



سیستم مدیریت ایزو
www.isomanagement.ir

تماس تلفنی جهت دریافت مشاوره:

۱. مشاور دفتر تهران (آقای محسن ممیز)

☎ ۰۹۱۲ ۹۶۳ ۹۳۳۶

۲. مشاور دفتر اصفهان (سرکار خانم لیلا ممیز)

☎ ۰۹۱۳ ۳۲۲ ۸۲۵۹

مجموعه سیستم مدیریت ایزو با هدف بهبود مستمر عملکرد خود و افزایش رضایت مشتریان سعی بر آن داشته، کلیه استانداردهای ملی و بین المللی را در فضای مجازی نشر داده و اطلاع رسانی کند، که تمام مردم ایران از حقوق اولیه شهروندی خود آگاهی لازم را کسب نمایند و از طرف دیگر کلیه مراکز و کارخانه جات بتوانند به راحتی به استانداردهای مورد نیاز دسترسی داشته باشند.

این موسسه اعلام می دارد در کلیه گرایشهای سیستم های بین المللی ISO پیشگام بوده و کلیه مشاوره های ایزو به صورت رایگان و صدور گواهینامه ها تحت اعتبارات بین المللی سازمان جهانی IAF و تامین صلاحیت ایران می باشد.

هم اکنون سیستم خود را با معیارهای جهانی سازگار کنید...





جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۲۷۸۷-۶

چاپ اول

۱۳۹۶

INSO
12787-3
1st.Edition
2018

Identical with
ISO 22007-6:
2014

پلاستیک‌ها - تعیین هدایت حرارتی و
نفوذ حرارتی -
قسمت ۶: روش مقایسه‌ای برای هدایت -
های حرارتی پایین با استفاده از روش
دمای مدوله شده

**Plastics- Determination of thermal
conductivity and thermal diffusivity-
Part 6: Comparative method for low
thermal conductivities using a
temperature-modulation technique**

ICS: 83.080.01

استاندارد ملی ایران شماره ۶-۱۲۷۸۷ (چاپ اول): سال ۱۳۹۶

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران-ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج-ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: <http://www.isiri.org>

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.org.ir

Website: <http://www.isiri.org>

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 بهمن ماه 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 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 رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را 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 for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«پلاستیک‌ها - تعیین هدایت حرارتی و نفوذ حرارتی - قسمت ۶: روش مقایسه‌ای برای هدایت‌های حرارتی پایین با استفاده از روش دمای مدوله شده»

سمت و/یا محل اشتغال:

عضو هیأت علمی پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران

رئیس:

باغبان صالحی، مهسا
(دکتری مهندسی شیمی)

دبیر:

کارشناس شرکت تعاونی معیار آزمایش لیان
رجائی، الهام
(کارشناسی ارشد شیمی)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

کارشناس پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران
بازرنگ، ریحانه
(کارشناسی ارشد شیمی)

کارشناس آزمایشگاه شرکت بازرسی فنی شاخه زیتون لیان
باقری، سعید
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

مدیر داخلی شرکت سنجش برتر خلیج فارس
برزگری، نجمه
(کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)

کارشناس اداره کل استاندارد استان بوشهر
برکت، محمد
(کارشناسی ارشد شیمی)

کارشناس آزمایشگاه شرکت روزنه شیدا افزار
حیاتی، ناهید
(کارشناسی شیمی)

کارشناس آزمایشگاه شرکت نفت سپاهان
خواجوی قره میرشاملو، حمید
(کارشناسی ارشد شیمی)

کارشناس شرکت سیماب رزین
رجائی، سمیرا
(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)

مدیر فنی آزمایشگاه شرکت بازرسی فنی نیرو گستر لیان
زارع نژاد، صدیقه
(کارشناسی مهندسی مکانیک)

کارشناس شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران
شهریاری، مرضیه
(کارشناسی مهندسی شیمی)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

عباسی، محسن

(دکتری مهندسی شیمی)

فرهادی، ذکریا

(کارشناسی ارشد شیمی)

فلاح، الهام

(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)

قناعت‌زاده، نیلوفر

(کارشناسی شیمی)

منفرد، فاطمه

(کارشناسی ارشد شیمی)

موسوی، سیده صدیقه

(کارشناسی مهندسی صنایع)

نصوری، زهرا

(کارشناسی ارشد شیمی)

نور محمد، فاطمه

(کارشناسی ارشد شیمی)

وزانی، ایوب

(کارشناسی مهندسی شیمی)

یداللهی، شهلا

(کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر)

ویراستار:

احمدی، حاجی رضا

(کارشناسی ارشد شیمی)

سمت و/یا محل اشتغال:

عضو هیأت علمی دانشگاه خلیج فارس

مدیر کنترل کیفیت شرکت فراپل جم

کارشناس آزمایشگاه شرکت آزمون صنعت خلیج فارس

کارشناس مستقل

مدیر فنی آزمایشگاه شرکت بازرسی فنی شاخه زیتون لیان

مدیر فنی آزمایشگاه شرکت آزمون صنعت خلیج فارس

مدیر کنترل کیفیت شرکت دانش بنیان معیار پژوهان

کارشناس آزمایشگاه شرکت بازرسی فنی شاخه زیتون لیان

کارشناس سازمان صنعت، معدن و تجارت استان بوشهر

کارشناس مستقل

کارشناس پژوهشگاه استاندارد

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ز	پیش‌گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۲	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۴	۴ اصول آزمون
۵	۵ دستگاه
۵	۵-۱ جاذب حرارت
۵	۵-۲ مدول حرارتی-الکتریکی و دو عنصر حسگر
۶	۵-۳ مواد ردیاب
۷	۵-۴ مدار گرما
۷	۵-۵ مدار اندازه‌گیری
۸	۶ آزمون‌ها
۸	۶-۱ دمای اندازه‌گیری
۸	۶-۲ هندسه مواد ردیاب
۸	۶-۳ اندازه سطح آزمون
۸	۶-۴ ضخامت آزمون
۸	۷ روش اجرای آزمون
۹	۸ بیان نتایج
۹	۸-۱ نمایش ترسیمی
۱۰	۸-۲ صحنه‌گذاری
۱۰	۹ گزارش آزمون
۱۲	پیوست الف (آگاهی‌دهنده) نتایج هدایت حرارتی پلاستیک‌های اسفنجی
۱۴	پیوست ب (آگاهی‌دهنده) ضخامت نامحدود
۱۵	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد «پلاستیک‌ها- تعیین هدایت حرارتی و نفوذ حرارتی- قسمت ۶: روش مقایسه‌ای برای هدایت‌های حرارتی پایین با استفاده از روش دمای مدوله شده» 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 یک‌هزار و ششصد و چهل و ششمین اجلاس کمیته ملی استاندارد صنایع شیمیایی و پلیمر مورخ ۱۳۹۶/۱۲/۰۹ 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 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:

ISO 22007-6: 2014, Plastics- Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity- Part 6: Comparative method for low thermal conductivities using a temperature modulation technique

مقدمه

خصوصیات عایق کاری حرارتی از منظر فناوری ذخیره سازی انرژی اهمیت بیشتری پیدا کرده است. به منظور طراحی حرارتی پلاستیک‌ها در مقیاس میکرو، روش کاربردی برای اندازه‌گیری هدایت حرارتی پایین‌تر در مقیاس کوچکتر با مقدار کمی از نمونه، مانند یک سینی برای غذا، یک فیلم چاپ حرارتی، یک ورقه ژل شده برای قطعات الکتریکی درون لپ‌تاپ^۱، یک چسب خمیری^۲، و غیره، مورد نیاز است. به منظور تعیین هدایت حرارتی پلاستیک‌ها، یک سامانه پیل حرارتی با دو حسگر با حساسیت بالا، مستقر شده در فاصله‌های مختلف در محدوده دمای مدوله شده، که به وسیله مدول حرارتی پلتیر کنترل می‌شوند، پیشنهاد می‌شود. برای تعیین هدایت حرارتی نمونه، از یک عامل تنزل^۳ استفاده می‌شود. این روش برای اندازه‌گیری هدایت حرارتی پایین در گستره زیر 10 W/mK به کار برده می‌شود.

در مقایسه با روش ضربه‌ای یا گذرا، حساسیت و تفکیک دمایی بالا، مشخصه روش دمای مدوله شده هستند که در آن، به کارگیری یک تقویت کننده قفل‌شونده^۴ هرگونه اثر نویز^۵ و تداخل^۶ را کاهش می‌دهد.

هدایت حرارتی موادی که هادی ضعیف حرارت هستند، به طور معمول با اندازه‌گیری تغییرات بزرگتر درجه حرارت در نمونه تولید شده توسط یک جریان گرمایی پایا در مقیاس یک‌بعدی تعیین می‌شود. به منظور کاهش خطاهای مربوط به تابش و همرفت، اغلب به نمونه‌های بزرگ با شکل دقیق و مراقبت شدید در به کارگیری موفق آن‌ها، نیاز است.

این استاندارد، روش دمای مدوله شده را برای تعیین هدایت حرارتی با تغییرات اندک درجه حرارت، که تأثیر تابش و همرفت را به حداقل می‌رساند، ارائه می‌کند.

این استاندارد، یک قسمت از مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۲۷۸۷ می‌باشد. سایر قسمت‌های این مجموعه عبارتند از:

- قسمت ۱: اصول کلی
- قسمت ۲: روش منبع گرمایی صفحه داغ
- قسمت ۳: روش آنالیز موج دما
- قسمت ۴: روش تابش لیزر

-part 5: Results of interlaboratory testing of poly(methyl methacrylate) samples

-
- 1- Laptop PC
 - 2- Adhesive paste
 - 3- Decay parameter
 - 4- Lock-in amplifier
 - 5- Noise
 - 6- Interference

پلاستیک‌ها - تعیین هدایت حرارتی و نفوذ حرارتی - قسمت ۶: روش مقایسه‌ای برای هدایت‌های حرارتی پایین با استفاده از روش دمای مدوله شده

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه روش دمای مدوله شده برای اندازه‌گیری هدایت حرارتی است. انحراف دمای ورودی کمتر از K ۱ در نظر گرفته شده و یک روش قفل‌شونده مضاعف^۱ برای تقویت دماهای مدوله پایین به کار برده می‌شود.

استاندارد ISO 22007-3، یکی از روش‌های دمای مدوله شده‌ای را ارائه می‌کند که در آن جابه‌جایی فاز برحسب ضخامت گرمایی در شرایط $kd \gg 1$ اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری - مقدار k از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$k = (\omega/2\alpha)^{1/2}$$

که در آن:

ω بسامد^۲ زاویه‌ای موج دما؛

α نفوذ حرارتی؛

d ضخامت آزمون، برحسب میلی‌متر است.

در این شرایط، ماده محافظ بر نتایج جابه‌جایی فاز روی حسگری که در آن تنزل موج دما به صورت نمایی است، تأثیر ندارد.

از سوی دیگر، اگر $kd \ll 1$ ، کاهش دمای مدوله تحت تأثیر مواد محافظ قرار می‌گیرد. بر این اساس، در این استاندارد، روشی برای تعیین هدایت حرارتی نمونه (به عنوان ماده محافظ)، در مقایسه با تنزل موج دمایی آشکار شده بر هر دو سطح ماده ردیاب مشخص می‌شود.

هدایت حرارتی از رابطه بین امپدانس^۳ حرارتی و نسبت کاهش دامنه، با استفاده از دو ماده مرجع اندازه‌گیری شده در دما و بسامد یکسان، تعیین می‌شود.

گستره پوشش هدایت حرارتی با مواد مرجع و مواد ردیاب تنظیم می‌شود. به طور اساسی، هدایت حرارتی در گستره 0.26 W/mK تا 0.6 W/mK تعیین می‌شود.

1- Double lock-in method
2- Frequency
3- Impedance

در صورت به کارگیری این روش برای مواد ناهمگن، با توجه به عمق نفوذ حرارتی، شرایط اندازه‌گیری مناسب را باید انتخاب کرد.

۲ مراجع الزامی

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

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

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 472, Plastics- Vocabulary

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۲۴۴: سال ۱۳۹۴، پلاستیک‌ها- واژه‌نامه، با استفاده از استاندارد ISO 472: 2013 تدوین شده است.

2-2 ISO 22007-1, Plastics- Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity- Part 1: General principles

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۲۷۸۷: سال ۱۳۹۲، پلاستیک‌ها- تعیین هدایت حرارتی و نفوذ حرارتی - قسمت ۱: اصول کلی، با استفاده از استاندارد ISO 22007-1: 2009 تدوین شده است.

2-3 ISO 22007-3, Plastics- Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity- Part 3: Temperature wave analysis method

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۲۷۸۷: سال ۱۳۸۸، پلاستیک‌ها- تعیین هدایت حرارتی و نفوذ حرارتی - قسمت ۳: روش آنالیز موج دما، با استفاده از استاندارد ISO 22007-3: 2008 تدوین شده است.

2-4 ISO/TR 22007-5, Plastics- Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity- Part 5: Results of interlaboratory testing of poly(methyl methacrylate) samples

2-5 ISO 80000-5, Quantities and units- Part 5: Thermodynamics

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۵-۹۸۱۹: سال ۱۳۹۲، کمیت‌ها و یکاها- قسمت ۵: ترمودینامیک، با استفاده از استاندارد ISO 80000-5: 2007 تدوین شده است.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد ISO 472، استاندارد ISO 22007-1، استاندارد ISO 22007-3، و استاندارد ISO 80000-5، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود:

۳-۱

دامنه دمای مدوله، Amp

amplitude of temperature modulation

دامنه نوسان دمای تولید شده توسط یک منبع حرارتی با توان مدوله شده است.

یادآوری - برحسب کلونین بیان می‌شود.

۳-۲

بهره، ζ

gain

نسبت Amp در $x = d$ به $x = 0$ ؛ نسبت دامنه مربوط به سطوح جلویی ($x = 0$) و پشتی ($x = d$) ماده ردیاب است. بهره از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$\zeta = \frac{T_d}{T_0} = \frac{Amp_{x=d}}{Amp_{x=0}} \quad (1)$$

که در آن:

T_d و T_0 دامنه دمای مدوله شده است که به ترتیب با حسگر ۱ (در $x = 0$) و حسگر ۲ ($x = d$) اندازه‌گیری شده است.

۳-۳

عمق نفوذ حرارتی، D_p

thermal penetration depth

نوسان‌های تناوبی دما که تنها برای عمق‌های کمتر از D_p قابل مشاهده است و طبق رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$D_p = 2\pi \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega}} \quad (2)$$

که در آن:

α نفوذ حرارتی؛

ω بسامد زاویه‌ای؛

D_p عمقی که در آن، دامنه نوسان دما تا ۰٫۱۹٪ تضعیف شده و از رابطه (۳) به دست آمده است:

$$\exp\left(-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} D_p\right) = \exp(-2\pi) \cong 0,0019. \quad (3)$$

یادآوری - عمق نفوذ حرارتی برحسب متر بیان می‌شود.

۳-۴

طول نفوذ حرارتی، $1/k$

thermal diffusion length

که در آن:

k معادل $\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}$ تعریف می‌شود.

یادآوری - طول نفوذ حرارتی برحسب متر و k برحسب معکوس متر بیان می‌شود.

۴ اصول آزمون

همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، ماده ردیاب به صورت یک ورق تخت بین منبع حرارتی و نمونه، با فرض تک‌بعدی بودن جریان حرارتی، قرار می‌گیرد.

منبع حرارتی دمای مدوله با دامنه ثابت ایجاد می‌کند و دمای متوسط را ثابت نگه می‌دارد که با استفاده از کنترل دمای حرارتی-الکتریکی (نوع پلتیر^۱) محقق می‌شود. به دلیل ظرفیت گرمایی بالای جاذب حرارت^۲، دمای مدوله در منبع حرارتی تحت تأثیر نمونه قرار نمی‌گیرد، و دمای ورودی ($x = 0$) در ردیاب ثابت می‌ماند.

نمونه به طرف دیگر ماده ردیاب متصل می‌شود. در شرایط ضخامت کم گرمایی، $kd \ll 1$ ، کاهش دمای مدوله در $x = d$ تحت تأثیر نمونه قرار می‌گیرد.

دماهای مدوله شده در $x = 0$ و $x = d$ به ترتیب توسط حسگر دمایی متصل شده و استفاده از تقویت قفل‌شونده به دقت اندازه‌گیری می‌شود.

مراحل اصول آزمون به شرح زیر است:

الف - یک تغییر دمایی کوچک در دمای مدوله شده، به عنوان مثال کمتر از $K \pm 1$ ، در دمای محیط القا می‌شود. دمای متوسط با استفاده از یک کنترل دمای حرارتی-الکتریکی (نوع پلتیر) در دمای محیط نگه داشته می‌شود.

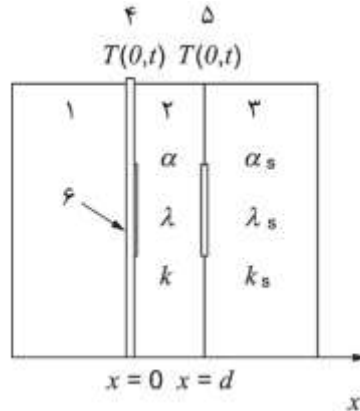
ب - دمای زیر جاذب حرارت (طرف مقابل $x = 0$ در شکل ۱)، جای عمیقی در نمونه (طرف مقابل $x = d$ در شکل ۱)، و اتصال سرد^۳ مربوط به حسگر پیل حرارتی، به عنوان دمای محیط محسوب می‌شود.

1- Peltier type
2- Heat sink
3- Cold junction

پ- با اندازه‌گیری ناحیه کوچکی که در مرکز جریان حرارتی مسطح قرار گرفته است، جریان حرارتی تک‌بعدی به دست می‌آید.

ت- بسامد، با در نظر گرفتن طول نفوذ حرارتی ماده ردیاب، برای اندازه‌گیری انتخاب می‌شود.

ث- تقویت قفل‌شونده، که مشخصه روش مدوله محسوب می‌شود، امکان اندازه‌گیری تغییر دمایی کوچکی را فراهم می‌کند که تأثیر تابش و همرفت را به حداقل می‌رساند.



راهنما:

۱	جاذب حرارت
۲	ماده ردیاب
۳	نمونه
۴	حسگر ۱
۵	حسگر ۲
۶	گرمن (مدول پلتیر)
x	جهت ضخامت نمونه

شکل ۱- هندسه دو حسگر و یک منبع حرارتی پلتیر

۵ دستگاه

دستگاه باید طوری طراحی شود که بهره تعریف شده در زیربند ۳-۲ به دست آید و باید شامل اجزای اصلی زیر، طبق شکل ۲ باشد:

۱-۵ جاذب حرارت

با ظرفیت گرمایی بسیار بالا برای تخمین دمای سطح زیرین (طرف مقابل $x=0$) در دمای اتاق.

۲-۵ مدول حرارتی-الکتریکی و دو عنصر حسگر

با مشخصات زیر:

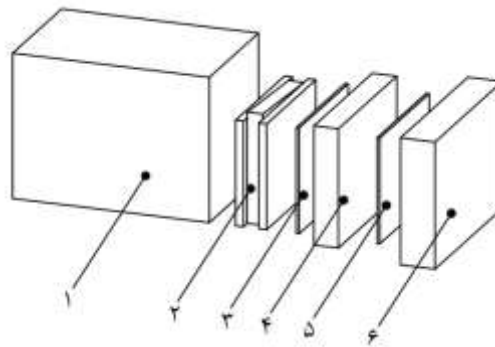
۵-۲-۱ مدول حرارتی-الکتریکی که با عبور جریان متناوب از میان یک منبع حرارتی نوع پلتیر، که به سطح جلویی مواد ردیاب وصل شده است، یک نوسان دمایی ایجاد می‌کند؛ فرض بر این است که این مدول در $x = 0$ قرار می‌گیرد (به شکل ۲ مراجعه شود).

۵-۲-۲ عنصر حسگر، یک پیل حرارتی است که اتصال سرد آن با دمای محیط در ارتباط است و اتصال گرم آن که در ناحیه میانی قرار گرفته است، تغییر دمایی را به وسیله تقویت تفاضلی^۱ آشکار می‌کند.

۵-۲-۳ عناصر حسگر (حسگر ۱ و حسگر ۲) برای اندازه‌گیری دامنه نوسان دما در سطوح جلویی و پشتی ماده ردیاب در شکل‌های ۲ و ۳، به ترتیب در $x = 0$ و $x = d$ قرار می‌گیرند.

۳-۵ مواد ردیاب

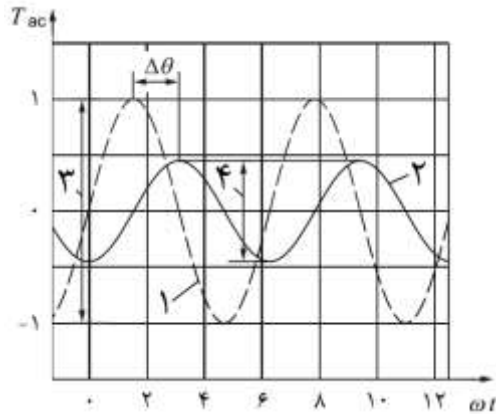
مواد ردیاب با خواص حرارتی α : نفوذ حرارتی، λ : هدایت حرارتی، $k = (\omega/2\alpha)^{1/2}$: بسامد زاویه‌ای موج دما و ضخامت، d ، بین منبع حرارتی و نمونه (α_s ، λ_s و k_s) قرار می‌گیرند.



راهنما:

۱	جاذب حرارت
۲	مدول پلتیر
۳	حسگر ۱ ← تقویت‌کننده قفل‌شونده ۱
۴	مواد ردیاب
۵	حسگر ۲ ← تقویت‌کننده قفل‌شونده ۲
۶	نمونه

شکل ۲- نمایش ترسیمی هندسه اندازه‌گیری



راهنما:

۱ حسگر ۱

۲ حسگر ۲

۳ دامنه ۱

۴ دامنه ۲

T_{ac} دمای مدوله شده بر حسگر بر حسب کلونین

t زمان

ω بسامد زاویه‌ای موج دما

شکل ۳- شکل نمادین دمای مدوله مشاهده شده با حسگر ۱ و حسگر ۲

یادآوری ۱- پیل حرارتی با حسگرهای دمایی حرارتی-الکتریکی، نمونه‌ای از عنصر حسگر است.

یادآوری ۲- برای به دست آوردن نفوذ حرارتی تک بعدی، اندازه سطح حسگر بسیار کوچکتری از اندازه سطح مدول پلتیر لازم است. به طور معمول، یک مدول پلتیر با اندازه $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ ، به عنوان منبع توان مدوله‌سازی دما و برای آشکارسازی منحنی دما، یک پیل حرارتی با اندازه سطح $5 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ به کار می‌رود.

۴-۵ مدار گرما

توان به کار رفته برای مدول پلتیر باید به گونه‌ای تنظیم شود که نسبت سیگنال به نویز بالایی برای حسگرها به دست آید.

یادآوری- به طور معمول، دامنه دمای مدوله شده برای مدول حرارتی پلتیر کوچکتر از $1 \pm K$ است.

۵-۵ مدار اندازه‌گیری

ولتاژ حرارتی-الکتریکی از حسگر دما با یک تقویت کننده قفل شونده دو فازی اندازه‌گیری می‌شود.

۶ آزمون‌ها

۱-۶ دمای اندازه‌گیری

حسگر دمایی دیگری روی اتصال سرد نصب می‌شود. این دمای محیط است.

۲-۶ هندسه ماده ردیاب

بهتر است ماده ردیاب دارای ضخامتی مطابق با طول نفوذ حرارتی ($d_{\text{probe}} = 1/k$, $k = \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha_{\text{probe}}}}$) باشد. برای یک ماده ردیاب با ضخامت معلوم، بسامد موج دما بر اساس نفوذ حرارتی ماده ردیاب انتخاب می‌شود. اندازه سطح ماده ردیاب، مشابه اندازه مدول پلتیر توصیه می‌شود.

یادآوری- ورق پلی (متیل متاکریلات) (PMMA)^۱ نوع قالبی با ضخامت 0.5 mm می‌تواند به عنوان ماده ردیاب به کار رود (طبق ISO/TR 22007-5، مطابق با خواص حرارتی PMMA نوع قالبی). مواد ردیاب با خواص حرارتی مشابه نمونه، ارجحیت دارند.

۳-۶ اندازه سطح آزمون

سطح آزمون باید بزرگتر از سطح حسگر باشد. به طور ترجیحی، یک ضلع از مربع آزمون دست کم 10 برابر بزرگتر از همان بخش از سطح حسگر است.

۴-۶ ضخامت آزمون

ضخامت نمونه، بزرگتر از D_p در نمونه ترجیح داده می‌شود. اگر خواص حرارتی نمونه و ماده ردیاب مشابه باشد، پنج تا شش برابر طول نفوذ حرارتی ماده ردیاب تخمین زده می‌شود. دما در نمونه، در طرف مقابل $x = d$ ، تا دمای محیط کاهش پیدا می‌کند.

راهنمای عملی برای انتخاب ترکیب بهینه ضخامت و بسامد در پیوست ب مطرح شده است که در آن، شرایط کاهش دما برای 0.1 شبیه‌سازی شده است.

۷ روش اجرای آزمون

۷-۱ ضخامت آزمون را اندازه‌گیری کنید.

۷-۲ آزمون‌ها را بر حسگر پیل حرارتی سر هم بندی کنید. در صورت نیاز، می‌توان مقداری فشار از یک وسیله سر هم شده وارد کرد.

1- Poly(methyl methacrylate)

۳-۷ وسیله سر هم شده حاوی نمونه را داخل کوره قرار دهید. مدول پلتیر را به منبع توان و حسگر را به آشکارساز فاز وصل کنید.

۴-۷ دمای کوره را در گستره $5^{\circ}C$ تا $50^{\circ}C$ و با سرعت پوشش دمایی کمتر یا مساوی $10 K/min$ ، تا دمای آزمون بالا یا پایین ببرید.

۵-۷ دمای آزمون را بررسی کنید.

۶-۷ مدار اندازه‌گیری را ببندید و یک جریان نوسانی برای مدول پلتیر ایجاد کنید. برای به‌دست آوردن نسبت بالای سیگنال به نویز دامنه موج دما برای حسگرها، بهتر است توان تنظیم شود.

۷-۷ اختلاف فاز و دامنه موج دما در $x = 0$ و $x = d$ را در یک بسامد ثابت با آشکارساز فاز، مانند تقویت کننده قفل شونده، با استفاده از سیگنال مرجعی از ترکیب کننده تابع، اندازه‌گیری کنید. بهره نمونه را محاسبه کنید.

۸ بیان نتایج

۸-۱ نمایش ترسیمی

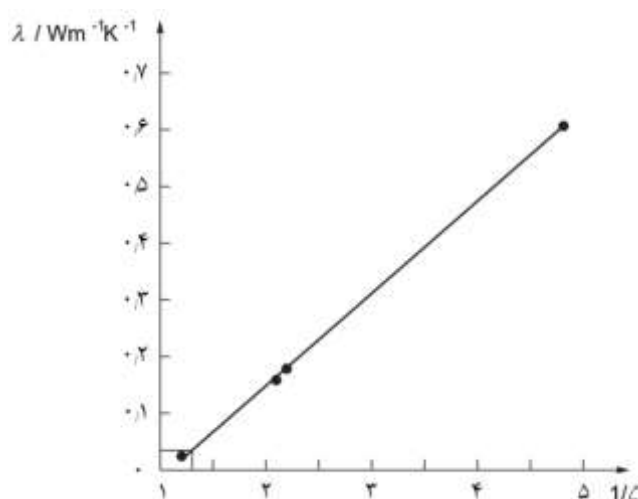
بهره، ζ ، نسبت دامنه سطوح جلویی و پشتی ماده ردیاب، با اندازه‌گیری به‌دست می‌آید. بهره دو ماده (مرجع ۱ و مرجع ۲) در شرایط تجربی یکسان، در بسامد و دمای محیطی معین، تعیین می‌شوند. جدول ۱، ارتباط بین معکوس بهره اندازه‌گیری شده و هدایت حرارتی مواد (آب و هوا) و ماده ردیاب (PMMA با ضخامت $0.5 mm$) را در بسامد $0.5 Hz$ در دمای محیط نشان می‌دهد.

جدول ۱- ارتباط بین بهره اندازه‌گیری شده و هدایت حرارتی مواد

نمونه‌ها	ζ (اندازه‌گیری شده)	$1/\zeta$	$\lambda (W/mK)$
هوا (مرجع ۱)	۰٫۸۳	۱٫۲	۰٫۱۰۲۶
آب (مرجع ۲)	۰٫۲۱	۴٫۸	۰٫۶۱
PMMA (ردیاب)	۰٫۴۶	۲٫۲	۰٫۱۸
لاستیک سیلیکونی	۰٫۴۸	۲٫۱	۰٫۱۶
فوم ^a PS	۰٫۷۸	۱٫۳	-

^a پلی‌استایرن (Polystyrene)

نمودار هدایت حرارتی، λ ، نسبت به معکوس بهره، $1/\zeta$ ، یک رابطه خطی را مطابق شکل ۴ نتیجه می‌دهد؛ هدایت حرارتی، λ ، از نتایج اندازه‌گیری شده ζ به‌دست می‌آید.



شکل ۴- نمودار $1/L$ بر حسب λ با مواد مرجع و ردیاب فهرست شده در جدول ۱

یادآوری - NIST 1453 (پلی استایرن اسفنجی) ماده مرجع استاندارد است که توصیه می‌شود. یک ورق PMMA در استاندارد ISO 22007-5 اندازه‌گیری شده است. چنین ماده‌ای می‌تواند در سنجش روش، مفید واقع شود.

۸-۲ صحه‌گذاری

روش و دستگاه را می‌توان با انجام اندازه‌گیری روی مواد مرجع استاندارد، که به طور ترجیحی گستره دمایی و خواص مواد مورد آزمون را پوشش می‌دهد، صحه‌گذاری کرد. مقدار توصیه شده برای انحراف مجاز آشکار شده در طی صحه‌گذاری، کمتر از $\pm 3\%$ مقادیر مرجع است. تا زمانی که صحه‌گذاری با موفقیت انجام شود، بهتر است شرایط اندازه‌گیری مورد بازبینی مجدد قرار گیرد و/یا دستگاه‌ها دوباره واسنجی شوند. برای نمونه‌های همگن، تکرارپذیری کمتر از $\pm 3\%$ و انحراف $\pm 5\%$ در دمای ثابت توصیه می‌شود.

۹ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید حداقل شامل آگاهی‌های زیر باشد:

۹-۱ نام و نشانی آزمایشگاه انجام آزمون؛

۹-۲ تاریخ انجام آزمون؛

۹-۳ ارجاع به این استاندارد ملی؛

۹-۴ مشخصات ماده ردیاب و آزمون مورد آزمون (سازنده، محصول، نوع، شماره دسته و غیره)، و جزئیات پیشینه حرارتی آن؛

- ۹-۵ شکل، ضخامت، ابعاد دیگر، و تعداد مواد ردیاب و آزمون‌ها؛
- ۶-۹ مدل، نوع، و سازنده دستگاه مورد استفاده؛
- ۷-۹ نوع، شکل، ابعاد و مقاومت الکتریکی حسگر و مدول پلتیر؛
- ۸-۹ شرایط اندازه‌گیری، مانند دما، توان مدوله شده برای مدول پلتیر، اتمسفر کوره، بسامد موج دما؛
- ۹-۹ نتایج آزمون، مانند نسبت کاهش و جابه‌جایی فاز در بسامدها و دماهای مربوط؛
- ۱۰-۹ نمودار هدایت حرارتی نسبت به معکوس بهره مواد مرجع استاندارد (به شکل ۴ مراجعه شود)؛
- ۱۱-۹ سایر موارد مربوط؛
- ۱۲-۹ آگاهی درباره ماده مرجع (ماهیت، سازنده، خواص حرارتی).

پیوست الف

(آگاهی دهنده)

نتایج هدایت حرارتی پلاستیک‌های اسفنجی

جدول الف-۱ نتایج اندازه‌گیری هدایت حرارتی مواد اسفنجی را در $0.05 Hz$ ، با ماده ردیاب پلی (متیل متاکریلات) با ضخامت $0.5 mm$ در $27^\circ C$ نشان می‌دهد. هوا و آب به عنوان مواد مرجع انتخاب شده‌اند.

جدول الف-۱- نتایج هدایت حرارتی مواد اسفنجی

داده‌های مکتوب ^d $\lambda (W/mK)$	نمای جانبی $\lambda (W/mK)$	نمای مسطح $\lambda (W/mK)$	
0.336 – 0.340	0.350 ± 0.00173	0.370 ± 0.00153	EPS ^a (NIST ^b 1453)
0.45 – 0.50	0.430 ± 0.00135	0.450 ± 0.00185	LI900 (NASA ^c)
^a پلی‌استایرن منبسط (Expanded Polystyrene) ^b مؤسسه ملی فناوری و استانداردها ^c سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا ^d داده‌های گواهی‌نامه ماده مرجع استاندارد NIST 1453			

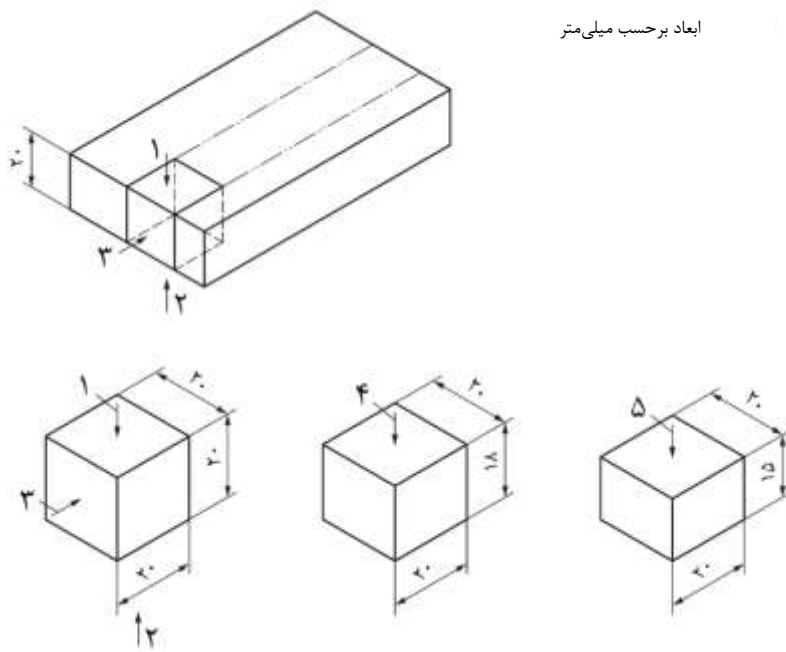
جدول الف-۲ نتایج اندازه‌گیری هدایت حرارتی EPS را در $0.05 Hz$ ، با ماده ردیاب پلی (متیل متاکریلات) با ضخامت $0.5 mm$ در $27^\circ C$ نشان می‌دهد. هوا و آب به عنوان مواد مرجع انتخاب شده‌اند.

جدول الف-۲- نتایج هدایت حرارتی

لایه مغزی ۲ ^c $\lambda (W/mK)$	لایه مغزی ۱ ^c $\lambda (W/mK)$	نمای مسطح ۲ (پشت) $\lambda (W/mK)$	نمای مسطح ۱ (جلو) $\lambda (W/mK)$	
0.351 ± 0.00156	0.350 ± 0.00173	0.381 ± 0.00115	0.370 ± 0.00153	EPS ^a (NIST ^b 1453)
^a پلی‌استایرن منبسط (Expanded Polystyrene) ^b مؤسسه ملی فناوری و استانداردها ^c هندسه و جهت اندازه‌گیری در شکل الف-۱ نشان داده شده است.				

شکل الف-۱، شکل نمادین از جهت اندازه‌گیری آزمونه‌ها در جدول‌های الف-۱ و الف-۲ را نشان می‌دهد.

ابعاد بر حسب میلی‌متر



راهنما:

- | | |
|---|-------------------|
| ۱ | نمای مسطح ۱ (جلو) |
| ۲ | نمای مسطح ۲ (پشت) |
| ۳ | نمای جانبی |
| ۴ | لایه مغزی ۱ |
| ۵ | لایه مغزی ۲ |

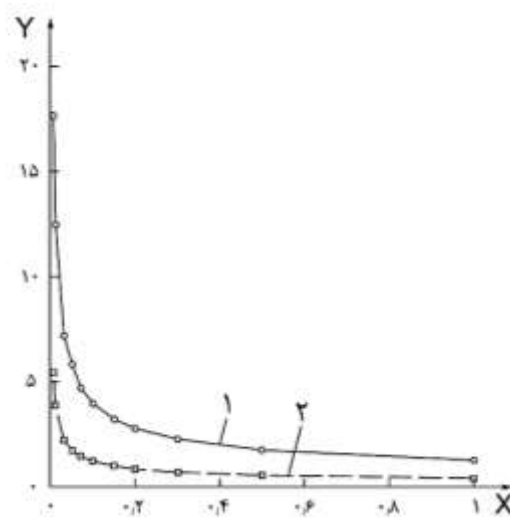
شکل الف-۱- شکل نمادین از جهت اندازه‌گیری آزمون‌ها در جدول‌های الف-۱ و الف-۲

پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

ضخامت نامحدود

ضخامت نامحدود ظاهری، که در آن موج گرما تا ۰/۰۱ به اندازه کافی تضعیف می‌شود و امپدانس حرارتی به مقدار ثابتی می‌رسد، به صورت تابعی از بسامد در شکل ب-۱ شبیه‌سازی شده است. رابطه بین ضخامت و بسامد، شرایط مطلوب را در آزمایشات به وجود می‌آورد.



راهنما:

X	بسامد، Hz
Y	ضخامت نامحدود ظاهری، mm
۱	پلی‌استایرن منبسط (EPS)
۲	پلی‌استایرن (PS)

شکل ب-۱ - ضخامت نامحدود ظاهری، که در آن ۹۹٪ تضعیف در جهت ضخامت آزمون به دست می‌آید، به صورت تابعی از بسامد نشان داده شده است.

جدول ب-۱ - تخمین ضخامت نامحدود ظاهری EPS و PS محاسبه شده در ۰/۰۵ Hz برگرفته از شکل ب-۱

بسامد (Hz)						پلی‌استایرن منبسط (EPS)	ضخامت نامحدود (mm)
۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱۵		
۱۲/۵	۷/۲	۵/۹	۴/۷	۴/۰	۱/۸	پلی‌استایرن (PS)	
۳/۹	۲/۲	۱/۷	۱/۵	۱/۲	۰/۵۵		

کتابنامه

[1] ISO 291, Plastics- Standard atmospheres for conditioning and testing

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۱۷: سال ۱۳۸۷، پلاستیک‌ها- شرایط محیطی استاندارد برای رسیدن به شرایط تثبیت و آزمون، با استفاده از استاندارد ISO 291: 2008 تدوین شده است.

[2] ISO/IEC Guide 98-3, Uncertainty of measurement- Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)