



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iran National Standards Organization



استاندارد ملی ایران

۲۳۴۲۲

چاپ اول

۱۴۰۲

INSO

23422

1st Edition

2023

فناوری نانو- پوشش‌های فلزی و سرامیکی
نانومقیاس- ارزیابی مقاومت به خوردگی -
ویژگی‌ها و روش‌های آزمون

**Nanotechnology- Nanoscale metallic and
ceramic coatings- Assessment of corrosion
resistance – Specifications and test methods**

ICS: 07.120

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: ۸-۳۱-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۸۱۱۴-۳۲۸۰۸ (۰۲۶)

رایانامه: standard@inso.gov.ir

وبگاه: <http://www.inso.gov.ir>

Iran National Standards Organization (INSO)

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

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

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

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

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@inso.gov.ir

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

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای 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 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 - پوشش‌های فلزی و سرامیکی نانومقیاس - ارزیابی مقاومت به خوردگی - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون»

سمت و/یا محل اشتغال:

رئیس:

رئیس هیئت مدیره - شرکت راصد توسعه فناوری‌های پیشرفته

سهرابی جهرمی، ابوذر
(دکترای نانوفناوری - نانومواد)

دبیر:

عضو هیئت علمی - دانشگاه بوعلی سینا

علم‌خواه، حسن
(دکترای فناوری نانو - نانومواد)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

کارشناس - گروه استاندارد و ایمنی محصولات ستاد ویژه توسعه فناوری نانو و میکرو

اسلامی‌پور، الهه
(کارشناسی ارشد زیست‌شناسی سلولی مولکولی)

کارشناس تحقیق و توسعه - شرکت فناوران سخت آرا

افشار، زهرا
(کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

عضو هیئت علمی - دانشگاه فردوسی مشهد

براتی دربند، قاسم
(دکترای خوردگی و مهندسی سطح)

عضو هیئت علمی - دانشگاه صنعتی شریف

دولتی، ابوالقاسم
(دکترای مهندسی مواد)

عضو هیئت علمی - پژوهشگاه رنگ

رمضان‌زاده، بهرام
(دکترای مهندسی پلیمر - صنایع رنگ)

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

سیفی، مهوش
(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

کارشناس - آزمایشگاه خوردگی بنیاد علوم کاربردی رازی

کریمی، امیرحسین
(کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

منتظری، مانی

(کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

ویراستار:

سیفی، مهوش

(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

سمت و/یا محل اشتغال:

مدیرعامل - شرکت نوین فن سنجش آویسا

مشاور - گروه استاندارد و ایمنی ستاد ویژه توسعه

فناوری نانو و میکرو

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ز	پیش‌گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۶	۴ ویژگی‌ها
۶	۴-۱ کلیات
۶	۴-۲ انتخاب روش آزمون خوردگی پوشش‌های نانومقیاس براساس ویژگی‌ها
۷	۵ انواع روش‌های آزمون
۷	۵-۱ کلیات
۷	۵-۲ آزمون مهنمکی
۱۰	۵-۳ آزمون غوطه‌وری
۱۱	۵-۴ آزمون‌های الکتروشیمیایی
۱۳	۶ گزارش آزمون
۱۵	پیوست الف (آگاهی‌دهنده) استانداردهای مهم ارزیابی خوردگی گالوانیکی
۱۶	پیوست ب (آگاهی‌دهنده) فرم پیشنهادی گزارش نتایج آزمون خوردگی
۱۷	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد «فناوری نانو- پوشش‌های فلزی و سرامیکی نانومقیاس- ارزیابی مقاومت به خوردگی - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است در یکصد و سی و دومین اجلاس کمیته ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۱۴۰۲/۰۹/۲۰ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ شده در دی ماه ۱۳۹۶، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران براساس 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 مأخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

- ۱- استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۱۴۳: سال ۱۴۰۱، فناوری نانو- پوشش‌های نانومقیاس سخت- مشخصه‌یابی و روش‌های آزمون
- ۲- استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۱۹: سال ۱۴۰۱، فناوری نانو- پوشش‌های نانومقیاس سخت- ارزیابی استحکام چسبندگی- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون

مقدمه

پدیده خوردگی، تخریب یک ماده در اثر واکنش با محیط خورنده‌ای است که در آن قرار دارد. خوردگی قطعات صنعتی، مشکلات بسیاری را از جمله آسیب به تجهیزات و کاهش بازدهی و امنیت بهره‌برداری از تجهیزات، افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، از بین رفتن مواد، چالش‌های زیست‌محیطی و آسیب‌های فردی ایجاد می‌کند.

پوشش‌دهی به دلیل در دسترس بودن مواد و روش‌های گوناگون اعمال پوشش‌ها در شرایط و کاربردهای مختلف، یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای جلوگیری، به حداقل رساندن و یا کنترل آسیب‌های خوردگی است. پوشش‌های مقاوم به خوردگی با ایجاد یک لایه محافظ، از بستره^۱ در برابر عوامل خورنده محافظت می‌کنند. نکته مهم این است که پوشش‌های به‌کار برده شده باید مقاومت به خوردگی بالا (براساس استانداردهای مربوط به کاربرد) را داشته باشند تا از خوردگی بستره در برابر عوامل خورنده محافظت کنند و طول عمر قطعات را افزایش دهند. بنابراین پس از اعمال پوشش‌های نانومقیاس بر قطعات، لازم است با استفاده از روش‌های مختلف ارزیابی، میزان مقاومت به خوردگی آن‌ها تعیین شود.

استاندارد حاضر، انواع روش‌های پرکاربرد ارزیابی مقاومت به خوردگی پوشش‌های نانومقیاس فلزی و سرامیکی را ارائه می‌دهد. برای اطمینان از عملکرد مطلوب قطعات، لازم است تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان قطعات پوشش‌دار، رفتار و میزان خوردگی آن‌ها را ارزیابی کنند. روش‌های ارائه‌شده در این استاندارد برای ارزیابی مقاومت به خوردگی پوشش‌های نانومقیاس فلزی و سرامیکی، شامل آزمون مهنمکی، غوطه‌وری و الکتروشیمیایی (پلاریزاسیون و طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی^۲) است.

1- Substrate

2- Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

فناوری نانو- پوشش‌های فلزی و سرامیکی نانومقیاس- ارزیابی مقاومت به خوردگی - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از این استاندارد، انتخاب روش (روش‌های) مناسب برای ارزیابی مقاومت به خوردگی پوشش‌های فلزی و سرامیکی نانومقیاس و بیان معیار انتخاب روش بر اساس نوع کاربرد و ضخامت پوشش است. این استاندارد برای ارزیابی مقاومت به خوردگی پوشش‌های نانومقیاسی تعریف شده است که دو ویژگی زیر را داشته باشد: - اولاً از جنس فلز یا سرامیک یا نانوچندسازه‌ها با زمینه فلز یا سرامیک باشند،

- ثانياً مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۱۶۹ [۱۰] دارای حداقل یک جزء نانومقیاس باشند. لذا این استاندارد برای ارزیابی مقاومت به خوردگی پوشش‌های پلیمری و رنگ‌ها کاربرد ندارد.

با توجه به این‌که مقاومت به خوردگی پوشش‌های نانومقیاس، عامل مهمی در افزایش طول عمر قطعات و عملکرد آن‌ها است، این استاندارد راهنمایی برای انتخاب روش مناسب ارزیابی مقاومت به خوردگی پوشش‌های فلزی و سرامیکی نانومقیاس برای کاربران است.

افرادی که از این استاندارد استفاده می‌کنند، بهتر است با روش کارهای معمول آزمایشگاهی آشنا باشند. این استاندارد به تمام موارد ایمنی مرتبط با کاربرد آن اشاره نمی‌کند. در صورت وجود چنین مواردی، مسئولیت برقراری ایمنی، سلامتی و تعیین قوانین حدود کاربردی قبل از استفاده به عهده کاربر می‌باشد.

۲ مراجع الزامی

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

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۳۱۵: سال ۱۳۹۷، آزمون‌های خوردگی در اتمسفرهای مصنوعی- آزمون‌های مه‌نمکی

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۸۸۳: سال ۱۳۹۲، اندازه‌گیری‌های پلاریزاسیون آندی پتانسیودینامیک- روش آزمون

۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۶۱۹: سال ۱۳۹۷، خوردگی فلزات و آلیاژها- غوطه‌وری متناوب در محلول نمک- روش آزمون

۴-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵، خوردگی فلزات و آلیاژها- اصطلاحات و تعاریف پایه

2-5 ASTM G 31: 2021, Standard Guide for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals

2-6 ASTM G 44: 2021, Standard Practice for Exposure of Metals and Alloys by Alternate Immersion in Neutral 3.5 % Sodium Chloride Solution

2-7 ASTM G59: 2021, Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements

2-8 ASTM B 117: 2019, Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود. برای اطلاع از تعاریف و اصطلاحات مرتبط بیشتر به استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵ مراجعه شود.

۱-۳

نانومقیاس

nanoscale

گستره طول بین تقریباً ۱nm تا ۱۰۰nm است.

[منبع: زیربند ۱-۳-۱ استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۲]

۲-۳

پوشش نانومقیاس

nanoscale coating

پوشش با ضخامت، ساختار و یا حداقل یک جزء نانومتری است.

[منبع: زیربند ۱-۳-۷ استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۱۶۹: سال ۱۴۰۱]

۳-۳

نانوپوشش

nanocoating

پوششی با ضخامت در مقیاس نانو است.

[منبع: زیربند ۱-۳-۱۶ استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۲]

۴-۳

پوشش نانو ساختار

nanostructured coating

پوششی دارای ساختار داخلی یا ساختار سطحی در مقیاس نانو است.

[منبع: زیربند ۳-۷-۴ استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۲]

۵-۳

خوردگی

corrosion

واکنش فیزیکی شیمیایی بین یک فلز و محیط اطرافش که باعث تغییر در ویژگی‌های فلز (که می‌تواند منجر به اختلال قابل توجه در عملکرد فلز شود) محیط یا سامانه فنی که تشکیل یک بخش را می‌دهند، می‌شود.

[منبع: زیربند ۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵]

۶-۳

خوردگی آبی

aqueous corrosion

خوردگی (۳-۵) با آب یا محلول پایه آبی که به‌عنوان محیط خورنده است.

[منبع: زیربند ۳-۳۸، استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵]

۷-۳

سرعت خوردگی

corrosion rate

اثر خوردگی بر روی فلز نسبت به زمان است.

یادآوری- واحد مورد استفاده برای بیان سرعت خوردگی بستگی به سامانه فنی و نوع اثر خوردگی دارد. سرعت خوردگی ممکن است به‌صورت افزایش در عمق خوردگی نسبت به زمان، یا جرم فلز تبدیل‌شده به محصولات، خوردگی نسبت به مساحت سطح و نسبت به زمان و غیره بیان شود. اثر خوردگی ممکن است با زمان تغییر کند و ممکن است در تمام نقاط سطح خورده شده یکسان نباشد. بنابراین بهتر است گزارش سرعت خوردگی به همراه اطلاعات مربوط به نوع، وابستگی به زمان و محل اثر خوردگی باشد.

[منبع: زیربند ۲-۱۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵، تغییر یافته- «سرعت» جایگزین «نرخ»

شده است]

۸-۳

آزمون خوردگی

corrosion test

آزمونی که برای ارزیابی رفتار خوردگی فلز، آلودگی محیطی به وسیله محصولات خوردگی، تأثیر حفاظت خوردگی یا میزان خوردگی یک محیط انجام می‌شود.

[منبع: زیربند ۵-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵، تغییر یافته - «رفتار» جایگزین «مقاومت» و «میزان خوردگی» جایگزین «خوردگی» شده است]

۹-۳

آزمون خوردگی شتاب یافته

accelerated corrosion test

آزمون خوردگی (۸-۳) که تحت شرایط حادثر انجام می‌شود و باعث می‌شود نتایج در زمان کوتاه‌تری نسبت به شرایط حین کار حاصل می‌شود.

[منبع: زیربند ۵-۵، استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵، تغییر یافته - «حادثر» جایگزین «بدتر» شده است]

۱۰-۳

ماده خورنده

خورنده

corrosive agent

corrodent

ماده‌ای که وقتی در تماس با فلز مورد نظر قرار می‌گیرد، باعث خوردگی آن می‌شود.

[منبع: زیربند ۲-۲، استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵]

۱۱-۳

مقاومت خوردگی

corrosion resistance

توانایی ماده، معمولاً یک فلز، برای تحمل خوردگی در محیط مدنظر است [2].

[منبع: زیربند 3 استاندارد ASTM G193: 2022]

۱۲-۳

پلاریزاسیون (قطبش)

polarization

اختلاف پتانسیل بین الکتروود و پتانسیل مدار باز (۳-۱۳) در محیط مورد بررسی است. [منبع: زیربند ۶-۱-۲۸ استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵، تغییر یافته - «الکتروود» حذف شده است]

۱۳-۳

پتانسیل مدار باز

open-circuit potential (OCP)

پتانسیل در حالتی که هیچ جریان الکتریکی (خارجی) از سطح فلز یا به سطح فلز عبور نکند.

۱۴-۳

الکتروود مرجع

reference electrode

الکتروودی که دارای پتانسیل ثابت و تجدیدپذیر است و به عنوان مرجعی در اندازه گیری پتانسیل های الکتروود استفاده می شود.

[منبع: زیربند ۶-۱-۱۹ استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵]

۱۵-۳

الکتروود کمکی

الکتروود شمارنده (الکتروود مقابل)

auxiliary electrode

counter electrode

الکتروودی که عموماً برای عبور جریان به الکتروود کاری در پتانسیل اعمالی استفاده می شود. یادآوری - این الکتروود معمولاً از مواد مقاوم به خوردگی ساخته می شود.

۱۶-۳

الکتروود کاری

working electrode

الکتروود آزمون در سلول الکتروشیمیایی که برای آزمون های پلاریزاسیون طراحی شده است. [منبع: زیربند ۶-۱-۴۶ استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵، تغییر یافته - «سلول» جایگزین «پیل» شده است]

۴ ویژگی‌ها

۱-۴ کلیات

این استاندارد، روش‌های ارزیابی مقاومت به خوردگی پوشش‌های نانومقیاس فلزی و سرامیکی را با این ویژگی ارائه می‌دهد که مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۱۶۹، در طبقه‌بندی پوشش‌های نانومقیاس قرار گیرند. شرایط آزمون و پارامترهای آن، چگونگی آماده‌سازی نمونه‌ها پیش از آزمون و میزان مقاومت به خوردگی پوشش برحسب نیاز کارفرما و شرایط کاری نمونه تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که آزمون‌های خوردگی تنوع بسیاری دارند که تمامی موارد در این استاندارد ذکر نشده است و ممکن است برحسب نیاز کارفرما و شرایط کاری نمونه، آزمون‌های دیگری نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۴ انتخاب روش آزمون خوردگی پوشش‌های نانومقیاس براساس ویژگی‌ها

مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۱۶۹، پوشش‌های نانومقیاس به‌طور کلی به دو دسته نانوپوشش‌ها و پوشش‌های نانوساختار طبقه‌بندی می‌شوند. در نانوپوشش‌ها ضخامت کل پوشش کمتر از ۱۰۰ نانومتر است و در پوشش‌های نانوساختار، ضخامت کلی پوشش بیش از ۱۰۰ نانومتر است اما اندازه یک یا چند جزء پوشش کمتر از ۱۰۰ نانومتر است. جدول ۱، انتخاب روش آزمون خوردگی در پوشش‌های نانومقیاس فلزی و سرامیکی براساس ضخامت را نشان می‌دهد.

جدول ۱- انتخاب روش آزمون خوردگی در پوشش‌های فلزی و سرامیکی نانومقیاس براساس ضخامت

روش آزمون پیشنهادی				دسته‌بندی پوشش نانومقیاس بر اساس ضخامت
الکتروشیمیایی		غوطه‌وری	مه‌نمکی	
EIS	پلاریزاسیون			
✓	✓	×	×	پوشش نانوپوشش با ضخامت کمتر از ۱۰۰ نانومتر
×	×	✓	✓	پوشش نانومقیاس با ضخامت بیشتر از ۱۰۰ نانومتر
✓	✓	×	×	
✓ روش آزمون برای ارزیابی مقاومت خوردگی توصیه می‌شود. × روش آزمون برای ارزیابی مقاومت به خوردگی توصیه نمی‌شود.				

یادآوری - معمولاً در بسیاری از پوشش‌ها، خوردگی گالوانیکی مشاهده می‌شود و بررسی رفتار خوردگی گالوانیکی تقریباً در تمام موارد بدیهی است. برای ارزیابی رفتار خوردگی گالوانیکی براساس شرایط و کاربرد به استانداردهای ارائه‌شده در پیوست الف مراجعه شود. بنابراین نتایج حاصل از این روش‌های آزمون، نشان‌دهنده میزان خوردگی ماده پوشش و یا میزان خوردگی گالوانیک پوشش با بستره است.

۵ انواع روش‌های آزمون

۱-۵ کلیات

روش‌های بسیاری برای ارزیابی مقاومت به خوردگی پوشش‌های نانومقیاس فلزی و سرامیکی وجود دارد که پرکاربردترین آن‌ها، آزمون مه‌نمکی، آزمون غوطه‌وری و آزمون‌های الکتروشیمیایی است که در این بند معرفی می‌شوند.

۲-۵ آزمون مه‌نمکی

این روش براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۳۱۵ و استاندارد ASTM B117: 2019 قابل انجام است.

آزمون مه‌نمکی یک آزمون خوردگی شتاب‌یافته است و در سه نوع انجام می‌شود: آزمون مه‌نمکی خنثی^۱ (NSS)، آزمون مه‌نمکی استیک اسید^۲ (AASS) و آزمون مه‌نمکی استیک اسید تسریع‌شده با مس (CASS)^۳. آزمون NSS روش آزمونی است که در آن محلول سدیم کلرید ۵٪ در محیط تحت کنترل ریزافشانده^۴ (اتمیزه) می‌شود. آزمون AASS روش آزمونی است که در آن محلول سدیم کلرید ۵٪ اسیدی‌شده با افزودن استیک اسید تحت محیط کنترل اتمیزه می‌شود. آزمون CASS روش آزمونی است که در آن محلول سدیم کلرید ۵٪ اسیدی‌شده با افزودن کلرید مس و استیک اسید در محیط کنترل‌شده اتمیزه می‌شود (زیربند ۴ استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۳۱۵).

آزمون NSS برای فلزات و آلیاژهای آن‌ها، پوشش‌های فلزی (آندی و کاتدی)، پوشش‌های تبدیلی، پوشش‌های اکسید آندی و پوشش‌های آلی و رنگ روی مواد فلزی به کار می‌رود. آزمون‌های AASS و CASS برای آزمون پوشش‌های تزئینی از جنس مس-نیکل-کروم یا نیکل-کروم مفید است. همچنین برای آزمون پوشش‌های آندی و آلی روی آلومینیوم مناسب تشخیص داده شده است. انتخاب روش آزمون به کاربرد پوشش نیز بستگی دارد.

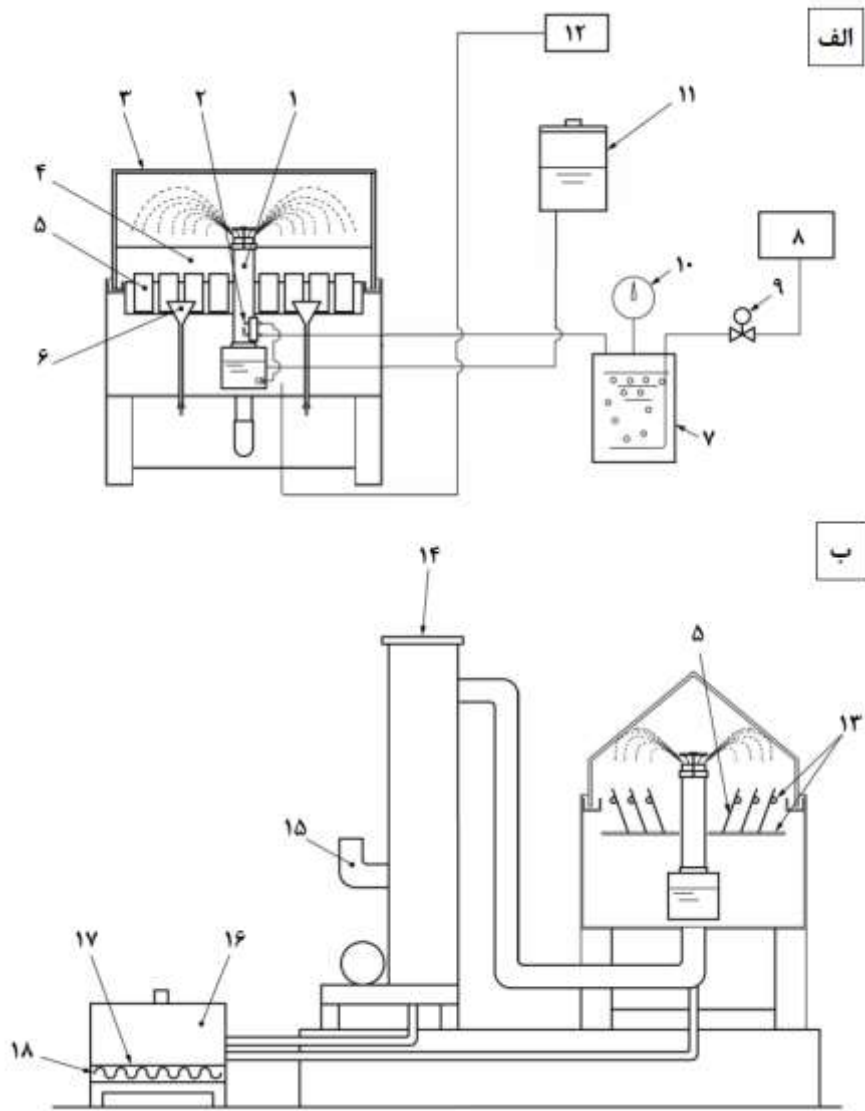
به‌طور کلی در آزمون مه‌نمکی ابتدا نمونه‌ها آماده‌سازی شده و عاری از هرگونه آلودگی می‌شوند. اتاقک افشانش تمیز و آماده انجام آزمون می‌شود. سپس محلول نمک آماده می‌شود و نمونه‌ها در اتاقک افشانش

1 - Neutral salt spray
2 - Acetic acid salt spray
3 - Copper-accelerated acetic acid salt spray
4 - Atomized

قرار می‌گیرند. در اتاقک بسته می‌شود و محلول نمک با افشانگرها^۱ پاشیده می‌شود. در اتاقک باید فقط برای بازرسی مختصر چشمی نمونه‌ها در محل قرارگیری و برای پر کردن مجدد محلول نمک در مخزن، در صورتی که از بیرون محفظه امکان پر کردن وجود نداشته باشد، باز شود. اگر نقطه پایان آزمون منوط به پدیدار شدن اولین نشانه خوردگی باشد، نمونه‌ها باید به صورت مداوم با الزامات لازم بازرسی شوند. در نهایت نمونه‌ها از اتاقک خارج شده و نتایج آزمون ارزیابی می‌شود (به زیربند ۱۰ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۴۸۵ [۳] و زیربند ۱۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۳۱۵ مراجعه شود). یعنی پوشش‌ها مقایسه می‌شوند و زمان آزمون برای ایجاد نمک سفید، محصولات خوردگی و یا کاهش وزن پوشش معیار ارزیابی قرار می‌گیرد. برای اطلاع از جزئیات بیشتر انجام آزمون و ارزیابی نتایج به استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۳۱۵ و استاندارد ASTM B117:2019 مراجعه شود. آزمون‌های مهنمکی ممکن است به منظور دستیابی به آزمایش‌هایی که با شرایط خاص هماهنگ‌تر هستند توسعه یابند. در جدول ۲، تعدادی از استانداردهای توسعه‌یافته آزمون مهنمکی ارائه شده‌است. شکل ۱ طرحواره نوعی اتاقک افشانش را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نمونه‌هایی از استانداردهای ملی آزمون مهنمکی

موضوع	استاندارد
خوردگی فلزات و آلیاژها- آزمون چرخه‌ای تسریع‌شده در معرض افشانش نمک اسیدی در شرایط خشک و تر	استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۳۲۰: سال ۱۳۹۷
خوردگی فلزات و آلیاژها- خوردگی در اتمسفر مصنوعی آزمون خوردگی تسریع‌شده در معرض شرایط کنترل‌شده چرخه رطوبت و افشانش متناوب محلول نمک	استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۱۸۸: سال ۱۳۹۴
آزمون خوردگی در اتمسفرهای مصنوعی- آزمون‌های خوردگی تسریع‌شده شامل در معرض گذاری متناوب با گازهای خورنده، مهنمکی خنثی و خشک کردن	استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۳۱۷: سال ۱۳۹۵
خوردگی فلزات و آلیاژها- آزمون تسریع‌شده شامل قرار گرفتن چرخه‌ای در معرض مه نمک، شرایط خشک و تر	استاندارد ملی ایران شماره ۷۵۰۰: سال ۱۳۹۷
Standard Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing	ASTM G85:2019



راهنما:

۱	برج انتشار مه	۱۰	فشارسنج
۲	افشانگر	۱۱	مخزن محلول
۳	روکش	۱۲	کنترل‌های دما
۴	اتاقک آزمون	۱۳	تکیه‌گاه نمونه
۵	نمونه	۱۴	واحد تصفیه هوای خروجی
۶	وسیله جمع‌آوری	۱۵	درگاه خروجی هوا
۷	برج اشباع	۱۶	واحد تصفیه آب خروجی
۸	هوای فشرده	۱۷	سینی نمک
۹	شیر خودکار	۱۸	المان‌های حرارتی

شکل ۱- طرحواره نوعی اتاقک افشانش براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۳۱۵

(الف) نمای روبرو و (ب) نمای جانبی

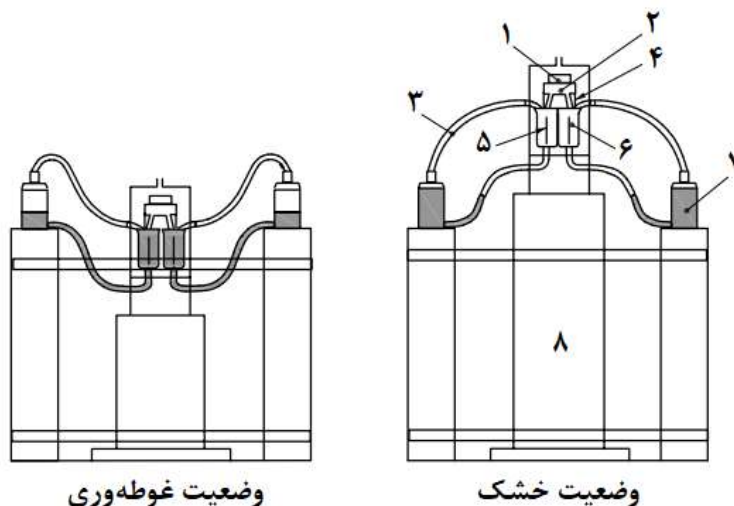
۵-۳ آزمون غوطه‌وری

این روش براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۶۱۹، استاندارد ASTM G31: 2021 و استاندارد ASTM G44: 2021 قابل انجام است.

آزمون‌های غوطه‌وری را می‌توان به سه نوع تقسیم کرد: غوطه‌وری کامل، غوطه‌وری جزئی و غوطه‌وری متناوب. نوع آزمون انتخاب‌شده بیشتر با شرایط محیطی که باید شبیه‌سازی شود تعیین می‌شود. برای آزمایش‌های غوطه‌وری کامل، نمونه‌های کوچک در معرض محلول آزمایش قرار می‌گیرند و کاهش وزن ماده برای یک دوره زمانی معین اندازه‌گیری می‌شود [4].

برای اطلاع از جزئیات کامل آزمون غوطه‌وری به استانداردهای ASTM G 31 و ISO 5156 [5] مراجعه شود. آزمون غوطه‌وری متناوب در محلول ۳٫۵ درصد محلول نمک، یکی از مهم‌ترین آزمون‌هایی است که مقبولیت دارد. به‌طور کلی این روش شامل غوطه‌وری نمونه تحت تنش یا بدون تنش در محلول نمک و به دنبال آن برداشتن نمونه از محلول و یک دوره خشک کردن است. چرخه غوطه‌وری و خشک کردن با تناوب مشخص برای دوره معین تکرار می‌شود و سپس میزان آسیب ارزیابی می‌شود. برای بسیاری از مواد، این روش آزمون، باعث خوردگی شدیدتری نسبت به غوطه‌وری کامل می‌شود. برای اطلاع از جزئیات بیشتر اجرای آزمون و ارزیابی نتایج به استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۶۱۹، استاندارد ASTM G311 و استاندارد ASTM G44 مراجعه شود.

شکل ۲، نمونه‌ای از تجهیزات لازم برای آزمون‌های غوطه‌وری متناوب در محلول آزمون را نشان می‌دهد.



راهنما:

۱	هواکش	۵	نمونه
۲	مجرا از جنس فولاد زنگ‌نزن	۶	محفظه آزمون
۳	لوله کنترل سطح	۷	محلول نمک
۴	دمش هوا	۸	دستگاه بالابر

شکل ۲- دستگاه مناسب برای آزمون غوطه‌وری متناوب در محلول نمک براساس

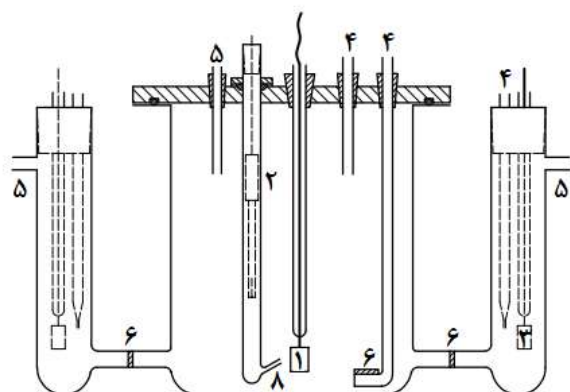
استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۶۱۹

۵-۴ آزمون‌های الکتروشیمیایی

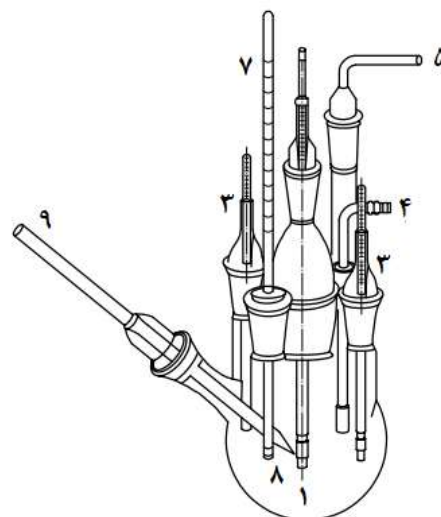
آزمون‌های الکتروشیمیایی انواع مختلفی دارند که مهم‌ترین آن‌ها آزمون پلاریزاسیون و آزمون امپدانس الکتروشیمیایی است. برای انجام آزمون امپدانس به استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۱۲۳ [۶] و استاندارد ASTM 106 [7] مراجعه شود.

آزمون پلاریزاسیون نیز انواع متفاوتی دارد که یکی از آزمون‌های مهم، آزمون پلاریزاسیون خطی است و براساس استاندارد ملی شماره ۱۷۸۸۳، استاندارد ASTM G59 و ASTM G102 [8] قابل انجام است. آزمون‌های پلاریزاسیون شامل اندازه‌گیری رابطه بین پتانسیل و جریان الکتروشیمیایی است. پاسخ پتانسیل-جریان سلول الکتروشیمیایی در محدوده پتانسیل مورد نظر تعیین می‌شود.

به‌طور کلی در آزمون پلاریزاسیون، تشکیل یک سلول آزمون لازم است. سپس به سلول آزمون اجازه داده می‌شود تا به میزان پتانسیل مدار باز خود برسد. پس از آن، به سلول آزمون، محدوده پتانسیلی نسبت به پتانسیل مدار باز اعمال می‌شود و میزان جریان در هر پتانسیل یادداشت می‌شود. با اندازه‌گیری پتانسیل-جریان می‌توان بعضی از عامل‌های خوردگی مانند سرعت خوردگی و پتانسیل خوردگی نمونه را محاسبه کرد. شکل‌های ۳ و ۴ نمونه‌ای از یک سلول الکتروشیمیایی را نشان می‌دهند.



الکتروود کمکی مجزا از سلول اصلی



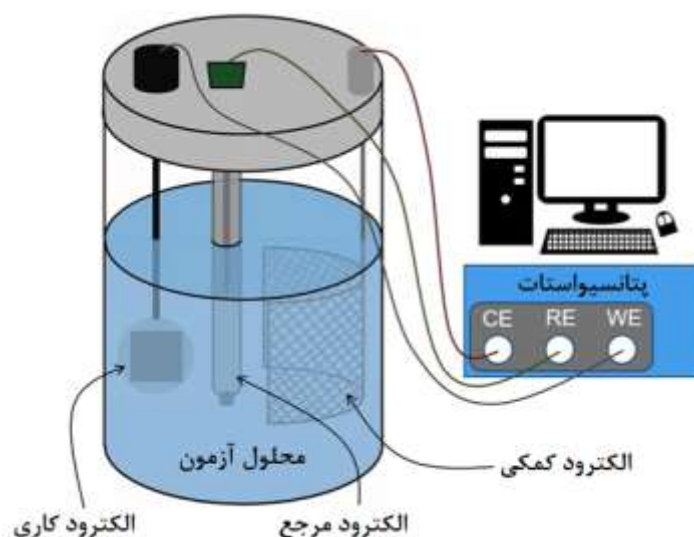
الکتروود کمکی در سلول اصلی

راهنما:

۱	نمونه	۶	دیسک چینی
۲	الکتروود مرجع	۷	دامسنج
۳	الکتروودهای کمکی	۸	میله مشابه یا موئین لگین
۴	الکتروود مرجع	۹	پل نمکی متصل به الکتروود مرجع (نشان داده نشده است)
۵	ورودی گاز		

شکل ۳- طرحواره سلول‌های پلاریزاسیون الکتروشیمیایی با الکتروود کمکی براساس

استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۳۲۳ [۹]



شکل ۴- نمونه دیگری از سلول الکتروشیمیایی متصل به دستگاه پتانسیواستات

۶ گزارش آزمون

گزارش آزمون ارزیابی مقاومت به خوردگی پوشش‌های نانومقیاس فلزی و سرامیکی به شرح زیر ارائه می‌شود:

- ۱- نام آزمون‌کننده و نام و نشانی آزمایشگاه؛
 - ۲- نام و نشانی مشتری یا متقاضی؛
 - ۳- ارجاع به استاندارد مورد استفاده؛
 - ۴- مشخصات پوشش نانومقیاس مورد آزمون و ضخامت آن (برحسب نانومتر یا میکرومتر)؛
 - ۵- جزئیات نمونه (مانند ابعاد، شکل، مساحت سطح آزمون‌شده و روش آماده‌سازی شامل هر گونه عملیات تمیزکاری و هرگونه محافظت اعمال‌شده بر روی لبه‌ها یا سایر نواحی خاص در صورت لزوم)؛
 - ۶- روش آزمون استفاده‌شده؛
 - ۷- نوع، خلوص، حجم، دما و pH محلول آزمون استفاده‌شده؛
 - ۸- گزارش کامل شرایط محیطی، کاری و تمام پارامترهای آزمون (مانند دما، زمان و رطوبت نسبی آزمون)؛
 - ۹- گزارش کامل مواد آزمون و مراحل اجرای آزمون؛
 - ۱۰- دستگاه‌ها و تجهیزات استفاده‌شده براساس این استاندارد؛
 - ۱۱- گزارش وضعیت قرارگیری نمونه در محفظه آزمون؛
 - ۱۲- مشخص کردن تعداد اندازه‌گیری‌ها در هر آزمون؛
 - ۱۳- روش استفاده‌شده برای تمیزکاری نمونه بعد از انجام آزمون و در صورت لزوم، مشخص کردن کاهش جرم ناشی از عملیات تمیزکاری؛
 - ۱۴- در آزمون مه‌نمکی، گزارش فشار و زمان افشانش محلول آزمون؛
 - ۱۵- در آزمون‌های الکتروشیمیایی، گزارش نوع الکترودهای کاری، پتانسیل مدار باز، دامنه اعمال پتانسیل، و سرعت روبش؛
 - ۱۶- گزارش هر ویژگی غیرمعمول مشاهده شده حین آزمون؛
 - ۱۷- گزارش هر گونه نتیجه حاصل از آزمون انجام‌شده (مانند نمودارها، تصاویر و داده‌ها) جهت ارزیابی نتایج:
- برای نمونه نتایج آزمون در آزمون مه‌نمکی به صورت مشاهدات نمونه‌ها در زمان‌های بازرسی پس از شروع آزمون و حجم محلول جمع‌آوری‌شده است؛
- در آزمون غوطه‌وری، نتیجه آزمون به صورت گزارش تغییر وزن نمونه و سرعت خوردگی است؛

– در آزمون‌های الکتروشیمیایی، نتیجه آزمون به صورت گزارش سرعت خوردگی، شیب کاتدی، شیب آندی، پتانسیل خوردگی و چگالی جریان خوردگی است.

۱۸- تاریخ آزمون و امضا کارشناس مسئول و مهر تمام صفحات توسط آزمایشگاه.

نمونه فرم پیشنهادی گزارش آزمون در پیوست ب ارائه شده است.

پیوست الف

(آگاهی دهنده)

استانداردهای مهم ارزیابی خوردگی گالوانیکی

موضوع	استاندارد
فلزات و آلیاژها- آزمون خوردگی اتمسفری- الزامات عمومی	استاندارد ملی ایران شماره ۸۸۶۰: سال ۱۳۹۳
خوردگی فلزات و آلیاژها- آزمون‌های تعیین خوردگی گالوانیک در فضای آزاد	استاندارد ملی ایران شماره ۸۸۶۱: سال ۱۳۹۴
Standard Guide for Conducting and Evaluating Galvanic Corrosion Tests in Electrolytes	ASTM G71: 2019
Standard Guide for Development and Use of a Galvanic Series for Predicting Galvanic Corrosion Performance	ASTM G82: 2021
Standard Practice for Conducting Wire-on-Bolt Test for Atmospheric Galvanic Corrosion	ASTM G116: 2020

پیوست ب

(آگاهی دهنده)

فرم پیشنهادی گزارش نتایج آزمون خوردگی

آزمون پلاریزاسیون	
محلول آزمون:	الکتروود کاری:
الکتروود کمکی:	الکتروود مرجع:
دامنه اعمال پتانسیل:	سرعت روبش (mV/s):
چگالی جریان خوردگی ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$):	پتانسیل خوردگی (V):
شیب آندی (V/dec):	شیب کاتدی (V/dec):
سرعت خوردگی (mpy):	سایر نتایج آزمون:
آزمون مه نمکی	
غلظت نمک:	دما:
فشار افشانش محلول نمک:	pH محلول نمک:
روش تمیزکاری بعد از آزمون:	زمان افشانش:
حجم جمع آوری شده:	تعداد:
مشاهدات پس از زمان های بازرسی متفاوت مانند ۲۴، ۴۸، ۷۲ ساعت: معیار زمان رسوبات نمکی معیار زمان تشکیل محصولات خوردگی معیار کاهش وزن	
توضیحات	
امضای کارشناس آزمون و مهر آزمایشگاه:	

کتابنامه

- [۱] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۲، فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت ۱: اصطلاحات اصلی
- [2] ASTM G193: 2022, Standard Terminology and Acronyms Relating to Corrosion
- [۳] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۴۸۵: سال ۱۳۹۹، پوشش‌ها و جلاها- تعیین مقاومت در برابر خوردگی چرخه‌ای- قسمت ۱: تر (مه نمک)/خشک/مرطوب
- [4] J. R. Davis, Corrosion: understanding the basics. ASM International; 2000
- [5] ISO 5156: 2022, Corrosion of metals and alloys _ Corrosion test method for disinfectant _ Total immersion method
- [۶] استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۱۲۳: سال ۱۳۹۵، خوردگی فلزات و آلیاژها- روش آزمون خوردگی مواد به وسیله اندازه‌گیری‌های امپدانس الکتروشیمیایی
- [7] ASTM G106: 2023, Standard Practice for Verification of Algorithm and Equipment for Electrochemical Impedance Measurements
- [8] ASTM G102: 2015, Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements
- [۹] استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۳۲۳: سال ۱۳۸۷، خوردگی فلزات و آلیاژها- روش‌های آزمون الکتروشیمیایی- راهنماهای اندازه‌گیری پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک و پتانسیودینامیک
- [۱۰] استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۱۶۹: سال ۱۴۰۱، فناوری نانو- پوشش‌های نانومقیاس سخت- طبقه‌بندی براساس مشخصه‌های هندسی و سختی