



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۱۳۲۴۹-۱

چاپ اول

**ISIRI**

**13249-1**

**1st. Edition**

پلاستیک ها - تعیین گرانروی پلیمرهای  
محلول رقیق با استفاده از ویسکومترهای  
موینه - قسمت ۱ : اصول کلی

**Plastics – Determination of the viscosity of  
polymers in dilute solution using capillary  
viscometers – part 1 : General principles**

ICS:83.080.01

## به نام خدا

### آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی 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 حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه\* صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود 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، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود 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 می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup> کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفتهای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و / یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. مؤسسه می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمانها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، مؤسسه استاندارد این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این مؤسسه است.

\* مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

- 1- International organization for Standardization
- 2 - International Electro technical Commission
- 3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)
- 4 - Contact point
- 5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد  
"پلاستیک ها - تعیین گرانروی پلیمرهای محلول رقیق با استفاده از ویسکومترهای مویینه -  
قسمت ۱: اصول کلی"

**رئیس:**

جوادیپور، سیروس  
(دکتری مواد)

**سمت و/یا نمایندگی**

استاد دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز

**دبیر:**

منصوری، نادر  
(لیسانس مهندسی مکانیک)

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان فارس

**اعضا:** (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

شرکت صنایع شیمیایی فارس

اکبری شاد، ارغوان  
(لیسانس شیمی)

هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی

باصری، غلامرضا  
(فوق لیسانس مهندسی پلیمر)

شرکت رزین سازان فارس

پذیرایی، محمد هادی  
(فوق لیسانس شیمی)

شرکت پیراد

پیروزی، پدرام  
(لیسانس مدیریت)

شرکت نفت پاسارگاد

پناهی، بهرام  
(لیسانس شیمی)

شرکت شیمیایی ساراوید

تشکری، هادی  
(لیسانس کشاورزی)

شرکت ایرتمپ

جلالی، پدرام  
(لیسانس مهندسی مکانیک)

شرکت سپیدان چشمه

دیداری، کورش  
(لیسانس شیمی)

شرکت رزین سازان فارس

دهقانیان، حمید  
(لیسانس مهندسی شیمی)

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان فارس

شجاعتی، خاطره  
(فوق لیسانس مهندسی شیمی)

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان فارس

ظل انوار، محمد علی  
(لیسانس مهندسی برق)

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان فارس

مصلائی، مهرداد  
(فوق لیسانس شیمی)

شرکت شیراز جم گستر

نجیمی، مهدی  
(لیسانس شیمی)

شرکت کاج شیمی

یزدانی، محمد رضا  
(لیسانس شیمی)

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ج	آشنایی با موسسه استاندارد
د	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ز	پیش گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۵	۴ اصول کلی
۶	۵ دستگاه ها
۹	۶ محلول ها
۹	۷ دمای اندازه گیری
۹	۸ روش اجرایی
۱۱	۹ بیان نتایج
۱۲	۱۰ گزارش آزمون
۱۳	پیوست الف (الزامی) تمیز کردن دستگاه
۱۴	پیوست ب (الزامی) یادآوری بر منابع خطا
۱۸	پیوست پ (اطلاعاتی) کتابنامه

## پیش گفتار

استاندارد "پلاستیک ها - تعیین گرانروی پلیمرهای محلول رقیق با استفاده از ویسکومترهای مویینه - قسمت ۱ : اصول کلی" که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط جامعه کنترل کیفیت استان فارس تهیه و تدوین شده و در هفتصد و پنجاهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد شیمیایی و پلیمر مورخ ۱۳۸۹/۱۱/۲۱ مورد تصویب قرار گرفته است، 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 می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی باتحولات و پیشرفت های 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 استاندارد های ملی استفاده کرد.

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

ISO 1628-1 : 2009 , Plastics – Determination of the viscosity of polymers in dilute solution using capillary viscometers – part 1 : General principles

## مقدمه

این استاندارد یکی از مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۳۲۴۹ است.

- قسمت ۱ : اصول کلی
- قسمت ۲ : رزین های پلی وینیل کلراید
- قسمت ۳ : پلی اتیلن ها و پلی پروپیلن ها
- قسمت ۴ : مواد قالب گیری و روزن رانی پلی کربنات
- قسمت ۵ : هموپلیمرها و کوپلیمرهای پلی استر گرمانرم
- قسمت ۶ : پلیمرهای متیل متاکریلات

# پلاستیک ها - تعیین گرانروی پلیمرهای محلول رقیق با استفاده از ویسکومترهای مویینه - قسمت ۱: اصول کلی

## ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین اصول کلی روش های اندازه گیری مقادیر گرانروی کاهشده<sup>۱</sup>، گرانروی ذاتی<sup>۲</sup> و مقدار<sup>۳</sup>  $K$  پلیمرهای آلی در محلول رقیق است. پارامترهای استاندارد اعمال شده در اندازه گیری گرانروی، تعریف شده و می تواند برای توسعه استانداردهای اندازه گیری گرانروی در محلول های نمونه های جداگانه پلیمر استفاده شود. این استاندارد برای اندازه گیری و گزارش گرانروی پلیمرهای محلول برای موادی که استاندارد جداگانه ای وجود ندارد، کاربرد دارد.

## 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 می شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه های بعدی آن ها مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 3105:1994, Glass capillary kinematic viscometers - Specifications and operating instructions

2-2 ISO 3205, Preferred test temperatures

2-3 ISO 80000-1, Quantities and units - Part 1: General

2-4 ISO 80000-4, Quantities and units - Part 4: Mechanics

## ۳ اصطلاحات و تعاریف، یکاها

### ۱-۳ ابعاد و یکاها

ابعاد خواص تعریف شده در این استاندارد ملی با نماد  $L$  برای طول،  $M$  برای جرم و  $T$  برای زمان مطابق استاندارد ISO 80000-1 بیان شده و یکاهای مربوط با خواص نیز در استانداردهای ISO 80000-1 و ISO 80000-4 داده شده اند.

---

1- Reduced viscosity  
2- Intrinsic viscosity  
3-  $K$ -value



### ۲-۳ تعاریف مورد استفاده برای هر مایع

۱-۲-۳

#### گرانروی

مقاومت در برابر حرکت یک مایع تحت برش بین دو صفحه موازی در حالی که یک صفحه نسبت به دیگری دارای حرکت مستقیم الخط یکنواخت بوده که توسط معادله نیوتن تعریف می شود :

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (1)$$

که در آن :

$\tau$  تنش برشی،

$\eta$  گرانروی و

$\dot{\gamma}$  شیب سرعت یا نرخ برشی داده شده توسط  $\frac{dv}{dz}$  بوده که  $v$  سرعت یک صفحه نسبت به دیگری و  $z$  مختصه عمودی بر دو صفحه است.

یادآوری ۱ - ابعاد گرانروی  $ML^{-1}T^{-1}$  است.

یادآوری ۲ - یکای گرانروی Pa.s است.

یادآوری ۳ - در عمل، یکای  $10^{-3}Pa.s$  مناسب تر است.

یادآوری ۴ - در مواردی که نسبت تنش برشی به گرادیان سرعت ثابت باشد، گرانروی معمولاً به عنوان "گرانروی نیوتنی" در نظر گرفته می شود. در رفتار غیر نیوتنی، که موردی عادی در محلول پلیمرهای سنگین است، این نسبت با نرخ برش تغییر می کند. این چنین نسبت ها غالب اوقات "گرانروی ظاهری" در نرخ برش متناظر نامیده می شود.

۲-۲-۳

#### نسبت گرانروی/چگالی

#### گرانروی سینماتیکی

$\nu$

نسبت تعریف شده توسط معادله :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

که  $\rho$  چگالی مایع در دمایی است که گرانروی اندازه گیری می شود.

یادآوری ۱ - ابعاد گرانروی سینماتیکی  $L^2T^{-1}$  است.

یادآوری ۲ - یکای گرانروی  $m^2.s^{-1}$  است.

یادآوری ۳ - در عمل، یکای  $10^{-6} m^2.s^{-1}$  یعنی  $mm^2s^{-1}$  مناسب تر است.

### ۳-۳ تعاریف مورد استفاده برای محلول های پلیمری

۱-۳-۳

#### گرانروی نسبی

$\eta_r$

نسبت گرانروی محلول پلیمری (با غلظت بیان شده)  $\eta$  به گرانروی حلال خالص  $\eta_0$  در یک دمای یکسان

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0} \quad (۳)$$

یادآوری یک - گرانروی نسبی به عنوان نسبت گرانروی هم شناخته می شود.

یادآوری دو - گرانروی نسبی بدون ابعاد است.

۲-۳-۳

#### گرانروی نسبی افزایشی

گرانروی نسبی منهای یک

$$\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right) - 1 = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} \quad (۴)$$

یادآوری یک - گرانروی نسبی افزایشی به عنوان نسبت افزایشی گرانروی و ویژه هم شناخته می شود.

یادآوری دو - افزایش بدون ابعاد است.

۳-۳-۳

#### گرانروی کاهیده

$I$

نسبت گرانروی نسبی افزایشی به غلظت  $c$  پلیمر در محلول

$$I = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0 c} \quad (۵)$$

یادآوری یک - گرانروی کاهیده به عنوان عدد گرانروی هم شناخته می شود.

یادآوری دو - ابعاد گرانروی کاهیده  $L^3M^{-1}$  است.

یادآوری سه - یکای گرانروی کاهیده  $m^3/kg$  است.

یادآوری چهار - در عمل زیر مضرب  $10^{-3} m^3/kg$  یعنی  $cm^3/g$  مناسب تر است و به طور معمول مقادیر عددی بیان شده برای گرانروی کاهیده (عدد گرانروی) از این واحدهای عملی استفاده می کند.

یادآوری پنج - گرانروی کاهیده به طور معمول در غلظت های پایین (کمتر از  $5 kg/m^3$  یعنی  $0.05 g/cm^3$ ) تعیین می شود به جز در مورد پلیمرهای با جرم مولکولی پایین، که ممکن است برای آن ها غلظت های بالاتری مورد نیاز باشد.

۴-۳-۳

#### گرانروی درونی

نسبت لگاریتم طبیعی گرانروی نسبی به غلظت پلیمر در محلول

$$\frac{\ln\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)}{c} \quad (6)$$

یادآوری یک - گرانروی درونی به عنوان عدد گرانروی لگاریتمی هم شناخته می شود.

یادآوری دو - ابعاد و یکاها مشابه بند ۳-۳-۳ است.

یادآوری سه - گرانروی درونی به طور معمول در غلظت های پایین (کمتر از  $5 \text{ kg/m}^3$  یعنی  $0.105 \text{ g/cm}^3$ ) تعیین می شود به جز در مورد پلیمرهای با جرم مولکولی پایین، که ممکن است برای آن ها غلظت های بالاتری مورد نیاز باشد.

۵-۳-۳

گرانروی ذاتی

$[\eta]$

مقدار حد گرانروی کاهیده یا گرانروی درونی در رقت بی نهایت

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \left( \frac{\eta - \eta_0}{n_0 c} \right) \quad (7)$$

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\ln\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)}{c}$$

یادآوری یک - گرانروی ذاتی به عنوان عدد گرانروی حد هم شناخته می شود.

یادآوری دو - ابعاد و یکاها مشابه بند ۳-۳-۳ است.

یادآوری سه - از تاثیر نرخ برشی بر توابع تعریف شده در بندهای ۱-۳-۳ الی ۵-۳-۳ چشم پوشی شده است چون که این تاثیر به طور معمول برای مقادیر گرانروی کاهیده ، گرانروی درونی و گرانروی ذاتی کمتر از  $5 \text{ Kg/m}^3$  (یعنی  $0.5 \text{ g/cm}^3$ ) قابل صرف نظر کردن است. به بیان دقیق ، تمام این توابع باید در محدوده (ترجیحا بی نهایت کوچک) مقادیر نرخ برشی تعریف شود.

۶-۳-۳

مقدار  $K$

کمیتی ثابت، مستقل از غلظت محلول پلیمری و به طور انحصاری مربوط به نمونه پلیمر، که میزانی از درجه متوسط درجه پلیمریزه شدن است.

$$K - \text{value} = 1000k \quad (8)$$

یادآوری یک - مطابق اچ . فیکنسچر<sup>[2]</sup> مقدار  $K$  - بر اساس معادله ذیل به دست می آید :

$$\log \eta_r = \left( \frac{75k^2}{1 + 150kc} + k \right) 100c$$

که در نتیجه :

$$k = \frac{1.5 \log \eta_r - 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2}{c} + 2 + 1.5 \lg \eta_r\right) 1.5 \log \eta_r}}{150 + 300c} \quad (9)$$

که در آن :

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0} \quad \text{نسبت گرانیروی (به بند ۳-۳-۱ مراجعه شود) و}$$

$$c \quad \text{غلظت بر حسب } 10^3 \text{ Kg/m}^3 \text{ یعنی } \text{g/cm}^3 \text{ است.}$$

یادآوری دو - عدد گرانیروی حدی  $[\eta]_k$  را می توان با استفاده از  $k$  محاسبه کرد :

$$(\eta)_k = 230.3(75k^2 + k)$$

#### ۴ اصول

داده های مورد نیاز برای تخمین توابع تعریف شده در بند ۳-۳ به وسیله یک ویسکومتر مویینه<sup>۱</sup> به دست می آیند. زمان عبور (زمان عبور از میان دو نشانه شاخص ویسکومتر) یک حجم داده شده از حلال،  $t_0$  ، و زمان عبور یک حجم داده شده از محلول،  $t$ ، در دمای ثابت و شرایط فشار اتمسفری با یک ویسکومتر یکسان اندازه گیری می شود. زمان عبور یک مایع، بستگی به گرانیروی آن داشته و از معادله پوازویل-هاگن-باخ-کوات محاسبه می شود :

$$v = \frac{\eta}{\rho} = Ct - \left(\frac{A}{t^2}\right) \quad (10)$$

که در آن :

$v$	نسبت گرانیروی/جرم حجمی (به بند ۳-۲-۲ مراجعه شود)،
$C$	ثابت ویسکومتر،
$A$	پارامتر تصحیح انرژی جنبشی،
$\rho$	چگالی مایع و
$t$	زمان عبور است.

بر اساس این استاندارد ملی در صورتی که مقدار تصحیح انرژی جنبشی  $\left(\frac{A}{t^2}\right)$  کمتر از ۳٪ مقدار گرانیروی حلال باشد، باید از آن چشم پوشی کرد. در نتیجه معادله ۱۰ تبدیل می شود به :

$$v = \frac{\eta}{\rho} = Ct \quad (11)$$

علاوه بر این، اگر غلظت های محلول به اندازه ای باشد که تفاوت چگالی حلال  $\rho_0$  و چگالی محلول  $\rho$  کمتر از ۰٫۵٪ باشد، نسبت گرانیروی  $\frac{\eta}{\eta_0}$  از "نسبت زمان عبور  $\frac{t}{t_0}$ " به دست می آید.

در پیوست ب لزوم این محدودیت ها و پیامدهای در نظر نگرفتن آن ها توضیح داده شده است.

## ۵ دستگاه

### ۱-۵ ویسکومتر مویینه از نوع ابل هود معلق

استفاده از ویسکومتر با ابعاد داده شده در شکل ۱ یا ۲ توصیه می شود. علاوه بر این، توصیه می شود اندازه ویسکومتر از میان موارد ارائه شده در جدول یک انتخاب شود. انتخاب، بر اساس نسبت گرانیروی/چگالی محلول در دمای اندازه گیری تعیین می شود به شکلی که در جدول یک نشان داده شده است. همچنین از ویسکومتر کوچک تر بعدی نیز می توان استفاده کرد.

از انواع دیگر ویسکومتر ارائه شده در استاندارد ISO 3105 می توان استفاده کرد به شرط آن که نتایج حاصل از آن ها معادل نتایج به دست آمده توسط اندازه های ویسکومترهای ابل هود انتخاب شده بر اساس معیارهای مشخص شده در پاراگراف قبلی باشد. در موارد اختلاف نظر باید از ویسکومتر نوع ابل هود استفاده کرد.

### ۴-۵ وسیله اندازه گیری دما

یک دماسنج مایع در شیشه نوع غوطه وری کامل<sup>۱</sup> با دقت  $0.05^{\circ}\text{C}$  در گستره مورد استفاده و در شرایط شناخته شده کالیبراسیون مناسب است.

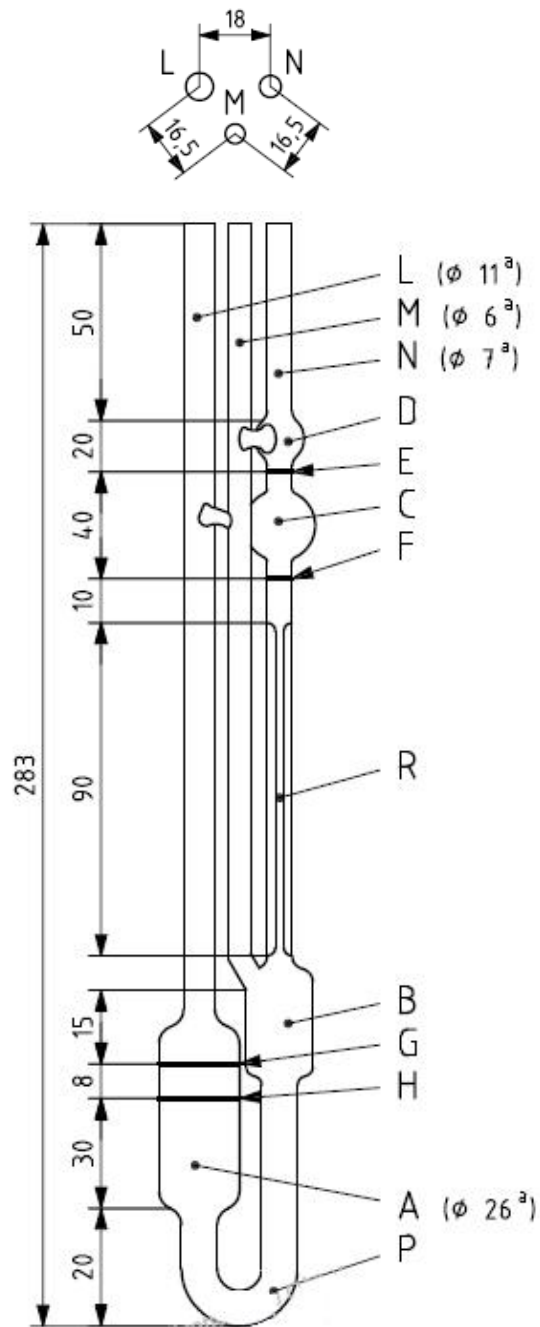
### ۵-۵ وسیله اندازه گیری زمان

می توان از هر وسیله اندازه گیری زمان با قابلیت خواندن  $0.1\text{ s}$  و سرعت ثابت و داشتن دقت بیش از  $0.1\%$  در مدت  $15\text{ min}$  استفاده کرد.

جدول ۸- ویسکومترهای ابل هود پیشنهادی برای تعیین گرانیروی محلول های رقیق پلیمر

دین ابل هود مطابق جدول B.9 استاندارد ISO 3105:1999		ابل هود مطابق جدول B.4 استاندارد ISO 3105:1999		نسبت گرانیروی/چگالی حلال در دمای اندازه گیری $\text{Mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
قطر مویینه mm $\pm 2\%$	شماره اندازه	قطر مویینه mm $\pm 2\%$	شماره اندازه	
0.36	0	0.24	0	0.15 الی 0.30
0.47	0c	0.36	0C	0.31 الی 0.50
0.53	0a	0.46	0B	0.51 الی 0.75
0.63	I	0.58	1	0.76 الی 1.50
0.84	Ic	0.77	1C	1.51 الی 2.50
0.95	Ia	0.88	1B	2.51 الی 5.00
1.13	II	1.03	2	5.01 الی 15.00

ابعاد بر حسب میلی متر



راهنما

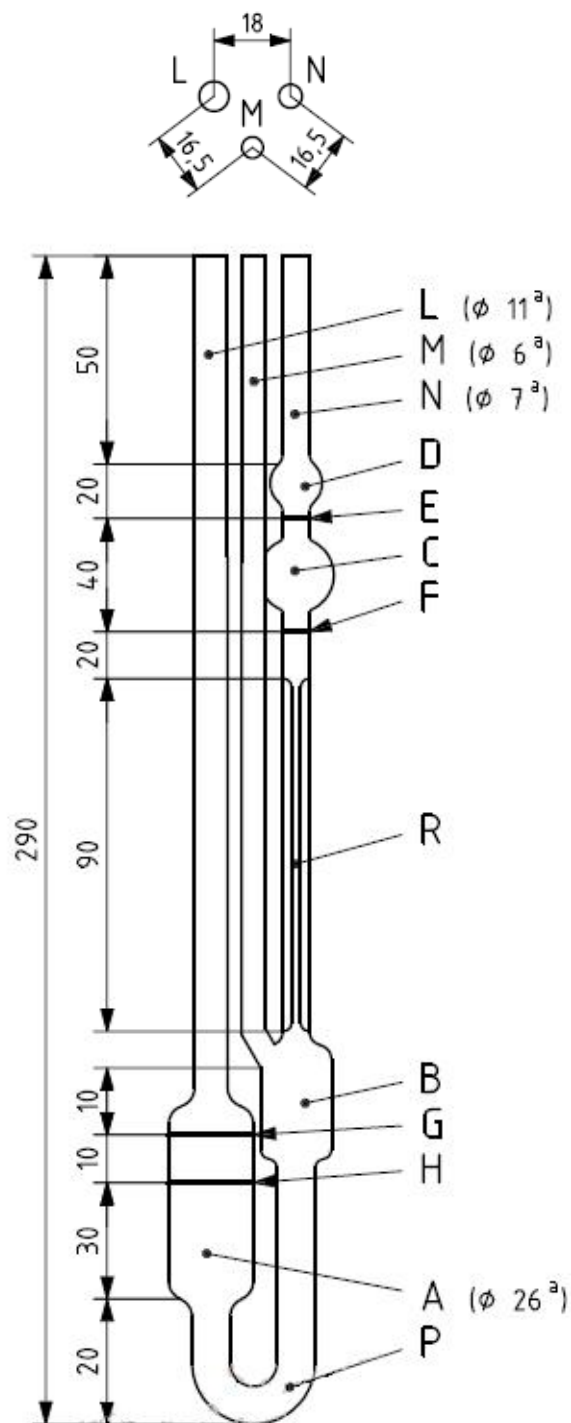
E و F نمادهای درجه بندی برای اندازه گیری زمان

H و G محدوده پر کردن با آزمونه

a قطر داخلی

شکل ۱- ویسکومتر نوع ابل هود

ابعاد بر حسب میلی متر



راهنما

E و F نمادهای درجه بندی برای اندازه گیری زمان

G و H محدوده پر کردن با آزمون

a قطر داخلی

شکل ۲- ویسکومتر نوع دین ابل هود

## ۶ محلول ها

### ۱-۶ آماده سازی

انحلال آزمون پلیمری در حلال باید منجر به یک محلول "حقیقی" شود، که به طور کامل عاری از ریزش ها و درشت مولکول های مربوط به آن باشد. تخریب<sup>۱</sup> پلیمر باید به حداقل برسد. به این دلیل نیاز است که روش اجرایی انحلال به طور دقیق مشخص شود و توصیه می شود که عوامل زیر مشخص شوند:

الف) حلال و پیش آماده سازی (در صورت وجود)

ب) دستگاه و روش هم زدن

پ) محدوده دمایی که در آن سیستم در طی آماده سازی محلول نگهداری می شود.

ت) دوره زمانی مورد نیاز برای انحلال کامل پلیمر بدون تخریب (از هم پاشیدگی) یا در تخریب (از هم پاشیدگی) ثابت

ث) شرایط محیطی مورد استفاده تثبیت کننده و/یا حفاظت کننده

ج) شرایط تصفیه محلول، در صورت کاربرد

### ۲-۶ غلظت

وقتی که هیچ استاندارد وجود نداشته باشد، انتخاب حلال و غلظت محلول باید به دقت انجام شود. غلظت محلول باید به نحوی انتخاب شود که نسبت زمان عبور محلول به زمان عبور حلال، حداقل ۱/۲ و حداکثر ۲/۰ باشد.

یادآوری - حد پایین ۱/۲ برای اطمینان از دقت کافی اختلاف اندازه گیری شده در زمان های عبور ضروری است. حد بالای ۲/۰ مورد نیاز است زیرا در جرم مولکولی بالاتر، تاثیرات برشی و غیر خطی بودن عدد گرانی می تواند به غلظت مربوط باشد.

بنابراین بر اساس جرم مولکولی پلیمر تحت آزمون، می توان از بیش از یک غلظت برای سیستم پلیمر/حلال داده شده استفاده کرد. بهتر است غلظت بر حسب  $\text{Kg/m}^3$  محلول یا ضریب  $10^3 \text{ Kg/m}^3$  یعنی  $\text{g/cm}^3$  بیان شود.

## ۷ دمای اندازه گیری

دما باید با توجه به انحلال پذیری کافی و دیگر الزامات فنی انتخاب شود، اما برای هر سیستم پلیمر/حلال جداگانه ثابت نگهداشته شود. رواداری دما باید مشخص شده باشد. هر جا امکان داشته باشد باید دمای  $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  انتخاب شود. اگر دمای دیگری استفاده شود، از مقادیر توصیه شده در استاندارد ISO 3205 انتخاب و در گزارش آزمون بیان شود.

## ۸ روش اجرایی

### ۱-۸ کلیات

اندازه گیری زمان عبور برای محلول و حلال به طور متوالی با یک ویسکومتر یکسان، با استفاده از روش اجرایی شرح داده شده در بند ۲-۸ و ۳-۸ انجام می شود.



## ۸-۲ آماده سازی و پر کردن ویسکومتر

حمام را در دمای آزمون تعیین شده نگهدارید. ویسکومتر تمیز و خشک را (برای روش تمیز کردن به پیوست الف مراجعه شود) به اندازه  $30^{\circ}$  از خط عمود خم کرده و با ریختن مقدار کافی مایع از طریق لوله L (به شکل یک یا دو مراجعه شود) آن را پر کنید به نحوی که، هنگامی که ویسکومتر به حالت عمودی برگردانده می شود سطح منحنی بالای مایع بین علامت های پر کردن G و H باشد. از ماندن حباب های هوا در ویسکومتر اجتناب شود. پر کردن اولیه ممکن است خارج از حمام انجام شود. ویسکومتر را به وسیله یک نگهدارنده، درون حمام وصل و ثابت کنید. مطمئن شوید که لوله N به صورت عمودی است. اجازه دهید تا ویسکومتر پر شده به دمای حمام برسد. اگر اندازه گیری در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  انجام شود، زمان 15 min کافی است. در دماهای بالاتر، به زمان بیشتری نیاز است. از تاخیرهای غیرضروری باید پرهیز کرد زیرا معلوم شده که پایدارترین نتایج، کمی بعد از رسیدن ویسکومتر تازه پر شده به تعادل گرمایی به دست آمده است. هنگام اضافه کردن یک مقدار مشخص از حلال به محلول موجود در یک ویسکومتر به منظور تهیه یک محلول رقیق برای اندازه گیری های بعدی، باید از این روش اجرایی استفاده شود. حلال اضافه شده باید قبل از استفاده در دمای آزمون نگهداری شود. در تجهیزات خودکار، ویسکومتر در حالت عمودی درون حمام با دمای کنترل شده، ثابت می شود و دستگاه طوری طراحی شده که ویسکومتر را در این حالت با مایع پر کند. حمام باید در دمای مشخص شده آزمون نگهداری شده و زمان مناسب رسیدن به تعادل گرمایی انتخاب شود.

## ۸-۳ اندازه گیری زمان عبور (به شکل ۱ یا ۲ مراجعه شود)

لوله M را بسته و در لوله N مکش یا در لوله L فشار ایجاد کنید تا مایع به یک سطح در حدود 5 mm بالای علامت E برسد. با بستن لوله N مایع را در این سطح نگهدارید. لوله M را باز کنید تا مایع از انتهای لوله مویینه R به پایین جاری شود. وقتی که مایع از انتهای لوله مویینه و انتهای لوله M عبور کرد، لوله N را باز کنید. زمان عبور را با دقت 0.2 s به عنوان زمان عبور سطح پایین منحنی مایع در لوله از لبه بالایی علامت E تا لبه بالایی علامت F اندازه گیری کنید.

برای محلول های پلیمری شامل مقادیر کوچک رنگدانه های ریز شده، به طور مثال دوده، ممکن است دیدن سطح بالای منحنی ستون مایع ضروری باشد. در جایی که غلظت های بالای رنگدانه وجود دارد، ضروری است قبل از هر اقدامی محلول را سانتریفیوژ کرد. باز و بسته کردن لوله ها را می توان به راحتی با استفاده از شیر یا گیره روی لوله های قابل انعطاف تمیز متصل به انتهای لوله ها انجام داد. مطمئن شوید که کرک یا دیگر آلاینده ها وارد لوله نشود. اولین عبور نباید برای اندازه گیری زمان عبور به حساب آورده شود. بلافاصله اندازه گیری زمان عبور را بدون خالی ویا پر کردن ویسکومتر تکرار کنید، تا این که اختلاف دو زمان متوالی اندازه گیری شده بیش از 0.25٪ نباشد. میانگین این دو اندازه گیری را به عنوان زمان عبور در نظر بگیرید. اگر دو اندازه گیری متوالی متوسط زمان عبور حلال بیش از 0.4 s اختلاف داشته باشد، ویسکومتر را تمیز کنید (به پیوست الف مراجعه شود). زمان عبور برای هر محلول جدید ایجاد شده توسط اضافه کردن حلال به

یک محلول موجود درون ویسکومتر، باید به عنوان یک مایع جداگانه و مستقل مطابق با این روش اجرایی تعیین شود.

## ۹ بیان نتایج

### ۹-۱ گرانروی کاهیده و گرانروی ذاتی

ترجیح داده می شود نتایج به عنوان گرانروی کاهیده بیان شوند. گرانروی کاهیده  $I$  بر حسب  $10^{-3} \text{ m}^3 / \text{kg}$  یعنی  $\text{cm}^3 / \text{g}$  از معادله زیر محاسبه می شود:

$$I = \frac{t - t_0}{t_0 c} \quad (12)$$

که در آن :

$t$  زمان عبور مایع بر حسب ثانیه،

$t_0$  زمان عبور حلال بر حسب ثانیه درون همان ویسکومتر و

$c$  غلظت بر حسب  $10^{-3} \text{ kg} / \text{m}^3$  یعنی  $\text{g} / \text{cm}^3$  است.

همچنین نتایج می تواند بر حسب گرانروی ذاتی  $[\eta]$ ، برای مثال به منظور مقایسه کوپلیمرهای با میانگین جرم های مولکولی متفاوت که به آن ها برای استفاده در غلظت های متفاوت نیاز است، بیان شود (به بند ۶-۲ مراجعه شود).

گرانروی ذاتی باید از مقادیر گرانروی درونی به دست آمده از غلظت های  $c_1, c_2, c_3$  و ..... در نسبت های تقریبی ۱، ۲، ۳ و ..... توسط یک روش نموداری شامل ثبت مقادیر گرانروی درونی (روی محور افقی) و برون یابی نمودار به غلظت صفر محاسبه شود. گرانروی ذاتی از برخورد روی محور افقی خوانده می شود.

یادآوری - توصیه می شود که از روش کمترین مجذورات<sup>۱</sup> برای آنالیز مقادیر آزمایشگاهی استفاده شود.

گرانروی ذاتی  $[\eta]$  می تواند از یک مقدار از گرانروی کاهیده نیز محاسبه شود، به طور مثال از معادله زیر:

$$[\eta] = \frac{I}{1 + k'cI} \quad (13)$$

که  $k'$  یک مقدار ثابت آزمایشگاهی، به طور معمول بین ۰٫۲ الی ۰٫۳، است که از قبل توسط اندازه گیری گرانروی کاهیده، در دو غلظت مختلف و اعمال معادله زیر به دست آمده است :

$$k' = \frac{I_2 - I_1}{I_1 I_2 (c_2 - c_1)} \quad (14)$$

در محاسبه  $k'$  ممکن است استفاده از چندین غلظت و رسم  $I$  بر حسب  $c$ ، رسم یک خط مستقیم از میان نقاط و انتخاب دو موقعیت روی این خط برای دادن مقادیر به منظور جایگزینی در معادله (۱۴) برای  $k'$  بهتر باشد.

### ۹-۲ مقدار $K$

مقدار  $K$  - می تواند از معادله زیر محاسبه شود :

$$K - value = 1000k$$

(۱۵)

که  $k$  توسط معادلات داده شده در بند ۳-۳-۶ تعریف شده است.

### ۱۰ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل حداقل اطلاعات زیر باشد:

الف) اشاره به شماره این استاندارد ملی و استاندارد مخصوص برای پلیمر آزمون شده در صورت وجود

ب) تمام جزئیات مورد نیاز برای شناسایی مواد تحت آزمون شامل نوع، منبع، و عدد شناسایی سازنده

پ) غلظت مواد در محلول مورد استفاده، یک شرح از حلال و جزئیات آماده سازی محلول

ت) جزئیات ویسکومتر مورد استفاده

ث) دمای آزمون

ج) نتایج آزمون

چ) تاریخ انجام آزمون

## پیوست الف (الزامی) تمیز کردن دستگاه

ضروری است که تمام وسایل در تماس با محلول تحت آزمون به طور کامل تمیز باشند. هر ناخالصی مانند گرد و غبار، مقدار کم مایع (رطوبت) یا رشته الیاف و پرز در ویسکومتر باعث بروز خطا در نتایج می شود. قبل از آزمون، ویسکومتر و تمام وسایل مورد استفاده (ظروف شیشه ای، پی پت ها، فیلترهای شیشه ای، لوله های لاستیکی و ...) را تمیز کنید. ممکن است یک پاک کننده مناسب کافی باشد. ممکن است به تیزاب سلطانی (۳ حجم اسید هیدروکلریک غلیظ و یک حجم اسید نیتریک غلیظ) برای برداشتن باقیمانده های غیر آلی از شیشه آلات و به یک حلال مناسب برای برداشتن روغن و چربی مورد نیاز باشد. سپس دستگاه های شیشه ای را خشک کنید و با یک محلول اسید کرومیک تهیه شده مخصوص آن را تمیز کنید. این محلول را در تماس با شیشه آلات در طول یک شب در یک دمای حداقل  $20^{\circ}\text{C}$  نگهداری کنید. برای تمیز کنندگی بیشتر، اسید کرومیک را به آرامی درون یک حمام آب، گرم کنید. اسید کرومیک را بیرون ریخته و حداقل پنج مرتبه با آب مقطر یا آب دو بار تقطیر آب کشی کنید. در یک آون الکتریکی در دمای کمتر از  $100^{\circ}\text{C}$  آن را خشک کنید یا حداقل پنج مرتبه با استون تقطیر شده، خشک شده و فیلتر شده آب کشی کنید. دستگاه ها را با یک جریان آرام هوای خشک فیلتر شده یا ترجیحاً با یک لوله مکش خشک کنید. بین اندازه گیری های متوالی زمان عبور نمونه های از یک نوع مشابه، ویسکومتر را می توان به وسیله آب کشی و شستشو با یک حلال فرار مناسب که تقطیر و فیلتر شده، تمیز کرد. دستگاه ها را با یک جریان آرام هوای خشک فیلتر شده، با یک لوله مکش و یا در یک آون الکتریکی در دمای کمتر از  $100^{\circ}\text{C}$  خشک کنید. بازدهی و کیفیت تمیزکاری می تواند بررسی شود از این مورد که زمان های عبور با یک حلال و ویسکومتر داده شده ثابت باقی بماند. اگر محلول مورد اندازه گیری و ویسکومتر یکسان باشد، تخلیه ویسکومتر، شستشوی آن با محلول بعدی مورد اندازه گیری و سپس پر کردن با مقدار بیشتری از این محلول مجاز است. توصیه می شود که ویسکومترهای مورد استفاده برای سیالات سیلیکونی و فلئوئورکربن به طور انحصاری برای استفاده با این سیالات استفاده شود و این ویسکومترها در فواصل متناوب کالیبره می شوند. برای اطمینان از این که این سیالات، دستگاه های دیگر را مستقیم یا غیرمستقیم آلوده نکنند، احتیاط فراوان باید به عمل آید.

هشدار - احتیاط های ویژه باید هنگام استفاده از تیزاب سلطانی و اسید کرومیک به عمل آید. اسید کرومیک سمی است. هم چنین اقدام لازم باید برای اطمینان از دفع ایمن این اسیدها به عمل آید. از عینک و دستکش های حفاظتی باید استفاده کرد. هر ترشح بر روی پوست باید بی درنگ با استفاده از آب سرد شسته شود. از تنفس بخارات باید پرهیز کرد.

**پیوست ب**  
**(الزامی)**  
**یادآوری بر منابع خطا**

**ب-۱ اصول کلی**

در این استاندارد ملی برای تعیین خواص گرانروی پلیمرها به شکل محلول رقیق شده، راهنمایی لازم بر اساس بند ۳ ارائه شده است. اندازه گیری این خواص با تجدید پذیری بهتر از آن چه به دست آمد می تواند در اندازه گیری های مطلق گرانروی انجام شود به دلیل این که بسیاری از خطاهای دستگاه به طور تقریبی برای حلال و محلول مشابه هستند و به طور موثر رفع شده اند.

**ب-۲ اصول اندازه گیری ها**

گرانروی نسبی و پارامترهای دیگر تعریف شده در بند ۳ از زمان عبور محلول و حلال محاسبه شده اند. مایع تحت تاثیر نیروی جاذبه از میان قسمت موئینه ویسکومترهای ابل هود معلق عبور می کند. زمان عبور متناسب با نسبت گرانروی/چگالی سیالات می باشد (به بند ۴ مراجعه شود). این معادل است با بیان این که انرژی جنبشی و خطاهای دیگر قابل صرف نظر کردن بوده و این که اختلاف چگالی حلال و محلول اندک و قابل چشم پوشی است.

**ب-۳ منابع خطا**

مهم ترین منابع خطا در اندازه گیری گرانروی توسط لوله های موئینه مربوط هستند به :

الف) تنش سطحی

ب) تاثیرات ته لوله موئینه

پ) تاثیرات تخلیه

ت) تاثیرات گرما بر گرانروی

ث) انحراف ویسکومتر از حالت عمودی

ج) اختلاف ارتفاع فشاری هیدرواستاتیکی

چ) کاهش جرم به دلیل تبخیر

ح) خطاهای اندازه گیری غلظت و زمان عبور

خ) تاثیرات برشی

د) خطاها در تثبیت و اندازه گیری دما

ذ) انرژی جنبشی

خوشبختانه اغلب این خطاها را می توان برای روش های اجرایی پیشنهادی، ناچیز و قابل صرف نظر کردن در نظر گرفت.

وقتی اندازه گیری های نسبی گرانروی مورد نظر باشد، به طور کلی، خطاهای مربوط به تنش سطحی، اثرات انتهایی و اثرات تخلیه در آزمون با حلال های آلی در ویسکومترهای ابل هود کوچک می باشد<sup>[3]</sup>،<sup>[4]</sup>.

وقتی که ویسکومترهای مویینه توسط نیروی جاذبه عمل می کنند، تاثیرات حرارت بر گرانیوی قابل صرف نظر کردن است. خطاهای مربوط به انحراف از حالت عمودی و اختلاف ارتفاع فشاری هیدرواستاتیکی به طور معمول با این نوع از ویسکومتر خیلی کوچک هستند. تلفات حلال به علت تبخیر و خطاهای غلظت بستگی به روش اجرایی مخصوص داشته و باید به حساب آورده شوند. به منظور بررسی قابلیت تجدیدپذیری، زمان عبور حلال ترجیحا باید حداقل ۷۰ s بوده، اما به دلیل پرهیز از زمان های عبور طولانی برای محلول های مشابه، نباید بیش از ۲۰۰ s باشد. از آن جایی که محلول های پلیمری اغلب غیر نیوتنی هستند، تنش نرخ برشی باید جدی گرفته شود [5][6]. به بیان دقیق، اندازه گیری ها باید در نرخ های برشی خیلی پایین انجام شود. اما در روش های معمول نرخ برشی برابر  $1000 \text{ s}^{-1}$  یا بیشتر است. خوشبختانه می توان نشان داد [7],[8],[9] که تاثیرات نرخ برشی خیلی کوچک هستند مگر این که جرم مولی پلیمر بیش از  $10^6 \text{ g/mol}$  باشد که با پلیمرهای موجود در بازار به ندرت اتفاق می افتد.

خوشبختانه به حساب آوردن تاثیرات نرخ برشی برای مقاصد استانداردسازی بین المللی غیر عملی بوده و یک رویکرد بهتر تعریف رواداری و ابعاد ویسکومتر است به نحوی که نرخ برشی در آزمایشگاه های مختلف در آزمون نمونه های پلیمری مشابه به دقت تجدیدپذیر است. ممکن است نتیجه گیری شود که مهم ترین منابع خطا در اندازه گیری، واژه انرژی جنبشی می باشد. مقدار آن می تواند قابل ملاحظه باشد. به طور مثال در یک ویسکومتر استاندارد ابل هود با قطر مویینه  $0.58 \text{ mm}$  مقدار آن برای کلروفورم به طور تقریبی برابر  $15\%$  است. خطاهای حاصل در گرانیوی کاهیده می تواند تا  $30\%$  بوده و برای موارد خاص خارج از دامنه این استاندارد، به کار بردن تصحیح انرژی جنبشی می تواند مناسب باشد.

#### ب-۴ انتخاب ویسکومترها

از آن جایی که معرفی یک تصحیح انرژی جنبشی در استانداردسازی بین المللی عملی نیست، ضروری است انتخاب ویسکومتر به نحوی که :

(الف) یا واژه انرژی جنبشی قابل صرف نظر کردن است

(ب) یا ثابت است و در آزمایشگاه های مختلف تکرار پذیر است.

در حقیقت شرایط ثانویه نمی تواند به راحتی محقق شود. حداکثر فشار هیدرواستاتیکی تفاضلی  $X$  صرف شده در انرژی جنبشی به طور تقریبی توسط معادله زیر داده می شود:

$$X = \frac{R^4 h g}{64 L^2 v^2} \quad (\text{ب-۱})$$

که در آن :

$R$	شعاع مویینه،
$h$	ارتفاع فشاری هیدرواستاتیکی،
$g$	شتاب جاذبه،
$L$	طول لوله مویینه و
$v$	نسبت گرانیوی/چگالی است.

در رابطه ب-۱ یادآوری این که زمان عبور و حجم مخزن به خودی خود مقادیر  $X$  را تحت تاثیر قرار نمی دهند، مهم است. برای لوله های موئینه شیشه ای استاندارد با قطر بین  $0.3$  mm تا  $1$  mm ، حد رواداری قطر <sup>[10],[11]</sup> به طور معمول برابر  $0.2 \pm$  mm ، مطابق با مقدار تقریبی  $30 \pm \%$  و  $8 \pm \%$  مقدار  $X$  بوده در حالی که فشار هیدرواستاتیکی میانگین برابر  $(120 \pm 10)$  mm و طول موئینگی  $L$  برابر  $(90 \pm 9)$  mm مطابق با تقریباً  $30 \%$  مقدار  $X$  می باشد.

چون رواداری های معمول در لوله های موئینه استاندارد بسیار محدود و بسته می باشند، در نتیجه عبارت انرژی جنبشی نمی تواند تجدیدپذیر بیان شود. بنابراین انتخاب ویسکومتریایی که آن را به کمترین مقدار برساند، ضروری است. در این استاندارد بیشترین مقدار مجاز،  $0.3 X$  ( تقریباً  $4 \%$  تا  $6 \%$  گرانیوی کاهیده) تعیین شده است. از معادله ب-۱ می توان دید، در مقادیر تعیین شده  $h$  و  $L$ ، پارامتر بحرانی مشخص کننده اندازه  $X$ ، نسبت  $R^2/v$  است. با وارد کردن  $h = 120$  mm و  $L = 90$  mm و اعمال  $X < 0.3$  در رابطه ب-۱ یک رابطه بین حداکثر شعاع موئینه مورد استفاده و مقدار  $v$  به دست آمده است :

$$R^2 < 0.111v \quad (\text{ب-۲})$$

یا برای قطر :

$$D^2 < 0.444v \quad (\text{ب-۳})$$

که  $R$  و  $D$  بر حسب میلی متر و  $v$  بر حسب  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  می باشد. می توان یادآوری کرد که رابطه ب-۳ متکی بر مقادیر مخصوص مربوط به ارتفاع فشار هیدرواستاتیکی و طول لوله موئینه است. این ها بین طراحی های گوناگون ویسکومتر نوسان خواهند داشت و به ویژه برای نمونه های گوناگون ویسکومترهای نوع ابل هود و دین ابل هود اندکی متفاوت هستند.

از رابطه ب-۳ می توان جهت محاسبه حداکثر قطر تئوری برای یک حلال با نسبت گرانیوی/چگالی معلوم در دمای اندازه گیری، استفاده کرد.

به منظور تعیین خواص پلیمرها شرح داده شده در این استاندارد، نسبت گرانیوی/چگالی برای حلال انتخاب شده باید معلوم باشد. جدول ب-۱ مقادیری در  $25^\circ\text{C}$  برای تعدادی از حلال های انتخاب شده برای پلیمرها با بیشترین قطر موئینه تئوری محاسبه شده برای ویسکومتر ابل هود را ارائه می دهد.

از رابطه ب-۳ همچنین برای انتخاب اندازه های ویسکومترهای ابل هود و دین ابل هود داده شده در جدول یک استفاده می شود. دیگر سری های مناسب ویسکومترها و اندازه ها می تواند به وسیله جایگزینی مقادیر مربوطه در رابطه ب-۱ تعیین شود.

جدول ب-۱: نمونه های نسبت گرانی/چگالی برای حلال های پلیمر مشخص شده و بیشترین قطرهای تئوری لوله های مویینه متناظر

حلال	نسبت گرانی/چگالی در دمای ۲۵°C mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	حداکثر قطر تئوری لوله مویینه از رابطه ب-۳ mm
سیکلوهگزان	۲,۱۰	۰,۹۷
دی کلرو متان	۰,۳۳	۰,۳۸
<i>m</i> -کرزول (متا-کرزول)	۱۳,۱۰	۲,۴۱
تری کلرو متان	۰,۳۶	۰,۴۰



پیوست پ  
(اطلاعاتی)  
کتابنامہ

- [1] *Compendium of macromolecular nomenclature*, METANOMSKI, W.V., IUPAC and Blackwell Scientific Publications, 1991
- [2] FIKENTSCHER, H., *Cellulosechemie*, **13**, pp. 58-64 (1932)
- [3] ONYON, P.F., in *Techniques of polymer characterisation*, ed. by ALLEN, P.W., Butterworths, London, 1959
- [4] CRAGG, L.H., and VAN OENE, H., *Can. J. Chem.*, **39**, 203 (1961)
- [5] PASSAGLIA, E., YOUNG, J.T., and WEGEMER, N.J., *J. Polymer Sci.*, **47**, 333 (1960)
- [6] LOHMANDER, U. *Makromol. Chem.* **72**, 159 (1964)
- [7] KRIGBAUM, W.R., and FLORY, P.J., *J. Polymer Sci.*, **11**, 37 (1953)
- [8] CRAGG, L.H., STONES, R.H., and DUMITRU, T.E., *J. Polymer Sci.*, **13**, 167 (1954)
- [9] MERRIL, E.W., MICKLEY, H.S., RAM, A., and PERKINSON, G., *Trans. Soc. Rheol.*, **5**, 237 (1961) and **6**, 119 (1962)
- [10] ASTM D 446, *Standard Specifications and Operating Instructions for Glass Capillary Kinematic Viscometers*
- [11] BS 188, *Methods for the determination of the viscosity of liquids*