



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran  
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۹۷۵۸-۴-۴

چاپ اول

۱۳۹۷



دارای محتوای رنگی

INSO  
19758-4-4  
1st EDITION  
2018

Identical with  
IEC/TS 62607-4-4:  
2016

فناوری نانو - نانساخت  
مشخصه‌های کنترلی کلیدی  
قسمت ۴ - ۴: ذخیره‌سازی نانوپدید  
انرژی الکتریکی مشخصه‌یابی حرارتی  
نانومواد - روش سوراخکاری با سنبه

**Nanomanufacturing - Key control  
characteristics Part 4-4: Nano-enabled  
electrical energy storage-thermal  
characterization of nanomaterials,  
nail penetration method**

ICS: 07,030

استاندارد ملی ایران شماره ۴-۴-۱۹۷۵۸ (چاپ اول): سال ۱۳۹۷

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۸۱۱۴-۳۲۸۰ (۰۲۶)

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

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

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

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

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

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

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

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

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

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمنماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، 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 استانداردهای یکه 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، استانداردهای ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللیکاهها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عبار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4-Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«نانوفناوری - نانوساخت - مشخصه‌های کنترلی کلیدی قسمت ۴ - ۴: ذخیره‌سازی نانوپدید انرژی الکتریکی - مشخصه‌یابی حرارتی نانومواد - روش سوراخکاری با سنبه»

### رئیس:

### سمت و/یا محل اشتغال:

دبیر کمیته استانداردسازی - ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

پوی پوی، حسن  
(کارشناسی ارشد شیمی)

### دبیر:

کارشناس کنترل کیفیت - شرکت شیشه و گاز

مرتضوی، سید ارسطو  
(کارشناس ارشد مهندسی مواد)

### اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

کارشناس کمیته استاندارد و ایمنی - ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

اسلامی پور، الهه  
(کارشناسی ارشد زیست شناسی)

مدیر واحد کیفیت و توسعه - شرکت کارآفرینی و فن آوری ایران

آزادی، پیام  
(کارشناس فیزیک کاربردی - هسته ای)

عضو مستقل

دارابی، عادل  
(کارشناسی ارشد فیزیک)

کارشناس واحد ارزیابی موسسه خدمات فناوری تا بازار

غضنفری، سیدمحمد حسین  
(کارشناسی ارشد نانو مواد)

### ویراستار:

کارشناس استاندارد - نایب رئیس کمیته فنی متناظر فناوری نانو

سیفی، مهوش  
(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ز	پیش‌گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۵	۴ آماده‌سازی نمونه
۵	۴-۱ الزامات کلی نمونه
۶	۴-۲ پیش‌عمل‌آوری
۶	۴-۳ ساخت سنبه سوراخکاری
۷	۴-۳ صحنه‌گذاری عایق بودن و دمای سنبه سوراخکاری
۹	۵ اندازه‌گیری خواص الکتریکی
۹	۵-۱ الزامات محل دستگاه و آزمون
۹	۵-۲ الزامات سامانه اندازه‌گیری
۱۰	۵-۳ چیدمان نمونه
۱۰	۵-۴ روش سوراخکاری
۱۱	۵-۵ طراحی روش آزمون
۱۳	۶ داده‌کاوی/ تفسیر نتایج
۱۳	۶-۱ طبقه‌بندی نمونه‌ها براساس نتایج
۱۳	۶-۱-۱ نمونه شاهد (بدون نانومواد)
۱۳	۶-۱-۲ آزمایش (با نانومواد)
۱۶	پیوست الف (آگاهی‌دهنده)
۱۷	کتاب‌نامه

## پیش‌گفتار

استاندارد «فناوری نانو- نانوساخت- مشخصه‌های کنترلی کلیدی قسمت ۴-۴: ذخیره‌سازی نانوپدید انرژی الکتریکی مشخصه‌یابی حرارتی نانومواد - روش سوراخکاری با سنبه» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در شصت و ششمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مورخ ۱۳۹۷/۴/۴ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، 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 یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی/ منطقه‌ای زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی/ منطقه‌ای مزبور است:

IEC TS 62607 4-4:2016 Nanomanufacturing–Key control characteristics- Part 4-4: Nano-enabled electrical energy storage-thermal characterization of nanomaterials, nail penetration method

## مقدمه

افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی اهمیت فزاینده‌ای برای بسیاری از کاربردها مانند دستگاه‌های مصرف‌کننده، خودروهای الکتریکی و هواپیماها پیدا کرده‌اند. افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی با کارایی و قابلیت اطمینان بالا، عوامل کلیدی در به‌دست‌آوردن اطمینان مشتریان می‌باشند. همچنین در شبکه‌های هوشمند و کاربردهای انرژی‌های تجدیدپذیر که بازده انرژی و پایداری توان منابع، حیاتی است، سامانه ذخیره‌ساز انرژی، یک عامل بسیار مهم می‌باشد. انواع زیادی افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی برای کاربردهای متنوع وجود دارند. باتری‌های یون لیتیم، رایج‌ترین و نویدبخش‌ترین افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی برای وسایل الکترونیکی قابل حمل، مصرف‌کننده‌های الکترونیکی، وسایل الکترونیکی نظامی، خودروهای الکتریکی و کاربردهای هوافضا هستند. این یک عامل آزمون مناسب برای مشخصه‌های عملکردی و قابلیت اطمینان است.

یکی از مشخصه‌هایی که توجه کاربران را به خود جلب می‌کند، پدیده گریز حرارتی، هنگام اتصال کوتاه داخل افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی، ناشی از عیوب حین تولید، عملکرد نادرست یا شوک‌های خارجی می‌باشد. کنترل ضعیف فرایند تولید می‌تواند موجب عیوب داخلی افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی مانند، ذرات ناخالصی، عیوب جداکننده<sup>۱</sup> پلیسه الکترودها یا طبله‌کردن بازوهای رسانا<sup>۲</sup> گردد. در افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی که در شرایط غیرعادی، مانند ذخیره سریع یا سوراخ شدن به‌وسیله اجسام خارجی کار می‌کنند، احتمال اتصال کوتاه داخلی وجود دارد. جریان بالای ناشی از اتصال کوتاه، موجب یک واکنش گرمای غیرعادی و در نتیجه افزایش موضعی دما می‌شود. اما دمای ناشی از جرقه اتصال کوتاه به علت انتقال حرارت کاهش پیدا می‌کند. ادامه این اثرات، موجب افزایش سریع دمای افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی می‌شود. اگر این فرایند به دمای گریز حرارتی برسد، معمولاً موجب آتش‌سوزی و انفجار افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی می‌شود. این اتفاق می‌تواند موجب آسیب دیدن افراد و تجهیزات شود. در بدترین حالت، این اتفاق می‌تواند مانع توسعه این نوع افزاره‌های ذخیره‌سازی انرژی شود.

برای جلوگیری از این اتفاق، از افزودنی‌های نانومواد برای اجتناب از پدیده گریز حرارتی و در نتیجه تأمین قابلیت اطمینان و ایمنی افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی، استفاده می‌شود. افزودنی‌های نانومواد می‌تواند با مواد فعال الکترودها یا الکترولیت مخلوط شده و یا روی سطح الکترودها یا جداکننده‌ها پوشش داده‌شود.

این استاندارد روش‌های آزمون کلی و الزامات ارزیابی عملکرد گریز حرارتی و مخاطرات استفاده از افزاره‌های نانوپدید ذخیره‌ساز انرژی را که در آنها افزودنی‌های نانومواد استفاده شده‌است، مشخص می‌کند و زمینه‌ساز

---

1- Separator

2- Prominence of conductive arms

ارتقاء بیشتر استانداردهای تعیین خصوصیات محصولات خاص می‌شود. این روش فقط افزایش‌های زیاد دما، ناشی از اتصال کوتاه آند و کاتد در پیل را پوشش می‌دهد. این روش در حالت کلی، گریز حرارتی ناشی از سایر موارد مانند دمای خارجی بالا را پوشش نمی‌دهد و یک روش کلی برای جلوگیری از گریز حرارتی نیست.



## نانوفناوری - نانوساخت

### مشخصه‌های کنترلی کلیدی

#### قسمت ۴ - ۴: ذخیره‌سازی نانوپدید انرژی الکتریکی

#### مشخصه‌یابی حرارتی نانومواد - روش سوراخکاری با سنبه

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین استاندارد، تعیین خصوصیات فنی است، ارائه یک روش اندازه‌گیری جهت آزمون سطح کیفی گریز حرارتی برای افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی نانوپدید است. این روش با اندازه‌گیری تطبیقی، تولیدکنندگان را قادر می‌سازد تا در مورد قابلیت افزودنی‌های نانومواد در افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی جهت مقابله با گریز حرارتی، نظر دهند. این گریز حرارتی ناشی از اتصال مقاومت پایین تصادفی و یا به‌علت عیوب، بین دو یا چند نقطه داخلی، بسته به تعداد لایه‌به‌لایه الکتروود آزمایش، است. افزودنی‌های نانومواد را می‌توان با مواد الکترودهای مثبت و منفی یا الکتروولیت، مخلوط کرد یا روی الکتروودها یا جداکننده پوشش داد. این استاندارد شامل تعاریف اصطلاحات فنی، آزمایش، الزامات سوراخکاری، روش آزمون، داده‌کاوی و روش‌های تفسیر نتایج و بررسی موردی است. به‌علت پیچیدگی طراح ایمنی متعلقات افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی، این استاندارد مستقیماً برای آزمون ایمنی تولیدات این محصولات اعمال نمی‌شود.

### ۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به‌صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده‌است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند. در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده‌باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده‌است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است. استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۳۹۲: سال ۱۳۹۵ فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت ۱: اصطلاحات اصلی

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۸۳۹۲: سال ۱۳۹۵ فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت ۲: نانوایشیاء

۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۸۳۹۲: سال ۱۳۹۵ فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت ۴: مواد نانوساختاریافته

2-4 ISO 9001:2015, Quality management systems – Requirements

2-5 ISO 14001:2015, Environmental management systems – Requirements with guidance for use

2-6 ISO 26000:2010, Guidance on social responsibility

2-7 IEC TS 80004-9:2016, Nanotechnologies – Vocabulary – Part 9: Nano-enabled electro-technical products and systems

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استانداردهای ملی ایران شماره ۱-۲-۱۸۳۹۲-۱۸۳۹۲، ۴-۱۸۳۹۲، ISO 9001، ISO 14001، ISO 26000 و IEC TS 80004-9، موارد زیر نیز به کار می‌رود.

ISO و IEC منابع اصطلاحات فنی مورد استفاده برای استانداردسازی را در نشانی‌های زیر ارائه داده‌اند.

- فرهنگ الکترونیکی IEC: قابل دسترسی در <http://www.electropedia.org/>

- پایگاه جستجوی بر خط ISO: قابل دسترسی در <http://www.iso.org/obp>

### ۱-۳

#### نانومقیاس

##### **nanoscale**

محدوده ابعادی تقریبی ۱nm تا ۱۰۰nm است.

[منبع: تعریف ۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲-۱۸۳۹۲: ۱۳۹۶]

### ۲-۳

#### نانوماده

##### **nanomateriel**

ماده‌ای که هر بعد خارجی آن نانومقیاس است یا ساختار داخلی یا ساختار سطحی آن نانومقیاس است.

[منبع: تعریف ۴-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۳۹۲: ۱۳۹۶]

۳-۳

نانوشی

**nano-object**

ماده‌ای که یک، دو یا سه بعد خارجی آن، نانومقیاس است.

[منبع: تعریف ۵-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۳۹۲: ۱۳۹۶]

۴-۳

افزودنی نانوماده

**nanomaterial additive**

نانوماده‌ای است که به مقدار کم به بخشی از یک افزاره افزوده شود تا یک یا چند خاصیت آن بهبود یابد یا اصلاح شود.

۵-۳

ماده نانوچندسازه (نانوکانپوزیت)

**nano composite material**

یک ماده چند جزئی که یک، دو یا سه بعد آن نانومقیاس باشد.

۶-۳

نانوپدید

**nano-enabled**

کارکرد یا عملکردی که تنها در فناوری نانو امکان داشته باشد.

[منبع: تعریف ۱۵-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۳۹۲: ۱۳۹۶]

۷-۳

نانوبهبود

**nano-enhanced**

کارکرد یا عملکردی که با استفاده از فناوری نانو افزایش یا بهبود یافته است.  
[منبع: تعریف ۲-۱۶ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۳۹۲:۱۳۹۶]

۸-۳

ولتاژ مدار باز

### open circuit voltage

اختلاف ولتاژ پتانسیل الکتریکی اندازه‌گیری شده بین قطب‌های یک پیل یا باتری، زمانی که مدار باز است (تحت بار نباشد) و جریان خارجی برقرار نیست.  
[منبع: ISO 17546:2016, 3.26]

۹-۳

اتصال کوتاه

### short circuit

مدار، زمانی که رهنبندی<sup>۱</sup> کمتر از  $1\text{ m}\Omega$  بین قطب خروجی و اتصال زمین برقرار است.  
[منبع: ISO 27027:2014, 3.13]

۱۰-۳

پیل

### cell

یک پیل تکی ذخیره‌ساز انرژی یا بار الکتریکی است، داخل مجموعه‌ای از پیل‌ها که تشکیل افزاره ذخیره‌ساز می‌دهد.

۱۱-۳

ظرفیت

### capacity

بار الکتریکی که یک پیل یا باتری تحت شرایط مشخص تخلیه بار می‌تواند تحویل دهد.

یادآوری - یکای SI برای بار الکتریکی یا الکتریسیته، کولن ( $1C = 1A.S$ ) است. اما در عمل، معمولاً با آمپر ساعت (Ah) بیان می‌شود.

[منبع: IEC 60050-482:2004, 482-03-14]

۱۲-۳

### جداکننده

#### separator

فیلم یا توری نارسانای نیمه تراوایی است که برای جدا سازی دو الکترود استفاده می‌شود که از اتصال الکتریکی آنها جلوگیری کرده اما اجازه عبور یون‌ها را از داخل خود می‌دهد.

۱۳-۳

### وضعیت بار

#### SOC state of charge

وضعیت انرژی قابل دسترسی در افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی است.

یادآوری - SOC معمولاً بصورت درصد بیان می‌شود.

### ۴ آماده‌سازی نمونه

#### ۱-۴ الزامات کلی نمونه

آزمایه‌ها باید پیل‌های افزاره‌های ذخیره‌ساز انرژی کاملاً فعال شده باشند. همچنین شکل آن‌ها (معمولاً منشوری یا استوانه‌ای هستند)، ساختار داخلی آن‌ها (معمولاً به شکل انباشته یا ورقه‌ای هستند) و مواد آند/کاتد و الکترولیت باید بر اساس طراحی و الزامات سازنده باشد. برای متمایز شدن کارکرد نانوپدیدگی یا نانوبهبودی، دو دست نمونه باید ساخته شود. یک دست بدون افزودنی‌های نانوماده (نمونه شاهد) و دست دیگر با افزودنی‌های نانوماده (آزمایه). برای معناداری آماری مناسب، کمترین تعداد پیل به ترتیب ۲۰ و ۱۰ عدد است. افزودنی‌های نانوماده می‌تواند با مواد آند/کاتد، الکترولیت و سطح جداکننده مخلوط شود. صرف نظر از مقدار افزودنی‌های نانوماده، دو دست آزمایه، باید در سایر موارد، مشابه باشند (برای مثال، اندازه، روش ساخت و ساختار، ظرفیت، مواد و غیره). مشخصه‌های آزمایه باید نشان داده شوند.

#### ۲-۴ پیش‌عمل‌آوری

برای انتخاب آزمایش‌های با کیفیت برای آزمون گریز حرارتی، نمونه‌های شاهد و آزمون باید پیش‌عمل‌آوری شوند. فرایندهای پیش‌عمل‌آوری مطابق زیر انجام می‌شود.

۱- تعداد ۲۰ نمونه شاهد آماده کنید.

۲- تعداد ۱۰ آزمایش آماده کنید.

۳- سه چرخه ذخیره/ تخلیه مطابق با  $1/0^{\circ}\text{C}$  یا شرایط خودتعریف‌شده‌ای انجام دهید. دما باید در محدوده  $(25 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  کنترل شود.

۴- نمونه‌ها باید کاملاً پر شده (SOC  $100\%$ ) و به مدت یک ساعت در دمای  $(25 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  نگهداری شوند. میانگین انحراف استاندارد و ضریب تغییر ظرفیت الکتریکی را می‌توان از منحنی تخلیه  $1/0^{\circ}\text{C}$  محاسبه کرد. اگر ضریب تغییر بیشتر از  $3\%$  باشد، مجموعه نمونه‌ها برای آزمون گریز حرارتی کیفیت مورد نظر را ندارد و باید مجموعه (بهر) نمونه‌های دیگر برای پیش‌عمل‌آوری در نظر گرفته شود.

۵- اگر ظرفیت الکتریکی نمونه خارج از محدوده میانگین  $\pm 1/5\sigma$  باشد، برای آزمون گریز حرارتی کیفیت مورد نظر را ندارد.

۶- تعداد کل نمونه‌های شاهد برای آزمون گریز حرارتی باید بیشتر از ۱۰ عدد و تعداد کل آزمایش‌ها باید بیشتر از ۳ عدد باشد.

۷- آزمایش‌های افزودنی‌های نانوماده با ساخت یا طراحی مختلف، باید مطابق مراحل ۲ تا ۵ پیش‌عمل‌آوری شوند.

#### ۳-۴ ساخت سنبه سوراخکاری

عوامل مهم متعددی از سنبه مانند: قطر، ماده، زاویه مخروط و غیره روی نتایج آزمون تأثیر دارند. به‌منظور داشتن نتایج کمی قابل اعتماد برای مقایسه، استانداردسازی سنبه بسیار ضروری است. در این طرح، یک ترموکوپل داخل حفره سنبه، برای ثبت اعتماد دمای اطراف نوک سنبه، قرار داده می‌شود. ساختار سنبه در زیر توضیح داده شده‌است.

۱- قطر خارجی سنبه  $2/5\text{ mm}$ ، طول قسمت مخروطی  $2\text{ mm}$ ، زاویه مخروطی  $64^{\circ}$ ، قطر داخلی سنبه  $1\text{ mm}$  و عمق آن مساوی طول قسمت استوانه‌ای (به جز قسمت مخروطی) است.

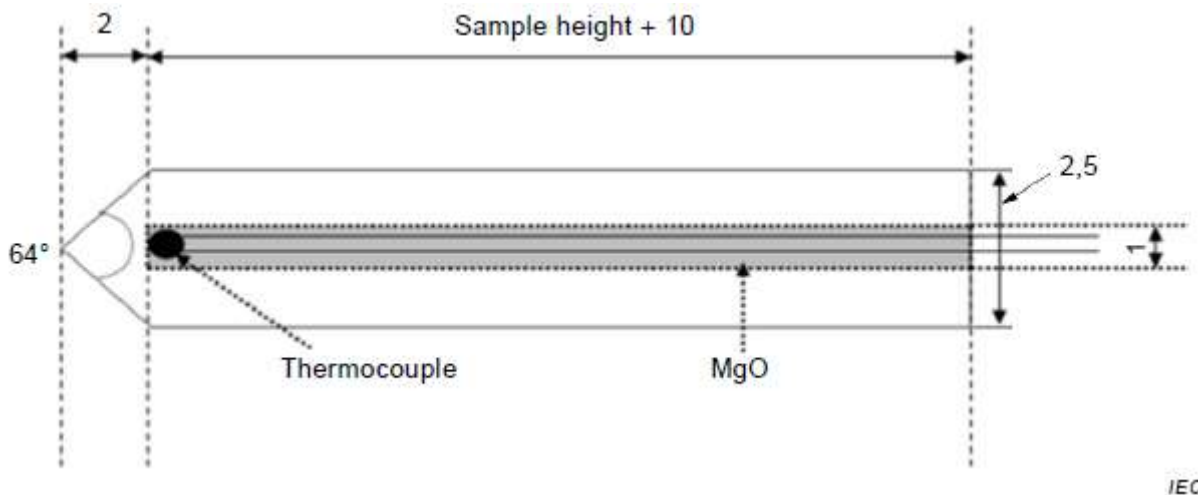
۲- طول سنبه (به‌علاوه قسمت مخروطی) باید  $10\text{ mm}$  بلندتر از افزاره ذخیره‌ساز انرژی باشد.

۳- ترموکوپل، داخل استوانه داخلی سنبه قرار داده می‌شود (ترموکوپل دمای بالا توصیه می‌شود). برای جلوگیری از تداخل اندازه‌گیری، دیواره داخلی سنبه باید با عایق حرارتی اکسید منیزیم (MgO) پوشش داده شود.

۴- سنبه سوراخکاری، از فولاد زنگ‌نزن سری AISI300 ساخته می‌شود. سایر قسمت‌های متصل به (ضمانت) سنبه سوراخکاری، باید از نظر مکانیکی محکم، در مقابل خوردگی / آتش مقاوم و به راحتی قابل تعمیر و نگهداری باشند.

۵- تصویر طرحواره سنبه سوراخکاری در شکل ۱ نشان داده شده است.

ابعاد برحسب میلیمتر است.



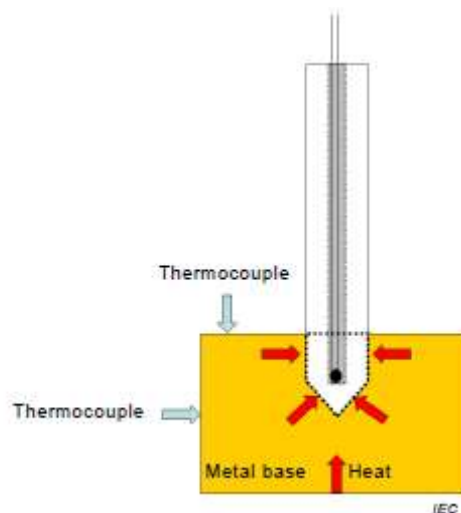
شکل ۱- تصویر طرحواره سنبه سوراخکاری

#### ۴-۴ صحنه‌گذاری عایق بودن و دمای سنبه سوراخکاری

برای اطمینان از خوانش دمای نوک سوراخ و کمینه کردن تداخل خوانش، به علت استفاده از عایق حرارتی MgO غیر ایده‌آل، نیاز به اجرای فرایند صحنه‌گذاری است. این فرایند به ترتیب زیر است:

۱- یک بلوک فلزی با رسانایی حرارتی خوب (ضخامت حدود ۲۰ mm) با یک سوراخ در رأس آن، که قطر آن ۲/۵ mm و عمق آن ۱۰ mm باشد، انتخاب کنید.

- ۲- بلوک فلزی تا  $160^{\circ}\text{C}$  گرم شود. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، به وسیله دو ترموکوبل، تعادل حرارتی بلوک فلزی بازرسی می‌شود، یکی از نوک و دیگری از پهلوی آن. زمانی که بلوک فلزی به تعادل حرارتی رسید، سنبه داخل سوراخ قرار داده شده و صبر می‌کنیم تا خوانش ترموکوبل سنبه ثابت شود.
- ۳- اگر خوانش دمای سنبه در  $160^{\circ}\text{C}$ ،  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  باشد، ساختار سنبه سوراخکاری قابل قبول است.
- ۴- بعد از اینکه سنبه سوراخکاری تا دمای محیط سرد شد، رسانایی الکتریکی آن به وسیله یک چنداسنج آزمایش می‌شود.
- ۵- تصویر طرحواره سنبه سوراخکاری و بلوک فلزی گرم شده در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ - طرحواره سنبه سوراخکاری و بلوک فلزی گرم شونده



## ۵ اندازه‌گیری خواص الکتریکی

### ۱-۵ الزامات محل دستگاه و آزمون

- الزامات ایمنی برای نمونه‌های مختلف، کاملاً متفاوت است. تجهیزات اندازه‌گیری باید برای انواع نمونه‌ها قابل استفاده باشد. هم‌زمان دقت پایدار داشته باشد. به‌طور کلی، تجهیزات به‌تواند نیروی سوراخ‌کردن کافی برای نمونه‌های با سختی مختلف داشته‌باشد. همچنین زمان اندازه‌گیری، ساختار تجهیزات باید ایمنی مشاهده برای نتایج خطرناک (مانند دود، آتش و انفجار) داشته‌باشد. الزامات و توصیه‌های تجهیزات در ادامه آمده است.
- ۱- بیشینه سرعت خطی تحت کنترل سروموتور باید مساوی یا بزرگتر از  $50 \text{ mm/s}$  و کمینه آن باید مساوی یا کوچکتر از  $0.1 \text{ mm/s}$  و خطای آن باید کمتر از  $5\%$  باشد.
  - ۲- نیروی سوراخکاری باید حداقل  $5000 \text{ N}$  باشد (این نیرو می‌تواند قوطی کنسرو فلزی سودا را سوراخ کند).
  - ۳- محل آزمون باید به‌خوبی آببندی شده و دما در محدوده  $(5 \pm 25)^\circ\text{C}$  کنترل شده‌باشد.
  - ۴- محل آزمون باید در مقابل دود، آتش و انفجار مقاوم بوده و تهویه مناسبی داشته‌باشد و فشار را به‌خوبی رها کند.
  - ۵- محل آزمون باید دارای یک پنجره عایق‌بندی شده باشد؛ یک دوربین ویدئویی یا یک دستگاه ضبط تصویر دیگر برای ضبط وقایع استفاده شود.

### ۲-۵ الزامات سامانه اندازه‌گیری

- اتصال کوتاه خیلی سریع ایجاد می‌شود. برای تصمیم‌گیری درست از نتایج نشانگر، شرایط خوانش ولتاژ و دما بسیار مهم است. برای ثبت زمان واقعی واکنش، سامانه اندازه‌گیری باید الزامات و توصیه‌های زیر را تأمین کند.
- ۱- سامانه اندازه‌گیری باید ولتاژ، دما و موقعیت سنبه را به‌صورت تابعی از زمان ثبت کند.
  - ۲- توصیه می‌شود، نرخ نمونه‌برداری دما و ولتاژ بیشتر از  $100 \text{ Hz}$  باشد (۱۰۰ مورد ثبت در ثانیه).
  - ۳- توصیه می‌شود، حساسیت ولتاژ بهتر از  $50 \text{ mV} \pm$  باشد و ترموکوپل، دماهای بالاتر از  $1000^\circ\text{C}$  را تحمل کند.

### ۳-۵ چیدمان نمونه

نمونه‌هایی با شکل و ساختار متنوع وجود دارد. برای نمونه‌هایی با شکل‌های مختلف، الزامات چیدمان مختلفی وجود دارد. بنابراین نیاز به توصیف شفاف‌تری از چیدمان نمونه است. مبحث زیر، چیدمان شکل‌های کلی نمونه، استوانه‌ای و مکعبی، را توصیف کرده است. اصول کلی را می‌توان برای سایر شکل‌ها نیز به کار برد.

۱- زمانی که نمونه‌ای سوراخ شده، نباید چرخش و حرکت کند و تغییر شکل یابد. نمونه را می‌توان روی یک سطح عایق و مقاوم به شعله قرار داد. اگر نیاز باشد (برای پیل استوانه‌ای)، می‌توان نمونه را به وسیله ثابت کننده، ثابت کرد، اما نباید روی تابش حرارتی و انبساط حرارتی تأثیر گذاشت.

۲- برای جلوگیری از تداخل اندازه‌گیری، اگر لایه چسبان حرارتی<sup>۱</sup> وجود داشته باشد، حذف می‌شود.

۳- ترموکوپل در سطح بالایی نمونه قرار داده می‌شود. موقعیت آن باید نزدیک محل سوراخ، بدون تأثیرگذاری بر روش سوراخکاری باشد. برای اجتناب از تغییر مکان ترموکوپل، ناشی از دود، آتش و انفجار، آن را باید ثابت کرد.

۴- علائم ولتاژ، به وسیله اتصال به پایانه‌های اندازه‌گیری، پایش می‌شود.

### ۴-۵ روش سوراخکاری

الگوهای مختلفی برای چیدن نمونه وجود دارد، مانند انباشتی و مارپیچی. اگر عمق سوراخ مختلف باشد، آسیب داخل نمونه، متفاوت خواهد بود و محل اندازه‌گیری دما نیز متفاوت خواهد بود. این موجب نتایج ناپایدار می‌شود. تعیین جهت و عمق برای سوراخ اهمیت دارد. روش سوراخکاری به شرح زیر می‌باشد.

۱- جهت سوراخ سنبه عمود بر صفحه الکتروود نمونه است. جهت می‌تواند در راستای محور Z (عمودی) یا محور XY (افقی) باشد. سرعت و نیروی سوراخکاری بر اساس ویژگی‌های آزمون تعیین می‌شود (در زیربند ۵-۵-۱ توضیح داده شده است).

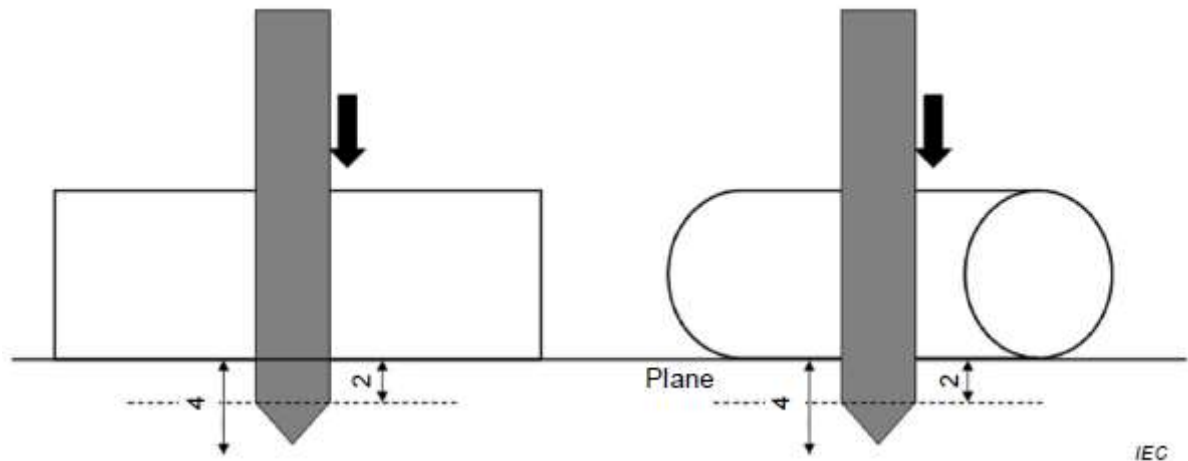
۲- همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، عمق سوراخ داخل نمونه ۴ mm است.

۳- ثبت ولتاژ و دما هم‌زمان با جابجایی سنبه است.

۴- وقتی که دما ثابت شد، نمونه می‌تواند خارج شود. توصیه می‌شود، سنبه دوباره استفاده نشود و باید دور انداخته شود.

## ۵-۵ طراحی روش آزمون

این روش آزمون، یک روش مقایسه‌ای بین دو نمونه مختلف است، یکی نمونه شاهد (بدون نانوماده) و دیگری آزمایه (با نانوماده).



شکل ۳- سوراخکاری در عمق پیل

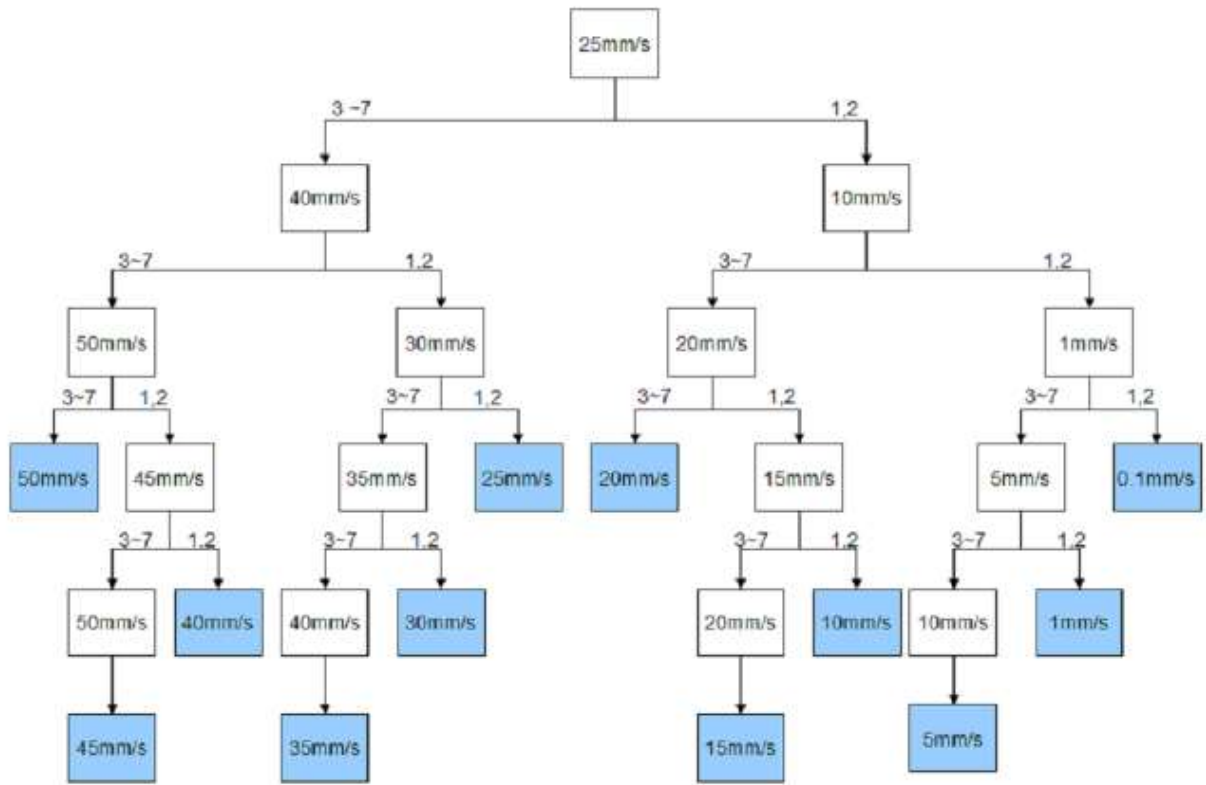
روش های آزمون در ادامه آمده است.

۱- سنبه سوراخکاری نمونه شاهد را با سرعت های مختلفی بین  $0.1 \text{ mm/s}$  و  $50 \text{ mm/s}$  سوراخ می کند. سرعت آزمون از  $25 \text{ mm/s}$  شروع می شود، و انتخاب سرعت های بعدی بر اساس بالا/پایین بودن سطح مخاطره، به روش مقایسه ای انجام می شود. شکل ۴ نمودار گردش کار مراحل آزمون را نشان می دهد. جدول ۱ بالا/پایین بودن سطح مخاطره را توضیح داده است. تعداد آزمون های توصیه شده برای نمونه شاهد چهار تا پنج مورد و برای نمونه آزمایه، سه تا پنج مورد است.

۲- برای آزمون تکرارپذیری، فرایند ۱ را دو تا چهار مرتبه تکرار کنید.

۳- اگر نتایج تکرارپذیری مردود شد، مجموعه دیگری از نمونه های شاهد انتخاب و دوباره آزمایش کنید.

۴- داده های دما، ولتاژ و سطح مخاطره باید ثبت شود.



IEC

شکل ۴- نمودار گردش کار مراحل آزمون نمونه شاهد

جدول ۱- توصیف سطح مخاطره

توصیف	کوتاه نوشت	نتایج	سطح مخاطره
بدون تغییر قابل ملاحظه ظاهری	P	بدون دود، بدون آتش	۱
تبخیر الکترولیت	V	متصاعد شدن گاز	۲
تورم، ظاهر شبیه ذغال، انتشار دود	S	دود	۳
دود و جرقه ها	SS	جرقه + دود	۴
خارج شدن مقدار زیادی دود	HS	دود غلیظ	۵
آتش گرفتن	F	آتش	۶
انفجار	EX	انفجار	۷

۶ داده کاوی / تفسیر نتایج

۱-۶ طبقه بندی نمونه ها بر اساس نتایج

۱-۱-۶ نمونه شاهد (بدون نانومواد)

۱- نتایج P و V مناطق امن دمای پایین هستند.

۲- نتایج S، SS، HS و F مناطق خطر دمای بالا هستند. نتایج HS و F موجب بیشترین مخاطره می شوند.

۲-۱-۶ آزمایش (با نانومواد)

۱- اگر نتایج نمونه های شاهد و آزمایشها P یا V باشند، نشان دهنده این است که افزودنی نانوماده، عملکرد را پدیدار نکرده است یا کارکرد را بهبود نداده است.

۲- اگر نتایج نمونه های شاهد و آزمایشها S یا SS یا HS باشند، نشان دهنده این است که افزودنی نانوماده، عملکرد را پدیدار نکرده است یا کارکرد را بهبود نداده است.

۳- اگر نتایج نمونه های شاهد S یا SS یا HS باشند و نتایج آزمایشها F یا EX باشند، نشان دهنده این است که افزودنی نانوماده، عملکرد را بدتر کرده است.

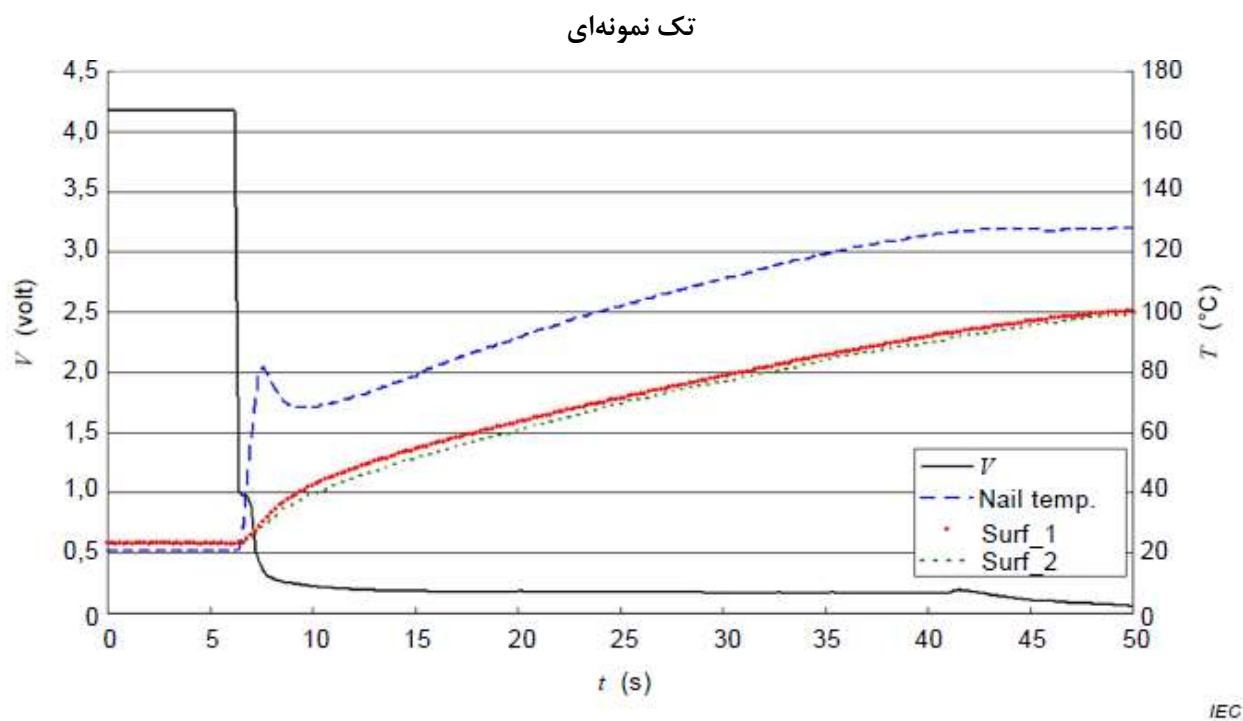
۴- اگر نتایج نمونه های شاهد S یا SS یا HS باشند و نتایج آزمایشها P یا V باشند، نشان دهنده این است که افزودنی نانوماده، قطعاً عملکرد را پدیدار کرده یا کارکرد را بهبود داده است.

۵- اگر نتایج نمونه‌های شاهد یا EX باشند و نتایج آزمایش‌ها یا SS یا HS باشند، نشان‌دهنده این است که افزودنی نانوماده، به‌طور محدود عملکرد را پدیدار کرده است یا کارکرد را بهبود داده است.

۶- اگر نتایج نمونه‌های شاهد یا EX باشند و نتایج آزمایش‌ها یا V باشند، نشان‌دهنده این است که افزودنی نانوماده، عملکرد را پدیدار کرده است یا کارکرد را بهبود داده است.

## ۲-۶ داده‌کاوی

۱- نمودار تک آزمایش‌ای: نمودار ولتاژ و دماها برحسب زمان را رسم کنید. دماها شامل دمای سطح و دمای محل سوراخ نمونه است. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، به‌وسیله این نمودار، افت ولتاژ و افزایش دما، زمانی که سوراخ ایجاد شده است، را می‌توان بررسی کرد.

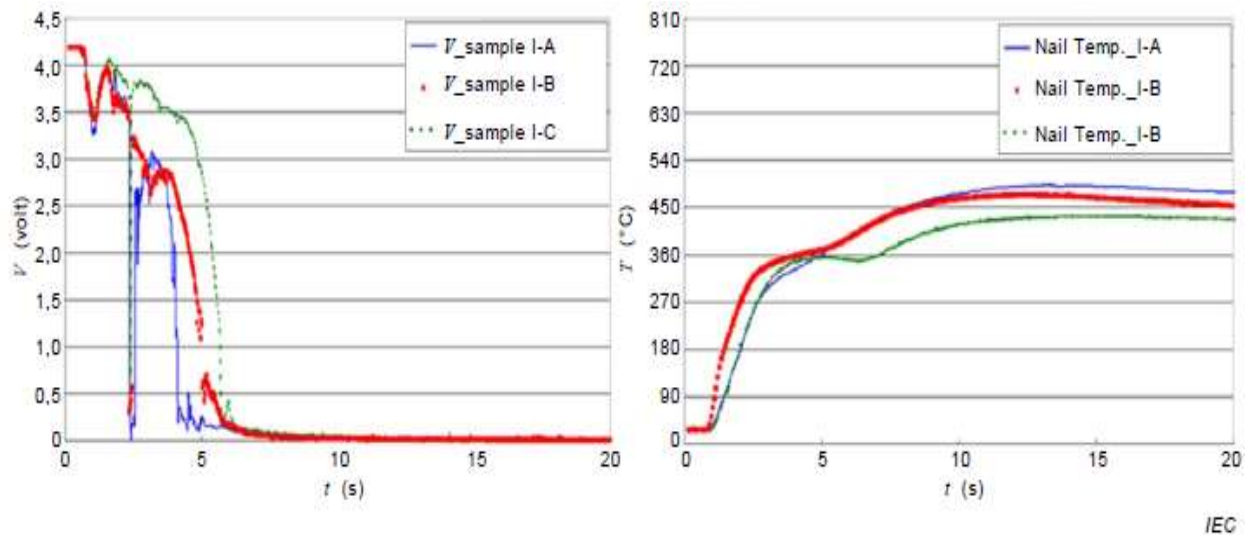


شکل ۵ - نمودار ولتاژ و دما برحسب زمان

۲- نمودار تکرارپذیری: نمودار ولتاژ و دما برحسب زمان برای چند نمونه رسم شود. دما فقط دمای محل سوراخ است. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، این نمودار می تواند بررسی کند آیا تکرارپذیری مطلوب است یا خیر.

چند نمونه ای I  
(بدون افزودنی نانوماده)

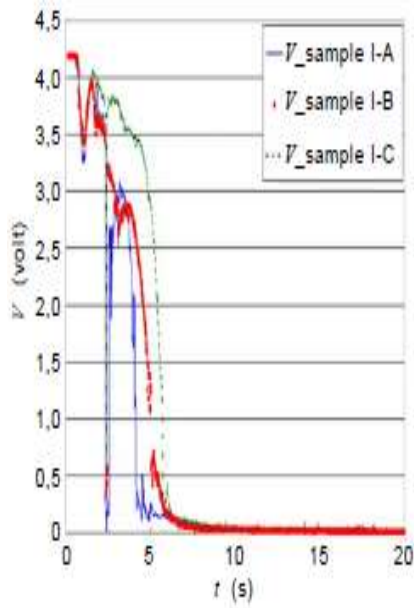
3S/3



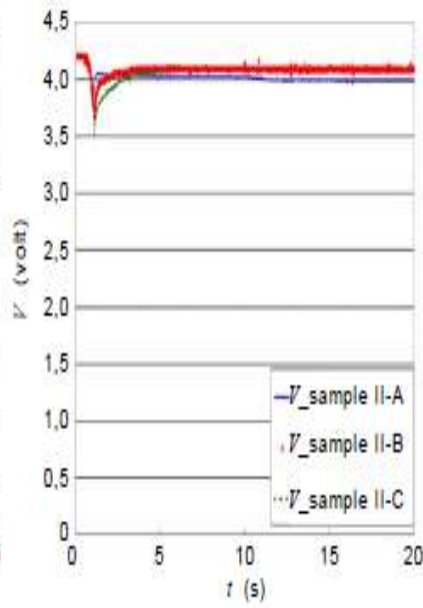
شکل ۶ - نمودار تکرارپذیری ولتاژ و دما برحسب زمان

۳- نمودار مقایسه عملکرد: نمودار ولتاژ و دما برحسب زمان برای نمونه های با انواع مختلف افزودنی نانوماده رسم شود. دما، فقط دمای محل سوراخ است. برای مقایسه، نمودار نمونه های با انواع مختلف افزودنی نانوماده، باهم رسم شده اند. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، این نمودار می تواند مشخص کند، آیا به وسیله افزودنی نانوماده، عملکرد بهبود یافته است یا خیر. اگر با استفاده از این نتایج، تشخیص تغییر عملکرد دشوار باشد، تعداد بررسی های کمی بیشتر دمای سنبه، می تواند آن را مشخص کند.

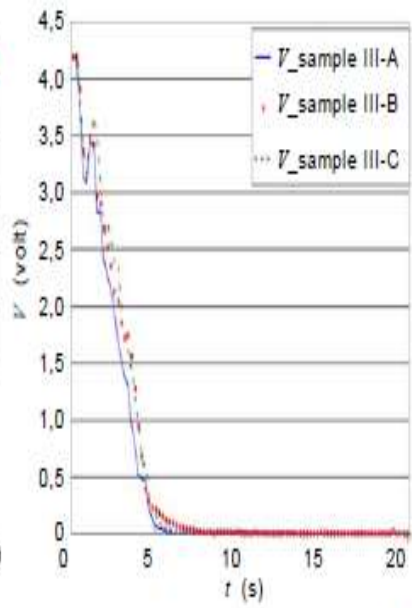
چندنمونه‌ای I  
(بدون افزودنی نانوماده)  
3S/3



چندنمونه‌ای II  
(بدون افزودنی نانوماده)  
3P/3



چندنمونه‌ای III  
(بدون افزودنی نانوماده)  
3S/3



IEC

شکل ۷ - نمودار مقایسه عملکرد ولتاژ و دما بر حسب زمان



## پیوست الف

(آگاهی دهنده)

### مثالی از گزارش داده‌ها

جدول‌های الف-۱ تا الف-۵ مثال‌هایی از جدول ویژه‌گی‌های آند، کاتد، الکترولیت، جداکننده و پیل را نشان می‌دهند. جدول الف-۶ جدول بررسی نمونه برای افزودنی‌های مختلف را نشان می‌دهد.

#### جدول الف-۱- ویژه‌گی‌های آند

نمونه	ماده آند	چگالی انرژی	ضخامت لایه Al	نانوماده
۱	یکسان	یکسان	یکسان	X
۲				P-1
۳				P-2

#### جدول الف-۲- ویژه‌گی‌های کاتد

نمونه	ماده کاتد	چگالی انرژی	ضخامت لایه Cu	نانوماده
۱	یکسان	یکسان	یکسان	X
۴				N-1
۵				N-2

#### جدول الف-۳- ویژه‌گی‌های الکترولیت

نمونه	فرمول الکترولیت	نانوماده
۱	یکسان	X
۶		E-1
۷		E-2

جدول الف - ۴ - ویژه گی های جداکننده

پوشش	دمای گریز	عرض روزنه	ماده	نمونه
X	مشابه	مشابه	مشابه	۱
C-1				۸
C-2				۹

جدول الف - ۵ - ویژه گی پیل

ابعاد	ظرفیت	جعبه حامل	ساختار الکتروود	نمونه
یکسان	یکسان	یکسان	یکسان	۱
				۲
				۳
				۴
				۵
				۶
				۷
				۸
				۹

جدول الف - ۶ - بررسی نمونه

پوشش جداکننده	افزودنی الکترولیت	افزودنی کاتد	افزودنی آند	
X	X	X	X	۱
X	X	X	P-1	۲
X	X	X	P-2	۳
X	X	N-1	X	۴
X	X	N-2	X	۵
X	E-1	X	X	۶
X	E-2	X	X	۷
C-1	X	X	X	۸
C-2	X	X	X	۹

توجه: رنگ تیره برای نمونه ۱ نشان دهنده نداشتن افزودنی نانوماده برای مقایسه عملکرد است. رنگ تیره برای سایر نمونه‌ها نشان دهنده اضافه کردن افزودنی نانوماده معین است.

## کتابنامه

IEC TS 62844, Guidelines for quality and risk assessment for nano-enabled electrotechnical products

در زمان انتشار استاندارد IEC DTS 62844:2014، استاندارد فوق در دست تدوین بوده است.