



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran  
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲۲۷۷۹-۱

چاپ اول

۱۳۹۹

INSO

22779-1

1st Edition

2020

Modification of  
ISO/TS 21236-1:

2019

فناوری نانو- نانومواد رس- قسمت ۱:  
تعیین مشخصات و روش‌های  
اندازه‌گیری برای نانومواد رس لایه‌ای

**Nanotechnologies— Clay  
nanomaterials— Part 1: Specification  
of characteristics and measurement  
methods for layered clay  
nanomaterials**

ICS: 07.120

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۲۷۷۹ (چاپ اول): سال ۱۳۹۹

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@isiri.gov.ir](mailto:standard@isiri.gov.ir)

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

**Iranian National Standardization Organization (INSO)**

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

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

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

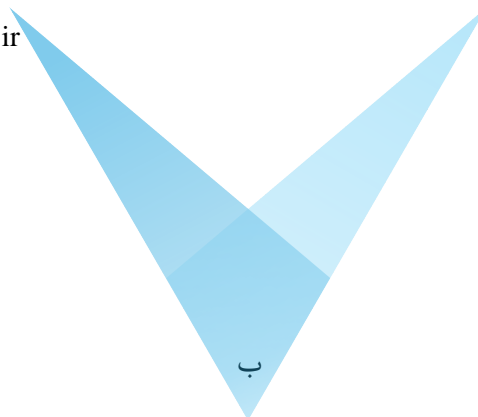
P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: [standard@isiri.gov.ir](mailto:standard@isiri.gov.ir)

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



shaghoor.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)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> 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 استانداردهای 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) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

- 1- International Organization for Standardization
- 2- International Electrotechnical Commission
- 3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
- 4- Contact point
- 5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« فناوری نانو - نانومواد رس - قسمت ۱: روش‌های تعیین مشخصات و اندازه‌گیری برای

نانومواد رس لایه‌ای »

**رئیس:**

خورشیدی، ریحانه  
(دکتری مهندسی مواد و متالورژی)

**دبیر:**

میر کاظمی، سید محمد  
(دکتری مهندسی مواد و متالورژی)

**اعضا:** (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اسلامی پور، الهه  
(کارشناسی ارشد زیست شناسی)

پوی پوی، حسن  
(کارشناسی ارشد شیمی)

چوخاچی زاده مقدم، امین  
(کارشناسی ارشد نانوفناوری)

دباغ کاشانی، فاطمه  
(دکتری فیزیک)

سیفی، مهوش  
(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

فاضلی، فخرالدین  
(کارشناسی ارشد مهندسی مواد و متالورژی)

نجم‌الدین، نجمه  
(دکتری مهندسی مواد)

**سمت و/یا محل اشتغال:**

مسئول واحد ارزیابی محصولات - ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

عضو هیئت علمی - دانشگاه علم و صنعت ایران

کارشناس - گروه استاندارد و ایمنی ستاد فناوری نانو

دبیر - کمیته فنی متناظر فناوری نانو ISIRI/TC 229

کارشناس - گروه استاندارد و ایمنی ستاد فناوری نانو

عضو هیئت علمی - دانشگاه علم و صنعت ایران

نایب رئیس - کمیته فنی متناظر فناوری نانو ISIRI/TC 229

مدیر عامل - شرکت مهندسی نوآوران ژرفانگر

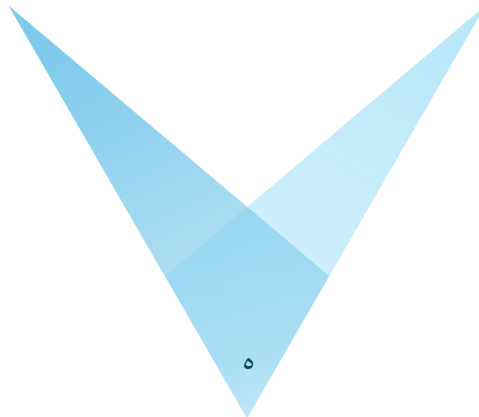
عضو هیئت علمی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

**ویراستار:**

سیفی، مهوش

(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

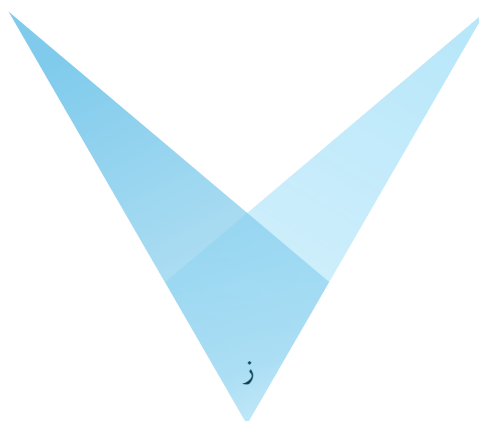
نایب رئیس - کمیته فنی متناظر فناوری نانو ISIRI/TC 229



فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ح	پیش‌گفتار
ط	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۶	۴ کوتاه‌نوشت‌ها
۷	۵ مشخصات و روش‌های اندازه‌گیری
۷	۱-۵ کلیات
۷	۲-۵ مشخصات اساسی
۹	۳-۵ مشخصات اختیاری
۱۰	۴-۵ تشریح مشخصات و روش‌های اندازه‌گیری
۱۰	۱-۴-۵ ترکیب‌بندی شیمیایی
۱۱	۲-۴-۵ ترکیب‌بندی کانی
۱۱	۳-۴-۵ فاصله بین لایه‌ای
۱۳	۴-۴-۵ ضخامت
۱۴	۵-۴-۵ نسبت منظری
۱۵	۶-۴-۵ چگالی توده‌ای
۱۵	۷-۴-۵ ظرفیت تبادل کاتیونی
۱۵	۸-۴-۵ پرت حرارتی
۱۶	۹-۴-۵ ظرفیت جذب آب
۱۶	۱۰-۴-۵ میزان رطوبت
۱۷	۱۱-۴-۵ درخشش
۱۷	۱۲-۴-۵ رنگ
۱۸	۱۳-۴-۵ ظرفیت بر جذب آبی متیلن
۱۸	۱۴-۴-۵ ظرفیت چسبندگی
۱۹	۱۵-۴-۵ چگالی کپه‌ای
۱۹	۱۶-۴-۵ مساحت سطح ویژه
۲۰	۱۷-۴-۵ شکل‌پذیری فیلم
۲۰	۱۸-۴-۵ مقاومت ویژه الکتریکی

صفحه	عنوان
۲۲	۵-۴-۱۹ نوع اصلاح کننده
۲۲	۶ گزارش دهی
۲۲	۶-۱ کلیات
۲۲	۶-۲ اطلاعات
۲۲	۶-۳ نتایج اندازه گیری
۲۳	۶-۴ مثالی از جدول گزارش دهی
۲۴	پیوست الف (آگاهی دهنده) اطلاعات پایه ای نانومواد رس لایه ای
۲۷	پیوست ب (آگاهی دهنده) نانومواد رس لایه ای اصلاح شده با مواد آلی (رس آلی)
۲۹	پیوست پ (آگاهی دهنده) تغییرات انجام شده در این استاندارد در مقایسه با استاندارد منبع
۳۱	کتاب نامه



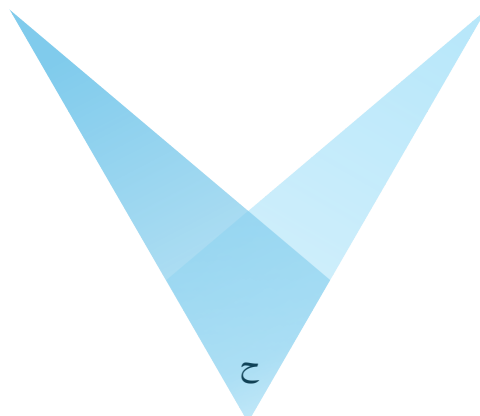
## پیش‌گفتار

استاندارد «نانو فناوری- نانومواد رس- قسمت ۱: تعیین مشخصات و روش‌های اندازه‌گیری برای نانومواد رس لایه‌ای» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به‌عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد پ، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در هشتاد و ششمین اجلاس کمیته ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۹۹/۳/۶ 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، به‌عنوان 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 «ترجمه تغییر یافته» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی همراه با اعمال تغییرات با توجه به مقتضیات کشور است:

ISO/TS 21236-1: 2019, Nanotechnologies- Clay nanomaterials - Part 1: Specification of characteristics and measurement methods for layered clay nanomaterials





## مقدمه

نانومواد رس لایه‌ای یک زیر گروه از مواد رس با بعد خارجی (ضخامت) یا بعد ساختاری داخلی (فاصله بین لایه‌ای) در مقیاس نانو است. رس، به عنوان مهم‌ترین گروه سیلیکات‌های نانوساختاری لایه‌ای، به ماده ایجادشده به‌طور طبیعی یا ماده مصنوعی اشاره دارد که اساساً متشکل از کانی دانه ریز است که به‌واسطه بازه متغیر میزان آب خاصیت پلاستیسیته<sup>۱</sup> نشان می‌دهد و هنگامی که پخته یا خشک می‌شود، سخت خواهد شد. کانی‌هایی که در رس یافت می‌شود، معمولاً سیلیکات‌هایی با اندازه جانبی کمتر از دو میکرومتر هستند. رس‌ها در سطح زمین خیلی فراوان هستند؛ آن‌ها صخره‌ها را شکل می‌دهند که به‌عنوان سنگ‌های رسی (شیل‌ها)<sup>۲</sup> شناخته می‌شوند و تقریباً در همه صخره‌های رسوبی جزء اصلی هستند. اندازه کوچک ذرات و ساختارهای بلوری منحصربه‌فرد آن‌ها، به مواد رس خواص ویژه‌ای می‌دهد که شامل توانمندی تبادل کاتیون، رفتار پلاستیکی هنگامی که مرطوب است، توانایی‌های کاتالیزی، رفتار تورمی<sup>۳</sup> و تراوایی پایین است [1].<sup>۴</sup>

غیر از ساختار و ترکیب‌بندی، عوامل متعدد دیگری وجود دارند که در تعیین خواص و کاربردهای رس‌ها و نانومواد رس مهم هستند (به پیوست الف مراجعه شود). این‌ها ناخالصی‌های کانی، حضور مواد آلی، نوع و میزان یون‌های مبادله‌پذیر و نمک‌های محلول و جنبه‌های ریخت‌شناسی هستند [2].

رس‌های طبیعی و اصلاح‌شده به‌عنوان کانی‌های ساختاری لایه‌ای، مواد صنعتی بسیار مهمی هستند. در شکل طبیعی، مواد رسی معمولاً دارای لایه‌هایی با فاصله زیرنانو (کمتر از یک نانومتر) هستند، که به‌صورت دسته‌ای و در حالت ورقه‌ورقه‌شده<sup>۵</sup> ساختار می‌یابند؛ آن‌ها نانوآشیائی با ضخامت در مقیاس نانو هستند، در صورتی که در شکل اینترکلایت‌شده<sup>۶</sup>، نانومواد ساختاری با فاصله بین لایه‌ای در مقیاس نانو هستند.

اصلاح رس با تغییر در مشخصات آن همچون آب‌گریزی، فاصله بین لایه‌ای، یون مبادله‌پذیر و گروه‌های متصل سطحی منجر به توسعه کاربرد آن به‌طور مثال برای نانوچندسازه‌های با کارایی بالا، اصلاح‌کننده رئولوژیکی مؤثر یا کاربردهای زیست پزشکی می‌شود. اثبات شده‌است که مقدار کمی از نانومواد رس لایه‌ای

1 - Plasticity

2 - Shales

3 - Swelling

5 - Exfoliated

6- Intercalated

۴ - اعداد داخل قلاب به شماره مرجع ذکرشده در کتابنامه اشاره دارد.

اصلاح شده با مواد آلی ورقه‌ورقه شده یا اینترکلیت شده که در چندسازه‌های بسپاری خوب پراکنده شده‌اند (به پیوست ب مراجعه شود)، تاثیرات فوق‌العاده‌ای بر خواصی همچون حائل<sup>۱</sup> (در برابر نفوذ گازها)، مدول کششی، استحکام مکانیکی و تأخیر شعله نشان می‌دهد.

کاربردهای صنعتی متعددی برای نانومواد رس لایه‌ای وجود دارد. رس‌های خالص‌سازی شده و اصلاح شده به‌عنوان، پوشش‌ها روی کاغذ برای افزایش سفیدی و جذب مناسب جوهر، افزایش طول عمر لاستیک در تایر، استفاده می‌شوند. همچنین از آن‌ها در خالص‌سازی روغن، صنایع دارویی، صنعت سرامیک، پایدارسازی خاک، چینی‌آلات و به‌دلیل توانمندی‌های تبادل کاتیون، تراوایی پایین و پایداری ساختاری درازمدت (به‌عنوان) حائل‌هایی برای ضایعات شیمیایی و هسته‌ای نیز، استفاده می‌شوند علاوه‌براین، نانومواد رس لایه‌ای در صنایع خالص‌سازی، در کاربردهای مهندسی کشاورزی و غذایی، نانوجندسازه‌های بسپاری، دستگاه بوزدا، حامل حشره‌کش‌ها، حامل آفت‌کش‌ها، سیالات حفاری، ماده خشک‌کن، شوینده‌ها، مومسان‌کننده، پایدارساز امولسیون (نامیزه)، افزودنی‌های غذایی، کاربردهای آرایشی، پالایش<sup>۲</sup> زیست‌محیطی و بسیاری از کاربردهای گوناگون دیگر به‌کار می‌روند [1][2].

برای چنین بازه گسترده کاربردهای نانوماده رس، مشخصات اساسی گوناگون (همانند آنچه در جدول ۱ نشان داده شده‌است) نقش‌های انکارناپذیری بازی می‌کنند. این مشخصات توسط ارائه‌کنندگان نانومواد رس لایه‌ای اندازه‌گیری و گزارش می‌شود. در حقیقت، تعیین این مشخصات اساسی و پایه‌ای، ارتباط بین فروشندگان و خریداران این نانومواد را برای کاربردهای مختلف، تسهیل می‌کند. این مشخصات برای تمام کاربردهای نانوماده رس لایه‌ای صنعتی همچون نانوجندسازه‌ها، کاغذ، جوهر، خالص‌سازی و کاتالیزورها در نظر گرفته می‌شود. علاوه‌بر مشخصات اساسی ارائه‌شده در جدول ۱، برخی از مشخصات اختیاری دیگر نانومواد رس لایه‌ای، همانند آنچه در جدول ۲ نشان داده شده‌است، منوط به توافق بین فروشندگان و خریداران، اندازه‌گیری و گزارش می‌شود.

1 - Barrier  
2 - Remediation

## فناوری نانو - نانومواد رس - قسمت ۱: تعیین مشخصات و روش‌های اندازه‌گیری برای نانومواد رس لایه‌ای

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین مشخصات قابل اندازه‌گیری نانومواد رس لایه‌ای در شکل پودری اصلاح‌شده شیمیایی است. این استاندارد روش‌های اندازه‌گیری مربوط به آن‌ها را توصیف می‌کند. این استاندارد به موضوعات سلامت، ایمنی و زیست محیطی نمی‌پردازد.

### ۲ مراجع الزامی

این استاندارد مراجع الزامی ندارد.

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استانداردهای ملی ایران - ایزو ۲-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵ و ۶-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۷، اصطلاحات و تعاریف نیز زیر به کار می‌رود:<sup>۱</sup>

۱-۳

### نسبت منظری

#### aspect ratio

نسبت طول صفحه به عرض صفحه است.

[منبع: زیربند 13.3، استاندارد ISO 8336: 2017]<sup>۲</sup>

۱ - اصطلاحات و تعاریف به‌کاررفته در استانداردهای ISO و IEC در وبگاه‌های [www.iso.org/obp](http://www.iso.org/obp) و [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org) قابل دسترسی است.

۲ - استاندارد ملی ایران ۷۵۱۵: سال ۱۳۸۳، ورق‌های صاف الیاف سیمانی - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون با استفاده از استاندارد ISO 8336:1993 تدوین شده است.

۲-۳

### چگالی توده‌ای

#### bulk density

نسبت جرم یک نمونه پودری کپه‌نشده<sup>۱</sup> و حجم آن که شامل سهم حجم تهی‌جای<sup>۲</sup> بین‌ذره‌ای است.

۳-۳

### ظرفیت تبادل کاتیونی

#### cation exchange capacity

میزان کاتیون‌های مبادله‌پذیر در هر جرم معین نمونه نانوماده رس است.

۴-۳

### رس

#### clay

ماده ایجادشده به‌طور طبیعی یا ساخته‌شده به‌صورت مصنوعی که اصولاً متشکل از کانی دانه‌ریز است، معمولاً در میزان آب مناسب، پلاستیک و هنگامی که پخته یا خشک می‌شود، سخت خواهد شد.

یادآوری ۱ - برگرفته از مرجع [3].

یادآوری ۲- اگرچه رس معمولاً حاوی فیلوسیلیکات‌ها است، ممکن است حاوی مواد دیگر باشد که در پلاستیسیته سهم دارند و هنگام خشک شدن یا پختن سخت می‌شوند. فازهای مرتبط در رس ممکن است شامل موادی شود که در پلاستیسیته سهم ندارند و ماده آلی هستند. زمینه‌های مختلف دانش، اندازه ذرات رس را به‌صورت منحصربه‌فرد تعیین می‌کنند و به‌همین دلیل است که «دانه ریز» به جای مقدار دقیق، برای توصیف به‌کار می‌رود. ولی، به‌دلیل این تغییرات اندازه از یک زمینه دانشی به زمینه دانشی (دیگر)، مهم است که اندازه ذره در زمینه کاربردی مشخص شود.

۵-۳

### نانومواد رس

#### clay nanomaterials

ماده‌ای که معمولاً متشکل از رس با هر بعد خارجی در مقیاس نانو یا دارای ساختار داخلی یا ساختار سطحی در مقیاس نانو است.

1 - Untapped

2 - Void

۶-۳

یون مبادله پذیر

**exchangeable ion**

یون‌های ایجادشده در رس‌ها که می‌توانند با دیگر یون‌ها مبادله شوند.

یادآوری - به مرجع [4] مراجعه شود.

۷-۳

رس ورقه‌ورقه‌شده

**exfoliated clay**

حالت لایه‌های رس تفکیک‌شده و لایه‌های تکی توزیع‌شده است

یادآوری ۱- معمولاً ورقه‌ای شدن نانومواد رس لایه‌ای در تعلیق مایع با دادن نیروهای برشی انجام می‌شود.

یادآوری ۲ - به مرجع [5] مراجعه شود.

۸-۳

قابلیت شکل‌گیری فیلم

**film formability**

توانایی رس برای شکل گرفتن فیلم‌های خودایستا<sup>۱</sup> (لایه‌لایه شدن منظم و یکنواخت لایه‌های رس) است.

یادآوری - به مرجع [۶] مراجعه شود.

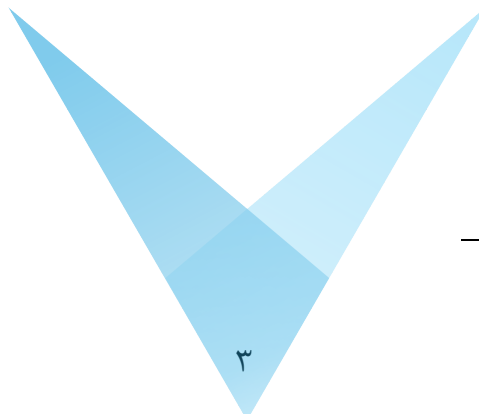
۹-۳

ضخامت گالری

**gallery thickness**

فاصله بین لایه‌های رس است.

1 - Self- standing



۱۰-۳

رس اینترکلیت شده

**intercalated clay**

رسی که در آن ماده ناهمگن (اتمها، مولکولها و نانوذرات) در یک ساختار میزبان (شبکه بلوری یا دیگر ساختارهای درشت مولکول<sup>۱</sup>) وارد شده است.

۱۱-۳

فاصله بین لایه‌ای

**interlayer distance**

فاصله بین لایه‌های مجاور همسان رس که جمع ضخامت گالری (ارتفاع) و ضخامت یک ورق رس ( $d_s$ ) منفرد است.

۱۲-۳

لایه

**layer**

ماده گسسته که در یک بعد محدود است و در داخل یا سطح یک فاز چگال قرار دارد.

[منبع: زیربند ۳-۱-۲، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۷]

۱۳-۳

نانوماده رس لایه‌ای

**layered clay nanomaterial**

نانوماده رس که متشکل از یک یا چند لایه ساختاری است.

۱۴-۳

پرت حرارتی

**loss on ignition**

کاهش وزن نمونه خشک شده در طی عملیات حرارتی تا  $1000^{\circ}\text{C}$  است.

۱۵-۳

میزان رطوبت

**moisture content**

نسبت جرم آب موجود در نمونه به جرم آن نمونه است.

۱۶-۳

نانوچندسازه

**nanocomposite**

جامدی حاوی مخلوطی از دو یا چند ماده که از نظر فازی جدا شده‌اند و دارای یک یا چند نانوفاز است.

یادآوری ۱- نانوفازهای گازی مستثنا می‌شوند (آن‌ها زیر عنوان ماده نانومتخلخل مطرح می‌شوند).

یادآوری ۲- مواد با فازهای نانومقیاس که فقط به وسیله رسوبگیری تشکیل می‌شوند مواد نانوچندسازه به شمار نمی‌آیند.

[منبع: زیربند ۴-۲، در استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۸۳۹۲: سال ۱۳۹۳]

۱۷-۳

نانوساختاری / نانوساختاریافته

**nanostructured**

نوعی ساختار داخلی یا سطحی نانومقیاس (زیربند ۳-۱-۷ در استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۷) است.

یادآوری- چنانچه ابعاد خارجی نانومقیاس باشد، اصطلاح نانوشئی (زیربند ۲-۵، استاندارد ملی شماره ۱-۸۰۰۰۴، ۱۳۹۵) توصیه می‌شود.

[منبع: زیربند ۳-۱-۸، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۷]

۱۸-۳

رس آلی

**organo clay**

رس اصلاح شده با تبادل کاتیون‌های بین لایه‌ای اصلی با کاتیون‌های آلی است.

۱۹-۳

فیلسیلیکات

**phyllosilicate**

کانی سیلیکات، همچون میکا، گروه‌های سیلیکاتی چهاروجهی که صفحات آن‌ها به یکدیگر متصل شده‌اند.

یادآوری - به مرجع [7] مراجعه شود.

۲۰-۳

اسمکتیت

smectite

کانی رس (برای مثال بنتونیت) که با جذب آب یک انبساط قابل برگشت دارد.

۲۱-۳

مساحت سطح ویژه

specific surface area

مساحت سطح مطلق نمونه تقسیم بر جرم نمونه است.

[منبع: زیربند ۳-۱۵، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱۴۵۲۵: سال ۱۳۹۱]

۲۲-۳

چگالی کپه‌ای

tap density

جرم پودر تقسیم بر حجم آن، بعد از کپه کردن نمونه به شکل پودر است.

۲۳-۳

مساحت سطح کل

total surface area

جمع مساحت خارجی و داخلی است.

۴ کوتاه‌نوشت‌ها

AFM	Atomic Force Microscopy	میکروسکوپی نیروی اتمی
BET	Brunauer- Emmet- Teller	برونر- اِمت- تِلر (بت)
FESEM	Field Emission Scanning Electron Microscopy	میکروسکوپی الکترونی روبشی نشر میدانی
FTIR	Fourier transform infrared spectrometry	طیف‌سنجی فرورسرخ تبدیل فوریه
ICP- MS	Inductively Coupled Plasma- Mass spectrometry	پلازما جفت‌شده القائی - طیف‌سنجی جرمی



ICP- OES	Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry	پلازما جفت شده القائی - طیفسنجی نشر نوری
LOI	Loss On Ignition	پرت حرارتی
SEM	Scanning Electron Microscopy	میکروسکوپی الکترونی روبشی
TEM	Transmission Electron Microscopy	میکروسکوپی الکترونی عبوری
TGA	Thermogravimetric Analysis	آنالیز گرماوزن سنجی
UV-Vis	Ultraviolet- Visible Spectrophotometry	طیفنورسنجی مرئی - فرابنفش
XPS	X- ray Photoelectron Spectrometry	طیفسنجی فوتوالکترون پرتو ایکس
XRD	X- Ray Diffraction	پراش پرتو ایکس
XRF	X- Ray Fluorescence	فلورسانس پرتو ایکس

## ۵ مشخصات و روش های اندازه گیری

### ۵-۱ کلیات

این بند هم مشخصات اساسی و هم مشخصات اختیاری نانومواد رس لایه ای و روش های اندازه گیری مربوط به آن را ارائه می کند. استانداردهای مرتبط که پروتکل های اندازه گیری برای مشخصات مجزا را توضیح می دهد نیز در این بند فهرست شده است. هرچند، ضروری است توجه شود که این استانداردها هنوز به طور کامل برای کاربرد در نانومواد رس لایه ای صحت گذاری نشده اند.

### ۵-۲ مشخصات اساسی

جدول ۱ مشخصات اساسی که معمولاً برای ویژگی های نانومواد رس لایه ای به کار می رود، فهرست کرده است. مشخصات برای اندازه گیری ها باید از جدول ۱ بر پایه توافق بین فروشندگان و خریداران انتخاب شود. علاوه بر آن، در جدول ۱ موارد زیر ارائه شده است: اطلاعات آن واحدهایی که پیشنهاد می شود برای بیان نتایج اندازه گیری مشخصات مجزا به کار رود، روش های اندازه گیری که توصیه شده است مورد استفاده قرار گیرد و دیگر روش های اندازه گیری که پیشنهاد می شود تا هنگامی که روش های اندازه گیری توصیه شده آماده نیستند، مورد استفاده قرار گیرد و استانداردهایی که برای پروتکل های اندازه گیری وجود دارد.

جدول ۱- مشخصات اساسی و روش‌های اندازه‌گیری مرتبط

قراردادهای اندازه‌گیری مرتبط	دیگر روش‌های اندازه‌گیری	روش(های) اندازه‌گیری توصیه شده	واحدها	مشخصه	
----	ICP- OES یا XRF	ICP- MS	kg/kg	ترکیب‌بندی شیمیایی	۱-۱
----	_____	XRD	kg/kg	ترکیب‌بندی کانی	۲-۱
-----	TEM یا FESEM	XRD	nm	فاصله بین لایه‌ای	۳-۱
-----	XRD ,TEM یا FESEM	AFM	nm	ضخامت	۴-۱
-----	SEM ,FESEM یا TEM	AFM	----	نسبت منظری	۵-۱
Japanese Pharmacopoeia: 3.01 [14]	_____	وزن سنجی و حجم‌سنجی	kg/m <sup>3</sup>	چگالی توده‌ای	۶-۱
استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۹۶۳: سال ۱۳۹۷	_____	روش اسکولنبرگر	cmol+/kg	ظرفیت تبادل کاتیون	۷-۱
ISO/TR 18230:2015	روش گرمایش و توزین	گرم‌وزن‌سنجی	kg/kg	پرت حرارتی	۸-۱
استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۳۸۳: سال ۱۳۹۲	روش انسلین- نِف	روش جذب آب	kg/kg	ظرفیت جذب آب	۹-۱
استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۳۸۳: سال ۱۳۹۲	روش خشکانش- کوره‌ای	گرم‌وزن‌سنجی	kg/kg	میزان رطوبت	۱۰-۱
1- Schollenberger 2 - Neff- Ensllin					

۳-۵ مشخصات اختیاری

علاوه بر مشخصات اساسی که باید اندازه‌گیری شود (جدول ۱)، برخی از مشخصات مهم دیگری وجود دارد که می‌تواند با کاربردهایی ویژه مرتبط باشد. مشخصات اختیاری فهرست‌شده در جدول ۲ منوط به توافق بین فروشندگان و خریداران اندازه‌گیری می‌شود. علاوه بر آن جدول ۲ موارد فهرست‌شده زیر را فراهم می‌کند: اطلاعات واحدهایی که پیشنهاد می‌شود برای بیان نتایج اندازه‌گیری مشخصات مجزا به کار رود، روش‌های اندازه‌گیری که توصیه می‌شود مورد استفاده قرار گیرد، روش‌های دیگر اندازه‌گیری پیشنهادشده برای استفاده در مواقعی که روش‌های توصیه‌شده آماده نیستند و استانداردهایی که برای پروتکل‌های اندازه‌گیری وجود دارد.

جدول ۲- مشخصات اختیاری نانومواد رس لایه‌ای و روش‌های اندازه‌گیری مرتبط

پروتکل‌های اندازه‌گیری مرتبط	دیگر روش‌های اندازه‌گیری	روش(های) اندازه‌گیری توصیه‌شده	واحدها	مشخصه	
TAPPI T646		بازتاب‌سنجی	.....	درخشش	۱-۲
	_____	رنگ‌سنجی	.....	رنگ	۲-۲
ASTM C837 – 09 (2014)	طیف‌نورسنجی مرئی - فرابنفش	روش کاغذ صافی	mmol/100g	ظرفیت جذب آبی متیلن	۳-۲
ISO/TS 17892-7:2004 <sup>۱</sup> / ASTM D3080 / D3080M <sup>۲</sup>	_____	آزمون برش مستقیم	kPa	ضریب چسبندگی	۴-۲
Japanese Pharmacopoeia: 3.01 [14] and European Pharmacopoeia [15]	_____	گران‌سنجی و حجم‌سنجی	kg/m <sup>3</sup>	چگالی کپه‌ای	۵-۲
استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۵۲۵: سال ۱۳۹۷	روش جذب اترمونومتیل اتیلن گلیکول	روش بر جذب گاز	m <sup>2</sup> /g	مساحت سطح ویژه	۶-۲
		ریخته‌گری فیلم و بازدید دیداری	-	شکل‌پذیری فیلم	۷-۲

۸-۲	مقاومت ویژه الکتریکی	$\Omega \cdot m$	روش پروب چهار نقطه	-
۹-۲	نوع اصلاح کننده	.....	FTIR یا IR	طیفسنجی رامان، XPS یا مرئی-فرا بنفش

۱ - استاندارد ملی ایران ۷-۱۱۷۰۸: سال ۱۳۹۷، بررسی و آزمون ژئوتکنیکی- آزمون آزمایشگاهی خاک- قسمت ۷: آزمون فشاری تک محوری- روش آزمون، با استفاده از استاندارد ISO 17892-7:2017 تدوین شده است.

۲- استاندارد ملی ایران ۱۸۶۵۲: سال ۱۳۹۳، خاک- آزمون برش مستقیم خاکها تحت شرایط تحکیم یافته زهکشی شده- روش آزمون، با استفاده از استاندارد ASTM D 3080:2004 تدوین شده است.

#### ۴-۵ توصیف مشخصات و روش‌های اندازه‌گیری

تشریح مشخصات و همچنین روش‌های اندازه‌گیری فهرست شده در جدول‌های ۱ و ۲ در ادامه، ارائه شده‌اند.

#### ۱-۴-۵ ترکیب‌بندی شیمیایی

ترکیب‌بندی شیمیایی به صورت نسبت جرم یک عنصر جزء سازنده موجود در یک نمونه نانوماده رس لایه‌ای به جرم نمونه خشک شده، تعریف شده است. ترکیب‌بندی شیمیایی یک نمونه نانوماده رس لایه‌ای باید با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری معمولاً برحسب wt% (درصد وزنی) بیان می‌شوند.

آنالیز شیمیایی تر با استفاده از روش ICP-MS می‌تواند برای اندازه‌گیری‌های ترکیب‌بندی شیمیایی عناصر حتی در سطح<sup>۱</sup> ناخالصی به کار گرفته شود. روش به گونه‌ای است که یون‌ها در دمای بالا، تحت فشار اتمسفر و در پلاسمای آرگون، تولید شده و با استفاده از طیف‌سنج جرمی آشکارسازی می‌شوند.

نمونه‌های نانومواد رس لایه‌ای می‌توانند با استفاده از عامل‌های انحلالی (حلال‌های) مختلف از جمله مخلوط‌های اسیدهای قوی و یا هیدروژن فلوراید تجزیه شوند. ذوب متابورات لیتیم ( $LiBO_2$ ) یکی از گزینه‌های اصلی برای تجزیه ماده سیلیکات است، زیرا حتی در انحلال اغلب کانی‌های دیرگداز نیز مؤثر است. همچنین می‌توان از یک منبع پلاسمایی برای تجزیه نمونه به اتم‌ها یا یون‌های سازنده آن استفاده کرد و آنالیز اتم‌ها یا با طیف‌سنجی جرمی و یا با آشکارسازی نشر نوری از اتم‌های برانگیخته (ICP-OES) انجام می‌شود. در گزارش ترکیب‌بندی شیمیایی علاوه بر گزارش عناصر اصلی، لازم است ناخالصی‌ها نیز گزارش شوند.

همچنین طیف‌سنجی XRF نیز روشی برای تعیین کمی و کیفی میزان ترکیب‌بندی عنصری یک نمونه نانوماده رس لایه‌ای در هر دو محیط آزمایشگاهی و صنعتی است. انجام این روش زمان کمتری می‌برد، اما محدودیت‌هایی در آشکارسازی میزان کمینه عناصر دارد، بنابراین برای اندازه‌گیری‌های ترکیب‌بندی شیمیایی در سطح ناخالصی توصیه نمی‌شود.

#### ۲-۴-۵ ترکیب‌بندی کانی

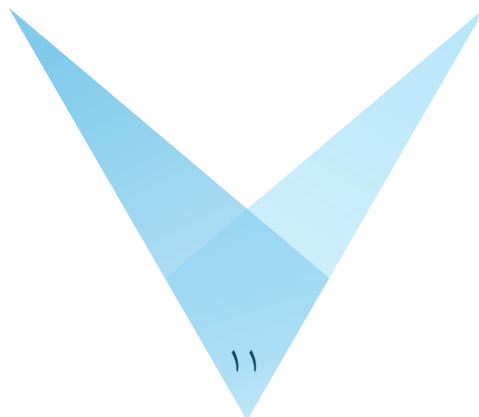
ترکیب‌بندی کانی نسبت جرم یک ترکیب‌بندی کانی موجود در یک نمونه نانوماده رس لایه‌ای به جرم نمونه خشک‌شده است. ترکیب‌بندی کانی باید با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری معمولاً برحسب wt% بیان می‌شوند.

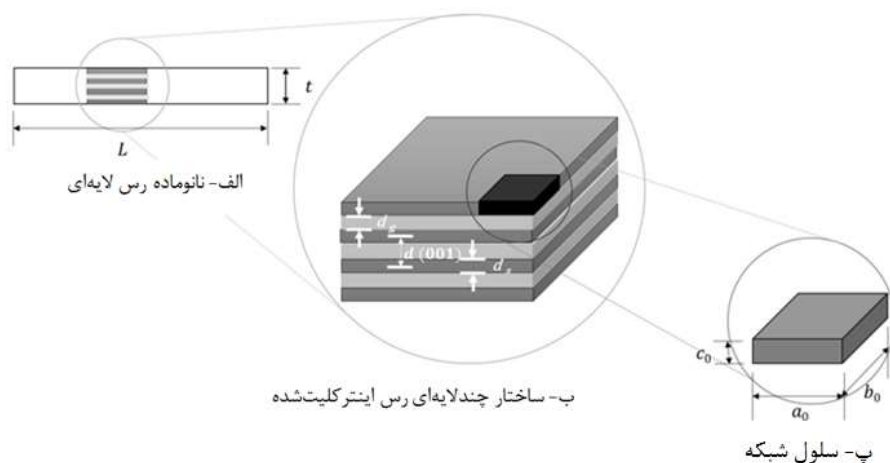
ترکیب‌بندی کانی اصلی نمونه نانوماده رس لایه‌ای می‌تواند با استفاده از طیف‌های XRD نمونه خشک‌شده تعیین شود. این روش می‌تواند با مشاهده الگوی پراش ناشی از پرتوی ایکس که به نمونه برخورد می‌کند، اطلاعات بلورشناختی در مورد یک نمونه را فراهم کند [8] [9].

هرچند بسیاری از روش‌های کمی‌سازی مبتنی بر روش XRD بسیار دقیق هستند، آماده‌سازی نمونه، پردازش داده‌ها و انتخاب استانداردها برای کمی‌سازی XRD از نمونه‌های نانوماده رس لایه‌ای ضروری هستند [10].

#### ۳-۴-۵ فاصله بین لایه‌ای

در شکل ۱، ضخامت، طول و برخی دیگر از پارامترهای ساختاری نانوماده رس لایه‌ای به‌صورت طرحواره ارائه شده‌است.





### راهنما:

L : اندازه جانبی رس لایه‌ای؛

t: ضخامت نانوماده رس لایه‌ای؛

$d_s$ : ضخامت لایه؛

$d_g$ : ضخامت گالری؛

$d_{(001)}$ : فاصله بین لایه‌ای؛

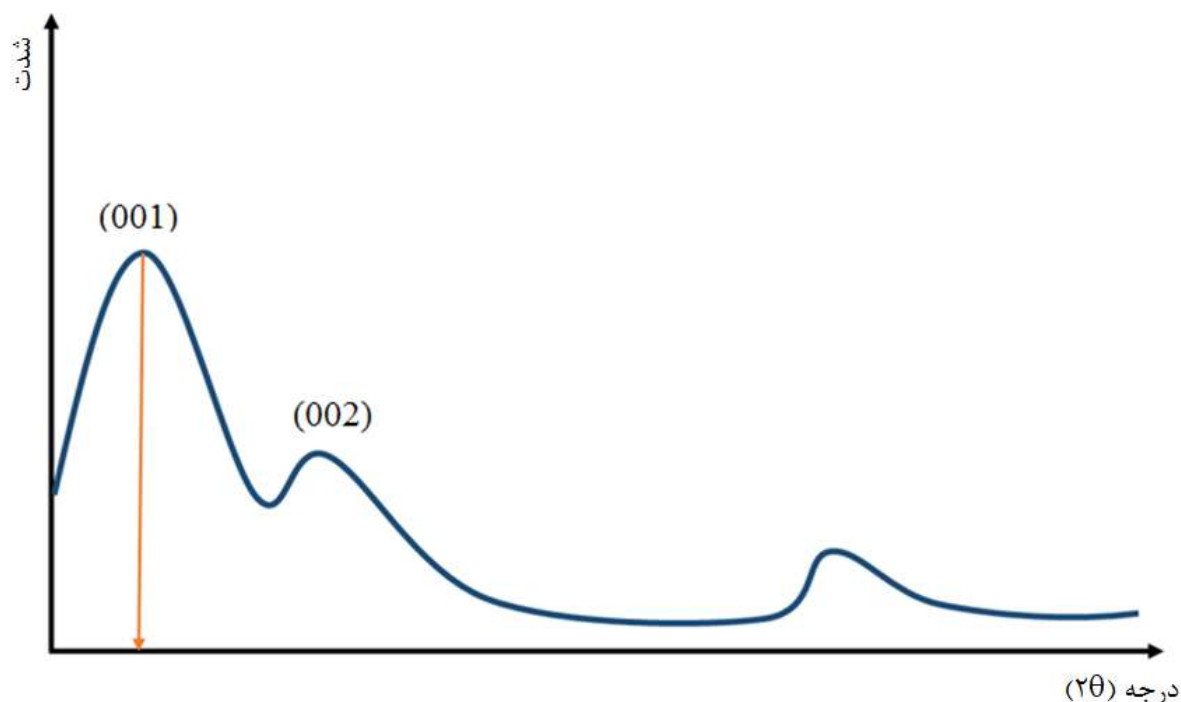
a: نانوماده رس لایه‌ای؛

b: ساختار چندلایه‌ای از نانوماده رس اینترکلایت‌شده؛

c: سلول شبکه تکرارشونده.

شکل ۱- پارامترهای ساختاری نانوماده رس لایه‌ای. الف- یک نانوماده رس لایه‌ای، ب- مساحت خاکستری تیره نشان‌دهنده یک صفحه تکی از ماده رس است و مساحت خاکستری روشن نشان‌دهنده فاصله بین دو صفحه مجاور است و پ-  $a_0$ ،  $b_0$  و  $c_0$  نمایانگر پارامترهای سلول شبکه هستند

فاصله بین لایه‌ای رس و نانومواد رسی را می‌توان از معادله براگ ( $n\lambda = 2d \sin \theta$ ) با استفاده از طیف XRD محاسبه کرد، که در معادله براگ، d فاصله بین لایه‌های رس،  $\lambda$  طول موج پرتو ایکس،  $\theta$  زاویه در پیک و n عدد لایه است. در معادله براگ برای حالت  $n = 1$ ، d برابر  $d_{001}$  است که فاصله بین لایه‌ای یک نمونه نانوماده رس لایه‌ای است. یک طیف XRD نمادین، از نانوماده رس لایه‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- طیف XRD زاویه کم نمادین برای یک نمونه نانوماده رس لایه‌ای

روش XRD به دلیل سادگی و دسترس‌پذیری، روشی مرجح برای تعیین فاصله بین لایه‌ای نمونه نانوماده رس لایه‌ای است. با این وجود، روش‌های دیگری از قبیل TEM و FESEM می‌توانند به منظور آنالیز ساختاری مکمل و با جزئیات بیشتر نانوماده رس لایه‌ای استفاده شوند. روش TEM می‌تواند برای آنالیز ساختاری نانومواد رس لایه‌ای استفاده شود. این روش تصاویر و الگوهای پراش را با تفکیک‌پذیری در مقیاس اتمی تولید می‌کند. در این روش باریکه الکترونی از میان نمونه عبور کرده و با آن برهمکنش می‌کند و (باریکه‌های حاصل) به سمت آشکارساز می‌رود.

آنالیز FESEM روش دیگری است که سطح نمونه‌ها را با روبش یک باریکه الکترونی اولیه مورد مطالعه قرار می‌دهد. این باریکه الکترونی باعث پراش<sup>۱</sup> الکترون‌های ثانویه، الکترون‌های پس‌پراکنده شده، الکترون‌های جذب شده و تابش پرتو ایکس می‌شود. تصاویر ساخته شده به وسیله این سیگنال‌ها می‌توانند برای تعیین فاصله بین لایه‌ای نانوماده رس لایه‌ای استفاده شوند.

#### ۴-۴-۵ ضخامت

ضخامت یک نانوماده رس لایه‌ای به صورت فاصله بین دو لبه روی خط سطح مقطع عمود بر سطح لایه تعریف شده است. هنگامی که ضخامت بالای سطح نانوماده تغییر می‌کند، بزرگ‌ترین مقدار به عنوان ضخامت ثبت می‌شود. ضخامت نانوماده رس لایه‌ای باید با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری شود. دو گزینه

1 - Ejection

برای روش اندازه‌گیری وجود دارد. روش توصیه شده، AFM است و روش دیگر مبتنی بر محاسبه با استفاده از پارامترهای ساختاری نانوماده رس لایه‌ای است. نتایج اندازه‌گیری در واحد nm بیان شده‌اند.

تصویر AFM می‌تواند برای تعیین ضخامت نانوماده رس لایه‌ای استفاده شود. وقتی نانوماده به صورت جانبی روی زیرلایه رسوب‌دهی شود، ضخامت یک نانوماده رس لایه‌ای می‌تواند به عنوان ارتفاع گام روی یک تصویر سه‌بعدی بین بالای نانوماده و سطح زیرلایه اندازه‌گیری شود.

همانگونه که در شکل ۱ (ب) مشاهده می‌شود، ساختار داخلی یک نانوماده رس لایه‌ای به عنوان یک انباشت<sup>۱</sup> چند لایه‌ای حاوی N صفحه سیلیکات تکی با فاصله بین لایه‌ای یکنواخت نشان داده شده است [11]. همچنین، ضخامت یک نانوماده رس لایه‌ای را می‌توان از طریق داده‌های اندازه‌گیری پارامترهای ساختاری نیز به دست آورد. ضخامت t به وسیله معادله زیر تعیین شده است:

$$t = (N-1) \times d_{001} + d_s,$$

که در آن:

$d_{001}$  فاصله بین لایه‌های سیلیکات است و می‌توان آن را با استفاده از معادله براگ به وسیله طیف XRD محاسبه کرد؛

$d_s$  ضخامت یک لایه سیلیکات (تکی)؛

N تعداد میانگین لایه‌های سیلیکات در هر انباشت لایه است که با آنالیز تصاویر TEM یا FESEM با تفکیک‌پذیری بالا، می‌توان آن را به طور واضح مشخص کرد.

#### ۵-۴-۵ نسبت منظری

نسبت منظری یک نانوماده رس لایه‌ای به صورت نسبت اندازه جانبی میانگین به ضخامت میانگین نانوماده رس لایه‌ای تعریف شده است [12] [13]. نسبت منظری نانوماده رس لایه‌ای باید با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری به عنوان یک عدد بدون بُعد بیان می‌شود.

اندازه جانبی و ضخامت نانوماده رس لایه‌ای می‌تواند با آنالیز تصاویر به دست آمده به وسیله AFM، SEM، FESEM یا TEM اندازه‌گیری شود.



#### ۵-۴-۶ چگالی توده‌ای

چگالی توده‌ای یک نمونه پودر نانوماده رس لایه‌ای، نسبت جرم یک نمونه پودر کپه‌نشده و حجم آن است که شامل سهم حجم تهی‌جای بین ذره‌ای است. چگالی توده‌ای باید با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری در واحد  $\text{kg/m}^3$  بیان می‌شود.

چگالی توده‌ای نمونه پودر نانوماده رس لایه‌ای، هم به چگالی ذرات پودر و هم به آرایش فضایی ذرات موجود در بستر پودر، بستگی دارد. بنابراین، اندازه‌گیری چگالی توده‌ای یک پودر با تجدیدپذیری مطلوب، اغلب بسیار دشوار است. بنابراین، مشخص کردن شرایط اندازه‌گیری چگالی توده‌ای در گزارش‌دهی نتایج ضروری است.

چگالی توده‌ای یک نمونه پودر نانوماده رس لایه‌ای را می‌توان با استفاده از یک انتخاب‌کننده باریک مدرج<sup>۱</sup> (استوانه مدرج) تعیین کرد. در این روش، جرم یک نمونه پودری انتقال‌یافته از طریق الک، به داخل استوانه یا فنجان مدرج با حجم مشخص، تعیین می‌شود. جزئیات این روش می‌تواند در بسیاری از منابع از جمله فارماکی (دارونامه) ژاپنی و فارماکی اروپایی یافت شود [14] [15].

#### ۵-۴-۷ ظرفیت تبادل کاتیون

ظرفیت تبادل کاتیون به‌صورت مقدار کاتیون‌های مبادله‌پذیر در واحد جرم نمونه پودری نانوماده رس لایه‌ای تعریف شده‌است. ظرفیت تبادل کاتیون باید با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیون در واحد میلی‌اکی‌والان<sup>۲</sup> هیدروژن در ۱۰۰ گرم نانوماده رس لایه‌ای هوا-خشک ( $\text{meq}^+/100\text{g}$ ) یا در سیستم بین‌المللی یکاها SI سانتی-مول در هر کیلوگرم ( $\text{cmol}^+/\text{kg}$ ) بیان می‌شود.

استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۹۶۳: سال ۱۳۹۷، روشی را برای تعیین ظرفیت تبادل کاتیون و میزان کاتیون‌های مبادله‌پذیر ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) در خاک‌ها با استفاده از محلول تری‌کلرید هگزامینی کبالت<sup>۳</sup> به عنوان عامل استخراج، مشخص می‌کند. این روش برای همه انواع نمونه پودر نانوماده رس لایه‌ای که مطابق با استاندارد ISO 11464 آماده شده‌اند، قابل استفاده است.

#### ۵-۴-۸ پرت حرارتی

پرت حرارتی، LOI، به کاهش وزن نمونه نانوماده رس خشک‌شده در طی یک عملیات حرارتی در دمای  $1000^\circ\text{C}$  گفته می‌شود. مواد فرّاری که از یک نمونه نانوماده رس لایه‌ای خارج می‌شوند، شامل «آب»

1- Graduated slenderer  
2- Milliequivalent  
3- Hexamminecobalt

ترکیبی» (هیدرات‌ها و ترکیبات هیدروکسی ناپایدار)، مواد آلی و فرّار غیرآلی (معدنی) از جمله اصلاح‌کننده آلی نانومواد رس لایه‌ای هستند. در  $1000^{\circ}\text{C}$ ، LOI می‌تواند به صورت وزن‌سنجی به وسیله دستگاه TGA با استفاده از یک نمونه از قبل خشک‌شده اندازه‌گیری شود. استاندارد ISO/TR 18230: 2015 برای تعیین LOI نانوماده رس لایه‌ای در نظر گرفته نشده است، اما در غیاب هرگونه استاندارد برای این مواد، روش‌های ذکر شده در این استانداردها ممکن است برای اندازه‌گیری LOI نانومواد رس لایه‌ای مفید باشند. نتایج اندازه‌گیری LOI برحسب wt% بیان می‌شود.

#### ۹-۴-۵ ظرفیت جذب آب

ظرفیت جذب آب،  $W_A$ ، به صورت نسبت جرم آب،  $m_{wg}$ ، جذب‌شده به وسیله یک نمونه نانوماده رس لایه‌ای از طریق موینگی در دستگاه آزمون به جرم خشک،  $m_{wd}$ ، نمونه تعریف شده است.

$$W_A = \frac{m_{wg}}{m_{wd}}$$

که در آن،  $m_{wg}$  مقدار حدی آب جذب‌شده در طول دوره آزمون است. ظرفیت جذب آب باید با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب برحسب درصد وزنی wt% بیان می‌شوند. استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۳۸۳: سال ۱۳۹۰، روش‌های اجرایی اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب بنتونیت را مشخص می‌کند.

همچنین ظرفیت جذب آب می‌تواند با استفاده از استاندارد DIN 18132 که مطابق با روش اصلاح‌شده انسلین- نف است، نیز اندازه‌گیری شود. روش انسلین- نف اغلب در صنعت بنتونیت و مهندسی عمران مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج اندازه‌گیری روش انسلین- نف به صورت مقدار  $\text{Na}^+$  مبادله‌پذیر و با بسط و توسعه کمتری با میزان اسمکتیت بیان می‌شود [16].

#### ۱۰-۴-۵ میزان رطوبت

میزان رطوبت یک نانوماده رس لایه‌ای باید با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری میزان رطوبت برحسب wt% بیان شده است. متداول‌ترین روشی که برای تعیین میزان رطوبت مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش گرماوزن‌سنجی است که در آن نمونه‌ای از نانوماده رس لایه‌ای در دمای  $110^{\circ}\text{C}$  تا رسیدن به جرم ثابت خشک می‌شود.

دستگاه TGA یک دستگاه تجاری است که می‌تواند تغییر جرم نمونه را برحسب تابعی از زمان اندازه‌گیری کند، هنگامی که به صورت هم‌دما در اتمسفر گاز بی‌اثر گرما داده می‌شود.

همچنین میزان رطوبت می‌تواند به روش خشکانش - کوره‌ای، با گرمایش نمونه در دمای  $110^{\circ}\text{C}$  در یک کوره با وزش گرمایی (همرفتی)<sup>۱</sup> تا جرم ثابت و توزین باقیمانده نمونه تعیین شود.

#### ۵-۴-۱۱ درخشش<sup>۲</sup>

درخشش به صورت درصد نور آبی بازتاب‌شده از سطح یک نمونه که در طول موج مؤثر ویژه  $457\text{ nm}$  (با پهنای باند نیمه بیشینه  $44\text{ nm}$ ) اندازه‌گیری شده، تعریف می‌شود. درخشش نانومواد رس لایه‌ای می‌تواند بر درخشش چندسازه‌های بسپاری<sup>۳</sup>، کاغذ و هر ماده‌ای که در آن از نانومواد رس لایه‌ای استفاده شده است، تأثیر بگذارد. درخشش اندازه‌گیری شده می‌تواند به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر روش‌های اندازه‌گیری قرار گیرد. در حقیقت، مقدار اندازه‌گیری شده به‌طور قابل توجهی به روش آماده‌سازی نمونه بستگی دارد. آماده‌سازی نمونه، روش‌های اندازه‌گیری و گزارش‌دهی نتیجه باید مطابق روش TAPPI T646 یا روش‌های آزمون استاندارد معادل انجام شود.

درخشش رنگدانه کانی TAPPI T 646، روش اجرایی برای تعیین میزان درخشش رس یا سایر رنگدانه‌های کانی را که تحت شرایط کنترل‌شده نرم‌سای<sup>۴</sup> شده و به‌صورت یک پلاک<sup>۵</sup> رنگدانه فشرده یکنواخت ساخته شده‌اند، توصیف می‌کند. این روش برای استفاده با کانی‌هایی است که به‌طور معمول در ساخت کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای رنگدانه‌های بسیار رنگین در نظر گرفته نشده‌است. دستگاه به‌کاررفته دارای همان مشخصات طیفی، هندسی و نورسنجی است که در TAPPI T 452، «درخشش خمیر کاغذ، کاغذ و مقوا (بازتاب جهت‌دار در  $457\text{ nm}$ )»، شرح داده شده‌است.

#### ۵-۴-۱۲ رنگ

رنگ یک خاصیت فیزیکی نانوماده رس لایه‌ای است که به ما اجازه می‌دهد برخی از مشخصات مهم آن مانند ترکیب‌بندی ناخالصی کانی، وجود ترکیبات شیمیایی آهن و ترکیبات آلی را برآورد کنیم. برای بسیاری از کاربردهای نانومواد رس لایه‌ای از جمله کاربردهای آن‌ها در صنایع کاغذ و بسپار، نیاز است که نانومواد رس لایه‌ای، رنگی نداشته باشند یا رنگ‌های کنترل‌شده داشته باشند. بنابراین، کاربران نانومواد رس لایه‌ای برای چنین کاربردهایی علاوه بر شفافیت و درخشش، باید از رنگ نمونه آگاه باشند.

رنگ به‌وسیله روش‌های دیداری و طیف بازتاب‌سنجی اندازه‌گیری می‌شود. رنگ‌سنج می‌تواند برای اندازه‌گیری رنگ‌های سطح نمونه‌ها استفاده شود. در فرایند اندازه‌گیری رنگ با استفاده از یک رنگ‌سنج،

- 1 - Convection
- 2 - Brightness
- 3 - Polymeric composites
- 4 - Pulverized
- 5 - Plaque

آزمونه‌ها (در اندازه معین مانند  $4 \times 4$  سانتیمتر) روی یک صفحه استاندارد سفید قرار داده شده و از مقیاس رنگ آزمایشگاهی هانتر<sup>۱</sup> برای نشان دادن رنگ استفاده می‌شود [17] [18].

#### ۱۳-۴-۵ ظرفیت بر جذب آبی متیلن

ظرفیت بر جذب آبی متیلن شاخصی است که به راحتی قابل اندازه‌گیری است و نشانه‌ای از فعالیت رس و مشخصات رس از قبیل ظرفیت تبادل کاتیون، استحکام خشک، پتانسیل تورمی و نرخ ریخته‌گری را فراهم می‌کند. ظرفیت بر جذب آبی متیلن از یک نمونه نانوماده رس لایه‌ای به صورت نسبت بیشینه مقدار رزانه<sup>۲</sup> (رنگینه) آبی متیلن بر جذب شده روی نمونه خشک‌شده و پراکنده شده در آب، به جرم نمونه خشک‌شده است.

ظرفیت بر جذب آبی متیلن با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری می‌شود. نتایج اندازه‌گیری در واحد  $\text{mmol} / 100\text{g}$  بیان می‌شود. ظرفیت بر جذب آبی متیلن با استفاده از روش کاغذ صافش یا روش مرئی-فرابنفش بسته به دقت مورد نیاز، اندازه‌گیری می‌شود.

به دلیل آن که اندازه‌گیری ظرفیت بر جذب آبی متیلن به راحتی انجام می‌شود و نیاز به تجهیزات خاصی ندارد، توجه زیادی را به خود جلب کرده است [19]. استاندارد ASTM C837-09 (2014) پروتکل‌های اندازه‌گیری برای ظرفیت بر جذب آبی متیلن مواد رسی را ارائه می‌دهد.

#### ۱۴-۴-۵ ضریب چسبندگی

ضریب چسبندگی یک نمونه پودری نانوماده رس لایه‌ای، به استحکام نمونه پودر در شرایط برشی مربوط می‌شود. ضریب چسبندگی باید با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری در واحد kPa بیان می‌شود.

این مشخصه نانومواد رس لایه‌ای با خواص سطح و میزان آب آن تغییر می‌کند. این آزمون با تغییر شکل یک آزمون مورد آزمون، تحت نرخ کرنشی کنترل‌شده روی یا نزدیک یک صفحه برشی تعیین‌شده به وسیله پیکربندی دستگاه، انجام می‌شود. عموماً، جهت تعیین اثرات بر مقاومت برشی و جابجایی و خواص استحکامی پودر، سه یا چند آزمون، هر یک تحت بارهای معمول متفاوت، اندازه‌گیری می‌شوند.

1 - Hunter  
2 - Dye

استانداردهای ISO 17892-7<sup>۱</sup> و ASTM D3080/ D3080M<sup>۲</sup> روش‌های اجرایی اندازه‌گیری ضرایب چسبندگی خاک‌ها را مشخص می‌کنند. از این استانداردها می‌توان برای اندازه‌گیری ضریب چسبندگی نانومواد رس لایه‌ای استفاده کرد.

#### ۵-۴-۱۵ چگالی کپه‌ای

چگالی کپه‌ای نمونه پودری نانوماده رس لایه‌ای وابسته به روشی است که در آن ذرات بر روی یکدیگر انباشته می‌شوند. اساس روش اندازه‌گیری، کپه کردن مقدار مشخصی از نمونه پودر در یک ظرف با استفاده از یک دستگاه کپه‌کننده است تا حدی که حجم نمونه پودر، بیشتر کاهش نیابد. جرم پودر تقسیم بر حجم آن پس از آزمون، چگالی کپه‌ای آن را به دست می‌دهد. روش استاندارد اندازه‌گیری چگالی کپه‌ای مواد در شکل پودری را می‌توان در مراجع [14] و [15] یافت.

#### ۵-۴-۱۶ مساحت سطح ویژه

مساحت سطح ویژه نمونه پودری نانوماده رس لایه‌ای، که مجموع مساحت سطح‌های خارجی و داخلی است، عاملی است که می‌تواند خواص دانه-مقیاس را به خواص درشت-مقیاس فیزیکی و شیمیایی نانوماده رس لایه‌ای مرتبط سازد. توصیه می‌شود مساحت سطح ویژه با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری در واحد  $m^2/g$  بیان می‌شود.

مساحت سطح بزرگ منجر به افزایش برهمکنش یون‌ها و مولکول‌ها با نانومواد رس لایه‌ای می‌شود. بنابراین مساحت سطح ویژه کل، بسیاری از خواص فیزیکی و شیمیایی رس و نانومواد رس را تحت تاثیر قرار می‌دهد [20] [21]. بزرگی مساحت سطح ویژه یک نمونه پودری نانوماده رس لایه‌ای عمدتاً به نوع کانی‌های رس و مشخصات آن بستگی دارد. به خصوص در رس‌های اینترکلایت شده ریزدانه، می‌توان بین سطح داخلی و خارجی تمایز قائل شد، دومی فضای بین لایه کانی‌ها است. سطح داخلی، به وسیله اندازه‌گیری سطح کلی و کم کردن آن از سطح خارجی (که به طور جداگانه اندازه‌گیری شده)، تعیین می‌شود [22].

مساحت سطح ویژه نمونه پودری نانوماده رس لایه‌ای باید به وسیله روش بر جذب گاز با استفاده از آنالیز BET اندازه‌گیری شود. آنالیز BET، مساحت سطح ویژه جذب را به وسیله بر جذب-واجذب هم دمای یک گاز خنثی اندازه‌گیری شده در دما و فشار مشخص، تعیین می‌کند. مساحت سطح کل و توزیع‌های اندازه حفره‌های ماکروسکوپی را می‌توان با استفاده از منحنی‌های واجذب BET و بارت-جوینر-هالند<sup>۳</sup> (BJH) محاسبه کرد [22]. استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۵۲۵: سال ۱۳۹۱، روش تعیین مساحت سطح داخلی و

۱ - استاندارد ملی ایران شماره ۷-۱۱۷۰۸: سال ۱۳۹۷، بررسی و آزمون ژئوتکنیکی-آزمون آزمایشگاهی خاک-قسمت ۷: آزمون فشاری تک محوری- روش آزمون با استفاده از استاندارد ISO 17892-7: 2017 تدوین شده است.

۲ - استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۶۵۲: سال ۱۳۹۳، خاک-آزمون برش مستقیم خاک‌ها تحت شرایط تحکیم یافته زهکشی شده- روش آزمون با استفاده از استاندارد ASTM D 3080: 2004 تدوین شده است.

3- Barrett-JOYNER-Halenda (BJH)

خارجی ویژه کل جامدات متخلخل یا پودر را به وسیله اندازه گیری مقدار گاز بر جذب شده فیزیکی بر اساس روش BET مشخص می کند.

هرچند، روش BET به دلیل فقدان بر جذب کامل گاز روی سطوح داخلی حفره، محدودیت هایی دارد. روش بر جذب اتیلن گلیکول فونومتیل اتر<sup>۱</sup> به عنوان یک روش جایگزین به طور گسترده در تحقیقات علمی مورد استفاده قرار می گیرد. این روش می تواند برای اندازه گیری مساحت سطح ویژه نانومواد رس لایه ای استفاده شود [23] [24].

#### ۱۷-۴-۵ شکل پذیری فیلم

شکل پذیری فیلم نمونه تعلیقه نانوماده رس لایه ای، به توانایی تعلیقه در شکل دهی فیلم بدون عیب<sup>۲</sup> پس از ریخته گری و خشکانش اشاره دارد. در برخی از کاربردها مانند فیلم های چند لایه ای ناتراوای گازی مواد بسپاری، این خاصیت مهم است و ضروری است که اندازه گیری و گزارش شود. یک تعلیقه به خوبی پراکنده شده ۳ wt% از نانومواد رس در آب [6] [25] یا دیگر حلال های آلی مناسب، به عنوان مثال هپتان برای نانومواد رس لایه ای اصلاح شده با مواد آلی با هم زدن شدید آماده شود، سپس در یک محفظه خلاء مناسب گاززدایی شود. حدود ۱۱۰ ml تعلیقه گاززدایی شده روی سینی پلی پروپیلن (۲۵mm×۱۴۰mm×۲۰۰mm) ریخته شده و به مدت یک روز در دمای 60 °C خشک شود. ارزشیابی شکل پذیری فیلم ممکن است به شرح زیر انجام شود:

توصیه می شود فیلم تولید شده از لحاظ دیداری مورد بازرسی قرار گیرد و یک آزمون کندگی (ورآمدگی) دستی<sup>۳</sup> با سرعت نسبتاً کم روی آن انجام شود. این فیلم ها را می توان در چهار رده مختلف به نام های A, B, C, D رده بندی کرد، در حالی که A بر فیلم بدون عیب انعطاف پذیر با توانایی عالی در حفظ شکل و ظرفیت جدایی از زیر لایه، B بر فیلم بدون عیب با توانایی خوب حفظ شکل، C بر فیلم شکننده غیر یکنواخت با توانایی ضعیف حفظ شکل و D بر موردی که در آن هیچ پیوستگی در نمونه خشک نمی تواند مشاهده شود، دلالت دارد. اطلاعات بیشتر در مورد شکل پذیری فیلم در استاندارد ISO 21236-2 ارائه شده است.

#### ۱۸-۴-۵ مقاومت ویژه الکتریکی

مقاومت ویژه الکتریکی نمونه نانوماده رس لایه ای به مقاومت ویژه الکتریکی یک نمونه پودر قرصی شکل<sup>۴</sup> اشاره می کند که به صورت همسانگرد در یک سطح مقطع معین و طول معین فشرده شده است. توصیه می شود مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از یک روش مناسب اندازه گیری شود. نتایج اندازه گیری در واحد  $\Omega.m$  بیان می شود.

- 1- Ethylene Glycol Monomethyl Ether (EGME)
- 2- Freestanding
- 3- Manual peel test
- 4- Pelletized

عوامل بسیاری از جمله، رطوبت و مقادیر (مواد) آلی، مقاومت ویژه الکتریکی نانومواد رس را تحت تاثیر قرار می دهند. روش پروب چهارنقطه‌ای یا کلوین<sup>۱</sup> (به شکل ۳ مراجعه شود)، رایج ترین روش اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی مواد با رسانایی پایین است. از دو پروب برای تامین جریان و از دو پروب دیگر برای اندازه گیری ولتاژ استفاده می شود. این روش مستلزم قرار دادن چهار پروب با فواصل مساوی در تماس نمونه با مقاومت الکتریکی ناشناخته است. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، آرایه پروب معمولاً در مرکز نمونه نانوماده رس لایه‌ای قرصی شکل در یک فشار مناسب قرار می گیرد. مقاومت ویژه حجمی با معادله زیر محاسبه می شود [IEC 62899-202]:

$$\rho = F \times t \times \frac{V}{I}$$

که در آن:

$\rho$  مقاومت ویژه الکتریکی (  $\Omega.m$  )؛

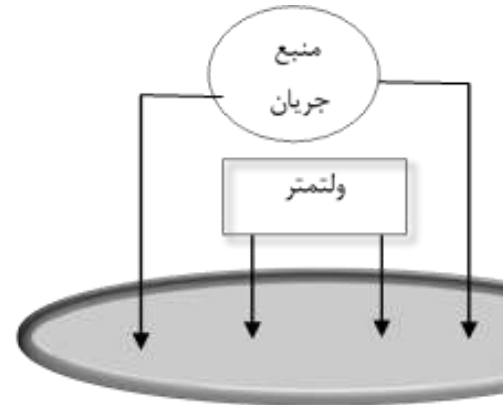
$V$  ولتاژ اندازه گیری شده (volts)؛

$I$  جریان منبع (amperes)؛

$t$  ضخامت نمونه (m)؛

$F$  یک عامل تصحیح است.

لازم به ذکر است که میزان فشار لازم برای شکل کردن نمونه باید در نتایج آزمون گزارش شود. همچنین توصیه می شود به شرایط رطوبت و دما اشاره شود.



شکل ۳- روش مقاومت ویژه پروب هم خط چهارنقطه‌ای

## ۵-۴-۱۹ نوع اصلاح کننده

اصلاح کننده به گونه‌ای از مواد اطلاق می‌شود که به‌طور معمول شامل یون‌های آلکیل آمونیم چهارتایی است که ممکن است برای اصلاح خواص ساختاری یا شیمیایی رس (به پیوست ب مراجعه شود) استفاده شود. توصیه می‌شود نوع اصلاح کننده یک نانوماده رس لایه‌ای با استفاده از یک روش مناسب تعیین شود. طیف نورسنجی فروسرخ (IR) یا FTIR معمولاً برای تعیین نوع اصلاح کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر آن‌ها به هر دلیلی در دسترس نباشند، ممکن است طیف‌سنجی رامان، طیف‌نورسنجی XPS یا UV-VIS مورد استفاده قرار گیرد. طیف‌نورسنجی IR و FTIR که بر اساس جذب تابش IR توسط پیوندهای شیمیایی است، برای شناسایی ترکیب‌بندی اصلاح کننده رس استفاده می‌شود. طیف فروسرخ یک ماده رس نسبت به ترکیب‌بندی شیمیایی، جانشینی تک‌ریختی<sup>۱</sup> حساس است. این روش برای ترکیباتی با فرمول‌های شیمیایی ساده بسیار مناسب است.

## ۶ گزارش‌دهی

### ۶-۱ کلیات

سازنده یا ارائه‌کننده باید اطلاعات کلی مربوط و نتایج اندازه‌گیری مشخصات اساسی نانومواد رس لایه‌ای را گزارش دهد. مشخصات اختیاری را نیز می‌توان گزارش کرد. موارد زیر باید گزارش شوند:

### ۶-۲ اطلاعات

- نام محصول؛
- شماره دسته و شماره بهر؛
- نام سازنده یا تامین کننده؛
- تاریخ تولید.

### ۶-۳ نتایج اندازه‌گیری

- ترکیب‌بندی شیمیایی؛
- ترکیب‌بندی کانی؛
- فاصله بین لایه‌ای؛
- ضخامت؛
- نسبت منظری؛

1- Isomorphous substitution



- چگالی توده‌ای؛
- ظرفیت تبادل کاتیونی؛
- پرت حرارتی؛
- ظرفیت جذب آب؛
- میزان رطوبت.

#### ۴-۶ مثالی از جدول گزارش‌دهی

جدول ۳ مثالی از نمونه جدول گزارش‌دهی است که ممکن است مورد استفاده قرار گیرد و یا قرار نگیرد. مشخصات اختیاری شرح داده‌شده در جدول ۲، ممکن است به موارد گزارش‌دهی اضافه شود.

#### جدول ۳- مثالی از جدول گزارش‌دهی مشخصات اصلی نانومواد رس لایه‌ای توسط سازنده یا تأمین‌کننده

عمومی		نام سازنده یا تأمین‌کننده			
شماره دسته		شماره بهر			
تاریخ تولید					
انحراف معیار	روش اندازه‌گیری	مقدار	واحد	مشخصه	
				ترکیب بندی شیمیایی	۱
				ترکیب بندی کانی	۲
				فاصله بین لایه‌ای	۳
				ضخامت	۴
				نسبت منظری	۵
				چگالی توده‌ای	۶
				ظرفیت تبادل کاتیونی	۷
				پرت حرارتی	۸
				ظرفیت جذب آب	۹
				میزان رطوبت	۱۰

## پیوست الف

### (آگاهی دهنده)

#### اطلاعات پایه‌ای نانومواد رس لایه‌ای

#### الف-۱ کلیات

رس‌ها خانواده‌ای از سیلیکات‌های آلومینیم/ منیزیم آبدار لایه‌ای هستند که در آن‌ها ضخامت گالری ممکن است از اندازه‌های زیرنانو در شکل اصلی تا چندین نانومتر در ساختار گسترش یافته یا اصلاح شده اینترکلیت شده متغیر باشد.

نانومواد رس تک‌لایه یا چندلایه‌ای ممکن است در حالت ورقه‌ورقه‌شده رس به دست آیند. نانومواد رس عمدتاً متشکل از رس با هر بعد خارجی در مقیاس نانو یا دارای ساختار داخلی یا ساختار سطح در مقیاس نانو هستند.

#### الف-۲ جنبه‌های ساختاری

ساختار صفحه رس به‌طور عمده از دو نوع سلول واحد، چهاروجهی‌های سیلیکات  $(\text{SiO}_4)^{4-}$  و هشت وجهی‌های گیبسیتی یا دیگر هشت وجهی‌های فلزی  $(\text{MetO}_6)$  تشکیل شده است. در چهاروجهی‌های سیلیکات، یک اتم سیلیکون به‌وسیله چهار اتم اکسیژن جذب شده است و آرایش آن‌ها نزدیک یکدیگر و پیوند با اتم‌های مشترک اکسیژن، چهاروجهی‌ها را به وجود می‌آورد. در یک هشت‌وجهی، یک یون فلز به‌وسیله شش اتم اکسیژن جذب شده است و آرایش آن‌ها نزدیک یکدیگر و پیوند با اتم‌های مشترک اکسیژن، هشت وجهی‌ها را شکل می‌دهد. آرایش لایه‌ای سیلیکات و لایه‌های هشت‌وجهی با یکدیگر منجر به تشکیل رس‌های مختلف می‌شود.

در حالتی که هر لایه هشت‌وجهی به‌وسیله یک لایه چهاروجهی احاطه شده است، ساختار  $m:n$ ، به‌صورت  $1:1$  می‌باشد. (به‌طور مثال کائولینیت).

در حالتی که هر لایه هشت‌وجهی با دو لایه چهاروجهی ساندویچ شده باشد، ساختار  $m:n$ ، به‌صورت  $1:1$  می‌باشد (به‌طور مثال اسمکتیت‌ها).

در اینجا، به‌دلیل فقدان استحکام پیوند-H در نگه‌داشتن لایه‌ها در کنار هم، فضای بین لایه‌ای قابل ملاحظه‌ای وجود دارد.

این ساختار، رس را گسترش می‌دهد و تعداد مولکول‌های آب و یون‌ها، ضخامت فضای بین لایه‌ای را تعیین می‌کند و نتایج آن انقباض و تورم رس است.

### الف-۳ گالری

گالری فضایی بین لایه‌های رس است. گالری‌ها در حضور کاتیون‌ها، مولکول‌های آب و دیگر مولکول‌ها ایجاد می‌شوند. گالری‌ها می‌توانند در بین لایه‌های رس اینترکلیت شده شوند. به‌طور کلی، هنگامی که جانشینی یک‌ریختی (و لبه‌های شکسته) سبب می‌شوند که رس دارای بار منفی شود، کاتیون‌ها در اینجا جمع می‌شوند. فاصله بین دو لایه مجاور رس به‌عنوان ضخامت گالری یا ارتفاع گالری رس ذکر می‌شود.

### الف-۴ جانشینی یک‌ریختی

در جانشینی یک‌ریختی، یک یا چند یون در لایه‌های چهاروجهی یا هشت‌وجهی با یون‌های مختلف جایگزین می‌شوند. در جایگزینی  $Al^{3+}$  با  $Mg^{2+}$  (به‌طور مثال)، بار منفی اضافی حاصل می‌تواند کاتیون‌های مناسب را جذب کند و منجر به اصلاح رس شود. جانشینی  $Al^{3+}$  با  $Si^{4+}$  در لایه‌های چهاروجهی منجر به بار مثبتی می‌شود که می‌تواند در اصلاح بیشتر رس مورد استفاده قرار گیرد.

### الف-۵ اصلاح کردن

اغلب سیلیکات رس‌های لایه‌ای به‌طور طبیعی آب‌دوست هستند. این موضوع سبب می‌شود که آن‌ها برای اختلاط و برهمکنش با بیشتر ماتریس‌های بسیار که اغلب آب‌گریز هستند، خیلی مناسب نباشند [26] [28]. علاوه بر این، انباشت‌هایی از لایه‌های رس به‌وسیله نیروهای ایستابرقی<sup>۱</sup> محکم در کنار هم قرار گرفته‌اند. به‌همین دلایل، پیش از استفاده از رس در ساخت یک نانوچندسازه بسپاری، باید رس اصلاح شود (به پیوست ب مراجعه شود). ساخت یک چندسازه از یک رس اصلاح نشده خیلی موثر نیست، چون اغلب رس‌ها قادر به برهمکنش با ماتریس نخواهند بود. روش آسان اصلاح سطح رس، روش سنتی تبادل یون است. کاتیون‌ها پیوند قوی به سطح رس ندارند، بنابراین کاتیون‌های مولکول کوچک می‌توانند جایگزین کاتیون‌های موجود در رس شوند. با تبادل یون‌های موجود بین لایه‌ای با کاتیون‌های آلی گوناگون، رس مونت‌موری لونیت با طیف گسترده‌ای از بسپارهای ماتریسی می‌تواند سازگار باشد. در همین زمان، این فرآیند به جداسازی پودرهای صفحه‌ای شکل رس کمک می‌کند، بنابراین آن‌ها راحت‌تر اینترکلیت و ورقه‌ورقه می‌شوند.

با تبادل کاتیون‌های مبادله‌پذیر با کاتیون‌های آلی که مواد سطح‌فعال نیز نامیده می‌شوند، انرژی سطح رس کاهش یافته و ضخامت گالری گسترش می‌یابد. ماده حاصل، نانومواد رس اصلاح شده با مواد آلی یا رس‌های آلی نامیده می‌شود. فاصله پایه رس‌های آلی لایه‌ای حاصل به ساختار شیمیایی مواد سطح‌فعال، درجه تبادل کاتیون و ضخامت لایه سیلیکات بستگی دارد [29].

مونت‌موری لونیت‌های اصلاح‌شده شیمیایی با مواد آلی به‌صورت پایه‌ای و در کاربردهای عملی در زمینه هیبریدهای آلی- معدنی و چندسازه‌ها و چندسازه‌های نانومقیاس به‌صورت گسترده‌ای مورد مطالعه قرار

1 - Electrostatic

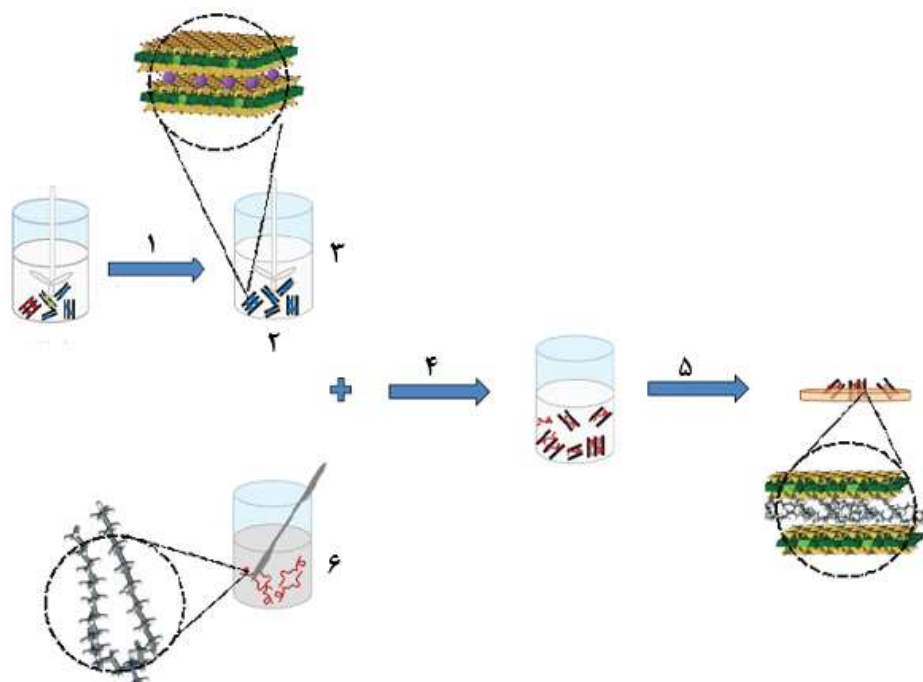
گرفته است [30]. مواد سطح فعال آمونیوم مورد استفاده در رس های آلی تجاری در دسترس به طور معمول زنجیره های کوتاه آلیفاتیک و گروه های بنزیل را یکپارچه و ممزوج می کنند [30] [34]. همچنین مواد سطح فعال فوسفونیم در آماده سازی رس های آلی مورد استفاده قرار می گیرد [35] [39]. مواد سطح فعال فوسفونیم نسبت به مواد سطح فعال آمونیوم از نظر حرارتی پایدارتر هستند (به پیوست ب مراجعه شود).

## پیوست ب

### (آگاهی دهنده)

#### نانومواد رس لایه‌ای اصلاح شده با مواد آلی (رس آلی)

رس آلی، یک فیلوسیلیکات اصلاح شده با مواد آلی است که از یک کانی رسی طبیعی مشتق می‌شود. با تبادل کاتیون‌های اصلی بین لایه‌ای و کاتیون‌های آلی (به‌طور معمول یون‌های آلکیل آمونیوم چهارتایی)، یک سطح آلی دوست تولید می‌شود که متشکل از بخش‌های آلی است که به‌صورت کووالانسی مرتبط هستند (به شکل ب- ۱ مراجعه شود). ساختار لایه‌لایه‌ای مشابه فیلوسیلیکات اولیه باقی می‌ماند. جدایش لایه‌ها به‌دلیل تبادل یونی همانند تغییر مشخصه شیمیایی سطح رس، به بسپارش درجا یا اختلاط با بسپارهای خاص اجازه می‌دهد تا نانوچندسازه به‌دست‌آید. هنگامی که آلومینوسیلیکات منظم یا سایر لایه‌های سیلیکاتی به موازات یکدیگر قرار می‌گیرند که با نوع خاصی از زنجیره‌های بسپاری جدا شده‌اند، سامانه به‌عنوان یک نانوچندسازه اینترکلایت شده طبقه‌بندی می‌شود. اگر جدایش لایه‌ها بسیار قابل توجه باشد که دیگر صفحات در مقابل یکدیگر قرار نگرفته‌باشند، بلکه به‌صورت تصادفی مرتب شده باشند، آنگاه یک نانوچندسازه ورقه‌ورقه‌شده به‌دست می‌آید [12] [13].



راهنما:

۱ □ خالص‌سازی "تبادل یونی با یون  $\text{Na}^+$ ؛

۲ هم‌زنی به مدت ۲۴ ساعت؛

۳ تعلیق رس + آب؛

۴ هم‌زنی ملایم به مدت ۱۲ ساعت؛

۵ تبخیر / فیلتراسیون؛

۶ نمک کاتیونی + دی اتیل اتر؛

یون‌های  $\text{Na}^+$ ؛

یون‌های  $\text{Fe}^{2+}$ ؛

یون‌های  $\text{K}^+$ .

شکل ب-۱- فرآیند نمونه آماده‌سازی نانوماده رس لایه‌ای اصلاح شده شیمیایی با مواد آلی  $\text{K}^+$

به دلیل داشتن مساحت سطح بزرگ به همراه زنجیره‌های آب‌گریز خارج شده از سطح رس، از رس آلی می‌توان برای زدایش روغن از آب استفاده کرد. همچنین به‌عنوان یک جزء در فرمول‌بندی رنگ یا به‌عنوان یک گرانش‌ساز<sup>۱</sup> برای شاره‌های حفاری روغن‌پایه کاربرد دارد. می‌توان از آن در شیمی بسیاری به‌عنوان عامل جوانه‌زنی استفاده کرد [13].

پیوست پ

(آگاهی دهنده)

تغییرات انجام شده در این استاندارد در مقایسه با استاندارد منبع

پ-۱ بخش‌های حذف شده:

- مقدمه: در صفحه «ی» سطر پنجم عبارت «در بتن، به عنوان کاتالیزگر در بسیاری از صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند» حذف شده است.

پ-۲ بخش‌های اضافه شده:

- بند ۳ اصطلاحات و تعاریف: برای یکسان‌سازی استانداردهای فناوری نانو از تعاریف ارائه شده در استانداردهای ملی استفاده شده است، لذا جملات «یادآوری ۱- نانوفازهای گازی مستثنا می‌شوند (آن‌ها زیر عنوان ماده نانومتخلخل مطرح می‌شوند)» و «یادآوری ۲- مواد با فازهای نانومقیاس که فقط به وسیله رسوبگیری تشکیل می‌شوند مواد نانوچندسازه به شمار نمی‌آیند» اضافه شده است.

پ-۳ بخش‌های جایگزین شده:

- هدف و دامنه کاربرد: عبارت «مشخصات قابل اندازه‌گیری» جایگزین «مشخصات اندازه‌گیری شده» شده است.

- جدول ۲: در سطر پنجم ستون دوم عبارت «مقاومت ویژه الکتریکی» جایگزین «مقاومت الکتریکی» شده است.

- زیربند ۴-۵-۱: در عنوان زیربند، عبارت «ترکیببندی شیمیایی» جایگزین «میزان ترکیببندی شیمیایی» شده است.

- زیربند ۴-۵-۲: در عنوان زیربند، عبارت «ترکیببندی کانی» جایگزین «میزان ترکیببندی کانی» شده است.

- زیربند ۴-۵-۱۳: در سطر دوم عبارت «استحکام خشک» جایگزین «استحکام پیوند خشک» شده است.

- زیربند ۴-۵-۱۸: در سطر اول، عبارت «مقاومت ویژه الکتریکی» جایگزین «مقاومت الکتریکی» شده است.

- جدول ۳: در سطر پنجم ستون دوم، عبارت «ترکیببندی شیمیایی» جایگزین «میزان ترکیببندی شیمیایی» شده است.

- جدول ۳: در سطر ششم ستون دوم، عبارت «ترکیببندی کانی» جایگزین «میزان ترکیببندی کانی» شده است.

- پیوست الف، بند الف- ۲: در سطر چهارم عبارت «دو لایه مجاور رس» جایگزین «دو صفحه مجاور رس» شده است.

- شکل ب-۱، راهنما: عبارت «تعلیقه رس+آب» جایگزین «محلول رس+آب» شده است.

- پیوست الف، بند الف-۱: کل مطالب این بند به صورت زیر جایگزین شده است:

«ساختار صفحه رس به طور عمده از دو نوع سلول واحد، چهاروجهی‌های سیلیکات  $(\text{SiO}_4)^{4-}$  و هشت وجهی‌های گیبسیتی یا دیگر هشت وجهی‌های فلزی ( $\text{MetO}_6$ ) تشکیل شده است. در چهاروجهی‌های سیلیکات، یک اتم سیلیکون به وسیله چهار اتم اکسیژن جذب شده است و آرایش آن‌ها نزدیک یکدیگر و پیوند با اتم‌های مشترک اکسیژن، چهاروجهی‌ها را به وجود می‌آورد. در یک هشت‌وجهی، یک یون فلز به وسیله شش اتم اکسیژن جذب شده است و آرایش آن‌ها نزدیک یکدیگر و پیوند با اتم‌های مشترک اکسیژن، هشت وجهی‌ها را شکل می‌دهد. آرایش لایه‌ای سیلیکات و لایه‌های هشت‌وجهی با یکدیگر منجر به تشکیل رس‌های مختلف می‌شود.

در حالتی که هر لایه هشت‌وجهی به وسیله یک لایه چهاروجهی احاطه شده است، ساختار  $m:n$ ، به صورت ۱:۱ می‌باشد. (به طور مثال کائولینیت).

در حالتی که هر لایه هشت‌وجهی با دو لایه چهاروجهی ساندویچ شده باشد، ساختار  $m:n$ ، به صورت ۱:۱ می‌باشد. (به طور مثال اسمکتیت‌ها). «



### کتابنامه

- [1] Guggenheim S., Introduction to the Properties of Clay Minerals, University of Illinois
- [2] Murray H., Applied Clay Mineralogy, Volume 2, Occurrences, Processing and Applications of Kaolins, Bentonites, Palygorskitesepiolite, and Common Clays, Elsevier Science, 2006
- [3] Rautureau M., Figueiredo Gomes C. de S., Liewig N., Katouzian-Safadi M., Clays and Health Properties and Therapeutic Uses, Chapter 2 Clay and Clay Mineral Definition, Springer, 201
- [4] Encyclopaedia Britannica, <https://www.britannica.com/science/ion-exchange-capacity>.
- [5] Hay J.N., Shaw S.J., Clay-Based Nanocomposites (2000)
- [6] Nam H J , E bina T ., M izukami F., Formability and Properties of Self-standing Clay Film by Montmorillonite with Different Interlayer Cations, *Colloids and Surfaces A*, **346** (2009) 158–163
- [7] Glossary of some engineering and geological terms, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 25:393-410, doi: 10.1144/EGSP25
- [8] Newman R. H., Estimation of the Lateral Dimensions of Cellulose Crystallites using <sup>13</sup>C NMR Signal Strengths, *Solid State Nuclear Magnetic Resonance* **15**:1 (1999) 21-29
- [9] Gonzalez J. C., Retsos H., Verdejo R., Toki S., Hsiao B. S., Giannelis E. P., Lopez-Manchado M. A., Effect of Nanoclay on Natural Rubber Microstructure, *Macromolecules* **41** (2008), 6763-6772
- [10] Zhou X., Liu D., Bu H., Deng L., Liu H., Yuan P., Du H., Son H. XRD-based Quantitative Analysis of Clay Minerals using Reference Intensity Ratios, Mineral Intensity Factors, Rietveld, and Full Pattern Summation Methods: *Solid Earth Sciences* 3:1 (2018) 16-29
- [11] Sheng N., Boyce M.C., Parks D.M., Rutledge G.C., Abes J.I., Cohen R.E., Multiscale Micromechanical Modeling of Polymer/Clay Nanocomposites and the Effective Clay Particle, *Polymer* **45** (2004) 487–506 [12] Mohan T. P., Kanny K., Using Image Analysis for Structural and Mechanical Characterization of Nanoclay Reinforced Polypropylene Composites, *Engineering*, 2:10, (2010) 802-812
- [13] Jyi. -J. Jin Luo, Isaac M. Daniel, Characterization and Modeling of Mechanical Behavior of Polymer/clay Nanocomposites, *Composites Science and Technology* **63** (2003) 1607–1616
- [14] Japanese Pharmacopoeia (JP), 3.01 Determination of Bulk and Tapped Densities as it appears in the JP Sixteenth Edition (March 24, 2011, The Ministry of Health, Labour and Welfare Ministerial Notification No. 65)
- [15] European Pharmacopoeia, Chapter 2.9.34. Bulk density and tapped density of powders
- [16] Kaufhold S., Dohrmann R., Klinkenberg M., Water Uptake Capacity of Bentonites. *Clays and clay minerals*, **58** (2010) 37-43
- [17] Torrent J, Schwertmann U., Fechter H ., A lferez F., Quantitative Relationships between Soil Color and Hematite Content. *Soil Science*, **136**:6 (1983)
- [18] AS/NZS 1580-601.3:1994, (Reconfirmed 2013), *Methods of Test for Paints and Related Materials - Colour - Methods of Colour Measurement*
- [19] Yukselen Y., K aya A, Suitability of the Methylene Blue Test for Surface Area, Cation Exchange Capacity and Swell Potential Determination of Clay Soils, *Engineering Geology* **102** (2008) 38–45
- [20] Petersen L.W., Moldrup P., Jacobsen O. H., Rolston D. E., Relations between Specific Surface Area and Soil Physical and Chemical Properties. *Soil Sci*, **161**:1 (1996) 9-21

- [21] Hassani A , M urat Kirans R ., Darvishi Cheshmeh Soltani A ., L ireza Khataee S ., E mra Karaca , Optimization of the Adsorption of a Textile Dye onto Nanoclay Using a Central Composite Design, *Turkish Journal of Chemistry* **39**(4) (2015)
- [22] Thomas J R. J., B ohor B.F., Surface Area of Montmorillonite from the Dynamic Sorption of Carbon Dioxide and Nitrogen, *Clays and Clay Minerals*, **16** (1968) 83-91
- [23] Cerato A my B, L utenegger Alan J., Determination of Surface Area of Fine-Grained Soils by the Ethylene Glycol Monoethyl Ether (EGME) Method, *Geotechnical Testing Journal*, *Geotechnical Testing Journal*, **25**:3 (2002)
- [24] Macht F., Eusterhues K. Johanna Pronk G., Uwe Totsch K S pecific Surface Area of Clay Minerals: Comparison between Atomic Force Microscopy Mmeasurements and Bulk-gas (N) and -Liquid (EGME) Aadsorption Methods. *Applied Clay Science* **53** (2011) 20-26
- [25] Ebina T., presentation file, Clay Film Technologies. Advanced Functional Materials Team Research Center for Compact Chemical System National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
- [26] Jordan J. W., "Organophilic Bentonites: I Swelling in Organic Liquids", *The Journal of Physical Chemistry*, **53**:2 (1949) 294-306
- [27] Van Olphen H., "An Introduction to Clay Colloidal Chemistry," Wiley, New York (1977) 66-67
- [28] Giannelis E. P., "Polymer Layered Silicate Nanocomposites", *Advanced Materials*, **8**:1 (1996) 29-35
- [29] Maiti P., Yamada K., Okamoto M., Ueda K., Okamoto K., "New Poly lactide/Layered Silicate Nanocomposites: Role of Organoclays", *Chemistry of Materials*, **14**:11 (2002) 4654-4661
- [30] Kojima J., Usuki A., Okada A., Kurauchi T., Kamigaito O., "One-Pot Synthesis of Nylon 6-Clay Hybrid" *Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry*, **31**:7 (1993) 1755-1758
- [31] Alexandre M., Dubois P. "Polymer-Layered Silicate Nanocomposites: Preparation, Properties and Uses of a New Class of Materials," *Materials Science Engineering*, 28:1-2, (2000) 163
- [32] Vaia R. A., Teukolsky R. K., Giannelis E. P., "Interlayer Structure and Molecular Environment of Alkylammonium Layered Silicates", *Chemistry of Materials*, **6**:7 (1994) 1017-1022
- [33] Xie W., Gao Z., Pan W., Hunter D., Singh A., Vaia R., "Thermal Degradation Chemistry of Alkyl Quaternary Ammonium MMT", *Chemistry of Materials*, **13**:9 (2001) 2979-2990
- [34] Li Y., Ishida H., "A Study of Morphology and Intercalation Kinetics of Polystyrene-Organoclay Nanocomposites", *Macromolecules*, **38**:15 (2005) 6513-6519
- [35] Zhu J., Morgan A., Lamelas F., Wilkie C., "Fire Properties of Polystyrene-Clay Nanocomposites", *Chemistry of Materials*, **13**:10 (2001) 3774-3780
- [36] Hartwig A, P utz D., S chartel M. a nd M. W endschuh Josties, Combustion B ehaviour o f Epoxide Based Nanocomposites with Ammonium and Phosphonium Bentonites," *Macromolecular Chemistry and Physics*, **204**:18 (2003) 2247-2257
- [37] Hrobarikova J Robert J .. Calberg C , Jerome R ., Grandjean J., "Solid-State NMR Study of Intercalated Species in Poly( $\epsilon$ -Caprolactone)/Clay Nanocomposites", *Langmuir*, **20**: 22 (2004) 9828-9833
- [38] Kim M, Park C , Choi W., Lee J ., Lim J ., Park O ., K im J., "Synthesis and Material Properties of Syndiotactic Polystyrene/Organophilic Clay Nanocomposites", *Journal of Applied Polymer Science*, **92**:4 (2004) 2144-2150
- [39] Xie W., Xie R., Pan W., Hunter D., Koene B., Tan L., Vaia R., "Thermal Stability of Quaternary Phosphonium Modified Montmorillonites", *Chemistry of Materials*, **14**:11 (2002) 4837-4845
- [40] ISO 8336:2017, Fibre-cement flat sheets — Product specification and test methods  
 یادآوری ۱- استاندارد ملی ایران شماره ۷۵۱۵: سال ۱۳۸۳، ورق‌های صاف الیاف سیمانی- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون با استفاده از استاندارد ISO 8336: 1993، تدوین شده‌است.

[۴۱] استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۵۲۵: سال ۱۳۹۱: تعیین مساحت سطح ویژه جامدات توسط جذب سطحی گاز- روش BET

[۴۲] استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۳۸۳: سال ۱۳۹۲: ژئوسنتتیک‌های حائل رسی - تعیین میزان جذب

[43] ISO 11464:2006, Soil quality — Pretreatment of samples for physico-chemical analysis

[۴۴] استاندارد ملی ایران شماره ۷-۱۱۷۰۸: سال ۱۳۹۷، بررسی و آزمون ژئوتکنیکی- آزمون آزمایشگاهی خاک- قسمت ۷: آزمون تراکم نامحدود (تک محوری)- روش آزمون

[45] ISO/TR 18230:2015, Iron ores — Determination of loss on ignition — Non-oxidised ores

[۴۶] استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۹۶۳: سال ۱۳۹۷، کیفیت خاک - اندازه‌گیری ظرفیت مؤثر تبادل و کاتیون‌های قابل تبادل با استفاده (CEC) کاتیونی از محلول هگزامین کبالت تری کلرید

[47] ISO 26824:2013, Particle characterization of particulate systems — Vocabulary

[48] IEC 62899-202:2016, Printed electronics Part 202: Materials — Conductive ink

[۴۹] استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۸۳۹۲: سال ۱۳۹۳، فناوری‌نانو- واژه‌نامه- قسمت ۴: مواد نانو ساختاریافته

[۵۰] استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۷، فناوری‌نانو- واژه‌نامه- قسمت ۱۱: نانولایه، نانو پوشش، نانوفیلیم و اصطلاحات مرتبط

[51] ASTM D3080/D3080M - 11, Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۶۵۲: سال ۱۳۹۳، خاک- آزمون برش مستقیم خاک‌ها تحت شرایط تحکیم‌یافته زهکشی‌شده- روش آزمون با استفاده از استاندارد ASTM D 3080:2004 تدوین شده‌است.

[52] ASTM C 837-09(2014), Standard test method for methylene blue index of clay

[53] DIN 18132:2012-04, Soil, testing procedures and testing equipment - Determination of water absorption

[54] TAPPI T452, Brightness of pulp, paper, and paperboard (directional reflectance at 457 nm)

[55] TAPPI T646m, Brightness of clay and other mineral pigments (45/0)