سازمان ملی استاندارد ایران

Iran National Standards Organization

استاندارد ملی ایران ۲۳۷۰۷: سال ۱۴۰۳

INSO 23707:2024

(ISO/TS 22298:2024, IDT)

فنّاوری نانو- نانومواد سیلیس - تعیین مشخصه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری سیلیس با آرایهٔ نانوتخلخل منظم (SONA)

Nanotechnology- Silica nanomaterials - Specification of characteristics and measurement methods for silica with ordered nanopore array (SONA)

ICS: 07.120

استاندارد ملی ایران۲۳۷۰۷: سال ۱۴۰۳، فناوری نانو- نانومواد سیلیس - تعیین مشخصه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری سیلیس با آرایهٔ نانوتخلخل منظم (SONA)

INSO 23707:2024, Nanotechnology- Silica nanomaterials - Specification of characteristics and measurement methods for silica with ordered nanopore array (SONA)

Published by:	**ناشر:**
Iran National Standards Organization (INSO)	**سازمان ملی استاندارد ایران**
Tehran:	**تهران:**
No. 2592, Valiasr Avenue, Vanak Square, Tehran	تهران، میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲
Postal code: 1435694561	کد پستی: ۱۴۳۵۶۹۴۵۶۱
P.O. Box: 14155-6139	صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹
Tel: +98 21 88879461-5	تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱ ۰۲۱
Fax: +98 21 88887103	دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ ۰۲۱
Karaj:	**کرج:**
Standard Square, Karaj	کرج، میدان استاندارد
Postal code: 3174734563	کد پستی: ۳۱۷۴۷۳۴۵۶۳
P.O. Box: 31585-163	صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵
Tel: +98 26 32806031-8	تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ ۰۲۶
Fax: +98 26 32808114	دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ ۰۲۶

standard@inso.gov.ir

www.inso.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

اولین گام نظام‌مند در حوزهٔ استانداردسازی در ایران در سال ۱۳۰۴ با تصویب قانون اوزان و مقیاس‌ها برداشته شد. در سال ۱۳۳۲ با توجه به نیاز کشور به تشکیلاتی خاص برای انجام فعالیت‌های مرتبط با نظارت و انطباق کالاها با استانداردهای مرتبط ازجمله کالاهای صادراتی، مرحلهٔ مطالعاتی راه‌اندازی ادارهٔ استاندارد آغاز و در سال ۱۳۳۹ قانون تأسیس مؤسسهٔ استاندارد مصوب شد.

در سال ۱۳۴۴ با افزایش توانمندی‌های مؤسسه در زمینه‌های مختلف ازجمله تدوین استانداردهای ملی، نظارت بر کیفیت کالاهای تولید داخل، صادراتی و وارداتی، توسعهٔ فعالیت‌های آزمایشگاهی و صدور گواهی‌نامه‌های مرتبط و پس از تأسیس آزمایشگاه‌های تخصصی، با تصویب اساسنامهٔ مؤسسه در مجلس شورای ملی، نام مؤسسهٔ استاندارد به مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تغییر یافت.

در سال ۱۳۹۶ به‌موجب قانون تقویت و توسعهٔ نظام استاندارد و با هدف افزایش پوشش استاندارد به تمامی محصولات، روزآمدسازی، تقویت، توسعه و ترویج استانداردها و تحکیم جایگاه مؤسسه در سطح کشور، عنوان مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر یافت.

به‌موجب این قانون، سازمان ملی استاندارد ایران به‌عنوان یک دستگاه اجرایی مستقل زیر نظر مستقیم رئیس جمهور اداره می‌شود و مرجع رسمی حاکمیتی در زمینه سیاست‌گذاری، حسن نظارت و هدایت نظام استاندارد و اطمینان‌بخشی به کیفیت کالاها و خدماتی است که در داخل کشور تولید، ارائه و/یا به کشور وارد یا از کشور صادر می‌شود.

فعالیت‌های سازمان ملی استاندارد ایران در چهار محور انجام می‌شود، در اینجا به برخی از فعالیت‌های هر محور اشاره شده است:

۱ـ استانداردسازی: تعیین، تدوین، به‌روزرسانی و نشر استانداردهای ملی، مشارکت در تدوین استانداردهای منطقه‌ای و بین‌المللی از طریق عضویت فعال در کارگروه‌های فنی، آموزش و ترویج استانداردها و فراهم کردن امکان دسترسی مردم به مشخصات و اطلاعات مربوط به استانداردهای کالا و خدمات در سطح کشور؛

۲ـ اندازه‌شناسی: برنامه‌ریزی و نظارت بر امور اندازه‌شناسی قانونی کشور، ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها به‌عنوان سامانهٔ رسمی اندازه‌شناسی قانونی در کشور و واسنجی وسایل سنجش؛

۳ـ تأیید صلاحیت: تأیید صلاحیت نهادهای ارزیابی انطباق مانند آزمایشگاه‌های آزمون و واسنجی، نهادهای بازرسی‌کنندهٔ داخلی و خارجی، نهادهای گواهی‌کنندهٔ محصول، گواهی‌کنندهٔ اشخاص حقیقی و حقوقی و گواهی‌کنندهٔ سامانه‌های مدیریتی؛

۴ـ ارزیابی انطباق: نظارت بر حسن اجرای استانداردها و تمام کالاها و خدمات دارای پروانهٔ کاربرد نشان استاندارد، کنترل کیفیت کالاهای وارداتی به‌منظور جلوگیری از ورود کالاهای نامرغوب و حمایت از مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان داخلی، کنترل کیفیت کالاهای صادراتی به‌منظور فراهم کردن امکان رقابت با کالاهای مشابه خارجی و حفظ بازارهای بین‌المللی.

در حوزهٔ تدوین استانداردهای ملی، سازمان ملی استاندارد ایران از طریق نیازسنجی و جمع‌آوری اطلاعات از وزارتخانه‌ها، سازمان‌ها، واحدهای تولیدی و خدماتی، مراکز علمی، دانشگاهی و پژوهشی، کارگروه‌های فنی، اتحادیه‌ها و انجمن‌های صنفی و صنعتی و دفاتر تخصصی سازمان نسبت به برگزاری کارگروه ملی برنامه‌ریزی استاندارد و تعیین اولویت‌های تدوین و تجدیدنظر استانداردها اقدام می‌کند.

براساس روش اجرایی فرایند تدوین استانداردهای ملی، تهیهٔ پیش‌نویس استانداردهای ملی به دبیران واجد شرایط واگذار می‌شود تا این پیش‌نویس‌ها را براساس منابع معتبر، دستاوردهای علمی، فنّاوری‌های نوآیند و تجربهٔ جمعی، با هدف ارتقای منافع جامعه تدوین کنند. پیش‌نویس استانداردها سپس به‌منظور نظرسنجی برای مراجع ذی‌نفع و ذی‌ربط ارسال و در کارگروه ملی تصویب استاندارد، مطرح و درصورت تأیید به‌عنوان استاندارد ملی مصوب می‌شوند. استانداردهای مصوب پس از اختصاص شمارهٔ ملی از طریق درگاه اطلاع‌رسانی سازمان در دسترس عموم قرار می‌گیرند.

کمیسیون تدوین استاندارد

مشارکت‌کنندگان	سِمت و محل اشتغال
رئیس:	
اسدیان، الهام فوق‌دکتری علوم و فنّاوری نانو	استادیار گروه مهندسی بافت و طب بازشناختی، دانشکده فنّاوری‌های نوین پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
دبیر:	
نجفی اصلی پاشاکی، شبنم دکتری شیمی تجزیه جداسازی	مدیر فنی آزمایشگاه‌های مرکز پژوهش‌های کاربردی علوم زمین البرز و عضو کارگروه فنی فنّاوری نانو INSO/ISO/TC 229
اعضا: (اسامی به‌ترتیب حروف الفبا)	
اسلامی‌پور، الهه کارشناسی ارشد زیست‌شناسی	کارشناس مسئول گروه استاندارد و ایمنی ستاد فنّاوری‌های نانو و میکرو
برخی، محمد کارشناسی ارشد شیمی معدنی	سرپرست معاونت آزمایشگاه‌های مرکز پژوهش‌های کاربردی علوم زمین البرز و عضو کارگروه فنی فنّاوری نانو INSO/ISO/TC 229
سهرابی جهرمی، ابوذر دکتری فنّاوری نانو	رئیس هیئت مدیرهٔ شرکت راصد توسعهٔ فنّاوری‌های پیشرفته
سیفی، مهوش کارشناسی ارشد مدیریت دولتی	کارشناس رسمی استاندارد و نایب‌رئیس کارگروه فنی فنّاوری نانو INSO/ISO/TC 229
صادق‌حسنی، صدیقه دکتری شیمی تجزیه الکتروشیمی	مدیر تحقیق و توسعه شرکت آرال تجهیز آزما

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ه
مقدمه و
۱ هدف و دامنهٔ کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۱
۴ کوته‌نوشت‌ها ۴
۵ روش‌های مشخصه‌یابی و اندازه‌گیری ۴
۵-۱ کلیات ۴
۵-۲ شرح مشخصه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری ۵
۶ گزارش آزمون ۱۰
پیوست «الف» (آگاهی‌دهنده) نوع آرایهٔ نانوتخلخل منظم ۱۱
پیوست «ب» (آگاهی‌دهنده) ارزیابی توزیع اندازهٔ تخلخل ۱۲
کتابنامه ۱۳
فهرست الفبایی واژه‌های به کار رفته در این استاندارد به ترتیب الفبای فارسی ۱۵
فهرست الفبایی واژه‌های به کار رفته در این استاندارد به ترتیب الفبای انگلیسی ۱۵

پیشگفتار

این استاندارد به‌استناد بند ۱ مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعهٔ نظام استاندارد، مصوب ۱۳۹۶/۱۰/۰۲ منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران براساس استاندارد ملی ایران ۵ و روش اجرایی تدوین استانداردهای ملی ایران تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم، فنّاوری و خدمات، استانداردهای ملی درصورت لزوم تجدیدنظر شده یا برای آن‌ها اصلاحیه و/یا تصحیح‌نامه منتشر می‌شود.

این استاندارد در جلسهٔ شمارهٔ ۱۴۴ مورخ ۱۴۰۳/۰۸/۰۸ کمیته ملی تصویب استانداردهای فنّاوری نانو مصوب شده است.

این استاندارد برمبنای پذیرش منبع زیر به‌روش «همسان» تهیه و تدوین شده است:

– ISO/TS 22298:2024, Nanotechnologies — Silica nanomaterials — Specification of characteristics and measurement methods for silica with ordered nanopore array (SONA)

مقدمه

انتظار می‌رود سیلیس با آرایهٔ نانوتخلخل منظم (SONA) به‌دلیل وجود نانوتخلخل یکنواخت به‌عنوان کنش‌یار[۱] (کاتالیست) و جاذب جدید عمل کند. علاوه بر SONA، راهبردهای سنتزی[۲] که اخیراً توسعه‌یافته، تغییرات ترکیبی[۳] و ریخت‌شناسی[۴] بسیاری ایجاد کرده‌اند. بنابراین پیش‌بینی می شود SONA در زمینه‌های مختلفی مانند الکترونیک، اپتیک[۵] و مواد کاربرد داشته باشد. همچنین SONA کاربردهای بالقوه‌ای به‌عنوان الکترود برای پیل‌های سوختی و مواد ذخیره‌سازی هیدروژن دارد که همگی به‌دلیل وجود نانوتخلخل‌های دوره‌ای و خواص فیزیکی چارچوب‌های معدنی است.

همانطور که در گزارش‌های قبلی توضیح داده شد (ردیف‌های [1] تا [5] کتابنامه)، SONA دارای ساختاری بی‌شکل[۶] مانند سیلیکاژل است و ساختار تخلخل لانه زنبوری[۷] (شش‌گوش)[۸]، سه‌بعدی (مکعبی) و کرمی‌شکل[۹] (مارپیچ)[۱۰] (به پیوست «الف» مراجعه شود) با کانال‌های استوانه‌ای منظم با قطر ۲ nm تا ۵۰ nm را نشان می‌دهد. تخلخل‌ها با دیواره‌های نازک سیلیسی ساخته شده‌اند که به هم متصل شده‌اند تا آرایش تخلخل قاعده‌مندی[۱۱] را تشکیل دهند. ساختارهای ظریف دیواره‌های سیلیسی و ساختارهای متصل به آنها تحت تأثیر شرایط آماده‌سازی، پیرسازی[۱۲] و انبارش آنها قرار دارد. پیش‌بینی می‌شود که بازار جهانی SONA به‌دلیل گسترهٔ وسیعی از کاربردهای موجود و بالقوه این محصول در زمینه‌های الکترونیک، زیست‌پزشکی، دارورسانی[۱۳] و اپتیک شاهد رشد قابل‌توجهی باشد. بررسی بازار نشان می‌دهد که از SONA در صنایع شیمیایی به‌عنوان یک پایهٔ کنش‌یاری برای سنتز مواد شیمیایی مختلف استفاده گسترده‌ای می‌شود (ردیف [6] کتابنامه).

سیلیس با آرایهٔ نانوتخلخل منظم کاربردهای صنعتی مختلفی به‌عنوان کنش‌یار، جاذب و غربال مولکولی[۱۴] دارد. خواص و موارد استفاده آنها به شدت به فرآیندهای تولیدشان بستگی دارد که بر آرایش‌های نانوتخلخل آنها تأثیر می‌گذارد. با پراش پرتو ایکس پودری که قله‌های[۱۵] XRD را در ناحیهٔ زاویه پایین نشان می‌دهد، تأیید شده است که آنها نظم SiO_2 دوربرد[۱۶] ندارند (به پیوست «الف» مراجعه شود). داشتن توانایی مشخصه‌یابی این مواد به توسعه‌دهندگان کمک می‌کند تا به مرزهای پژوهشی جدید مانند همتافت‌های[۱۷] حجیم آلی فلزی یا معدنی، حسگرهای زیستی از آنزیم‌های تعبیه‌شده روی سیلیس نانوساختار (ردیف‌های [7] و [8] کتابنامه)

---

[1] catalyst
[2] synthetic strategies
[3] compositional
[4] morphological
[5] optics
[6] amorphous
[7] honeycomb
[8] hexagonal
[9] wormhole
[10] gyroid
[11] regular
[12] aging
[13] drug delivery
[14] molecular sieve
[15] peak
[16] long-range
[17] complexes

گرفته تا کاربرد در خشکانیدگی با مصرف بهینهٔ انرژی[1]، دست یابند. استانداردسازی SONA می‌تواند انواع مختلف گزارش‌های آزمون SONA را در صنعت یکسان کند. این موضوع به کاربران اجازه می‌دهد تا مناسب‌ترین و واجد شرایط‌ترین SONA را برای کاربردهای خود، مقایسه یا انتخاب کنند.

[1] energy-efficient desiccation

فناوری نانو- نانومواد سیلیس - تعیین مشخصه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری سیلیس با آرایهٔ نانوتخلخل منظم (SONA)

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

این استاندارد، مشخصه‌های نمونه‌های سیلیس با آرایهٔ نانوتخلخل منظم (SONA) در شکل پودری که باید اندازه‌گیری شوند و روش‌های اندازه‌گیری صنعتی موجود برای تعیین مشخصه‌های مذکور را مشخص می‌کند. این استاندارد مبنایی مناسب را برای پژوهش، توسعه و تجاری‌سازی SONA در کاربردهای مختلف فراهم می‌کند.

این استاندارد شامل سیلیکاژل، سیلیکای پفکی[1] و SONA اصلاح‌شدهٔ شیمیایی نمی‌شود.

نکته: اندازهٔ تخلخل SONA معمولاً از یک نانومتر تا چند ده نانومتر متغیر است.

۲ مراجع الزامی

در این استاندارد، مراجع الزامی وجود ندارد.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود[2].

۱-۳

قطر معادل سطح

area equivalent diameter

قطر دایره‌ای که سطح یکسانی به‌عنوان تصویر نمایش‌داده‌شدهٔ[3] ذره دارد.

نکتهٔ ۱ مدخل: این قطر همچنین به‌عنوان قطر هیوود[4] و یا به‌عنوان قطر دایرهٔ معادل نیز شناخته شده است.

[منبع: استاندارد ملی ایران ۱-۱۰۰۹۹: سال ۱۳۹۵، مدخل اصطلاحی ۳-۱-۱]

۲-۳

قطر فِرِت

Feret diameter

---

[1] fumed silica

[2] اصطلاحات و تعاریف به‌کاررفته در استانداردهای ISO و IEC در وبگاه‌های زیر قابل دسترس است:

www.iso.org/obp
www.electropedia.org

[3] projected image

[4] heywood

فاصلهٔ بین دو خط مماس موازی رسم‌شده در دو طرف مقابل تصویر یک ذره است.

[منبع: استاندارد ملی ایران ۱-۱۰۰۹۹: سال ۱۳۹۵، مدخل اصطلاحی ۳-۱-۵]

۳-۳

نانوتخلخل

nanopore

فضای خالی[1] با حداقل یک بعد *نانومقیاس* (۳-۴) که می‌تواند حاوی یک گاز یا مایع باشد.

نکتهٔ ۱ مدخل: شکل و محتوای تخلخل می‌تواند متفاوت باشد. مفهوم نانوتخلخل با میکروتخلخل[2] (یعنی تخلخل‌های با عرض حدود nm ۲ یا کمتر)، مزوتخلخل[3] (یعنی تخلخل‌های با عرض تقریباً بین nm ۲ تا nm ۵۰) و درشت‌تخلخل[4] (یعنی تخلخل‌های با عرض بیشتر از حدود nm ۵۰) همپوشانی دارد.

نکتهٔ ۲ مدخل: هنگامی که نانوتخلخل‌ها به‌طور مناسب به هم متصل می‌شوند، می‌توانند امکان انتقال از طریق ماده (یعنی تراوایی)[5] را فراهم کنند.

[منبع: استاندارد ملی ایران/ایزو ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۲، مدخل اصطلاحی ۳-۴-۳، تغییریافته : نکته‌های ۱ و ۲ مدخل اضافه شده است.]

۴-۳

نانومقیاس

مقیاس نانو

nanoscale

گسترهٔ طول بین تقریبا nm ۱ تا nm ۱۰۰ است.

نکتهٔ ۱ مدخل: خواصی که از یک اندازهٔ بزرگتر برون‌یابی نمی‌شوند، معمولاً، اما نه منحصراً، در این محدودهٔ اندازه نمایش داده می‌شوند. برای چنین مشخصه‌هایی، محدودیت اندازهٔ تقریبی درنظر گرفته می‌شود.

نکتهٔ ۲ مدخل: در این تعریف حد پایین (تقریباً nm ۱) برای جلوگیری از تعیین اتم‌های منفرد و گروه‌های کوچک اتمی به‌عنوان نانواشیاء یا عناصر نانوساختار معرفی شده است که درصورت فقدان وجود حد پایین می‌توان به آن اشاره کرد.

[منبع: استاندارد ملی ایران/ایزو ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۲، مدخل اصطلاحی ۳-۱-۱، تغییریافته: نکته‌های ۱ و ۲ مدخل اضافه شده است.]

۵-۳

آرایهٔ نانوتخلخل منظم

ordered nanopore array

*نانوتخلخل*ها (۳-۳) براساس قاعدهٔ مشخص‌شده در یک الگو، شکل گرفته و منظم می‌شوند.

---

[1] cavity
[2] micropore
[3] mesopore
[4] macropore
[5] permeability

نکتهٔ ۱ مدخل: آرایهٔ نانوتخلخل منظم می‌تواند بسته به نمونهٔ *سیلیس با آرایهٔ نانوتخلخل منظم* (۳-۷) کامل یا تا حدی قاعده‌مند باشد.

نکتهٔ ۲ مدخل: برای انواع آرایهٔ تخلخل به پیوست «الف» مراجعه شود.

۳-۶

اندازهٔ ذره

particle size

بُعدی که نمایندهٔ اندازهٔ یک ذرهٔ مجزا است.

نکتهٔ ۱ مدخل: اندازهٔ ذره معمولاً به‌صورت قطر فِرِت یا قطر معادل سطح بیان می‌شود.

۳-۷

اندازهٔ تخلخل

pore size

عرض تخلخل، یعنی قطر تخلخل استوانه‌ای یا فاصلهٔ بین دیواره‌های مخالف شکاف است.

[منبع: استاندارد ISO 15901-2:2022، مدخل اصطلاحی 3.17]

۳-۸

توزیع اندازهٔ تخلخل

pore size distribution

کسری براساس تعداد یا حجم هر *اندازهٔ تخلخل* (۳-۷) طبقه‌بندی‌شده که در یک ماده وجود دارد.

نکتهٔ ۱ مدخل: توزیع اندازهٔ تخلخل معمولاً با «پهنای کامل در نصف ارتفاع بیشینهٔ» (FWHM)[1] قلهٔ اصلی توزیع بیان می‌شود.

[منبع: استاندارد ISO 3252:2023، مدخل اصطلاحی 3.3.47، تغییریافته: در تعریف، «کسر» جایگزین «درصد» و نکتهٔ ۱ مدخل حذف شده است.]

۳-۹

سیلیس با آرایهٔ نانوتخلخل منظم

silica with ordered nanopore array

SONA

سیلیس بی‌شکل دارای ساختارهای داخلی به شکل *آرایهٔ نانوتخلخل منظم* (۳-۵) است.

[1] full width at half maximum

۴ کوته‌نوشت‌ها

کوته‌نوشت	اصطلاح انگلیسی	معادل فارسی
AAS	atomic absorption spectrometry	طیف‌سنجی جذب اتمی
AFM	atomic force microscopy	میکروسکوپی نیروی اتمی
BET	Brunauer–Emmett–Teller	برونر – اِمِت - تِلِر
BJH	Barrett-Joyner-Halenda	برت - جوی‌نر - هالندا
EDX	energy dispersive X-ray spectrometry	طیف‌سنجی پرتو ایکس تفکیک انرژی
EPMA	electron probe micro analyser	ریزآنالیزگر پروبی الکترونی
ICP	inductively coupled plasma	پلاسمای جفت‌شدهٔ القایی
SEM	scanning electron microscopy	میکروسکوپی الکترونی روبشی
TEM	transmission electron microscopy	میکروسکوپی الکترونی عبوری
TGA	thermal gravimetric analysis	آنالیز گرماوزن‌سنجی
XRD	X-ray diffraction	پراش پرتو ایکس
XRF	X-ray fluorescence spectrometry	طیف‌سنجی فلوئورسانس پرتو ایکس

برای تعاریف اصطلاحات کوته‌نوشت فهرست‌شده در این بند، به استاندارد ملی ایران/ ایزو ۸۰۰۰۴-۶ مراجعه شود.

۵ روش‌های مشخصه‌یابی و اندازه‌گیری

۵-۱ کلیات

مشخصه‌های اندازه‌گیری یا شناسایی نمونهٔ SONA و روش‌های اندازه‌گیری قابل اجرا در جدول‌های ۱ تا ۲ فهرست‌شده است. مشخصه‌های اصلی فهرست‌شده در جدول ۱ باید با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری فهرست‌شده اندازه‌گیری شوند. توصیه می‌شود مشخصه‌های اختیاری فهرست‌شده در جدول ۲ با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری فهرست‌شده اندازه‌گیری شوند.

جدول ۱: مشخصه‌های اصلی SONA و روش‌های اندازه‌گیری

مشخصه‌ها	روش‌های اندازه‌گیری	استانداردهای مرتبط
محتوای ترکیب‌بندی شیمیایی	ICP، AAS، XRF، SEM/EDX یا EPMA	-
اندازهٔ تخلخل	روش جذب سطحی گاز	ISO 15901-2
توزیع اندازهٔ تخلخل	روش جذب سطحی گاز	ISO 15901-2
حجم ویژهٔ تخلخل	روش جذب سطحی گاز	ISO 15901-2
مساحت سطح ویژه	روش جذب سطحی گاز	ISO 18757
مشخصه‌ها	**روش‌های اندازه‌گیری**	**استانداردهای مرتبط**
نوع آرایهٔ نانوتخلخل منظم	XRD	
محتوای رطوبت	خشک کردن در آون[1] و توزین	ISO 638-1

جدول ۲: مشخصه‌های اختیاری SONA و روش‌های اندازه‌گیری

مشخصه‌ها		روش‌های اندازه‌گیری	استانداردهای مرتبط
محتوای هیدرات		TGA	-
پایداری	در برابر آب	روش جذب سطحی گاز	-
	در برابر رطوبت		
ریخت‌شناسی		SEM، TEM یا AFM	-
اندازهٔ ذره		SEM، TEM یا AFM	-

۵-۲ شرح مشخصه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری

۵-۲-۱ کلیات

مشخصه‌ها و همچنین روش‌های اندازه‌گیری فهرست‌شده در جدول‌های ۱ و ۲ در زیربندهای ۵-۲-۲ تا ۵-۲-۱۲ توضیح داده شده است.

اندازه‌گیری‌ها باید از نظر دما و رطوبت در شرایط عادی آزمایشگاهی انجام شود، مگر اینکه طور دیگری مشخص شود.

[1] oven

۵-۲-۲ محتوای ترکیب‌بندی شیمیایی

محتوای ترکیب‌بندی شیمیایی به نسبت جرم ترکیبات شیمیایی به جرم کل نمونه SONA خشک‌شده اشاره دارد. ناخالصی‌های موجود در نمونهٔ SONA می‌تواند بر پایداری و عملکرد SONA تأثیر بگذارد. محتویات ترکیب‌بندی شیمیایی باید اندازه‌گیری شود و نتایج به‌صورت درصد کسر جرمی برای ترکیبات جداگانه بیان شود.

محتوای SiO_2 و اجزای با مقدار کمتر (مانند Al_2O_3، Fe_xO_y) باید اندازه‌گیری شود. محتوای ترکیب‌بندی شیمیایی باید به‌وسیلهٔ ICP، AAS، XRF، SEM/EDX یا EPMA برای نمونهٔ SONA پودری شکل اندازه‌گیری شود.

۵-۲-۳ اندازهٔ تخلخل

هنگام استفاده از SONA برای پمپ حرارتی، حامل دارو برای جاذب‌های مختلف، حامل‌های کنش‌یاری، عوامل جداکننده، مواد دارویی و غیره، اندازهٔ تخلخل و توزیع اندازهٔ SONA بر جذب سطحی به‌وسیله چگالش مویینه‌ای[1] تأثیر می‌گذارد.

اندازهٔ تخلخل به قطر داخلی تخلخل SONA اشاره دارد. اندازهٔ تخلخل باید اندازه‌گیری شود.

روش اندازه‌گیری باید روش جذب سطحی گاز باشد. اندازهٔ تخلخل با فرمول برت – جوی‌نر – هالندا (BJH) محاسبه می‌شود که از نظریه چگالش مویینه‌ای کلوین[2] توسعه یافته است. رویه‌های اندازه‌گیری را می‌توان در ISO 15901-2 (ردیف [12] کتابنامه) یافت.

اندازهٔ متوسط تخلخل باید قطر میانه[3] براساس حجم باشد. نتایج اندازهٔ متوسط تخلخل باید بر حسب nm بیان شود.

۵-۲-۴ توزیع اندازهٔ تخلخل‌ها

هنگام استفاده از SONA برای پمپ حرارتی، حامل دارو برای جاذب‌های مختلف، حامل‌های کنش‌یاری، عوامل جداکننده، داروها و غیره، عملکرد SONA تحت تأثیر بی‌نظمی ساختاری آرایهٔ اندازه تخلخل است که با توزیع اندازهٔ تخلخل نشان داده می‌شود.

روش اندازه‌گیری باید روش جذب سطحی گاز باشد. توزیع اندازه باید در بافت‌نگاشت[4] نمایش داده شود. پهنای کامل در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM) برای قلهٔ اصلی در نمودار بافت‌نگاشت اندازه‌گیری می‌شود. توزیع اندازهٔ تخلخل نمونهٔ SONA به FWHM قلهٔ اصلی اشاره دارد. هرچه FWHM کوچک‌تر باشد یکنواختی بهتر است. رویه‌های اندازه‌گیری را می‌توان در ISO 15901-2 (ردیف [12] کتابنامه) یافت. برای کسب اطلاعات در مورد توزیع اندازهٔ تخلخل به پیوست «ب» مراجعه شود.

---

[1] capillary condensation
[2] Kelvin
[3] median
[4] histogram

۵-۲-۵ حجم ویژهٔ تخلخل

هنگام استفاده از SONA برای پمپ حرارتی، حامل دارو برای جاذب‌های مختلف، حامل‌های کنش‌یاری، عوامل جداکننده، داروها و غیره، حجم ویژهٔ تخلخل بر مقدار میزبانی که می‌تواند شامل شود تأثیر می‌گذارد.

حجم ویژهٔ تخلخل به نسبت حجم کل تخلخل به جرم یک نمونهٔ SONA خشک‌شده اشاره دارد. حجم ویژهٔ تخلخل باید با روش جذب سطحی گاز اندازه‌گیری شود.

کل حجم ویژهٔ تخلخل یک نمونهٔ SONA از مقدار جذب سطحی اشباع نیتروژن با فرض اینکه همه تخلخل‌ها با نیتروژن مایع پر شده است به‌دست می‌آید. نتایج حجم ویژهٔ تخلخل باید بر حسب cm^3/g بیان شود.

رویه‌های اندازه‌گیری حجم ویژهٔ تخلخل با روش جذب سطحی گاز در ISO 15901-2 (ردیف [12] کتابنامه) توضیح داده شده است.

۵-۲-۶ مساحت سطح ویژه

هنگام استفاده از SONA برای پمپ حرارتی، حامل دارو برای جاذب‌های مختلف، حامل‌های کنش‌یاری، عوامل جداکننده، داروها و غیره، خواص شیمیایی و عملکردهای مورد نظر با کنترل خواص فیزیکی سطح مانند شکل و اندازهٔ تخلخل و خواص فیزیکی بیان می‌شود. مساحت سطح ویژهٔ SONA اصلی‌ترین خاصیت فیزیکی سطح و شاخص مهم بیان کارکردی است.

مساحت سطح ویژه به نسبت کل سطح به جرم یک نمونه SONA خشک‌شده اشاره دارد. مساحت سطح ویژه باید با روش جذب سطحی گاز اندازه‌گیری شود.

مساحت سطح ویژهٔ یک نمونه SONA باید با روش جذب سطحی گاز با استفاده از آنالیز BET اندازه‌گیری شود. رویه‌های اندازه‌گیری را می‌توان در ISO 18757 (ردیف [15] کتابنامه) یافت. نتایج باید بر حسب m^2/g بیان شود.

رویه‌های اندازه‌گیری مساحت سطح ویژه با روش جذب سطحی گاز در ISO 9277 (ردیف [16] کتابنامه) توضیح داده شده است.

۵-۲-۷ نوع آرایهٔ نانوتخلخل منظم

سیلیس با آرایهٔ نانوتخلخل منظم می‌تواند انواع مختلفی از آرایه‌های نانوتخلخل منظم مانند شش‌گوش، مکعبی و کرمی شکل داشته باشد. به شکل الف-۱ مراجعه شود.

از آنجایی که مشخصه‌های مختلف جذب سطحی بسته به شکل تخلخل متفاوت است، شناسایی نوع آرایهٔ نانوتخلخل منظم ضروری است. الگوی نماینده‌ای که قالب[1]، ساختار و شکل تخلخل در یک نمونهٔ SONA را به وضوح نشان می‌دهد باید به‌وسیله XRD گرفته شود.

[1] form

نوع آرایهٔ نانوتخلخل منظم برای یک نمونهٔ SONA باید به‌صورت شش‌گوش، مکعبی یا شکل‌های دیگر از نمودار طیف XRD شناسایی شود. برای نوع ساختار/شکل تخلخل منظم به پیوست «الف» مراجعه شود.

۵-۲-۸ محتوای رطوبت

سیلیس با آرایهٔ نانوتخلخل منظم به دلیل تخلخل بالا احتمالاً رطوبت را جذب سطحی می‌کند. محتوای رطوبت یک محصول SONA بر ارزش تجاری آن تأثیر بسیاری می‌گذارد.

محتوای رطوبت به نسبت جرم مقدار آب در یک نمونه SONA به جرم نمونه SONA خشک‌شده اشاره دارد. محتوای رطوبت باید با روش خشک کردن در آون[1] اندازه‌گیری و به‌صورت درصد بیان شود.

یک نمونهٔ SONA تا دمای ۱۱۰ °C گرم و برای مدت معینی در آون نگهداری می‌شود. پس از سرد شدن، نمونهٔ SONA توزین می‌شود. حرارت دادن تا رسیدن به جرم ثابت تکرار می‌شود تا اختلاف جرم‌های اندازه‌گیری‌شده بین حرارت‌دهی‌های متوالی کمتر از مقدار تعیین‌شده، شود. توصیه می‌شود برای جلوگیری از جذب سطحی رطوبت از محیطِ نمونهٔ SONA تحت آزمون در فرآیندهای اندازه‌گیری، دقت شود. استاندارد ISO 638-1 (ردیف [14] کتابنامه) برای رویه‌های اندازه‌گیری میزان رطوبت مفید است.

نکته: مواد فرّار در دمای ۱۱۰ °C موجود در نمونهٔ SONA، درصورت وجود، می‌توانند در رطوبت اندازه‌گیری‌شده گنجانده شوند.

۵-۲-۹ محتوای هیدرات

آب پیوندی، هیدروژن پیوندی گروه‌های هیدروکسیل و گروه‌های هیدروکسی ایزولهٔ موجود در SONA بر عملکرد کنش‌یاری و پایداری مواد تأثیر می‌گذارد. مقدار آب پیوندی، هیدروژن پیوندی گروه‌های هیدروکسیل و گروه‌های هیدروکسی ایزوله را می‌توان با آب‌زدایی[2] یک نمونهٔ SONA بین ۱۱۰ °C و ۵۰۰ °C برآورد کرد (ردیف [18] کتابنامه).

محتوای هیدرات به یک منهای نسبت جرم نمونه SONA در دمای ۵۰۰ °C اشاره دارد که در آن آب پیوندی، هیدروژن پیوندی گروه‌های هیدروکسیل و گروه‌های هیدروکسی ایزوله به نسبت نمونهٔ SONA در دمای ۱۱۰ °C که آب جذب سطحی‌کرده، حذف شده است.

توصیه می‌شود محتوای هیدرات با TGA اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری باید به‌صورت درصد کسر جرمی بیان شود.

نکته: سایر منابع فرّار بین ۱۱۰ °C و ۵۰۰ °C موجود در نمونهٔ SONA، درصورت وجود، در داده‌های TGA گنجانده شده است.

[1] oven
[2] dehydration

۵-۲-۱۰ پایداری

۵-۲-۱۰-۱ کلیات

آب و رطوبت تاثیر بسزایی بر پایداری SONA در گسترهٔ وسیعی از کاربردها دارد. پایداری یک نمونهٔ SONA در برابر آب و رطوبت را می‌توان با نسبت پهنای کامل در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM) قلهٔ اصلی در توزیع اندازهٔ تخلخل پیش و پس از آزمون پایداری نشان داد. توصیه می‌شود پایداری یک نمونهٔ SONA در برابر آب و رطوبت با روش جذب سطحی گاز اندازه‌گیری و نتایج به‌صورت درصد بیان شود.

۵-۲-۱۰-۲ پایداری در برابر آب

نظم ساختاری آرایهٔ نانوتخلخل منظم یک نمونهٔ SONA می‌تواند پس از غوطه‌ور شدن نمونه در آب در طول فرآیند خشک‌شدن در محیط بهم ریخته شود (ردیف [19] کتابنامه).

توصیه می‌شود شرایط آزمون پایداری، غوطه‌وری یک نمونهٔ SONA در آب برای حدود ۱۰ دقیقه در دمای اتاق باشد. اندازه‌گیری توزیع اندازهٔ تخلخل در شرایط محیطی پیش از غوطه‌وری و پس از خشک‌شدن نمونهٔ SONA انجام می‌شود.

۵-۲-۱۰-۳ پایداری در برابر رطوبت

نظم ساختاری آرایهٔ نانوتخلخل منظم یک نمونهٔ SONA می‌تواند در اثر رطوبت محیط بهم ریخته شود.

توصیه می‌شود آزمون پایداری در یک محفظهٔ آزمون محیطی[1] انجام شود که در آن یک نمونهٔ SONA، ۱۰ مرتبهٔ متوالی در دماهای توافق‌شده بین خریداران و فروشندگان، در معرض تغییر رطوبت نسبی بین بیش از ٪ ۹۰ و کمتر از ٪ ۱۰ قرار می‌گیرد.

۵-۲-۱۱ ریخت‌شناسی

هنگامی که SONA به‌عنوان غشاء، صفحه یا ستون کروماتوگرافی استفاده می‌شود، ریخت‌شناسی ذرات SONA تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دارد. توصیه می‌شود تصاویر نماینده که به وضوح شکل، ساختار و شکل ذرات SONA را نشان می‌دهند با SEM، TEM یا AFM گرفته شوند. روش اندازه‌گیری مورد استفاده باید به‌صورت SEM، TEM یا AFM نشان داده شود. توصیه می‌شود مقیاس بزرگنمایی روی هر تصویر نشان داده شود. تعداد عکس‌هایی که باید گرفته شود ممکن است بین خریدار و فروشنده توافق شود.

۵-۲-۱۲ اندازهٔ ذرات

اندازهٔ ذرات SONA مشخصه‌ای اصلی است که بر عملکرد کاربردهای SONA مانند غشاء، صفحه و ستون کروماتوگرافی تأثیر می‌گذارد.

[1] environmental test chamber

اندازهٔ ذرات به قطر بیرونی ذرات اولیهٔ SONA اشاره دارد. توصیه می‌شود قطر فِرِت یا قطر معادل مساحت ذرهٔ SONA روی یک تصویر دو بعدی گرفته‌شده با SEM، TEM یا AFM اندازه‌گیری شود. توصیه می‌شود نمونهٔ ذرات SONA پیش از اندازه‌گیری به خوبی پراکنده شود. توصیه می‌شود میانهٔ داده‌های قطر اندازه‌گیری‌شده گزارش و بر حسب µm بیان شود. تعداد ذرات مورد اندازه‌گیری ممکن است بین خریدار و فروشنده توافق شود.

۶ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف) شناسایی نمونه:

- نام نمونه،
- نام سازنده، و
- شماره بهر[1]؛

ب) شرایط انبارش پیش از آزمون؛

پ) نام مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده یا شناسایی‌شده که در جدول ۱ فهرست شده‌اند؛

ت) روش‌های اندازه‌گیری مورد استفاده برای تعیین مشخصه‌های مجزا؛

ث) تاریخ اندازه‌گیری و نام سازمانی که اندازه‌گیری‌ها را برای مشخصه‌های مجزا انجام داده است؛

ج) نتایج کمّی و/یا کیفی اندازه‌گیری برای مشخصه‌های مجزا؛

چ) اطلاعات در مورد عدم قطعیت نتایج اندازه‌گیری؛

ح) درصورت وجود، اطلاعات تکمیلی برای پشتیبانی از نتایج اندازه‌گیری؛

خ) درصورت وجود انحراف از این استاندارد، نام و اطلاعات دقیق در مورد روش‌های اندازه‌گیری مورد استفاده و توجیه آنها را ذکر کنید؛

د) هرگونه شاخصه[2] غیرعادی مشاهده‌شده؛

ذ) استاندارد ملی مورد استفاده (یعنی این استاندارد).

هنگامی که مشخصه‌های فهرست‌شده در جدول ۲ اندازه‌گیری می‌شوند، موارد فوق، الف تا ذ را می‌توان اعمال کرد.

[1] lot
[2] feature

پیوست «الف»

(آگاهی‌دهنده)

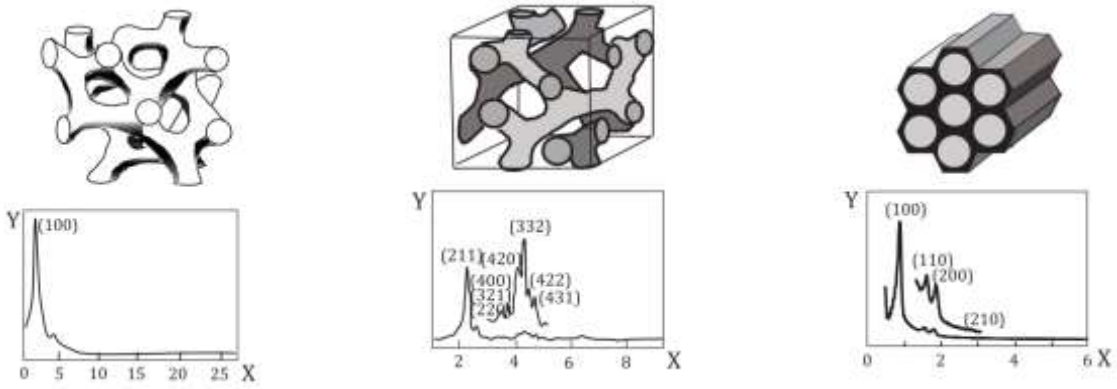
نوع آرایهٔ نانوتخلخل منظم

مواد تولیدشده از خانوادهٔ SONA براساس ترتیب تخلخل طبقه‌بندی می‌شوند که در شکل الف-۱ نشان داده شده است:

الف) شش‌گوش،

ب) مکعب، و

پ) کرمی‌شکل (مارپیچ).



الف) شش‌گوش **ب) مکعبی** **پ) کرمی‌شکل (مارپیچ)**

راهنما:

X 2θ (درجه)

Y واحد اختیاری

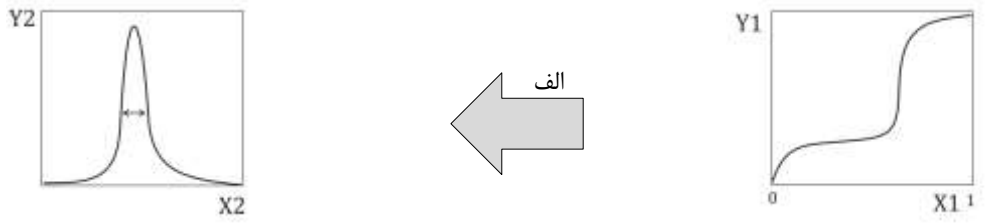
شکل الف-۱: الگوهای پراش پرتو ایکس انواع مختلف آرایهٔ نانوتخلخل منظم.

پیوست «ب»

(آگاهی‌دهنده)

ارزیابی توزیع اندازهٔ تخلخل

شکل ب-۱ الف مثالی از هم‌دمای جذب سطحی مواد متخلخل مانند SONA را نشان می‌دهد. هم‌دمای جذب سطحی نشان‌دهندهٔ رابطهٔ بین فشار تعادلی و مقدار جذب سطحی مواد متخلخل و جذب سطحی‌شده[1] (گاز، بخار) در دمای ثابت است. مقدار جذب سطحی‌شده (V_p) در محور عمودی نمایش داده می‌شود و معمولاً مربوط به جرم جذب سطحی‌شده (گاز، بخار) است و محور افقی نشان‌دهندهٔ فشار نسبی است (p/p_0، که در آن p فشار تعادلی و p_0 فشار بخار اشباع است). بنابراین، فشار نسبی در گستره صفر تا ۱ است. هنگامی که فشار نسبی صفر باشد، نشان‌دهندهٔ وضعیت پیش از جذب سطحی (پس از پیش‌عمل‌آوری) و هنگامی که فشار نسبی ۱ باشد، نشان‌دهندهٔ وضعیت پس از پُر شدن تمام تخلخل‌های مواد متخلخل با ماده جذب سطحی‌شده (گاز، بخار) (حالت سیرشدگی) است. شکل ب – ۱ ب توزیع اندازهٔتخلخل را با روش BJH براساس نظریهٔ چگالش مویینه‌ای مواد متخلخل از شکل ب-۱ الف نشان می‌دهد. فرض بر این است که تمام تخلخل‌ها استوانه‌ای هستند و اندازهٔ تخلخل با قطر D بیان می‌شود. توزیع اندازهٔ تخلخل با نمودار بافت‌نگاشت ($\mathrm{d}V/\mathrm{d}(\log D)$ و اندازهٔ تخلخل بررسی می‌شود. این فرمول با تقسیم حجم تخلخل تفاضلی $\mathrm{d}V$ بر مقدار تفاضلی لگاریتمی قطر تخلخل ($\mathrm{d}(\log D)$ و رسم آن در برابر میانگین قطر تخلخل هر بخش به‌دست می‌آید. پهنای کامل در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM) برای قلهٔ اصلی در نمودار بافت‌نگاشت اندازه‌گیری می‌شود. توزیع اندازهٔ تخلخل یک نمونهٔ SONA به FWHM قلهٔ اصلی اشاره دارد. به ISO 15901-2 (ردیف [12] کتابنامه) مراجعه شود.



الف) هم‌دمای جذب سطحی گاز **ب) توزیع اندازهٔ تخلخل**

راهنما:

X1	p/p_0
Y1	V_p
X2	اندازهٔ تخلخل nm
Y2	$\mathrm{d}V/\mathrm{d}(\log D)$
الف	با روش BJH

شکل ب-۱: فرایندهای ارزیابی توزیع اندازهٔ تخلخل

[1] adsorbate

کتابنامه

[1] Kresge C. T., Leonowicz M. E, Roth W. J., Vartuli J. C, Beck J. S., Nature, 395, 710, 1992

[2] Zhao D., Sun J., Q.i Li, and G. D. Stucky, Chem. Mater., 12, 275, 2000

[3] Inagaki S., Fukushima Y., Kuroda K., J. Chem. Soc., Chem. Commun., 680, 1993

[4] Yanagisawa T., Shimizu T., Kuroda K., Kato C., Bull. Chem. Soc. Jpn. 63, 988, 1990

[5] Yokoyama T., Ishii R., Itoh T., Kitahata K., Matsuura S., Tsunoda T., Hamakawa S., Hanaoka T., Nanbu H., Mizukami F., Materials Letters 65, 67, 2011

[6] Grand View Research, Inc., USA., Mesoporous Silica Market Analysis, 2020

[7] Itoh T., Shimomura T., Hasegawa Y., Mizuguchi J., Hanaoka T., Hayashi A., Yamaguchi A., Teramae N., Ono M., Mizukami F., J. Mater. Chem., 21, 251, 2011

[8] Itoh T., Ishii R., Hanaoka T., Hasegawa Y., Mizuguchi J., Shiomi T., Shimomura T., Yamaguchi A., Kaneda H., Teramae N., Mizukami F., J. Mol. Catal. B: Enzyme, 57, 183, 2009

[۹] استاندارد ملی ایران ۱-۱۰۰۹۹: سال ۱۳۹۵، *آنالیز اندازهٔ ذرات – روش‌های آنالیز تصویری- قسمت ۱- روش‌های آنالیز تصویری ایستا* (ISO 13322-1:2014، همسان)

[۱۰] استاندارد ملی ایران/ایزو ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۲، *فناوری نانو- واژه -نامه- قسمت ۱: واژگان پایه* (ISO 80004-1:2023، همسان)

[11] ISO 772:2022, Hydrometry - Vocabulary and symbols

[12] ISO 15901-2:2022, Pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption - Part 2: Analysis of nanopores by gas adsorption

[13] ISO 3252:2023, Powder metallurgy - Vocabulary

[14] ISO 638-1, Paper, board, pulps and cellulosic nanomaterials — Determination of dry matter content by oven-drying method - Part 1: Materials in solid form

نکته - استاندارد ملی ایران ۱-۳۲۲۵: سال ۱۴۰۲، *کاغذ، مقوا، خمیرکاغذ و نانومواد سلولزی- اندازه گیری میزان مواد خشک شده در گرم خانه- قسمت ۱: مواد به شکل جامد- روش آزمون*، براساس استاندارد ISO 638-1 تدوین شده است.

[15] ISO 18757, Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Determination of specific surface area of ceramic powders by gas adsorption using the BET method

نکته: استاندارد ملی ایران ۱۲۶۵۸، *سرامیک‌های ظریف (سرامیک‌های پیشرفته – سرامیک‌های صنعتی پیشرفته) مساحت سطحی ویژه پودرهای سرامیکی به‌وسیله جذب سطحی گاز با استفاده از روش BET - روش آزمون*، براساس استاندارد ISO 18757 تدوین شده است.

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

[17] ISO/TS 80004-6, Nanotechnologies — Vocabulary — Part 6: Nano-object characterization

نکته: استاندارد ملی ایران/ایزو ۶-۸۰۰۰۴، *فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت ۶: مشخصه‌یابی نانوشیء*، براساس استاندارد ISO 80004-6 تدوین شده است.

[18] Otsuka R., Yamazaki A., Netsu Sokutei 20, 29-41, 1992

[19] Itoh T., Hoshikawa Y., Shun-ichi M., Mizuguchi J., Arafune H., Hanaoka T., Mizukami F., Hayashi A., Nishihara H., Kyotani T., Biochem. Eng. J., 68, 207– 214, 2012 .

فهرست الفبایی واژه‌های به‌کاررفته در این استاندارد به‌ترتیب الفبای فارسی

واژهٔ فارسی	نشانی	معادل انگلیسی
آرایهٔ نانوتخلخل منظم	۳-۵	**ordered nanopore array**
اندازهٔ ذره	۳-۶	**particle size**
اندازهٔ تخلخل	۳-۷	**pore size**
توزیع اندازهٔ تخلخل	۳-۸	**pore size distribution**
سیلیس با آرایهٔ نانوتخلخل منظم	۳-۹	**silica with ordered nanopore array SONA**
قطر معادل سطح	۳-۱	**area equivalent diameter**
قطر فِرِت	۳-۲	**Feret diameter**
نانوتخلخل	۳-۳	**Nanopore**
نانومقیاس مقیاس نانو	۳-۴	**Nanoscale**

فهرست الفبایی واژه‌های به‌کاررفته در این استاندارد به‌ترتیب الفبای انگلیسی

واژهٔ فارسی	نشانی	معادل انگلیسی
قطر معادل سطح	۳-۱	**area equivalent diameter**
قطر فِرِت	۳-۲	**Feret diameter**
نانوتخلخل	۳-۳	**Nanopore**
نانومقیاس مقیاس نانو	۳-۴	**Nanoscale**
آرایهٔ نانوتخلخل منظم	۳-۵	**ordered nanopore array**
اندازهٔ ذره	۳-۶	**particle size**
اندازهٔ تخلخل	۳-۷	**pore size**
توزیع اندازهٔ تخلخل	۳-۸	**pore size distribution**