استاندارد ملی ایران
۲۰۳۰۴-۳-۱
چاپ اول
۱۴۰۲

دارای محتوای رنگی

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iran National Standards Organization

INSO
20304-3-1
1st Edition
2024

Identical with
IEC TS 62876-3-1: 2022

# فناوری نانو- نانوساخت- ارزیابی اطمینان‌پذیری- قسمت ۳-۱: ماده پایه گرافنی- پایداری: آزمون دما و رطوبت

# Nanomanufacturing- Reliability Assessment - Part 3-1: Graphene-based material- Stability: Temperature and humidity test

ICS: 07.120

**استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۱-۳-۲۰۳۰۴ (چاپ اول): سال ۱۴۰۲**

**سازمان ملی استاندارد ایران**

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

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@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 مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفهٔ تعیین، تدوین، به‌روزرسانی 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 منصفانهٔ 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 پیشنهادها در کمیتهٔ 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 درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ 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)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] 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 زمینهٔ 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، گواهینامهٔ 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- نانوساخت- نانوساخت – ارزیابی اطمینان‌پذیری- قسمت ۳-۱: ماده پایه گرافنی- پایداری: آزمون دما و رطوبت »

| **رئیس:** | **سمت و/یا محل اشتغال:** |
|---|---|
| نجدی، اردشیر<br>(کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک) | مدیرعامل- شرکت پارس خزر نقره |
| **دبیر:** | |
| نقوی، فسانه<br>(کارشناسی‌ارشد مهندسی برق) | کارشناس مسئول- اداره‌کل استاندارد استان گیلان |
| **اعضا:** (اسامی به ترتیب حروف الفبا) | |
| اسلامی‌پور، الهه<br>(کارشناسی‌ارشد زیست‌شناسی) | کارشناس مسئول- گروه استاندارد و ایمنی ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو |
| پورمحمدی، زهرا<br>(دکتری شیمی فیزیک) | کارشناس مسئول- اداره‌کل استاندارد استان گیلان |
| دارابی، عادله<br>(دکتری فیزیک) | عضو مستقل |
| رجبی جورشری، علی<br>(کارشناسی ارشد مهندسی صنایع) | مدرس- دانشگاه احرار رشت |
| سیفی، مهوش<br>(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی) | مشاور- گروه استاندارد و ایمنی ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو |
| صادق حسنی، صدیقه<br>(دکتری شیمی تجزیه- الکتروشیمی) | مدیر- تحقیق و توسعه شرکت آرال تجهیز آزما |
| نجفی اصلی پاشاکی، شبنم<br>(دکتری شیمی- تجزیه) | مدیر فنی- آزمایشگاه‌های مرکز پژوهش‌های کاربردی علوم زمین البرز |
| **ویراستار:** | |
| شاکری، روشنک<br>(کارشناسی ارشد فیزیک اتمی- مولکولی) | کارشناس- سازمان ملی استاندارد ایران |

## فهرست مندرجات

**عنوان** **صفحه**


پیش‌گفتار و
مقدمه ز
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۲
۴ کلیات ۶
۴-۱ نمونه تحت آزمون ۶
۴-۲ توصیف نمونه ۷
۵ غربالگری اطمینان‌پذیری تنش ۸
۵-۱ کلیات ۸
۵-۲ معیارهای پایان عمر ۸
۵-۳ معیار پذیرش ۸
۵-۴ آزمون تنش محیطی ۹
۵-۵ توالی ۹
۵-۶ شدت ۹
۵-۷ روش‌های اندازه‌گیری ۱۰
۶ اندازه‌گیری‌ها ۱۰
۶-۱ کلیات ۱۰
۶-۲ اندازه‌گیری در حین آزمون ۱۰
۶-۳ شناسایی تغییرات دائمی ۱۱
۷ تحلیل داده‌ها/ تفسیر نتایج ۱۱
۷-۱ ارائه نتایج ۱۱
۷-۲ ارزیابی معیارهای قبولی/ رد ۱۳
۷-۳ محاسبه MTTF (میانگین زمان تا خرابی) ۱۳
۸ گزارش آزمون ۱۳
پیوست الف (الزامی) آزمون‌های محیطی ۱۴
پیوست ب (الزامی) اطلاعات تکمیلی در مورد شرایط و روش‌های اجرائی آزمون ۱۵
کتاب‌نامه ۱۷

## پیش‌گفتار

استاندارد «فناوری نانو- نانوساخت- ارزیابی اطمینان‌پذیری- قسمت ۳-۱: ماده پایه گرافنی- پایداری: آزمون دما و رطوبت» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تهیه و تدوین شده، در یکصد و چهلمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۱۴۰۲/۱۱/۱۶ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ 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 شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم وخدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

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

IEC TS 62876-3-1: 2022, Nanomanufacturing– Reliability Assessment- Part 3-1: Graphene-based material - Stability: Temperature and humidity test

## مقدمه

گرافن، تک لایه‌ای از اتم‌های کربن است که در یک شبکه لانه زنبوری چیده شده‌اند، به‌دلیل رسانایی عالی، شفافیت و انعطاف‌پذیری ماده، پتانسیل بالایی برای کاربردهای فناوری نانو در آینده دارد. بسیاری از سازمان‌های تحقیقاتی و شرکت‌های صنعتی در حال توسعه فناوری‌های ساخت فیلم‌های گرافن روی بسترها، به‌عنوان پودرخشک یا گرافن در پراکنه‌های مایع برای کاربردهای مختلف هستند. بنابراین، نیاز به سامانه‌ای از آزمون‌های استانداردشده برای مشخصه‌های کلیدی کنترلی برای محک‌زدن مواد گرافن در اصلاحات فیزیکی و شیمیایی مختلف آن ضروری به‌نظر می‌رسد. نبود چنین سامانه‌ای روند توسعه را کند می‌کند و مانع موفقیت تجاری شرکت‌ها است. برای بهبود این وضعیت، کمیته IEC TC 113 درحال توسعه یک سامانه جامع از ویژگی‌های مواد (مجموعه IEC 62565-3-X) است که به‌طور کلی مشخصه‌های کلیدی کنترلی مربوط به کاربرد (KCCs)[1] و استانداردهای اندازه‌گیری مرتبط (مجموعه IEC TS 62607-6-X) را برای مواد گرافن ارائه می‌کند. این سامانه شامل گرافن، گرافن کم‌لایه و گرافن چندلایه، گرافن اکسید و سایر مواد مرتبط با گرافن است.

برای واجد شرایط بودن مواد گرافن پس از ساخت، علاوه بر KCCs، کسب اطلاعات در مورد پایداری طولانی مدت آن نیز مهم است. این استاندارد شرایط مجموعه‌ای از آزمون‌های تنش، برای واجد شرایط بودن مواد گرافن برای سطح قابل قبولی از اطمینان‌پذیری و دوام در رده عملکرد و محیط خدمات عملیاتی آن را تعریف می‌کند.

این آزمون‌ها با استفاده از نمونه‌هایی با لایه‌های مواد گرافن روی همان بستره مورداستفاده در محصول نهایی، انجام می‌شود. اگر لایه ماده گرافن در محصول نهایی بین مواد دیگر جاسازی می‌شود، نمونه‌های مورد آزمون نیز به همین ترتیب آماده می‌شوند. ایده اصلی این است که نمونه‌های مورد آزمونی را تهیه کنیم که نماینده‌ای برای کاربرد محصول هستند، به‌طوری‌که نتایج غربالگری اطمینان‌پذیری، امکان پیش‌بینی اطمینان‌پذیری لایه در محصول نهایی را فراهم کند. نتایج این آزمون‌ها به تعیین معیارهای پذیرش برای ماده گرافن از جمله فرآیند ساخت آن کمک می‌کند. این استاندارد به معیارهای کمّی اطمینان‌پذیری و پیش‌بینی‌های عمر محصول، که مستلزم آزمون‌های بیشتر براساس دانش سازوکارهای خرابی است، نمی‌پردازد.

اهداف این استاندارد عبارتند از:

- مشخص کردن الزامات غربالگری تنش اطمینان‌پذیری (RSS)[2] عمومی استاندارد برای محصولات نانوپدید الکتروتکنیکی با استفاده از گرافن و سایر مواد پایه گرافنی؛
- جهت‌دهی به تأمین‌کننده و کاربر نهایی در مورد تولید و خرید محصولات نانوپدید الکتروتکنیکی برای برآورده کردن و اطمینان‌پذیری استانداردهای کیفی‌سازی برای برخی از محیط‌های خدماتی مشخص؛

1- Key control characteristics
2- Reliability stress screening

- تهیه فهرستی از شرایط و آزمون‌های اطمینان‌پذیری کیفی‌سازی تنش؛

- ایجاد راهنمایی‌هایی برای انتخاب اندازه‌گیری‌های مناسب و معیارهای قبولی/ رد.

- ارائه ارجاعات مربوط؛ و

- تعیین حداقل الزامات گزارش‌دهی.

این استاندارد یک سند کلی است که می‌تواند برای تمامی اصلاحات مواد گرافن اعمال شود. حتی اگر این استاندارد روی مواد گرافن تمرکز کند، ممکن‌است یک نظام‌مندی هم‌ساختار برای سایر مواد دو بعدی قابل استفاده باشد. با این‌وجود، از آنجاکه انتظار می‌رود سازوکارهای خرابی به مواد وابسته باشند، مقایسه مستقیم مقادیر زمان تا خرابی توصیه نمی‌شود.

به‌این ترتیب، نتایج این آزمون غربالگری اطمینان‌پذیری، راهنمایی‌هایی برای بهینه‌سازی فرآیندهای ساخت مواد گرافن و استفاده از مواد گرافن در طراحی محصول را ارائه می‌دهد.

در برخی موارد، ممکن‌است لازم باشد که پیش از انجام آزمون‌ها، محفظه محیطی تخلیه شود تا به خلاء برسد تا KCCs ذاتی اندازه‌گیری شوند (بدون تأثیر سایر آلاینده‌های محیطی).

هدف این استاندارد، این است که با استانداردهای عملکرد تعریف شده در مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۹۷۵۸ سازگار باشد و در راستای آن‌ها به‌کار رود.

# فناوری نانو- نانوساخت- ارزیابی اطمینان‌پذیری-
# قسمت ۳-۱: ماده پایه گرافنی- پایداری: آزمون دما و رطوبت

## ۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ایجاد روشی استانداردشده برای تعیین:

- پایداری

فیلم‌های ماده پایه گرافنی با

- یک آزمون دما و رطوبت است.

این استاندارد یک روش‌شناسی کلی برای غربالگری تنش اطمینان‌پذیری (RSS) برای بررسی واجد شرایط بودن استفاده از مواد پایه گرافنی، در مرحله بعدی ارزش محصول خود ایجاد می‌کند. هدف این است که نمونه‌های مورد آزمون با سازوکارهای خرابی مشابه یا همان خرابی مواد پایه گرافنی در محصول نهایی آماده شوند.

- عوامل تنش انتخاب‌شده در این آزمون برای هدایت سازوکارهای خرابی عبارتند از دمای پایین، دمای بالا، تغییر دما و گرمای مرطوب با توجه به شدت آزمون، توالی آزمون، مقادیر نمونه و معیارهای پذیرش.
- روش‌اجرایی آزمون RSS تعریف‌شده در این استاندارد، از ارزیابی اطمینان‌پذیری در مرحله طراحی یک محصول با ارائه رهنمودهایی برای انتخاب روش‌های اندازه‌گیری مناسب و نحوه تعریف معیارهای خاص قبولی/ رد پشتیبانی می‌کند.
- روش‌شناسی توصیف‌شده جایگزین آزمون‌های اطمینان‌پذیری مرسوم در سطح محصول نهایی نمی‌شود و داده‌های اطمینان‌پذیرکامل که تخمین طول‌عمر محصول را میسر می‌سازد را ارائه نمی‌دهد. اگر نمونه‌ها در آزمون قبول شوند، طرح، مطابق با این استاندارد، واجدشرایط نامیده می‌شود.

## ۲ مراجع الزامی

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

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

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

**2-1** IEC 60068-2-1, Environmental testing- Part 2-1: Tests- Test A: Cold

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲-۱۳۰۷: سال ۱۳۸۹، آزمون‌های محیطی- قسمت ۲-۱: آزمون‌ها- آزمون A: سرما، با استفاده از استاندارد IEC 60068-2-1: 2007 تدوین شده‌است.

**2-2** IEC 60068-2-2, Environmental testing- Part 2-2: Tests- Test B: Dry heat

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۱۳۰۷: سال ۱۳۸۷، آزمون‌های محیطی- قسمت ۲-۲: آزمون‌ها- آزمون B: گرمای خشک، با استفاده از استاندارد IEC 60068-2-2: 2007 تدوین شده‌است.

**2-3** IEC 60068-2-14, Environmental testing- Part 2-14: Tests- Test N: Change of temperature

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران شماره ۱۴-۲-۱۳۰۷: سال ۱۳۹۵، آزمون‌های محیطی- قسمت ۲-۱۴: آزمون‌ها- آزمون N: تغییر دما، با استفاده از استاندارد IEC 60068-2-14: 2009 تدوین شده‌است.

**2-4** IEC 60068-2-78, Environmental testing- Part 2-78: Tests- Test Cab: Damp heat, steady state

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران شماره ۷۸-۲-۱۳۰۷: سال ۱۳۹۳، آزمون‌های محیطی- قسمت ۲-۷۸: آزمون‌ها- آزمون Cab: گرمای مرطوب، حالت پایدار، با استفاده از استاندارد IEC 60068-2-78: 2012 تدوین شده‌است.

## ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر کاربرد دارد[1].

### ۳-۱ اصطلاحات عمومی

#### ۳-۱-۱

**مشخصه کلیدی کنترلی**
**شاخص کلیدی عملکرد**

**Key control characteristic**
**KCC**

خاصیت مواد یا مشخصه محصول میانی که می‌تواند بر ایمنی یا انطباق با مقررات، برازش، کارکرد، عملکرد، کیفیت، اطمینان‌پذیری یا پردازش بعدی محصول نهایی تأثیر بگذارد.

---

۱- اصطلاحات و تعاریف به‌کاررفته در استانداردهای IEC و ISO در وبگاه‌های http://www.electropedia.org/ و http://www.iso.org/obp قابل‌دسترس است.

**یادآوری ۱-** اندازه‌گیری یک مشخصه کلیدی کنترلی در یک روش‌اجرایی اندازه‌گیری استانداردشده با دقت و صحت مشخص توصیف شده‌است.

**یادآوری ۲-** درصورتی‌که همبستگی نتایج به‌خوبی شناخته‌شده و مشخص باشد، می‌توان بیش از یک روش اندازه‌گیری را برای یک مشخصه کلیدی کنترلی تعریف کرد.

**۳-۱-۲**

**گرافن**

**لایه گرافن**

**گرافن یک‌لایه**

**گرافن تک‌لایه**

**graphene**
graphene layer
single- layer graphene
monolayer graphene

تک‌لایه‌ای از اتم‌های کربن که در آن هر اتم به سه اتم همسایه در یک ساختار لانه زنبوری متصل شده‌است.

**یادآوری ۱-** گرافن، واحد سازنده مهمی در بسیاری از نانو اشیاءکربنی است.

**یادآوری ۲-** از آن‌جایی‌که گرافن تک‌لایه است، گاهی برای متمایز شدن از گرافن دولایه (2LG) و گرافن کم‌لایه (FLG)[1]، گرافن تک‌لایه یا گرافن یک‌لایه به اختصار 1LG نامیده می‌شود.

**یادآوری ۳-** گرافن لبه‌هایی دارد و می‌تواند نقص‌ها و مرزهای دانه‌ای داشته باشد که در آنجا پیوندها از هم گسیخته می‌شود.

[منبع: زیربند ۳-۱-۲-۱، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱۳-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۷]

**۳-۱-۳**

**ماده پایه گرافنی**

**ماده گرافنی**

**graphene- based material**
**GBM**
**graphene material**

گروه‌بندی مواد دوبعدی بر پایه کربن که شامل یک یا چند گرافن، گرافن دولایه، گرافن کم‌لایه، نانوصفحه گرافن و تغییرات عامل‌دارشده آن‌ها و همچنین گرافن اکسید و گرافن اکسید کاهش‌یافته است.

**یادآوری ۱-** «مواد گرافنی» نام کوتاه‌شده برای مواد پایه گرافنی است.

## ۳-۲ اصطلاحات مربوط به اطمینان‌پذیری

**۳-۲-۱**

1- Few-layer graphene

**پایان عمر**

**end of life**

پایان عمر محصول مرحله‌ای از چرخه حیات است و زمانی آغاز می‌شود که آن محصول از مرحله استفاده موردنظر خارج شده باشد.

**یادآوری**- در چارچوب این استاندارد، «پایان عمر» زمانی فرامی‌رسد که خرابی مشاهده شود.

**۲-۲-۳**

**خرابی**

**failure**

از دست دادن توانایی عملکرد مورد نیاز است.

**یادآوری ۱**- خرابی یک مورد، رویدادی است که منجر به خطا (مطابق با IEV 192-04-01) در آن می‌شود.

**یادآوری ۲**- توصیف‌گرهایی[1] مانند فاجعه آمیز، بحرانی، عمده، جزئی، حاشیه‌ای و ناچیز، می‌توانند برای رده‌بندی خرابی‌ها براساس شدت عواقب، انتخاب و بسته به تعاریف معیارهای شدت در حوزه کاربرد استفاده شوند.

**یادآوری ۳**- کیفیت‌سنج‌هایی مانند استفاده نادرست، کارکرد نادرست و ضعف، می‌توانند برای رده‌بندی خرابی‌ها براساس علت خرابی استفاده شوند.

[منبع: زیربند 192-03-01، استاندارد IEC 60050-192: 2015 ]

**۳-۲-۳**

**معیار خرابی**

**failure criterion**

شرط از پیش تعریف‌شده برای پذیرش به‌عنوان شواهد قطعی خرابی است.

**یادآوری ۱**- در این استاندارد، معیار خرابی، تغییر از پیش تعریف‌شده یک مشخصه کلیدی کنترلی (KCC) است که در طول آزمون اطمینان‌پذیری تنش، غربالگری می‌شود.

**یادآوری ۲**- اگر بیش از یک KCC در طول آزمون مشاهده شود و هر یک از KCCs به معیار خرابی برسد، پایان‌عمر فرا می‌رسد.

[منبع: زیربند 192-03-03، استاندارد IEC 60050-192: 2015، تغییر یافته- اصطلاح KCC در توضیح معیار خرابی در این متن در یادآوری ۱ ادغام شده‌است. یادآوری ۲ اضافه شده است.]

**۴-۲-۳**

**درصد رواداری خرابی بهر**

**Lot tolerance percent defective**
**LTPD**

1- Qualifiers

درصد واحدهای معیوب که ٪ ۹۰ مواقع در طرح نمونه‌برداری رد می‌شود.

**یادآوری**- یک طرح نمونه‌برداری تکی برای خصیصه‌ها شامل یک نمونه با اندازه $n$ و یک عدد پذیرش $c$ است. این روش‌اجرایی به‌شرح زیر عمل می‌کند: از بهر، $n$ مورد را به‌طور تصادفی انتخاب کنید. اگر تعداد اقلام خراب در مجموعه نمونه کمتر از $c$ باشد، بهر پذیرفته می‌شود. در غیر این‌صورت، بهر رد است.

### ۳-۲-۵

### میانگین زمان تا خرابی

**mean time to failure**
**MTTF**

زمان مورد انتظار خرابی بر اثر تنش است.

**یادآوری ۱**- درمورد اقلام غیرقابل تعمیر با توزیع نمایی زمان‌های عملیاتی تا خرابی (یعنی نرخ خرابی ثابت)، MTTF از نظر عددی برابر با معکوس نرخ خرابی است. این موضوع، در مورد اقلام قابل تعمیر، درصورتی‌که پس از تعمیر بتوان آنها را «به‌خوبی نو» درنظر گرفت نیز صادق است.

**یادآوری ۲**- زمان عملیاتی زمان انباشته از اولین استفاده یا از تعمیر، تا خرابی‌است.

**یادآوری ۳**- برای تخمین MTTF از نتایج آزمون، MTTF به‌عنوان مقدار میانگین حسابی زمان‌های اندازه‌گیری‌شده تا خرابی محاسبه شده‌است. اگر همه نمونه‌ها خراب نشده‌باشند، ممکن‌است رفتار واحدهای باقیمانده به‌زمانی‌که نمونه مورد آزمون تحت معیار خرابی قرار می‌گیرد تعمیم داده شود.

[منبع: زیربند 192-05-11، استاندارد IEC 60050-192: 2015، تغییریافته- در تعریف، «تحت تنش» بعد از کلمه «خرابی» و یادآوری ۳ اضافه شده است.]

### ۳-۲-۶

### اطمینان‌پذیری

**reliability**

توانایی عملکرد بدون خرابی، برای یک بازه زمانی و تحت شرایط معین موردنیاز است.

**یادآوری ۱**- مدت بازه زمانی که ممکن است متناسب با هر واحد درنظر گرفته شود، به‌عنوان مثال زمان تقویمی، چرخه‌های عملیاتی، فواصل اجرا و غیره. واحدها باید همیشه به‌وضوح اعلام شوند.

**یادآوری ۲**- شرایط داده‌شده شامل جنبه‌هایی‌که بر اطمینان‌پذیری تأثیر می‌گذارد، مانند: نحوه عملکرد، سطوح تنش، شرایط محیطی و تعمیر و نگهداری است.

[منبع: زیربند 192-01-24، استاندارد IEC 60050-192: 2015، تغییریافته- یادآوری ۳ حذف شده است.]

### ۳-۲-۷

### غربالگری اطمینان‌پذیری تنش

**reliability stress screening**

**RSS**

فرآیندی برای آشکارسازی عیوب با اعمال تنش‌های محیطی و/ یا عملیاتی برای پدیدارکردن آن‌ها به خرابی-های قابل آشکارسازی است.

**یادآوری** – در محتوای این استاندارد، عیوب مربوط به تغییرات در مشخصه‌های کلیدی کنترلی لایه‌های گرافن برای کاربردی معین است.

[منبع: زیربند 192-09-19 از استاندارد IEC 60050-192: 2015]

**۸-۲-۳**

**نمونه تحت آزمون**

**sample under test**
**SUT**

محصول ساخته‌شده یا بخش به‌وضوح مشخص‌شده محصول تحت آزمون است.

**۹-۲-۳**

**زمان تا خرابی**

**time to failure**

**TTF**

زمان تجمیع شده از اولین اعمال تنش تا خرابی است.

**یادآوری ۱**- عملکرد نمونه تحت آزمون پیش و پس از اعمال تنش آزمون می‌شود.

**یادآوری ۲**- نمونه تحت آزمون نیازی به کارکرد تحت آزمون تنش ندارد. با این‌وجود، در گزارش آزمون ذکر شده است که گزارش شود که آیا نمونه تحت آزمون عمل می‌کند یا خیر.

[منبع: زیربند 192-05-01، استاندارد IEC 60050-192: 2015، تغییر یافته- در بند اصطلاحات و تعاریف، «زمان عملکرد» با «زمان» جایگزین شده است. در این تعریف، «تجمیع شده از اولین استفاده یا تعمیر» با «انباشته‌شده از اولین اعمال تنش» جایگزین شده است تا تعریف را برای دامنه کاربرد مناسب‌تر نشان دهد. یادآوری ۱ جایگزین شده و یادآوری ۲ اضافه شده است تا هدف و دامنه کاربرد و محدوده خاصی درنظر گرفته شود.]

## ۴ کلیات

### ۴-۱ نمونه تحت آزمون

نمونه تحت آزمون باید به‌وضوح تعریف شود. در محتوای این استاندارد همیشه بستره‌ای پوشیده شده با لایه‌ای از یک ماده گرافن وجود دارد. مثال‌های معمولی برای بستره‌ها به‌شرح زیر است:

- سیلیکا بر سیلیکون ($SiO_2$ روی Si) - مقادیر معمول ضخامت لایه $SiO_2$ ، ۹۰ nm و ۳۰۰ nm است؛
- SiC (۰۰۰۱)؛
- مس (Cu)؛
- پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)؛
- کوارتز.

لایه ماده گرافن ممکن‌است برای مثال، شامل موارد زیر باشد:

**الف**- گرافن،

**ب**- گرافن کم‌لایه، یا

**پ**- گرافن اکسید،

که ممکن‌است

**۱**- روی بستره رشد کند،

**۲**- از بستره دیگری به بستره منتقل شود، یا

**۳**- روی بستره به‌صورت جوهری چاپ شود.

نمونه‌های تحت آزمون باید به‌طور تصادفی از جمعیت بزرگ‌تری از نمونه‌ها انتخاب شوند به‌طوری‌که آن‌ها نماینده محصول باشند.

گرچه پیش‌بینی می‌شود که یک مجموعه همگن از نمونه‌های تحت آزمون برای همه آزمون‌ها در یک برنامه غربالگری اطمینان‌پذیری تنش استفاده شود، مشخص شده‌است که این‌کار همیشه ممکن یا عملی نیست. در این‌صورت، باید شرح خاص نمونه‌های مورداستفاده در هر آزمون بیان شود. توجیه قابل مقایسه بودن نمونه‌ها باید مستند باشد.

علاوه براین، باید سطح بلوغ تولید هر نوع نمونه تحت آزمون تعریف شود. به‌عنوان مثال، محصول با تمام مستندات در حال تولید یا محصول در حال توسعه است و با پشتیبانی مهندسی قابل‌توجهی ساخته شده است.

### ۲-۴ توصیف نمونه

نمونه‌های تحت آزمون باید به‌گونه‌ای توصیف شود که تمام اطلاعات مربوط به آماده‌سازی نمونه مشخص باشد، به‌ویژه آن‌دسته از آماده‌سازی‌هایی که شدت شرایط آزمون را باتوجه به سازوکارهای خرابی موردانتظار

کاهش می‌دهند. لایه‌های پوششی یا محفظه‌هایی که فقط برای آزمون اعمال شده و بخشی از طراحی محصول محسوب نمی‌شوند، مجاز نیستند زیرا نتایج آزمون را مخدوش می‌کنند.

ضخامت بستره، هر نوع لایه‌های بافر، لایه‌های پوششی و باقیمانده‌های به‌جای‌مانده از روش ساخت لایه می‌تواند تأثیر زیادی بر نتایج غربالگری اطمینان‌پذیری تنش داشته باشد. بنابراین، این اطلاعات باید در گزارش آزمون ارائه شود، به‌عنوان مثال همانند نقشه‌ای که توالی لایه بستره را با ابعاد و روش ساخت نشان دهد.

## ۵ غربالگری اطمینان‌پذیری تنش

### ۵-۱ کلیات

طراحی آزمون‌ها در این استاندارد مبتنی بر مفروضاتی در مورد ساز وکارهای خرابی است که به وسیله سطح آزمون تنش (شدت) هدایت می‌شوند. به‌منظور واجدشرایط بودن و گواهی اطمینان‌پذیری لایه‌های گرافن روی یک بستره، لازم است سازوکارهای خرابی بالقوه شناسایی شوند و بنابراین با استفاده از تحلیل حالت و اثر خرابی (FMEA) آن فرضیات پشتیبانی/تأیید شوند. این مورد را می‌توان حداقل با تحلیل نمونه‌های خراب‌شده در طی توسعه طراحی محصول نهایی انجام داد. همچنین می‌توان و باید به‌طور پیشگیرانه، براساس اصول کلی فیزیک و شیمی، دانش تثبیت‌شده درباره سازوکارهای خرابی مواد برای نوع ماده یا دستگاه مورد آزمون، و/یا تجربه با مواد یا افزاره‌های مشابه را انجام داد. گزارش آزمون باید حاوی این توجیه باشد که سازوکارهای خرابی و حالت‌های خرابی با استفاده عادی از محصول نهایی قابل درک و مرتبط هستند.

### ۵-۲ معیارهای پایان عمر

معیارهای پایان عمر برای نمونه‌های تحت آزمون باید براساس تغییرات مشخصه‌های کلیدی کنترلی تعریف شود. مشخصه‌های کلیدی کنترلی منتخب به برنامه بستگی دارد. اگر هر یک از مشخصه‌های کلیدی کنترلی منتخب از محدوده مجاز خود که با معیار خرابی آن تعریف شده‌است، خارج شود، نمونه به پایان عمر خود می‌رسد.

**مثال**- در مواردی‌که مقاومت الکتریکی مرتبط با کاربرد باشد، مقاومت ورق KCC به‌عنوان یک مشخصه کلیدی کنترلی اجباری درنظر گرفته می‌شود. درصورت عدم استفاده از مقاومت ورق، دلایل آن ذکر شود.

### ۵-۳ معیار پذیرش

تعداد خرابی‌ها در یک آزمون باید برابر یا کمتر از تعداد مجاز با مقدار LTPD توافق شده براساس جدول ب-۲ باشد. برای کیفیت‌سنجی محصول اولیه همانطور که در این استاندارد توضیح داده شده است، مقدار LTPD برابر با ٪ ۲۰ کافی‌است. این به‌معنی صفر نمونه خراب از ۱۱ نمونه آزمون‌شده است. اگر این معیار برآورده شود، تلفیق خاص گرافن و بستره را می‌توان طبق این استاندارد، واجدشرایط نامید.

**یادآوری** – جدول ب-۲ یک نمای کلی از تعداد خرابی‌های مجاز از طریق تعداد نمونه‌های آزمون‌شده بسته به مقدار LTPD انتخابی را ارائه می‌دهد.

### ۵-۴ آزمون‌های تنش محیطی

کمینه مجموعه آزمون‌ها در پیوست **الف** تعریف شده‌است. ممکن‌است بسته به کاربرد، آزمون‌های دیگری افزوده شود. برای هر آزمون، دو مقدار برای شدت آزمون داده شده‌است.

- اجباری: این شرایط برای تصمیم‌گیری قبول/ رد در آزمون است.

- اختیاری، فقط جهت اطلاع: پیشنهاد می‌شود درصورتی‌که نمونه‌ها در طول آزمون از نظر زمان آزمون و چرخه‌های دما خراب نشوند، مدت زمان آزمون را افزایش دهید تا اطلاعات اضافی جمع‌آوری شود. نمونه-های ناموفق اطلاعات مهم زیادی درخصوص حالت‌های خرابی و سازوکارهای خرابی مرتبط را ارائه می-دهند. خرابی‌ها باید برای بهبود محصول تحلیل شوند. این نتایج بخشی از گزارش آزمون نیست.

### ۵-۵ توالی

آزمون‌های فهرست‌شده در پیوست **الف** باید به‌صورت موازی اجرا شوند، زیرا تنش اعمال‌شده در طول آزمون می‌تواند باعث آسیب سهوی به نمونه شود، حتی اگر نمونه خراب نشود. این آسیب می‌تواند منجر به خرابی-های زودرس در آزمون بعدی شود. از این‌جهت، تفسیر آزمون‌های متوالی دشوارتر است، و ممکن‌است نتایج قابل مقایسه نباشند. با این‌وجود، اگر به هر دلیلی فقط روش آزمون متوالی عملی باشد، باید در گزارش آزمون به این نکته توجه شود که آزمون‌ها متوالی بوده‌اند و ممکن‌است نتیجه، به‌دلیل آزمون متوالی، یک خرابی غیرنماینده باشد. یک دلیل خوب برای آزمون متوالی، هزینه آزمون است. اگر آزمون‌ها با نمونه‌های زیاد به‌صورت موازی انجام شود، هزینه آزمون به‌سرعت افزایش می‌یابد. بنابراین برای نتایج اولیه، عدم‌قطعیت حاصل از آزمون متوالی می‌تواند قابل‌پذیرش باشد.

### ۵-۶ شدت

شدت و مدت متغیرها در آزمون‌ها باید به‌وضوح تعریف شود. برای اهداف این استاندارد، مقادیر جدول الف-۱ اعمال می‌شود. پیوست **ب** اطلاعات تکمیلی در مورد شرایط آزمون در خصوص انتخاب دما و رطوبت نسبی (بند ب-۱) و تعداد نمونه (بند ب-۲) برای دستیابی به LTPD مورد نظر را ارائه می‌دهد.

### ۵-۷ روش‌های اندازه‌گیری

روش اندازه‌گیری برای ارزشیابی تغییرات مشخصه‌های کلیدی کنترلی باید برای هر غربالگری اطمینان‌پذیری تنش به‌طور واضح شرح داده شود. اکثر اندازه‌گیری‌ها در مجموعه استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۷۵۸ تعریف شده‌اند. در مواردی‌که این امکان وجود نداشته باشد، ممکن‌است روش‌های آزمون دیگری تعریف شود. اگر از روش آزمون قبلی که شرح داده‌نشده، استفاده شود، باید روش آزمون و جزئیات مورداستفاده از نظر فنی، توجیه شده و در RSS گنجانده شود.

**مثال**- اگر رسانایی صفحه یا مقاومت صفحه یک مشخصه کلیدی کنترلی لازم فرض شود، ممکن است یکی از روش‌های زیر به‌کار رود:

- IEC TS 62607-6-4, Nanomanufacturing – Key control characteristics – Part 6-4: Graphene – Surface conductance measurement using resonant cavity

- IEC TS 62607-6-9, Nanomanufacturing – Key control characteristics – Part 6-9 : Graphenebased material – Sheet resistance: Eddy current method

- IEC TS 62607-6-10, Nanomanufacturing – Key control characteristics – Part 6-10: Graphenebased material – Sheet resistance: Terahertz time-domain spectroscopy

اندازه‌گیری مقاومت صفحه با روش چهار پروبی موضوع قسمت ۶-۸ خواهد بود.

تصمیم‌گیری اینکه کدام روش بهترین است براساس یک تحلیل سازوکارهای خرابی از قبیل نتایج FMEA انجام می‌شود.

## ۶ اندازه‌گیری‌ها

### ۶-۱ کلیات

اندازه‌گیری‌های مشخصه‌های کلیدی کنترلی باید طبق روش‌های اجرایی تشریح‌شده در استاندارد اندازه‌گیری مربوط انجام شود.

### ۶-۲ اندازه‌گیری حین آزمون

مشخصه‌های کلیدی کنترلی که به‌عنوان شاخص‌های قبولی/ رد انتخاب شده‌اند باید در طول آزمون پایش شوند. اندازه‌گیری پیش و پس از آزمون اجباری است، اما پایش مداوم در طول آزمون، حتی برای یک یا تعداد کمی از مشخصه‌های کلیدی کنترلی توصیه می‌شود. اگر برای اندازه‌گیری‌های میانی نیاز باشد که هر ازچندگاهی نمونه‌ها از محفظه اقلیمی خارج شوند، باید توجیه شود که این‌کار بر نتایج آزمون تأثیری ندارد. نتایج آزمون باید نسبت به زمان آزمون رسم شوند تا زمان خرابی برای هر نمونه مشخص شود.

### ۳-۶ شناسایی تغییرات دائمی

واضح است که مشخصه‌های کلیدی کنترلی می‌توانند به‌طور موقت حین آزمون تغییر کنند. تغییر مقاومت ورق بر اثر رطوبت از این قبیل است. بنابراین، توصیه شده‌است یک فرآیند شرطی‌سازی تعریف شود که لازم است پیش از هر اندازه‌گیری اجرا شود. این موضوع مستلزم حذف نمونه‌های تحت آزمون از محفظه اقلیمی برای هر اندازه‌گیری است. این روش‌اجرایی باید در نتایج آزمون گزارش شود.

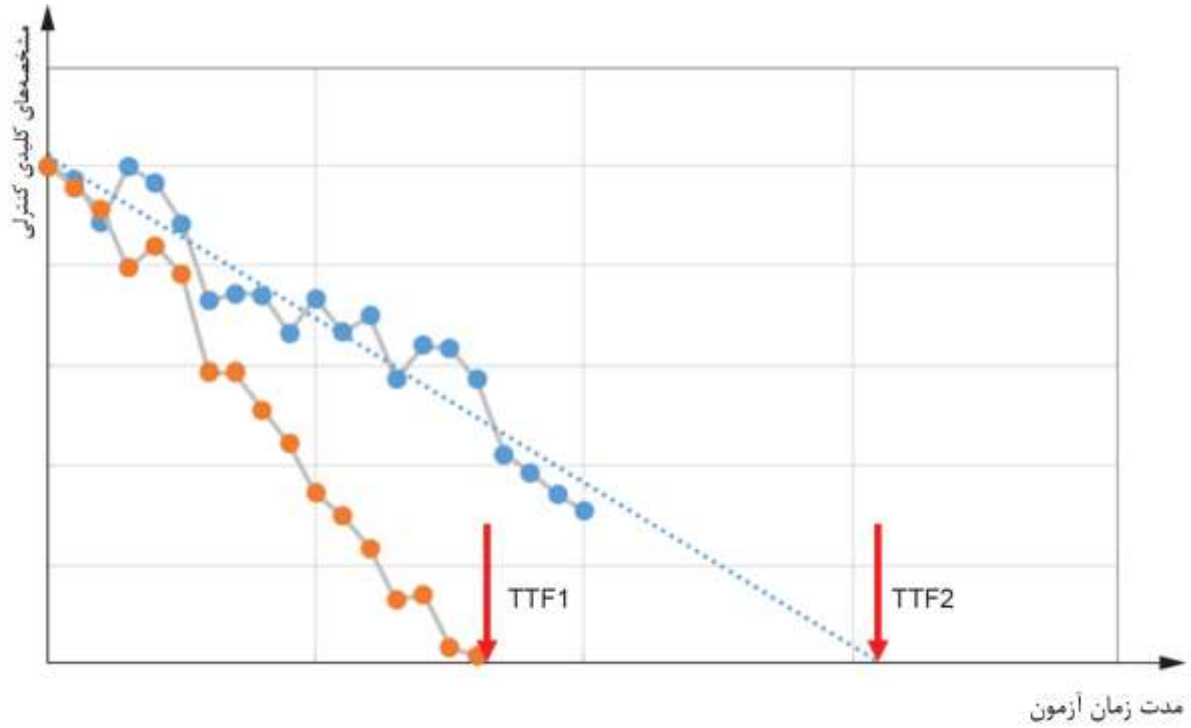
## ۷ تحلیل داده‌ها/ تفسیر نتایج

### ۷-۱ ارائه نتایج

نتایج اندازه‌گیری مشخصه‌های کلیدی کنترلی منتخب باید براساس مدت زمان آزمون برای هر یک از نمونه-های تحت آزمون ترسیم شود. این نمودارها بخشی از گزارش آزمون هستند. اگر معیار خرابی در طول غربالگری اطمینان‌پذیری تنش به‌دست آید، این نقطه از زمان TTF (زمان تا خرابی) نامیده می‌شود. اگر نمونه تحت آزمون سالم باقی بماند، ممکن است مقادیر KCC اندازه‌گیری‌شده برای تخمین TTF بعدی برون‌یابی شوند. شکل ۱ مثال‌هایی برای هر دو مورد را نشان می‌دهد: TTF1 می‌تواند به‌طورمستقیم از اندازه‌گیری‌ها گرفته شود زیرا نمونه تحت آزمون در طول آزمون خراب می‌شود. در مورد TTF2، این‌کار ممکن نیست زیرا نمونه تحت آزمون پس از پایان آزمون همچنان کار می‌کند. بنابراین، منحنی اندازه‌گیری باید برون‌یابی شود. روش برون‌یابی باید در گزارش آزمون توضیح داده شود.

توجه شود که مقاومت فیلم‌های گرافنی مانند CVD رشد داده‌شده و روی SiC (۰۰۰۱) را می‌توان چندین‌بار با استفاده از بازپخت[1] در خلاء بازیابی کرد.

1- Annealing




**شکل ۱- تعیین TTF با خواندن مستقیم از داده‌های تجربی یا برون‌یابی (مثال دلخواه)**

مدت زمان آزمون، زمانی واقعی است که در نمونه تحت آزمون تحت غربالگری آزمون اطمینان‌پذیری قرار می‌گیرد.

پس از مرتب‌کردن $N$ تعداد نمونه‌های تحت آزمون غربال‌شده براساس TTFs آنها، باید نتایج همه شرایط آزمون در یک جدول ارائه شود، به‌عنوان مثال و برای ارزشیابی بیشتر، به جدول ۱ مراجعه کنید. این جدول قسمتی از گزارش آزمون است.

**جدول- ۱- زمان‌های خرابی (TTF) برای افزاره‌ها در دو شرط آزمون عمر**

| تعداد خرابی | شرط RH ٪ ۸۵ / ° C ۴۵ | شرط RH ٪ ۸۵ / ° C ۸۵ |
|---|---|---|
| | TTF [h] | TTF [h] |
| ۱ | ۱۷۰۰ | ۸۵۰ |
| ۲ | ۱۹۰۰ | ۱۱۰۰ |
| ۳ | هنوز مشخص نیست | ۱۳۰۰ |
| ... | | |
| *N-1* | هنوز مشخص نیست | ۱۹۵۰ |
| *N* | هنوز مشخص نیست | هنوز مشخص نیست |

### ۷-۲ ارزشیابی معیارهای قبولی/ رد

اگر تعداد نمونه‌های تحت آزمون خراب حین زمان آزمون مورد نیاز (جدول الف-۱) کمتر از تعداد LTPD فهرست‌شده در جدول ب-۲ (برای مثال LTPD ٪ ۲۰: صفر خرابی در هر ۱۱ عدد نمونه‌های تحت آزمون یا یک خرابی در هر ۱۸ عدد نمونه‌های تحت آزمون) باشد، محصول، یعنی ترکیب بستره و لایه گرافن، در آزمون قبول شده است. خرابی‌هایی که پس از RSS استاندارد در زمان غربالگری اختیاری طولانی‌تر اتفاق می‌افتد، در نظر گرفته نخواهند شد.

### ۷-۳ محاسبه MTTF (میانگین زمان تا خرابی)

برای همه شرایط آزمون، میانگین زمان تا خرابی باید به‌عنوان مقدار متوسط حسابی ساده TTFs مشاهده-شده محاسبه شود. حتی اگر توصیه شود آزمون تا زمان خراب‌شدن همه نمونه‌های تحت آزمون ادامه یابد، چنانچه TTFs بسیار طولانی باشند این موضوع ممکن‌است عملی نباشد. در این موارد، ممکن‌است بهترین حدس برون‌یابی رفتار نمونه تحت آزمون نسبت به خرابی، راه مناسبی برای تخمین TTF برای نمونه‌های تحت آزمون باقیمانده باشد.

**یادآوری**- اگر ساز و کار خرابی و حالت خرابی به‌طور دقیق مشخص نباشد، ممکن‌است برون‌یابی به TTF دشوار شود. در بیشتر موارد یک راهبرد برون‌یابی خطی مطلوب است. به‌طور دقیق، بهترین راه این‌است که تا زمانی‌که همه نمونه‌های تحت آزمون خراب نشده‌اند، آزمون انجام شود. با این‌وجود همیشه موازنه‌ای بین هزینه آزمون و کیفیت نتایج وجود دارد. این یک تجربه عملی است که مدت زمان آزمونی که منجر به خرابی ٪ ۸۰ از نمونه‌های تحت آزمون می‌شود، کافی‌است.

## ۸ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید حاوی اطلاعات زیر باشد:

- شرح کامل نمونه‌های تحت آزمون؛
- طرحی که ساختار نمونه، شامل بستره، توالی لایه‌ها در بالای بستره و ضخامت آنها را نشان می‌دهد؛
- شرح آماده‌سازی نمونه؛
- توالی آزمون‌ها برای هر گروه از نمونه‌های تحت آزمون؛
- جدولی با عناوینی برای نام آزمون، مدت زمان و شدت آزمون، تعداد افزاره‌های آزمون، تعداد افزاره‌هایی که در طول نتایج آزمون خراب شده‌اند؛
- مشخصه‌های کلیدی کنترلی و روش آزمون برای تائید معیارهای قبولی/ رد؛
- شرح و توجیهی برای همه اندازه‌گیری‌های گزارش‌شده، شامل نمودارهای نتایج اندازه‌گیری KCC حین آزمون؛
- شرح و توجیهی برای همه قبولی‌ها/ ردی‌های گزارش‌شده ازجمله جدول TTF.

# پیوست الف
# (الزامی)
# آزمون‌های محیطی

**جدول الف-۱- آزمون‌ها و شدت‌های آن‌ها**

| نام آزمون | الزامات | LTPD [%] | تعداد | # خراب | مرجع |
|---|---|---|---|---|---|
| انبارش در دمای پایین- سرد | الزامی:<br>دما: ۴۰ °C- ، رطوبت کنترل‌نشده<br>طول زمان: ۵۰۰ h | ۲۰ | ۱۱ | ۰ | IEC 60068-2-1 |
| | اختیاری، فقط جهت اطلاع:<br>تمدید مدت زمان تا ۲۰۰۰ h یا تا خرابی | | | | |
| انبارش در دمای بالا- گرمای خشک | الزامی:<br>دما ۸۵ °C در RH ٪ ۴۰><br>طول زمان: ۵۰۰ h | ۲۰ | ۱۱ | ۰ | IEC 60068-2-14 |
| | اختیاری، فقط جهت اطلاع:<br>تمدید طول زمان تا ۲۰۰۰ h یا تا خرابی | | | | |
| تغییر دما | الزامی:<br>چرخه دمایی ۴۰ °C- تا ۸۵ °C + ، زمان ماندن در نهایت<br>۱ h ، با شیب ۱ °C /min، رطوبت کنترل‌نشده<br>تعداد چرخه‌ها: ۵۰۰ | ۲۰ | ۱۱ | ۰ | IEC 60068-2-2 |
| | اختیاری، فقط جهت اطلاع:<br>تمدید طول زمان تا ۲۰۰۰ h یا تا خرابی | | | | |
| حرارت مرطوب، حالت پایا | الزامی:<br>دما/ رطوبت ۸۵ °C/ ۸۵ RH ٪<br>طول زمان: ۵۰۰ ساعت | ۲۰ | ۱۱ | ۰ | IEC 60068-2-78 |
| | اختیاری، فقط جهت اطلاع:<br>تمدید مدت زمان تا ۲۰۰۰ h یا تا خرابی | | | | |

# پیوست ب
# (الزامی)
# اطلاعات تکمیلی در مورد شرایط و روش‌های اجرائی آزمون

## ب-۱ زمینه آزمون برای نشان‌دادن عوامل شتاب

عموماً فرض بر این‌است که نانومواد و زیرمجموعه‌های نانو می‌توانند ساز و کارهای تخریب ناشی از دما و رطوبت داشته باشند. حتی اگر جزئیات در این مقطع زمانی مشخص نباشد، به‌نظر می‌رسد که فرضیات ساده مانند عامل‌های شتاب نوع آرنیوس[1] یا سایر مدل‌ها عملی باشد. هدف این استاندارد ارائه راهنماهایی در مورد ساز و کارهای تخریب نیست، اما پیشنهاد مقادیر توصیه شده دما و رطوبت برای کاهش تنوع انتخاب‌های ممکن، مناسب به‌نظر می‌رسد. این به مقایسه نتایج گرفته شده در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی مختلف و مقایسه اصلاحات مواد و همچنین درک ساز و کارهای خرابی کمک می‌کند.

**جدول ب-۱- زمینه آزمون برای رابطه بین دما و رطوبت**

| رطوبت مطلق $[g/m^3]$ | رطوبت نسبی [%] | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | دما [°C] | | | | | | | | | |
| | ۲۵ | ۴۰ | ۴۵ | ۵۵ | ۶۵ | ۷۵ | ۸۵ | ۹۵ | ۱۱۰ | ۱۲۵ |
| ۱۹٫۵ | ۸۵ | ۳۸ | ۳۰ | ۱۹ | ۱۲ | ۸ | ۶ | ۴ | ۲ | ۲ |
| ۴۳٫۵ | sat. | ۸۵ | ۶۷ | ۴۲ | ۲۷ | ۱۸ | ۱۲ | ۹ | ۵ | ۳ |
| ۵۵٫۵ | – | sat. | ۸۵* | ۵۳ | ۳۴ | ۲۳ | ۱۶* | ۱۱ | ۷ | ۴ |
| ۸۸٫۰ | – | – | sat. | ۸۵ | ۵۵ | ۳۷ | ۲۵ | ۱۸ | ۱۱ | ۷ |
| ۱۳۶٫۰ | – | – | – | sat. | ۸۵ | ۵۷ | ۳۹ | ۲۷ | ۱۷ | ۱۱ |
| ۲۰۳٫۰ | – | – | – | – | sat. | ۸۵ | ۵۸ | ۴۱ | ۲۵ | ۱۶ |
| ۲۹۶٫۰ | – | – | – | – | – | sat. | ۸۵* | ۶۰ | ۳۷ | ۲۳ |
| ۴۲۱٫۰ | – | – | – | – | – | – | sat. | ۸۵ | ۵۲ | ۳۳ |
| ۵۸۵٫۰ | – | – | – | – | – | – | – | sat. | ۸۵ | ۴۶ |
| ۱۰۷۰٫۰ | – | – | – | – | – | – | – | – | sat. | ۸۵ |

**یادآوری**- sat. (saturated) به‌معنای اشباع شده‌است.

1- Arrhenius

به‌منظور تعریف اولویت‌ها در مورد شرایط آزمون، شرایط زیر باید برای صحه‌گذاری مدل‌های شتاب جایگزین {که با (*) در جدول ب-۱ مشخص شده‌اند، استفاده شود}:

- حرارت مرطوب، حالت پایدار:

- حرارت مرطوب، حالت پایدار: ۴۵ °C بر RH ٪ ۸۵

- حرارت خشک: ۸۵ °C (که اساساً مشابه حرارت مرطوب، حالت پایا است): ۸۵ °C بر RH ٪ ۱۶

کمینه اندازه نمونه باید باتوجه به طرح نمونه‌برداری ٪ ۲۰ = LTPD تعیین شود.

## ب-۲ روش‌اجرائی انتخاب نمونه‌های مورد آزمون

نمونه‌های مورد آزمون باید از نظر آماری به‌طور مستقل از مرحله ساخت انتخاب شوند. جدول ب-۲ تعداد نمونه‌های آزمون موردنیاز برای دستیابی به مقدار LTPD مورد نظر را ارائه می‌دهد. برای هدف این استاندارد، LTPD به مقدار ٪ ۲۰ کافی به‌نظر می‌رسد. با این‌وجود، مقدار LTPD باید در گزارش آزمون همراه با تعداد آزمون‌شده‌ها و ردشده‌ها مشخص شود.

**یادآوری**: اگر ۱۱ نمونه بدون خرابی یا ۱۸ نمونه با یک خرابی آزمون شوند، LTPD به‌مقدار ٪ ۲۰ ممکن می‌شود.

**جدول ب-۲- تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای به‌دست آوردن LTPD مشخص**

| تعداد قابل پذیرش، $c$ | کمینه اندازه نمونه | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | LTPD (%) | | | | | | | | | |
| | ۵۰ | ۳۰ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۷ | ۵ | ۳ | ۲ | ۱/۵ |
| ۰ | ۶ | ۸ | ۱۱ | ۱۵ | ۲۲ | ۳۲ | ۴۵ | ۷۶ | ۱۱۶ | ۱۵۳ |
| ۱ | ۸ | ۱۳ | ۱۸ | ۲۵ | ۳۸ | ۵۵ | ۷۷ | ۱۲۹ | ۱۹۵ | ۲۵۸ |
| ۲ | ۱۱ | ۱۸ | ۲۵ | ۳۴ | ۵۲ | ۷۵ | ۱۰۵ | ۱۷۶ | ۲۶۶ | ۳۵۴ |
| ۳ | ۱۳ | ۲۲ | ۳۲ | ۴۳ | ۶۵ | ۹۴ | ۱۳۲ | ۲۲۱ | ۳۳۳ | ۴۴۴ |
| ۴ | ۱۶ | ۲۷ | ۳۸ | ۵۲ | ۷۸ | ۱۱۳ | ۱۵۸ | ۲۶۵ | ۳۹۸ | ۵۳۱ |
| ۵ | ۱۹ | ۳۱ | ۴۵ | ۶۰ | ۹۱ | ۱۳۱ | ۱۸۴ | ۳۰۸ | ۴۶۲ | ۶۱۷ |
| ۶ | ۲۱ | ۳۵ | ۵۱ | ۶۸ | ۱۰۴ | ۱۴۹ | ۲۰۹ | ۳۴۹ | ۵۲۸ | ۷۰۰ |
| ۷ | ۲۴ | ۳۹ | ۵۷ | ۷۷ | ۱۱۶ | ۱۶۶ | ۲۳۴ | ۳۹۰ | ۵۸۹ | ۷۸۳ |
| ۸ | ۲۶ | ۴۳ | ۶۳ | ۸۵ | ۱۲۶ | ۱۸۴ | ۲۵۸ | ۴۳۱ | ۶۴۸ | ۸۶۴ |
| ۹ | ۲۸ | ۴۷ | ۶۹ | ۹۳ | ۱۴۰ | ۲۰۱ | ۲۸۲ | ۴۷۱ | ۷۰۹ | ۹۴۵ |
| ۱۰ | ۳۱ | ۵۱ | ۷۵ | ۱۰۰ | ۱۵۲ | ۲۱۸ | ۳۰۶ | ۵۱۱ | ۷۷۰ | ۱۰۲۵ |

## کتاب‌نامه

[1] IEC TS 62607-6-4, Nanomanufacturing – Key control characteristics – Part 6-4: Graphene – Surface conductance measurement using resonant cavity

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران شماره ۴-۶-۱۹۷۵۸: سال ۱۳۹۶: فناوری نانو- نانوساخت- مشخصات کنترلی کلیدی- قسمت ۶-۴: گرافن- اندازه‌گیری رسانایی سطحی با استفاده از روزنانس حفره، با استفاده از استاندارد IEC TS 62607-6-4: 2016 تدوین شده‌است.

[2] IEC TS 62607-6-9, Nanomanufacturing – Key control characteristics – Part 6-9: Graphenebased material – Sheet resistance: Eddy current method

[3] IEC TS 62607-6-10, Nanomanufacturing – Key control characteristics – Part 6-10: Graphenebased material – Sheet resistance: Terahertz time-domain spectroscopy

[4] ISO/TS 80004-3, Nanotechnologies – Vocabulary – Part 3: Carbon nano-objects

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۳-۸۰۰۰۴: سال ۱۴۰۲: فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت ۳: نانواشیاء کربنی، با استفاده از استاندارد ISO/TS 80004-3: 2020 تدوین شده‌است.

[5] ISO/TS 80004-13, Nanotechnologies – Vocabulary – Part 13: Graphene and related two-dimensional materials

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱۳-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۷: فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت۱۳: گرافن و مواد دوبعدی مرتبط، با استفاده از استاندارد ISO/TS 80004-13: 2017 تدوین شده‌است.