



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iran National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲۳۱۳۷

چاپ اول

۱۴۰۱

INSO

23137

1st Edition

2022

فناوری نانو- الکترونیک چاپی -
مشخصه‌یابی جوهرهای رسانا حاوی نانومواد
و لایه‌های رسانای چاپی -
ویژگی‌ها و روش‌های آزمون

**Nanotechnologies — Printed electronics —
Characterization of conductive inks
containing nanomaterials and nanolayers
— Specifications and test methods**

ICS: 31.180; 87.080; 07.120

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iran National Standardization Organization (INSO)

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

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

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

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

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

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

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفه تعیین، تدوین، به روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را برعهده 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، به‌عنوان 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، به‌عنوان 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)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به‌عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای 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 براساس 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- الکترونیک چاپی - مشخصه یابی جوهرهای رسانا حاوی نانومواد و لایه های رسانای چاپی - ویژگی ها و روش های آزمون»

رئیس:

تقوی نیا، نیما
(دکتری فیزیک)

عضو هیئت علمی - دانشگاه صنعتی شریف

دبیر:

ارجمندی، نیما
(دکتری الکترونیک)

عضو مستقل

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اسلامی پور، الهه
(کارشناسی ارشد زیست شناسی)

کارشناس - گروه استاندارد و ارزیابی محصولات ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

بشیرپور، محمد
(دکتری الکترونیک)

عضو هیئت علمی - دانشگاه ارومیه

بیت اللهی، علی
دکتری مهندسی مواد و متالورژی

مشاور دبیر - ستاد فناوری نانو

دهقانی، مهدی
(دکتری فیزیک)

مدیر پروژه - شرکت شریف سولار

راجی پور، مهدی
(کارشناسی ارشد الکترونیک)

کارشناس - گروه صنعت و بازارستاد ویژه توسعه فناوری نانو

سلیمانی گرگانی، آتسه
(دکتری شیمی)

عضو هیئت علمی - پژوهشگاه رنگ

سراج، محمد
(کارشناسی ارشد الکترونیک قدرت و ماشین های الکتریکی)

عضو - انجمن الکترونیک چاپی جمهوری اسلامی ایران و توسعه دهنده تکنولوژی الکترونیک چاپی

ویراستار:

سیفی، مهوش
(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

نایب رئیس - کمیته فنی متناظر فناوری نانو

ISIRI/TC229

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
و	پیش‌گفتار
ز	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۶	۴ شرایط محیطی برای ارزیابی و آماده‌سازی
۶	۵ ارزیابی خواص جوهر رسانا
۶	۱-۵ نمونه
۷	۲-۵ محتویات
۹	۳-۵ خواص فیزیکی
۱۵	۶ ارزشیابی خواص یک لایه رسانا
۱۵	۱-۶ قطعه آزمون
۱۶	۲-۶ خواص الکتریکی
۲۲	۳-۶ انعطاف‌پذیری مکانیکی
۲۷	۴-۶ خواص نوری
۳۲	۷ انبارش
۳۲	۱-۷ شرایط انبارش
۳۲	۲-۷ روش اندازه‌گیری روند فرسودگی
۳۲	۳-۷ گزارش نتایج
۳۳	پیوست الف (الزامی) تنش در تغییر شکل خمشی - محاسبه کرنش
۳۵	پیوست ب (آگاهی‌دهنده) معادله ضریب تصحیح (F)
۳۷	پیوست پ (آگاهی‌دهنده) اثر محل اندازه‌گیری و اندازه آزمون بر مقاومت
۳۹	پیوست ت (آگاهی‌دهنده) مثال‌هایی از کاوند چهارنقطه‌ای برای اعمال وزن مناسب
۴۱	پیوست ث (آگاهی‌دهنده) ناحیه صدمه‌دیده و تغییر مقاومت الکتریکی پس از آزمون صفحه لغزان
۴۳	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد « فناوری نانو- الکترونیک چاپی- مشخصه‌یابی جوهرهای رسانا حاوی نانومواد و لایه‌های رسانای چاپی- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در یکصد و سیزدهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۲۰/۰۲/۱۴۰۱ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح 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.

منبع و مأخذی (منابع و مأخذی) که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

- 1- IEC TR 62866: 2014, Electrochemical migration in printed wiring boards and assemblies - Mechanisms and testing
- 2- IEC 62899-202: 2016, Printed electronics- Part 202: Materials - Conductive ink
- 3- IEC 62899-202-5: 2018, Printed electronics- Part 202-5: Materials- Conductive ink- Mechanical bending test of a printed conductive layer on an insulating substrate

الکترونیک چاپی^۱ شاخه‌ای نسبتاً نوظهور و به‌سرعت در حال گسترش از صنعت است که در آن افزاره‌های الکترونیکی با استفاده از فناوری‌های چاپ ساخته می‌شوند. سرمایه‌گذاری اولیه لازم برای ساخت افزاره‌های الکترونیکی به‌وسیله این فناوری، بسیار کمتر از سرمایه لازم برای ساخت این افزاره‌ها با فناوری‌های کلاسیک است. علاوه بر این، در این صنعت می‌توان افزاره‌ها و سامانه‌های الکترونیکی جدید با کارایی‌های جدید ساخت. به‌عنوان مثال، می‌توان افزاره‌های الکترونیکی را به‌صورت انعطاف‌پذیر^۲ یا شفاف^۳ ساخت. همچنین می‌توان افزاره‌های الکترونیکی را به‌صورت پوشیدنی^۴ روی لباس یا قابل‌نصب روی بدن^۵ ساخت. افزاره‌های ساخته‌شده در این صنعت نه تنها بسیار ارزان‌تر هستند و سریع‌تر و با سرمایه اولیه کمتری می‌توان آنها را تولید کرد، بلکه معمولاً سبکتر و کم‌حجم‌تر از افزاره‌های کلاسیک نیز هستند. علاوه بر این، فرآیندهای الکترونیک چاپی اثرات مضر محیط‌زیستی بسیار کمتری دارند.

پرکاربردترین و مهمترین مواد اولیه این صنعت عبارتند از:

الف - جوهرهای رسانا و نیم‌رسانا: این مواد در بسیاری از موارد پراکنه نانوذرات رسانا یا نیم‌رسانا هستند که پس از چاپ، حلال آنها خشک شده و طی یک فرایند تف‌جوشی^۶، ذرات مذکور به یکدیگر متصل شده و ساختاری یکپارچه از رسانا یا نیم‌رسانا را روی سطح ایجاد می‌کنند که ضخامت آن معمولاً بین ۲ نانومتر تا ۱۰۰ میکرومتر است. در بسیاری از موارد ضروری است که ذرات پراکنه فوق دارای ابعاد نانومتری باشند [۱]. به‌عنوان مثال در چاپ جوهرافشان، جوهر از سر چاپگر^۷ که روزه‌ای با ابعاد میکرومتری است باید با سرعت عبور کند و برای جلوگیری از مسدود شدن این حفره، معمولاً ضروری است که ذرات موجود در جوهر کوچک‌تر از چند ده نانومتر باشند [۲]. در بسیاری از موارد دیگر نیز استفاده از ذرات نانومتری ضروری است: مانند مواردی که به دمای تف‌جوشی پائین نیاز است [۳] یا مواردی که لایه رسانای چاپ‌شده باید از نظر مکانیکی انعطاف‌پذیر [۴] یا از نظر نوری شفاف باشد [۵] و [۶]. یکی از پرکاربردترین مواد در جوهرهای رسانا نانوذرات نقره هستند [۷]. در برخی از موارد نیز از جوهرهای دارای ذرات میکرومتری استفاده می‌شود تا هزینه ساخت جوهر کاهش یافته و یا رسانایی الکتریکی لایه رسانا افزایش یابد. این جوهرها همچنین ممکن است متشکل از محلولی باشند که پس از چاپ، در آن واکنشی شیمیایی انجام می‌شود که موجب رسوب لایه نازکی از فلز یا نیم‌رسانا می‌شود. دیگر اجزای این جوهرها (آب، الکل یا دیگر حلال‌ها) معمولاً پس از چاپ به‌صورت گاز از سامانه خارج می‌شوند.

-
- 1- Printed electronics
 - 2- Flexible electronics
 - 3- Transparent electronics
 - 4- Wearable electronics
 - 5- Electronics on skin
 - 6- Sintering
 - 7- Print head

ب- بستره‌ها: معمولاً ورقه‌هایی از پلیمر (بسپار)، سلولز یا فلز هستند که افزاره‌های الکترونیکی روی آنها چاپ می‌شوند. در بسیاری موارد روی بستره لایه‌ای نانوساختار قرار داده می‌شود تا کیفیت افزاره چاپ‌شده روی آن بهتر شود.

پس از طراحی و شبیه‌سازی رایانه‌ای محصول، برای چاپ مواد فوق روی بستره، چاپگرهای ویژه موردنیاز هستند. این چاپگرها معمولاً به چهار گروه زیر تقسیم می‌شوند که با توجه به مقدار تولید و مشخصات محصول و زمانی که برای توسعه هر محصول در اختیار است، یکی از آنها انتخاب می‌شود.

۱- چاپگر جوهرافشان^۱

۲- چاپگر فلکسو^۲

۳- چاپگر گراور^۳

۴- چاپگر سیلک اسکرین^۴

در برخی موارد پس از چاپ، به چیدمان^۵ برخی قطعات روی مدار چاپ‌شده نیز نیاز است و نهایتاً محصول آزمون و بسته‌بندی شده، آماده تحویل به مشتری می‌شود.

فرآیندهای چاپ برای تولید افزاره‌های انعطاف‌پذیر نیز بسیار امیدوارکننده هستند. به‌ویژه لایه‌های رسانای چاپ‌شده روی بستره‌های عایق، به‌صورت گسترده به‌عنوان الکتروود یا اتصال داخلی^۶ در افزاره‌های الکترونیکی انعطاف‌پذیر به‌کار می‌روند. این لایه‌ها برخلاف لایه‌های متداول ساخته‌شده روی الیاف شیشه^۷ یا سیلیکان، در زمان استفاده تحت تغییر شکل‌های شدید مکانیکی قرار می‌گیرند. خواص الکتریکی لایه‌های رسانا در بسیاری از موارد به‌شدت نسبت به تنش‌های مکانیکی حساس هستند و خیلی زودتر از وقوع شکست مکانیکی در لایه رسانا، خواص الکتریکی آن‌ها تنزل می‌یابند. بنابراین داشتن روشی برای ارزیابی رسانایی الکتریکی لایه‌های رسانای ارائه‌شده توسط تأمین‌کنندگان و حتی در برخی موارد داشتن یک سامانه اندازه‌گیری داخلی در این صنعت موردنیاز است. زیرا جوهرهای رسانا، مواد بنیادین مورد استفاده در افزاره‌های چاپی هستند. به‌همین دلیل، آزمون‌های انعطاف‌پذیری نیز در این استاندارد لحاظ شده‌اند.

موضوع این استاندارد روش‌های آزمون و شرایط و نحوه ارزیابی کیفیت جوهرهای رسانا در الکترونیک چاپی است. این استاندارد با استفاده از استاندارد IEC 62899-202:2016، تدوین شده‌است. در مجموعه استانداردهای فوق، استاندارد مربوط به آزمون‌های انعطاف‌پذیری جوهرهای رسانا نیز تحت عنوان IEC 62899-202-5:2016 منتشر شد که با توجه به اهمیت این آزمون‌ها و نیازهای ملی، آزمون‌های انعطاف‌پذیری نیز براساس استاندارد IEC 62899-202-5، در این استاندارد ملی لحاظ شده‌است. به‌منظور

1- Inkjet printer
2- Flexography printer
3- Rotogravure printer
4- Silk screen printer
5- Assembling
6- Interconnect
7- Prepreg

هماهنگی بیشتر بین استانداردهای ملی مرتبط، در بند اصطلاحات و تعاریف از استاندارد ملی ایران - ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵ نیز استفاده شده است.

فناوری نانو- الکترونیک چاپی - مشخصه‌یابی جوهرهای رسانا حاوی نانومواد و لایه‌های رسانای چاپی - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد مشخصه‌یابی و تعیین ویژگی‌ها و روش‌های آزمون جوهرهای رسانایی است که حاوی نانومواد هستند و از لایه‌های رسانا تشکیل شده‌اند. در این استاندارد روش‌های آزمون مربوط به انعطاف‌پذیری، شفافیت نوری و مقاومت الکتریکی لایه‌های رسانای چاپ‌شده از جوهرهای رسانا ارائه شده‌است.

۲ مراجع الزامی

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

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

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

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

- 2-2 ISO 5-2, Photography and graphic technology – Density measurements – Part 2: Geometric conditions for transmittance density
- 2-3 ISO 5-3, Photography and graphic technology – Density measurements – Part 3: Spectral conditions
- 2-4 ISO 124, Latex, rubber – Determination of total solids content
- 2-5 IEC 60050-212: 2010/AMD3: 2020 Amendment 3 - International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases
- 2-6 IEC 62951-1: 2017, Semiconductor devices - Flexible and stretchable semiconductor devices - Part 1: Bending test method for conductive thin films on flexible substrates

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات با تعاریف زیر به کار می‌روند:

۱-۳

ماده رسانا

conductive material

جزئی از یک ماده چاپ‌شونده یا پوششی که خود رسانای الکتریکی است یا به‌وسیله پس‌عمل‌آوری، مانند گرمایش، تبدیل به رسانای الکتریکی می‌شود.

[منبع: زیربند 3.1، استاندارد IEC 62899-202: 2016]

۲-۳

جوهر رسانا

conductive ink

سیالی است که یک یا بیشتر مولکول‌های کوچک، پلیمر یا ذره در آن حل یا پراکنده شده‌اند و به‌وسیله پس‌عمل‌آوری مانند گرمایش تبدیل به یک لایه رسانا (۳-۳) می‌شود.

[منبع: زیربند 3.2، استاندارد IEC 62899-202: 2016]

۳-۳

لایه رسانا

conductive layer

بدنه‌ای فیلم مانند و رسانای الکتریکی که از جوهر رسانا (۲-۳) که روی بستره چاپ یا پوشش داده‌شده ساخته شده‌است و در صورت لزوم پس‌عمل‌آوری مانند گرمایش روی آن انجام شده‌است.

[منبع: زیربند 3.3، استاندارد IEC 62899-202: 2016]

۴-۳

فیلم رسانا

conductive film

بستره‌ای (ورقه‌ای^۱ یا پیچ‌های^۲) شامل لایه (های) رسانا (۳-۳) است.

1- Sheet
2- Roll

[منبع: زیربند 3.42، استاندارد IEC 62899-202: 2016]

۵-۳

محتوای جامد

solid content

کسری از جرم جوهر رسانا (۲-۳) که به صورت مؤثر، کارکردی به عنوان یک ماده رسانا دارد.

[منبع: زیربند 3.5، استاندارد IEC 62899-202: 2016]

۶-۳

محتوای غیرفرار

non-volatile content

کسری از جرم باقیمانده‌های یک جوهر رسانا (۲-۳) که پس از تبخیر حلال فرار آن در شرایط ویژه، باقی می‌مانند.

[منبع: زیربند 3.6، استاندارد IEC 62899-202: 2016]

۷-۳

محتوای خاکستر

ash content

کسری از جرم یک جوهر رسانا (۲-۳) که در احتراق^۱ محترق نشده یا کربونیزه نمی‌شود.

[منبع: زیربند 3.7، استاندارد IEC 62899-202: 2016]

۸-۳

ماده خارجی

foreign matter

مواد و یا ذرات دانه‌های انبوه شده، جوهر لایه نازک شده و اجزائی که کارکردی به عنوان بخشی از جوهر رسانا (۲-۳) ندارند.

[منبع: زیربند 8.3، استاندارد IEC 62899-202: 2016]

۹-۳

ذره گروی

spherical particle

موادی با سه بعد طول، عرض و ارتفاع تقریباً برابر هستند.

[منبع: زیربند 3.9، استاندارد IEC 62899-202: 2016]

۱۰-۳

نانو میله

nanorod

نانولیف توپُر است.

[منبع: زیربند ۷-۴، استاندارد ملی ایران - ایزو شماره ۲-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵]

۱۱-۳

نانو سیم

nanowire

نانولیف رسانا یا نیم‌رسانای الکتریکی است.

[منبع: زیربند ۹-۴، استاندارد ملی ایران - ایزو شماره ۲-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵]

۱۲-۳

نانولوله

nanotube

نانولیف توخالی است.

[منبع: ۸-۴، استاندارد ملی ایران - ایزو شماره ۲-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵]

۱۳-۳

پراکنه

dispersion

سامانه‌ای ناهمگون که در آن مواد مجزای ریز در مواد دیگر به صورت یکنواخت پخش شده‌اند.

[منبع: زیربند 3.13، استاندارد IEC 62899-202: 2016]

۱۴-۳

نقطه اشتعال

flashpoint

کمترین دمایی که در آن، مایع در شرایط استاندارد شده معین، تا حدودی بخار می‌شود یا بخاراتی آزاد می‌کند که در ترکیب با هوا قابل اشتعال است.

[منبع: زیربند 3.14، استاندارد IEC 62899-202: 2016]

۱۵-۳

بستره انعطاف پذیر

flexible substrate

بستره‌ای که از نظر مکانیکی انعطاف پذیر است و جوهر رسانا روی آن چاپ شده است، مانند ورقه‌های پلاستیک، کاغذ یا لباس.

[منبع: زیربند 3.1.3، استاندارد IEC 62899-502-1: 2017]

۱۶-۳

شعاع خمش

bending radius

r

شعاع انحناء لایه رسانا است که عبارت است از فاصله مرکز خمش تا وسط ضخامت لایه رسانا (۲-۳) (به پیوست الف مراجعه شود).

[منبع: زیربند 3.6، استاندارد IEC 62899-202-5: 2018]

۱۷-۳

کرنش خمشی

bending strain

ϵ

عبارت است از کرنش در نوک خم شده نمونه (در واقع این برابر با بیشینه کرنش در نمونه است که طبق پیوست الف می‌توان آن را به دست آورد).

[منبع: زیربند 3.7، استاندارد IEC 62899-202-5: 2018]

۱۸-۳

طول جابجایی رفت و برگشتی

linear motion length

L

طول جابجایی پیش و پس روی خط صفحه متحرکی که فیلم رسانا به آن متصل شده است.

[منبع: زیربند 3.7، استاندارد 2018: IEC 62899-202-5]

۱۹-۳

طول مؤثر نمونه

effective sample length

d

طول نمونه از یک لبه نگهدارنده^۱ تا لبه دیگر نگهدارنده به جز سطح نمونه که زیرگیره فلزی است.

[منبع: زیربند 3.9، استاندارد 2018: IEC 62899-202-5]

۴ شرایط محیطی برای ارزیابی و آماده سازی

شرایط محیطی استاندارد برای ارزیابی (آزمون و اندازه گیری) و انبارش نمونه ها باید دمای $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ، فشار هوا ۸۶ kPa الی ۱۰۶ kPa و رطوبت نسبی $(50 \pm 10)\%$ مطابق استاندارد محیطی طبقه ۲ مشخص شده در استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۱۷: سال ۱۳۸۷، باشد. اگر یک بسته پلیمری برای یک قطعه آزمون به وسیله یک لایه رسانا پوشش داده شده باشد، استاندارد ارزشیابی شرایط محیطی آن باید دمای $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی $(50 \pm 10)\%$ مطابق استاندارد محیطی طبقه ۱، مشخص شده استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۱۷: سال ۱۳۸۷، باشد.

۵ ارزشیابی خواص جوهر رسانا

۱-۵ نمونه

آزمونه مورد استفاده در این ارزشیابی باید براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۹۲۲: سال ۱۳۸۸ یا یک روش معادل آن، آماده شده باشد. در صورت لزوم، رقیق کردن آزمونه به وسیله یک حلال سازگار، مجاز است.

۲-۵-۲ محتویات

۱-۲-۵-۱ محتوای جامد

۱-۱-۲-۵-۱ تعیین محتوای جامد

نسبت جرم ذرات (نانوذره، نانومیله، نانوسیم، نانولوله یا ذرات میکرومتری) رسانا به جرم کل جوهر است که به صورت نظری محاسبه شده و بر حسب درصد بیان می شود.

۲-۱-۲-۵-۲ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف- شناسه منحصر به فرد آزمون؛

ب- شرایط محیطی آزمون؛

پ- محتوای جامد؛

ت- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۲-۲-۵-۲ محتوای غیر فرآر

۱-۲-۲-۵-۲ اصول

محتوای غیر فرآر، به وسیله اندازه گیری جرم باقیمانده پس از تبخیر اجزاء فرآر و محاسبه نسبت این جرم به جرم کل جوهر تعیین شده و بر حسب درصد بیان می شود.

۲-۲-۲-۵-۲ روش آزمون

روش آزمون باید همانگونه که در استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۵۱: سال ۱۳۷۲ مشخص شده است، انجام شود، به جز موارد زیر:

الف- فشار هوا: ۸۶ kPa تا ۱۰۶ kPa؛

ب- اگر توسط تولیدکننده مشخص شده است، این آزمون را می توان در فشار کمتر انجام داد. شرایط و روش اجرای کاهش فشار باید مطابق استاندارد ISO 124 یا دستورالعمل تولیدکننده باشد.

پ- موادی باید در آزمون استفاده شوند که با جوهر تحت آزمون واکنش شیمیایی ندهند؛

ت- آزمون باید آنقدر تکرار شود و ادامه یابد که وزن اندازه گیری شده با دقت ۵٪ در اندازه گیری ها ثابت باشد.

۳-۲-۲-۵-۲ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف - شناسه آزمون؛

ب - شرایط آزمون (فشار هوا در صورتی که کاهش داده شده است، دما و زمان خشک شدن)؛

پ - جرم آزمون؛

ت - نتایج؛

ث - آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۳-۲-۵ محتوای خاکستر

۱-۳-۲-۵ روش آزمون

این آزمون باید همانگونه که در روش الف، استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۲۳۷: سال ۱۳۹۸، مشخص شده است، انجام شود، به جز موارد زیر:

الف - اگر برای خواص جوهر مناسب باشد، می توان دمای تکلیس^۱ دیگری به جز دمایی که در استاندارد فوق اشاره شده، استفاده کرد.

ب - اگر با توجه به دقت اندازه گیری جرم، محتوای خاکستر بسیار کم است، جرم آزمون را می توان بیشتر از مقداری که در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۲۳۷: سال ۱۳۹۸ درج شده، انتخاب کرد.

ویژگی های تفصیلی محصول باید دما و جرم تکلیس آزمون را مشخص کند.

۲-۳-۲-۵ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف - شناسه آزمون؛

ب - دمای تکلیس؛

پ - جرم آزمون؛

ت - نتایج و تغییرات؛

ث - آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۴-۲-۵ مواد خارجی

۱-۴-۲-۵ اصول

ماده خارجی به وسیله اندازه گیری جرم باقی مانده در صافی پس از عبور جوهر از صافی غشایی و محاسبه نسبت این جرم به جرم کل جوهر تعیین شده و بر حسب درصد بیان می شود.

۵-۲-۴-۲ روش آزمون

این آزمون باید همانگونه که در استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۳۹۹: سال ۱۳۹۳ مشخص شده است، انجام شود، به جز موارد زیر:

- الف- جرم آزمون باید بین ۱ g تا ۱۰ g باشد؛
- ب- برای تصفیه (فیلتراسیون) آزمون، باید از یک صافی غشایی با اندازه مناسب منافذ، به جای غربال فلزی استفاده کنید. اندازه منافذ صافی باید توسط تولیدکننده مشخص شود؛
- پ- برای رقیق کردن آزمون یا تمیز کردن مواد باقی مانده در صافی، باید از حلال مناسب با خصوصیات جوهر استفاده کنید؛
- ت- در صورت ضرورت، می توان آزمون را قبل از تصفیه با حلال مناسب رقیق کرد. انجام هیچ عمل آوری دیگری مجاز نیست؛
- ث- دمای خشک شدن صافی و مواد باقی مانده در آن می تواند متفاوت از دمای ذکر شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۳۹۹: سال ۱۳۹۳ باشد؛
- ج- این آزمون را باید آنقدر ادامه داده و تکرار کنید که تفاوت بین نتایج دو آزمون پیاپی کمتر از ۲۰٪ باشد، جرم بزرگتر را باید گزارش کنید.

۵-۲-۴-۳ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

- الف- شناسه آزمون؛
- ب- شرایط آزمون (اندازه سوراخ های صافی و دمای خشک شدن)؛
- پ- نتایج؛
- ت- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۵-۳ خواص فیزیکی

۵-۳-۱ چگالی

۵-۳-۱-۱ روش اندازه گیری

روش اندازه گیری یا باید براساس استفاده از چگالی سنج شیشه ای باشد، همانگونه که در استانداردهای ملی ایران شماره های ۲۶۴۶: سال ۱۳۶۶، ۷۰۹۰-۱: سال ۱۳۹۸ و ۶۴۵۴۱-۱: سال ۱۳۹۸ ارائه شده یا باید براساس چگالی سنج نوسانی باشد، همانگونه که در استاندارد ISO 15212-1 ارائه شده یا براساس چگالی سنج جسم غوطه ور (شاقول مانند) همانگونه که در استاندارد ملی ایران شماره ۶۴۵۴-۲: سال ۱۳۹۰ ارائه

شده است. ویژگی‌های تفصیلی محصول باید روش اندازه‌گیری استفاده شده برای اندازه‌گیری چگالی را مشخص کند.

۲-۱-۳-۵ تجهیزات

تجهیزات مورد استفاده باید مانند آنچه که در روش اندازه‌گیری (زیربند ۱-۳-۵) ارائه شده یا بهتر از آن باشند.

۳-۱-۳-۵ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف - شناسه نمونه؛

ب - روش اندازه‌گیری؛

پ - شرایط محیطی اندازه‌گیری (دما و رطوبت نسبی)؛

ت - نتایج؛

ث - آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۲-۳-۵ شارش‌شناسی (رئولوژی)^۱

۱-۲-۳-۵ روش اندازه‌گیری

گرانروی باید به وسیله گرانروی‌سنج از نوع بروکفیلد^۲، مخروط، مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۷۰۹۰-۱: سال ۱۳۹۸ و صفحه، مطابق استاندارد ISO 2884-1 یا دورانی، مطابق استاندارد ISO 3219 باشد.

ویژگی‌های تفصیلی محصول باید روش و دمای اندازه‌گیری گرانروی را مشخص کند.

۲-۲-۳-۵ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف - شماره استاندارد روش اندازه‌گیری؛

ب - شناسه نمونه؛

پ - دمای اندازه‌گیری؛

ت - مدل دستگاه گرانروی‌سنج؛

ث - گرانروی برحسب میلی پاسکال - ثانیه (mPa.s)؛

1- Rheology

2- Brookfield

ج- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به‌عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۳-۳-۵ کشش سطحی

۱-۳-۳-۵ روش اندازه‌گیری

کشش سطحی باید با روش بالاکشیدن لایه مایع (روش ویلهلمی^۱) مطابق آنچه که در استاندارد ملی ایران شماره ۲۹۷۶: سال ۱۳۹۱ مشخص شده، اندازه‌گیری شود، به‌جز موارد زیر:

الف- تجهیزات مورد استفاده می‌توانند مطابق مواردی باشند که در استاندارد ملی ایران شماره ۲۹۷۶: سال ۱۳۹۱ ارائه شده است؛

ب- آویز^۲ ویلهلمی باید از جنس پلاتین باشد؛

پ- دستگاه اندازه‌گیری باید با آب خالص و یک وزنه آویزان کالیبره شده باشد.

۲-۳-۳-۵ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف- شناسه آزمون؛

ب- دمای اندازه‌گیری؛

پ- کشش سطحی بر حسب میلی نیوتن بر متر (mN/m)؛

ت- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به‌عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۴-۳-۵ اندازه مواد رسانا

۱-۴-۳-۵ نمونه برداری

آزمونه‌ای که برای اندازه‌گیری اندازه ذرات مواد رسانا استفاده می‌شود باید مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۹۲۲: سال ۱۳۸۸ یا روش‌های مشابه، تهیه شده باشد. اگر بازتوزیع^۳ ضروری باشد، این کار باید مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۱۰۰: سال ۱۳۸۶ یا روش‌های مشابه، انجام شود.

۲-۴-۳-۵ گره

۱-۲-۴-۳-۵ روش اندازه‌گیری

میانگین اندازه ذرات کروی یا ذرات نزدیک به گره (ذراتی که طول و عرض و ارتفاع آنها تقریباً برابر است) باید با روش ناحیه حسگری الکتریکی مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۸۳۱۳: سال ۱۳۸۴، روش پراش

1- Wilhelmy
2- Test jig
3- Redistribution

لیزر مطابق استاندارد ISO 13320، روش همبستگی فوتون مطابق استاندارد ISO 13321 یا روش طیف‌سنجی تضعیف فراصوت، مطابق استاندارد ISO 20998-1 اندازه‌گیری شود. تجهیزات اندازه‌گیری باید همانگونه که در یکی از استانداردهای فوق مشخص شده، باشند. میانگین اندازه ذرات به صورت قطر گره معادل یا قطر دایره معادل، بسته به روش اندازه‌گیری به دست می‌آید. نوع قطر به دست آمده باید ثبت و در گزارش نتایج درج شود.

۵-۳-۴-۲ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

- الف - شناسه نمونه؛
- ب - میانگین ابعاد ذرات؛
- پ - نوع قطر اندازه‌گیری شده؛
- ت - آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۵-۳-۴-۳ نانومیل، نانوسیم و نانولوله

۵-۳-۴-۱ روش اندازه‌گیری

نانومیل، نانوسیم و نانولوله‌ها باید مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۰۹۹: سال ۱۳۹۵ یا روش‌های معادل، اندازه‌گیری شوند. با توجه به اینکه این روش، طول و عرض نانوذرات را از تصویر میکروسکوپ الکترونی استخراج می‌کند، به یک طول استاندارد نیاز دارد. این طول استاندارد می‌تواند مقیاس نمایش داده شده روی تصویر باشد. به منظور تعیین طول استاندارد، می‌توان نانوذراتی با اندازه دقیق و مشخص را به عنوان مرجع با آزمون مخلوط کرد و به همراه آزمون از آنها تصویربرداری کرده و به وسیله آنها مقیاس تصویر را کالیبره کرد. حداقل تعداد نانوذراتی که برای به دست آوردن میانگین طول و عرض نانوذرات لازم است براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۰۹۹: سال ۱۳۹۵، تعیین می‌شود.

در استاندارد ISO 9276-6، نانومیل‌ها، نانوسیم‌ها و نانولوله‌ها به عنوان ذرات سوزنی یا ستونی در نظر گرفته شده‌اند و روشی را برای اندازه‌گیری طول آنها مشخص می‌کند. طول و عرض این ذرات را می‌توان با استفاده از این روش و نرم‌افزار بر پایه آن به دست آورد.

۵-۳-۴-۲ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

- الف - شناسه نمونه؛
- ب - طول و عرض نانوذرات؛
- پ - تعریف استاندارد طول؛

ت- تعداد نانوذرات استفاده شده برای محاسبه طول و عرض؛

ث- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۴-۴-۳-۵ دیگر شکل های ذرات

۱-۴-۴-۳-۵ روش اندازه گیری

برای ذرات دارای شکل های نامتعارف که در طبقه بندی های فوق (زیربندهای ۲-۴-۳-۵ و ۳-۴-۳-۵) قرار نمی گیرند، میانگین اندازه ذرات باید مطابق استاندارد ISO 9276-6 یا به وسیله نرم افزاری که مطابق استاندارد ISO 9276-6 کار می کند، محاسبه شود.

۲-۴-۴-۳-۵ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف- شناسه نمونه؛

ب- میانگین اندازه نانوذرات؛

پ- مقادیری که مقدار پیش فرض آنها حین پردازش داده تغییر کرده است؛

ت- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۵-۳-۵ نقطه اشتعال

۱-۵-۳-۵ روش اندازه گیری

نقطه اشتعال باید مطابق استاندارد ISO 2592 (سامانه باز) اندازه گیری شود. برای ایمنی بیشتر، روش سامانه باز ترجیح داده می شود، اگرچه روش سامانه بسته نیز در سطح گسترده استفاده می شود. در صورت لزوم روش های اندازه گیری براساس استانداردهای ISO 2719 (سامانه بسته) و استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۲۱۳: سال ۱۳۹۸ (سامانه بسته) را نیز می توان به کار برد.

۲-۵-۳-۵ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف- شناسه نمونه؛

ب- شرایط محیطی آزمون (دما، رطوبت نسبی و فشار جو)؛

پ- شرایط نمونه برداری (نوع جوهر، محیط پراکندگی و غلظت)؛

ت- نتایج؛

ث- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

ج - سایر موارد (موارد ویژه).

۵-۳-۶ آهنگ تبخیر^۱

۵-۳-۶-۱ کلیات

آهنگ تبخیر خاصیتی است که برای جوهرهای الکترونیک چاپی ضروری است، اما جزئیات شرایط ارزشیابی و روش اندازه‌گیری به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای برای جوهر متفاوت است. در این استاندارد چارچوب کاری مشترکی برای این روش به‌عنوان یک راهنما مشخص شده‌است. جزئیات شرایط و اندازه‌گیری‌ها ممکن است با تفاهم بین طرفین تجاری براساس خواص جوهر تعیین شود.

۵-۳-۶-۲ روش اندازه‌گیری

آهنگ تبخیر حلال یک جوهر با اندازه‌گیری زمان لازم برای تبخیر % ۹۰ جرم حلال موجود در فرمول‌بندی جوهر تعیین می‌شود.

یک ترازوی حساس درون یک محفظه‌ی هوای خشک (رطوبت نسبی کمتر از % ۵) یا یک محفظه‌ی نیتروژن در فشار جو قراردادده شده و یک ماده‌ی جاذب مسطح (مانند کاغذ صافی) نیز روی ترازو قرار داده می‌شود. حجم مشخصی از جوهر (مثلاً ۱ ml) روی یک خط مستقیم روی ماده‌ی جاذب ریخته می‌شود تا سطحی تکرارپذیر از فیلم ترشده روی کاغذ صافی ایجاد شود. هوای خشک یا نیتروژن با شدت جریان و دمای کنترل‌شده از داخل محفظه عبور داده می‌شود. شدت جریان و دما می‌توانند براساس توافق بین طرفین تجاری تعیین شوند. اما این شرایط باید در گزارش نتایج درج شوند. توصیه می‌شود محل دریچه‌های ورود و خروج هوای خشک یا نیتروژن براساس خواص جوهر انتخاب شود، به‌نحوی که مزاحمتی در خواندن نتایج ترازو حین آزمون ایجاد نشود.

آهنگ تبخیر را می‌توان با اندازه‌گیری تغییر جرم طی دوره‌ی زمانی محاسبه کرد. توصیه می‌شود، اندازه‌گیری‌های کافی انجام شوند تا حداقل پنج نقطه یا بیشتر روی نمودار جرم تبخیرشده برحسب زمان، بین % ۱۰ تا % ۹۰ جرم تبخیرشده به‌دست آید. این آزمون باید سه بار تکرار شود و آهنگ تبخیر برای جوهر موردنظر میانگین‌گیری شود. برای مقایسه، ضروری است که روش بالا برای حلالی با آهنگ تبخیر معین مانند بوتیل استات نرمال^۲ انجام شده و آهنگ تبخیر حلال جوهر براساس آهنگ تبخیر این حلال نرماله شود.

در صورتی که جوهر از مخلوطی از چند حلال تشکیل شده‌باشد، باید تعداد اندازه‌گیری‌های بیشتری انجام شود تا به‌وضوح، تغییرات آهنگ تبخیر در طی زمان نمایش داده شود. برای این منظور پیشنهاد می‌شود که از ترازویی استفاده شود که مجهز به سامانه ثبت خودکار اطلاعات است تا دریافت داده‌های کافی برای توصیف جزئیات رفتار جوهر تسهیل شود. در شرایطی که آهنگ تبخیر جوهر به شکلی پیچیده با زمان تغییر کند،

1- Evaporation rate

2- n-butyl acetate

می‌توان نتایج را به صورت نمودار ارائه کرد. همچنین می‌توان با رسم آهنگ تبخیر بوتیل استات نرمال روی همان نمودار، نتایج به دست آمده را با بوتیل استات نرمال، مقایسه کرد.

۵-۳-۶ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف- شناسه آزمون؛

ب- شرایط آزمون (جرم جوهر، شدت جریان هوای خشک یا ازت، حلال استفاده شده برای مقایسه)؛

پ- نتایج (نرماله شده نسبت به حلال استفاده شده برای مقایسه)؛

ت- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۶ ارزشیابی خواص یک لایه رسانا

۶-۱-۶ قطعه آزمون

۶-۱-۱ کلیات

قطعات آزمون برای ارزشیابی لایه رسانا استفاده می‌شوند.

۶-۱-۲ بستره

بستره مورد استفاده برای قطعه آزمون باید شیشه‌ای غیرقلیایی و تمیز با سطحی صاف باشد که اثری روی جوهر نداشته باشد. در صورت توافق بین طرفین تجاری (تأمین کننده و خریدار)، می‌توان از دیگر مواد بستره نیز استفاده کرد.

۶-۱-۳ جوهر رسانا

مطابق زیربند ۵-۱ باشد، لیکن هیچ نوع رقیق کردنی مجاز نیست.

۶-۱-۴ ابعاد قطعه آزمون

ابعاد قطعه آزمون باید همانگونه که در هر یک از روش‌های آزمون مشخص شده، باشد. اگر ارزشیابی امکان پذیر باشد، می‌توان از یک قطعه آزمون با ابعاد کوچکتر و/یا نازکتر از مقدار تعیین شده نیز استفاده کرد.

۶-۱-۵ آماده سازی قطعه مورد آزمون

قطعه آزمون باید بر اساس روش زیر آماده شود:

الف- قبل از چاپ جوهر یا پوشش دهی، سطح بستره را به روش مناسبی به وسیله حلالی آلی مانند استون به خوبی تمیز کنید.

ب- چاپ یا پوشش‌دهی جوهر روی بستره را با روش مناسبی انجام دهید تا لایه‌ای یکنواخت از جوهر روی سطح ایجاد شود.

پ- فرآیند جامد کردن جوهر را به روش مناسبی انجام دهید تا لایه‌ای رسانا ایجاد شود.

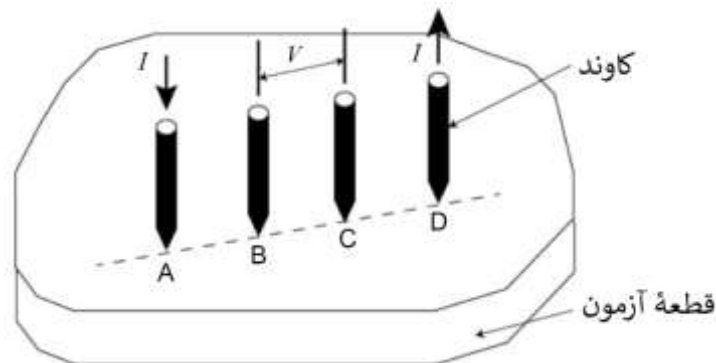
۲-۶ خواص الکتریکی

۱-۲-۶ مقاومت ویژه

۱-۱-۲-۶ کلیات

مقاومت ویژه یک لایه رسانا به وسیله روش کاوند چهارنقطه‌ای^۱ اندازه‌گیری می‌شود. در این روش، چنانکه در شکل ۱ نشان داده شده‌است، چهار کاوند روی یک خط مستقیم روی سطح قطعه آزمون قرار داده شده و جریان مشخص I از بین کاوندهای A و D عبور داده می‌شود و اختلاف پتانسیل بین دو کاوند دیگر V اندازه‌گیری شده و مقاومت (V/I) محاسبه می‌شود.

سر دستگاه کاوند چهارنقطه‌ای باید چنان باشد که به لایه رسانا آسیبی نرساند.



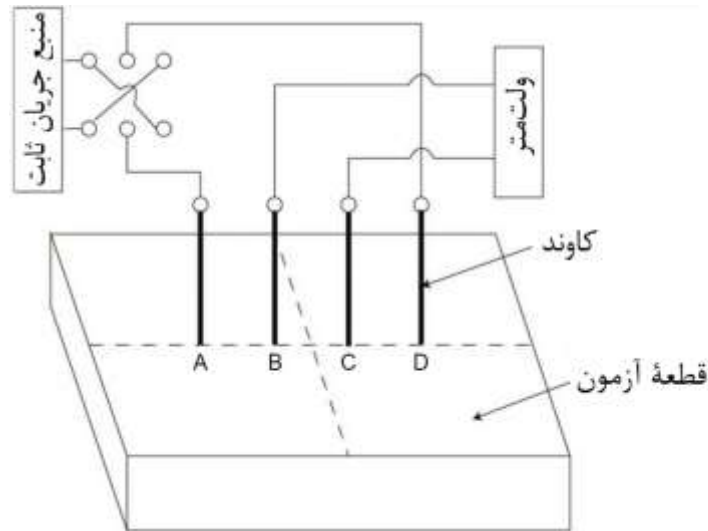
شکل ۱- مثالی از اندازه‌گیری با کاوند

۲-۱-۲-۶ تجهیزات و ابزار

۱-۲-۱-۲-۶ تجهیزات آزمون

۱-۱-۲-۱-۲-۶ اجزای تجهیزات آزمون

تجهیزات آزمون شامل یک منبع ثابت جریان، یک ولت‌متر و چهار کاوند، مطابق شکل ۲ است.



شکل ۲- مثالی از تجهیزات اندازه‌گیری کاوند چهارنقطه‌ای

۲-۱-۲-۱-۲-۶ منبع جریان ثابت

منبع جریان ثابت باید بتواند جریان I_0 را که مقدار آن مطابق جدول ۱ تعیین می‌شود، از بازه مقاومت قطعه آزمون عبور دهد. جریان اعمالی، جریان مستقیم (DC) است که از منبع جریان ثابت به کاوندهای A و D اعمال می‌شود. برای تعیین مقدار جریان اعمالی، I_0 به طریق زیر عمل کنید: فرض کنید اختلاف ولتاژ بین کاوندهای B و C برابر V باشد، مقاومت الکتریکی برابر V/I_0 خواهد بود. براساس این مقاومت، جریان را از جدول ۱ انتخاب کنید. آهنگ تغییرات مجاز جریان استفاده شده I_0 حین اندازه‌گیری باید حداکثر $\pm 0.5\%$ یا کمتر باشد.

جدول ۱- گستره مقاومت قطعه آزمون و جریان اعمالی

محدوده مقاومت قطعه آزمون	$< 20 \text{ m}\Omega$	$< 200 \text{ m}\Omega$	$< 2 \text{ }\Omega$	$< 2 \text{ k}\Omega$	$< 20 \text{ k}\Omega$	$< 200 \text{ k}\Omega$	$< 2 \text{ M}\Omega$
جریان اعمالی (I_0)	۱۰۰۰ mA	۱۰۰ mA	۱۰ mA	۱ mA	۱۰۰ μA	۱۰ μA	۱ μA

۳-۱-۲-۱-۲-۶ ولت‌متر

ولت‌متر مورد استفاده باید رقمی (دیجیتال) باشد و نمایشگر آن حداقل سه رقم داشته باشد و قادر به اندازه‌گیری تمام بازه‌های مقاومت مندرج در جدول ۱ باشد. ولت‌متر مورد استفاده باید ترجیحاً قادر به اندازه‌گیری ولتاژ در بازه بین 0.1 mV الی 2 V بوده و مقاومت ورودی آن $10^{10} \text{ }\Omega$ یا بالاتر باشد.

۴-۱-۲-۱-۲-۶ کاوند

هر کاوند باید میله‌ای فلزی به شعاع ۰/۵ mm تا ۰/۸ mm با نوکی نیم‌کره‌ای یا تخت باشد. چهار کاوند باید روی یک خط و در فواصل مساوی باشند با نوک‌های تخت یا نیمه‌کروی که سطح قطعهٔ آزمون را لمس کنند. فاصلهٔ کاوندها از یکدیگر باید ۱/۵ mm باشد و مقاومت عایق بین کاوندها باید $10^{10} \Omega$ یا بیشتر باشد. فاصلهٔ بین کاوندها می‌تواند ۰/۵ mm، ۱ mm، ۲/۲ mm یا ۵ mm نیز باشد. در صورت استفاده از کاوندهایی با فاصلهٔ

۰/۵ mm، کاوندها باید کالیبره‌شوند و گزارش مربوطه باید استفاده از کاوندهای کالیبره‌شده با فاصلهٔ ۰/۵ mm را درج کند. در حین اندازه‌گیری ضروری است که نیروی مناسب به هریک از کاوندها اعمال شود. مثال‌هایی از کاوندهایی که قادر به اعمال نیروی مناسب هستند در پیوست ت ارائه شده‌است.

اگر از کاوندهایی با فاصلهٔ ۰/۵ mm استفاده می‌شود، پیشنهاد می‌شود که از آزمون کالیبره‌شده که مقاومت آن با دقت معین $\pm 3\%$ است، استفاده شود.

۲-۲-۱-۲-۶ تجهیزات اندازه‌گیری ضخامت آزمون

تجهیزات اندازه‌گیری ضخامت آزمون باید از نوع غیرتماسی یا از نوع کاوندی باشند.

۳-۱-۲-۶ ارزشیابی قطعهٔ مورد آزمون

۱-۳-۱-۲-۶ آماده‌سازی آزمون

آزمون باید مطابق روش اجرای مشخص شده در زیربند ۶-۱، آماده شود. بستره باید خواص زیر را داشته باشد:

- مقاومت بیشتر از $10^6 \Omega$ ؛

- هیچ دندانه یا اعوجاجی^۱ نداشته باشد. مگر ناصافی ناشی از خود کاوندها.

اگر از بستره‌ای استفاده می‌شود که ممکن است دچار اعوجاج شود، آزمون در حین اندازه‌گیری باید روی یک سطح صاف ثابت نگهداشته شود.

۲-۳-۱-۲-۶ ابعاد آزمون

ابعاد آزمون باید مطابق دستورالعمل زیر باشد:

الف- اندازه آزمون باید از جدول ۲ انتخاب شود.

جدول ۲- فهرست ابعاد آزمونه‌ها

	عرض (mm)	طول مؤثر نمونه (mm)
Type A	10 ± 0.2	30 ± 0.2
Type B	30 ± 0.2	30 ± 0.2
Type C	10 ± 0.2	50 ± 0.2
Type D	25 ± 0.2	50 ± 0.2
Type E	50 ± 0.2	80 ± 0.2

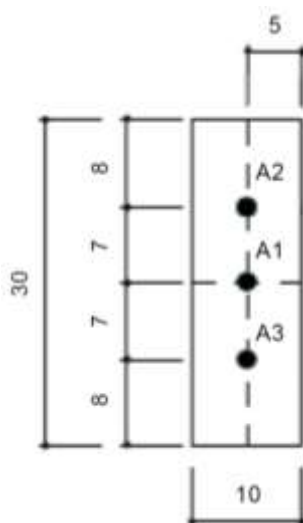
ب- ضخامت آزمونه باید $200 \mu m$ یا کمتر باشد و در همان محلی از آزمونه که مقاومت آن اندازه‌گیری می‌شود، اندازه‌گیری شود. این ضخامت فقط شامل لایه رسانا است و شامل بستره نمی‌شود.

۴-۱-۲-۶ روش اجرای آزمون

۱-۴-۱-۲-۶ اندازه‌گیری مقاومت

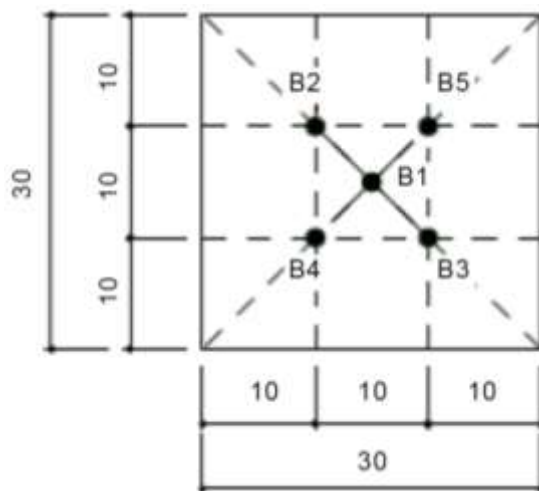
محل اندازه‌گیری مقاومت باید A1 تا A3 مطابق شکل ۳، B1 تا B5 مطابق شکل ۴، یا C1 تا C9 مطابق شکل ۵ باشد.

ابعاد برحسب میلی‌متر



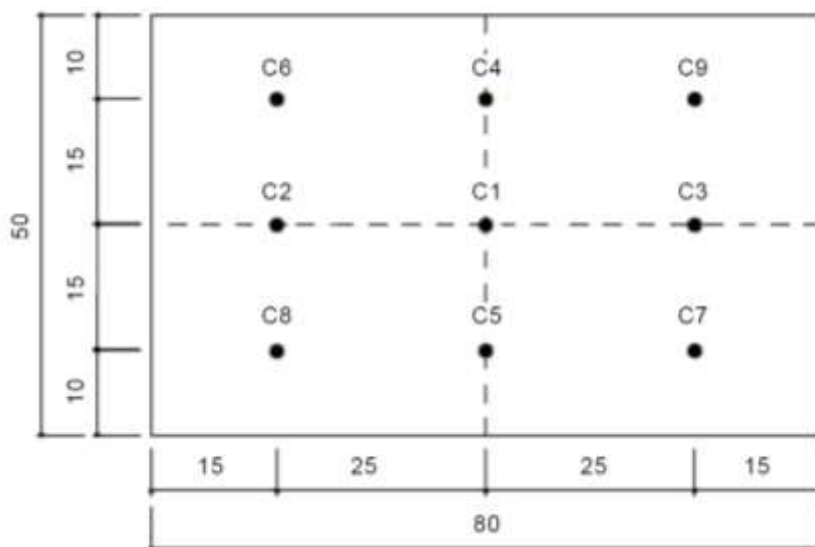
شکل ۳- محل اندازه‌گیری مقاومت (نوع A)

ابعاد برحسب میلی‌متر



شکل ۴- محل اندازه‌گیری مقاومت (نوع B)

ابعاد برحسب میلی‌متر



شکل ۵- محل اندازه‌گیری مقاومت (نوع C)

مقاومت باید در سه نقطه A1 تا A3 در آزمونه‌های نوع A، B1 تا B2 در آزمونه‌های نوع B، و C1 تا C3 در آزمونه‌های نوع C اندازه‌گیری شود. لیکن با توجه به همگنی لایه و نتایج آزمون‌های قبلی، اندازه‌گیری فقط یک نقطه (A1، B1، یا C1)، پنج نقطه (B1 تا B5 برای نوع B، یا C1 تا C5 برای نوع C)، یا نه نقطه (C1 تا C9 برای آزمونه نوع C) نیز قابل قبول است. مقاومت باید با قراردادن مرکز مجموعه کاوندها در هر یک از محل‌های اندازه‌گیری، اندازه‌گیری شود. کاوند باید موازی راستای طولی (ضلع بزرگتر) آزمونه باشد. برای

داشتن اندازه‌گیری پایدار، لازم است که محل اندازه‌گیری حداقل ۱۰ mm از لبه‌های آزمون فاصله داشته باشد. بنابراین، وقتی که مقاومت نوع A اندازه‌گیری می‌شود، می‌توان از یک الگو استفاده کرد تا محل اندازه‌گیری همیشه ثابت بماند.

۲-۴-۱-۲-۶ محاسبه مقاومت ویژه

مقاومت ویژه باید با استفاده از معادله (۱) محاسبه شود:

$$\rho = F.t.R \quad (1)$$

که در آن:

ρ : مقاومت ویژه ($\Omega.cm$)؛

F : ضریب تصحیح؛

t : ضخامت لایه رسانا برحسب (cm)؛

R : مقاومت اندازه‌گیری شده برحسب (Ω) است.

ضریب تصحیح F باید با استفاده از معادله پوآسن (معادله ۲) محاسبه شود. این معادله در پیوست ب شرح داده شده‌است و اثر ابعاد آزمون و محل اندازه‌گیری در پیوست پ شرح داده شده‌اند.

(۲)

$$F^{-1} = \frac{y_B - y_C}{a} + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{a\zeta \sinh(b\zeta)} \left[\left\{ \cos(\zeta x_B) \cosh \left[\zeta \left(y_B + \frac{b}{2} \right) \right] - \cos(\zeta x_C) \cosh \left[\zeta \left(y_C + \frac{b}{2} \right) \right] \right\} \times \cos(\zeta x_A) \cosh \left[\zeta \left(y_A + \frac{b}{2} \right) \right] \right. \\ \left. - \left\{ \cos(\zeta x_B) \cosh \left[\zeta \left(y_B - \frac{b}{2} \right) \right] - \cos(\zeta x_C) \cosh \left[\zeta \left(y_C - \frac{b}{2} \right) \right] \right\} \times \cos(\zeta x_D) \cosh \left[\zeta \left(y_D + \frac{b}{2} \right) \right] \right] \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{a\eta \sinh(b\eta)} \times \left[\left\{ \cosh \left[\eta \left(y_B + \frac{b}{2} \right) \right] - \cosh \left[\eta \left(y_C + \frac{b}{2} \right) \right] \right\} \times \cosh \left[\eta \left(y_A - \frac{b}{2} \right) \right] \right] \\ - \left[\cosh \left[\eta \left(y_B - \frac{b}{2} \right) \right] - \cosh \left[\eta \left(y_C - \frac{b}{2} \right) \right] \right] \times \cosh \left[\eta \left(y_D + \frac{b}{2} \right) \right] \\ + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{a\zeta \sinh(b\zeta)} \times \left[\left\{ \cos(\zeta x_B) \cosh \left[\zeta \left(y_B + \frac{b}{2} \right) \right] - \cos(\zeta x_C) \cosh \left[\zeta \left(y_C + \frac{b}{2} \right) \right] \right\} \times \cos(\zeta x_A) \cosh \left[\zeta \left(y_A - \frac{b}{2} \right) \right] \right. \\ \left. - \left\{ \cos(\zeta x_B) \cosh \left[\zeta \left(y_B - \frac{b}{2} \right) \right] - \cos(\zeta x_C) \cosh \left[\zeta \left(y_C - \frac{b}{2} \right) \right] \right\} \times \cos(\zeta x_D) \cosh \left[\zeta \left(y_D + \frac{b}{2} \right) \right] \right]$$

که در آن:

(x_A, y_A) مختصات دکارتی نقطه A (cm)؛

(x_B, y_B) مختصات دکارتی نقطه B (cm)؛

(x_C, y_C) مختصات دکارتی نقطه C (cm)؛

(x_D, y_D) مختصات دکارتی نقطه D (cm)؛

a, b ابعاد آزمون؛

$m\pi/a = \xi$ است که در آن m عددی طبیعی است؛

$n\pi/t = \eta$ (که در آن n عددی طبیعی است و t نشان‌دهنده ضخامت لایه رسانا است)؛

$$\zeta = \sqrt{(\xi^2 + \eta^2)}$$
 است.

در صورتی که پس از رطوبت دهی، تغییری در مقاومت ویژه مشاهده شود، اندازه‌گیری مقاومت ویژه قبل و بعد از رطوبت‌دهی در دمای $20 \pm 2^\circ\text{C}$ و 60°C و رطوبت $(90 \pm 3)\%$ به مدت ۲۴ ساعت، ۴۸ ساعت و ۷۲ ساعت باید انجام شده و مقادیر به‌دست‌آمده با هم مقایسه شده و تفاوت آنها محاسبه شود. در صورت توافق طرفین تجاری (تأمین‌کننده و خریدار)، شرایط دیگری نیز برای رطوبت‌دهی قابل‌استفاده هستند.

۵-۱-۲-۶ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف - شناسه آزمون؛

ب - شرایط آزمون (دمای خشک شدن و فشار جو)؛

پ - ابعاد قطعه آزمون؛

ت - مقاومت ویژه و خطای مربوطه؛

ث - آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به‌عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۲-۲-۶ مقاومت ویژه سطح^۱

۱-۲-۲-۶ تعیین مقاومت ویژه سطح

مقاومت ویژه سطح باید با تقسیم مقاومت ویژه به دست آمده در زیربند ۱-۲-۶ بر ضخامت لایه رسانا محاسبه شود. اگر ضخامت در چند نقطه اندازه‌گیری می‌شود، میانگین آنها باید استفاده شود. در صورتی که پس از رطوبت‌دهی تغییری در مقاومت ویژه سطح دیده شود، مقاومت ویژه حجم که در زیربند ۱-۲-۶ قبل و بعد از رطوبت‌دهی به‌دست آمده‌است، باید بر ضخامت لایه رسانا تقسیم شود و تفاوت دو مقدار محاسبه شد.

۲-۲-۲-۶ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف - شناسه آزمون؛

ب - شرایط آزمون (دمای خشک شدن و فشار جو)؛

- پ- ابعاد قطعه آزمون؛
- ت- مقاومت ویژه سطح و خطای مربوطه؛
- ث- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۳-۶ انعطاف پذیری مکانیکی

۱-۳-۶ کلیات

در این بند، یک آزمون خمش مکانیکی برای ارزشیابی خصوصیات الکتریکی لایه‌های رسانای چاپ شده روی بستره تحت تغییر شکل‌های متناوب مکانیکی ارائه می‌شود تا ارزیابی قابلیت اطمینان لایه‌های چاپ شده در بلندمدت در صنایع ممکن باشد. برای این منظور نمونه لایه رسانای چاپ شده روی بستره، به وسیله تجهیزات مناسب با شعاع تعیین شده خم شده و مقاومت الکتریکی آن قبل و بعد از خم شدن به تعداد مناسب اندازه‌گیری می‌شود تا اثر خمش خم شدن بر خصوصیات الکتریکی لایه رسانا به دست آید.

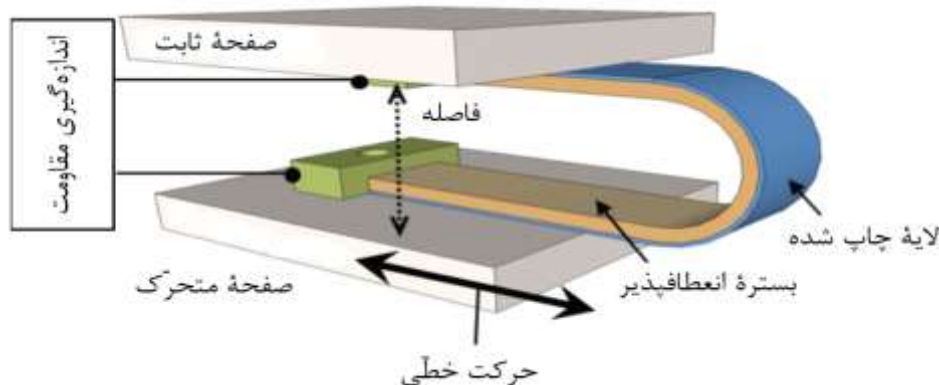
۲-۳-۶ ابعاد نمونه آزمون

برای یکنواخت بودن تغییر شکل خمشی و توزیع کرنش، نمونه‌ای مستطیلی شکل باید استفاده شود. ابعاد نمونه باید مطابق جدول ۱، انتخاب شود. نمونه دیگری که طول آن حداقل چهار برابر طول جابه‌جایی خطی باشد نیز برای آزمون انعطاف‌پذیری قابل استفاده است.

۳-۳-۶ روش و دستگاه آزمون

۱-۳-۳-۶ کلیات

یک لایه رسانای چاپ شده روی زیرلایه انعطاف‌پذیر باید مطابق شکل ۶ بین دو صفحه قرار گرفته و به شکل یک نیم‌دایره خم شود. حرکت خطی متناوب یک صفحه منجر به خم شدن و صاف شدن متناوب نمونه می‌شود. خصوصیات الکتریکی فیلم رسانا باید به وسیله گیره فلزی و اتصالات الکتریکی اندازه‌گیری شود.



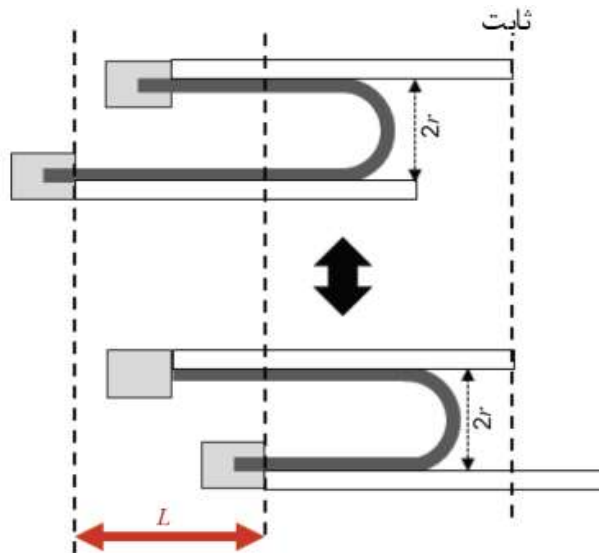
شکل ۶- طرحواره آزمون مکانیکی فیلم چاپ شده

۶-۳-۳-۲ دستگاه آزمون

همانگونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، یک دستگاه آزمون خمش برای حرکت لغزشی متناوب نمونه استفاده می‌شود. فاصله بین دو صفحه ممکن است به میزان مورد نظر قابل تنظیم باشد. طول حرکت خطی باید قابل تنظیم بین ۰ mm تا ۳۰ mm میلی‌متر باشد.

صفحات باید تمیز، صاف و صلب باشند تا موجب وارد آمدن صدمات مکانیکی به نمونه نشوند. برای اندازه‌گیری الکتریکی، گیره‌ها باید از فلزی رسانا و برای اتصال الکتریکی ساخته شده باشند. ولی صفحات باید از ماده‌ای عایق مانند سری رزین‌ها^۱، پلی‌کربنات، نایلون تک‌قالبی یا مانند آن‌ها ساخته شده باشد. صفحات باید دارای مقاومت الکتریکی بیشتر از $10^6 \Omega$ بوده و طی آزمون انعطاف‌پذیری، تغییر شکل پیدا نکنند.

در حالی که یک صفحه ثابت است، صفحه دیگر حرکت خطی رفت و برگشتی مطابق شکل ۷ دارد. در اثر حرکت خطی غیرمتقارن صفحه، متناوباً تغییر شکل خمشی به نمونه‌ها اعمال می‌شود.



شکل ۷- تجهیزات آزمون مکانیکی فیلم چاپ شده

۶-۳-۴ روش اجرای آزمون

روش اجرای آزمون به ترتیب زیر است:

الف- نمونه را بین دو صفحه قرار داده و لبه نمونه را به گیره‌ها متصل کنید. هنگام نصب نمونه باید فاصله بین صفحات بیشتر از ۱۰ میلی‌متر باشد تا از صدمه دیدن نمونه قبل از شروع آزمون جلوگیری شود. جهت طولی نمونه باید در راستای حرکت خطی دستگاه باشد و زاویه انحراف طبق استاندارد IEC 62951-1 باید کمتر از ۵ درجه باشد.

ب- فاصله بین دو صفحه را تغییر دهید تا شعاع خمش از زیاد به کم تغییر کند. آزمون باید در شرایطی انجام شود که فاصله بین دو صفحه هیچ تداخلی با حرکت دوره‌ای نداشته باشد.

پ- فاصله را در شعاع خمش مناسب ثابت کرده و مقاومت الکتریکی اولیه نمونه را قبل از آزمون انعطاف پذیری اندازه‌گیری کنید. حرکت لغزشی نامتقارن را آغاز کنید.

یادآوری - خصوصیات مکانیکی لایه‌های رسانا معمولاً به جهت خمش بستگی دارند (خمش رو به داخل یا خمش رو به خارج مطابق پیوست ث). همچنین طول حرکت خطی می‌تواند بر قابلیت اطمینان الکتریکی الکترو انعطاف پذیر، اثرگذار باشد.

برای آزمون مکانیکی فیلم چاپ شده، شعاع خمش (مرتبط با فاصله صفحات) و طول حرکت خطی باید ترکیبی از مقادیر زیر بوده و براساس نوع محصول و کاربرد آن انتخاب شوند:

r : (شعاع خمش): mm (۰٫۱ تا ۰٫۲؛ ۰٫۵ تا ۱؛ ۲ تا ۳؛ ۵ تا ۷٫۵؛ ۱۰ تا ۱۵؛ ۲۰)؛

t : (زمان یک دوره خمش و صاف شدن): s (۰٫۵ تا ۱؛ ۲ تا ۳؛ ۵ تا ۱۰)؛

L : (طول حرکت خطی): mm (۵؛ ۱۰؛ ۱۵؛ ۲۰؛ ۳۰)؛

N : (تعداد دفعات خمش): ۱۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۵۰۰۰۰، ۱۰۰۰۰۰، ۵۰۰۰۰۰، ۱۰۰۰۰۰۰، ۱۰۰۰۰۰۰۰ دور.

برای آزمون و تغییر شکل خمشی پایدار، طول حرکت خطی باید با در نظر گرفتن ابعاد نمونه انتخاب شود. ترکیب طول مؤثر نمونه، شعاع خمش و طول حرکت خطی مناسب برای هر نوع نمونه در جدول ۳ فهرست شده است.

جدول ۳- ترکیب طول مؤثر نمونه و طول حرکت خطی

	طول مؤثر نمونه (mm)	شعاع خمش (mm)	طول حرکت خطی (mm)
Type A, B	۳۰	۰٫۱ تا ۷٫۵	۵، ۱۰
Type C, D	۵۰	۰٫۱ تا ۱۰	۱۵، ۱۰
Type E	۸۰	۰٫۱ تا ۱۵	۱۵، ۲۰، ۳۰

تابع زمانی شکل موج دوره‌های خمش (برای حرکت لغزشی دوره‌ای) می‌تواند سینوسی باشد. ناحیه صدمه دیده بعد از آزمون دوره‌ای مکانیکی و مقایسه روش‌های آزمون انعطاف پذیری در شکل‌های ۱-ث و ۲-ث به ترتیب نشان داده شده اند.

۵-۳-۶ اندازه‌گیری

مقاومت الکتریکی یک لایه رسانا باید قبل و بعد از آزمون دوره‌ای انعطاف پذیری، اندازه‌گیری شود. برای یک ارزشیابی دقیق‌تر، مقاومت الکتریکی را می‌توان متناوباً حین اعمال خمش نیز اندازه‌گیری کرد. مقاومت

الکتریکی لایه چاپ شده باید به روش چهار سیمی اندازه گیری شود (زیربند ۶-۲). شرایط اندازه گیری الکتریکی در جدول ۱ ارائه شده است.

اگر مقاومت نمونه بیشتر از $1\text{ k}\Omega$ باشد، روش اندازه گیری دوسیمی نیز قابل استفاده است. مقاومت الکتریکی فیلم رسانا را حین این آزمون به صورت درجا^۱ نیز می تون اندازه گیری کرد. برای داشتن یک اندازه گیری الکتریکی دقیق، نمونه باید تا حد ممکن به وسیله گیره های فلزی محکم نگه داشته شود. برای نمونه هایی مانند نانوسیم های فلزی که آنقدر قوی نیستند که محکم بسته شوند، می توان انتهای نمونه را به وسیله یک نوار چسب فلزی یا یک چسب رسانا با مقاومت الکتریکی کمتر از نمونه، پوشاند.

۶-۳-۶ تحلیل داده ها

۱-۶-۳-۶ گزارش خواص الکتریکی

مقاومت الکتریکی باید به عنوان تابعی از شعاع خمش (کرنش خمشی) یا دوره های خمش در یک شعاع خمش ثابت اندازه گیری شود.

مقدار اولیه (R_0) و نسبت تغییر مقاومت الکتریکی ($\Delta R/R_0$) که از معادله زیر محاسبه می شود باید گزارش شوند:

$$\Delta R/R_0 = (R - R_0)/R_0 \quad (3)$$

که در آن:

ΔR تغییر مقاومت الکتریکی است؛

R مقاومت الکتریکی بعد از آزمون مکانیکی است؛

R_0 مقاومت الکتریکی اولیه قبل از آزمون مکانیکی است.

۲-۶-۳-۶ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

- الف- شناسه آزمون (شامل ضخامت، ضخامت لایه رسانا، ابعاد نمونه)؛
- ب- شعاع خمش و کرنش خمش (محاسبه شده به وسیله رابطه خمش در پیوست الف)؛
- پ- جهت خمش: روبه داخل یا خارج؛
- ت- طول حرکت خطی؛
- ث- فاصله زمانی بین دو خمش (دوره تناوب زمانی)؛
- ج- تعداد دوره های خمش؛

چ - مقاومت اولیه و تغییر مقاومت؛

ه - آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۴-۶ خواص نوری

۱-۴-۶ بررسی

برای مواد شفاف یا مواد معادل آنها، آزمون‌های مشخص شده در زیربندهای ۲-۴-۶ و ۵-۴-۶ باید به کار روند.

۲-۴-۶ تراگیل روشنایی^۱

۱-۲-۴-۶ کلیات

منظور از تراگیل روشنایی عبوردهی کلی روشنایی است.

۲-۲-۴-۶ روش اندازه‌گیری

عبوردهی روشنایی باید با روش تک‌باریکه‌ای^۲ همانگونه که در استاندارد ISO 13468-1 مشخص شده است، یا با روش دوباریکه‌ای^۳ همانگونه که در استاندارد ISO 13468-2 مشخص شده است، با لحاظ جزئیات زیر، اندازه‌گیری شود. در صورت توافق بین طرفین تجاری (تأمین‌کننده و خریدار)، دیگر روش‌های معادل این روش نیز قابل به‌کارگیری هستند.

روش به‌کاررفته برای این اندازه‌گیری باید در ویژگی‌های تفصیلی محصول درج شود.

۳-۲-۴-۶ تجهیزات اندازه‌گیری

تجهیزات اندازه‌گیری باید مطابق بند ۴، استاندارد ISO 13468-1:2019 یا بند ۴، استاندارد ISO 13468-2:1999، هر یک که مناسبتر است، باشند. استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری مطابق استانداردهای ISO 13655 و/یا ISO 5-2 نیز بلامانع است.

۴-۲-۴-۶ گستره طول موج مورد استفاده در آزمون

تراگیل روشنایی باید در یک طول موج مشخص یا یک گستره از طول موج‌ها براساس توافق بین طرفین تجاری (تأمین‌کننده و خریدار) و با در نظر گرفتن عواملی مانند مشخصات ماده و/یا کاربرد، تعیین شود.

۵-۲-۴-۶ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

1- Luminous transmittance
2- Single beam
3- Double beam

الف- روش و تجهیزات اندازه‌گیری؛

ب- طول موج یا بازه طول موج اندازه‌گیری؛

پ- ضخامت آزمون؛

ت- تراگیل روشنایی؛

ث- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به‌عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۳-۴-۶ خاصیت فام‌نابی^۱

۱-۳-۴-۶ کلیات

مطابق استاندارد ISO 11664-4، فام‌نابی به‌صورت فضای رنگی L^*a^*b (CIE (1976) ارائه می‌شود.

۲-۳-۴-۶ روش اندازه‌گیری

روش اندازه‌گیری باید روش نور منعکس‌شده یا نور عبوری، بسته به کاربرد و هدف باشد.

اگر از روش نور منعکس‌شده استفاده می‌شود، یک پخشگر^۳ بازتابی باید هم روی سطح اندازه‌گیری و هم روی سطح دیگر قرار گیرد، به‌طوری‌که آزمون بین آن دو قرار گیرد.

پخشگر منعکس‌کننده باید یک پخشگر منعکس‌کننده ایدئال یا یک پخشگر مرجع مورد استفاده در کالیبراسیون دستگاه‌های اندازه‌گیری باشد.

۳-۳-۴-۶ دستگاه اندازه‌گیری و تجهیزات جانبی

دستگاه اندازه‌گیری و منبع نور باید حداقل مطابق یکی از استانداردهای زیر بوده و باید در ویژگی‌های تفصیلی محصول قید شود:

ISO 5-2، ISO 3664، ISO 5-3 یا ISO 13655.

۴-۳-۴-۶ بیان نتایج

نتایج باید به‌صورت مقادیر عددی هریک از محورهای مختصات L^*a^*b ارائه شوند یا باید در فضای رنگ L^*a^*b رسم شوند. در صورت توافق بین طرفین تجاری (تأمین‌کننده و خریدار)، نتایج ممکن است به‌صورت مقدار عددی یک محور مختصات مشخص یا دو محور مختصات مشخص در فضای رنگی L^*a^*b ارائه شوند. در این صورت، محور یا محورهای مختصات مورد بحث باید به‌طور واضح قید شوند.

۵-۳-۴-۶ گزارش نتایج

1- Chromaticity
2- International commission on Illumination
3- Diffuser

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف- دستگاه اندازه‌گیری و منبع نوری؛

ب- روش اندازه‌گیری (نور انعکاسی یا نور عبوری)؛

پ- فام‌نابی (مقادیر عددی هریک از محورهای مختصات L^*a^*b ، نمودار رسم‌شده در فضای رنگ L^*a^*b ، یا مقادیر عددی یک محور مختصات مشخص یا مقادیر عددی دو محور مختصات مشخص از فضای رنگ L^*a^*b)؛

ت- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به‌عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۴-۴-۶ یک‌نواختی رنگ

۱-۴-۴-۶ اصول

تفاوت رنگ در ۱۰ نقطه روی آزمون به‌دست آمده و میانگین آن‌ها به‌وسیله تفاوت فام‌نابی استاندارد و انحراف معیار ارزیابی می‌شود.

۲-۴-۴-۶ دستگاه اندازه‌گیری

مطابق زیربند ۳-۳-۴-۶ است.

۳-۴-۴-۶ تابشگر (منبع نور)

مطابق زیربند ۳-۳-۴-۶ است.

۴-۴-۴-۶ روش اندازه‌گیری

مطابق زیربند ۳-۴-۶، فام‌نابی در ۱۰ نقطه روی یک آزمون، به‌وسیله یک دستگاه و تحت شرایط یکسان باید اندازه‌گیری شود. حداقل پنج جفت از میان این نقاط چنان انتخاب می‌شوند که همه این ۱۰ نقطه حداقل یکبار انتخاب شده‌باشند. تفاوت رنگ هر جفت از نقاط، میانگین تفاوت رنگ، تفاوت بین فام‌نابی مرجع و میانگین و انحراف معیار، محاسبه می‌شوند.

۵-۴-۴-۶ محاسبه تفاوت رنگ

تفاوت رنگ با استفاده از معادله تفاوت رنگ براساس مقادیر عددی محورهای مختصات L^*a^*b یا با استفاده از معادله تفاوت رنگ براساس روشنی^۱، اشباع^۲ و فام^۳ محاسبه می‌شود.

تفاوت رنگ براساس سامانه رنگ L^*a^*b از طریق معادله (۴) محاسبه می‌شود:

1- Lightness
2- Chroma
3- Hue

$$\Delta E_{ab}^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (۴)$$

که در آن:

ΔE_{ab}^* تفاوت رنگ براساس نظام رنگ $L^*a^*b^*$ است؛

ΔL^* ، Δa^* ، Δb^* تفاوت L^* و a^* و b^* بین دو نقطه‌ای هستند که در زیربند ۶-۴-۳ شرح داده شده‌اند.

تفاوت رنگ براساس روشنی، اشباع و فام به وسیله معادله (۵) محاسبه می‌شود:

$$\Delta E_{ab}^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta C_{ab}^*)^2 + (\Delta H_{ab}^*)^2 \right]^{1/2} \quad (۵)$$

که در آن:

ΔE_{ab}^* تفاوت رنگ براساس نظام رنگ $L^*a^*b^*$ است؛

ΔL^* تفاوت روشنی L^* ، بین دو نقطه‌ای است که در ۶-۴-۳ شرح داده شده‌اند؛

ΔC_{ab}^* تفاوت اشباع بین دو نقطه‌ای است که در ۶-۴-۳ شرح داده شده‌اند؛

ΔH_{ab}^* تفاوت فام بین دو نقطه‌ای است که در ۶-۴-۳ شرح داده شده‌اند.

علاوه بر معادلات بالا، معادله تفاوت رنگ ذکر شده در CIE DE: 2000 (به نشریه شماره 142 CIE مراجعه شود) نیز برای محاسبه تفاوت رنگ قابل استفاده است.

۶-۴-۴-۶ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف- دستگاه اندازه‌گیری؛

ب- روش اندازه‌گیری (نور انعکاسی یا نور عبوری)؛

پ- فام‌نابی استاندارد؛

ت- تفاوت بین فام‌نابی استاندارد و میانگین نقاط، و انحراف معیار نقاط؛

ث- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به‌عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۶-۴-۵ مه‌گونگی^۱

۶-۴-۵-۱ روش اندازه‌گیری

مه‌گونگی باید مطابق روش مشخص شده در استاندارد ISO 14782:1999 اندازه‌گیری شود. روش‌های مشابه نیز طبق توافق بین طرفین تجاری (تأمین‌کننده و فروشنده) قابل استفاده هستند.

۶-۴-۵-۲ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف - ضخامت آزمونه؛

ب - نوع منبع نور؛

پ - مه‌گونگی؛

ت - آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به‌عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۶-۴-۶ ضریب شکست^۱

۶-۴-۶-۱ روش اندازه‌گیری

ضریب شکست باید مطابق روش A (برای اندازه‌گیری ضریب شکست لایه‌ها به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری ضریب شکست) که در استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۵۸: سال ۱۳۸۳ تعیین شده یا روش‌های مشابه اندازه‌گیری شود.

۶-۴-۶-۲ مایع تماسی

یک مایع تماسی با ضریب شکست بیشتر از شیء اندازه‌گیری شده و بستری‌ای که حل یا متورم نشود مطابق جدول ۱ استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۵۸: سال ۱۳۸۳ باید استفاده شود. وقتی از یک لایه پلاستیکی به‌عنوان بستری استفاده می‌شود، مایع تماسی با توجه به ضریب شکست، تورم یا ذوب بستری انتخاب شود.

۶-۴-۶-۳ شرایطدهی^۲

شرایطدهی (مشروط‌سازی) باید در دمای $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ و رطوبت $(50 \pm 10)\%$ طی ۸۸ ساعت یا بیشتر انجام شود. در صورت لزوم، آماده‌سازی دیگر باید با توافق طرفین تجاری (تأمین‌کننده و فروشنده) تعیین شوند.

۶-۴-۶-۴ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف - دستگاه اندازه‌گیری استفاده‌شده، نوع منبع نوری و طول موج آن؛

ب - روش اندازه‌گیری (نور انعکاسی یا نور عبوری)؛

پ - ضریب شکست؛

1- Refractive index

2- Conditioning

ت- پراکنه (در صورت وجود)؛

ج- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

۷ انبارش^۱

۱-۷ شرایط انبارش

جوهر رسانا باید در یک محفظه کاملاً بسته در دمای $2^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ نگهداری شود (مگر شرایط دیگری برای نگهداری جوهر مشخص شده باشد).

۲-۷ روش اندازه‌گیری روند فرسودگی^۲

فرسودگی ناشی از انبارش براساس تغییرات گرانیوی بیان می‌شود. گرانیوی قبل از انبار شدن و گرانیوی ۳۰ روز پس از انبار شدن در شرایط ذکر شده در زیربند ۱-۷ باید مطابق روش زیربند ۲-۳-۵ اندازه‌گیری شوند.

۳-۷ گزارش نتایج

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف- شماره آزمون؛

ب- روش اندازه‌گیری گرانیوی؛

پ- گرانیوی درست قبل از انبارش (mPa.s)؛

ت- گرانیوی یک ماه پس از انبارش (mPa.s)؛

ث- آزمونگر، محل آزمون و زمان آزمون (به عنوان مثال: نام شرکت، شهر، سال).

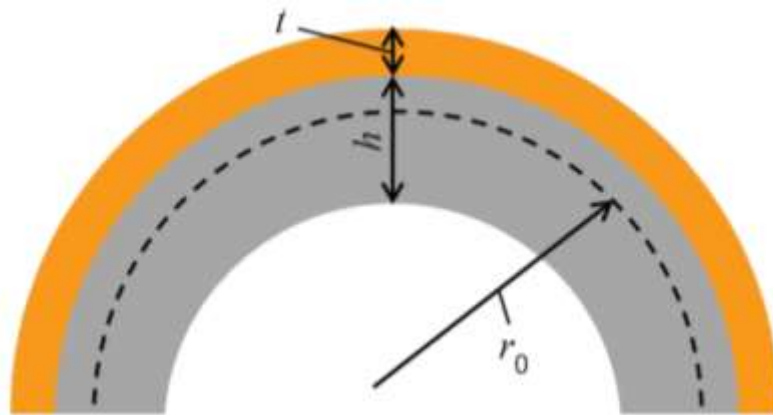
1- Storage
2- Aged deterioration

پیوست الف

(الزامی)

تنش در تغییر شکل خمشی - محاسبه کرنش

کرنش خمشی در لایه چاپ شده باید به وسیله رابطه خمشی همانگونه که در شکل الف-۱ نشان داده شده است، محاسبه شود. منظور از کرنش خمشی نامی، بیشینه کرنش خمشی است که در بیرونی ترین سطح (بیشترین فاصله از مرکز خمش) لایه چاپ شده اتفاق می افتد.



شکل الف-۱- رابطه کرنش خمشی و خمش در لایه چاپ شده

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\pi r - \pi r_0}{\pi r_0} = \frac{h+t}{2r_0} \quad (\text{الف-۱})$$

که در آن:

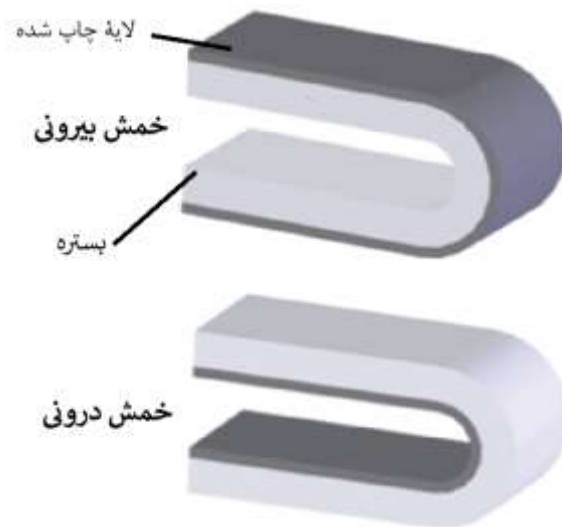
ε : کرنش خمشی نامی؛

r : شعاع خمش؛

t : ضخامت لایه چاپ شده؛

h : ضخامت بستره.

اگر ضخامت لایه چاپ شده بسیار کمتر از ضخامت بستره است ($t \ll h$)، معادله (الف-۱) قابل ساده شدن به $\varepsilon \approx h/2r_0$ است.



شکل الف-۲ طرحواره خمش داخلی و خمش بیرونی

همانگونه که در شکل الف-۲ نشان داده شده، لایه چاپ شده یا به صورت خمش داخلی و یا به صورت خمش بیرونی خم می شود. وقتی که لایه چاپ شده در بیرون نمونه خم شده قرار دارد (خمش بیرونی)، تنش کششی به آن وارد می شود. از سوی دیگر، وقتی که لایه چاپ شده در داخل نمونه خم شده قرار دارد (خمش داخلی)، تنش فشاری به آن وارد می شود.

پیوست ب

(آگاهی دهنده)

معادله ضریب تصحیح (F)

ب-۱ کلیات

مقاومت ویژه یک لایه رسانا با معادله (ب-۱) تعریف می شود:

$$\rho = Ft \frac{V}{I} \quad (\text{ب-۱})$$

که در آن:

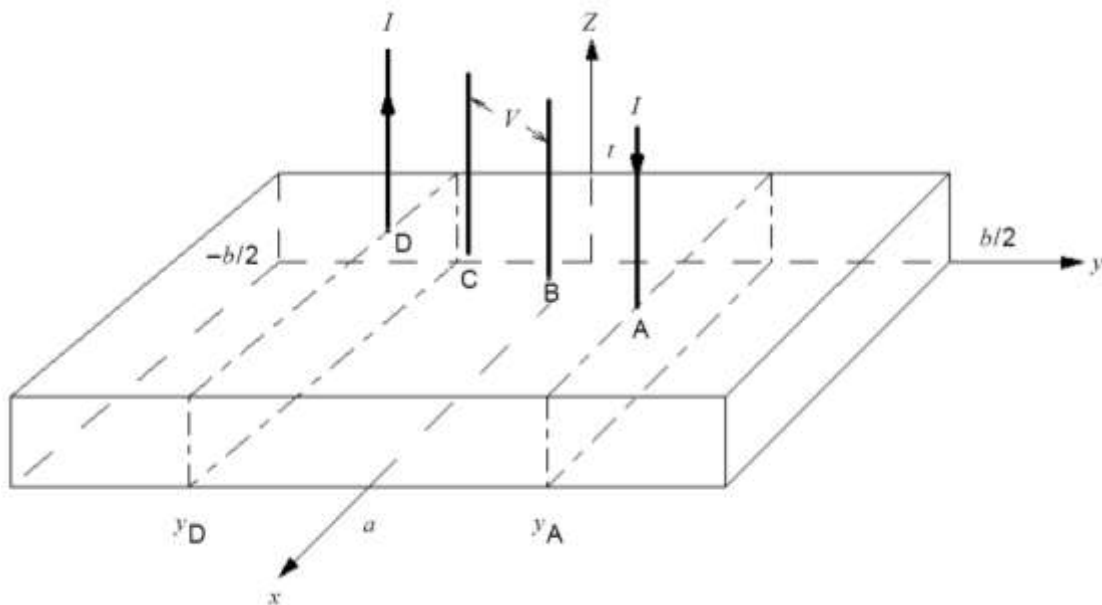
t ضخامت لایه رسانا بر حسب سانتیمتر است؛

F ضریب تصحیح مقاومت است.

پیکربندی کاوند های A، B، C، و D در شکل ب-۱ نشان داده شده است. چهار کاوند روی سطح مستطیلی شکلی به عرض a ، طول b ، و ضخامت t قرار دارند.

پتانسیل کاوند های B و C به ترتیب با ϕ_B و ϕ_C نشان داده شده اند. اختلاف پتانسیل V از معادله زیر به دست می آید:

$$V = \phi_B - \phi_A \quad (\text{ب-۲})$$



شکل ب-۱- طرحواره هندسه لایه رسانا و موقعیت کاوند های A، B، C و D

ب-۲ شرایط ضریب تصحیح (F)

با در نظر گرفتن اینکه پتانسیل هر کدام از نقاط نمونه (Φ) از معادله پواسن پیروی می کنند، معادله زیر برقرار خواهد بود:

$$\nabla^2 \phi(r) = 2\rho I [\delta(r-r_D) - \delta(r-r_A)] \quad (\text{ب-۳})$$

که در آن:

r بردار مختصات نقاط لایه رسانا (x, y, z) است؛

r_A مختصات نقطه تماس کاوند A و سطح لایه رسانا (x_A, y_A, t)؛

r_D مختصات نقطه تماس کاوند D و سطح لایه رسانا (x_D, y_D, t)؛

δ تابع ضربه واحد (حاصلضرب $\delta(x)$ و $\delta(y)$ و $\delta(z)$) است.

در فرآیند به دست آوردن معادله بالا، معادله $q = \varepsilon^* \rho I / 2\pi$ به کار رفته است تا جریان الکتریکی (I) با بار الکتریکی معادل آن (q) جایگزین شود (ε^* ضریب گذردهی الکتریکی لایه رسانا است).

وقتی که لایه رسانا به وسیله صفحات فرضی موازی محور x ها که از کاوندهای A و D عبور می کنند، به سه ناحیه تقسیم می شود، معادله ب-۳ به دلیل طبیعت تابع ضربه، برابر صفر می شود و معادله لاپلاس به دست می آید.

با اعمال سه شرط زیر به منظور به دست آوردن جواب معادله لاپلاس، می توان پتانسیل الکتریکی هر ناحیه را به دست آورد:

- جریان الکتریکی به خارج از لایه رسانا جریان پیدا نمی کند؛
- پتانسیل همیشه در مرز هر ناحیه پیوسته است؛
- قانون گاوس را می توان به میدان حجم تفاضلی (دیفرانسیلی) در مرکز تماس هر کاوند با لایه رسانا اعمال کرد.

ب-۳ معادله ضریب تصحیح (F)

از سه شرط بالا، ضریب تصحیح (F) را می توان بصورت (F^{-1}) با استفاده از معادله ۲ در زیربند ۶-۲-۱-۴-۲ به دست آورد.

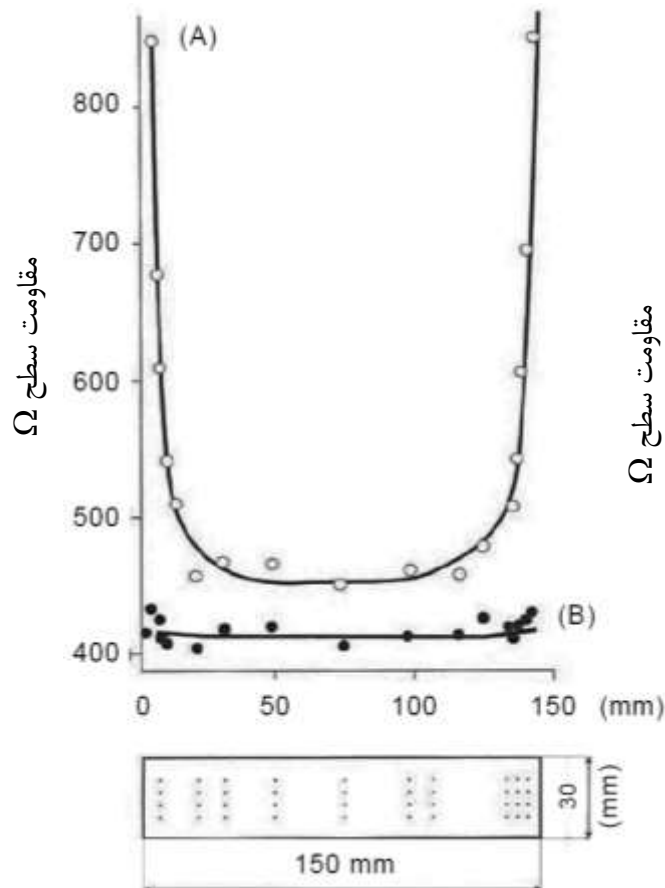
پیوست پ

(آگاهی دهنده)

اثر محل اندازه‌گیری و اندازه آزمون بر مقاومت

پ-۱ اثر محل اندازه‌گیری بر مقاومت

نتیجه اندازه‌گیری مقاومت به شدت تحت تأثیر محل اندازه‌گیری است. چنانکه در شکل پ-۱ نشان داده شده است، وقتی که ضریب تصحیح در مقدار مشخصی ثابت نگه داشته می‌شود، به دست آوردن اطلاعات مناسب غیرممکن است. زیرا مقاومت در نزدیکی انتهای آزمون به دلیل افزایش چگالی انرژی میدان الکتریکی افزایش قابل ملاحظه‌ای دارد. بنابراین، انجام اندازه‌گیری درست مقاومت با ضریب تصحیح محاسبه شده با استفاده از معادله پوآسن با لحاظ نمودن محل اندازه‌گیری، ضروری است.

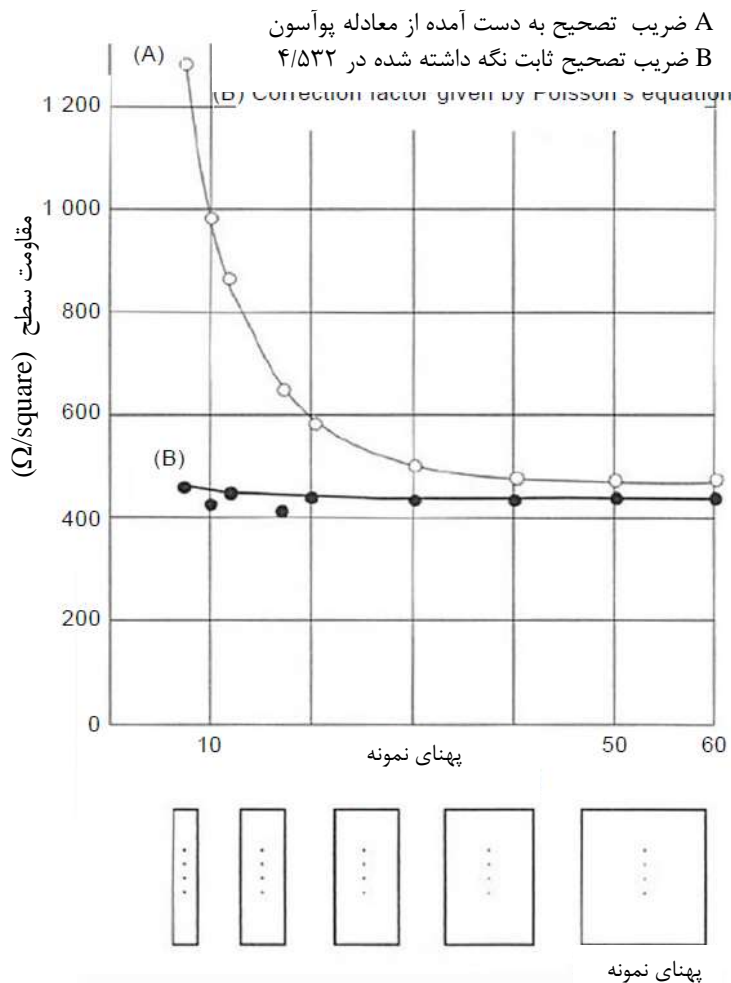


شکل پ-۱- نمودار A- مقاومت سطح اندازه‌گیری شده با لحاظ کردن یک عدد ثابت به عنوان ضریب تصحیح (ضریب تصحیح ۴/۵۳۲ در نظر گرفته شده است)، نمودار B- مقاومت سطحی با استفاده از ضریب تصحیح شده از معادله پوآسن بر حسب محل‌های مختلف اندازه‌گیری در طول آزمون

پ-۲ اثر اندازه آزمون بر مقاومت

نتیجه اندازه‌گیری مقاومت نیز به شدت تحت تأثیر ابعاد آزمون است. برای آزمون‌های کوچک، نتیجه بیشتر نسبت به انرژی میدان الکتریکی حساس است، به همان ترتیبی که در زیر بند پ-۱ ارائه شده، زیرا فاصله لبه آزمون از محل اندازه‌گیری کوچکتر است. وقتی که عرض آزمون ۲۰ میلی‌متر است، فاصله کاوند تا لبه آزمون تنها ۱۰ میلی‌متر خواهد بود و استفاده از ضریب تصحیح شرح داده شده در بالا، اثر بسیار بزرگی نخواهد داشت. ولی وقتی که عرض آزمون کمتر از ۲۰ میلی‌متر است، اگر ضریب تصحیح اعمال نشود، مقاومت شروع به افزایش خواهد کرد. وقتی که عرض آزمون به ۱۰ میلی‌متر می‌رسد، انجام یک اندازه‌گیری دقیق دشوار بوده و تصحیح مناسب ناممکن خواهد بود و خطای بزرگتری پیش‌بینی می‌شود. برای دستیابی به اندازه‌گیری پایدار و مناسب مقاومت، تعیین محل دقیق اندازه‌گیری و مقدار دقیق ضریب تصحیح به وسیله معادله پوآسن لازم است.

در شکل پ-۲، در نمودار A مقاومت سطحی، اندازه‌گیری برحسب عرض نمونه درحالی که ضریب تصحیح برابر ۴/۵۳۲ ثابت نگه‌داشته شده، نشان داده شده است. در نمودار B، اندازه‌گیری با استفاده از ضریب تصحیح به دست آمده از معادله پوآسن به شیوه مناسبی تصحیح شده است. مستطیل زیر نمودار آزمون اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. نقاط مشکی محل کاوند را نشان می‌دهند.



شکل پ-۲- اثر عرض آزمون و ضریب تصحیح بر اندازه‌گیری مقاومت سطحی

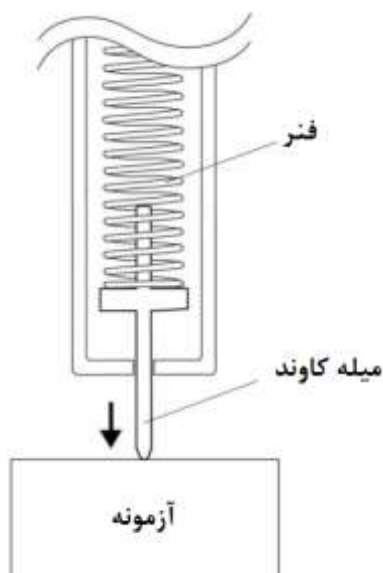
پیوست ت

(آگاهی دهنده)

مثال هایی از کاوند چهارنقطه‌ای برای اعمال وزن مناسب

ت-۱ ساختار درونی

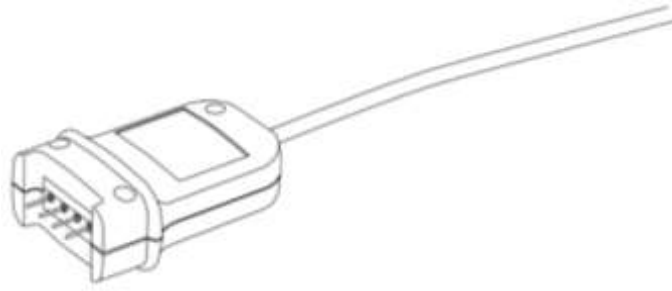
کاوند چهارنقطه‌ای برای حفظ تماس مناسب دارای یک فنر داخلی است. مثالی از ساختار درونی کاوند و اطراف میله آن در شکل ت-۱ نشان داده شده است. مقاومت، با فشرده شدن کاوند در جهت پیکان اندازه‌گیری می‌شود. یک فنر در پایه میله کاوند قرار داده شده است و نیرویی که به میله اعمال می‌شود به‌نحو مناسب کنترل می‌شود.



شکل ت-۱- مثالی از ساختار داخلی میله کاوند

ت-۲ مثالی از نمای کلی

مثالی از نمای کلی کاوند در شکل ت-۲ نشان داده شده است. هر یک از چهار میله کاوند، مانند میله‌هایی که در شکل ت-۱ نشان داده است، در نوک کاوند نصب شده‌اند. وقتی که کاوند برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود، بدنه آن در دست نگه‌داشته می‌شود یا روی یک پایه X-Y بسته می‌شود. هرچند که در این شکل یک کاوند مستطیلی به‌عنوان مثال نشان داده شده است، نوع ستونی آن نیز وجود دارد. نوع کاوند می‌تواند برحسب فاصله بین میله‌ها و/یا پیکربندی سامانه اندازه‌گیری تعیین شود.



شکل ت-۲- مثالی از نمای کلی کاوند

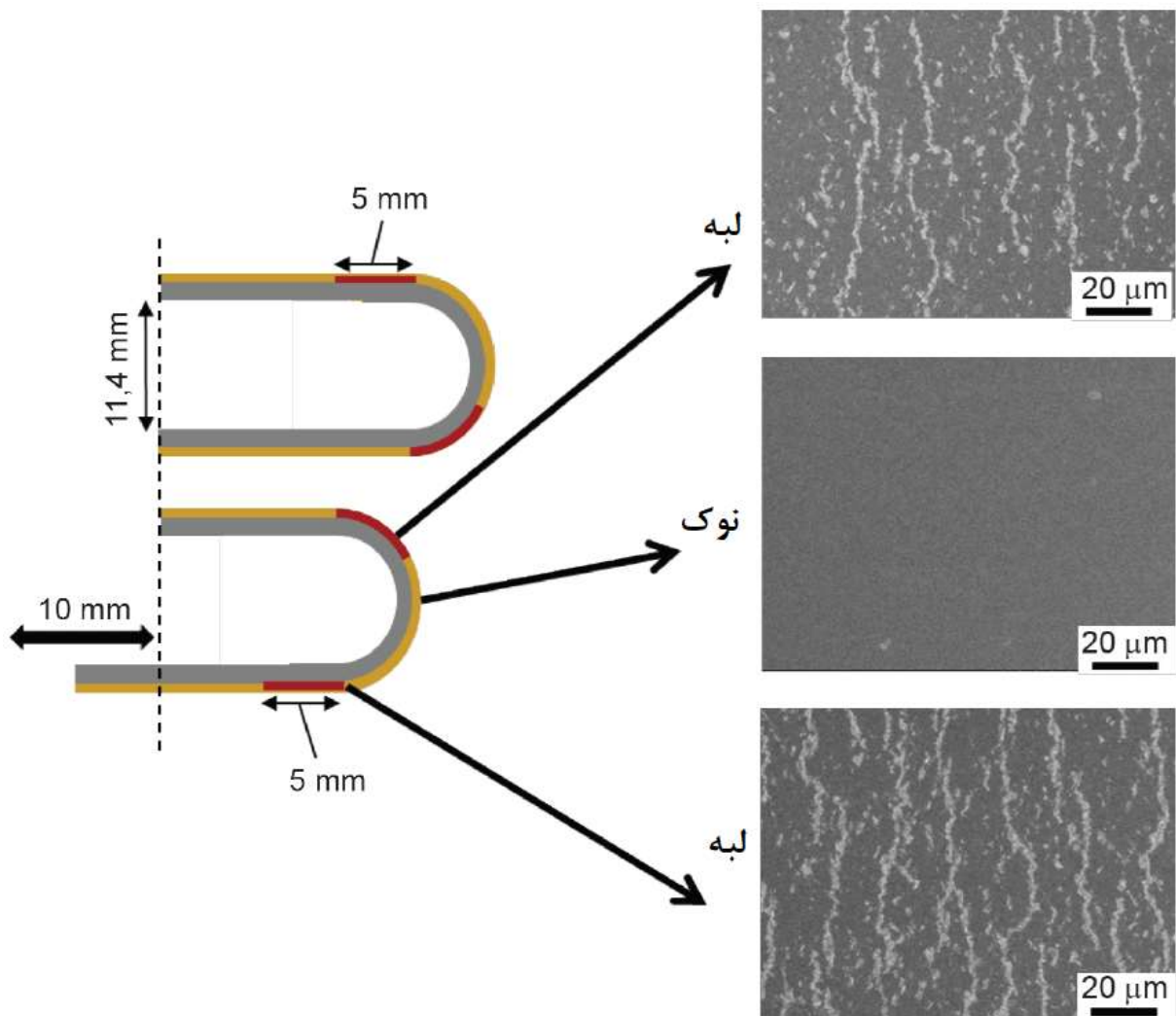
پیوست ث

(آگاهی دهنده)

ناحیه صدمه دیده و تغییر مقاومت الکتریکی پس از آزمون صفحه لغزان

ث-۱ ناحیه صدمه

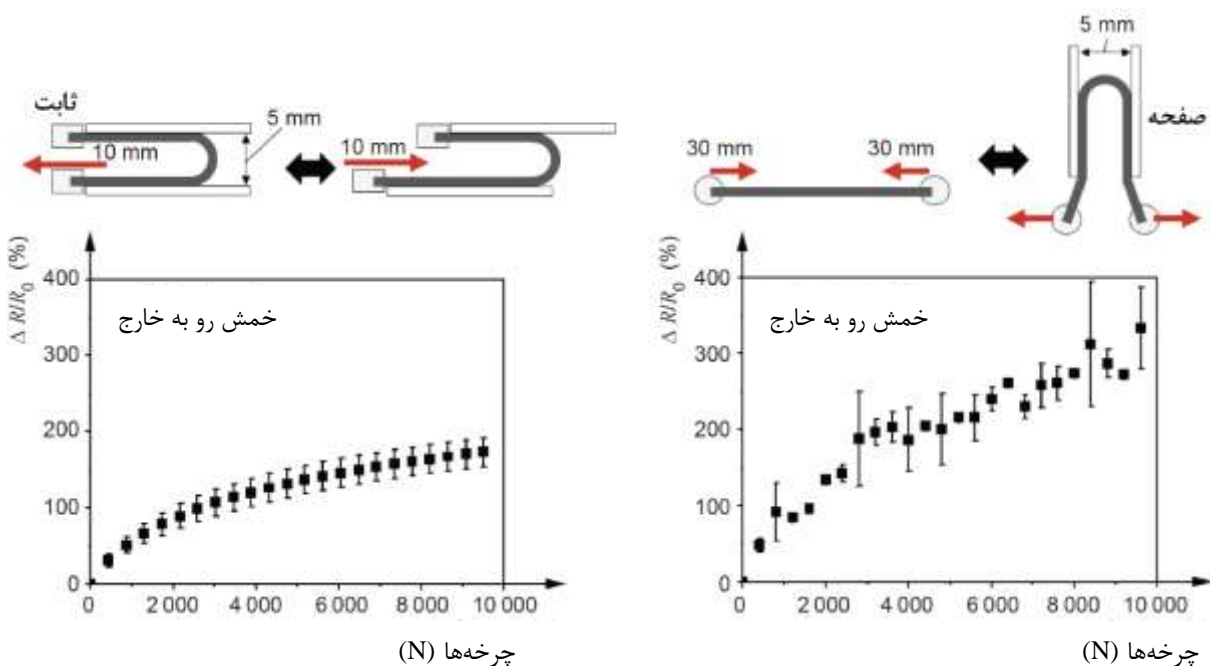
در حین آزمون دوره‌ای مکانیکی، صدمات مکانیکی در نمونه رسانا پیدا می‌شود. توجه شده‌است که صدمه معمولاً در ناحیه نوک خم شده دیده نمی‌شود، بلکه در لبه‌های ناحیه خم شده به وجود می‌آید. ناحیه صدمه دیده به طول حرکت خطی بستگی دارد.



شکل ث-۱- تصویر لایه فلزی پس از آزمون خمش

ث-۲ مقایسه روش‌های آزمون خمش

برای مقایسه روش‌های مختلف آزمون خمش، آزمون قابلیت اطمینان به وسیله صفحه لغزان که در این استاندارد پیشنهاد شده (شکل ث-۲، الف) انجام شد. همچنین آزمون قابلیت اطمینان برای روش آزمون ساده خمش (شکل ث-۲، ب) نیز انجام شد. در هر دو آزمون مقاومت الکتریکی افزایش یافت، ولی خطای آزمون صفحه لغزان کمتر از آزمون ساده خمش است، زیرا اندازه‌گیری الکتریکی در آزمون صفحه لغزان به دلیل محکمتر گرفته شدن نمونه، پایدارتر است.



الف- آزمون صفحه لغزان

ب- آزمون ساده خمش

شکل ث-۲- تغییرات مقاومت الکتریکی در آزمون صفحه لغزان و آزمون ساده خمش

کتابنامه

- [۱] استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۱۷: سال ۱۳۸۷، پلاستیک‌ها- شرایط محیطی استاندارد برای رسیدن به شرایط تثبیت و آزمون
- [۲] استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۵۱: سال ۱۳۷۲، روش تعیین یون فلئور در آب
- [۳] استاندارد ملی ایران شماره ۲۶۴۶: سال ۱۳۶۶، روش اندازه‌گیری دانستیه در ۲۰ درجه سلسیوس در فرآورده‌های شیمیائی مایع مورد مصرف در صنعت
- [۴] استاندارد ملی ایران شماره ۲۹۷۶: سال ۱۳۹۱، مواد فعال سطحی- تعیین کشش سطحی به‌وسیله بالا آوردن لایه‌های نازک مایع
- [۵] استاندارد ملی ایران شماره ۴۲۱۱: سال ۱۳۷۶، تعیین گرانونی ظاهری رزین‌های مایع به روش بروکفیلد
- [۶] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۶۴۵۴: سال ۱۳۹۸، رنگ‌ها و جلاها - قسمت ۱: روش پیکنومتر
- [۷] استاندارد ملی ایران شماره ۲-۶۴۵۴: سال ۱۳۹۰، رنگ‌ها و جلاها - قسمت ۲: روش جسم غوطه‌ور (گلوله)
- [۸] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰۹۰: سال ۱۳۹۸، پلاستیک‌ها- روش‌های تعیین چگالی پلاستیک‌های غیراسفنجی - قسمت ۱: روش غوطه‌وری، روش پیکنومتر مایع و روش تیتراسیون
- [۹] استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۵۸: سال ۱۳۸۳، پلاستیک‌ها - تعیین ضریب شکست - روش آزمون
- [۱۰] استاندارد ملی ایران شماره ۸۳۱۳: سال ۱۳۸۴، تعیین توزیع اندازه ذرات- روش ناحیه تشخیص الکتریکی
- [۱۱] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۰۹۹: سال ۱۳۹۵، آنالیز ذرات - روش‌های آنالیز تصویری قسمت ۱: روش‌های آنالیز تصویری ایستا
- [۱۲] استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۱۰۰: سال ۱۳۸۶، آماده سازی نمونه - روش‌های پراکنده کردن پودرهادر مایعات
- [۱۳] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۲۳۷: سال ۱۳۹۸، پلاستیک‌ها- اندازه گیری خاکستر قسمت ۱: روش‌های عمومی
- [۱۴] استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۹۲۲: سال ۱۳۸۸، مواد ذره‌ای- نمونه برداری و تقسیم نمونه برای تعیین خواص
- [۱۵] استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۲۱۳: سال ۱۳۹۸، تعیین اشتعال‌پذیری/اشتعال‌ناپذیری و نقطه اشتعال - روش تعادل سریع فنجان بسته - روش آزمون
- [۱۶] استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۳۹۹، سال ۱۳۹۳، پلاستیک‌ها- پراکنش‌های پلیمری- اندازه‌گیری باقیمانده روی الک (ذرات درشت و لخته)
- [۱۷] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲-۱۹۷۵۸: سال ۱۳۹۴، فناوری نانو - نانساخت - مشخصات کنترلی کلیدی - قسمت ۱-۲: مواد نانولوله کربنی- مقاومت الکتریکی فیلم.

- [18] ISO 2592:2017, Petroleum and related products — Determination of flash and fire points - Cleveland open cup method
- [19] ISO 2719, Determination of flash point – Pensky-Martens closed cup method
- [20] ISO 2884-1, Paints and varnishes – Determination of viscosity using rotary viscometers – Part 1: Cone-and-plate viscometer operated at a high rate of shear
- [21] ISO 3219, Plastics – Polymers/resins in the liquid state or as emulsions or dispersions – Determination of viscosity using a rotational viscometer with defined shear rate
- [22] ISO 3664, Graphic technology and photography – Viewing conditions
- [23] ISO 9276-6, Representation of results of particle size analysis – Part 6: Descriptive and quantitative representation of particle shape and morphology
- [24] ISO 13320, Particle size analysis – Laser diffraction methods
- [25] ISO 13321, Particle size analysis – Photon correlation spectroscopy
- [26] ISO 13468-1:1996, Plastics – Determination of the total luminous transmittance of transparent materials – Part 1: Single beam instrument
- [27] ISO 13468-2:1999, Plastics – Determination of the total luminous transmittance of transparent materials – Part 2: Double-beam instrument
- [28] ISO 13655, Graphic technology – Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images
- [29] ISO 14782:1999/COR 1:2005, Plastics — Determination of haze for transparent materials — Technical Corrigendum 1
- [30] ISO 14887, Sample preparation – Dispersing procedures for powders in liquids
- [31] ISO 15212-1:1998, Oscillation-type density meters — Part 1: Laboratory instruments
- [32] ISO 20998-1, Measurement and characterization of particles by acoustic methods – Part 1: Concepts and procedures in ultrasonic attenuation spectroscopy $L^*a^*b^*$ colour space
- [33] C. P. Wong, D. Lu, Y. Li, *Electrical Conductive Adhesives with Nanotechnologies*, Springer, 2010.
- [34] J. Morris, *Nanopackaging, Nanotechnologies and Electronics Packaging (Chapter 12)*, Springer, 2018
- [35] J. Bong-Hyun, *Silver Nano/microparticles: Modification and Applications*, J. Mol. Sci. special issue on Silver Nano/microparticles: Modification and Applications, 2019.
- [36] Huang, Q., Zhu, Y. Gravure Printing of Water-based Silver Nanowire ink on Plastic Substrate for Flexible Electronics. *Sci Rep* 8(15167) 2018.
- [37] A. Soleimani-Gorgani, E. Bakhshandeh, F. Najafi, Effect of dispersant agents on morphology and optical–electrical properties of nano indium tin oxide ink-jet ink, *J. Eur. Ceram. Soc.* 34(12), 2014.
- [38] W. Li, S. Yang, A. Shamim, Screen printing of silver nanowires: balancing conductivity with transparency while maintaining flexibility and stretchability, *npj Flex Electron* 3(13) 2019.
- [39] I. Joanna, T. Sabu, *Printing on Polymers: Fundamentals and Applications*, Elsevier, 2015.