازه‌گیری نانو و میکروتربیولوژی با استفاده از استاندارد ISO/TR 11811: 2012 تدوین شده‌است.