INSO
19241
1st. Edition
2012

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

استاندارد ملی ایران
۱۹۲۴۱
چاپ اول
۱۳۹۱

بتن- خواص خمشی مقطع نازک بتن تقویت شده با الیاف شیشه (با استفاده از تیر ساده با بارگذاری در نقاط یک سوم)- روش آزمون

Concrete - Flexural Properties of Thin-Section Glass-Fiber-Reinforced Concrete (Using Simple Beam With Third-Point Loading)- Test Method

ICS: 91.100.30

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ 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.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است .

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان ، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی 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 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 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 می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود .بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور ، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود .

سازمان ملی استاندارد 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. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (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

«بتن- خواص خمشی مقطع نازک بتن تقویت شده با الیاف شیشه (با استفاده از تیر ساده با بارگذاری در نقاط یک سوم)- روش آزمون»

رییس:	سمت و/ یا نمایندگی
ابوالحسنی، عباس (کارشناس مهندسی عمران)	شرکت آفتاب بتن شرق
دبیر:	
ضرابی راد، راحله (کارشناس ارشد زمین‌شناسی)	دانشگاه پیام نور مرکز بجنورد
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
ارشد، بهمن (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی
ایروانی، زکیه (کارشناس زمین شناسی)	آزمایشگاه همکار پی تحکیم مشهد
بهشتی، سید یحیی (کارشناس مهندسی تکنولوژی ساختمان)	شرکت تعاونی بتن آماده طلوع
حسینی عزیز، رقیه بی‌بی (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)	آزمایشگاه همکار بیژن یورد
سرایی، فتانه (کارشناس مهندسی شیمی)	جامعه مدیران کیفیت صنایع خراسان شمالی
صمدی شادلو، مهرداد (کارشناس مهندسی مواد- سرامیک)	شرکت کیفیت گستر بجنورد
رحیمی، علی اکبر (کارشناس مهندسی عمران)	شرکت مهندسین مشاور عمران شاخص البرز
عفتی، الهام (کارشناس ارشد مهندسی پلیمر)	شرکت آذر آوند
علی‌پور، نوشین (کارشناس ارشد شیمی)	آزمایشگاه همکار صنایع شیمی ساختمان آبادگران

عین آبادی، محمود (کارشناس مهندسی عمران)	آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک خراسان شمالی، انجمن بتن خراسان شمالی
غلامیان، حسام (کارشناس شیمی)	شرکت پشم شیشه به بام ممتاز شرق
فرجی، احمدرضا (کارشناس ارشد زمین شناسی)	اداره کل استاندارد خراسان شمالی
فروتن‌مهر، حسین (کارشناس مهندسی ساختمان)	انجمن صنفی تولیدکنندگان بتن آماده و قطعات بتنی ایران
قاسمی، ناهید (دکتری شیمی)	دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک
کریمی، الهه (کارشناس ارشد زمین شناسی)	اداره کل استاندارد خراسان شمالی
گریوانی، زکیه (کارشناس ارشد شیمی کاربردی)	شرکت پژوهشکده کیمیاگران ارتیان
مداح، حیدر (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)	شزکت نفت فلات قاره

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد		ج
کمیسیون فنی تدوین استاندارد		د
پیش گفتار		ز
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	وسایل	۲
۴	نمونه‌برداری	۲
۵	آزمونه	۲
۶	شرایط	۳
۷	روش انجام آزمون	۳
۸	روش محاسبه	۵
۹	گزارش نتایج آزمون	۶
۱۰	دقت و اریبی	۶
پیوست الف (اطلاعاتی) مدول الاستیسیته		۷

پیش‌گفتار

استاندارد «بتن- خواص خمشی مقطع نازک بتن تقویت شده با الیاف شیشه (با استفاده از تیر ساده با بارگذاری در نقاط یک سوم)- روش آزمون» که پیش نویس آن درکمیسیون‌های مربوط توسط شرکت پژوهشکده کیمیاگران ارتیان تهیه و تدوین شده و در پانصد و نود و پنجمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۱/۰۱/۳۰مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ ، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع 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 تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

ASTM C947:2003 (Reapproved 2009), Standard Test Method for Flexural Properties of Thin-Section Glass-Fiber-Reinforced Concrete (Using Simple Beam With Third-Point Loadin

بتن- خواص خمشی مقطع نازک بتن تقویت شده با الیاف شیشه (با استفاده از تیر ساده با بارگذاری در نقاط یک سوم)- روش آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای تعیین مقاومت خمشی نهایی و مقاومت نقطه تسلیم مقاطع بتن تقویت شده با الیاف شیشه با استفاده از یک تیر ساده با ارتفاع ۲۴٫۵mm یا کم‌تر و با استفاده از بارگذاری در نقاط یک سوم است.

- خواص خمشی تعیین شده توسط این استاندارد برای کنترل کیفیت بتن تقویت شده با الیاف شیشه، تعیین مطابقت کامل با آیین‌نامه مقررات ملی ساختمان، تحقیق و توسعه و ایجاد اطلاعات برای استفاده در طراحی محصول، مفید است.

هشدار- این استاندارد تمام موارد ایمنی مربوط به کاربرد این روش را بیان نمی‌کند، بنابراین وظیفه کاربر این استاندارد است که موارد ایمنی و اصول بهداشتی را رعایت کرده و قبل از استفاده، محدودیت‌های اجرایی آن را مشخص کند.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات، جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن، مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ASTM C1228, Practice for Preparing Coupons for Flexural and Washout Tests on Glass Fiber Reinforced Concrete

2-2 ASTM D76, Specification for Tensile Testing Machines for Textiles

2-3 ASTM E4, Practices for Force Verification of Testing Machines

۳ وسایل

۳-۱ دستگاه آزمون، ماشینی که باید به طور کامل واسنجی[1] شده باشد و بتواند در سرعت ثابتی از حرکت لوله لغزنده[2] عمل کند و خطا در سامانه اندازه‌گیری نیرو نباید از ٪۱٫۰± بیشینه نیروی پیش‌بینی شده، بیش‌تر شود. دستگاه آزمون به یک ابزار اندازه‌گیری خمش و یک ابزار ثبت داده‌ها مجهز شده است. استحکام دستگاه آزمون باید طوری باشد که تغییر شکل الاستیک کل سامانه از ٪۱٫۰خیز کل آزمونه در هنگام آزمون بیش‌تر نشود، در غیر این صورت باید اصلاحات لازم انجام گیرد. در حقیقت، ساز و کار تعیین نیرو در سرعت استفاده شده برای لوله لغزنده باید مستقل از نیروی لختی باشد. دقت دستگاه آزمون باید مطابق با استاندارد بند ۲-۲ و استاندارد بند ۲-۳ باشد.

۳-۲ دماغه‌های اعمال بار و تکیه‌گاه‌ها، دماغه‌های اعمال بار و تکیه‌گاه‌ها باید سطوح استوانه‌ای داشته باشند. به منظور اجتناب از فرو رفتگی یا شکست ناشی از تمرکز تنش به طور مستقیم تحت دماغه‌های اعمال بار یا تکیه‌گاه‌ها، شعاع دماغه‌ها و تکیه‌گاه‌ها باید حداقل ۶٫۳۵mm باشد. شکل ۱ را برای شکل بارگذاری ببینید. قوس دماغه اعمال بار و تکیه‌گاه‌ها در تماس با آزمونه باید به قدر کافی بزرگ باشد تا مانع تماس آزمونه با پهلوهای دماغه‌ها شود. برای توزیع یکنواخت بار در عرض آزمونه، بالشتک‌های نئوپرنی[3] با ضخامت تقریبی ۱٫۶mmمی‌توانند بین آزمونه و دماغه‌های بارگذاری قرار گیرند. اما اگر اندازه‌گیری‌های خمش مدنظر باشد نباید از بالشتک‌های نئوپرنی استفاده شود چون باعث ایجاد اختلاف در اندازه‌گیری‌ها می‌شود.

۳-۳ سر بارگذاری و وسیله نگه‌دارنده، همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده، دماغه‌های بارگذاری، نگه‌دارنده‌ها و وسایل موجود مربوط به آن‌ها باید طوری طراحی شوند که اجازه دهد چرخش حول محورهایی واقع در صفحات افقی دستگاه بارگذاری رخ دهد. این وضعیت سر بارگذاری و وسایل نگه‌دارنده تضمین می‌کند که نیروهای اعمال شده به آزمونه از ابتدا عمود به سطوح آزمونه و بدون خروج از مرکز اعمال خواهد شد.

۳-۴ وسیله اندازه‌گیری ارتفاع[4] و عرض آزمونه، یک کولیس یا میکرومتر یا سایر وسایل مناسب که قادر به اندازه‌گیری ارتفاع آزمونه با دقت ۰٫۱۳mm و عرض آزمونه با دقت ۰٫۲۵mm باشد.

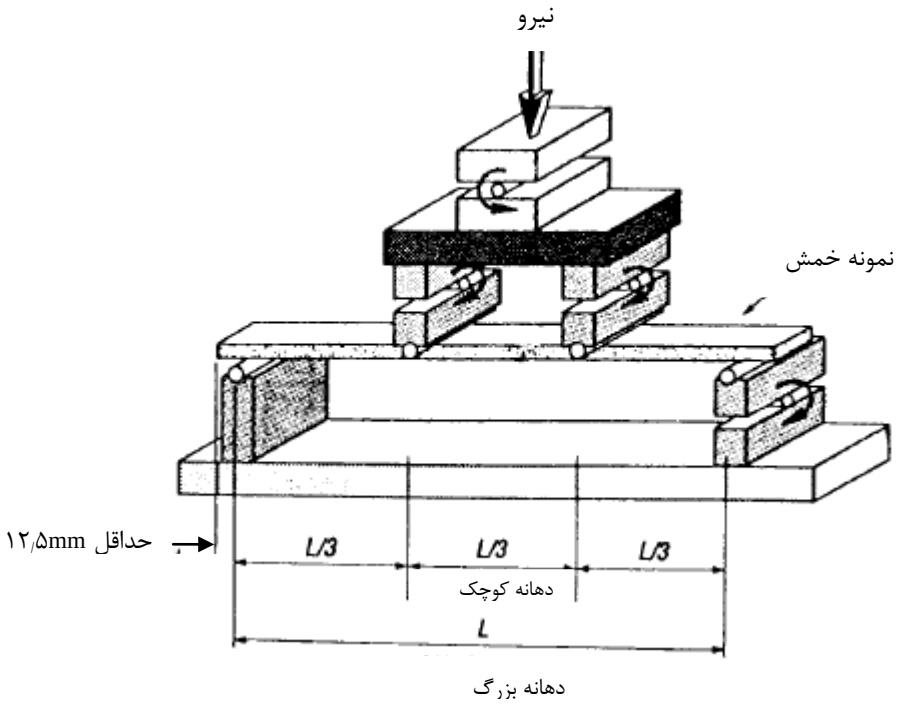
۴ نمونه‌برداری

صفحات آزمون باید مطابق با ویژگی‌های تعیین شده در آیین‌نامه مقررات ملی ساختمان تولید شوند.

۵ آزمونه

۵-۱ شش آزمونه باید طبق استاندارد بند ۲-۱ آماده شود.

1- Calibrate
2- Crosshead
3- Neoprene
4- Depth



شکل۱- شکل بارگذاری برای آزمون خمش

۲-۵ آزمونه باید برای نسبت طول دهانه بزرگ به ارتفاع دارای نسبت ۱۶ به ۱ بین ۳۰ به ۱ باشد. طول کل آزمونه باید حداقل ۲۵mm بلندتر از دهانه بزرگ آزمونه باشد. عرض اسمی آزمونه باید ۵۰mm باشد.

۶ شرایط نگهداری

۱-۶ نمونه یا آزمونه‌ها باید طوری بسته بندی و به آزمایشگاه آزمون حمل شوند که آسیبی نبینند.

۲-۶ نمونه یا آزمونه‌ها باید در شرایط آب با دمای (۲۳±۳)°C برای یک دوره حداقل ۲۴ ساعته و حداکثر ۷۲ ساعته قرار گرفته تا از اشباع کامل آن اطمینان حاصل شود و بالافاصله پس از خروج از آب آزمون شوند. آزمونه‌ها را جداگانه از حمام آب خارج کرده و آزمون کنید. اجازه ندهید سطوح آزمونه قبل از آزمون یا در هنگام آزمون خشک شود. اگر آثاری از خشک شدن سطح مشاهده شود، می‌توان آب را به سطوح آزمونه در هنگام انجام آزمون افشانه[1] کرد.

۳-۶ نمونه یا آزمونه‌ها باید در محیطی با دمای کنترل شده (۲۳±۳)°C آزمون شوند.

۷ روش انجام آزمون

۱-۷ دهانه بزرگ دستگاه آزمون را طبق بند ۵-۲ تنظیم کنید.

۲-۷ دهانه کوچک را مطابق با یک سوم دهانه بزرگ تنظیم کنید.

1- Spary

۳-۷ دماغه‌های بارگذاری و تکیه‌گاه‌ها را در یک ردیف طوری قرار دهید که محورهای سطوح استوانه‌ای موازی هم باشند.

یادآوری – به موازات قرار گرفتن دماغه‌های بارگذاری و تکیه‌گاه‌ها را می‌توان توسط یک صفحه دارای شیارهای موازی بررسی کرد که دماغه‌های بارگذاری و تکیه‌گاه‌ها هنگامی که به طور صحیح در یک ردیف باشند، داخل آن‌ها قرار می‌گیرند.

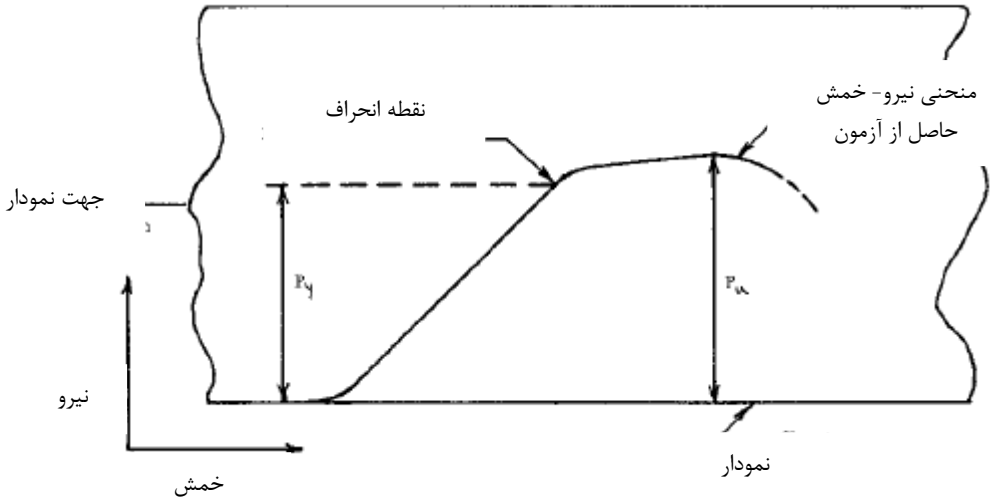
۴-۷ آزمونه را در مرکز طوری روی تکیه‌گاه‌ها قرار دهید که طول مساوی از آزمونه در خارج از تکیه‌گاه قرار گرفته و محور طولی آزمونه عمود بر دماغه‌های بارگذاری و تکیه‌گاه‌ها باشد.

۵-۷ سه آزمونه را در حالتی که سطح رو به قالب در تنش باشد و سه آزمونه را در حالتی که سطح مقابل (یا سطح صاف شده) در تنش قرار گیرد، آزمون کنید.

۶-۷ سرعت لوله لغزنده دستگاه آزمون را بر روی ۱٫۲۷mm/min تا ۵٫۱mm/min تنظیم کنید. نمودار سرعت را روی ۲۵±۷۵ برابر سرعت مورد استفاده برای لوله لغزنده تنظیم کنید. محدوده اندازه‌گیری بارگذاری اولیه را طوری تنظیم کنید که بارگذاری نقطه تسلیم مقاومت خمشی (F_y) در کم‌تر از ٪۳۰ کل نیرو رخ ندهد. نیرو را در سرعت ثابت تا شکست آزمونه اعمال کنید. محل شکست آزمونه را بازرسی کنید. اگر شکست در بیرون دهانه کوچک رخ داده باشد، آزمونه را درنظر نگرفته و اطلاعات آزمون را ثبت کنید.

یادآوری – نمودار سرعت بعد از رسیدن منحنی نیرو- خمش به نقطه انحراف آن ممکن است کاهش یابد یا متوقف شود که از حالت خطی (P_y در شکل ۲) به یک حالت ثابت در صفحه نمودار می‌رسد.

۷-۷ ماکسیمم نیروی به دست آمده (P_u) و نیرو را در جایی که منحنی نیرو- خمش از حالت خطی منحرف می‌شود، ثبت کنید. هم‌چنین خمش‌ها را باید در نقطه‌ای که منحنی نیرو- خمش از حالت خطی منحرف می‌شود (Y_y) و در نقطه شکست (Y_u) اندازه‌گیری کنید. برای مشاهده یک نوع از نمودار ثبت نیرو- خمش به شکل ۲ مراجعه کنید.



شکل ۲- نمودار نیرو- خمش

۸-۷ میانگین ارتفاع اندازه‌گیری شده سه آزمونه را با دقت ۰٫۱۲۵mm در محل شکست یا نزدیک محل شکست تعیین کرده و ثبت کنید. عرض آزمونه را با دقت ۰٫۲۵mm در محل شکست یا نزدیک محل شکست تعیین کنید. از یک وسیله اندازه‌گیری همان‌طور که در بند ۳-۴ توصیف شده استفاده کنید.

یادآوری – احتیاط کنید که از اندازه‌گیری در محل‌های منبسط شده در محل شکست یا نزدیک آن اجتناب کنید.

۸ روش محاسبه

۸-۱ نقطه تسلیم مقاومت خمشی (F_y) را از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$F_y = P_y L / bd^2 \qquad (۱)$$

که در آن:

F_y نقطه تسلیم مقاومت خمشی بر حسب MPa؛

P_y نیرو بر روی منحنی نیرو- خمش در نقطه‌ای که منحنی از حالت خطی منحرف می‌شود بر حسب N؛

L دهانه بزرگ نگه‌دارنده، بر حسب mm؛

b عرض آزمونه، بر حسب mm؛

d ارتفاع آزمونه، بر حسب mm است.

۸-۲ استفاده از دستگاه‌های آزمون با ضریب بزرگ‌نمایی (نسبت سرعت نمودار به سرعت لوله لغزنده) کم‌تر از ۱:۵۰ ممکن است باعث خطاهای منظم در تشخیص نقطه‌ای که منحنی نیرو- خمش از حالت خطی منحرف می‌شود، خواهد شد. این خطاها را می‌توان توسط یک ضریب تعیین شده که از مقایسه نتایج حاصل از آزمونه‌ها، از واریانس نقطه تسلیم آزمونه‌ها در محدوده متناسب با مقادیر حد الاستیک آزمون شده بر روی دستگاه‌ها با ضرایب بزرگ‌نمایی توصیه شده یا بدون آن‌ها تصحیح کرد.

۸-۳ مقاومت نهایی خمشی (F_u) را از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$F_u = P_u L / bd^2 \qquad (۲)$$

که در آن:

F_u مقاومت نهایی خمشی، بر حسب MPa؛

P_u ماکسیمم نیروی وارد شده به آزمونه، بر حسب N؛

L دهانه بزرگ نگه‌دارنده، بر حسب mm؛

b عرض آزمونه، بر حسب mm؛

d ارتفاع آزمونه، بر حسب mm است.

۹ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید حاوی اطلاعات زیر باشد:

۹-۱ ارجاع به این استاندارد ملی ایران؛

۹-۲ تعیین تعداد آزمونه‌ها؛

۹-۳ توصیف نمونه و سن آن؛

۹-۴ شرایط آماده‌سازی نمونه؛

۹-۵ تاریخ انجام آزمون؛

۹-۶ سرعت لوله لغزنده؛

۹-۷ نمودار سرعت؛

۹-۸ اندازه دهانه بزرگ؛

۹-۹ ارتفاع آزمونه با دقت ۰٫۱۲۷mm و عرض آزمونه با دقت ۰٫۲۵۴mm؛

۹-۱۰ خمش‌ها در نقطه‌ای که منحنی نیرو- خمش از حالت خطی منحرف می‌شود و در نقطه شکست؛

۹-۱۱ نقطه تسلیم مقاومت خمشی با دقت ۰٫۰۳MPa؛

۹-۱۲ مقاومت نهایی خمشی با دقت ۰٫۰۳MPa

۱۰ دقت و اریبی

معیارهای دقت و اریبی برای این استاندارد در حال حاضر تعیین نشده است.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

مدول الاستیسیته

الف-۱ به طور یقین تعیین مقدار مدول الاستیسیته الزامی است. این مقدار از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E = \frac{5P_y L^3}{27Y_y bd^3} \qquad \textbf{(الف-۱)}$$

که در آن:

E مدول الاستیسیته خمشی اولیه، بر حسب MPa؛

Y_y خمش بر روی منحنی نیرو- خمش در نقطه‌ای که منحنی از حالت خطی منحرف می‌شود؛

P_y نیرو بر روی منحنی نیرو- خمش در نقطه‌ای که منحنی از حالت خطی منحرف می‌شود، بر حسب N؛

L دهانه بزرگ نگه‌دارنده، بر حسب mm؛

b عرض آزمونه، بر حسب mm؛

d ارتفاع آزمونه، بر حسب mm است.

یادآوری – اگر از یک انحراف‌سنج[1] در مرکز دهانه بزرگ برای اندازه‌گیری خمش آزمونه به منظور کم کردن تاثیرات دستگاه و سفتی تجهیزات استفاده شود، مدول الاستیسیته خمشی با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$E = \frac{23P_y L^3}{108Y_y bd^3} \qquad \textbf{(الف-۲)}$$

1 - Deflectometer