



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۹۴۱۶-۱۰

تجدید نظر اول

۱۳۹۴

**INSO**

**9416-10**

**1st . Revision**

**2016**

پلاستیک‌ها - تعیین خواص مکانیکی

دینامیکی - قسمت دهم :

ویسکوزیته برشی مختلط با استفاده از رئومتر

نوسانی صفحه موازی

**Plastics – Determination of the viscosity of  
polymers in dilute solution using capillary  
viscometers – Part 10 : Complex shear  
viscosity using a parallel-plate oscillatory  
rheometer**

**ICS:83.080.01**

## 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)<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 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  
" پلاستیک ها - تعیین خواص مکانیکی دینامیکی - قسمت دهم : ویسکوزیته برشی مختلط با  
استفاده از رئومتر نوسانی صفحه موازی "  
(تجدید نظر اول)

**رئیس:**

جوادپور، سیروس  
(دکتری مهندسی مواد)

**سمت و/یا نمایندگی**

هیئت علمی دانشگاه شیراز

**دبیر:**

منصوری، نادر  
(لیسانس مهندسی مکانیک)

اداره کل استاندارد استان فارس

**اعضا:**

(اسامی به ترتیب حروف الفبا)

بازرگان لاری، رضا  
(دکتری مهندسی مواد)

هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی مرودشت

بهمنی، مجتبی  
(فوق لیسانس شیمی)

دانشگاه فنی و حرفه‌ای رجایی شیراز

جلالی، پدram  
(لیسانس مهندسی مکانیک)

شرکت ایمن تهویه کاژه

جمالی، راضیه  
(لیسانس مهندسی صنایع)

شرکت تابش گستران

دیداری، کورش  
(لیسانس شیمی)

شرکت سما پلاست

زارع، مسعود  
(فوق لیسانس مهندسی پلیمر)

شرکت سپیدپارس شیراز

سمیعی، سهیل  
(دکتری مهندسی شیمی)

دانشگاه آزاد اسلامی داراب

آزمایشگاه همکار شرکت پلیمر پارس

طلعتی نیا، سیامک  
(لیسانس شیمی)

شرکت توسعه صنایع پلاستیک ایران

فرهادی، مریم  
(فوق لیسانس صنایع پلیمر)

مسئول کنترل کیفیت کارخانه پسماند شهرداری شیراز

گل کاری، مسیح  
(فوق لیسانس مهندسی پلیمر)

کارخانجات صنایع پلیمر پارس

محمدی، شیرین  
(لیسانس صنایع پلیمر)

هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی اهواز

محمدی، محمدکاظم  
(دکتری شیمی)

اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی شیراز

مرادی، ندا  
(لیسانس شیمی)

اداره کل استاندارد استان فارس

مصلائی، مهرداد  
(فوق لیسانس شیمی)

شرکت پلاستیک آبساران

منفردیان، زهرا  
(فوق لیسانس شیمی)

آزمایشگاه همکار شرکت شیراز جم گستر

نجیمی، مهدی  
(لیسانس شیمی)

آزمایشگاه همکار شرکت سپیدان بسپار

نیکویان، نسیم  
(لیسانس مهندسی پتروشیمی)

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ج	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
د	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ه	فهرست مندرجات
و	پیش گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۳	۴ اصول کلی
۳	۵ وسایل آزمون
۵	۶ نمونه برداری
۵	۷ روش آزمون
۹	۸ بیان نتایج
۱۱	۹ دقت
۱۳	۱۰ گزارش آزمون
۱۴	پیوست الف (اطلاعاتی) حدود عدم قطعیت
۱۷	پیوست ب (اطلاعاتی) کتابنامه

## پیش‌گفتار

استاندارد "پلاستیک‌ها - تعیین خواص مکانیکی دینامیکی - قسمت دهم : ویسکوزیته برشی مختلط با استفاده از رئومتر نوسانی صفحه موازی" نخستین بار در سال ۱۳۸۶ تدوین شد. این استاندارد بر اساس پیشنهادهای رسیده و بررسی توسط سازمان ملی استاندارد ایران و تایید کمیسیون‌های مربوط برای اولین بار مورد تجدید نظر قرار گرفت و در یک هزار و پانصد و یکمین اجلاس کمیته ملی استاندارد شیمیایی و پلیمر مورخ ۱۳۹۴/۱۲/۲۴ تصویب شد. اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ ، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع ، علوم و خدمات ، استانداردهای ملی ایران درمواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شماره ۱۰-۹۴۱۶ : سال ۱۳۸۶ می‌شود.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است :

ISO 6721-10 : 2015 , Plastics – Determination of dynamic mechanical properties –  
Part 10 : Complex shear viscosity using a parallel-plate oscillatory rheometer

## مقدمه

این استاندارد یکی از مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۹۴۱۶ با عنوان کلی "پلاستیک‌ها - تعیین خواص مکانیکی دینامیکی" است .

- قسمت اول : اصول کلی
- قسمت دوم : روش پاندول پیچشی
- قسمت سوم : ارتعاش خمشی - روش منحنی تشدید
- قسمت چهارم : ارتعاش کششی - روش غیرتشدید
- قسمت پنجم : ارتعاش خمشی - روش غیرتشدید
- قسمت ششم : ارتعاش برشی - روش غیرتشدید
- قسمت هفتم : ارتعاش پیچی - روش غیرتشدید
- قسمت هشتم : ارتعاش طولی و برشی - روش انتشار موج
- قسمت نهم : ارتعاش کششی - روش انتشار پالس صوتی
- قسمت دهم : ویسکوزیته برشی مختلط با استفاده از رئومتر نوسانی صفحه موازی
- قسمت یازدهم : دمای گذار شیشه
- قسمت دوازدهم : ارتعاش فشاری - روش غیرتشدید

## پلاستیک ها - تعیین خواص مکانیکی دینامیکی - قسمت دهم : ویسکوزیته برشی مختلط با استفاده از رئومتر نوسانی صفحه موازی

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه روش تعیین خواص دینامیکی مذاب‌های پلیمری در فرکانس‌های زاویه‌ای مشخص در گستره  $0.1 \text{ rad/s}$  الی  $100 \text{ rad/s}$ ، با استفاده از رئومتر نوسانی با صفحات فلزی موازی است. از فرکانس‌های زاویه‌ای خارج از این گستره هم می‌توان استفاده کرد (به یادآوری ۱ مراجعه شود). این روش برای تعیین مقادیر خواص جریان دینامیکی مانند: ویسکوزیته برشی مختلط  $\eta^*$ ، ویسکوزیته برشی دینامیکی  $\eta'$ ، مولفه ناهمفاز ویسکوزیته برشی مختلط  $\eta''$ ، مدول برشی مختلط  $G^*$ ، مدول اتلاف برشی  $G''$  و مدول ذخیره برشی  $G'$  کاربرد دارد.

این روش برای اندازه‌گیری ویسکوزیته برشی مختلط تا حدود  $10 \text{ MPa.s}$  مناسب است (به یادآوری ۲ مراجعه شود).

**یادآوری ۱** - گستره اندازه‌گیری فرکانس زاویه‌ای توسط مشخصات دستگاه‌های اندازه‌گیری و پاسخ نمونه محدود است. استفاده از فرکانس‌های زاویه‌ای پایین‌تر از  $0.1 \text{ rad/s}$  زمان آزمون را به طور محسوسی افزایش می‌دهد زیرا زمان اندازه‌گیری با فرکانس زاویه‌ای نسبت عکس دارد. در نتیجه، هنگام آزمون نمونه در فرکانس‌های زاویه‌ای پایین، احتمال تخریب یا پلیمریزاسیون نمونه و تاثیر بر روی نتایج وجود دارد. در فرکانس‌های زاویه‌ای بالا امکان دارد در لبه نمونه واپیچیدگی یا شکستگی دیده شود که منجر به ابطال نتایج می‌شود.

**یادآوری ۲** - گستره مقادیر ویسکوزیته برشی مختلط قابل اندازه‌گیری به ابعاد نمونه و مشخصات وسایل اندازه‌گیری بستگی دارد. برای نمونه با ابعاد مشخص، حد بالای گستره توسط ظرفیت گشتاور دستگاه، تفکیک‌پذیری تغییر مکان زاویه‌ای و نرم‌واری<sup>۱</sup> دستگاه محدود شده، هر چند می‌توان تصحیحاتی را برای تاثیرات نرم‌واری اعمال کرد.

### ۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۴۱۶، پلاستیک‌ها - تعیین خواص دینامیکی مکانیکی - قسمت اول :  
اصول کلی



۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۷۴۴۲-۱، درستی (صحت و دقت) روش‌ها و نتایج اندازه‌گیری - قسمت اول : تعاریف و اصول کلی

### 2-3 ISO 472 : 1999 , Plastics - Vocabulary

#### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۴۱۶، استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۴۴۲ و استاندارد ISO 472، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود :

##### ۱-۳

#### روش کرنش کنترل شده

آزمون با اعمال تغییر مکان زاویه‌ای سینوسی با دامنه ثابت است.

##### ۲-۳

#### روش تنش کنترل شده

آزمون با اعمال گشتاور سینوسی با دامنه ثابت است.

##### ۳-۳

#### ویسکوزیته برشی مختلط $\eta^*$

نسبت تنش دینامیکی  $\sigma(t) = \sigma_o \exp i\omega t$  به نرخ دینامیکی کرنش  $\dot{\gamma}(t)$  که کرنش برشی  $\gamma(t)$  از معادله  $\gamma(t) = \gamma_o \exp i(\omega t - \delta)$  برای ماده ویسکوالاستیکی در معرض ارتعاش سینوسی به دست آمده که  $\sigma_o$  و  $\gamma_o$  دامنه تنش و کرنش سیکل‌ها،  $\omega$  فرکانس زاویه‌ای،  $\delta$  زاویه فاز مابین تنش و کرنش و  $t$  زمان می‌باشد.

یادآوری - ویسکوزیته برشی مختلط بر حسب پاسکال ثانیه بیان می‌شود.

##### ۴-۳

#### ویسکوزیته برشی دینامیکی $\eta'$

قسمت حقیقی ویسکوزیته مختلط برشی است.

یادآوری - ویسکوزیته برشی دینامیکی بر حسب پاسکال ثانیه بیان می‌شود.

##### ۵-۳

#### مؤلفه ناهمفاز ویسکوزیته برشی مختلط $\eta''$

قسمت موهومی ویسکوزیته مختلط برشی است.

یادآوری - مؤلفه ناهمفاز ویسکوزیته برشی مختلط بر حسب پاسکال ثانیه بیان می‌شود.

## ۴ اصول کلی

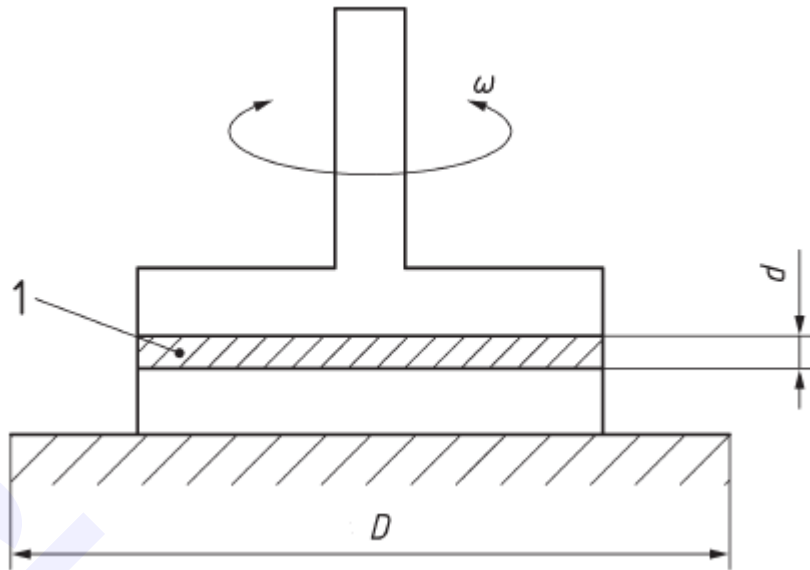
نمونه بین دو صفحه دایره‌ای هم محور و موازی نگهداشته می‌شود (به شکل ۱ مراجعه شود). ضخامت نمونه در مقایسه با قطر صفحه کم است. نمونه در معرض گشتاور سینوسی یا تغییر مکان زاویه‌ای سینوسی با فرکانس زاویه‌ای ثابت که روش "تنش کنترل شده" و روش "کرنش کنترل شده" نامیده می‌شوند، قرار می‌گیرد. هنگام استفاده از روش تنش کنترل شده، تغییر مکان و جابجایی فاز مابین گشتاور و تغییر مکان اندازه‌گیری می‌شود. هنگام استفاده از روش کرنش کنترل شده، گشتاور و جابجایی فاز بین تغییر مکان و گشتاور اندازه‌گیری می‌شود. مدول برشی مختلط  $G^*$ ، مدول برشی ذخیره  $G'$ ، مدول برشی اتلاف  $G''$ ، زاویه فاز  $\delta$  و ویسکوزیته برشی مرتبط (به بند ۳ مراجعه شود) با استفاده از گشتاور و تغییر مکان و ابعاد نمونه تعیین می‌شوند. در محاسبه این مقادیر فرض می‌شود که نمونه از خود، رفتار ویسکوالاستیک خطی ارائه می‌دهد.

روش ارتعاش استفاده شده، روش I (به بند ۴ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۴۱۶ مراجعه شود) است.

## ۵ دستگاه آزمون

### ۱-۵ وسیله اندازه‌گیری

وسیله اندازه‌گیری شامل دو صفحه موازی، هم محور و صلب بوده که نمونه بین دو صفحه قرار می‌گیرد (به شکل ۱ مراجعه شود). یکی از این صفحات باید در یک فرکانس زاویه‌ای ثابت به نوسان درآمده در حالی که صفحه دیگر بی‌حرکت است. دستگاه باید قابلیت اندازه‌گیری گشتاور و تغییر مکان زاویه‌ای و زاویه فاز بین آن‌ها را برای نمونه در معرض گشتاور سینوسی با فرکانس زاویه‌ای ثابت داشته باشد. یک وسیله اندازه‌گیری گشتاور باید به یکی از صفحات وصل شود تا گشتاور مورد نیاز برای غلبه بر مقاومت ویسکوالاستیکی نمونه اندازه‌گیری شود. وسیله اندازه‌گیری تغییر مکان زاویه‌ای نیز باید جهت تعیین تغییر مکان زاویه‌ای و فرکانس زاویه‌ای به صفحه متحرک وصل شود. دستگاه باید قابلیت اندازه‌گیری گشتاور با دقت  $\pm 2\%$  کمترین مقدار گشتاور استفاده شده برای تعیین خواص دینامیکی، تغییر مکان زاویه‌ای با دقت  $20 \times 10^{-6} \text{ rad}$  رادیان و فرکانس زاویه‌ای را با دقت  $\pm 2\%$  مقدار مطلق آن داشته باشد.



راهنما:

۱	آزمونه
$\omega$	فرکانس زاویه ای
$d$	ضخامت آزمونه
$D$	قطر صفحه

شکل ۱ - رئومتر صفحه موازی

#### ۲-۵ محفظه با کنترل دما

گرمایش به روش همرفت اجباری، با فرکانس رادیویی و یا روش‌های مناسب دیگر فراهم می‌شود. به منظور فراهم شدن محیط آزمون، مجموعه صفحه-نمونه توسط یک محفظه، برای مثال محفظه با گاز نیتروژن احاطه می‌شود. دقت شود که محفظه در تماس با مجموعه صفحه-نمونه نباشد.

#### ۳-۵ اندازه گیری و کنترل دما

دمای آزمون باید با استفاده از وسیله‌ای که یا به صفحه ثابت متصل شده و یا در آن قرار گرفته اندازه‌گیری شود. دمای آزمون باید برای دماهای بالاتر از  $200^{\circ}\text{C}$  با دقت  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  و برای دماهای بین  $200^{\circ}\text{C}$  تا  $300^{\circ}\text{C}$  با دقت  $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$  و برای دماهای بالاتر از  $300^{\circ}\text{C}$  با دقت  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  دمای تنظیم شده، اعمال شود. تفکیک‌پذیری وسیله اندازه‌گیری دما باید برابر  $0.1^{\circ}\text{C}$  بوده و با استفاده از وسیله‌ای با دقت  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  کالیبره شود.

#### ۴-۵ مجموعه صفحه/نمونه

مجموعه صفحه-نمونه شامل دو صفحه موازی هم محور است که نمونه بین دو صفحه قرار می‌گیرد. حداکثر زبری ( $Ra$ ) صفحه برابر  $0.25 \mu\text{m}$  بوده و نباید هیچ عیب قابل مشاهده‌ای در آن وجود داشته باشد. ممکن است نتایج حاصله به نوع ماده‌ای که از آن برای شکل‌دادن به سطح نمونه استفاده شده بستگی داشته باشد. قطر صفحه  $D$  در گستره  $20 \text{ mm}$  الی  $50 \text{ mm}$  بوده و با دقت  $\pm 0.1 \text{ mm}$  اندازه‌گیری شود. ضخامت نمونه  $d$  باید با فاصله صفحات مشخص شده و با دقت  $\pm 0.1 \text{ mm}$  تعیین شود. پیشنهاد می‌شود که ضخامت نمونه در

گستره ۰/۵ mm الی ۳ mm و نسبت قطر صفحه به ضخامت نمونه در گستره ۱۰ الی ۵۰ باشد تا مقدار خطای تعیین خواص به حداقل برسد. ممکن است برای مایعات پلیمری با ویسکوزیته پایین، از مقادیر خارج از این گستره‌های پیشنهادی استفاده شود. هر اختلاف در فاصله صفحه‌ها، به علت موازی نبودن آن‌ها، باید کمتر از ۰/۱ mm باشد. تغییر در فاصله بین صفحه‌ها در هنگام آزمون باید کمتر از ۰/۱ mm  $\pm$  باشد.

## ۵-۵ کالیبراسیون

رنومتر باید به طور متناوب با اندازه‌گیری گشتاور، تغییر مکان زاویه‌ای و پاسخ فرکانس زاویه‌ای دستگاه یا با استفاده از مایعات مرجع با ویسکوزیته مختلط مشخص برابر دستورالعمل سازنده دستگاه کالیبره شود. پیشنهاد می‌شود ویسکوزیته مختلط مایعات مرجع استفاده‌شده برای کالیبراسیون در همان گستره‌ای باشد که نمونه در آن آزمون می‌شود. به طور ترجیحی، کالیبراسیون در همان دمای آزمون انجام شود.

## ۶ نمونه برداری

روش نمونه‌برداری و روش تهیه و آماده‌سازی نمونه باید بر حسب استاندارد ماده مربوطه و یا به صورت توافق‌شده مشخص شود. هر چند، نمونه‌ها به طور معمول کوچک، از ۳ g الی ۵ g، هستند اما لازم است که بیانگر خواص مواد نمونه‌برداری شده باشند.

اگر نمونه‌ها نم‌گیر و یا شامل مواد فرار باشند باید طوری انبارش شوند که تغییری در ویسکوزیته آن‌ها به وجود نیاید و یا تغییر به کمترین مقدار برسد. شاید لازم باشد نمونه‌ها پیش از تهیه آزمون خشک شوند. هنگام تهیه نمونه‌ها به روش قالب‌گیری تزریقی یا قالب‌گیری فشاری یا با برش از صفحه، نمونه‌ها باید به شکل یک صفحه گرد باشند. یک روش جایگزین برای شکل‌دادن به آزمون می‌تواند قراردادن گرانول‌های پلیمری یا پلیمرمایع یا پلیمر ذوب‌شده بین صفحات باشد. می‌توان از نمونه در حالت مذاب، در صورت حساس نبودن به اکسیداسیون و یا به از دست دادن مواد فرار استفاده کرد. نمونه نباید دارای ناخالصی قابل مشاهده یا حباب‌های هوا باشد و همچنین قبل و بعد از آزمون نباید تغییر رنگ یا رنگ‌پریدگی از خود نشان دهد.

## ۷ روش آزمون

### ۱-۷ دمای آزمون

به طور معمول به دلیل وابستگی ویسکوزیته به دما، اندازه‌گیری به منظور مقایسه باید در دماهای یکسان انجام شود. جزییات باید مطابق استاندارد مواد تحت آزمون و در غیر این صورت با توافق طرفین مشخص شود.

### ۲-۷ صفر کردن فاصله

به دستگاه فرصت داده شود تا در دمای خواسته‌شده به تعادل حرارتی برسد. زمان پیشنهادی ۱۵ min الی ۳۰ min است. صفحات در تماس با هم قرار گرفته و شاخص فاصله بر روی صفر تنظیم شود.

### ۳-۷ معرفی آزمون

همان طور که در بند ۶ بیان شد، نمونه باید در حالت جامد یا مذاب درون دستگاه قرار گرفته و به طور کامل فاصله دو صفحه را پر کند. قبل از شروع آزمون باید هر ماده اضافی در اطراف لبه‌های صفحات برداشته شود. شاید لازم باشد که بعد از تمیز کردن زائده‌ها جهت بهتر شدن تماس، نمونه به نرمی فشار داده شود. اما برای اطمینان از بیرون رفتن نمونه از لبه صفحات باید احتیاط‌های لازم در نظر گرفته شود. سپس باید به نمونه و صفحات اجازه داده شود تا در دمای آزمون به تعادل دمایی برسند. این دوره زمانی، زمان پیش گرمایش نامیده می‌شود. زمان پیش گرمایش برای هر کدام از پارامترهای: دستگاه آزمون، شکل مجموعه صفحه-نمونه، نوع پلیمر، ضخامت نمونه، روش اعمال بار و دمای آزمون باید با تکرار آزمون با استفاده از زمان پیش گرمایشی که ۱۰٪ بیشتر است (به یادآوری زیر مراجعه شود) تعیین شود. اگر در مقادیر اندازه‌گیری شده مدول مختلط برشی  $G^*$ ، مدول ذخیره برشی  $G'$  و مدول اتلاف برشی  $G''$  تغییری مشاهده نشد، در نتیجه زمان پیش گرمایش برای تعادل گرمایی مورد نظر کافی است.

**یادآوری-** این بررسی می‌تواند با آزمون تعیین تثبیت حرارتی مواد تشکیل‌دهنده نمونه یکی شود (به بند ۶-۷ مراجعه شود). هنگام رسیدن دستگاه و نمونه به دمای آزمون، ضخامت  $d$  برابر با فاصله صفحه‌ها، اندازه‌گیری شود (به بند ۴-۵ مراجعه شود). این مقدار ضخامت نمونه باید در تمام محاسبات استفاده شود.

### ۴-۷ شرایط تثبیت آزمون

آزمون قبل از آزمون با نگهداشته شدن در برش صفر در دمای آزمون برای یک دوره مشخص زمان و/یا با پیش برش آماده شود.

### ۵-۷ روش آزمون (تنش کنترل شده یا کرنش کنترل شده)

آزمون با استفاده از دستگاه‌های طراحی شده بر اساس روش تنش کنترل شده و یا روش کرنش کنترل شده انجام می‌شود. در روش کرنش کنترل شده، تغییر مکان سینوسی در فرکانس زاویه‌ای ثابت اعمال شده و گشتاور سینوسی حاصل و انتقال فاز بین گشتاور و تغییر مکان اندازه‌گیری می‌شود. در این استاندارد ملی اندازه‌گیری خواص جریان دینامیکی نمونه به ناحیه رفتار ویسکوالاستیک خطی محدود است. برای روش‌های تعیین حدود ناحیه رفتار ویسکوالاستیک-خطی به بند ۷-۷ مراجعه شود.

### ۶-۷ تعیین تثبیت حرارتی مواد تشکیل‌دهنده نمونه

قبل از آزمون یک ماده مخصوص، یک اجرای زمان‌دار در دمای آزمون برای تعیین تثبیت حرارتی مواد انجام شود. اجرا باید با استفاده از شکل مشابه مجموعه صفحه-نمونه و فرکانس‌های زاویه‌ای و گشتاور و یا تغییر مکان‌های زاویه‌ای استفاده شده شبیه آزمون‌های بعدی انجام شود. شاید به انجام عملیات در بیش از یک فرکانس ارتعاش نیاز باشد (به یادآوری ۱ مراجعه شود). زمان تثبیت حرارتی به عنوان زمان صرف شده از شروع عملیات تا زمانی است که هر یک از مقادیر اندازه‌گیری شده  $G^*$ ،  $G'$  و  $G''$  تا ۵٪ مقدار اولیه خود تغییر کنند (به یادآوری ۲ مراجعه شود). این مورد باید به صورت زمان در یک دما و فرکانس زاویه‌ای، برای

مثال ۵۰۰ s در  $250^{\circ}\text{C}$  و  $1\text{ rad/s}$  بیان شود. اندازه‌گیری‌های بعدی بر روی نمونه‌های جدید مشابه باید در یک زمان کوتاه‌تر از زمان تثبیت دمایی انجام شود.

**یادآوری ۱** - هنگام آزمون در فرکانس‌های ارتعاشی پایین، به طور معمول تاثیرات تخریب نمونه بر خواص جریانی بسیار راحت‌تر قابل شناسایی هستند.

**یادآوری ۲** - شاید لازم باشد برای بعضی مواد، نتایج ابتدایی اشتباه هنگام تعیین مقادیر اولیه مدول‌ها کنار گذاشته شود. شاید به دست آوردن نتایج مورد انتظار در مدت زمان تثبیت دمایی به علت واپاشی سریع یا اتصال عرضی مواد امکان‌پذیر نباشد. در این حالت، نتایج آزمون باید درصد تغییر پیش‌آمده در طول آزمون را بیان کند که این مقدار از عملیات زمان‌بندی شده تعیین می‌شود.

## ۷-۷ تعیین ناحیه رفتار ویسکوالاستیکی خطی

### ۱-۷-۷ در روش کرنش کنترل شده

هنگام استفاده از روش کرنش کنترل شده، حداکثر دامنه ارتعاش مجاز، با اعمال کرنش تعیین شود. اعمال کرنش باید با استفاده از شکل مشابه مجموعه صفحه-نمونه و فرکانس زاویه‌ای و دمای مشابه مورد استفاده در آزمون‌های بعدی انجام شود. شاید به اندازه‌گیری کرنش در بیش از یک فرکانس ارتعاش نیاز باشد تا هر وابستگی حدود رفتار ویسکوالاستیک خطی به فرکانس زاویه‌ای بررسی شود. نمونه با افزایش گشتاور، روی گستره‌ای از مقادیر مورد آزمون قرار می‌گیرد. بهتر است با گشتاوری شروع شود که مقدار آن در لبه صفحه بیش از ۱٪ نباشد.

مدول برشی مختلط  $G^*$ ، مدول ذخیره برشی  $G'$  و مدول اتلاف برشی  $G''$  به عنوان تابعی از دامنه ارتعاش برای تعیین حداکثر دامنه ارتعاش مجاز جهت اندازه‌گیری‌های درون ناحیه ویسکوالاستیکی خطی تعیین شود. حداکثر مقدار کرنش که می‌توان در آزمون‌های واقعی استفاده کرد باید از کمترین مقدار کرنشی که در آن یک انحراف ۵٪ در مقدار هر کدام از پارامترهای  $G^*$ ،  $G'$  و  $G''$ ، در مقایسه با مقدارشان در ناحیه رفتار ویسکوالاستیک خطی، رخ می‌دهد کمتر باشد. اگر تعیین خصوصیات درون ناحیه ویسکوالاستیک خطی امکان‌پذیر نباشد، این مورد باید در گزارش آزمون بیان شود.

**یادآوری** - برای بعضی از مواد، ناحیه ویسکوالاستیک خطی به کرنش‌های خیلی کوچک منحصر می‌باشد. خطاهای اندازه‌گیری از تعیین خواص به طور قابل اعتماد در این ناحیه جلوگیری می‌کند.

### ۲-۷-۷ در حالت کنترل تنش

هنگام استفاده از حالت تنش کنترل شده، گستره رفتار ویسکوالاستیک-خطی با انجام یک عملیات اعمال تنش تعیین شود. اعمال تنش باید با استفاده از شکل مشابه مجموعه صفحه-نمونه و فرکانس زاویه‌ای و دمای مشابه استفاده شده در آزمون‌های بعدی ترتیب داده شود. شاید به اندازه‌گیری در بیش از یک فرکانس ارتعاش نیاز باشد تا هر وابستگی حدود رفتار ویسکوالاستیک-خطی به فرکانس زاویه‌ای بررسی شود. نمونه

با افزایش گشتاور روی گستره‌ای از مقادیر آزمون شود. به طور ترجیحی با گشتاوری شروع شود که مقدار آن در لبه صفحه بیش از ۱٪ نباشد.

مدول مختلط برشی  $G^*$ ، مدول ذخیره برشی  $G'$  و مدول اتلاف برشی  $G''$  به عنوان تابعی از دامنه ارتعاش برای تعیین ماکزیمم دامنه ارتعاش مجاز جهت اندازه‌گیری‌های درون ناحیه ویسکوالاستیک-خطی اندازه‌گیری شود. حداکثر مقدار کرنش که می‌توان در آزمون‌های واقعی استفاده کرد باید از کمترین مقدار کرنشی که در آن یک انحراف ۵٪ در مقدار هر کدام از پارامترهای  $G^*$ ،  $G'$  و  $G''$ ، در مقایسه با مقدارشان در ناحیه رفتار ویسکوالاستیک خطی، رخ می‌دهد کمتر باشد. اگر تعیین خصوصیات درون ناحیه ویسکوالاستیک-خطی امکان‌پذیر نباشد، این مورد باید در گزارش آزمون بیان شود (به یادآوری بند ۷-۷-۱ مراجعه شود).

### ۷-۷-۳ تاثیر رفتار ویسکوالاستیکی خطی

ممکن است یک بررسی بیشتر، جهت تایید اندازه‌گیری‌های انجام‌شده درون ناحیه رفتار ویسکوالاستیک-خطی انجام شود. بنابراین با فرض چنین رفتاری برای تغییر مکان سینوسی اعمال‌شده و یا گشتاور اعمال‌شده، نتایج خروجی گشتاور یا تغییر مکان، سینوسی خواهد بود. خروجی غیرسینوسی بیانگر رفتار غیرخطی است. در این صورت فرض‌های انجام‌شده در تجزیه تحلیل اطلاعات آزمایشگاهی معتبر نبوده و در نتیجه مقادیر مدول‌ها و ویسکوزیته تعیین شده نادرست هستند. در صورت انجام چنین بررسی‌هایی، این مورد باید در گزارش آزمون بیان شود.

### ۷-۸ اعمال فرکانس

هنگام اعمال فرکانس بر روی نمونه، به‌خصوص هنگام آزمون در فرکانس‌های پایین و برای پیچش یا شکستگی نمونه در فرکانس‌های بالا نیاز به بررسی تخریب نمونه است. تغییرات نمونه به عنوان مثال تخریب، اتصال عرضی یا حرکت ناپایدار مذاب می‌تواند بر نتایج آزمون تاثیر گذارد. تاثیر این تغییرات را می‌توان با انجام یک اندازه‌گیری تکراری در پایان آزمون بر روی همان نمونه در شرایط استفاده‌شده در شروع آزمون و سپس مقایسه نتایج با هم مشخص کرد. اگر پیچیدگی نمونه در انتهاهای صفحات، که به طور عمومی به عنوان حرکت ناپایدار مذاب شناخته می‌شود، رخ دهد در نتیجه اندازه‌گیری‌ها اعتبار خود را از دست می‌دهند، هر چند نتایج به‌دست آمده قبل از پیچیدگی نمونه معتبر خواهند ماند.

### ۷-۹ اعمال دما

هنگام اعمال دما از یک دمای پایین تا یک دمای بالا، از تماس فیزیکی خوب میان نمونه و صفحات اطمینان حاصل شود. با ذوب نمونه بین صفحات (قبل از آزمون) و خنک کردن آن تا رسیدن به دمای مورد نیاز برای شروع آزمون این اطمینان حاصل خواهد شد. هنگام اعمال دما باید به اعمال یک تصحیح مربوط به تغییر ابعاد مجموعه به دلیل انبساط حرارتی توجه شود. در بعضی از سامانه‌ها، نرم‌افزاری وجود دارد که این تصحیحات را به صورت خودکار با استفاده از ضریب انبساط خطی تجهیزات ثابت محاسبه می‌کند. همچنین به بند ۷-۸ در خصوص تجزیه و پیچیدگی نمونه مراجعه شود.

## ۸ بیان نتایج

### ۸-۱ نمادها

$D$	قطر صفحه بر حسب متر؛
$d$	فاصله صفحه‌ها بر حسب متر؛
$T$	گشتاور بر حسب نیوتن متر؛
$\theta$	تغییر مکان زاویه‌ای بر حسب رادیان؛
$\omega$	فرکانس زاویه‌ای بر حسب رادیان بر ثانیه ( $\omega = 2\pi f$ ) که $f$ فرکانس بر حسب هرتز است؛
$\sigma$	تنش برشی بر حسب پاسکال؛
$\gamma$	کرنش برشی بر حسب عدد بدون بعد؛
$G'$	مدول ذخیره برشی بر حسب پاسکال؛
$G''$	مدول اتلاف برشی بر حسب پاسکال؛
$G^*$	مدول برشی مختلط بر حسب پاسکال؛
$\eta'$	ویسکوزیته برشی دینامیکی بر حسب پاسکال ثانیه؛
$\eta''$	مؤلفه ناهمفاز ویسکوزیته برشی مختلط بر حسب پاسکال ثانیه؛
$\eta^*$	ویسکوزیته برشی مختلط بر حسب پاسکال ثانیه؛
$\delta$	انتقال فاز یا زاویه اتلاف بر حسب رادیان؛
$t$	زمان بر حسب ثانیه.

### ۸-۲ محاسبه مدول مختلط برشی و ویسکوزیته مختلط برشی

برای مایع ویسکوالاستیکی - خطی که در معرض تنش هم‌آهنگ  $\sigma(t)$  قرار گرفته است :

$$\sigma(t) = \sigma_o \exp i\omega t \quad (1)$$

در نتیجه در کرنش هم‌آهنگ  $\gamma(t)$  از معادله زیر به دست می آید :

$$\gamma(t) = \gamma_o \exp i(\omega t - \delta) \quad (2)$$

که در این معادله :

$\sigma_o$  و  $\gamma_o$  به ترتیب دامنه‌های تنش و کرنش

$\omega$  فرکانس زاویه‌ای

$\delta$  انتقال فاز یا زاویه اتلاف بین تنش و کرنش

و کمیت‌های زیر :

$$G' = \sigma_o \cos(\delta) / \gamma_o \quad \text{مدول ذخیره برشی}$$

$$G'' = \sigma_o \sin(\delta) / \gamma_o \quad \text{مدول اتلاف برشی}$$

$$G^* = G' + iG'' \quad \text{مدول برشی مختلط}$$

$$\eta' = G'' / \omega \quad \text{ویسکوزیته برشی دینامیکی}$$



مولفه ناهم‌فاز ویسکوزیته مختلط برشی  
ویسکوزیته برشی مختلط

$$\eta'' = G' / \omega$$

$$\eta^* = \eta' - i \eta''$$

$$i = \sqrt{-1}$$

که :

که می‌توان  $G^*$  را به صورت زیر بیان کرد :

$$G^* = i \omega \eta^* \quad (3)$$

برای نوسان اجباری یک مجموعه صفحه موازی و با فرض پاسخ نمونه ویسکوالاستیک-خطی، معادله کنترل حرکت جریان از معادله زیر به دست می‌آید :

$$T_0 = (\pi D^4 / 32 d) [G'(\omega) + i G''(\omega) \theta_0 \exp(-i \delta)] \quad (4)$$

که :

$$T_0 \quad \text{دامنه گشتاور؛}$$

$$\theta_0 \quad \text{دامنه تغییر مکان زاویه ای؛}$$

در این معادله فرض شده که مقادیر اینرسی و نرم‌واری کوچک هستند. خطاهای مرتبط با این فرض به طور معمول هنگام آزمون مذاب‌های پلیمری، کوچک هستند، به خصوص وقتی که از فرکانس‌های زاویه‌ای پایین استفاده شود و وقتی که سفتی نمونه درمقایسه با سفتی دستگاه کمتر باشد (به یادآوری زیر مراجعه شود).

یادآوری - تصحیحات برای مقادیر اینرسی و نرم‌واری توسط مؤلفین مختلفی مانند مارین<sup>[1]</sup>، والتر<sup>[2]</sup> و ورلو<sup>[3]</sup> ارائه شده است.

بنابراین برای یک فرکانس زاویه‌ای داده‌شده، مدول ذخیره برشی  $G'$  و مدول اتلاف برشی  $G''$  از معادلات زیر به دست می‌آید :

$$G' = 32 d T_0 \cos(\delta) / \theta_0 \pi D^4 \quad (5)$$

و

$$G'' = 32 d T_0 \sin(\delta) / \theta_0 \pi D^4 \quad (6)$$

انتقال فاز  $\delta$  به صورت آزمایشگاهی تعیین می‌شود.

از روابط بین مدول‌های برشی و ویسکوزیته‌های بیان‌شده در بالا، معادلات زیر به دست می‌آید :

$$\eta' = 32 d T_0 \sin(\delta) / \omega \theta_0 \pi D^4 \quad (7)$$

و

$$\eta'' = 32 d T_0 \cos(\delta) / \omega \theta_0 \pi D^4 \quad (8)$$

برای تغییر مکان زاویه‌ای  $\theta$ ، کرنش  $\gamma$  نمونه در لبه صفحه از معادله زیر به دست می‌آید :

$$\gamma = \theta D / 2 d \quad (9)$$

به طور معمول دستگاه‌های موجود در بازار از نرم‌افزار برای تعیین مقادیر مدول مختلط برشی و مولفه‌های حقیقی و مجازی آن با استفاده از اطلاعات اولیه استفاده می‌کنند. ممکن است روشی که با استفاده از آن، اطلاعات اولیه گشتاور و دامنه و انتقال فاز بین گشتاور سینوسی و توابع دامنه به دست آمده و تجزیه تحلیل می‌شود، تغییر کند. همچنین امکان دارد تصحیحات تاثیرات اینرسی و نرم‌واری در صورت اعمال تغییر کند. مشخصات این روش‌ها از دامنه این استاندارد خارج است. در جایی که روش‌های آزمون به طور کلی با آنچه در اینجا ارائه شد متفاوت باشد، باید اصولی که دستگاه مقادیر مدول و ویسکوزیته را بر پایه آن تعیین می‌کند، در گزارش آزمون بیان شود.

## ۹ دقت

مقادیر دقت بیان شده در جدول ۱ طی یک برنامه آزمون در سال ۱۹۹۵ میلادی با حضور ۱۰ آزمایشگاه در سه فرکانس زاویه‌ای انجام و تعیین شده است<sup>[۴]</sup>.

$s_r$  و  $s_R$  به ترتیب انحراف معیار تکرارپذیری و تجدیدپذیری و  $r$  و  $R$  به ترتیب گستره تکرارپذیری و تجدیدپذیری هستند (به استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۴۴۲ مراجعه شود).  $m$  میانگین مقدار مدول در فرکانس زاویه ای داده شده است.

نتایج حاصل از آزمون گردشی بر روی دو ماده در جدول ۱ نشان داده شده است: ماده اول، پلی اتیلن با چگالی بالا (PE-HD) و ماده دوم، پروپیلن (PP) است. نمونه‌های از جنس پلی اتیلن با روش قالب‌گیری فشاری و نمونه‌های از جنس پلی پروپیلن با روش قالب‌گیری تزریقی تهیه شدند. تمام نمونه‌ها توسط هماهنگ‌کننده آزمون دوره‌ای تهیه شد. وسایل و دستگاه‌های استفاده شده شامل هر دو نوع رئومتر نوع کرنش کنترل شده و تنش کنترل شده بود.

جدول ۱ - داده های دقت برای رئومتر نوسانی پلیمرهای پلی اتیلن و پلی پروپیلن

پلی اتیلن در $190^{\circ}C$ ، $G'$					
تجدید پذیری		تکرار پذیری		میانگین $m$	فرکانس زاویه‌ای
$R$ (%)	$s_R$ (%)	$r$ (%)	$s_r$ (%)	$pa$	$rad \cdot s^{-1}$
۲۶٫۴	۹٫۴	۸٫۴	۳٫۰	۶۱۳۰	۱
۲۴٫۸	۸٫۹	۵٫۵	۲٫۰	۲۵۵۰۰	۱۰
۲۲٫۲	۷٫۹	۴٫۴	۱٫۶	۹۱۳۰۰	۱۰۰
پلی اتیلن در $190^{\circ}C$ ، $G''$					
تجدید پذیری		تکرار پذیری		میانگین $m$	فرکانس زاویه‌ای
$R$ (%)	$s_R$ (%)	$r$ (%)	$s_r$ (%)	$pa$	$rad \cdot s^{-1}$
۲۳٫۹	۸٫۵	۴٫۵	۱٫۶	۸۳۲۰	۱
۲۳٫۴	۸٫۴	۳٫۷	۱٫۳	۲۸۹۰۰	۱۰
۲۱٫۰	۷٫۵	۴٫۳	۱٫۲	۷۹۶۰۰	۱۰۰
پلی پروپیلن در $210^{\circ}C$ ، $G'$					
تجدید پذیری		تکرار پذیری		میانگین $m$	فرکانس زاویه‌ای
$R$ (%)	$s_R$ (%)	$r$ (%)	$s_r$ (%)	$pa$	$rad \cdot s^{-1}$
۳۱٫۷	۱۱٫۳	۹٫۴	۳٫۴	۱۵۹۰	۱
۲۹٫۳	۱۰٫۵	۶٫۹	۲٫۵	۱۲۰۰۰	۱۰
۲۶٫۱	۹٫۳	۷٫۱	۲٫۵	۴۷۸۰۰	۱۰۰
پلی پروپیلن در $210^{\circ}C$ ، $G''$					
تجدید پذیری		تکرار پذیری		میانگین $m$	فرکانس زاویه‌ای
$R$ (%)	$s_R$ (%)	$r$ (%)	$s_r$ (%)	$pa$	$rad \cdot s^{-1}$
۲۸٫۸	۱۰٫۳	۶٫۶	۲٫۴	۳۸۸۰	۱
۲۶٫۷	۹٫۵	۶٫۸	۲٫۴	۱۵۴۰۰	۱۰
۲۵٫۶	۹٫۱	۷٫۷	۲٫۷	۳۶۰۰۰	۱۰۰

عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری‌های انجام شده بر اساس این استاندارد ملی در پیوست الف شرح داده شده است.

## ۱۰ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل حداقل آگاهی‌های زیر باشد :

- ۱-۱۰ اشاره به شماره این استاندارد ملی؛
- ۲-۱۰ شماره آزمون مرجع؛
- ۳-۱۰ اطلاعات کامل شخص آزمون‌کننده؛
- ۴-۱۰ تمام جزئیات مورد نیاز جهت شناسایی مواد تحت آزمون؛
- ۵-۱۰ جزئیات تهیه نمونه و جادادن آن بین صفحات؛
- ۶-۱۰ مشخصات رئومتر استفاده شده شامل قطر صفحه، جدایش صفحه و مواد شکل‌دهنده سطح صفحه؛
- ۷-۱۰ دمای آزمون بر حسب درجه سلسیوس؛
- ۸-۱۰ زمان پیش‌گرمایش بر حسب ثانیه؛
- ۹-۱۰ جزئیات زمان به تعادل رسیدن و هر آماده‌سازی پیش برشی؛
- ۱۰-۱۰ زمان تثبیت حرارتی بر حسب ثانیه؛
- ۱۱-۱۰ مدت زمان آزمون بر حسب ثانیه؛
- ۱۲-۱۰ در آزمون با روش تنش کنترل شده، مقدار تنش در لبه صفحه بر حسب پاسکال؛  
یا  
در آزمون با روش کرنش کنترل شده، مقدار کرنش در لبه صفحه بر حسب عدد بدون بعد؛
- ۱۳-۱۰ در صورت نیاز، هر کدام از کمیت‌های زیر بر حسب تابعی از دامنه کرنش، فرکانس زاویه‌ای، دما و یا زمان :
  - مدول ذخیره برشی  $G'$  بر حسب پاسکال؛
  - مدول اتلاف برشی  $G''$  بر حسب پاسکال؛
  - مدول برشی مختلط  $G^*$  بر حسب پاسکال؛
  - ویسکوزیته برشی دینامیکی  $\eta'$  بر حسب پاسکال ثانیه؛
  - مولفه ناهمفاز ویسکوزیته مختلط  $\eta''$  بر حسب پاسکال ثانیه؛
  - ویسکوزیته مختلط  $\eta^*$  بر حسب پاسکال ثانیه؛
  - انتقال فاز یا زاویه اتلاف  $\delta$  بر حسب رادیان؛
  - مقدار  $\tan \delta$ ؛
- ۱۴-۱۰ جزئیات هر تصحیح اعمال شده بر روی داده‌ها؛
- ۱۵-۱۰ هر جریان ناپایدار مذاب یا تجزیه مشاهده شده در نمونه؛
- ۱۶-۱۰ هر شرط آزمون مورد توافق منحرف شده از این استاندارد؛
- ۱۸-۱۰ تاریخ انجام آزمون.

## پیوست الف

### (اطلاعاتی)

#### حدود عدم قطعیت

مدول ذخیره و اتلاف به ترتیب از معادلات زیر به دست می آیند:

$$G' = \frac{32 d T_0 \cos \delta}{\theta_0 \pi D^4} \quad (\text{الف-۱})$$

و

$$G'' = \frac{32 d T_0 \sin \delta}{\theta_0 \pi D^4} \quad (\text{الف-۲})$$

عدم قطعیت‌های نسبی به ترتیب از معادلات زیر به دست می آیند:

$$\underline{G'} = \left[ \underline{d}^2 + \underline{T_0}^2 + (\underline{\cos \delta})^2 + \underline{\theta_0}^2 + 4 \underline{D}^2 \right]^{0.5} \quad (\text{الف-۳})$$

و

$$\underline{G''} = \left[ \underline{d}^2 + \underline{T_0}^2 + (\underline{\sin \delta})^2 + \underline{\theta_0}^2 + 4 \underline{D}^2 \right]^{0.5} \quad (\text{الف-۴})$$

که مقادیر زیرخطدار، عدم قطعیت نسبی در هر کدام از عبارتها را نشان می دهد. عدم قطعیت نسبی به صورت نسبت عدم قطعیت هر کمیت، به طور مثال درجه بندی و یا تفکیک پذیری کمیت، به مقدار آن کمیت بیان می شود. به طور مثال برای اندازه گیری تغییر مکان زاویه ای  $20 \times 10^{-4}$  rad رادیان با دقت  $\pm 20 \times 10^{-6}$ ، عدم قطعیت نسبی اندازه گیری برابر ۰٫۰۱ است.

برای به حساب آوردن سهم مربوط به عدم قطعیت در اندازه گیری فرکانس زاویه ای، وابستگی دمایی و تاثیرات تجزیه ویسکوالاستیکی غیر خطی، عبارات بالا برای عدم قطعیت در اندازه گیری  $G'$  و  $G''$  می تواند دوباره به صورت زیر نوشته شود:

$$\underline{G'} = \left[ \underline{d}^2 + \underline{T_0}^2 + (\underline{\cos \delta})^2 + \underline{\theta_0}^2 + 4 \underline{D}^2 + \underline{F}^2 + \underline{\phi}^2 + \underline{DE}^2 + \underline{SL}^2 \right]^{0.5} \quad (\text{الف-۵})$$

و

$$\underline{G''} = \left[ \underline{d}^2 + \underline{T_0}^2 + (\underline{\sin \delta})^2 + \underline{\theta_0}^2 + 4 \underline{D}^2 + \underline{F}^2 + \underline{\phi}^2 + \underline{DE}^2 + \underline{SL}^2 \right]^{0.5} \quad (\text{الف-۶})$$

که :

$\underline{F}$  عدم قطعیت نسبی به علت خطا در فرکانس زاویه ای؛

$\underline{\phi}$  عدم قطعیت نسبی به علت تاثیر دما بر ویسکوزیته؛

$\underline{DE}$  عدم قطعیت نسبی به علت تاثیر تجزیه؛

$\underline{SL}$  عدم قطعیت نسبی به علت رفتار ویسکوالاستیکی غیر خطی.

عدم قطعیت‌های نسبی در هر کدام از این پارامترها با استفاده از مقادیر هر یک از پارامترها و رواداری‌های بیان شده در زیر تعیین شده بود :

قطر صفحه $D$	$25 \text{ mm}$
ضخامت نمونه	$1.5 \text{ mm}$
کرنش در لبه صفحه	$5 \%$
گشتاور	$\pm 2 \%$ مقدار مطلق
تغییر مکان زاویه ای	$\pm 20 \times 10^{-6} \text{ rad}$
قطر صفحه	$\pm 0.1 \text{ mm}$
فاصله صفحه	$\pm 0.1 \text{ mm}$
ناهمترازی صفحات	$\pm 0.1 \text{ mm}$
فرکانس زاویه ای	$\pm 2 \%$ مقدار مطلق
دما $\theta$	$\pm 0.5^\circ \text{C}$ اگر $\theta \leq 200^\circ \text{C}$ $\pm 1.0^\circ \text{C}$ اگر $200^\circ \text{C} < \theta \leq 300^\circ \text{C}$ $\pm 1.5^\circ \text{C}$ اگر $\theta > 300^\circ \text{C}$

در تعیین عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌های  $G'$  و  $G''$  همچنین فرض می‌شود که :

- حداکثر عدم قطعیت عبارات  $\cos \delta$  و  $\sin \delta$  برابر  $3 \%$  برای زاویه اتلاف  $\delta$  در محدوده  $17^\circ$  تا  $73^\circ$  است.
- تاثیر خطای  $2 \%$  در تعیین فرکانس زاویه‌ای، یک خطای  $2 \%$  در مقدار اندازه‌گیری شده  $G'$  و  $G''$  بوده که  $\log(G'')$  و  $\log(G')$  توابع خطی لگاریتم (فرکانس زاویه ای) با شیب یک هستند.
- تجزیه مواد تشکیل‌دهنده نمونه و خطای مربوط به رفتار غیر ویسکوالاستیک-خطی (در رابطه با تعیین کرنش محدود شده برای اندازه‌گیری‌های ویسکوالاستیک-خطی) تاثیر  $0 \%$  یا  $5 \%$  بر مقادیر  $G''$  و  $G'$  اندازه‌گیری شده دارد.

پس با فرضیات داده شده عدم قطعیت‌ها در اندازه‌گیری  $G'$  و  $G''$  برای مقادیر مختلف وابستگی دمایی ویسکوزیته و خطا در دما در جدول الف-۱ داده شده‌اند. از اطلاعات اعمال دما برای نمونه‌های پلی‌اتیلن با چگالی زیاد (PE - HD) و پلی‌پروپیلن (PP) مورد استفاده در آزمون دوره ای<sup>[۴]</sup> تخمین زده شد که وابستگی دمایی تقریبی مدول‌ها  $1 \%/^\circ \text{C}$  است.

جدول الف ۱ - عدم قطعیت اندازه گیری مدول ذخیره  $G'$  و مدول اتلاف  $G''$

عدم قطعیت در اندازه گیری مدول ذخیره $G'$ و مدول اتلاف $G''$ %		خطا در دما $\pm ^\circ C$	وابستگی دمایی ویسکوزیته $\% / ^\circ C$
با فرض مقدار ۵٪ برای تاثیر تخریب و رفتار غیر ویسکوالاستیک - خطی	با فرض مقدار ۰٪ برای تاثیر تخریب و رفتار غیر ویسکوالاستیک - خطی		
۸٫۲	۴٫۲	-	۰
۸٫۲	۴٫۲	۰٫۵	۱
۸٫۳	۴٫۳	۱٫۰	۱
۸٫۸	۵٫۲	۱٫۰	۳

این عدم قطعیت‌ها شامل خطاهای محاسبه شده به علت اینرسی نمونه و عوامل مربوط به دستگاه مانند عدم توازی و عدم هم‌محوری صفحات، تاثیرات لبه، اینرسی ماشین و نرم‌واری دستگاه نمی‌باشد. این عوامل همگی باعث افزایش سطح عدم قطعیت در اندازه‌گیری دما می‌شوند.

**پیوست ب**  
**(اطلاعاتی)**  
**تصدیق عملکرد رئومتر**

**ب-۱ کلیات**

این پیوست راهنمای اطلاعاتی در مورد تصدیق عملکرد رئومتر نوسانی مورد استفاده با صفحات موازی را ارائه می‌کند. این پیوست دستورالعمل‌های اطلاعاتی برای کالیبراسیون تجهیزات را ارائه نمی‌کند. کالیبراسیون اغلب توسط تهیه‌کننده تجهیزات انجام می‌شود، که پیچیده و گسترده بوده و با اهداف مختلف پذیرفته‌شده و در بازه‌های زمانی توافق‌شده انجام می‌شود هر چند ممکن است استفاده‌کنندگان در میان بازه‌های کالیبراسیون، تصدیق انجام شود.

این پیوست، راهنمایی برای تصدیق و همین‌طور اصول شرح داده شده در این باره را وقتی در یک سامانه ویژه به کار برده می‌شود شرح می‌دهد که ممکن است دقت و صحت مورد نیاز را برای کالیبراسیون تجهیزات فراهم نکند. نتایج چنین تصدیق‌هایی باید به عنوان راهنما مورد استفاده قرار گیرد و وقتی با نتایج تصدیق‌های قبلی ترکیب شود می‌تواند به منظور استنتاج روند عملکرد مورد استفاده قرار گیرد.

تمام پارامترهای مربوط سامانه اندازه‌گیری مورد استفاده برای محاسبه توابع تنش و کرنش و دما باید با استفاده از وسایل کالیبره شامل، به طور مثال، طول، دما، جابجایی، زمان و گشتاور مورد تصدیق قرار گیرند. تمام پارامترهای هندسی، به طور مثال، شکل و هندسه سطح پایانی، برای مطابقت با رواداری‌های تصریح شده در استاندارد یا توسط تولیدکننده باید مورد تصدیق قرار گیرند.

اگر سامانه اندازه‌گیری شامل یک وسیله برای تنظیم موقعیت دو قسمت از سامانه نسبت به یکدیگر (به طور مثال برای تنظیم هم‌ترازی) باشد، این وسیله به طور ترجیحی باید در روند تصدیق مورد توجه قرار گیرد. به وسایل اندازه‌گیری (به طور مثال یک دوربین هم‌ترازی) برای این منظور نیاز خواهد بود.

**یادآوری** – دانستن عدم قطعیت هر کدام از پارامترهای اجزا از طریق کالیبراسیون‌شان به منظور این که بتوان تشخیص کامل عدم قطعیت‌ها در خواص تغییر شکل اندازه‌گیری الزامی است. برای این روش‌های اجرایی تصدیق این فراهم نشده است.

**ب-۲ تصدیق فاصله جدایی صفحات رئومتر**

صفحات رئومتر را درون دستگاه وارد کنید. از قرار گیری صفحات در موقعیت دقیق، اطمینان حاصل کنید.

**یادآوری ۱** – هر ناموازی بودن صفحات، در یک فاصله غیر یکنواخت دور محیط صفحات حاصل می‌شود. مقادیر اندازه‌گیری شده به موقعیت چرخشی صفحه چرخشی نسبت به صفحه ثابت بستگی خواهد داشت. لازم است این مورد در ارزیابی تصدیق گنجانده شود.



صفحات را قبل از تنظیم صفر فاصله و تصدیق فاصله جدایش، بررسی و تمیز کنید. صفحات باید تمیز و عاری از هرگونه نقص تاثیرگذار بر اندازه‌گیری‌ها باشند. اجازه دهید تا دستگاه و صفحات به تعادل حرارتی در شرایط محیطی برسند.

**یادآوری ۲** - همچنان که آزمون اغلب در دماهای افزایش یافته انجام می‌شود، باید تاثیر حساسیت دمایی (انبساط یا انقباض) فاصله به دلیل تغییرات دما و هندسه دستگاه در نظر گرفته شود. از بعضی نرم‌افزارهای دستگاه‌های پیشرفته برای اعمال تصحیح تاثیرات انبساط و انقباض حرارتی می‌توان استفاده کرد. از دیدگاه عملی، بررسی فاصله جدایش در شرایط محیطی مناسب‌تر است.

برای یک موقعیت چرخشی صفحه چرخشی داده شده نسبت به صفحه ثابت، وضعیت را روی فاصله صفر قرار داده و در صورت کاربرد، مطابق با راهنمایی تولیدکننده تجهیزات، درجه خواندن را روی صفر قرار دهید. فاصله جدایش صفحات را تنظیم کنید. تنظیم فاصله، یعنی فاصله بین صفحات را با استفاده از وسایل اندازه‌گیری کالیبره شده کنترل کنید. فاصله باید در مرکز و هم چنین سه نقطه روی محیط صفحه با فاصله مساوی از هم اندازه‌گیری شود.

مقادیر فاصله جدایش مورد استفاده در روش تصدیق باید برابر مقادیر فواصل مورد استفاده در اندازه‌گیری‌ها باشد.

**یادآوری ۳** - در کنترل تنظیم فاصله در نقطه روی یا نزدیک محیط صفحه، باید به خاطر داشت که به کار بردن یک بار خارج از تنظیم ممکن است سبب خمش صفحه و یک خطای ناشی از آن در اندازه‌گیری فاصله شود. مقادیر مختلف بار ممکن است به منظور سنجش این تاثیر استفاده شود. اندازه‌گیری فاصله باید مستقل از بار اعمال شده باشد.

**یادآوری ۴** - استفاده از وسایل اندازه‌گیری، این بررسی و کنترل‌ها را نسبت به اندازه‌گیری ابعاد مرتبط ساده‌تر می‌سازد. عدم قطعیت مربوط به چنین اندازه‌گیری‌هایی نباید بیش از ۲۰٪ حد رواداری مخصوص باشد.

برای سنجش تاثیر ناموازی بودن صفحات، تصدیق تنظیم فاصله را با استفاده از موقعیت‌های مختلف صفحه چرخشی نسبت به صفحه ثابت تکرار کنید. مقادیر فاصله را به صورت جداگانه ثبت کرده، میانگین و انحراف نتایج را محاسبه کنید.

**یادآوری ۵** - اندازه فاصله ۱mm و ۲mm اغلب برای مذاب‌های پلیمری مورد استفاده قرار می‌گیرد. اندازه فاصله به قطر صفحه و به همان اندازه به خواص سیال بستگی دارد.

### **ب-۳ تصدیق دامنه کرنش**

برای اندازه‌گیری‌های نوسانی، دامنه کرنش کوچک و دامنه کرنش به عنوان تابعی از زمان (یعنی شکل موج سینوسی از کرنش)، پارامترهای اندازه‌گیری مرتبط هستند که باید مورد بررسی قرار گیرند. دامنه کرنش باید در چندین مقدار روی گستره مقادیر کرنش مورد استفاده در اندازه‌گیری‌ها بررسی شود.

### **ب-۴ تصدیق پاسخ فرکانس**

فرکانس جابجایی سینوسی صفحه چرخشی می‌تواند با استفاده از وسایل مشابه مورد استفاده برای بررسی دامنه کرنش با ثبت دامنه کرنش به عنوان یک تابع از زمان روی حداقل دو سیکل، به نحوی که در بند ب-۳

شرح داده شده است، بررسی شود. با وسایل مرتبط، دامنه و فرکانس می‌تواند به طور هم‌زمان مورد بررسی قرار گیرد. فرکانس باید در چندین مقدار روی گستره مقادیر مورد استفاده در اندازه‌گیری‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

#### ب-۵ تصدیق سرعت زاویه ای

ممکن است بررسی سرعت زاویه‌ای صفحه چرخشی در حالت چرخش پیوسته (یعنی در سرعت زاویه‌ای ثابت)، به منظور فراهم کردن تصدیق‌های بعدی عملکرد تجهیزات مطلوب باشد، هر چند برای اندازه‌گیری‌های نوسانی به طور کامل نیاز نیست. هر چند این چنین تصدیقی به طور نمونه میانگین پاسخ دستگاه را روی یک یا چند چرخش کامل نشان می‌دهد.

سرعت زاویه‌ای صفحه چرخشی می‌تواند با استفاده از یک وسیله مستقل، با زمان (یا فرکانس) کالیبره شده و اندازه‌گیری جابجایی زاویه‌ای (یعنی یک ترانسدیوسر فزاینده یا تایمر شمارنده چرخشی) مورد بررسی قرار گیرد. اندازه‌گیری در چندین سرعت زاویه‌ای روی گستره اندازه‌گیری سامانه تکرار می‌شود.

ممکن است تعیین میانگین سرعت زاویه‌ای روی یک گردش کامل کافی باشد. به این منظور نشانه‌گذاری می‌تواند روی قسمت‌های چرخشی و ثابت سامانه انجام و مدت زمان بین دو عبور قسمت نشانه‌گذاری تعیین شود. روش دیگر، نصب یک آینه روی قسمت چرخشی (به طور مثال با چسب مومی) است به منظور انعکاس یک پرتو نور که یک تایمر الکتریکی را از طریق یک حسگر نوری در طول هر چرخش خاموش و روشن کند. آهنرباها و حسگرهای مجاورتی مغناطیسی به طور مشابه می‌توانند استفاده شوند. باید بررسی شود که نصب چنین وسایلی روی صفحه چرخشی باعث اختلال در عملکرد تجهیزات نشود. برای بهبود روش، میانگین زمان صرف شده برای یک گردش کامل ممکن است از مقدار تقسیم زمان کل صرف شده برای چندین چرخش بر تعداد چرخش‌ها تعیین شود.

**یادآوری -** عدم قطعیت اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای می‌تواند خود تابعی از سرعت زاویه‌ای باشد. اگر سرعت زاویه‌ای مشخص شده توسط ویسکومتر، مستقل از دما باشد (به طور مثال دمای آزمون یا محیط، گرمایش درونی)، تصدیق باید به طور ترجیحی در دماهای مختلف برای تعیین حساسیت آن نسبت به دما انجام شود.

#### ب-۶ تصدیق اندازه‌گیری گشتاور

##### ب-۶-۱ تصدیق اندازه‌گیری گشتاور با استفاده از وسایل مکانیکی

تصدیق ترانسدیوسر گشتاور می‌تواند توسط اعمال یک گشتاور مشخص به اسپیندل حسگر گشتاور رئومتر، بدون اعمال یک نیروی شعاعی یا محوری، و مقایسه با گشتاور نشان داده شده توسط رئومتر انجام شود. یک وسیله مناسب ممکن است توسط سازنده تجهیزات برای این منظور تهیه شود و مطابق با دستورالعمل‌های سازنده استفاده شود.

در استفاده از چنین وسایلی، کاربر باید نسبت به میزان سهم این وسایل در عدم قطعیت وسایل مورد استفاده (برای مثال به دلیل نیروهای اصطکاکی به علت استفاده از یاتاقان) آگاه باشد.

اگر خواندن حسگر گشتاور رئومتر بستگی به دمای محیط، دمای اندازه‌گیری یا حرارت درونی تجهیزات باشد، تصدیق باید به طور ترجیحی به عنوان تابعی از دما انجام شود.

ب-۶-۲ تصدیق اندازه گیری گشتاور با استفاده از سیالات مرجع  
تصدیق حسگر گشتاور می تواند با استفاده از سیالات مرجع بررسی شود که  
الف) سرعت زاویه ای قسمت چرخشی سامانه کالیبره شده باشد  
ب) ابعاد سامانه کالیبره شده باشد  
پ) وسیله اندازه گیری دما کالیبره شده باشد.

گشتاور می تواند از ویسکوزیته  $\eta_N$ ، ابعاد هندسی و سرعت زاویه ای با استفاده از معادلات نوسانی مناسب و مقایسه با تجهیزات اندازه گیری محاسبه شود. انحرافات از خطی بودن در اندازه گیری گشتاور می تواند توسط تغییر نرخ برشی آشکار شود. در این روش، خطاهای سیستماتیک آشکار نشده حاصله، به طور مثال، از خطاهای هم راستایی، به یک خطا در گشتاور نسبت داده می شوند.

#### ب-۷ تصدیق اندازه گیری دما

باید از دماسنج های کالیبره شده برای اندازه گیری دمای نمونه و مقایسه با مقدار خوانده شده توسط تجهیزات استفاده کرد. دماسنج های موجود در تجهیزات اندازه گیری به طور معمول در سامانه کنترل دما یا در قسمت غیر چرخشی سامانه قرار گرفته اند و مقدار خواندن ممکن است از دمای نمونه در فاصله اندازه گیری به خصوص در دماهای غیر از دمای محیط و در طی یک روبش دمایی<sup>۱</sup> متفاوت باشد. این اختلاف ممکن است تابعی از دما و قابلیت هدایت حرارتی مواد نمونه باشد. این قبیل وسایل اندازه گیری دما باید به طور ترجیحی با تجهیزات در حالت نصب شده و شامل نمونه، به وسیله مقایسه با یک دماسنج کالیبره شده با طراحی مناسب (به طور مثال ترموکوپل) فرورفته در مواد نمونه در فاصله اندازه گیری، بررسی شود.

دماسنج نباید در تماس با سامانه اندازه گیری باشد یعنی باید به طور کامل توسط سیال محاصره شده و عمق غوطه وری بیان شده باید در طول بررسی کالیبراسیون مورد استفاده قرار گیرد. کنترل تصدیق باید به طور ترجیحی در هر دمای بعد از رسیدن به تعادل حرارتی انجام شود. در جایی که به دلیل شکل هندسی، امکان وارد کردن دماسنج نیست، وسیله اندازه گیری دما می تواند به طور غیرمستقیم با استفاده از مایعات کالیبراسیون نیوتنی با عدم وابستگی زیاد ویسکوزیته به دما مورد بررسی قرار گیرد مشروط به این که تمام متغیرهای اندازه گیری مورد ارزیابی قرار گیرند.

یادآوری - سیالات مرجع با خواص مشخص ممکن است در دماهای بالا برای پلیمرها در دسترس نباشد.

#### ب-۸ تصدیق جابجایی فاز

یک تصدیق جابجایی فاز  $\delta$  بین توابع تنش و کرنش در آزمون نوسانی می تواند با استفاده از یک فلز الاستیکی نصب شده بین صفحات چرخشی و ثابت انجام شود. نمونه تحت آزمون باید تمایل به نشان دادن یک رفتار الاستیکی خالص داشته باشد که در نتیجه  $\tan \delta$  به سمت صفر تمایل خواهد داشت.

به طور مشابه یک سیال نیوتنی آزمون شده در نوسان مقدار  $\tan \delta$  به سمت بی‌نهایت میل خواهد کرد.

**یادآوری -** تانژانت اتلاف به صورت نسبت مدول اتلاف  $G''$  به مدول ذخیره  $G'$  یعنی  $\tan \delta = G''/G'$  داده می‌شود.

در نتیجه، این رویکرد می‌تواند، حتی در دو حد نهایی اندازه‌گیری  $\tan \delta$ ، که می‌تواند مشکلاتی برای دقت تعیین  $\tan \delta$  نشان دهد برای تعیین آن استفاده شود.

بنابراین خطاهای مرتبط با اندازه‌گیری  $\tan \delta$  برای فنر فلزی و یک سیال نیوتنی نباید برای نشان دادن خطاهای روی گستره مورد نظر  $\tan \delta$  به حساب آید.

#### **ب-۹ تصدیق رئومتر با استفاده از سیالات مرجع**

##### **ب-۹-۱ اصول کلی**

یک تصدیق سامانه رئومتر (شامل تجزیه تحلیل نرم افزاری) می‌تواند توسط اندازه‌گیری مواد مرجع استاندارد و مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر مرجع انجام شود.

اگر مواد مرجع در فرآیند کالیبراسیون تجهیزات مورد استفاده قرار گیرد، آن مواد مرجع به طور ترجیحی نباید دوباره برای تصدیق تجهیزات مورد استفاده قرار گیرد.

##### **ب-۹-۲ سیالات نیوتنی**

تصدیق یک رئومتر می‌تواند با استفاده از سیالات نیوتنی با ویسکوزیته مشخص انجام شود. استفاده از یک گستره از سیالات نیوتنی که ویسکوزیته آن‌ها گستره ویسکوزیته نمونه‌هایی که باید اندازه‌گیری شوند را پوشش دهند مطلوب می‌باشد.

تاکید می‌شود که این شیوه نمی‌تواند به طور الزامی یا به راحتی بین خطاها، به طور مثال خطا در دما و تنش، تفکیک قائل شود. یک پیامد آن این است که یک خطای سیستماتیک در دما ممکن است تاثیر یک خطای سیستماتیک در تنش را از بین ببرد. هر چند استفاده از یک گستره از سیالات نیوتنی با درجات مختلفی از حساسیت دمایی روی یک گستره از تنش‌ها، نرخ‌ها و دماها می‌تواند کیفیت تصدیق را بهبود بخشد.

##### **ب-۹-۳ سیالات غیرنیوتنی**

سیالات غیرنیوتنی می‌تواند برای بررسی کالیبراسیون رئومتر با روش مشابه با سیالات نیوتنی (به بند ب-۹-۲ رجوع شود) استفاده شود.

**یادآوری -** سیالات نیوتنی با قابلیت ردیابی به طور چشمگیری نسبت به سیالات غیرنیوتنی در دسترس هستند. مایعات غیرنیوتنی با گواهی‌نامه از طریق تعداد معدودی مؤسسه در دسترس هستند.<sup>[7]</sup>

پيوسٽ پ  
(اطلاعاتي)  
ڪتابنامہ

[1] MARIN , G : *Rheological Measurement* , edited by COLLYER , A.A. , and CLEGG ,D.W. , Elsevier Applied Science , London , 1988

[2] WALTERS , K . : *Rheometry* , Chapman and Hall Ltd, London, 1975

[3] WHORLOW , R.W. : *Rheological Techniques*, Second Edition, Ellis Horwood series in physics and its applications, 1992

[4] RIDES, M. , and Allen, C.R.G. : *Round robin for parallel oscillatory rheometry using polyethylene and polypropylene melts* , NPL Report CMMT(A)11, january 1996 (National Physical Laboratory , Teddington, Middlesex, TW11 0LW, United Kingdom)

[5] DEALY , J.M. , and WISBRUN, k. : *Melt rheology and its role in plastics processing*, Chapman and Hall, 1995

[6] MACOSKO, C. : *Rheology - Principles, Measurements and Applications*, VCH Publishers, NY , 1994

[7] Laun M., Auhl D., Brummer R., Dijkstra D.J., Gabriel C., Mangnus M.A. *Guidlines for checking performance and verifying accuracy of rotational rheometers: Viscosity measurements in steadyand oscillatory shear. (IUPAC Technical Report)*. Pure Appl. Chem. 2014, **86** (12) pp. 1945–1968