INSO
15432
1st.Edition
2018

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

استاندارد ملی ایران
۱۵۴۳۲
چاپ اول
۱۳۹۶

قیر و مواد قیری – تعیین سختی خزش خمشی قیر با دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) – روش آزمون

Bitumen and bituminous materials - Determining the flexural creep stiffness of asphalt binder using the bending beam rheometer (BBR) - Test method

ICS: 93.080.20

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۱۵۴۳۲(چاپ اول): سال ۱۳۹۶

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

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

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

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

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

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

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

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیتهٔ 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 شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

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

1 - International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3 - International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«قیر و مواد قیری – تعیین سختی خزش خمشی قیر با دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) – روش آزمون»

رئیس:	**سمت و/ یا محل اشتغال**
اسماعیلی طاهری، محسن (کارشناسی ارشد مهندسی عمران)	شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک
دبیر:	
زمانی‌فر، الهام (دکتری شیمی معدنی)	شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اسمعیلی، رضا (کارشناسی ارشد راه و ترابری)	شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک
افشاری، غفار (کارشناسی ارشد شیمی آلی)	شرکت نفت جی
امینی، احسان (کارشناسی ارشد شیمی آلی)	شرکت نفت پاسارگاد
پرویزی، سعید (کارشناسی ارشد راه و ترابری)	شرکت پرشیا قیر توس
پورعبدالله، هادی (کارشناسی شیمی کاربردی)	قیران پخش ستاره ایرانیان
ترکاشوند، مهدی (کارشناسی ارشد مهندسی معدن)	مهندسین مشاور ناژ
توکلی، مهدی (کارشناسی معماری)	سندیکای شرکت‌های ساختمانی
حمیدوند، سمیرا (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	شرکت وارش شیمی بهار

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/ یا محل اشتغال**
خداپرست، بهرنگ (کارشناسی مهندسی عمران)	انجمن شرکت‌های راهسازی ایران
راهی، محمد (کارشناسی ارشد پلیمر)	شرکت نفت پاسارگاد
رحیمی، محسن (کارشناسی ارشد مهندسی عمران)	وزارت راه و شهرسازی
سیف‌زاده، حمیدرضا (کارشناسی ارشد مهندسی صنایع)	شرکت نفت پاسارگاد
شریف زاده، ابوذر (کارشناسی شیمی)	شرکت نفت جی
شیرازیان، شهرام (دکتری زمین‌شناسی ساختمانی)	مهندسان مشاور ایران استن
صادقی، فاطمه (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت
عارف آذر، کاظم (کارشناسی ارشد راه و ساختمان)	سندیکای شرکت‌های ساختمانی ایران
فروتن، سارا (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	شرکت فومن شیمی گستر
کریمیان خسروشاهی، فریبا (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	شرکت آذر بام
محمدنیا، امیر رضا (کارشناس مهندسی مکانیک)	شرکت نفت پاسارگاد
محمودی‌نیا، نادر (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/ یا محل اشتغال**
مرشد زاده، علی (کارشناسی مهندسی شیمی)	شرکت بهین پالایش نفت قشم
معتمد، آرش (دکتری مهندسی عمران)	دانشگاه صنعتی شریف
منصوریان، احمد (دکتری مهندسی عمران)	مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی
منیعی، سحر (کارشناسی ارشد شیمی)	شرکت نفت پاسارگاد
مهرداد، سمیه (کارشناسی مترجمی زبان انگلیسی)	شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک
نوروز زاده، حسن (کارشناسی شیمی)	مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح شهرداری تهران
ویراستار	
اسماعیلی طاهری، محسن (کارشناسی ارشد مهندسی عمران)	شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ی
۱ هدف و دامنهٔ کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۲
۳ اصطلاحات و تعاریف ۳
۴ خلاصه آزمون ۵
۵ محدودیت‌ها ۵
۶ وسایل ۶
۶-۱ دستگاه آزمون رئومتر تیرچه خمشی (BBR) ۶
۶-۲ قاب بارگذاری ۶
۶-۳ سامانه بارگذاری ۷
۶-۳-۱ الزامات سامانه بارگذاری ۷
۶-۳-۲ میله بارگذاری ۷
۶-۳-۳ بارسنج ۸
۶-۳-۴ مبدل تغییر شکل خطی (LVDT) ۸
۶-۳-۵ تکیه‌گاه‌های آزمونه ۸
۶-۴ ابزار اندازه‌گیری دما در دستگاه رئومتر تیرچه خمشی ۹
۶-۵ حمام سیال با دمای کنترل شده ۹
۶-۵-۱ هم‌زن حمام ۱۰
۶-۵-۲ حمام مایع در گردش (اختیاری) ۱۰
۶-۶ سامانه ثبت و پایش داده‌ها ۱۰
۶-۶-۱ فیلتر کردن سیگنال‌های بار و خیز ۱۰
۶-۷ قالب‌های آزمونه ۱۰
۶-۸ ابزارهای صحه‌گذاری یا واسنجی ۱۳
۶-۸-۱ تیرچه فولادی زنگ نزن (ضخیم) برای تأیید صحت اندازه‌گیری و واسنجی‌های بارسنج ۱۳
۶-۸-۲ تیرچه فولادی زنگ نزن (نازک) برای کنترل کلی سامانه اندازه‌گیری ۱۳
۶-۸-۳ وزنه‌های استاندارد ۱۳
۶-۸-۴ گیج مخصوص جابه‌جایی‌سنج ۱۴
۶-۹ ابزار واسنجی شدهٔ اندازه‌گیری دما ۱۴
۶-۱۰ مهاربند ۱۴

عنوان **صفحه**

۷ مواد ۱۴
۷-۱ ورقه‌ها برای روکش قالب‌های فلزی ۱۴
۷-۱-۱ کاغذ جداکنندۀ سیلیکونی برای روکش قالب‌های فلزی (اختیاری) ۱۴
۷-۲ ورقه برای روکش قالب‌های سیلیکونی ۱۵
۷-۳ مادۀ چسباننده‌ٔ نوارها به سطوح قالب فلزی ۱۵
۷-۴ مادۀ جداکننده برای اندود کردن قالب‌های فلزی ۱۵
۷-۵ مایع حمام ۱۵
۸ خطرات ۱۶
۹ آماده‌سازی دستگاه ۱۶
۱۰ صحه‌گذاری واسنجی اجزای دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) ۱۶
۱۰-۱ صحه‌گذاری جابجایی سنج ۱۶
۱۰-۲ صحه‌گذاری حرکت آزاد بالشتک هوا (سامانه بارگذاری) ۱۸
۱۰-۳ صحه گذاری بارسنج ۱۸
۱۰-۳-۱ بار تماسی ۱۸
۱۰-۳-۲ بار آزمون ۱۹
۱۰-۳-۳ صحه‌گذاری خوانش صفر بارسنج ۱۹
۱۰-۴ کنترل روزانه سامانه اندازه‌گیری ۱۹
۱۰-۵ صحه‌گذاری ابزار اندازه‌گیری دما ۲۰
۱۰-۶ صحه‌گذاری هم‌راستایی ابتدا تا انتهای میله بارگذاری ۲۰
۱۱ آماده‌سازی قالب‌ها و آزمونه‌ها ۲۰
۱۱-۱ آماده‌سازی قالب‌ها ۲۰
۱۱-۱-۱ آماده‌سازی قالب‌های فلزی ۲۱
۱۱-۱-۲ آماده‌سازی قالب‌های سیلیکونی ۲۱
۱۱-۲ آماده‌سازی آزمونه ۲۱
۱۱-۳ قالب‌گیری و پرداخت آزمونه‌ها ۲۲
۱۱-۳-۱ قالب‌گیری آزمونه‌ها (قالب فلزی) ۲۲
۱۱-۳-۲ قالب‌گیری آزمونه‌ها (قالب سیلیکونی) ۲۲
۱۱-۴ نگه‌داری و بیرون آوردن آزمونه‌ها از قالب ۲۲
۱۲ روش اجرای آزمون ۲۳
۱۲-۲ اندازه‌گیری ضخامت آزمونه ۲۴
۱۲-۲-۱ روش‌های اختیاری اندازه‌گیری ضخامت آزمونه ۲۴

عنوان **صفحه**

۱۲-۲-۲ روش مستقیم اندازه‌گیری ضخامت آزمونه ۲۴
۱۲-۲-۳ اندازه‌گیری ضخامت آزمونه با جابجایی‌سنج ۲۴
۱۲-۳ کنترل بار تماسی و بار آزمون ۲۶
۱۲-۳-۴ عملیات تصحیح ۲۷
۱۳ روش محاسبهٔ داده‌های آزمون ۲۷
۱۳-۳ محاسبه سختی (S) و مقدار m (نرخ تغییرات خزشی) ۲۸
۱۴ گزارش ۲۹
۱۴-۲ اطلاعات آزمونه ۳۱
۱۴-۳ اطلاعات واسنجی ۳۱
۱۴-۴ شرایط آزمون ۳۱
۱۴-۵ نتایج آزمون ۳۲
۱۴-۷ فایل داده‌ها ۳۲
۱۵ دقت و انحراف ۳۳
۱۵-۱ دقت ۳۳
۱۵-۲ دقت یک آزمایش‌گر (تکرارپذیری) ۳۳
۱۵-۳ دقت چند آزمایشگاهی (تجدیدپذیری) ۳۳
۱۵-۴ اریبی ۳۳
پیوست الف (الزامی) واسنجی اجزای دستگاه ۳۴
پیوست ب (آگاهی دهنده) نظریه تیرچه و تفسیر داده‌ها ۳۷

پیش‌گفتار

استاندارد «قیر و مواد قیری – تعیین سختی خزش خمشی قیر با دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) – روش آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در هفتصد و چهل و ششمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۶/۱۱/۲۳ 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.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران - ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارایه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

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

ASTM D6648: 2008 (Reapproved 2016), Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR).

قیر و مواد قیری – تعیین سختی خزش خمشی قیر با دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR)– روش آزمون

هشدار- در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی درج نشده است. در صورت مواجهه با چنین مواردی، مسئولیت برقراری شرایط بهداشت و ایمنی مناسب و اجرای آن بر عهدهٔ کاربر این استاندارد است.

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد تعیین سختی خمشی - خزشی یا تعیین شاخص آن و نرخ تغییرات خزشی (m-Value) قیرها با استفاده از دستگاه رئومتر تیرچه خمشی است. این روش آزمون برای مواد قیری که مقادیر سختی خمشی - خزشی آنها در محدودهٔ ۲۰ مگاپاسکال تا ۱ گیگاپاسکال است (مقادیر خزش قابل قبول در گسترهٔ nPa^{-1} ۵۰ تا nPa^{-1} ۱، کاربرد دارد و برای آزمون قیرهای پیرنشده یا قیرهای پیرشده طبق روش‌های آزمون استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۸۹۸ یا ASTM D6521 (PAV) به‌کار برده می‌شود. دستگاه رئومتر تیرچه خمشی باید در محدودهٔ دمایی (۰ تا ۳۶-) درجهٔ سلسیوس عمل می‌کند.

۱-۲ اگر خیز[1] در آزمونه‌هایی که مطابق با این استاندارد، آزمون شده‌اند بیش از ۴ میلی‌متر یا کمتر از ۰٫۰۸ میلی‌متر باشد، نتایج به دست آمده فاقد اعتبار است.

۱-۳ دماهای این استاندارد بر اساس دمای روسازی تجربه شده در فصل زمستان در منطقه جغرافیایی که قیر مورد نظر استفاده شده، ارایه شده است.

۱-۴ سختی خزش خمشی یا شاخص خزش خمشی تعیین شده در این روش آزمون، رفتار تنش- کرنش قیر را در دماهای پایین نسبت به زمان در دمای آزمون و در محدودهٔ رفتار ویسکوالاستیک خطی بیان می‌کند.

۱-۵ عملکرد ترک‌خوردگی حرارتیِ روسازی‌ها در دمای پایین به سختی خزشی و نرخ تغییرات خزشی (m-value) قیر استفاده شده در مخلوط ارتباط دارد.

۱-۶ سختی خزشی و نرخ تغییرات خزشی (m-value) به عنوان معیار ویژگی‌های عملکردی قیر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۲۵۰۵ به کار می‌رود.

1-Deflect

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.
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 تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ASTM C802, Practice for Conducting an Interlaboratory Test Program to Determine the Precision of Test Methods for Construction Materials.

2-2 ASTM D140, Practice for Sampling Bituminous Materials.

2-3 ASTM D2872, Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test).

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۸۹۸: سال ۱۳۸۸، قیر و مواد قیری- اثر گرما و هوا روی لایهٔ نازک متحرکی از قیر (آزمون گرم‌خانه لایهٔ نازک متحرک، RTFOT) -روش آزمون، با استفاده از استاندارد ASTM D2872:2004 تدوین شده است.

2-4 ASTM D 6521, Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV).

2-5 ASTM D 6373, Specification for Performance Graded Asphalt Binder.

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۲۵۰۵: سال ۱۳۹۴، قیر و مواد قیری- مشخصات قیر برای استفاده در راهسازی طبقه‌بندی شده بر اساس عملکرد - ویژگی‌ها، با استفاده از استاندارد ASTM D6373:2015 تدوین شده است.

2-6 ASTM E77, Test Method for Inspection and Verification of Thermometers.

2-7 DIN 43760, Standard for Calibration of Thermocouples.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به‌کار می‌رود:

۱-۳

قیر

asphalt binder

ماده‌ای است با پایه قیر خالص که از پسماند نفتی با افزودن یا بدون افزودن اصلاح کننده‌ها به‌دست آمده است.

۲-۳

سخت شدگی فیزیکی

physical hardening

سفت شدن برگشت‌پذیر و وابسته به زمانِ قیر که معمولاً هنگام نگه‌داری قیر در دمای کمتر از دمای محیط رخ می‌دهد.

۳-۳

بار تماسی

contact load

نیروی (P_C) مورد نیاز به مقدار (۳۵ ± ۱۰) میلی‌نیوتن برای حفظ تماس بین آزمونه، تکیه‌گاه‌ها و میله بارگذاری.

۴-۳

سختی خزش خمشی

flexural creep stiffness, $S_e(t)$

سختی خزشی به دست آمده از طریق تطبیق دادن چند جمله‌ای (منحنی) درجه ۲ با لگاریتم سختی اندازه‌گیری شده در زمان‌های ۸٫۰ ثانیه، ۱۵٫۰ ثانیه، ۳۰٫۰ ثانیه، ۶۰٫۰ ثانیه، ۱۲۰٫۰ ثانیه و ۲۴۰٫۰ ثانیه و لگاریتم زمان (معادله ۵ زیربند ۱۳-۴ را ببینید).

۵-۳

شاخص خزش خمشی

flexural creep compliance, D(t)

نسبت حاصل از تقسیم حداکثر کرنش خمشی (به معادله الف-۵ مراجعه شود) در تیرچه خمشی بر حداکثر تنش خمشی (به معادله الف-۴ مراجعه شود) است. شاخص خزش خمشی معکوس سختی خزش خمشی است.

۶-۳

سختی خزش خمشی اندازه‌گیری شده

measured flexural creep stiffness, $S_m(t)$

نسبت حاصل (به معادله ۳ زیربند ۱۳-۲ مراجعه شود) از تقسیم حداکثر تنش خمشی اندازه‌گیری شده (به معادله الف-۴ مراجعه شود) بر حداکثر کرنش خمشی اندازه‌گیری شده (به معادله الف-۵ مراجعه شود) است. سختی خزش خمشی در گذشته، در تکنولوژی قیر استفاده شده است در حالی که شاخص خزش خمشی معمولاً در مطالعات ویسکوالاستیک قیر به کار می‌رود.

۷-۳

مقدار m (نرخ تغییرات خزشی)

m-value

قدر مطلق شیب منحنی لگاریتم سختی دربرابر لگاریتم زمان (به معادله ۶ زیربند ۱۳-۵ مراجعه شود).

۸-۳

بار آزمون

test load

بار (P_v) (۹۸۰ ± ۵۰) میلی‌نیوتن که به مدت ۲۴۰ ثانیه برای تعیین سختی قیر مورد آزمون، اعمال می‌شود.

۹-۳

خوانش صفر بارسنج

zero load cell reading

بار نشان داده شده بر روی سامانه ثبت داده‌ها هنگامی که میله بارگذاری به طور آزادانه در حمام شناور بوده و در آن وضعیت اولین تماس آن با آزمونه رخ می‌دهد.

۴ خلاصهٔ آزمون

۱-۴ دستگاه رئومتر تیرچه خمشی برای اندازه‌گیری خیز نقطه میانی آزمونهٔ تیرچه منشوری قیر که بر روی تکیه‌گاه قرار گرفته و بار ثابت به نقطه وسط آن اعمال می‌شود، به‌کار می‌رود. این دستگاه تنها در حالت بارگذاری عمل می‌کند و اندازه‌گیری میزان برگشت قیر پس از حذف بار ممکن نیست.

۲-۴ آزمونه منشوری قیر، درون حمام سیال با دمای کنترل شده قرار می‌گیرد و با اعمال بار ثابت آزمون به مدت ۲۴۰٫۰ ثانیه، بارگذاری می‌شود. مقدار بار آزمون (۵۰± ۹۸۰) میلی‌نیوتن و خیز نقطه میانی آزمونه برحسب زمان با استفاده از سامانه کامپیوتری ثبت و کنترل داده‌ها، نمایش داده می‌شود.

۳-۴ حداکثر تنش خمشی در نقطه میانی آزمونه با توجه به ابعاد آزمونه، فاصله بین تکیه‌گاه‌ها و مقدار بار اعمال شده بر آزمونه در زمان‌های بارگذاری ۸٫۰ ثانیه، ۱۵٫۰ ثانیه، ۳۰٫۰ ثانیه، ۶۰٫۰ ثانیه، ۱۲۰٫۰ ثانیه و ۲۴۰٫۰ ثانیه محاسبه می‌شود. حداکثر کرنش خمشی آزمونه، با توجه به ابعاد آزمونه و خیز آزمونه در همان زمان‌های بارگذاری محاسبه می‌شود. سختی آزمونه در زمان‌های بارگذاری مشخص شده با تقسیم کردن حداکثر تنش خمشی به حداکثر کرنش خمشی محاسبه می‌شود.

۵ محدودیت‌ها

۱-۵ اگر خیز در نقطه میانی آزمونه، بیش از ۴٫۰ میلی‌متر باشد، نتایج اندازه‌گیری‌ها مورد تردید است. کرنش‌های بیش از این مقدار ممکن است خارج از ناحیه خطی رفتار قیر باشند.

۲-۵ اگر خیز در نقطه میانی آزمونه، کمتر از ۰٫۰۸ میلی‌متر باشد، نتایج اندازه‌گیری‌ها مورد تردید است. هنگامی که خیز در نقطه میانی آزمونه، کمتر از ۰٫۰۸ میلی‌متر است، ممکن است دقت تجهیزات آزمون برای بیان نتایج معتبر و قابل اطمینان کافی نباشد.

۶ وسایل

۶-۱ دستگاه آزمون رئومتر تیرچه خمشی (BBR)[1]

دستگاه آزمون رئومتر تیرچه خمشی (BBR) شامل موارد زیر است:

۱- قاب بارگذاری با تکیه‌گاه‌های آزمونه؛

۲- حمام مایع با دمای کنترل شده با قابلیت نگه‌داری آزمونه در دمای آزمون و ایجاد نیروی شناور رو به بالا برای خنثی‌کردن نیروی ناشی از جرم آزمونه؛

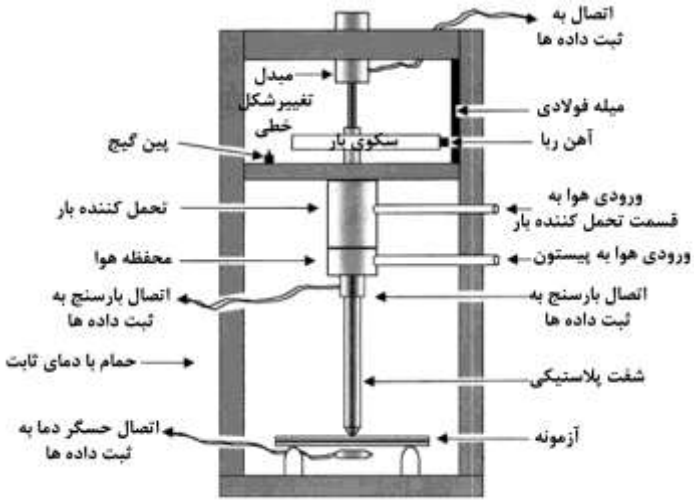
۳- سامانه کامپیوتری ثبت و کنترل داده‌ها؛

۴- قالب‌های آزمونه؛

۵- ابزار صحه‌گذاری و واسنجی دستگاه آزمون.

۶-۲ قاب بارگذاری

قاب بارگذاری شامل مجموعه تکیه‌گاه‌های نمونه، میله بارگذاری با نوک کروی برای اعمال بار به نقطه میانی آزمونه، بارسنج نصب شده در امتداد میله بارگذاری، وسایل صفر کردن بار اعمال شده به آزمونه، وسایل اعمال بار ثابت به آزمونه و ابزار اندازه‌گیری خیز نصب شده روی میله بارگذاری، است. نمایی از دستگاه آزمون در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمایی از دستگاه آزمون

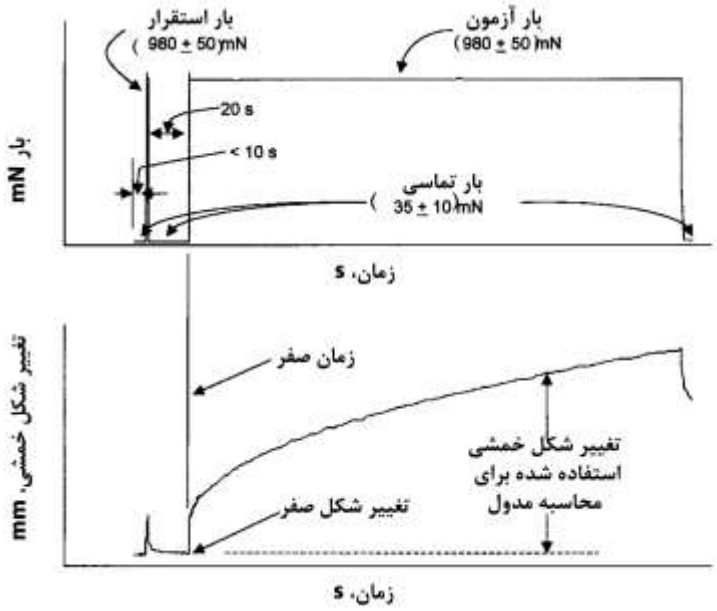
1-Bending Beam Rheometer

۶-۳ سامانه بارگذاری

سامانه بارگذاری با قابلیت اعمال بار تماسی به مقدار (۱۰±۳۵) میلی‌نیوتن، به آزمونه و نگه‌داری بار آزمون به مقدار (۵۰±۹۸۰) میلی‌نیوتن با دقت ۱۰± میلی‌نیوتن می‌باشد.

۶-۳-۱ الزامات سامانه بارگذاری

زمان مورد نیاز برای افزایش بار از (۱۰±۳۵) میلی نیوتن بار تماسی به (۵۰±۹۸۰) میلی نیوتن بار آزمون باید کمتر از ۰٫۵ ثانیه باشد. در این مدت زمان، دستگاه باید بار آزمون را تا مقدار (۵۰±۹۸۰) میلی نیوتن افزایش دهد. در فاصله زمانی ۰٫۵ ثانیه تا ۵ ثانیه، بار اعمال شده باید در محدودهٔ ۵۰± میلی‌نیوتن از میانگین بار آزمون باشد و پس از آن باید در محدودهٔ ۱۰± میلی‌نیوتن از میانگین بار آزمون باشد. جزئیات الگوی بارگذاری در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- الگوی بارگذاری

۶-۳-۲ میله[1] بارگذاری

میله بارگذاری با سر کروی شکل به شعاع (۰٫۳±۶٫۳) میلی‌متر که متصل و در راستای بارسنج و مبدل اندازه‌گیری خیز، نصب شده است.

1-Shaft

۶-۳-۳ بارسنج

بارسنج، مقدار بار تماسی و بار آزمون را اندازه می‌گیرد. بارسنج باید دارای حداقل ظرفیت ۲٫۰۰ نیوتن و دقت حداقل ۲٫۵ میلی‌نیوتن باشد. این ابزار باید در راستای میله بارگذاری و بالاتر از سطح سیال درون حمام با دمای کنترل شده، قرار گیرد.

۶-۳-۴ مبدل تغییر شکل خطی (LVDT)[1]

مبدل تغییر شکل خطی یا هر ابزار مناسب دیگر که خیز آزمونه را اندازه می‌گیرد. این ابزار باید قابلیت اندازه‌گیری محدودۀ خطی دست‌کم ۶ میلی‌متر و اندازه‌گیری جابجایی خطی به اندازۀ ۲٫۵ میکرومتر را داشته باشد و در امتداد و بالای میله بارگذاری قرار گیرد.

۶-۳-۵ تکیه‌گاه‌های آزمونه

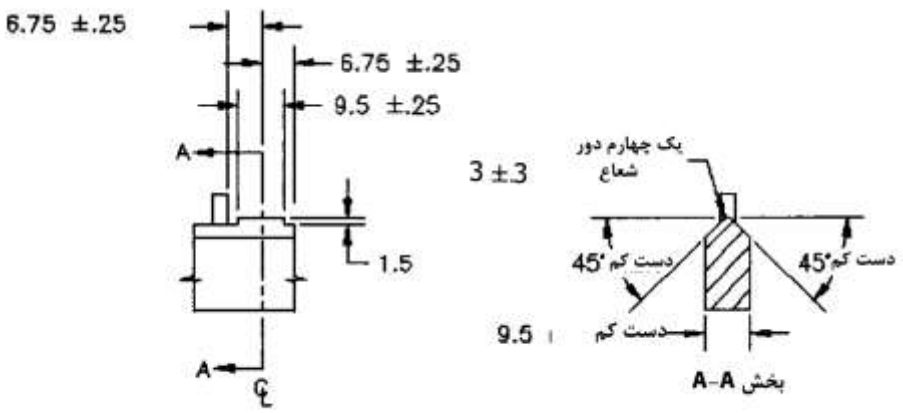
دو تکیه‌گاه از جنس فولاد زنگ نزن یا سایر فلزات مقاوم در برابر خوردگی با شعاع تماسی (۳٫۰ ± ۰٫۳) میلی‌متر که با فاصله (۱۰۲ ± ۱٫۰) میلی‌متر از هم قرار می‌گیرند. فاصله تکیه‌گاه‌ها باید با دقت ۰٫۳ ± میلی‌متر اندازه‌گیری شده و در محاسبات بند ۱۳ استفاده شود. ابعاد تکیه‌گاه‌ها باید به نحوی باشد که آزمونه در تمام مدت آزمون در تماس با قسمت شعاعی تکیه‌گاه بماند. شکل ۳ را ببینید.

۶-۳-۵-۱ عرض تکیه‌گاه که در تماس با آزمونه است، باید (۹٫۵۰ ± ۰٫۲۵) میلی‌متر باشد. به شکل ۳ مراجعه شود.

۶-۳-۵-۲ یک پین تنظیم کنندۀ عمودی به قطر (۲ تا ۴) میلی‌متر باید در پشت هر تکیه‌گاه نصب شود تا قرار گرفتن آزمونه بر روی تکیه‌گاه‌ها را تنظیم کند. سطح جلوی پین‌ها باید به فاصله (۰٫۲۵ ± ۶٫۷۵) میلی‌متر از وسط تکیه‌گاه قرار گیرد. به شکل ۳ مراجعه شود.

1-Linear Variable Differential Transducer

ابعاد برحسب میلی‌متر



شکل ۳- نمایی از تکیه‌گاه‌های آزمونه

۶-۴ ابزار اندازه‌گیری دما در دستگاه رئومتر تیرچه خمشی

ابزار واسنجی شده اندازه‌گیری دما در دستگاه رئومتر تیرچه خمشی، قابلیت اندازه‌گیری دما تا ۰٫۱ درجهٔ سلسیوس در گسترهٔ (۰ تا ۳۶-) درجهٔ سلسیوس را دارد. که حس‌گر دمایی (پروب) آن در گسترهٔ ۵۰ میلی‌متر از مرکز هندسی آزمونه نصب شده است.

یادآوری- اندازه‌گیری دمای مورد نیاز را می‌توان با ابزار اندازه‌گیری دما (دماسنج پلاتینی یا مقاومت گرمایی[1] یا رزیستور) که به طور صحیح واسنجی شده، انجام داد. واسنجی ابزار اندازه‌گیری دما را می‌توان طبق زیربند ۱۰-۵ صحه‌گذاری کرد. بدین منظور استفاده از دماسنج پلاتینی طبق الزامات استاندارد BS EN 60751 (نوع A) پیشنهاد می‌شود.

۶-۵ حمام سیال با دمای کنترل شده

حمام مایع با دمای کنترل شده باید قابلیت حفظ دما در تمام نقاط درون حمام با دقت ۰٫۱ ± درجهٔ سلسیوس در محدودهٔ (۰ تا ۳۶-) درجهٔ سلسیوس را داشته باشد. قرار دادن آزمونه در حمام ممکن است دمای آن‌را تا ۰٫۲ ± درجهٔ سلسیوس نسبت به دمای آزمون دچار نوسان کند. بنابراین نوسان‌های دمایی تا مقدار ۰٫۲ ± درجهٔ سلسیوس هنگام هم‌دمایی[2] آزمونه مجاز است.

1- Platinum Resistance or Thermitor based
2-Iso-Thermal

۶-۵ -۱ هم‌زن حمام

هم‌زن حمام برای حفظ یکنواختی دما مورد نیاز است. شدت هم زدن باید به اندازه‌ای باشد که جریان مایع، روند انجام آزمون را مختل نکند و اختلال مکانیکی ناشی از ارتعاشات کمتر از مقادیر مشخص شده در زیربندهای ۶-۳-۳ و ۶-۳-۴ باشد.

۶-۵-۲ حمام مایع در گردش (اختیاری)

حمام مایع در گردش، مجزا از دستگاه آزمون بوده و مایع حمام به درون حمام آزمون پمپ می‌شود. اگر از حمام مایع استفاده می‌شود، ارتعاشات ناشی از سامانه گردش مایع باید از محفظه حمام آزمون مجزا باشد به گونه‌ای که اختلال مکانیکی ناشی از سامانه گردش مایع کمتر از مقادیر مشخص شده در زیربندهای ۶-۳-۳ و ۶-۳-۴ باشد.

۶-۶ سامانه ثبت و پایش داده‌ها

سامانه ثبت داده‌ها که بارهای اعمال شده را تا نزدیک‌ترین ۲٫۵ میلی نیوتن، خیز آزمونه را تا نزدیک‌ترین ۲٫۵ میکرومتر و دمای مایع حمام را تا نزدیک‌ترین ۰٫۱ درجهٔ سلسیوس پایش می‌کند. سامانه ثبت داده‌ها باید لحظه‌ای که تغییر وضعیت سیگنال از بار تماسی به بار آزمون فعال می‌شود، تشخیص دهد. این لحظه باید به عنوان زمان صفر بارگذاری برای بار آزمون و سیگنال‌های خیز آزمونه در نظر گرفته شود. سامانه ثبت داده‌ها باید با استفاده از این زمان به عنوان مرجع زمان صفر، مقادیر بار و خیز را در زمان‌های ۸٫۰ ثانیه، ۱۵٫۰ ثانیه، ۳۰٫۰ ثانیه، ۶۰٫۰ ثانیه، ۱۲۰٫۰ ثانیه و ۲۴۰٫۰ ثانیه ثبت کند.

۶-۶-۱ فیلتر کردن سیگنال‌های بار و خیز

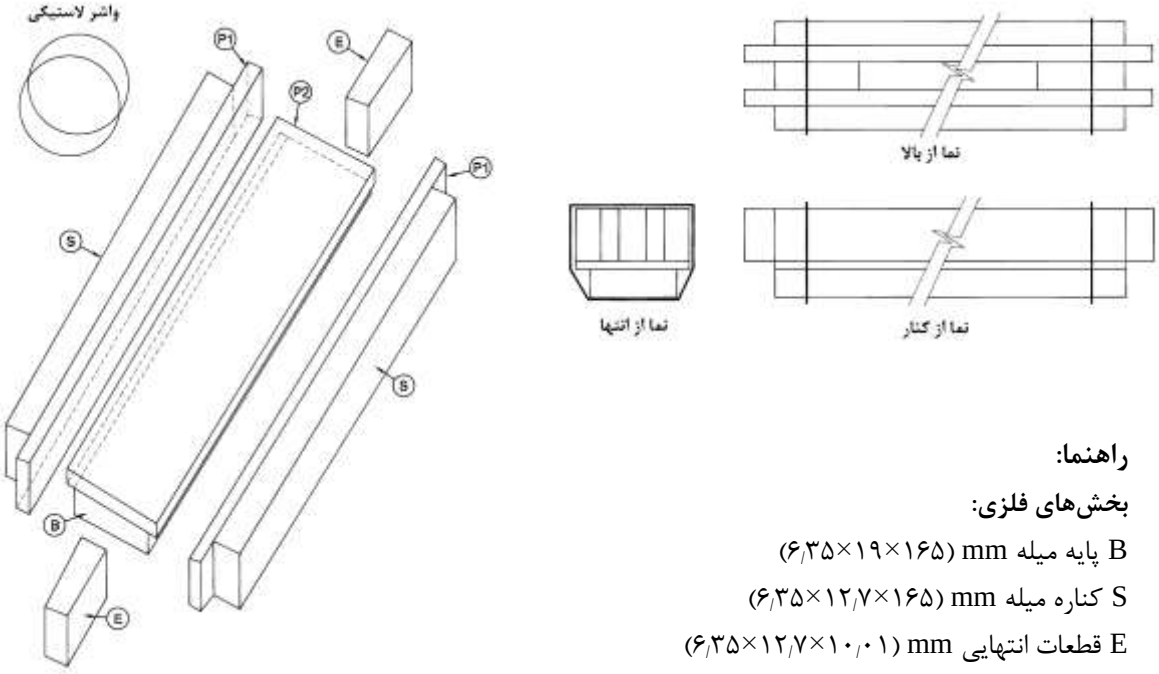
سیگنال‌های بار و خیز باید با فیلتر (پایین گذر[1]) (محدوده باریک) دیجیتال یا آنالوگ (یا هر دو)، داده‌هایی با فرکانس‌های بالاتر از ۴ هرتز را از سیگنال‌های بار و خیز حذف کند. فیلتر کردن داده‌ها را می‌توان با میانگین گرفتن از پنج سیگنال دیجیتال یا بیشتر در فواصل زمانی مساوی از زمانی که سیگنال گزارش شده، انجام داد. میانگین گرفتن باید در محدودهٔ زمانی ۰٫۲± ثانیه یا کمتر از زمان گزارش‌دهی، انجام شود. برای مثال، سیگنال‌های بار و خیز در زمان ۸٫۰ ثانیه، میانگین سیگنال‌های دریافتی در زمان‌های ۷٫۸ ثانیه، ۷٫۹ ثانیه، ۸٫۰ ثانیه، ۸٫۱ ثانیه و ۸٫۲ ثانیه است.

۶-۷ قالب‌های آزمونه

قالب‌های آزمونه با ابعاد داخلی، عرض (۶٫۳۵±۰٫۰۵) میلی‌متر، ارتفاع (۱۲٫۷۰±۰٫۰۵) میلی‌متر و طول (۱۲۷±۵) میلی‌متر از جنس آلومینیوم یا فولاد زنگ نزن طبق شکل ۴ یا از جنس لاستیک سیلیکون طبق شکل ۵ ساخته می‌شوند.

1-Low Pass

۶-۷-۱ ضخامت دو قطعه جداکننده مورد استفاده برای هر قالب (قطعات انتهایی کوچک مورد استفاده در قالب‌های فلزی) باید با میکرومتر اندازه‌گیری شده و با الزامات زیربند ۶-۷ مطابقت داشته باشد. اندازه‌ها باید به عنوان بخشی از برنامه کنترل کیفی آزمایشگاه، ثبت شوند.



راهنما:

بخش‌های فلزی:

B پایه میله mm (۶٫۳۵×۱۹×۱۶۵)

S کناره میله mm (۶٫۳۵×۱۲٫۷×۱۶۵)

E قطعات انتهایی mm (۶٫۳۵×۱۲٫۷×۱۰٫۰۱)

صفحات پلاستیکی:

P1 پایه میله mm (۱۲٫۷×۱۷۸)

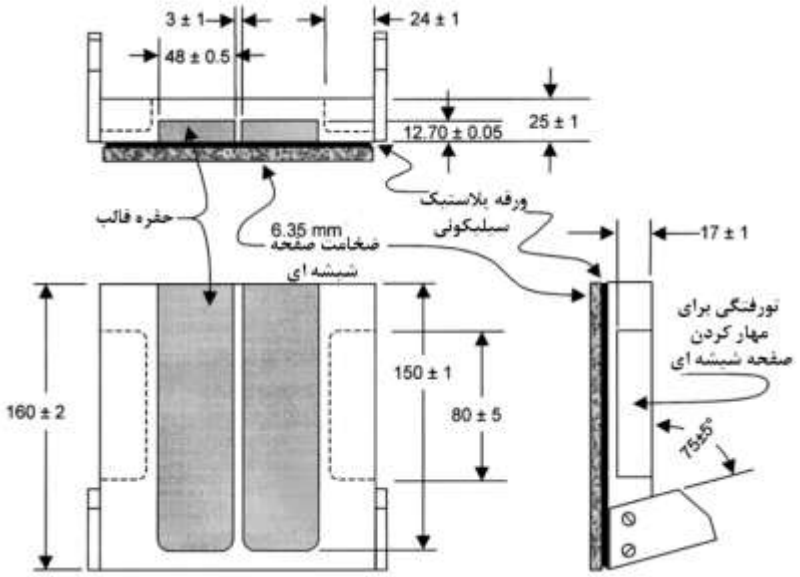
P2 پایه میله mm (۱۹×۱۶۵)

R واشر لاستیکی (اورینگ) ۱۸ mm

یادآوری–ابعاد بیان شده در این شکل اسمی است و الزامات زیربند ۶-۷ اجباری است.

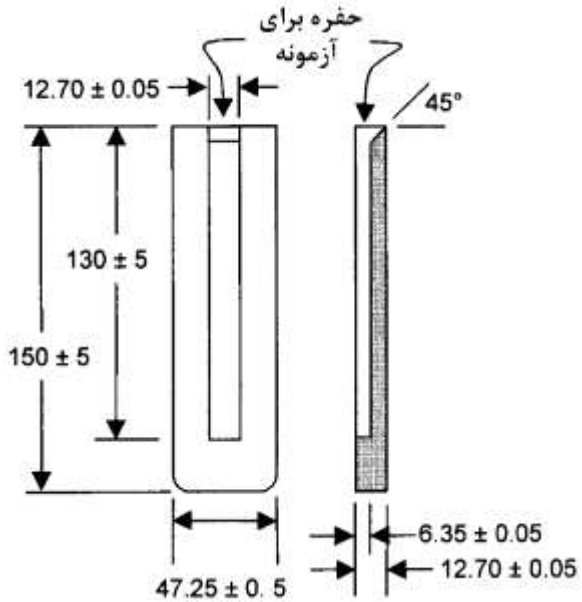
شکل ۴–ابعاد و ویژگی‌های قالب‌های آلومینیومی آزمونه

ابعاد برحسب میلی‌متر



شکل ۵- ابعاد اجزای قالب‌های سیلیکونی

ابعاد برحسب میلی‌متر



یادآوری ۱- ابعاد قالب سیلیکونی باید با ابعاد حفره در نگهدارندهٔ قالب آلومینیومی تطابق داشته باشد تا محل مناسب و ایمنی را ایجاد کند. هنگامی که آزمونه در حفره قالب سیلیکونی قرار داده می‌شود باید هم‌سطح یا اندکی بالاتر از سطح نگه دارندهٔ قالب قرار گیرد.

یادآوری ۲ – گیره یک اینچی (ACCO 72100 یا معادل آن) برای نگهداری صفحه شیشه‌ای مناسب است.

شکل ۶- ابعاد قالب‌های سیلیکونی

۶-۸ ابزارهای صحه‌گذاری یا واسنجی

موارد زیر برای صحه‌گذاری و واسنجی دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) مورد نیاز است.

۶-۸-۱ تیرچه فولادی زنگ نزن (ضخیم) برای تأیید صحت اندازه‌گیری و واسنجی‌های بارسنج

یک تیرچه فولادی زنگ نزن با ضخامت (۶٫۴±۰٫۳) میلی‌متر، عرض (۱۲٫۷±۰٫۳) میلی‌متر و طول (۱۲۷±۵) میلی‌متر برای صحه‌گذاری عملکرد سامانه اندازه‌گیری و بارسنج مورد نیاز است. هنگامی که این تیرچه برای اندازه‌گیری ضخامت آزمونه‌ها طبق زیربند ۱۲-۲ استفاده می‌شود، ضخامت آن باید تا نزدیک‌ترین ۰٫۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شود. این اندازه‌گیری باید هنگام محاسبه ضخامت آزمونه‌ها طبق معادله‌های زیربند ۱۲-۲-۳-۱ به‌کار برده شود.

۶-۸-۲ تیرچه فولادی زنگ نزن (نازک) برای کنترل کلی سامانه اندازه‌گیری

یک تیرچه فولادی زنگ نزن با ضخامت (۱٫۰ تا ۱٫۶) میلی‌متر، عرض (۱۲٫۷±۰٫۱) میلی‌متر و طول (۱۲۷±۵) میلی‌متر که مدول الاستیسیته آن تا سه رقم معنادار توسط سازنده دستگاه گزارش شده، مورد نیاز است. سازنده دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) باید ضخامت این تیرچه را تا نزدیک‌ترین ۰٫۰۱ میلی‌متر و عرض آن را تا نزدیک‌ترین ۰٫۰۵ میلی‌متر اندازه‌گیری و گزارش کند. ابعاد این تیرچه باید در محاسبه مدول الاستیسیته آن هنگام کنترل کلی سامانه اندازه‌گیری به‌کار برده شود (به زیربند ۱۰-۳ مراجعه شود).

۶-۸-۳ وزنه‌های استاندارد

وزنه‌های استاندارد برای صحه‌گذاری و واسنجی به شرح زیر مورد نیاز است:

۶-۸-۳-۱ صحه‌گذاری واسنجی بارسنج

برای صحه‌گذاری بارسنج به یک وزنه یا بیشتر با جرم کلی (۱۰۰٫۰±۰٫۲) گرم و دو وزنه هر یک به جرم (۲٫۰±۰٫۲) گرم مورد نیاز است (به زیربند ۱۰-۳ مراجعه شود).

۶-۸-۳-۲ واسنجی بارسنج

برای واسنجی بارسنج به چهار وزنه هر یک به جرم مشخص با دقت ±۰٫۲ گرم که تفاوت جرم وزنه‌ها با هم یکسان بوده و در گستره بارسنج قرار می‌گیرد، نیاز است (به بند الف-۲ مراجعه شود).

۶-۸-۳-۳ کنترل روزانه سامانه اندازه‌گیری

دو یا چند وزنه هر یک با جرم مشخص با دقت ±۰٫۲ گرم برای کنترل کلی سامانه اندازه‌گیری طبق موارد مشخص شده از سوی سازنده دستگاه (به زیربند ۱۰-۴ مراجعه شود) مورد نیاز است.

۶-۸-۳-۴ درستی جرم وزنه‌ها

درستی جرم وزنه‌ها در زیربند ۶-۸-۳ باید دست‌کم هر ۳ سال یکبار صحه‌گذاری شود.

۶-۸-۴ گیج مخصوص جابه‌جایی‌سنج

گیج مخصوص پله‌دار[1] که ضخامت آن تا ۰٫۵ ± میکرومتر تعیین شده است و برای واسنجی و صحه‌گذاری جابه‌جایی سنج به‌کار برده می‌شود (نمونهٔ رایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است).

۶-۹ ابزار واسنجی شدهٔ اندازه‌گیری دما

ابزار قابل حمل واسنجی شدهٔ اندازه‌گیری دما برای صحه‌گذاری دماسنج در دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) که دارای محدودهٔ دمایی مناسب با دقت ۰٫۱ درجهٔ سلسیوس طبق زیربندهای ۶-۹-۱ یا ۶-۹-۲ مورد نیاز است.

۶-۹-۱ دماسنج مایع در شیشه با قابلیت غوطه‌وری جزئی و نقطه انجماد که دست‌کم یکبار در سال طبق استاندارد ASTM E77 واسنجی می‌شود. دماسنج استاندارد ASTM 133C-00 برای این کار مناسب است.

۶-۹-۲ ابزار پلاتینی یا مقاومت گرمایی اندازه‌گیری دما یا رزیستور که دست‌کم یکبار در سال واسنجی می‌شود.

۶-۱۰ مهاربند (اختیاری)

لوازم قابل نصب که سازنده دستگاه برای مهار میله بارگذاری تهیه کرده است، به گونه‌ای که میله بارگذاری با محور طولی و عرضی بخش بارگذاری شدهٔ آزمونه در تماس باشد.

۷ مواد

۷-۱ ورقه‌ها برای روکش قالب‌های فلزی

ورقه‌های پلاستیکی شفاف به ضخامت ۰٫۰۸ میلی‌متر تا ۰٫۱۵ میلی‌متر برای پوشاندن سطوح داخلی سه قطعه بلند قالب فلزی به کار می‌روند. هنگام آماده سازی آزمونه، قیر داغ نباید باعث تغییر شکل ورقه‌ها شود. ورقه‌ها باید به اندازهٔ کافی سخت باشند طوری که انقباض قیر هنگام خنک شدن آزمونه باعث تغییر شکل آنها نشود یا آنها را از سطح فلزی قالب جدا نکند. ورق (فیلم) شفافی که در چاپگرهای لیزری استفاده می‌شود برای این کار مناسب است.

۷-۱-۱ کاغذ جداکنندهٔ سیلیکونی برای روکش قالب‌های فلزی (اختیاری)

کاغذ سیلیکونی به ضخامت ۴٫۰ میلی‌متر تا ۵٫۰ میلی‌متر که هر دو طرف آن با سیلیکون اندود شده است.

1-Stepped Gage Block

۲-۷ ورقه برای روکش قالب‌های سیلیکونی

ورقه‌های پلاستیکی سیلیکونی برای پوشاندن فضای بین صفحه شیشه‌ای و قالب سیلیکونی لازم است. هنگام آماده‌سازی آزمونه، قیر داغ نباید باعث تغییر شکل ورقه‌ها شود. ورقه‌ها باید به اندازهٔ کافی سخت باشند طوری که انقباض قیر هنگام خنک شدن آزمونه باعث تغییر شکل آنها نشود یا آنها را از سطح صفحه شیشه‌ای جدا نکند.

یادآوری- ورقه‌های پلاستیکی سیلیکونی به ضخامت (۰٫۵ ± ۱۰) میلی‌متر و سختی shore A با سختی ۶۰ برای این کار قابل قبول است.

۳-۷ مادهٔ چسباننده نوارها به سطوح قالب فلزی

مواد چسباننده‌ای که برای نگه‌داشتن نوارهای (ورقه‌های) سیلیکونی یا پلاستیکی بر روی سطوح داخلی سه قطعه بلند قالب فلزی استفاده می‌شوند. گریس پایه نفتی، مخلوط‌هایی مانند گلیسیرین و دکسترین[1]، تالک یا کائولین (خاک چینی) یا رزین ورسامید[2] و روغن معدنی برای پوشاندن کف و جداره‌های قالب برای جلوگیری از چسبیدن قیر به قالب استفاده می‌شوند. از سایر مواد می‌توان برای این کار استفاده کرد در صورتی که مشخص شود این مواد بر ویژگی‌های فیزیکی آزمونه تأثیری ندارد. گریس‌های سیلیکونی و سایر فرآورده‌های سیلیکونی نباید مورد استفاده قرار گیرند.

۴-۷ مادهٔ جداکننده برای اندود کردن قالب‌های فلزی

برای اندود کردن سطوح داخلی قطعه‌های انتهایی قالب‌های فلزی از مواد جدا کننده استفاده می‌شود. به زیربند ۳-۷ مراجعه شود.

۵-۷ مایع حمام

در حمام از مایعی که توسط قیر مورد آزمون جذب نمی‌شود یا بر ویژگی‌های آن تأثیری ندارد، استفاده می‌شود. چگالی این مایع در دمای آزمون که با هیدرومتر مناسب اندازه‌گیری می‌شود نباید از ۱٫۰۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیشتر باشد. مایع حمام در دمای آزمون باید شفاف باشد.

۱-۵-۷ مایع‌های مناسب برای حمام شامل اتانول، متانول، ایزوپروپانول تثبیت شده و مخلوط‌های گلیکول- متانول- آب (برای مثال، ۶۰ درصد گلیکول، ۱۵ درصد متانول و ۲۵ درصد آب) است ولی به این موارد محدود نمی‌شود. مایعات سیلیکونی یا مخلوط‌های حاوی سیلیکون نباید استفاده شوند.

1-Dextrin
2-Versamid Resin

۸ خطرات

۸-۱ هنگام جابجایی قیر داغ و آماده‌سازی آزمونه، روش‌های ایمن و استاندارد آزمایشگاهی را رعایت کنید.

۸-۲ حمام‌های حاوی الکل، قابل اشتعال و سمی است. حمام را در مکانی با تهویه مناسب، دور از منابع قابل اشتعال قرار دهید. از استنشاق بخارهای الکل و تماس مایع حمام با پوست اجتناب شود.

۸-۳ تماس پوست با مایع حمام در دماهای پایین‌تر که در این روش آزمون استفاده می‌شود، می‌تواند منجر به سرمازدگی پوست[1] شود.

۹ آماده‌سازی دستگاه

۹-۱ تکیه‌گاه‌ها، نوک میله بارگذاری و مایع حمام را در صورت لزوم، از وجود هر گونه ذرات خارجی و آلودگی پاک کنید.

یادآوری- به دلیل تردی و شکنندگی قیر در دماهای آزمون، ممکن است تکه‌های کوچک قیر درون مایع حمام وارد شوند. اگر این تکه‌ها روی تکیه‌گاه‌ها یا نوک میله بارگذاری قرار گیرند، ممکن است خیز اندازه‌گیری شده، تحت تأثیر قرار گیرد. تکه‌های کوچک هنگام بارگذاری به دلیل کوچکی اندازه‌شان، تغییر شکل یافته و کمی به خیز واقعی آزمونه اضافه می‌کنند. صاف کردن مایع حمام باعث حفظ تمیزی مورد نیاز می‌شود.

۹-۲ دمای آزمون را انتخاب کرده و مایع حمام را برای رسیدن به این دما تنظیم کنید. اجازه دهید قبل از انجام آزمون، حمام در دمای $\pm 0{,}1$ درجهٔ سلسیوس از دمای آزمون به تعادل برسد.

۹-۳ سامانه بارگذاری و ثبت داده‌ها را روشن کنید و نرم‌افزار را طبق دستورالعمل سازندهٔ دستگاه اجرا کنید. اجازه دهید سامانه ثبت داده‌ها و رایانه، طبق دستورالعمل سازندهٔ دستگاه، قبل از راه‌اندازی دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) ، شروع به کار کند.

۱۰ صحه‌گذاری واسنجی اجزای دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR)

یادآوری- مراحل بیشتر برای صحه‌گذاری می‌تواند با اختیار سازنده دستگاه انجام شود. با موافقت سازندهٔ دستگاه، مراحل صحه‌گذاری و واسنجی می‌تواند با هم انجام شود.

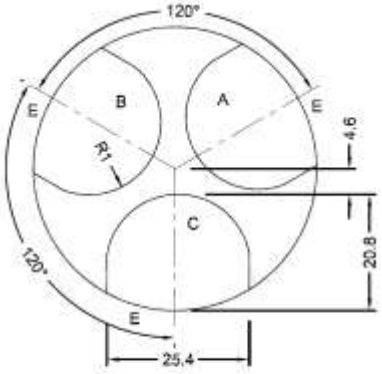
۱۰-۱ صحه‌گذاری جابجایی سنج

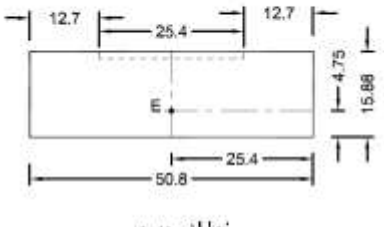
هر روز قبل از انجام آزمون، واسنجی جابجایی سنج را با استفاده از گیج مخصوص پله‌دار با ابعاد مشخص، مشابه شکل ۷ صحه‌گذاری کنید. همه تیرچه‌ها را در حالی که قاب بارگذاری درون حمام مایع در دمای آزمون قرار دارد، از روی تکیه‌گاه‌ها برداشته و گیج را مطابق دستورالعمل سازندهٔ دستگاه، بر روی سکوی بارگذاری مرجع در

1-Frostbite

زیر میله بارگذاری قرار دهید. وزنه (۰/۲ ± ۱۰۰) گرمی را روی میله بارگذاری قرار داده و مقدار صعود پله‌ها را توسط جابجایی سنج اندازه‌گیری کنید. مقادیر اندازه‌گیری شده که در سامانه ثبت داده‌ها نمایش داده می‌شود را با ابعاد مشخص گیج مقایسه کنید. چنانچه ابعاد مشخص گیج با ابعاد نشان داده شده در سامانه ثبت داده‌ها بیش از ۱۵ ± میکرومتر با یکدیگر اختلاف داشته باشند، واسنجی مورد نیاز است. واسنجی را طبق بند الف -۱ انجام داده و زیربند ۱۰-۱ را تکرار کنید. اگر بعد از واسنجی، الزامات زیربند ۱۰-۱ برآورده نشد، از دستگاه استفاده نکرده و با سازندهٔ آن تماس بگیرید.

ابعاد برحسب میلی‌متر





راهنما:

فاصله بخش‌های A،B و C از سطح بالایی به شرح زیر است:

A ۱٫۰۰ ± ۰٫۰۱

B ۳٫۰۰

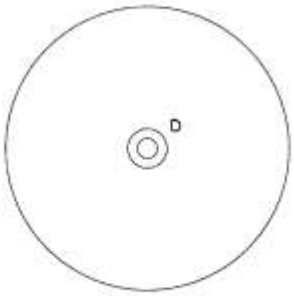
C ۶٫۰۰

اندازه حفره:

D (۴ قطر×۷٫۰ عمق)

A (۶ قطر×۰٫۸ عمق)

E تورفتگی ۲٫۴ میلی‌متری با عمق ۱٫۵۲ میلی‌متر. سه محل در یک خط متناظر با تورفتگی‌های سطح بالایی.



یادآوری – سطح پایینی مسطح و موازی با سطح بالایی است.

شکل ۷- گیج رایج واسنجی جابه‌جایی‌سنج

۱۰-۲ صحه‌گذاری حرکت آزاد بالشتک هوا (سامانه بارگذاری)

هر روز قبل از انجام آزمون‌ها، کنترل کنید که بالشتک هوا آزادانه عمل کند و بدون اصطکاک باشد. زیربندهای ۱۰-۲-۱ و ۱۰-۲-۲ باید برای کنترل عدم وجود اصطکاک در میله بارگذاری استفاده شوند. اگر الزامات زیربندهای ۱۰-۲-۱ و۱۰-۲-۲ برآورده نشود، اصطکاک در بالشتک هوا وجود دارد. در این صورت، میله بارگذاری را تمیز کرده و فاصله جانبی جابجایی سنج را مطابق دستورالعمل سازنده تنظیم کنید. اگر اصطکاک حذف نشد، از دستگاه استفاده نکرده و با سازندهٔ آن تماس بگیرید.

یادآوری- اصطکاک می‌تواند به دلیل مواردی از قبیل تنظیم نادرست جابجایی‌سنج که باعث ساییده شدن آن به دیواره‌های قاب محل قرارگیری می‌شود، انباشتگی قیر بر روی میله بارگذاری، وجود روغن یا سایر ذرات خارجی در بالشتک هوا و سایر دلایل ایجاد شود.

۱۰-۲-۱ تیرچه فولادی باریک (به زیربند ۶-۸-۲ مراجعه شود) را روی تکیه‌گاه‌ها قرار داده و با استفاده از پیچ تنظیم صفر بارگذاری، بار (۱۰±۳۵) میلی‌نیوتن را به تیرچه اعمال کنید. عدد مربوط به جابجایی‌سنج را که بر روی سامانه ثبت داده‌ها نمایش داده می‌شود، مشاهده کنید. به آرامی سکوی بارگذاری را گرفته و با دیدن عدد قرائت شده به وسیله مبدل تغییر شکل، میله را تقریباً ۵ میلی‌متر بالا ببرید. هنگامی که میله بارگذاری رها می‌شود بلافاصله باید به طرف پایین شناور شده و با تیرچه تماس پیدا کند.

۱۰-۲-۲ همه تیرچه‌ها را از روی تکیه‌گاه‌ها بردارید. پیچ تنظیم صفر بارگذاری را طوری تنظیم کنید که میله بارگذاری آزادانه در میانه تقریبی مسیر حرکت عمودی آن شناور باشد. به آرامی سکه یا وزنه‌ای به جرم تقریبی ۲ گرم را روی میله بارگذاری قرار دهید. میله بارگذاری در اثر وزنه باید به آرامی به سمت پایین حرکت کند.

۱۰-۳ صحه‌گذاری بارسنج

واسنجی بارسنج را به شرح زیر صحه‌گذاری کنید:

۱۰-۳-۱ بار تماسی

هر روز قبل از انجام آزمون‌ها، واسنجی سل بارسنج را در گسترهٔ بار تماسی، صحه‌گذاری کنید. تیرچه فولادی زنگ نزن مناسبی به ضخامت ۶٫۳۵ میلی‌متر (به زیربند ۶-۸-۱ مراجعه شود) را بر روی تکیه‌گاه‌ها قرار دهید. بار (۱۰±۲۰) میلی‌نیوتن را با استفاده از پیچ تنظیم صفر بارگذاری به تیرچه اعمال کنید. وزنه (۰٫۲±۲٫۰) گرمی را طبق زیربند ۶-۸-۳ روی سکوی بارگذاری قرار دهید. میزان افزایش بار نشان داده شده بر روی سامانه ثبت داده‌ها باید (۵±۲۰) میلی‌نیوتن باشد. دومین وزنه (۰٫۲±۲٫۰) گرمی را روی سکوی بارگذاری قرار دهید. افزایش بار نشان داده شده در سامانه ثبت داده‌ها باید (۵±۲۰) میلی‌نیوتن باشد. اگر افزایش بار نشان داده شده (۵±۲۰) میلی‌نیوتن نباشد، بارسنج باید واسنجی شود. واسنجی را طبق بند الف-۲ انجام داده و اقدامات زیربند ۱۰-۳-۱ را تکرار کنید. اگر بعد از واسنجی الزامات زیربند ۱۰-۳-۱ برآورده نشد، از دستگاه استفاده نکرده، با سازندهٔ آن تماس بگیرید.

۱۰-۳-۲ بار آزمون

هر روز قبل از انجام آزمون‌ها، واسنجی بارسنج را در گسترهٔ بار آزمون صحه‌گذاری کنید. تیرچه فولادی زنگ نزن مناسبی به ضخامت ۶٫۳۵ میلی‌متر (به زیربند ۶-۸-۱ مراجعه شود) را بر روی تکیه‌گاه‌ها قرار دهید. بار (۱۰ ± ۲۰) میلی‌نیوتن را با استفاده از پیچ تنظیم صفر بارگذاری (بار تماسی) به تیرچه اعمال کنید. وزنه ۱۰۰ گرمی را روی سکوی بارگذاری قرار دهید. افزایش بار نشان داده شده در سامانه ثبت داده‌ها باید (۵ ± ۹۸۱) میلی‌نیوتن باشد. در غیر این صورت، بارسنج را طبق بند الف-۲ واسنجی کرده و اقدامات زیربند ۱۰-۳-۱ را تکرار کنید. اگر بعد از واسنجی الزامات زیربند ۱۰-۳-۱ برآورده نشد، از دستگاه استفاده نکرده، با سازندهٔ آن تماس بگیرید.

۱۰-۳-۳ صحه‌گذاری خوانش صفر بارسنج

هر روز قبل از انجام آزمون‌ها در حالی که قاب بارگذاری درون حمام مایع قرار گرفته است، میله بارگذاری را به صورت عمودی در حالتی که در شروع آزمون خواهد داشت (موقعیت شروع آزمون) قرار دهید.

۱۰-۳-۳-۱ حالت عمودی میله بارگذاری در شروع آزمون هنگامی که بار تماسی اعمال می‌شود باید با قرار دادن تیرچه فولادی زنگ نزنِ ضخیم (به زیربند ۶-۸-۱ مراجعه شود) بر روی تکیه‌گاه‌ها و قرار دادن وزنه ۱۰۰ گرمی بر روی سکوی بارگذاری تعیین شود. عددی که جابجایی‌سنج در این موقعیت نشان می‌دهد، موقعیت تقریبی میله بارگذاری را هنگامی که تیرچه‌ای به ضخامت ۶٫۳۵ میلی‌متر آزمون می‌شود، مشخص می‌کند.

یادآوری- بار نشان داده شده در بارسنج تحت تأثیر نیروی شناوری ناشی از غوطه‌ور شدن میله بارگذاری در مایع حمام قرار می‌گیرد. همچنین تغییرات در ارتفاع مایع حمام و چگالی آن می‌تواند بر عدد صفر بارسنج تأثیر بگذارد.

۱۰-۳-۳-۲ در حالی‌که میله بارگذاری آزادانه در این موقعیت شناور است، دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) باید مقدار (۵ ± ۰) میلی‌نیوتن را نشان دهد. اگر بعد از واسنجی الزامات زیربند ۱۰-۳-۳ برآورده نشد، از دستگاه استفاده نکرده، با سازندهٔ آن تماس بگیرید.

۱۰-۴ کنترل روزانه سامانه اندازه‌گیری

هر روز قبل از انجام آزمون‌ها[1]، در حالی که قاب بارگذاری درون حمام قرار گرفته است، عملکرد کلی سامانه را بررسی کنید. تیرچه فولادی زنگ نزن (باریک) به ضخامت ۱٫۰ میلی‌متر تا ۱٫۶ میلی‌متر با مدول معلوم را طبق زیربند ۶-۸-۲ بر روی تکیه‌گاه‌ها قرار دهید. با پیروی از دستورالعمل‌های سازندهٔ دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR)، تیرچه را بر روی تکیه‌گاه‌ها قرار داده و اولین وزنه (۰٫۲ ± ۵۰٫۰) گرمی یا (۰٫۲ ± ۱۰۰٫۰) گرمی ((۲ ± ۴۹۱) میلی‌نیوتن یا (۲ ± ۹۸۱) میلی‌نیوتن) را به تیرچه اعمال کنید تا مطمئن شوید که تیرچه بر روی تکیه‌گاه‌ها قرار گرفته و در تماس کامل با آنها است. با پیروی از دستورالعمل‌های سازندهٔ دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR)، دومین وزنه (۰٫۲ ± ۱۰۰٫۰) گرمی تا (۰٫۲ ± ۳۰۰٫۰) گرمی را به تیرچه اعمال کنید. نرم‌افزار ارایه

۱-اگر وقفه زیادی بین انجام دو آزمون در یک روز بوجود آمد، بررسی باید دوباره انجام شود.

شده از سوی سازندهٔ دستگاه باید با استفاده از مقدار تغییر بار و خیز، مدول تیرچه را تا سه رقم معنادار محاسبه کند. مدول گزارش شده توسط نرم‌افزار باید در محدودهٔ ۱۰ درصدی از مدول گزارش شده توسط سازنده دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) باشد در غیر این صورت، عملکرد کلی دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) باید مورد تردید قرار گرفته و با شرکت سازندهٔ آن تماس گرفته شود.

۱۰-۵ صحه‌گذاری ابزار اندازه‌گیری دما

هر روز قبل از انجام آزمون‌ها و هنگامی که دمای آزمون تغییر می‌کند، واسنجی حس‌گر دمایی را با استفاده از ابزار واسنجی شدهٔ اندازه‌گیری دما طبق زیربند ۶-۹ صحه‌گذاری کنید. در حالی که قاب بارگذاری درون حمام مایع قرار گرفته است، حسگر (پروب) ابزار اندازه‌گیری دما را درون حمام مایع در مکانی نزدیک به مبدل دمایی غوطه‌ور کرده و دمای نشان داده شده بر روی ابزار اندازه‌گیری دما را با دمای نشان داده شده توسط سامانه ثبت داده‌ها مقایسه کنید. اگر اختلاف دمای نشان داده شده توسط سامانه ثبت داده‌ها با دمای ابزار اندازه‌گیری دما در محدودهٔ $\pm$ ۰٫۱ درجهٔ سلسیوس نبود، ابزار اندازه‌گیری دما را طبق زیربند الف-۳ واسنجی کنید.

۱۰-۶ صحه‌گذاری هم‌راستایی ابتدا تا انتهای میله بارگذاری

هنگام نصب[1] دستگاه آزمون یا کار با آن، در صورتی‌که ترازی میله بارگذاری مورد تردید باشد، هم‌ترازی آن را با مرکز تکیه‌گاه‌ها با گیج تراز که از سوی شرکت سازنده دستگاه ارایه شده یا با اندازه‌گیری به شرح زیر، کنترل کنید:

نوار باریکی از کاغذ سفیدی به طول تقریبی ۲۵ میلی‌متر و عرضی کمتر از تیرچه فولادی مرجع ببرید. نوار کاغذی را با نوار چسب در وسط تیرچه مرجع بچسبانید. قاب بارگذاری را از حمام خارج کرده، تیرچه مرجع را روی تکیه‌گاه‌ها قرار دهید و تکه کوچکی از کاغذ کاربن[2] را روی نوار کاغذی قرار دهید. با اعمال فشار هوا به بالشتک هوا، میله بارگذاری را به سمت پایین فشار دهید تا کاغذ کاربن بر روی کاغذ سفید علامت بگذارد. تیرچه را بردارید و فاصله مرکز علامت را تا هر یک از لبه‌های تیرچه با کولیس اندازه‌گیری کنید. اختلاف بین دو اندازه باید ۱٫۰ میلی‌متر یا کمتر باشد. اگر این الزامات برآورده نمی‌شود با سازندهٔ دستگاه تماس بگیرید.

۱۱ آماده‌سازی قالب‌ها و آزمونه‌ها

۱۱-۱ آماده‌سازی قالب‌ها

قبل از پر کردن قالب‌ها، هنگامی که آزمونه‌ها آماده شدند، قالب‌ها را طبق زیربندهای ۱۱-۱-۱ یا ۱۱-۱-۲ آماده کنید.

1-Install
2-Carbon Paper

یادآوری- از قالب‌های سیلیکونی برای تهیه آزمونه می‌توان استفاده کرد. اما برای انجام آزمون‌های مرجع باید از قالب‌های فلزی استفاده شود.

۱۱-۱-۱ آماده‌سازی قالب‌های فلزی

هر گونه باقی‌ماندهٔ قیری، گریس یا سایر مواد را از روی قالب‌ها پاک کنید. اجزای قالب فلزی را چشمی بررسی کنید تا مشخص شود که عاری از ضربه‌خوردگی، شکستگی یا برآمدگی است زیرا این موارد در فاصله بین صفحات جانبی قالب تأثیر می‌گذارند، از اجزایی با ضربه خوردگی، شکستگی یا برآمدگی استفاده نکنید. برای آماده کردن قالب‌های فلزی، لایه بسیار نازکی از مواد بیان شده در زیربند ۷-۳ را روی سطوح داخلی سه قطعه بلند قالب فلزی بمالید. گریس فقط به مقداری استفاده شود که برای چسباندن نوارهای پلاستیکی یا سیلیکونی به قالب فلزی مورد نیاز است[۱]. نوارهایی را که در اثر حرارت در آزمون‌های قبلی تغییر شکل یافته‌اند، استفاده نکنید. نوارها را روی سطوح فلزی قرار داده و انگشت را با فشار روی آنها بکشید. اجزای قالب را همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، به هم متصل کنید از واشرهای[۲] لاستیکی برای نگه‌داشتنِ قطعات قالب در کنار یکدیگر استفاده کنید. قالب را بررسی کرده و فیلم نازک سیلیکونی یا پلاستیکی را روی سطح فلزی فشار دهید تا تمام حباب‌های هوای زیر آن خارج شوند. اگر حباب‌های هوا خارج نشدند، قالب‌ها را از هم باز کرده و سطوح فلزی را با گریس دوباره اندود کنید. سطوح داخلی دو قطعه انتهایی قالب را با لایه نازکی از مخلوط گلیسیرین و تالک اندود کنید تا از چسبیدن قیر به قطعات انتهایی قالب جلوگیری شود. پس از سر هم کردن قالب و تا زمان ریختن قیر، آن را در دمای محیط نگه‌دارید.

۱۱-۱-۲ آماده‌سازی قالب‌های سیلیکونی

قیر، گریس یا سایر باقی‌مانده‌ها را با پارچه خشک و تمیز از روی قالب بردارید. قالب‌ها را درون حلال آلی غوطه‌ور نکنید. قالب‌های لاستیکی سیلیکونی را با سرهم کردن دو قطعه اصلی قالب همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، به هم متصل کنید.

یادآوری- پارچه آغشته به حلالِ فرار مانند استن یا هپتان که فاقد پسماند باشد برای پاک کردن علامت‌ها روی قالب‌ها مناسب است. قبل از استفاده از قالب، اجازه دهید قالب‌ها در دمای محیط به مدت دست‌کم ۱۰ دقیقه خشک شوند.

۱۱-۲ آماده‌سازی آزمونه

۱۱-۲-۱ اگر قیر پیر نشده آزمون می‌شود، نمونه‌برداری باید طبق استاندارد ASTM D140 انجام شود. نمونه‌های عمل‌آوری شده آزمایشگاهی یا نمونه‌های قیری بازیافتی از مخلوط‌های آسفالتی باید مطابق با روش‌های مناسب، نمونه‌برداری شوند.

۱- مصرف بیش از اندازه گریس روی نتایج این آزمون تاثیر می‌گذارد.

2-O-ring

۱۱-۲-۲ قیر را در گرمخانه با دمای (۵±۱۶۸) درجۀ سلسیوس گرم کنید تا به اندازۀ کافی روان شده و قابل ریختن باشد و به آرامی هم بزنید تا همگن شود. اگر قیر به دست آمده از باقی‌ماندۀ آزمون PAV که گاز زدایی شده است، به اندازۀ کافی برای ریختن درون قالب روان باشد آن‌را مستقیماً طبق استاندارد ASTM D6521 درون قالب بریزید.

یادآوری- اگر قیر پس از گرم کردن در گرمخانه تا دمای حداکثر ۱۷۳ درجۀ سلسیوس به راحتی قابل ریختن نباشد، آن‌را در گرم‌خانه در دمایی بالاتر گرم کنید تا به اندازۀ کافی برای ریختن درون قالب روان شود. در این صورت باید دمای گرم کردن قیر و مدت قرارگیری آن در دماهای بالاتر از ۱۷۳ درجه سلسیوس گزارش شود.

۱۱-۳ قالب‌گیری و پرداخت آزمونه‌ها

آزمونه‌ها را طبق زیربندهای ۱۱-۳-۱ یا ۱۱-۳-۲ قالب‌گیری کنید.

۱۱-۳-۱ قالب‌گیری آزمونه‌ها (قالب فلزی)

قیر را درون قالبی که در دمای محیط قرار گرفته، بریزید. ریختن را از یک طرف قالب شروع کرده و با حرکت به سمت دیگر قالب ادامه دهید. مقدار قیر باید به اندازه‌ای باشد که از قالب کمی لبریز شود. هنگام ریختن قیر، ظرف حاوی نمونه را حدود ۲۰ میلی‌متر تا ۳۰ میلی‌متر بالاتر از قالب نگه دارید و با یک بار عبور از یک طرف قالب به طرف دیگر به صورت پیوسته، قالب را پر کنید. قالب پر شده را به مدت ۴۵ دقیقه تا ۶۰ دقیقه در دمای محیط بر روی میز کار آزمایشگاه قرار دهید تا خنک شود. پس از خنک شدن قالب در دمای اتاق، رویه آزمونه را با استفاده از یک چاقو یا کاردک داغ صاف کنید تا با سطح بالایی قالب هم‌سطح شود.

یادآوری- بلافاصله قبل از صاف کردن روی آزمونه، می‌توانید یک کاردک داغ را به اندازه‌ای که قیر برای مسطح کردن نرم شود، روی سطح آن قرار دهید. این روش اغلب کیفیت آزمونه‌های ساخته شده از قیرهای سفت را بهبود می‌دهد اما برای آماده‌سازی آزمونه‌های ساخته شده از قیرهای نرم نباید مورد استفاده قرار گیرد.

۱۱-۳-۲ قالب‌گیری آزمونه‌ها (قالب سیلیکونی)

در صورتی که قیر در دمای کمتر از ۱۷۳ درجه سلسیوس روان می‌شود، آزمایش‌گر می‌تواند قبل از ریختن قیر، قالب لاستیک سیلیکونی را به همراه ابزار آلومینیومی آن در گرمخانه با دمای ۱۳۵ درجۀ سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه گرم کند. قیر را از بالای قالب به طور یکنواخت و به آرامی درون آن بریزید دقت کنید که حباب هوا وارد آن نشود. قالب را تا بالای آن با قیر پر کنید به اندازه‌ای که مقدار قابل ملاحظه‌ای از آن سرریز نشود. اجازه دهید بعد از ریختن قیر، قالب و محتویات آن در دمای اتاق به مدت ۴۵ دقیقه تا ۶۰ دقیقه سرد شوند.

۱۱-۴ نگه‌داری و بیرون آوردن آزمونه‌ها از قالب

۱۱-۴-۱ قبل از انجام آزمون، همه آزمونه‌ها را درون قالب‌ها در دمای محیط نگه‌دارید.

یادآوری- افزایش سفتی وابسته به زمان قیر حتی می‌تواند با نگه‌داری کوتاه مدت قیر در دمای محیط رخ دهد.

۱۱-۴-۲ قبل از بیرون آوردن آزمونه از قالب، قالب فلزی یا سیلیکونی حاوی آزمونه را در محفظه سرد یا حمام مایع به مدت حداکثر ۵ دقیقه سرد کنید تا به اندازهٔ کافی قیر سفت شود، به نحوی که آزمونه بدون تغییر شکل به راحتی از قالب خارج شود. در هیچ موردی نباید کاهش دمای آزمونه برای خارج کردن از قالب در فاصلهٔ ۱۰ درجهٔ سلسیوس از دمای انجام آزمون باشد. قالب‌های حاوی آزمونه را در حمام دستگاه آزمون سرد نکنید. زیرا باعث می‌شود، نوسان دمایی حمام از ۰٫۲ ± درجهٔ سلسیوس بیشتر شود.

یادآوری- سرد کردن بیش از اندازه می‌تواند منجر به سخت‌شدگی ناخواسته قیر و در نتیجه افزایش تغییر پذیری داده‌های آزمون شود.

۱۱-۴-۳ هنگامی که آزمونه به اندازهٔ کافی برای جداشدن از قالب بدون تغییر شکل، سفت شد، با باز کردن قالب فلزی یا خارج کردن آزمونه از قالب لاستیکی سیلیکونی آن را بلافاصله از قالب خارج کنید. برای اینکه آزمونه هنگام باز کردن قالب تغییر شکل پیدا نکند، نوارهای پلاستیکی و قطعات فلزی کناری قالب را بلغزانید و به آرامی نوارهای پلاستیکی یا سیلیکونی را از آزمونه جدا کنید.

یادآوری- هنگام باز کردن قالب، آزمونه را با احتیاط جابجا کنید تا از تغییر شکل آن جلوگیری شود. در محاسبات، فرض می‌شود که تماس کامل در تکیه‌گاه‌های آزمونه برقرار است. آزمونه‌ای که انحنا داشته باشد، می‌تواند بر روی مقادیر سختی و نرخ خزش تأثیر داشته باشد.

یادآوری- اگر نوارهای کاغذی نچسب از جنس سیلیکون یا پلاستیک به آزمونه بچسبند، برای سهولت جدا شدن نوارها، آزمونه به همراه نوارهای چسبیده به آن را می‌توان طبق زیربند ۱۱-۴-۲ به مدت حداکثر ۵ ثانیه در حمام غوطه‌ور کرد.

۱۲ روش اجرای آزمون

۱۲-۱ هنگام انجام آزمون برای مطابقت با استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۲۵۰۵، دمای مناسب آزمون را از آن استاندارد انتخاب کنید. پس از بیرون آوردن آزمونه از قالب، بلافاصله آن را درون حمام دستگاه قرار داده و در دمای آزمون عمل‌آوری کنید. پس از قرار گرفتن آزمونه درون حمام دستگاه، بار استقرار (نشیمن)[1] باید به مدت (۶۰ ± ۵) دقیقه به آزمونه اعمال شود. آزمونه باید در مایع درون حمام در دمای ۰٫۱ ± درجهٔ سلسیوس دمای آزمون به مدت (۶۰ ± ۵) دقیقه غوطه‌ور شود. اجرای آزمون باید در مدت ۴ ساعت پس از آماده‌سازی آزمونه (ریختن قیر درون قالب) به اتمام برسد.

1-Setting Load

یادآوری- هنگامی که قیر در دماهای پایین نگه‌داری می‌شود، به سرعت سخت می‌شود این پدیده که سخت شدگی فیزیکی نام دارد، در صورت گرم کردن قیر تا دمای محیط یا کمی بالاتر برگشت‌پذیر است. زمان عمل‌آوری، به دلیل سخت شدگی فیزیکی قیر، باید به دقت کنترل شود تا نتایج آزمون تکرارپذیر باشد.

۱۲-۲ اندازه‌گیری ضخامت آزمونه

ضخامت آزمونه مانند ضخامت قطعات فلزی مورد استفاده برای قالب‌گیری آزمونه باید ۶٫۳۵ میلی‌متر باشد (به زیربند ۶-۷-۱ مراجعه شود).

۱۲-۲-۱ روش‌های اختیاریِ اندازه‌گیری ضخامت آزمونه

برای اندازه‌گیری ضخامت آزمونه، دو روش اختیاری (به زیربندهای ۱۲-۲-۲ و ۱۲-۲-۳ مراجعه شود) می‌تواند در صورت صلاحدید آزمایش‌گر مورد استفاده قرار گیرد. ضخامت بیان شده در زیربند ۱۲-۲ باید به عنوان اندازهٔ مرجع در قالب‌های فلزی استفاده شود. روش‌های زیربندهای ۱۲-۲-۲ یا ۱۲-۲-۳ باید در قالب‌های سیلیکونی به‌کار برده شود.

یادآوری- اندازه‌گیری ضخامت آزمونه طبق زیربندهای ۱۲-۲-۲ یا ۱۲-۲-۳ می‌تواند میزان تغییرپذیری نتایج آزمون را کاهش دهد اما در صورت نیاز به جابجایی زیاد ممکن است اندازه‌گیری انحراف داشته باشد. هنگام استفاده از روش زیربندهای ۱۳-۲-۲ یا ۱۳-۲-۳ مراقب باشید آزمونه تغییرشکل ندهد یا کج نشود.

۱۲-۲-۲ روش مستقیم اندازه‌گیری ضخامت آزمونه

ضخامت آزمونه در این روش، با گیج ضخامت‌سنج[1] یا وسیله‌ای مشابه اندازه‌گیری می‌شود. آزمونه باید هنگام اندازه‌گیری ضخامت، در دمای ۰٫۲± درجهٔ سلسیوس دمای آزمون، غوطه‌ور بماند. ضخامت باید در نقطه میانی آزمونه (تیرچه) تا نزدیک‌ترین ۲٫۵ میکرومتر به دست آمده و برای محاسبه سختی آزمونه توسط آزمایش‌گر وارد نرم‌افزار شود.

۱۲-۲-۳ اندازه‌گیری ضخامت آزمونه با جابجایی‌سنج

ضخامت آزمونه را می‌توان با جابجایی سنج طبق روش زیر اندازه‌گیری کرد. ضخامت را می‌توان با استفاده از خوانش‌های جابجایی نشان داده شده توسط دستگاه به روش دستی اندازه‌گیری کرد یا می‌توان خوانش‌ها را وارد نرم‌افزار کرد تا به طور خودکار محاسبه شود. مقدار ضخامت را برای استفاده در تعیین سختی آزمونه تا نزدیک‌ترین ۵۰ میکرومتر محاسبه و گزارش کنید.

۱۲-۲-۳-۱ مقدار جابجایی متناظر با سطح بالایی تکیه‌گاه‌ها را با قرار دادن تیرچه فولادی ضخیم به ضخامت ۶٫۳۵ میلی‌متر (به زیربند ۶-۸-۱ مراجعه شود) بر روی تکیه‌گاه‌ها تنظیم کنید. مقدار بار تماسی (۱۰±۳۵) میلی‌نیوتن را به تیرچه فلزی اعمال کرده و خوانش جابجایی‌سنج را یادداشت کنید (R_{S1}). تیرچه فولادی را

1 -Thickness Gage

وارونه کرده و دومین خوانش را به‌دست آورید (R_{S2}). میانگین دو خوانش را محاسبه کنید (R_S). خوانش جابجایی‌سنج را که متناظر با سطح بالایی تکیه‌گاه‌هاست (به شکل ۸ مراجعه شود)، محاسبه کنید:

$$R_o = R_s + t_s \qquad (۱)$$

که در آن:

R_o خوانش جابجایی‌سنج متناظر با سطح بالایی تکیه‌گاه‌ها؛

R_s میانگین دو خوانش جابجایی‌سنج در تماس با سطح بالایی آزمونه فولادی؛

t_s ضخامت اندازه‌گیری شده تیرچه فولادی (به زیربند ۶-۸-۱ مراجعه شود).

۱۲-۲-۳-۲ ضخامت آزمونه را بلافاصله قبل از انجام آزمون با قرار دادن آزمونه بر روی تکیه‌گاه‌ها تعیین کنید. مقدار بار تماسی (۱۰ ± ۳۵) میلی‌نیوتن را به آزمونه اعمال کرده و خوانش جابجایی‌سنج را یادداشت کنید (R_{a1}). آزمونه را وارونه کرده و دومین خوانش را به دست آورید (R_{a2}). اگر مقدار دو خوانش در حدود ۱٫۰ میلی‌متر با یکدیگر اختلاف داشته باشند، مقدار میانگین آنها را تعیین کنید (R_a). اگر دو خوانش بیش از ۱٫۰ میلی‌متر اختلاف داشته باشند، مسطح بودن آزمونه مورد تردید بوده و باید از آن صرف‌نظر شود. ضخامت آزمونه را طبق معادله (۲) محاسبه کنید (به شکل ۸ مراجعه شود):

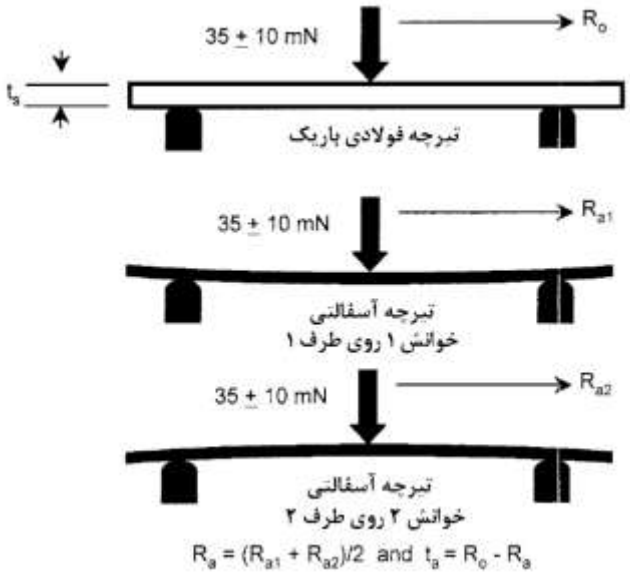
$$t_a = R_o - R_a \qquad (۲)$$

که در آن:

t_a ضخامت محاسبه شده آزمونه؛

R_o خوانش جابجایی‌سنج متناظر با سطح بالایی تکیه‌گاه‌ها؛

R_a میانگین دو خوانش جابجایی‌سنج در تماس با سطح بالایی آزمونه.



شکل ۸ - اندازه‌گیری ضخامت آزمونه با جابه‌جایی‌سنج

۱۲-۳ کنترل بار تماسی و بار آزمون

بار تماسی و بار آزمون را قبل از انجام آزمون هر مجموعه آزمونه‌ها طبق زیربند ۱۲-۴ کنترل کنید. تیرچه فولادی زنگ نزن با ضخامت ۶٫۳۵ میلی‌متر (زیربند ۶-۸-۱ مراجعه شود) باید برای کنترل بار تماسی و بار آزمون استفاده شود.

یادآوری- این کنترل‌ها را با تیرچه فلزی باریک یا آزمونه قیری انجام ندهید.

۱۲-۳-۱ تیرچه فولادی ضخیم را روی تکیه‌گاه‌ها قرار دهید. با استفاده از شیر رگلاتور تنظیم بار آزمون، بار وارده به تیرچه را به آرامی تا مقدار (۵۰±۹۸۰) میلی‌نیوتن افزایش دهید.

۱۲-۳-۲ بار را از حالت بار آزمون به حالت بار تماسی تغییر داده و بار وارده به تیرچه را تا محدودهٔ (۱۰±۳۵) میلی‌نیوتن تنظیم کنید. تغییر حالت بین بار آزمون و بار تماسی را تا هنگامی که خوانش‌هایی از بار آزمون و بار تماسی به دست آید، ادامه دهید. خوانش‌های بار تماسی در صورتی باید به عنوان خوانش‌های یکسان نظر گرفته شوند که بیش از ۱۰ میلی‌نیوتن با یکدیگر اختلاف نداشته باشند.

۱۲-۳-۳ هنگام تغییر حالت بین بار آزمون و بار تماسی، حرکت عمودی میله بارگذاری و سکوی بار را به صورت چشمی نظارت کنید. هنگام تغییر حالت بین بار آزمون و بار تماسی، میله بارگذاری باید تماس خود را با تیرچه فلزی حفظ کرده و بار تماسی و بار آزمون باید به ترتیب در محدودهٔ (۱۰±۳۵) میلی‌نیوتن و (۵۰±۹۸۰) میلی‌نیوتن باشد.

۱۲-۳-۴ عملیات تصحیح

اگر الزامات زیربندهای ۱۲-۳-۱ تا ۱۲-۳-۳ برآورده نشود، ممکن است دستگاه طبق بند الف-۲ به واسنجی نیاز داشته باشد یا میله بارگذاری کثیف شده یا نیاز به اصلاح هم‌راستایی (به زیربند ۱۰-۲ مراجعه شود) داشته باشد. اگر بعد از واسنجی، تمیز کردن دستگاه یا سایر عملیات تصحیح، الزامات بندهای ۱۲-۳-۱ تا ۱۲-۳-۳ برآورده نشد، از دستگاه استفاده نکرده، با سازندهٔ آن تماس بگیرید.

۱۲-۴ مدت زمانی که آزمونه در حمام در دمای آزمون عمل‌آوری می‌شود، مشخصات آزمونه و سایر اطلاعات مناسب را به نرم‌افزاری که انجام آزمون را کنترل می‌کند، وارد کنید (به جدول الف -۱ مراجعه شود).

۱۲-۵ آزمونه را پس از عمل‌آوری، روی تکیه‌گاه‌ها قرار داده و بخش پشتی آن را به آرامی به گیره‌ها تکیه دهید. انجام آزمون را طبق زیربند ۱۲-۶ آغاز کنید. دمای حمام در حین انجام آزمون باید در ۰٫۱ ± درجهٔ سلسیوس دمای آزمون حفظ شود، در غیر این صورت، از نتیجه آزمون باید صرف‌نظر شود.

۱۲-۶ بار تماسی (۱۰ ± ۳۵) میلی‌نیوتن را به صورت دستی و به مدت کمتر از ۱۰ ثانیه به آزمونه اعمال کنید تا از تماس بین آزمونه و سر میله بارگذاری مطمئن شوید.

یادآوری- بار تماسی (۱۰ ± ۳۵) میلی‌نیوتن برای اطمینان از تماس مداوم بین میله بارگذاری، تکیه‌گاه‌های انتهایی و آزمونه، مورد نیاز است. عدم موفقیت در برقراری تماس مداوم در محدودهٔ بار مورد نیاز، می‌تواند نتایج گمراه‌کننده‌ای به همراه داشته باشد. نگه داشتن تماس به مدت زمان بیشتر می‌تواند بر روی مقدار سختی و نرخ تغییرات خزشی (m-value) گزارش شده، تأثیر بگذارد.

۱۲-۷ بار تماسی باید به ترتیب زیر اعمال شود: ۱) دو رگلاتور[1] بار (بار تماسی و بار آزمون) را طبق زیربند ۱۲-۳-۳ تنظیم کنید. ۲) میله بارگذاری را با دست بالا ببرید ۳) تیرچه آزمون را روی تکیه‌گاه‌ها قرار دهید ۴) میله را به آرامی با دست پایین بیاورید تا در تماس با تیرچه آزمون قرار بگیرد. هنگامی که تماس ایجاد می‌شود مقدار بار مشخص شده باید (۱۰ ± ۳۵) میلی‌نیوتن باشد. اگر مقدار بار تماسی (۱۰ ± ۳۵) میلی‌نیوتن نباشد تیرچه را برداشته و تنظیم را طبق زیربند ۱۲-۳-۳ انجام دهید. هنگام اعمال بار تماسی، مقدار بار روی تیرچه نباید از ۴۵ میلی‌نیوتن بیشتر شود و پس از قرارگیری بار تماسی روی تکیه‌گاه‌ها نباید تنظیمات رگلاتور بار تماسی را تغییر داد. بار استقرار (نشیمن) پس از اولین تماس میله با تیرچه (شروع آزمون) باید در مدت زمان ۱۰ ثانیه اعمال شود.

یادآوری- مشخص شده است که برای بالا آوردن میله هنگامی که تیرچه آزمون بر روی تکیه‌گاه‌ها قرار داده می‌شود، قرار دادن یک مانع از جنس اسفنج پلاستیکی در زیر سکوی بار، مناسب است.

۱۲-۸ با اعمال بار تماسی به آزمونه، سامانه خودکار انجام آزمون را که برای انجام مراحل زیر برنامه‌ریزی شده است، به شرح زیر فعال کنید:

۱۲-۸-۱ بار استقرار (پیش بار) به مقدار (۵۰ ± ۹۸۰) میلی‌نیوتن را به مدت (۰٫۱ ± ۱) ثانیه اعمال کنید.

1 -Regulator

یادآوری- بار استقرار بیان شده در زیربندهای ۱۲-۸-۱، ۱۲-۸-۲ و شکل ۲ به طور خودکار بوسیله سامانه بارگذاری کامپیوتری اعمال و حذف می‌شود و برای آزمایش‌گر محسوس است.

۱۲-۸-۲ بار وارده را تا مقدار بار تماسی (۱۰ ± ۳۵) میلی‌نیوتن کاهش داده و اجازه دهید آزمونه به مدت زمان (۰٫۱ ± ۲۰) ثانیه بازگشت کند. در پایان زمان بار استقرار، آزمایش‌گر باید به صفحه نمایش کامپیوتر نگاه کرده و بررسی کند که بار روی آزمونه به مقدار (۱۰ ± ۳۵) میلی‌نیوتن برگردد. اگر این حالت اتفاق نیفتاد، آزمون باید متوقف شود.

۱۲-۸-۳ بار آزمون به مقدار (۵ ± ۹۸۰) میلی‌نیوتن را به آزمونه اعمال کنید. نرم‌افزار باید بار آزمون را هر ۰٫۵ ثانیه از ابتدای بارگذاری تا ۲۴۰ ثانیه ثبت کند و میانگین مقدار بار را محاسبه کند. مقدار بار آزمون در ۵ ثانیه اول بارگذاری (۰٫۵ ثانیه تا ۵ ثانیه) باید در محدودهٔ ۵۰ ± میلی‌نیوتن از مقدار میانگین آن و برای زمان‌های باقی‌مانده در محدودهٔ ۱۰ ± میلی‌نیوتن از مقدار میانگین باشد. بار واقعی وارده به آزمونه که توسط بارسنج اندازه‌گیری می‌شود، برای محاسبه تنش در آزمونه به کار می‌رود.

۱۲-۸-۴ بار آزمون را برداشته و به بار تماسی (۱۰ ± ۳۵) میلی‌نیوتن باز گردید.

۱۲-۹ آزمونه را از روی تکیه‌گاه‌ها بردارید و آزمون دیگری را اجرا کنید.

۱۳ روش محاسبهٔ داده‌های آزمون

۱۳-۱ نرم‌افزار آزمون باید از لحظه اعمال بار استقرار، منحنی مقادیر اندازه‌گیری شده بار و خیز آزمونه را نسبت به زمان بارگذاری در فواصل زمانی ۰٫۵ ثانیه یا کمتر ترسیم کند. مقدار خیز آزمونه باید بر حسب میلی‌متر و مقادیر بار بر حسب میلی‌نیوتن گزارش شود. نمونه‌ای از منحنی بارگذاری و خیز در شکل ۲ نشان داده شده است.

۱۳-۲ سختی اندازه‌گیری شده آزمونه را در زمان‌های بارگذاری ۸٫۰ ثانیه، ۱۵٫۰ ثانیه، ۳۰٫۰ ثانیه، ۶۰٫۰ ثانیه، ۱۲۰٫۰ و ۲۴۰٫۰ ثانیه با توجه به ابعاد آزمونه، بار آزمون و خیز آزمونه با استفاده از معادله (۳) محاسبه کنید:

$$S_{m(t)} = PL^3 / 4bh^3\delta_{(t)} \qquad (۳)$$

که در آن:

$S_m(t)$ سختی خزش خمشی اندازه‌گیری شده در زمان (t) برحسب مگا پاسکال؛

P بار آزمون اندازه‌گیری شده برحسب میلی‌نیوتن؛

L فاصله بین تکیه‌گاه‌ها برحسب میلی‌متر؛

b عرض آزمونه برحسب میلی‌متر؛

h ارتفاع آزمونه برحسب میلی‌متر؛

$\delta_{(t)}$ خیز آزمونه در زمان (t) برحسب میلی‌متر.

۱۳-۲-۱ مقدار بار و خیز به دست آمده در ۸ ثانیه اول بارگذاری را برای محاسبه سختی به کار نبرید. داده‌های آزمون خزشی بلافاصله پس از اعمال بار آزمون، به دلیل اثرات بار دینامیکی و زمان آنی افزایش بار قابل قبول نیست.

۱۳-۳ محاسبه سختی (S) و مقدار m (نرخ تغییرات خزشی)

۱۳-۳-۱ مقادیر لگاریتم سختی را در مقابل لگاریتم زمان‌های بارگذاری در چند جمله‌ای درجه دو قرار داده و به صورت زیر محاسبه کنید:

$$A = [S_y(S_{x2}S_{x4} - S_{x3}^2) + S_{yx1}(S_{x2}S_{x3} - S_{x1}S_{x4}) + S_{yx2}(S_{x1}S_{x3} - S_{x2}^2)]/D$$

$$B = [S_y(S_{x2}S_{x3} - S_{x1}S_{x4}) + S_{yx1}(6S_{x4} - S_{x2}^2) + S_{yx2}(S_{x1}S_{x2} - 6S_{x3})]/D$$

$$C = [S_y(S_{x1}S_{x3} - S_{x2}^2) + S_{yx1}(S_{x1}S_{x2} - 6S_{x3}) + S_{yx2}(6S_{x2} - S_{x1}^2)]/D$$

$$D = 6(S_{x2}S_{x4} - S_{x3}^2) + S_{x1}(S_{x2}S_{x3} - S_{x1}S_{x4}) + S_{x2}(S_{x1}S_{x3} - S_{x2}^2)$$

برای زمان‌های بارگذاری ۸/۰ ثانیه، ۱۵/۰ ثانیه، ۳۰/۰ ثانیه، ۶۰/۰ ثانیه، ۱۲۰/۰ ثانیه و ۲۴۰/۰ ثانیه روابط زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

$$S_y = \log S_m(8) + \log S_m(15) + \ldots + \log S_m(240)$$

$$S_{x1} = \log(8) + \log(15) + \ldots\ldots\ldots + \log(240)$$

$$S_{x2} = [\log(8)]^2 + [\log(15)]^2 + \ldots\ldots\ldots + [\log(240)]^2$$

$$S_{x3} = [\log(8)]^3 + [\log(15)]^3 + \ldots\ldots\ldots + [\log(240)]^3$$

$$S_{x4} = [\log(8)]^4 + [\log(15)]^4 + \ldots\ldots\ldots + [\log(240)]^4$$

$$S_{yx1} = [\log S_m(8)][\log(8)] + [\log S_m(15)][\log(15)] + \ldots + [\log S_m(240)][\mathrm{Log}(240)]$$

$$S_{yx2} = [\log S_m(8)][\log(8)]^2 + [\log S_m(15)][\log(15)]^2 + \ldots + [\log S_m(240)][\log(240)]^2$$

۱۳-۳-۲ ضریب تغییرات سختی را با توجه به مدل درجه دوم توضیح داده شده به شرح زیر حساب کنید:

$$R^2 = [6AS_y + 6B_{yx1} + 6CS_{yx2} - S_y^2]/[6S_{y2} - S_{y2}] \qquad (۴)$$

که در آن:

$$S_{y2} = [\log S(8)]^2 + [\log S(15)]^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + [\log S(240)]^2$$

۱۳-۴ مقادیر سختی تخمینی را برای زمان‌های بارگذاری ۸٫۰ ثانیه، ۱۵٫۰ ثانیه، ۳۰٫۰ ثانیه، ۶۰٫۰ ثانیه، ۱۲۰٫۰ ثانیه و ۲۴۰٫۰ ثانیه با استفاده از معادله (۵) محاسبه کنید:

$$\log S_e(t) = A + B[\log(t)] + C[\log(t)]^2 \qquad (۵)$$

که در آن:

A، B و C ضریب همبستگی تعیین شده در زیربند ۱۳-۳-۱؛

t زمان بارگذاری.

۱۳-۴-۱ مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی سختی باید تا محدودهٔ ٪۲ با یکدیگر اختلاف داشته باشند. در غیر این صورت نتایج آزمون مورد تردید است.

۱۳-۵ مقدار m (نرخ تغییرات خزشی) را برای زمان‌های بارگذاری ۸٫۰ ثانیه، ۱۵٫۰ ثانیه، ۳۰٫۰ ثانیه، ۶۰٫۰ ثانیه، ۱۲۰٫۰ ثانیه و ۲۴۰٫۰ ثانیه با استفاده از معادله (۶) محاسبه کنید:

$$m(t) = \left| d\log[S(t)] / d\log(t) = [B + 2C\log(t)] \right| \qquad (۶)$$

که درآن:

B و C ضرایب همبستگی تعیین شده در زیربند۱۳-۳-۱؛

t زمان بارگذاری.

۱۳-۶ با میانگین گرفتن از مقادیر بارهای آزمون در زمان ۰٫۵ ثانیه و هر ۰٫۵ ثانیه بعد از آن تا زمان ۲۴۰ ثانیه، میانگین مقادیر بار را هنگام آزمون محاسبه کنید.

۱۳-۷ در فاصله زمانی ۰٫۵ ثانیه تا ۵٫۰ ثانیه، حداکثر اختلاف بین میانگین بار و مقادیر بار ثبت‌شده در فواصل زمانی ۰٫۵ ثانیه را محاسبه کنید.

۱۳-۸ در فاصله زمانی ۵٫۰ ثانیه تا ۲۴۰ ثانیه، حداکثر اختلاف بین میانگین بار و مقادیر بار ثبت‌شده را در فاصله‌های زمانی هر ۰٫۵ ثانیه محاسبه کنید.

۱۴ گزارش آزمون

۱۴-۱ گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد اما به اطلاعات بیان شده در زیر محدود نمی‌شود. قالب پیشنهادی گزارش آزمون در جدول الف-۱ ارایه شده است.

یادآوری- اطلاعاتی که حاوی جزئیات داده‌ها بوده و باید با نرم‌افزار دستگاه رئومتر تیرچه خمشی به دست آید را گزارش کنید. ارتباط واقعی نتایج آزمون به دست آمده از سوی کاربر این روش آزمون با بخش‌های بعدی به صلاحدید کاربر بستگی دارد. قالب چنین ارتباط‌هایی فراتر از هدف این روش آزمون است.

۱۴-۲ اطلاعات آزمونه

۱- نام پرونده در دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR)؛

۲- شماره شناسایی آزمونه؛

۳- عرض آزمونه (مقدار پیش فرض ۱۲٫۷۰ میلی‌متر است)؛

۴- ضخامت آزمونه (برحسب میلی‌متر تا نزدیک‌ترین ۰٫۰۱ میلی‌متر). مقدار پیش فرض ۶٫۳۵ میلی‌متر است. مقادیری که فقط طبق زیربندهای ۱۲-۳-۲ یا ۱۲-۳-۳ تعیین شده است را گزارش کنید؛

۵- تاریخ انجام آزمون (روز/ماه/سال)؛

۶- نام آزمایش‌گر؛

۷- نسخه نرم‌افزار آزمون مورد استفاده.

۱۴-۳ اطلاعات واسنجی

۱- تاریخ آخرین واسنجی دما (روز/ماه/سال)؛

۲- تاریخ آخرین واسنجی بارسنج (روز/ماه/سال)؛

۳- ضریب واسنجی بارسنج (برحسب mN/bit تا سه رقم معنادار)؛

۴- تاریخ آخرین واسنجیLVDT (روز/ماه/سال)؛

۵- ضریب واسنجی LVDT (برحسب µm/bit تا سه رقم معنادار)؛

۶- تاریخ آخرین کنترل مدول (روز/ماه/سال)؛

۷- مدول اندازه‌گیری شدهٔ تیرچه فولادی (برحسب GPa تا سه رقم معنادار)؛

۸- تاریخ آخرین کنترل مناسب بودن سامانه بارگذاری (روز/ماه/سال)؛

۹- سختی سامانه بارگذاری (برحسب µm/N تا سه رقم معنادار).

۱۴-۴ شرایط آزمون

۱- مدت زمان اعمال بار (ساعت، دقیقه)؛

۲- حداکثر دما هنگام انجام آزمون (بر حسب درجهٔ سلسیوس تا نزدیک‌ترین ۰٫۱ درجه سلسیوس)؛

۳- حداقل دما هنگام انجام آزمون (بر حسب درجهٔ سلسیوس تا نزدیک‌ترین ۰٫۱ درجه سلسیوس)

۴- حداکثر بار ثبت شده هنگام انجام آزمون (بر حسب mN تا نزدیک‌ترین ۱ mN)؛

۵- حداقل بار ثبت شده هنگام انجام آزمون (بر حسب mN تا نزدیک‌ترین ۱ mN)؛

۶- مقدار بار تماسی در t=۰، بلافاصله پیش از اعمال بار آزمون (بر حسب mN تا نزدیک‌ترین ۱ mN)؛

۷- مقدار بار آزمون بعد از ۰٫۵ ثانیه از بارگذاری (بر حسب mN تا نزدیک‌ترین ۱ mN).

۱۴-۵ نتایج آزمون (نتایج آزمون را برای زمان‌های بارگذاری ۸٫۰ ثانیه، ۱۵٫۰ ثانیه، ۳۰٫۰ ثانیه، ۶۰٫۰ ثانیه، ۱۲۰٫۰ ثانیه و ۲۴۰٫۰ ثانیه) گزارش کنید:

۱- زمان بارگذاری بر حسب ثانیه (تا نزدیک‌ترین ۰٫۱ ثانیه)؛

۲- بار آزمون (بر حسب mN تا نزدیک‌ترین ۱ mN)؛

۳- آزمونه (بر حسب mm تا نزدیک‌ترین ۱ µm)؛

۴- مدول سختی اندازه‌گیری شده، طبق معادله (۳) (برحسب MPa تا سه رقم معنادار)؛

۵- مدول سختی تخمینی طبق معادله (۵) (برحسب MPa تا سه رقم معنادار)؛

۶- درصد اختلاف بین سختی اندازه‌گیری شده و تخمینی که باید بر اساس معادله‌های (۳) و (۵) محاسبه شود.

{مقدار اندازه‌گیری شده}/{٪۱۰۰ × (مقدار اندازه‌گیری شده- مقدار تخمینی)}

۷- نرخ تغییرات خزشی (m-value) تخمینی طبق معادله (۶) (تا نزدیک‌ترین ۰٫۰۰۱)؛

۱۴-۶ برای هر آزمون، خلاصه داده‌های ارایه شده در جدول الف-۱ را گزارش کنید.

۱- ضرایب رگرسیون و R^2 طبق معادله (۴) و زیر بند ۱۳-۳-۱؛

۲- میانگین به دست آمده از میانگین گرفتن بار در ۰٫۵ ثانیه و هر ۰٫۵ ثانیه پس از آن تا ۲۴۰٫۰ ثانیه؛

۳- حداکثر انحراف بار از مقدار میانگین در فاصله‌های زمانی ۰٫۵ ثانیه تا ۵٫۰ ثانیه (بر حسب mN)؛

۴- حداکثر انحراف بار از مقدار میانگین در فاصله‌های زمانی ۵٫۰ ثانیه تا ۲۴۰٫۰ ثانیه (بر حسب mN)؛

۵- خیز صفر (بر حسب mm)؛

۶- خیز در زمان ۰٫۵ ثانیه (بر حسب mm).

۱۴-۷ فایل داده‌ها

نرم‌افزار باید داده‌ها را در قالب فایل غیر اختصاصی شامل خوانش‌های بارسنج، خوانش‌های LVDT و خوانش‌های دما، به ترتیب برحسب میلی‌نیوتن، میلی‌متر و ۰٫۱ درجهٔ سلسیوس مرتب نماید. خوانش‌ها باید از زمان صفر شروع شده و با فاصله‌های زمانی ۰٫۵ثانیه تا زمان ۲۴۰ ثانیه ادامه داشته باشد. فایل باید با ویرگول از فرمت متنی جدا شود. این اطلاعات نباید بخشی از گزارش باشد ولی باید برای کاربر قابل دسترسی باشد.

۱۵ دقت و اریبی

۱-۱۵ دقت

معیار داوری پذیرش تکرارپذیری اندازه‌گیری‌های سختی خزش خمشی و نرخ تغییرات خزشی (m-value) در جدول ۱ بیان شده است. این معیار براساس چندین نمونه تخصصی مرجع (AMRL) و چندین آزمون دوره‌ای شامل بیش از ۳۰۰ آزمون و قیرهایی با درجه‌های متفاوت، بدست‌آمده است.

۲-۱۵ دقت یک آزمایش‌گر (تکرارپذیری)

اختلاف نتایج دوتایی به دست آمده در یک آزمایشگاه که توسط یک آزمایش‌گر با استفاده ازتجهیزات یکسان انجام شده است و بصورت درصدی از میانگین بیان می‌شود نباید بیش از مقادیر بیان شده در جدول ۱ باشد.

۳-۱۵ دقت چند آزمایشگاهی (تجدیدپذیری)

اختلاف نتایج دو آزمون به دست آمده در آزمایشگاه‌های مختلف توسط دو آزمایش‌گر مختلف با استفاده از مواد یکسان که بصورت درصدی از میانگین بیان می‌شود نباید بیش از مقادیر بیان شده در جدول ۱ باشد.

۴-۱۵ اریبی

اریبی را در این روش آزمون، نمی‌توان تعیین کرد، زیرا مقدار مرجع پذیرفته شده‌ای وجود ندارد.

جدول ۱- تخمین تکرارپذیری و تجدیدپذیری

حالت	ضریب تغییرات (1s%)[الف]	گسترۀ قابل قبول دو نتیجه آزمون (d2s%)[الف]
دقت یک آزمایش‌گر:		
سختی خزشی (Mpa)	۳٫۲	۹٫۱
شیب	۱٫۴	۴٫۰
دقت چند آزمایشگاهی:		
سختی خزشی (Mpa)	۹٫۵	۲۶٫۹
شیب	۴٫۶	۱۳٫۰

الف – این اعداد نشان دهندۀ حدود 1s برحسب درصد و d2s برحسب درصد هستند که در استاندارد ASTM C670 بیان شده‌اند. این اعداد بر اساس داده‌های به دست آمده از برنامه آزمون تخصصی مواد مرجع (AASHTO) و سایر برنامه‌های آزمون دوره‌ای که در آن از قالب‌های فلزی (آلومینیومی) استفاده شد، به دست آمده است. آزمون‌های دوره‌ای انجام شده با قالب‌های پلاستیکی سیلیکونی و فلزی نشان می‌دهد که نتایج به دست آمده از انجام آزمون با دو نوع متفاوت از قالب‌ها از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف ندارند.

پیوست الف

(الزامی)

واسنجی اجزای دستگاه

اجزای دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) را همانطور که در زیربند ۱۰-۲ الزام شده است طبق دستورالعمل‌های زیر واسنجی کنید:

الف-۱ واسنجی جابجایی‌سنج

جابجایی‌سنج را با استفاده از گیج مخصوص پله‌دار با ابعاد مشخص مانند شکل ۷، واسنجی کنید همه تیرچه‌ها را در حالی که قاب بارگذاری درون حمام در دمای آزمون قرار دارد، از روی تکیه‌گاه‌ها برداشته و گیج را مطابق با دستورالعمل سازنده دستگاه، روی سکوی مرجع در زیر میله بارگذاری قرار دهید. وزنه ۱۰۰ گرمی را روی میله بارگذاری قرار داده و از دستورالعمل‌های سازنده دستگاه پیروی کنید تا خوانش جابجایی‌سنج بر روی هر پله انجام شود. نرم‌افزار ارایه شده به وسیله سازنده دستگاه باید اندازه‌گیری‌ها را بر حسب µm/bit تا سه رقم معنادار به مقدار ثابت واسنجی تبدیل کرده و باید به طور خودکار مقادیر ثابت جدید را به نرم‌افزار وارد کند. مقدار ثابت واسنجی باید از یک واسنجی به واسنجی دیگر قابل تکرار باشد در غیر این صورت، عملکرد سامانه می‌تواند مورد تردید قرار گیرد.

الف-۲ واسنجی بارسنج

بارسنج را مطابق با دستورالعمل سازنده آن با استفاده از حداقل چهار وزنه که جرم آنها در محدودهٔ بارسنج توزیع شده است، واسنجی کنید. نرم‌افزار ارایه شده از سوی سازنده آن باید اندازه‌گیری‌ها را بر حسب mN/bit تا سه رقم معنادار به مقدار ثابت واسنجی تبدیل کرده و به طور خودکار اعداد ثابت جدید را به نرم‌افزار وارد کند. مقادیر ثابت واسنجی شده باید از یک واسنجی به واسنجی دیگر قابل تکرار باشد در غیر این صورت عملکرد سامانه می‌تواند مورد تردید قرار گیرد. این روش را برای هر دمای آزمون تکرار کنید.

الف-۳ واسنجی ابزار اندازه‌گیری دمای داخلی

ابزار اندازه‌گیری دمای داخلی را با استفاده از ابزار واسنجی شده اندازه‌گیری دما در محدودهٔ مناسب مطابق با الزامات زیربند ۶-۹ واسنجی کنید. حسگر (پروب) ابزار اندازه‌گیری دمای واسنجی شدهٔ (یا بخش حبابی شکل دماسنج مایع در شیشه) را در حمام مایع نزدیک به حسگر مبدل دمایی دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) غوطه‌ور کنید. دمای نشان داده شده توسط دماسنج واسنجی شده را با دمای نشان داده شده توسط دستگاه رئومتر تیرچه خمشی (BBR) مقایسه کنید. اگر دمای نشان داده شده توسط دستگاه رئومتر تیرچه خمشی با دمای نشان داده شده توسط دماسنج واسنجی شده در محدودهٔ $\pm 0{,}1$ درجهٔ سلسیوس مطابقت نداشته باشد از

دستورالعمل سازنده دستگاه برای تصحیح دمای رئومتر تیرچه خمشی برای مطابقت با دمای دماسنج واسنجی شده پیروی کنید.

الف-۴ تعیین شاخص عملکرد سامانه

شاخص عملکرد سامانه اندازه‌گیری را مطابق با دستورالعمل سازنده با استفاده از حداقل چهار وزنه که جرم آنها در محدودهٔ بارسنج توزیع شده است، تعیین کنید. نرم‌افزار ثبت داده‌ها باید وضعیت جابجایی‌سنج را در هر بارسنج اندازه‌گیری کند. شاخص عملکرد باید مانند تغییر مکان اندازه‌گیری شده در هر واحد بار، محاسبه شود. نرم‌افزار ارایه شده از سوی سازنده آن باید اندازه‌گیری‌ها را به شاخصی بر حسب μm/N تا سه رقم معنادار تبدیل کرده و به طور خودکار شاخص را به نرم‌افزار وارد کند. اندازه‌گیری شاخص را می‌توان به عنوان بخشی از واسنجی بارسنج یا به عنوان عملی مجزا انجام داد. اندازه‌گیری شاخص باید در هر بار واسنجی بارسنج، انجام شود.

جدول الف-۱ نمونه‌ای از گزارش آزمون

شرایط آزمون			
نام فایل	AXX5M301	حداکثر دما هنگام انجام آزمون (°C)	
شماره شناسایی آزمونه [الف]	AXB5PAV	حداقل دما هنگام انجام آزمون (°C)	
شماره شناسایی پروژه [الف]	XY DOT	حداکثر بار هنگام انجام آزمون (mN)	۹۹۴
نام آزمایش‌گر [الف]		حداقل بار هنگام انجام آزمون (mN)	۹۸۹
تاریخ انجام آزمون (روز/ماه/سال)	۹۵/۳/۲۲	تاریخ آخرین واسنجی دما (روز/ماه/سال)	۹۵/۳/۲۲
عرض آزمونه (mm) [ب]	۱۲٫۷۰	ضریب واسنجی بار (mN/bit)	۲٫۴۰
ضخامت آزمونه(mm) [ب]	۶٫۳۵	تاریخ آخرین واسنجی سل بارگذاری (روز/ماه/سال)	۹۵/۳/۲۲
مدت زمان سپری شده در حمام (min) [الف]	۶۳	ضریب واسنجی LVDT (µm/bit)	۲٫۵۴
مدت زمان اعمال بار (h، m)	۱۴:۳۷	تاریخ آخرین واسنجیLVDT (روز/ماه/سال)	۹۵/۳/۲۲
مدل دستگاه BBR	BB Tech-01	مدول تیرچه فولادی (GPa)	۲۰۰
شماره شناسایی دستگاه [الف]	واحد شمارهٔ ۲	شاخص سامانه بارگذاری (µm/**N**)	۲٫۵۷
نسخه نرم‌افزار آزمون	V 6.7.1	تاریخ آخرین بررسی مناسب بودن سامانه بارگذاری (روز/ماه/سال)	۹۵/۳/۲۲
الف- داده‌ها توسط آزمایش‌گر وارد شده است.			
ب- داده‌ها با اختیار آزمایش‌گر وارد شده است. داده‌ها به طور خودکار توسط نرم‌افزار وارد شده است.			

نتایج آزمون

t زمان (s)	p_t بار آزمون (mN)	**d** خیز (mm)	سختی اندازه‌گیری شده (MPa)	سختی تخمینی (MPa)	اختلاف سختی (٪)	نرخ تغییرات خزشی (m-value)
۸٫۰	۹۸۸	۰٫۳۴۵	۳۵۸	۳۵۸	۰٫۱۲	۰٫۳۳۹
۱۶٫۰	۹۸۷	۰٫۴۰۱	۲۸۷	۲۸۷	-۰٫۲۳	۰٫۳۶۲
۳۰٫۰	۹۸۷	۰٫۴۸۲	۲۲۲	۲۲۲	۰٫۱۰	۰٫۳۸۷
۶۰٫۰	۹۸۸	۰٫۵۹۷	۱۶۸	۱۶۸	-۰٫۰۳	۰٫۴۱۱
۱۲۰٫۰	۹۸۷	۰٫۷۵۸	۱۲۵	۱۲۵	۰٫۱۱	۰٫۴۳۶
۲۴۰٫۰	۹۸۹	۰٫۹۹۲	۹۱٫۷	۹۱٫۸	۰٫۰۷	۰٫۴۶۱

پارامترهای محاسبه شده

ضرایب رگرسیون: (A، B، C، R^2)	۲٫۱۸	-۰٫۱۹۵	۰٫۰۰۲۲۳	۰٫۹۹۹۹۸۱
بار تماسی در زمان t =۰٫۰ s (mN)	۳۱			
میانگین بار از ۰٫۵ ثانیه تا ۲۴۰ ثانیه (mN)	۹۹۸	بار آزمون در زمان t =۰٫۵ s (mN)		۱۰۲۱
حداکثر انحراف بار از ۰٫۵ ثانیه تا ۵٫۰ ثانیه (mN)	۴۲	حداکثر انحراف بار از ۵ ثانیه تا ۲۴۰٫۰ ثانیه (mN)		۲
خیز آزمونه در زمان صفر (mm)	۰٫۰۰۰	خیز آزمونه در ۰٫۵ ثانیه (mm)		۱٫۲۳۷

پیوست ب

(آگاهی دهنده)

نظریه تیرچه و تفسیر داده‌ها

ب-۱ تغییر شکل تیرچه الاستیک

با استفاده از نظریه اولیه خمشی، تغییر شکل میانی تیرچه منشوری الاستیک با سطح مقطع ثابت که در سه نقطه بارگذاری شده، با استفاده از معادله های ب-۱ و ب-۲ به شرح زیر به دست می‌آید:

$$\delta = P L^3 / 48EI \qquad (ب-۱)$$

که در آن:

δ تغییر شکل تیرچه در فاصله میانی بین تکیه‌گاه‌ها برحسب mm؛

P بار اعمال شده برحسب N؛

L فاصله بین تکیه‌گاه‌ها برحسب mm؛

E مدول الاستیسیته برحسب MPa؛

I ممان اینرسی برحسب mm^4.

$$I = bh^3 / 12 \qquad (ب-۲)$$

که در آن:

b عرض تیرچه برحسب mm؛

h ارتفاع تیرچه برحسب mm.

یادآوری- آزمونه فاصله‌ای تا عمق به نسبت ۱۶ به ۱ و مشارکت برش در خیز تیرچه دارد که می‌تواند در نظر گرفته نشود.

ب-۲ مدول خمشی الاستیک

با استفاده از نظریه الاستیک، مدول خمشی تیرچه منشوری با سطح مقطع ثابت که بار در فاصله میانی بین تکیه‌گاه‌های آن اعمال می‌شود را طبق معادله (ب-۳) محاسبه کنید.

$$E = P L^3 / 4bh^3\delta \qquad (ب-۳)$$

که در آن:

E سختی خزش خمشی برحسب MPa؛

P بار بر حسب N؛

L فاصله بین تکیه‌گاه‌ها برحسب mm؛

b عرض تیرچه برحسب mm؛

h ارتفاع تیرچه برحسب mm؛

δ تغییر شکل تیرچه برحسب mm.

ب-۳ حداکثر تنش خمشی

حداکثر تنش خمشی در بالا و پایین تیرچه در فاصله میانی بین تکیه‌گاه‌های آن رخ می‌دهد.

$$\sigma = 3PL / 2bh^2 \qquad (ب-۴)$$

که در آن:

σ حداکثر تنش خمشی تیرچه برحسب MPa؛

P بار ثابت برحسب N؛

L فاصله بین تکیه‌گاه‌ها برحسب mm؛

b عرض تیرچه برحسب mm؛

h ارتفاع تیرچه برحسب mm.

ب-۴ حداکثر کرنش خمشی

حداکثر کرنش خمشی در بالا و پایین تیرچه در فاصله میانی بین تکیه‌گاه‌های آن رخ می‌دهد.

$$\varepsilon = 6\delta h / L^2 mm / mm \qquad (ب-۵)$$

که در آن:

ε حداکثر کرنش خمشی تیرچه برحسب mm/mm؛

δ خیز تیرچه برحسب mm؛

h ضخامت تیرچه برحسب mm؛

L فاصله بین تکیه‌گاه‌ها بر حسب mm.

ب-۵ مدول سختی ویسکوالاستیک خطی

طبق اصل مطابقت الاستیک – ویسکوالاستیک، می‌توان فرض کرد که اگر به یک تیرچه ویسکوالاستیک خطی، بار ثابت در زمان t=۰ اعمال شود و این مقدار ثابت باشد، توزیع تنش در این تیرچه برابر با توزیع تنش در تیرچه الاستیک خطی با همان مقدار اعمال بار، است. علاوه بر این، کرنش‌ها و جابجایی‌ها (خیزها) وابسته به زمان بوده و از مقدار الاستیک و با جایگزین کردن مقدار E با ۱/D(t) به دست می‌آید. هنگامی که ۱/D(t) از لحاظ عددی برابر با مقدار S(t) است؛ برای محاسبه سختی، نتایج محلول الاستیک را در روابط زیر دوباره تنظیم کنید:

$$S(t) = PL^3 / 4bh^3\delta(t) \qquad (ب-۶)$$

که در آن:

s(t) سختی خزش خمشی وابسته به زمان؛

P بار ثابت برحسب N؛

L فاصله بین تکیه‌گاه‌ها برحسب mm؛

b عرض تیرچه برحسب mm؛

h ارتفاع تیرچه برحسب mm؛

δ(t) خیز تیرچه در زمان t، برحسب mm؛

δ(t) و S(t) نشان می‌دهند که خیز و سختی به ترتیب تابع زمان هستند.