



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran  
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲۳۰۰۱

چاپ اول

۱۴۰۰

INSO  
23001  
1st Edition  
2021

فناوری نانو – پوشش‌ها و سطوح  
فوق آب‌گریز – ارزیابی عملکرد و  
طبقه‌بندی براساس اندازه‌گیری زاویه  
تماس به روش قطره بی‌پایه –  
مشخصه‌یابی و روش‌های آزمون

**Nanotechnology – Superhydrophobic  
surfaces and coatings – Performance  
assessment and classification  
according to contact angle  
measurement using sessile drop  
method – Characterization and test  
methods**

ICS: 07.120

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۰۰۱ (چاپ اول): سال ۱۴۰۰

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: [standard@isiri.gov.ir](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>

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۷ تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی 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، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و 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 استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) 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 of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«فناوری نانو- پوشش‌ها و سطوح فوق آب‌گریز- ارزیابی عملکرد و طبقه‌بندی براساس اندازه‌گیری زاویه تماس به روش قطره بی‌پایه - مشخصه‌یابی و روش‌های آزمون»

### رئیس:

سهرابی جهرمی، ابوذر  
(دکتری مهندسی مواد- فناوری نانو)

### سمت و/یا محل اشتغال:

مدیر عامل- شرکت راصد توسعه فناوری‌های پیشرفته

### دبیر:

چینی، سید فرشید  
(دکتری مهندسی مکانیک- فناوری نانو)

عضو هیئت علمی- دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تهران و  
مدیر عامل شرکت نانومهندسی سطح ژیکان

### اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

احمدی، سارا  
(دکتری مهندسی مواد- سرامیک)

عضو هیئت علمی- پژوهشگاه استاندارد

بخشنده، احسان  
(دکتری مهندسی پلیمر- رنگ و پوشش)

مدیر تحقیق و توسعه- شرکت تعاونی رنگ و رزین الوان

بیت‌اللهی، علی  
(دکتری مهندسی مواد)

عضو هیئت علمی- دانشگاه علم و صنعت ایران

پوی پوی، حسن  
(کارشناسی ارشد شیمی)

دبیر- کمیته فنی متناظر فناوری نانو ISIRI/TC 229

جهانپان فر، هومن  
(کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

مدیرعامل- شرکت نانوپاد شریف

درخشنده، رزین  
(کارشناسی مهندسی مکانیک)

کارشناس- شرکت نانومهندسی سطح ژیکان

رمضان‌زاده، بهرام  
(دکتری مهندسی پلیمر- صنایع رنگ)

عضو هیئت علمی- پژوهشگاه رنگ

سیفی، مهوش  
(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

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

شهرکی، مریم  
(دکتری شیمی آلی)

رئیس هیئت مدیره و مدیر تحقیق و توسعه- شرکت نانوفراز  
سپاهان

**اعضا:** (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

غلامی، داود

(کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

فرخنده ماسوله، شبنم

(دکتری شیمی آلی)

مهدویان احدی، محمد

(دکتری مهندسی پلیمر - صنایع رنگ)

گل زردی، سمیرا

(کارشناسی ارشد مهندسی مواد - سرامیک)

**ویراستار:**

سیفی، مهوش

(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

**سمت و/یا محل اشتغال:**

مدیر فنی - شرکت نوین فن سنجش آویسا

مسئول فنی و مدیر تحقیقات - شرکت آژینه ابزار پارس

عضو هیئت علمی - پژوهشگاه رنگ

کارشناس - گروه استاندارد و ایمنی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

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 الزمی   |
| ۲    | ۳ اصطلاحات و تعاریف                                       |
| ۸    | ۴ مشخصه‌یابی و ارزیابی عملکرد                             |
| ۸    | ۱-۴ کلیات   |
| ۱۰   | ۲-۴ آزمون ترشوندگی  |
| ۱۰   | ۳-۴ آزمون‌های دوام مکانیکی و چسبندگی پوشش                 |
| ۱۰   | ۱-۳-۴ آزمون چسبندگی                                       |
| ۱۱   | ۲-۳-۴ آزمون سایش  |
| ۱۲   | ۳-۳-۴ آزمون ضربه نرم                                      |
| ۱۴   | ۴-۳-۴ آزمون ضربه سخت                                      |
| ۱۶   | ۴-۴ آزمون قرارگرفتن در معرض نور آزمایشگاهی                |
| ۱۶   | ۱-۴-۴ شرایط آزمون   |
| ۱۶   | ۲-۴-۴ مراحل آزمون   |
| ۱۶   | ۳-۴-۴ گزارش   |
| ۱۷   | ۵-۴ آزمون مقاومت به مایعات                                |
| ۱۷   | ۱-۵-۴ شرایط آزمون   |
| ۱۷   | ۲-۵-۴ مراحل آزمون   |
| ۱۸   | ۳-۵-۴ گزارش   |
| ۱۸   | ۶-۴ آزمون سیکل دمایی                                      |
| ۱۸   | ۱-۶-۴ شرایط آزمون   |
| ۱۸   | ۲-۶-۴ مراحل آزمون   |
| ۱۸   | ۳-۶-۴ گزارش   |
| ۲۰   | پیوست الف (آگاهی‌دهنده) فرم گزارش مشترک بین تمام آزمون‌ها |
| ۲۲   | پیوست ب (آگاهی‌دهنده) فرم گزارش آزمون چسب نواری           |
| ۲۳   | پیوست پ (آگاهی‌دهنده) فرم گزارش آزمون کاغذ سنباده         |

صفحه

عنوان

۲۴

پیوست ت (آگاهی‌دهنده) فرم گزارش آزمون قطره آب

۲۵

پیوست ث (آگاهی‌دهنده) فرم گزارش آزمون ضربه شن

۲۶

پیوست ج (آگاهی‌دهنده) فرم گزارش آزمون فرابنفش

۲۷

کتاب‌نامه

## پیش‌گفتار

استاندارد «فناوری نانو- پوشش‌ها و سطوح فوق‌آب‌گریز- ارزیابی عملکرد و طبقه‌بندی براساس اندازه‌گیری زاویه تماس به روش قطره بی‌پایه - مشخصه یابی و روش‌های آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده‌است، در یکصدمین اجلاس کمیته ملی استاندارد ملی فناوری نانو مورخ ۱۴۰۰/۰۶/۱۴ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ شده در دی ماه ۱۳۹۶، 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 و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منابع و مآخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

**1- ISO 2812-1, Paints and varnishes — Determination of resistance to liquids — Immersion in liquids other than water**

**یادآوری-** استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۳۸۸: سال ۱۳۹۷، پوشش‌ها و جلاها-تعیین مقاومت در برابر مایعات-قسمت ۱: غوطه‌وری در مایعاتی غیر از آب، با استفاده از استاندارد ISO 2812-1: 2017 تدوین شده‌است.

**2- ISO 19403-1: 2017, Paints and varnishes-Wettability, terminology and general principles**

**3- ISO 19403-6: 2017, Paints and varnishes-Wettability, measurement of dynamic contact angle**



## مقدمه

سطوح فوق آب‌گریز سطوحی به شدت آب‌گریز هستند و به سختی خیس می‌شوند. خاصیت فوق آب‌گریزی در طبیعت در مواردی قابل مشاهده است، مانند: برگ نیلوفر آبی. پدیده فوق آب‌گریزی با «حالت کُسی - بکستر»<sup>۱</sup> و یا «پدیده برگ نیلوفر آبی»<sup>۲</sup> نیز بیان می‌شود.

سطوح فوق آب‌گریز کاربردهای روزافزونی در صنایع مختلف دارند. بعضی از خواص ویژه سطوح فوق آب‌گریز عبارتند از: خاصیت خودتمیزشوندگی، مقاومت در برابر خوردگی، یخ‌گریزی<sup>۳</sup>، ضدغبار بودن، ضدباکتری بودن، کم اصطکاک بودن و سازگار بودن با بدن. بازار تقریبی پوشش‌های فوق آب‌گریز در سال ۲۰۲۰ حدود ۱٫۸ میلیارد دلار بوده است.<sup>۴</sup> برای ساخت سطوح فوق آب‌گریز روش‌های متنوعی توسعه داده شده‌است، مانند: رسوبدهی بخار شیمیایی<sup>۵</sup>، لایه‌نشانی چرخشی<sup>۶</sup>، کندوپاش<sup>۷</sup>، رسوبدهی پلاسما<sup>۸</sup>، حکاکی شیمیایی<sup>۹</sup>، سل-ژل<sup>۱۰</sup>، فوتولیتوگرافی<sup>۱۱</sup>، آندایزینگ<sup>۱۲</sup>، اکسیداسیون پلاسمای الکترولیتی<sup>۱۳</sup>. سطوح فوق آب‌گریز به دلیل خاصیت‌های مذکور در صنایع مختلف کاربرد فراوانی دارند. سطوح فوق آب‌گریز مورد استفاده در صنعت، در معرض شرایط کاری مختلفی قرار می‌گیرند و خواص سطوح فوق آب‌گریز به تدریج تغییر کرده و یا از بین می‌رود. این شرایط کاری عبارتند از: سایش مکانیکی، قرار گرفتن در معرض نور خورشید، قرار گرفتن در محیط شیمیایی خورنده و سیکل دمایی. بنابراین دوام سطوح فوق آب‌گریز هنگامی که در برابر این شرایط قرار می‌گیرند باید بررسی شود.

برای سنجش کمی آب‌گریزی، از آزمون زاویه تماس استفاده می‌شود. طبق تعریف علمی، زاویه تماس استاتیکی سطوح فوق آب‌گریز بالای ۱۵۰ درجه و زاویه تماس پسماند آنها کمتر از ۱۰ درجه است. برای دستیابی به زاویه تماس بزرگتر از ۱۵۰ درجه، علاوه بر انرژی سطحی کم، زبری سطح نیز لازم است. همچنین برای داشتن زاویه تماس پسماند کمتر از ۱۰ درجه، زبری‌ها باید در ابعاد نانو باشند تا آب به درون زبری‌ها نفوذ نکند. لازم به ذکر است در صورت نفوذ آب به درون زبری‌ها، علیرغم اینکه زاویه تماس ممکن است زیاد باشد ولی زاویه تماس پسماند دیگر کوچکتر از ۱۰ درجه نخواهد بود. سطوح با زاویه تماس بالای ۱۵۰ درجه

1- Cassie-Baxter

2- Lotus effect

3- Icephobicity

4- <https://www.bccresearch.com/market-research/advanced-materials/hydrophobic-superhydrophobic-coatings-tech-markets-report.html>

5- Chemical vapor deposition

6- Spin coating

7- Sputtering

8- Plasma vapor deposition

9- Chemical etching

10- Sol-gel

11- Photolithography

12- Anodizing

13- Plasma electrolyte oxidation

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۰۰۱ (چاپ اول): سال ۱۴۰۰

و زاویه تماس پسماند بالا، سطوح شبه‌فوق‌آب‌گریز نامیده می‌شوند (بیان‌های دیگر شبه‌فوق‌آب‌گریزی: «اثر گلبرگ رز»<sup>۱</sup> و «حالت ونزل»<sup>۲</sup> است).

متاسفانه علیرغم بازار بزرگ و روزافزون سطوح فوق‌آب‌گریز، تاکنون استاندارد ملی و بین‌المللی برای ارزیابی عملکرد سطوح فوق‌آب‌گریز هنگامی که در معرض شرایط محیطی مختلف قرار می‌گیرند، وجود ندارد. این استاندارد برای رسیدن به هدف فوق‌تدوین شده‌است و زبان مشترکی بین خریدار و فروشنده ایجاد می‌کند.

---

1- Rose petal effect  
2- Wenzel

## فناوری نانو- پوشش‌ها و سطوح فوق‌آب‌گریز- ارزیابی عملکرد و طبقه‌بندی براساس اندازه‌گیری زاویه تماس به روش قطره بی‌پایه - مشخصه‌یابی و روش‌های آزمون

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین روش‌های آزمون برای ارزیابی عملکرد سطوح و پوشش‌های فوق‌آب‌گریز است. هنگامی که این سطوح در معرض شرایط محیطی مختلف مانند: تنش برشی و نرمال، سایش، ضربه نرم (مانند آب)، ضربه سخت (مانند شن)، نور خورشید، مایعات (اسید، باز، مواد یونی) و سیکل دمایی قرار می‌گیرند، ممکن است خواص فوق‌آب‌گریز خود را تا حدی و یا به‌طور کامل از دست بدهند. معیار ارزیابی عملکرد خواص فوق‌آب‌گریزی براساس اندازه‌گیری زوایای تماس پیشروی، پسروی و محاسبه زاویه تماس پسماند قبل و بعد از قرارگرفتن سطح در معرض شرایط ذکرشده در بالا است. انتخاب نوع آزمون به کاربرد سطح یا پوشش فوق‌آب‌گریز و توافق طرفین ذی‌نفع بستگی دارد.

در این استاندارد اشاره‌ای به مسائل ایمنی نشده و لازم است تا کاربر خود مسائل ایمنی را مدنظر قرار دهد.

### ۲ مراجع الزامی

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

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

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

#### 2-1 ISO 7784-3, Paints and varnishes— Determination of resistance to abrasion— Method with abrasive-paper covered wheel and linearly reciprocating test panel

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۳-۲۱۳۷۳: سال ۱۳۹۵، پوشش‌ها و جلاها- اندازه‌گیری مقاومت به سایش - قسمت: ۳: روش چرخ‌های پوشیده شده با کاغذ سنباده و آزمون با حرکت رفت و برگشتی خطی، با استفاده از استاندارد ISO 7784-3: 2016 تدوین شده است.

#### 2-2 ISO 9211-4: 2012, Optics and photonics— Optical coatings— Specific test methods

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۷۸۱۲: سال ۱۳۹۳، اپتیک و فوتونیک - اندوذهای اپتیکی - قسمت ۴: روش‌های آزمون ویژه، با استفاده از استاندارد ISO 9211-4: 2010 تدوین شده است.

**2-3 ISO 16474-1, Paints and varnishes— Methods of exposure to laboratory light sources— General guidance**

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۹۲۴۷: سال ۱۳۹۳، پوشش‌نگها و جلاها — روش‌های نوردهی با منابع نوری آزمایشگاهی — قسمت ۱: راهنمای کلی، با استفاده از استاندارد ISO 16474-1: 2013 تدوین شده است.

**2-4 ISO 16474-2, Paints and varnishes— Methods of exposure to laboratory light sources— Xenon-arc lamps**

**2-5 ISO 16474-3, Paints and varnishes— Methods of exposure to laboratory light sources— Fluorescent UV lamps**

**2-6 ISO/TR 21555, Paints and varnishes— Overview of test methods on hardness and wear resistance of coatings**

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود.<sup>۱</sup>

۱-۳

سایش

#### **abrasion**

فرایند کندن یا تغییر شکل دادن یک سطح با اصطکاک، در اثر مالش است.

[منبع: زیربند 3.6، استاندارد ISO/TR 21555: 2019]

۲-۳

زاویه تماس پیشروی

#### **advancing contact angle**

زاویه تماسی است که از حرکت رو به جلوی مایع روی سطح جامد به دست آید. برای توضیح بیشتر به شکل ۱-ب مراجعه شود.

---

۱- اصطلاحات و تعاریف به کاررفته در این استاندارد در وبگاه‌های [www.iso.org/obp](http://www.iso.org/obp) و [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org) قابل دسترس است.



راهنما:

$\gamma_{SL}$  کشش سطحی بین فاز جامد و مایع

$\gamma_{SG}$  کشش سطحی بین فاز جامد و گاز

$\gamma_{LG}$  کشش سطحی بین فاز مایع و گاز

$\theta_y$  زاویه تماس یانگ (تعادل)

راهنما:

$\theta_a$  زاویه تماس پیشروی

$\theta_r$  زاویه تماس پسروی

زاویه تماس پسماند  $CAH^1 = \theta_a - \theta_r$

ب

الف

شکل ۱- (الف) زاویه تماس یانگ و (ب) زوایای تماس پیشروی و پسروی

۳-۳

زاویه تماس

## contact angle

زاویه بین خط مماس بر قطره و سطح جامد در نقطه سه گانه (جامد-مایع-گاز) است که از داخل مایع اندازه گیری می شود. این زاویه خاصیت آب دوستی و آب گریزی سطح را کمی می کند. زوایای تماس کم، بیانگر تمایل سطح به جذب آب و زوایای تماس بالا، نشان دهنده تمایل کم سطح به جذب آب است. برای توضیح بیشتر به شکل ۱-الف مراجعه شود.

[منبع: زیربند 3.1.9، استاندارد ISO 19403-1: 2017]

### زاویه تماس پسماند

#### **contact angle hysteresis**

تفاضل زاویه تماس پیشروی و پسروی است که به صورت کیفی نیروی لازم برای جدا کردن قطره از سطح را نشان می‌دهد.

[منبع: زیربند 3.4، استاندارد ISO 19403-6: 2017]

### همگنی شیمیایی

#### **chemical homogeneity**

ساختار همگن شیمیایی، سطحی است که موردآزمون قرار می‌گیرد. این تعریف صرفاً کیفی است. در مورد مبحث زاویه تماس، اگر زاویه تماس در نقاط مختلف سطح تغییر معناداری نداشته باشد، یک سطح از نظر شیمیایی نسبتاً همگن است.

[منبع: زیربند 3.1.1، استاندارد ISO 19403-1: 2017]

### حرکت رفت و برگشت

#### **double stroke**

یک سیکل کامل حرکتی (رفت و برگشتی) چرخ ساینده است.

[منبع: زیربند 3.2، استاندارد ISO 7784-3: 2013]

### زاویه تماس پویا

#### **dynamic contact angle**

زاویه تماسی است که هنگام پیشروی و یا پسروی خط سه‌گانه اندازه‌گیری می‌شود. پسروی و پیشروی خط سه‌گانه با تغییر حجم قطره موردآزمون یا غلتاندن قطره روی یک سطح شیب‌دار به دست می‌آید.

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۰۰۱ (چاپ اول): سال ۱۴۰۰

[منبع: زیربند 3.1، استاندارد ISO 19403-6:2017]

۸-۳

سختی

### hardness

قابلیت مقاومت فیلم خشک و یا پوشش به نفوذ و یا فرورفتگی یک جسم جامد است.

[منبع: زیربند 3.1، استاندارد ISO/TR 21555: 2019]

۹-۳

زاویه تماس پسروری

### receding contact angle

زاویه تماس بین سطح و مایع است هنگامی که مایع از روی سطحی که قبلاً ترشده، جمع می‌شود. برای توضیح بیشتر به شکل ۱-ب مراجعه شود.

[منبع: زیربند 3.3، استاندارد ISO 19403-6: 2017]

۱۰-۳

زاویه غلتیدن

### roll-off angle

زاویه دادن تدریجی به سطح یک جسم جامد که باعث حرکت رو به پایین قطره بر روی آن سطح می‌شود.

[منبع: زیربند 3.1، استاندارد ISO 19403-7: 2017]

۱۱-۳

زاویه تماس ایستایی

### static contact angle

زاویه تماس در حالت تعادل ایستایی (خط تماس مایع نسبت به سطح جامد برای مدت طولانی حرکتی نمی‌کند) است.

### پوشش فوق آب‌گریز

#### **superhydrophobic coating**

پوششی که پس از اعمال روی سطح، زاویه تماس آب روی آن بیش از ۱۵۰ درجه و زاویه تماس پسماند آب روی آن کمتر از ۱۰ درجه باشد.

۱۳-۳

### سطح فوق آب‌گریز

#### **superhydrophobic surface**

سطحی که از ماده آب‌گریز ساخته شده است و دارای زبری در ابعاد نانو است. زاویه تماس آب روی آن بیش از ۱۵۰ درجه و زاویه تماس پسماند آب روی آن کمتر از ۱۰ درجه است.

۱۴-۳

### همگنی مکانی

#### **topological homogeneity**

همگنی ماکروسکوپی سطح که شامل همواری و صاف بودن سطح است. در مورد مبحث زاویه تماس، یک سطح از نظر مکانی نسبتاً همگن است اگر زاویه تماس در نقاط مختلف سطح تغییر معناداری نداشته باشد.

[منبع: زیربند 3.1.2، استاندارد ISO 19403-1: 2017]

۱۵-۳

### ترشوندگی

#### **wettability**

درجه تر شدن است.

[منبع: زیربند 3.1.12، استاندارد ISO 19403-1: 2017]



### سایش

#### wear

تغییر برگشت‌ناپذیر پوشش که به وسیله ضربه مکانیکی یک شیء متحرک ایجاد می‌شود.

[منبع: زیربند 3.2، استاندارد ISO/TR 21555: 2019]

#### مقاومت در برابر ضربه نرم

#### soft impact resistance

مقاومت پوشش نسبت به ضربه حاصل از برخورد ذرات نرم (ذره با قابلیت تغییر شکل) است. باید توجه شود که ذرات نرم ذراتی هستند که به خاطر تغییر شکل، تمام انرژی خود را به سطح منتقل نمی‌کنند، همانند قطرات آب.

#### مقاومت در برابر ضربه سخت

#### hard impact resistance

مقاومت پوشش نسبت به ضربه حاصل از برخورد ذرات سخت (غیرقابل تغییر شکل) است. باید توجه شود که ذرات سخت ذرات صلبی هستند که تمام تکانه<sup>۱</sup> خود را به سطح منتقل می‌کنند، همانند ذرات شن.

#### دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس

#### contact angle measurement instrument

دستگاهی است که برای اندازه‌گیری زاویه تماس و ترشوندگی سطوح استفاده می‌شود.

## ۴ مشخصه‌یابی و ارزیابی عملکرد

## ۴-۱ کلیات

سطوح و پوشش‌های فوق‌آب‌گریزی که در صنعت به کار می‌روند، در شرایط کاری متفاوتی قرار می‌گیرند، بنابراین عملکرد آنها باید بعد از قرار گرفتن در آن شرایط، ارزیابی شود. این ارزیابی با اندازه‌گیری زاویه تماس پیشروی، پسروی و پسماند پیش و پس از قرار گرفتن در شرایط کاری انجام می‌شود. شرایط کاری این آزمون‌ها عبارتند از: آزمون دوام مکانیکی و چسبندگی پوشش (آزمون چسبندگی، آزمون سایش، آزمون ضربه نرم، آزمون ضربه سخت)، آزمون قرار گرفتن در معرض نور آزمایشگاهی، آزمون مقاومت به مایعات (اسیدی، بازی، یونی و آلی) و آزمون سیکل دمایی. بسته به نوع کاربرد و درخواست تولیدکننده و مصرف‌کننده، روش مورد توافق فروشنده و خریدار انتخاب، انجام و گزارش می‌شود.

بیشینه اندازه زاویه تماس بر روی یک سطح صاف حدود ۱۲۰ درجه است (بر روی سطح پلی‌تترافلورواتیلن (PTFE)<sup>۱</sup>). با افزایش زبری سطح، زاویه تماس ممکن است افزایش یابد و یا کمتر شود. اگر زاویه تماس اولیه بیشتر از ۹۰ درجه باشد، افزایش زبری باعث افزایش زاویه تماس می‌شود. افزایش زبری ممکن است زاویه تماس پسماند را افزایش دهد. در صورتی که آب بتواند داخل زبری‌ها نفوذ کند، زاویه تماس پسماند کاهش می‌یابد. زوایای تماس ایستایی در صورتی که درست اندازه‌گیری شوند، با زاویه تماس پیشروی برابر هستند. سطوح از نظر ترشوندگی به چهار دسته فوق‌آب‌گریز، آب‌گریز، آب‌دوست و فوق‌آب‌دوست تقسیم می‌شوند.

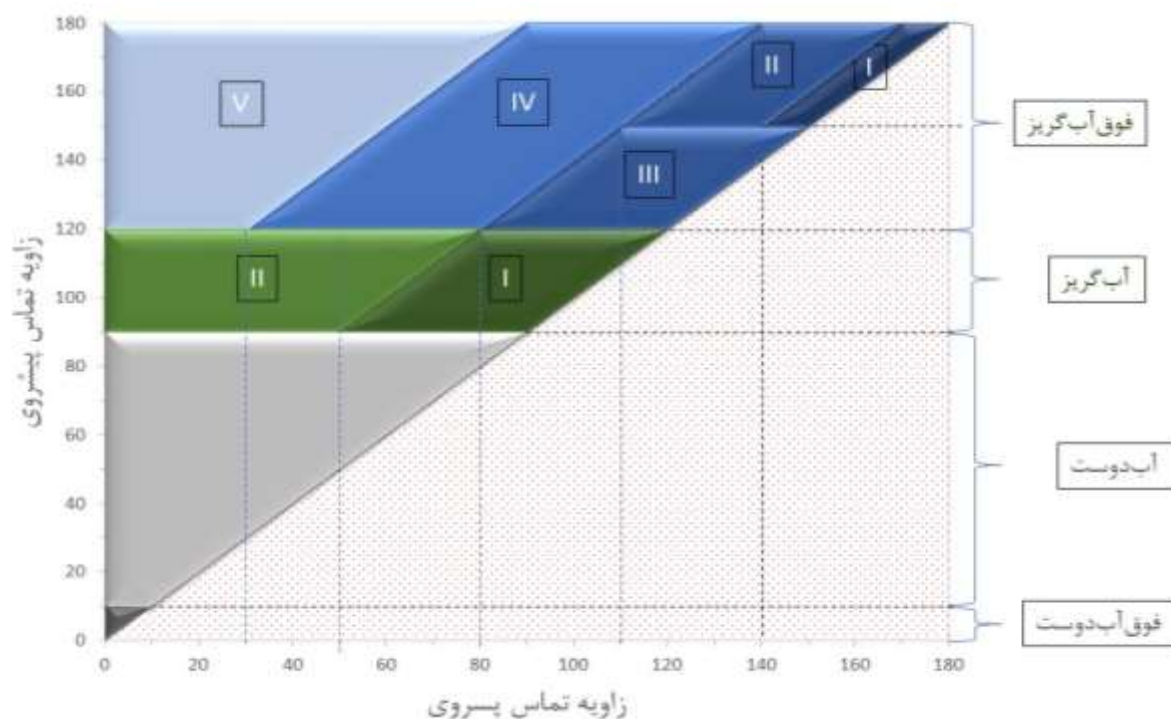
چسبندگی قطره به سطح، با زاویه تماس پسماند نسبت مستقیم دارد و هرچه زاویه تماس پسماند کوچکتر باشد، چسبندگی قطره به سطح کمتر است و در نتیجه نیروی کمتری برای جدا شدن قطره از سطح نیاز است. در ضمن هرچه زاویه تماس بزرگتر باشد، به این معناست که برای یک حجم معین قطره، نیروی سطحی (مثلاً نیروی باد) بیشتری می‌تواند به قطره وارد شود. پس برای کاربردهایی که هیچگونه نیروی سطحی و باد به قطره وارد نمی‌شود (مناطق که بادخیز نیستند) صرفاً زاویه تماس پسماند کم، مفید است. ولی چون در اکثر کاربردها علاوه بر نیروی حجمی (وزن)، نیروی سطحی (باد) نیز به قطره وارد می‌شود، زاویه تماس زیاد و زاویه تماس پسماند کم هر دو لازم است. جدول ۱ و شکل ۱ دسته‌بندی سطوح فوق‌آب‌گریز، آب‌گریز، آب‌دوست و فوق‌آب‌دوست را نشان می‌دهد که در این استاندارد پیشنهاد می‌شود.

دسته بندی محدوده فوق‌آب‌گریز از نقطه نظر مجلات علمی محدود به درجه ۱ فوق‌آب‌گریزی شکل زیر است و درجه‌های فوق‌آب‌گریز ۲ تا ۵ که در شکل زیر مشخص شده‌اند، در مجلات علمی، نه در محدوده آب‌گریز و نه در محدوده فوق‌آب‌گریز قرار دارند. اهمیت این درجه‌بندی آنجا مشخص می‌شود که بسیاری از محصولات

---

1- Polytetrafluoroethylene

تجاری در این بازه زاویه تماس قرار دارند. از آنجا که خواص و نحوه ساخت این درجات بیشتر شبیه سطوح فوق آب‌گریز است، در این استاندارد درجات مذکور به صورت فوق آب‌گریز درجه ۲ تا ۵ مشخص شده‌اند.



شکل ۱- درجه‌های فوق آب‌گریزی، آب‌گریزی، آب‌دوستی و فوق آب‌دوستی

جدول ۱- تعیین نوع سطح از لحاظ تَرشوندگی

| زاویه تماس پسماند<br>(CAH)  | زاویه تماس پسروی<br>( $\theta_R$ ) | زاویه تماس پیشروی<br>( $\theta_A$ ) | نوع سطح            |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| $CAH < 10^\circ$            | $\theta_R > 140^\circ$             | $\theta_A > 150^\circ$              | فوق آب‌گریز درجه ۱ |
| $10^\circ < CAH < 40^\circ$ | $\theta_R > 110^\circ$             | $\theta_A > 150^\circ$              | فوق آب‌گریز درجه ۲ |
| $CAH < 40^\circ$            | $\theta_R > 80^\circ$              | $150^\circ > \theta_A > 120^\circ$  | فوق آب‌گریز درجه ۳ |
| $40^\circ < CAH < 90^\circ$ | $\theta_R > 30^\circ$              | $\theta_A > 120^\circ$              | فوق آب‌گریز درجه ۴ |
| $CAH > 90^\circ$            | -                                  | $\theta_A > 120^\circ$              | فوق آب‌گریز درجه ۵ |
| $CAH < 40^\circ$            | $\theta_R > 50^\circ$              | $120^\circ > \theta_A > 90^\circ$   | آب‌گریز درجه ۱     |
| $CAH > 40^\circ$            | -                                  | $120^\circ > \theta_A > 90^\circ$   | آب‌گریز درجه ۲     |
| -                           | -                                  | $10^\circ < \theta_A < 90^\circ$    | آب‌دوست            |
| -                           | -                                  | $\theta_A < 10^\circ$               | فوق آب‌دوست        |

با توجه به توضیحات بالا، برای کاربردهایی که باد چندان جریان ندارد، فوق‌آب‌گریز درجات ۱، ۲، ۳ و آب‌گریز درجه ۱ به فوق‌آب‌گریز درجات ۴ و ۵ ارجحیت دارد. برای کاربردهایی که باد هم وجود دارد، فوق‌آب‌گریز درجه ۱، ۲، ۳ و ۴ توصیه می‌شود و آب‌گریز درجه ۱ به فوق‌آب‌گریز درجه ۵ ارجحیت دارد.

#### ۲-۴ آزمون ترشوندگی

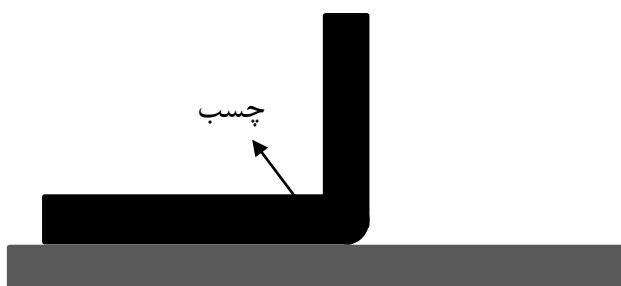
زوایای تماس پیشروی و پسروی مطابق استاندارد ISO 19403-6: 2017 اندازه‌گیری شوند و زاویه تماس پسماند نیز مطابق استاندارد ISO 19403-6: 2017 محاسبه شود.

#### ۳-۴ آزمون‌های دوام مکانیکی و چسبندگی پوشش

سطوح و پوشش‌های فوق‌آب‌گریز به‌کاررفته در صنعت در معرض عوامل مخرب مکانیکی مانند سایش، خراش، باران و برخورد شن قرار می‌گیرند. این عوامل باعث تخریب احتمالی نانوساختارها و از بین رفتن خواص فوق‌آب‌گریزی می‌شود. بنابراین مشخصه‌یابی دوام مکانیکی ضروری است و از طریق آزمون‌های زیر قابل‌انجام است:

#### ۱-۳-۴ آزمون چسبندگی

برای اینکه یک پوشش به‌خوبی به وظیفه خود عمل کند، در وهله اول باید به سطح زیرین خود خوب چسبیده باشد. مواد فوق‌آب‌گریز با تنش‌های برشی و یا نرمال می‌توانند از سطح جدا شوند. در این استاندارد آزمون چسب نواری مطابق با بند 6، استاندارد ISO 9211-4: 2012 انجام می‌شود. به‌این‌صورت که زاویه‌های تماس پیشروی و پسروی قبل و بعد از آزمون چسب نواری اندازه‌گیری می‌شوند. براساس این روش، اثرات هرگونه تخریب سطحی سطح فوق‌آب‌گریز به‌طور غیرمستقیم نسبت به تنش نرمال مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است اگر شرایط نمونه اجازه آزمون چسب را ندهد، آزمون‌های دیگر با توافق خریدار و فروشنده انجام خواهد شد.



شکل ۲- طرحواره‌ای از آزمایش چسب نواری - جدایش چسب با زاویه ۹۰ درجه از سطح

#### ۱-۱-۳-۴ شرایط آزمون

میزان حداقل چسبندگی سطح باید مطابق با استاندارد، ۹/۸ نیوتن بر هر ۲۵ میلی‌متر باشد (عرض چسب ۱۲ میلی‌متر تا ۱۳ میلی‌متر است). پس از کندن چسب و قبل از اندازه‌گیری زاویه تماس، سطح باید مطابق پیشنهاد سازنده تمیز شود. چسب‌ها معمولاً پسماندی روی سطوح فوق‌آب‌گریز باقی نمی‌گذارند و تنها ذرات نانو و میکرو روی سطح را از بستر جدا می‌کنند. اگر احتمال باقی‌ماندن پسماند وجود داشت، از چسب دیگری استفاده کنید. دقت شود که چسب، مواد پوشش را در خود حل نکند و آسیب شیمیایی به سطح وارد نکند. اگر احتمال آسیب شیمیایی روی سطح وجود دارد، از چسب دیگری استفاده کنید.

#### ۲-۱-۳-۴ مراحل آزمون

۲۵ میلی‌متر از چسب را روی سطح قرارداده و مقداری مناسب از چسب را برای نگه‌داشتن چسب با انگشتان در نظر بگیرید. چسب را روی سطح مالش داده تا حباب هوا بین سطح و چسب مشاهده نشود. چسب را با زاویه عمود بر سطح مطابق با سرعت‌های اشاره‌شده در جدول 2، استاندارد ISO 9211-4: 2012 جدا کنید.

قبل و بعد از هر آزمون چسب، زوایای تماس اندازه‌گیری و گزارش شود. هیچ اثری از چسب و یا جسم خارجی در سطح نباید وجود داشته باشد. اگر قسمتی از سطح تغییر کرد زاویه تماس در سایر نقاط اندازه‌گیری شود.

#### ۳-۱-۳-۴ گزارش

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- تمام موارد موردنیاز در گزارش طبق بند 6 استاندارد ISO 9211-4؛

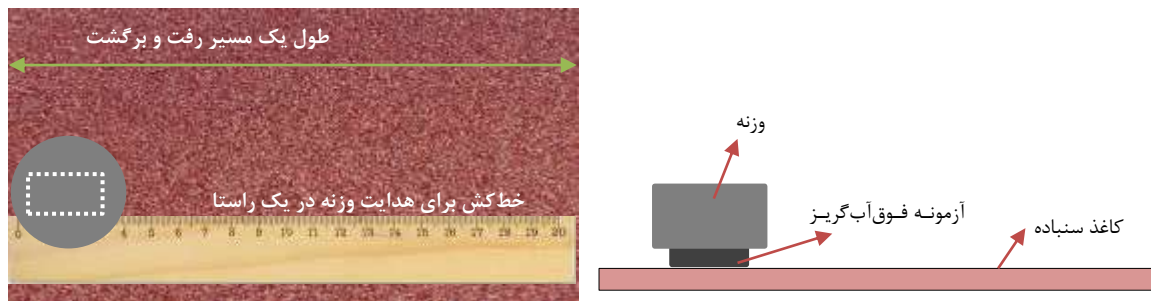
ب- ارجاع به این استاندارد؛

پ- نتایج زاویه تماس مطابق زیربند ۲-۴ این استاندارد.

#### ۲-۳-۴ آزمون سایش

آزمون سایش از مهمترین آزمون‌های دوام است که به منظور ارزیابی مقاومت سطح در برابر سایش و اصطکاک با سایر سطوح انجام می‌شود. آزمون به این صورت است که یک وزنه روی یک ساینده با ویژگی‌های سطحی مشخص و منحصر به فرد، روی نمونه حرکت کرده و نمونه تحت سایش قرار می‌گیرد. عمل سایش با فشار و سرعت، در یک جهت خطی انجام گرفته و بعد از سایش در طول مشخص، خواص سطح یعنی زاویه تماس پیشروی، پسروی و پسماند اندازه‌گیری می‌شوند. در این استاندارد، آزمون سایش مطابق استاندارد ISO 7784-3 انجام می‌شود.

لازم به ذکر است که سطح با توجه به نوع کاربرد در معرض انواع سایش قرار می‌گیرد و متناسب با نوع سایش، براساس توافق بین طرفین ذی‌نفع، نوع سنباده تعیین می‌شود.



شکل ۳- طرحواره‌ای از آزمایش کاغذ سنباده

#### ۱-۲-۳-۴ شرایط آزمون

بعد از هر سیکل، سایش قسمت جدیدی از سنباده استفاده شود. این آزمون ممکن است مواد شیمیایی، ساینده و غبار روی سطح باقی بگذارد. پس از سایش و قبل از اندازه‌گیری زاویه تماس، سطح باید مطابق توافق طرفین ذی‌نفع تمیز شود.

#### ۲-۲-۳-۴ مراحل آزمون

پیش و پس از هر سیکل سایش، زوایای تماس را اندازه‌گیری و گزارش کنید. روی سطح نباید اثری از جسم خارجی باشد. اگر قسمتی از سطح تغییر کرد، زاویه تماس را در سایر نقاط اندازه‌گیری کنید.

#### ۳-۲-۳-۴ گزارش

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- تمام موارد موردنیاز در گزارش طبق بند 6 استاندارد ISO 7784-3؛

ب- ارجاع به این استاندارد؛

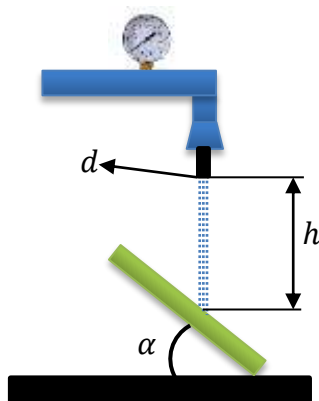
پ- نتایج زاویه تماس مطابق زیربند ۲-۴ این استاندارد.

#### ۳-۳-۴ آزمون ضربه نرم

در آزمون ضربه نرم، سطح موردنظر در معرض قطرات آب قرار می‌گیرد. این آزمون در واقع شبیه‌سازی برخورد قطرات باران است که اصطلاحاً به آن ضربه نرم گفته می‌شود. در این حالت خاصیت گرانیوی قطرات آب باعث می‌شود تمام تکانه آب به سطح موردنظر منتقل نشود و بخشی از آن در اثر تغییر شکل قطره به

شکل حرارت دفع شود. آزمون ضربه نرم برای سطوحی که محیط کاری آنها در معرض باران قرار دارد، ضروری است.

هنگام بارش، سرعت قطرات بر اثر شتاب گرانش زیاد می‌شود. با افزایش سرعت، نیروی مقاوم از طرف هوا به قطره نیز افزایش پیدا می‌کند و در نهایت سرعت به یک سرعت حدی<sup>۱</sup> می‌رسد. حداکثر اندازه قطرات باران هنگام طوفان رخ می‌دهد و حدود ۴ میلی‌متر تا ۵ میلی‌متر است (قطرات بزرگتر به قطرات کوچکتر شکسته می‌شوند) [1]. در ضمن حداکثر سرعت قطرات باران هنگام برخورد به زمین ۷ متر بر ثانیه تا ۹ متر بر ثانیه است [1]. هنگام یک بارش شدید، میزان بارش حداکثر ۲٫۵ سانتی‌متر در ساعت است [2]. آزمون شبیه‌سازی باران مطابق اطلاعات مذکور و بر اساس بدبینانه‌ترین حالت، مطابق شکل ۴ انجام می‌شود. سرعت طوری تنظیم می‌شود تا بین ۷ متر بر ثانیه تا ۹ متر بر ثانیه باشد (جدول ۲).



راهنما:

|          |                      |
|----------|----------------------|
| $h$      | فاصله نازل از آزمون  |
| $d$      | قطر نازل             |
| $\alpha$ | زاویه قرارگیری آزمون |

شکل ۴ - طرحواره‌ای از آزمایش ضربه نرم

جدول ۲- تبدیل زمان آزمون به یک سال باران مداوم

| سرعت (m/s) | زمان معادل یکسال باران (s) |
|------------|----------------------------|
| ۷          | ۳۲                         |
| ۹          | ۲۴,۷                       |

۱-۳-۳-۴ شرایط آزمون

توصیه می‌شود نمونه با زاویه ۴۵ درجه قرار گیرد [3]. برای هر آزمون جدید نمونه باید کاملاً خشک شود.

۲-۳-۳-۴ مراحل آزمون

قبل و بعد از هر سیکل، سطح را خشک کرده و زوایای تماس را اندازه‌گیری و گزارش کنید.

۳-۳-۳-۴ گزارش

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

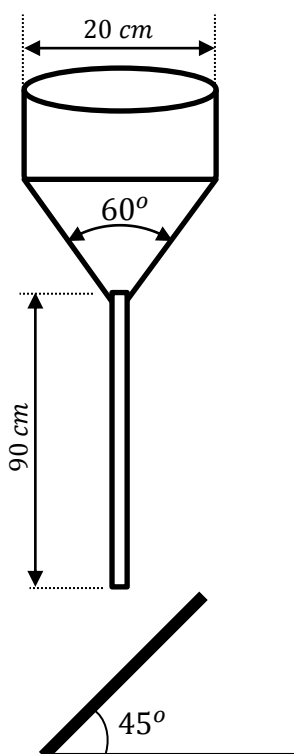
- الف- دما، فشار، جنس سطح، نوع پوشش، سرعت آب و فاصله نمونه از نازل و زاویه قرار گرفتن سطح؛
- ب- ارجاع به این استاندارد؛
- پ- نتایج زاویه تماس مطابق زیربند ۴-۲ این استاندارد.

۴-۳-۴ آزمون ضربه سخت

دوام سطح در برابر ضربه ذرات جامد، از پارامترهای مهم سطح است. این آزمون به‌ویژه برای سطوحی که به‌طور مرتب در معرض باد و طوفان شن هستند، ضروری محسوب می‌شود. این آزمون شرایط یکسانی را بیان می‌کند تا براساس آن بتوان دوام سطوح فوق‌آب‌گریز در برابر برخورد ذرات را مقایسه کرد.

در این آزمون سطح موردنظر در معرض ضربه ذرات شن قرار می‌گیرد. در این حالت دانه شن، بر خلاف قطرات آب، تمام تکانه خود را به سطح موردنظر وارد می‌کند. این آزمون مطابق با زیربند 5.5 استاندارد ISO/TR 21555: 2019 انجام می‌شود (شکل ۵).





شکل ۵ - طرحواره‌ای از آزمایش ضربه سخت

#### ۱-۴-۳-۴ شرایط آزمون

شرایط آزمون مطابق با زیربند 5.5 استاندارد ISO/TR 21555: 2019 است. بعد از هر آزمون، سطح به‌نحوی تمیز شود که قبل از اندازه‌گیری زاویه تماس، اثری از شن و ذرات خارجی روی سطح نباشد. استفاده از مواد شوینده توصیه نمی‌شود. در صورت استفاده از مواد شوینده، این مواد نباید با پوشش سطح واکنش شیمیایی دهند.

#### ۲-۴-۳-۴ مراحل آزمون

مقداری شن استاندارد که در زیربند 5.5 استاندارد ISO/TR 21555: 2019 مشخص شده‌است در قیف بریزید و بیرون رفتن شن از لوله را بررسی کنید. وزن شن هنگام آزمون را ثبت کنید. دبی شن باید ۲ لیتر در ۲۱ ثانیه تا ۲۳/۵ ثانیه باشد.

پیش و پس از هر سیکل سایش، زوایای تماس اندازه‌گیری و گزارش شود. هنگام اندازه‌گیری زاویه تماس، هیچ اثری از جسم خارجی و شن روی سطح نباید باشد.

#### ۳-۴-۳-۴ گزارش

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- تمام موارد اشاره شده در گزارش آزمون طبق زیربند 5.5 استاندارد ISO/TR 21555: 2019؛

ب- ارجاع به این استاندارد؛

پ- نتایج زاویه تماس مطابق زیر بند ۴-۲ این استاندارد.

#### ۴-۴ آزمون قرار گرفتن در معرض نور آزمایشگاهی

یکی از ویژگی‌های پوشش، مقاومت در برابر تابش خورشید است. این آزمون تابش خورشید را شبیه‌سازی کرده و میزان دوام پوشش در برابر تابش خورشید را بررسی می‌کند. آزمون بدین صورت است که نمونه در شرایط کنترل شده دمایی و رطوبتی، در معرض تابش لامپ زنون و یا اشعه فرابنفش قرار می‌گیرد و پس از انجام هر تعداد معین دوره از آزمون، خواص تَرشوندگی سطح اندازه‌گیری می‌شود. آزمون تا زمانی که مورد نیاز باشد تکرار می‌شود. آزمون مطابق سیکل 1 روش A در استاندارد ISO 16474-3: 2013 انجام می‌شود (۴ ساعت خشک و ۴ ساعت مرطوب). در صورت امکان از استاندارد ISO 16474-2 استفاده شود.

#### ۱-۴-۴ شرایط آزمون

بعد از هر آزمون، سطح تمیز شود و قبل از اندازه‌گیری زاویه تماس، اثری از جسم خارجی روی سطح نباشد. میزان برازش شدت تابش باید مطابق جداول 3 و 4 استاندارد ISO 16474-2 بررسی شود.

#### ۲-۴-۴ مراحل آزمون

آزمونه را در محل مناسب دستگاه قراردید به طوری که آزمونه تحت هیچ تنش خارجی نباشد. هنگامی که نمونه‌ها را برای اندازه‌گیری زاویه تماس خارج می‌کنید، دقت کنید قسمتی از سطح را که در معرض تابش بوده با دست لمس نکنید. پیش و پس از هر سیکل و یا تعداد مشخص سیکل، زوایای تماس اندازه‌گیری و گزارش شود. هنگامی که آزمونه را به دستگاه برمی‌گردانید، دقت شود در همان محل و جهت قبلی گذاشته شود و سطح در معرض قرار گرفته، تغییر نکند.

#### ۳-۴-۴ گزارش

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- تمام موارد اشاره شده در گزارش آزمون استاندارد ISO 16474-1 و شرایط آزمون؛

ب- زیربندهای 2 و 3 استاندارد ISO 16474؛

پ- ارجاع به این استاندارد؛

ت- نتایج زاویه تماس مطابق زیر بند ۴-۲ این استاندارد.

#### ۴-۵ آزمون مقاومت به مایعات

سطوح فوق آب‌گریز در معرض باران‌های اسیدی، مواد شوینده بازی و سایر محلول‌های یونی قرار می‌گیرند. این حالت می‌تواند به سطح فوق آب‌گریز صدمه وارد کند. این آزمون برای سنجش دوام سطوح فوق آب‌گریز در این محیط‌ها و مطابق استاندارد ISO 2812-1 است که در آن یک روش کلی برای سنجش مقاومت سطوح یک‌لایه و یا چندلایه در برابر مایعات مختلف (به جز آب)، انجام می‌شود. به این صورت که سطح فوق آب‌گریز را در محیط‌های نام برده وارد کنید، پس از زمان مشخص، نمونه را خارج کرده و پس از تمیز و خشک کردن، زاویه تماس را اندازه‌گیری کنید. این فرایند را تکرار کنید.

#### ۴-۵-۱ شرایط آزمون

هر دو سطح جسم و گوشه‌ها باید فوق آب‌گریز باشند. اگر به هر دلیلی یک سمت جسم و یا گوشه‌ها را نتوان فوق آب‌گریز کرد، قسمت‌هایی که فوق آب‌گریز نیستند را باید با یک پوشش مقاوم که مطابق توافق طرفین ذی‌نفع تعیین می‌شود، پوشاند.

پس از زمان مشخص قرار گرفتن نمونه در مایع موردنظر، نمونه را خارج کرده، بشویید و پس از آب‌کشی با دمش هوا خشک کنید. آب و یا حلالی که برای شستشو انتخاب می‌شود باید مورد توافق طرفین ذی‌نفع باشد و صدمه‌ای به سطح فوق آب‌گریز نرساند.

#### ۴-۵-۲ مراحل آزمون

بعضی از مایعاتی که با توجه به کاربرد پیشنهاد می‌شوند عبارتند از:

- محیط اسیدی ۳ مول بر لیتر اسید سولفوریک [4]؛
- محیط بازی ۶ مول بر لیتر هیدروکسید سدیم [4]؛
- محیط یونی آب نمک ۳٫۵٪ کلرید سدیم در آب دی‌یونیزه شده.

البته طبق توافق طرفین، مایعات دیگر هم ممکن است برای آزمون در نظر گرفته شوند.

بعد از هر آزمون، سطح تمیز شود و قبل از اندازه‌گیری زاویه تماس، اثری از جسم خارجی روی سطح نباشد. قبل و بعد از هر آزمون و یا تعداد مشخص آزمون، زوایای تماس اندازه‌گیری و گزارش شود. دقت شود زاویه تماس در محلی که در معرض مایع بوده اندازه‌گیری شود.

استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۰۰۱ (چاپ اول): سال ۱۴۰۰

#### ۳-۵-۴ گزارش

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- تمام موارد اشاره شده در گزارش آزمون در استاندارد ISO 2812-1؛

ب- ارجاع به این استاندارد؛

پ- نتایج زاویه تماس مطابق زیربند ۴-۲ این استاندارد.

#### ۶-۴ آزمون سیکل دمایی

این آزمون به طور کیفی دوام سطوح و پوشش های فوق آب گریز را در برابر سرما و گرما مقایسه می کند. این آزمون مطابق با استاندارد ISO 11997-3 سیکل روز انجام می شود. دما از منفی  $15^{\circ}\text{C}$  تا  $40^{\circ}\text{C}$  به طور سیکلی تغییر می کند. هر سیکل ۲۴ ساعت طول می کشد.

#### ۱-۶-۴ شرایط آزمون

بعد از هر آزمون، سطح را تمیز کنید به طوری که قبل از اندازه گیری زاویه تماس، اثری از جسم خارجی روی سطح نباشد.

#### ۲-۶-۴ مراحل آزمون

پیش و پس از هر سیکل و یا تعداد مشخص سیکل، زوایای تماس اندازه گیری و گزارش شود.

#### ۳-۶-۴ گزارش

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- تمام موارد اشاره شده در گزارش آزمون در استاندارد ISO 11997-3؛

ب- ارجاع به این استاندارد؛

پ- نتایج زاویه تماس مطابق زیر بند ۴-۲ این استاندارد.

پیوست الف

(آگاهی دهنده)

فرم گزارش مشترک بین تمام آزمون‌ها

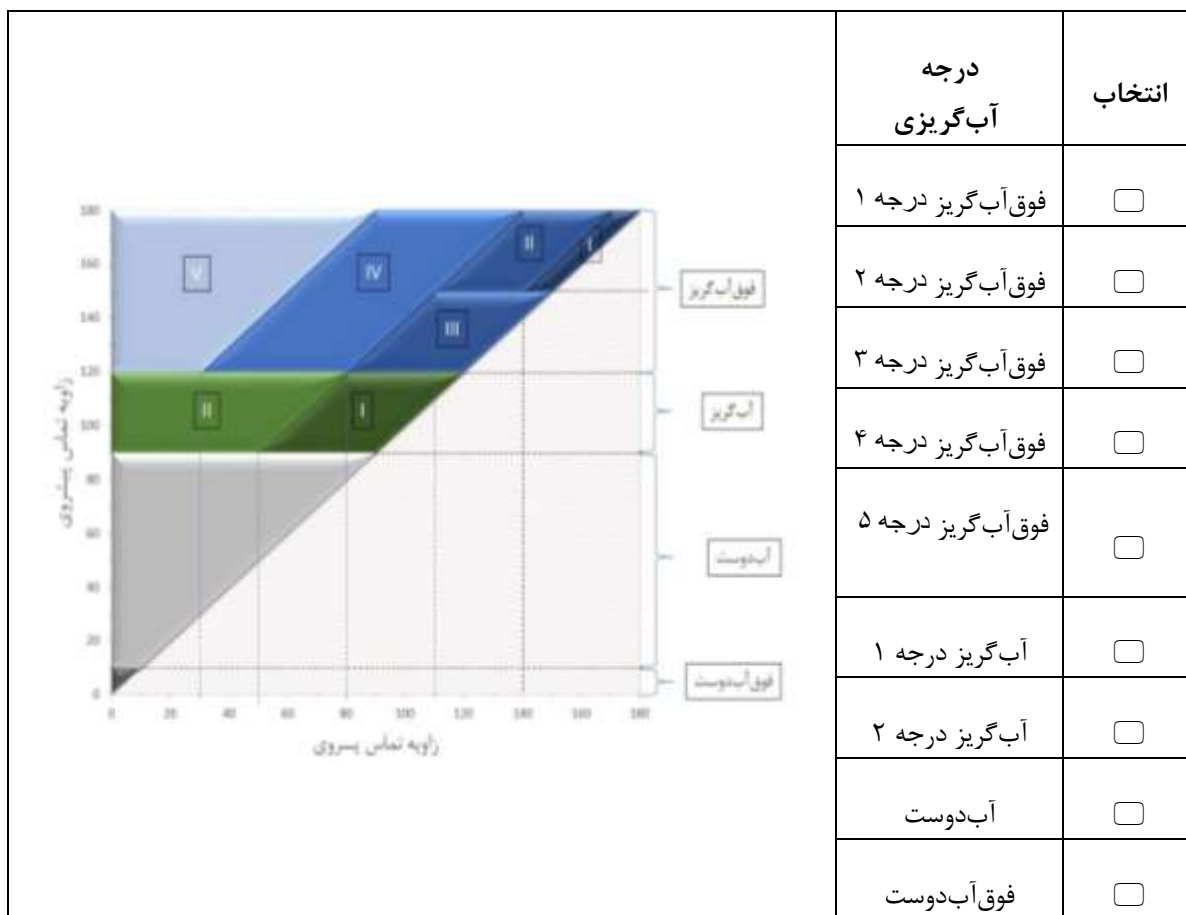
|                 |           |                |   |              |                |
|-----------------|-----------|----------------|---|--------------|----------------|
| تاریخ:          |           | نام آزمایشگاه: |   | نام کارشناس: |                |
| آدرس آزمایشگاه: |           |                |   |              |                |
| پست الکترونیکی: |           |                | تلفن:                                       |              |                |
| شرایط محیطی:    |           |                | شرایط آزمون (در صورت تفاوت با شرایط محیطی): |              |                |
| دما (°C)        | فشار (Pa) | رطوبت نسبی (%) | دما (°C)                                    | فشار (Pa)    | رطوبت نسبی (%) |
|                 |           |                |   |              |                |

مشخصات آزمون و آزمون:

|                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| ابعاد آزمون (mm × mm)     | جنس سطح (توصیفی)                |
| حجم بیشینه قطره (μl)      | سرعت تزریق (μl/s)               |
| حجم کمینه قطره (μl)       | سرعت مکش (μl/s)                 |
| نام مایع و کشش سطح (mN/m) | چگالی مایع (kg/m <sup>3</sup> ) |

نتایج:

|   |  |
|---|--|
| تعداد آزمون روی سطح (حداقل ۳)                     | تعداد                                      |
| زاویه تماس پیشروی با ۹۵٪ اطمینان در نقطه ۱ (درجه) | $\mu_{1a} \pm 2\sigma_{1a}$                |
| زاویه تماس پیشروی با ۹۵٪ اطمینان در نقطه ۲ (درجه) | $\mu_{2a} \pm 2\sigma_{2a}$                |
| زاویه تماس پیشروی با ۹۵٪ اطمینان در نقطه ۳ (درجه) | $\mu_{3a} \pm 2\sigma_{3a}$                |
| آزمون همگن بودن سطح (انحراف معیار کمتر از ۵ درجه) | $std(\mu_{1a}, \mu_{2a}, \mu_{3a}, \dots)$ |
| زاویه تماس پسروی با ۹۵٪ اطمینان (درجه) در نقطه ۱  | $\mu_{1r} \pm 2\sigma_{1r}$                |
| زاویه تماس پسروی با ۹۵٪ اطمینان (درجه) در نقطه ۲  | $\mu_{2r} \pm 2\sigma_{2r}$                |
| زاویه تماس پسروی با ۹۵٪ اطمینان (درجه) در نقطه ۳  | $\mu_{3r} \pm 2\sigma_{3r}$                |
| آزمون همگن بودن سطح (انحراف معیار کمتر از ۵ درجه) | $std(\mu_{1r}, \mu_{2r}, \mu_{3r}, \dots)$ |
| زاویه تماس پسماند (درجه)                          | $\mu_{ia} - \mu_{ir}$                      |



مهر و امضای کارشناس

پیوست ب

(آگاهی دهنده)

فرم گزارش آزمون چسب نواری

|  |                       |
|--|-----------------------|
|  | طول و عرض چسب (cm)    |
|  | میزان چسبندگی چسب (N) |
|  | شرکت سازنده چسب       |
|  | میزان فشار چسب (Pa)   |
|  | تعداد دفعات تکرار     |

| دفعات تکرار | درجه آب‌گریزی |
|-------------|---------------|
| ۱           |               |
| ۲           |               |
| ۳           |               |
| ۴           |               |

پیوست پ

(آگاهی دهنده)

فرم گزارش آزمون کاغذ سنباده

|  |                               |
|--|-------------------------------|
|  | شماره کاغذ سنباده             |
|  | جرم وزنه روی کاغذ سنباده (kg) |
|  | طول مسیر رفت و برگشت (cm)     |

| دفعات تکرار | درجه آب‌گریزی |
|-------------|---------------|
| ۱           |               |
| ۲           |               |
| ۳           |               |
| ۴           |               |



پیوست ت

(آگاهی دهنده)

فرم گزارش آزمون قطره آب

|  |  |
|--|--|
|  | دبی آب (kg/s)                                      |
|  | فاصله نازل از سطح آزمون (cm)                       |
|  | سرعت آب از خروجی نازل (m/s)                        |
|  | زاویه قرار گرفتن سطح آزمون با افق (ترجیحا ۴۵ درجه) |

| زمان (دقیقه) | درجه آب‌گیری |
|--------------|--------------|
|              |              |
|              |              |
|              |              |
|              |              |
|              |              |

پیوست ث

(آگاهی‌دهنده)

فرم گزارش آزمون ضربه شن

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
|  | فاصله سر نازل تا سطح آزمون        |
|  | زاویه قرار گرفتن سطح آزمون با افق |
|  | قطر و طول نازل                    |
|  | اندازه ذرات                       |
|  | نوع ذرات                          |
|  | دبی شن                            |

| زمان (دقیقه) | درجه آب‌گریزی |
|--------------|---------------|
| ۱            |               |
| ۲            |               |
| ۳            |               |
| ۴            |               |

پیوست ج

(آگاهی‌دهنده)

فرم گزارش آزمون فرابنفش

|  |                                |
|--|--------------------------------|
|  | شدت تابش فرابنفش روی سطح نمونه |
|  | زمان سیکل خشک                  |
|  | محدوده طول موج لامپ            |
|  | زمان سیکل مرطوب                |

| تعداد سیکل | درجه آب‌گریزی |
|------------|---------------|
| ۱          |               |
| ۲          |               |
| ۳          |               |
| ۴          |               |

کتابنامه

- [1] M. A. Nearing, J. M. Bradford, and R. D. Holtz, "Measurement of Force vs. Time Relations for Waterdrop Impact," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 50, no. 6, pp. 1532–1536, Nov. 1986.
- [2] Y. Zhang, D. Ge, and S. Yang, "Spray-coating of superhydrophobic aluminum alloys with enhanced mechanical robustness," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 423, pp. 101–107, Jun. 2014.
- [3] N. Wang, D. Xiong, Y. Deng, Y. Shi, and K. Wang, "Mechanically Robust Superhydrophobic Steel Surface with Anti-Icing, UV-Durability, and Corrosion Resistance Properties," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 7, no. 11, pp. 6260–6272, Mar. 2015.
- [4] T. Maitra, C. Antonini, M. Auf Der Mauer, C. Stamatopoulos, M. K. Tiwari, and D. Poulidakos, "Hierarchically nanotextured surfaces maintaining superhydrophobicity under severely adverse conditions," *Nanoscale*, vol. 6, no. 15, pp. 8710–8719, 2014.

