



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران
۴۹۰
تجدید نظر سوم
۱۳۹۸

INSO

490

3rd Revision

2020

Modification of
ASTM C78/C78M:
2018

بتن - مقاومت خمشی بتن (با استفاده از
تیر ساده با بارگذاری در نقاط یک سوم) -
روش آزمون

Concrete- Flexural strength of concrete
(using simple beam with third-point
loading)- Test method

ICS: 91.100.30

استاندارد ملی ایران شماره ۴۹۰ (تجدیدنظر سوم): سال ۱۳۹۸

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ و ۸۸۸۸۷۰۸۰

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ 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 ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

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

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

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

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«بتن - مقاومت خمشی بتن (با استفاده از تیر ساده با بارگذاری در نقاط یک‌سوم) - روش آزمون»

(تجدیدنظر سوم)

رئیس:

احمدی، بابک

(دکتری مهندسی عمران)

دبیر:

ارشد، بهمن

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

سمت و/یا محل اشتغال:

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

آسایش، محمد صادق

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی

امین بخش، آرمان

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

شرکت خانه‌سازی پیش‌ساخته آذربایجان

بابایی، غلام حسین

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

سازمان نظام مهندسی ساختمان استان آذربایجان شرقی

حیدری‌زاد، حمیدرضا

(کارشناسی مهندسی عمران)

آزمایشگاه آراد خاک بهینه کاوش

رسولی، بهزاد

(کارشناسی مهندسی صنایع شیمیایی)

شرکت نفت پاسارگاد تبریز

ستاری، صالح

(کارشناسی مهندسی عمران)

شرکت صنایع شیمی ساختمان آبادگران

عباسی رزگله، محمد حسین

(کارشناسی مهندسی مواد)

دفتر نظارت بر اجرای استاندارد صنایع غیرفلزی

عیسائی، مهین

(کارشناسی ارشد شیمی)

شرکت صنعت شیمی ساختمان

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

سمت و/یا محل اشتغال:

| | |
|---|---|
| اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی | فرشی حق‌رو، ساسان (دکتری مهندسی عمران) |
| شرکت فهاب بتن | فروتن مهر، بابک (کارشناسی مهندسی عمران) |
| دفتر نظارت بر اجرای استاندارد صنایع غیرفلزی | مجتبوی، سید علی‌رضا (کارشناسی مهندسی مواد) |
| اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی | محمدزاده، شهرام (کارشناسی ارشد مهندسی عمران) |
| مجتمع بتن آماده شمال غرب سپاه (امامیه) | محمودی، توحید (کارشناسی ارشد مهندسی عمران) |
| شرکت بنیاد بتن آذربادگان | محمودی، ولی (کارشناسی ارشد مهندسی عمران) |
| شرکت آدوپن پلاستیک پرشین | مظفری، زینب (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی) |
| آزمایشگاه آرمان صنعت تدبیر اندیش | موسوی، محمد (کارشناسی مهندسی عمران) |
| آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی | مولائی، عیسی (کارشناسی ارشد مهندسی عمران) |
| سازمان نظام مهندسی ساختمان استان آذربایجان شرقی | مهدی‌زاده، کامران (کارشناسی ارشد مهندسی عمران) |

ویراستار:

| | |
|-----------------------------------|--|
| اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی | روا، افشین (کارشناسی ارشد مهندسی عمران) |
|-----------------------------------|--|

فهرست مندرجات

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ز | پیش‌گفتار |
| ۱ | ۱ هدف و دامنه کاربرد |
| ۱ | ۲ مراجع الزامی |
| ۲ | ۳ اصطلاحات و تعاریف |
| ۴ | ۴ اهمیت و کاربرد |
| ۴ | ۵ وسایل |
| ۶ | ۶ نمونه‌ها |
| ۷ | ۷ روش اجرا |
| ۸ | ۸ اندازه‌گیری نمونه‌ها پس از آزمون |
| ۸ | ۹ محاسبه |
| ۹ | ۱۰ گزارش |
| ۹ | ۱۱ دقت و اریبی |
| ۱۱ | پیوست الف (آگاهی دهنده) تغییرات اعمال شده در این استاندارد در مقایسه با استاندارد منبع |

پیش‌گفتار

استاندارد «بتن- مقاومت خمشی بتن (با استفاده از تیر ساده با بارگذاری در نقاط یک‌سوم)- روش آزمون» که نخستین بار در سال ۱۳۷۰ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تأیید کمیسیون‌های مربوط برای سومین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در هشتصد و هفتاد و سومین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآوردهای ساختمانی مورخ ۹۸/۱۲/۳ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

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

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شماره ۴۹۰: سال ۱۳۹۳ می‌شود.

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

ASTM C78/C78M: 2018, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)

بتن - مقاومت خمشی بتن (با استفاده از تیر ساده با بارگذاری در نقاط یک سوم) - 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 عهده کاربر این استاندارد است.

۱ هدف و دامنه کاربرد^۱

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد، تعیین مقاومت خمشی بتن با استفاده از تیر ساده با بارگذاری در نقاط یک سوم است.

۲ مراجع الزامی

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

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

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ASTM C31/C31M, Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۳۲۰۵: ۱۳۹۵، بتن - ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها در کارگاه - آیین کار، با استفاده از استاندارد ASTM C31/C31M: 2015a تدوین شده است.

2-2 ASTM C42/C42M, Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۰۶: ۱۳۸۸، بتن - تهیه و آزمون نمونه‌های مغزه‌گیری شده و تیرهای اره شده بتنی - روش آزمون، با استفاده از استاندارد ASTM C42/C42M-04: 2008 تدوین شده است.

2-3 ASTM C125, Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates

2-4 ASTM C192/C192M, Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

۱- توضیحات تکمیلی در خصوص دامنه کاربرد این استاندارد، در بند اهمیت و کاربرد (به بند ۴ مراجعه شود) ارائه شده است.

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۵۸۱: ۱۳۹۳، بتن - ساخت و عمل‌آوری آزمون‌های بتن در آزمایشگاه - آیین‌کار، با استفاده از استاندارد ASTM C192/C192M: 2014 تدوین شده است.

2-5 ASTM C293/C293M, Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۷۳۱: ۱۳۹۲، مقاومت خمشی بتن با استفاده از تیر ساده با بارگذاری نقطه‌ای در مرکز - روش آزمون، با استفاده از استاندارد ASTM C293/C293M: 2010 تدوین شده است.

2-6 ASTM C617/C617M, Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۵۸۴: ۱۳۹۰، بتن - کلاهک‌گذاری آزمون‌های استوانه‌ای - آیین‌کار، با استفاده از استاندارد ASTM C617/C617M: 2009 تدوین شده است.

2-7 ASTM C670, Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

2-8 ASTM C1077, Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation

2-9 ASTM E4, Practices for Force Verification of Testing Machines

2-10 ASTM E6, Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

۳ اصطلاحات و تعاریف

۱-۳ تعاریف

۱-۱-۳ در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استانداردهای ASTM C125 و ASTM E6 به کار می‌رود.

۲-۳ تعاریف مربوط به اصطلاحات ویژه این استاندارد

۱-۲-۳

مقاومت خمشی

flexural strength

حداکثر مقاومت آزمون‌های که در معرض آزمون خمش قرار گرفته است.

۱-۱-۲-۳ در این استاندارد، مقاومت خمشی به‌عنوان مدول گسیختگی گزارش می‌شود.

۲-۲-۳

وسایل آزمون خمش

flexural testing apparatus

تجهیزات مورد استفاده برای اعمال بار به آزمون تیری شکل که شامل بلوک‌های بارگذاری و تکیه‌گاهی است.

۳-۲-۳

بلوک بارگذاری

loading block

جزئی از دستگاه آزمون به شکل بخشی از استوانه که برای اعمال بار به آزمون تیری شکل به کار می‌رود.

۴-۲-۳

مدول گسیختگی

modulus of rupture

تنشی که طی یک روش آزمون استاندارد با فرض رفتار الاستیک خطی در سطح کششی آزمون تیری شکل تحت حداکثر لنگر خمشی محاسبه می‌شود.

۵-۲-۳

طول دهانه

span length

فاصله میان خطوط تکیه‌گاه یا عکس‌العمل تکیه‌گاهی، برای آزمون تیری شکل است، که اندازه آن سه برابر ارتفاع اسمی تیر است.

۳-۲-۵-۱ برای مثال برای یک تیر با ارتفاع اسمی ۱۰۰ mm، طول دهانه برابر ۳۰۰ mm و برای تیری با ارتفاع اسمی ۱۵۰ mm، طول دهانه برابر ۴۵۰ mm است. برای تشریح بلوک عکس‌العمل به زیربند ۳-۲-۶-۱ مراجعه شود.

۶-۲-۳

بلوک تکیه‌گاهی

support block

جزئی از دستگاه آزمون به شکل بخشی از استوانه که برای ایجاد عکس‌العمل در برابر نیروی اعمال شده به آزمون تیری شکل به کار می‌رود.

۳-۲-۶-۱ در صورتی که دستگاه آزمون نیرویی به بالای آزمون تیر اعمال کند، این بلوک به عنوان تکیه‌گاه تیر عمل می‌کند و در صورتی که دستگاه آزمون نیرویی به پایین آزمون تیر اعمال کند، بلوک تکیه‌گاهی می‌تواند به عنوان بلوک عکس‌العمل در نظر گرفته شود، زیرا یک خط عکس‌العمل در بالای تیر ایجاد می‌کند و تکیه‌گاه محسوب نمی‌شود.

۷-۲-۳

دستگاه آزمون

testing machine

دستگاه مکانیکی که برای اعمال بار به آزمون به کار می‌رود.

۴ اهمیت و کاربرد

۴-۱ این استاندارد برای تعیین مقاومت خمشی آزمون‌هایی که مطابق با استانداردهای ASTM C42/C42M یا ASTM C31/C31M یا ASTM C192/C192M تهیه و عمل‌آوری می‌شوند، کاربرد دارد. نتایج، محاسبه شده و به‌عنوان مدول گسیختگی گزارش می‌شوند. برای آزمون با اندازه یکسان، مقاومت تعیین شده با اختلاف در آماده‌سازی آزمون، روش عمل‌آوری، شرایط رطوبتی در زمان انجام آزمون و بسته به این که تیر قالب‌گیری یا برای اندازه موردنظر برش داده شده، متغیر خواهد بود.

۴-۲ مدول گسیختگی اندازه‌گیری شده معمولاً با کاهش اندازه آزمون، افزایش می‌یابد.

۴-۳ نتایج این روش آزمون می‌تواند برای تعیین انطباق با ویژگی‌ها یا به‌عنوان مبنایی برای تعیین نسبت‌های اختلاط، ارزیابی یکنواختی مخلوط و کنترل عملیات بتن‌ریزی با استفاده از تیرهای برش داده شده، به‌کار رود. این نتایج اصولاً در آزمون بتن برای ساخت دال‌ها و روسازی‌ها کاربرد دارد.

۴-۴ برای آزمون‌های یکسان، مدول گسیختگی به‌دست آمده طبق این روش آزمون به‌طور متوسط کم‌تر از مدول گسیختگی تعیین شده طبق استاندارد ASTM C192/C192M، خواهد بود.

۵ وسایل

۵-۱ دستگاه‌های آزمون دست‌کار (دستی) با پمپ‌هایی که قادر به اعمال بار پیوسته در یک مرحله بارگذاری نیستند، مجاز نمی‌باشند. پمپ‌های موتوری یا پمپ‌های دستی با جابجایی مثبت در صورت داشتن فضای کافی به‌طوری که در یک مرحله بارگذاری پیوسته تا اتمام آزمون نیازی به تجدید بارگذاری نباشد، مجاز هستند و باید قادر به اعمال بارهایی با سرعت یکنواخت بدون شوک یا انقطاع باشند. دستگاه آزمون باید مجهز به وسایلی برای ثبت یا ذخیره مقدار بار بیشینه اعمال شده به آزمون در مدت انجام آزمون با درستی ۱٪ باشد.

۵-۱-۱ تصدیق

۵-۱-۱-۱ دستگاه آزمون باید مطابق با الزامات بخش‌های مربوط به مبنای تصدیق، اصلاحات و فاصله زمانی بین تصدیق‌ها در استاندارد ASTM E4، باشد.

۵-۱-۱-۲ درستی دستگاه آزمون مطابق با استاندارد ASTM E4 تایید شود، با این تفاوت که گستره بارگذاری تایید شده باید مطابق گستره مورد نیاز برای آزمون خمش باشد. تصدیق در موارد زیر ضروری است:

۱- در مدت ۱۳ ماه پس از آخرین تصدیق؛

۲- پس از نصب اولیه؛

۳- پس از هر بار جابجایی؛

۴- پس از انجام تعمیرات یا تنظیماتی که بر عملکرد سامانه اعمال نیرو یا مقادیر نمایش داده شده توسط نشانگر بار تاثیر می‌گذارد، به‌جز موارد مربوط به تنظیمات صفر کردن که برای تصحیح وزن بلوک‌های بارگذاری یا تکیه‌گاهی یا آزمون یا هر دو انجام می‌شود؛ یا

۵- هر گاه در درستی نیروهای نمایش داده شده، شک شود.

۲-۵ وسیله آزمون خمش: برای تعیین مقاومت خمشی بتن باید از روش بارگذاری در نقاط یک‌سوم استفاده کرد. بلوک‌های بارگذاری و تکیه‌گاهی باید طوری طراحی شوند که نیروهای اعمال شده به تیر در راستای خطوط عمود بر سطوح جانبی تیر بوده و بدون خروج از مرکزیت اعمال شوند. طرحی از وسایل آزمون خمش در شکل ۱ نمایش داده شده است.

یادآوری ۱- وسایل آزمون خمش نشان داده شده در شکل ۱ ممکن است به‌صورت وارونه استفاده شود. در این حالت، بلوک‌های بارگذاری در قسمت پایینی تیر قرار خواهد گرفت، در حالی که بلوک‌های عکس‌العمل در قسمت بالایی تیر قرار دارند.

۱-۲-۵ وسایل آزمون خمش بتن باید قادر به حفظ طول دهانه و فاصله بین خطوط بارگذاری در گستره $\pm 1 \text{ mm}$ مقادیر مشخص شده باشند.

۲-۲-۵ نسبت فاصله افقی میان خط اعمال نیرو و خط نزدیک‌ترین عکس‌العمل به ارتفاع تیر باید برابر 0.03 ± 1.0 باشد.

۳-۲-۵ ارتفاع بلوک‌های بارگذاری و تکیه‌گاهی نباید بیش از ۶۵ mm باشد، که از مرکز یا محور گوی یا میله فولادی اندازه‌گیری می‌شود و باید در سرتاسر عرض کامل آزمون یا فراتر از آن ادامه داشته باشد. در هر حالت، سطح بلوک در تماس با آزمون نباید بیش از ۰٫۰۵ mm انحراف از تختی داشته باشد و باید بخشی از استوانه بوده و محور آن موازی محور میله یا مرکز گویی باشد که هر یک از بلوک‌ها روی آن می‌چرخد. زاویه مقابل با سطح منحنی هر بلوک حداقل باید 0.80 rad (45°) باشد.

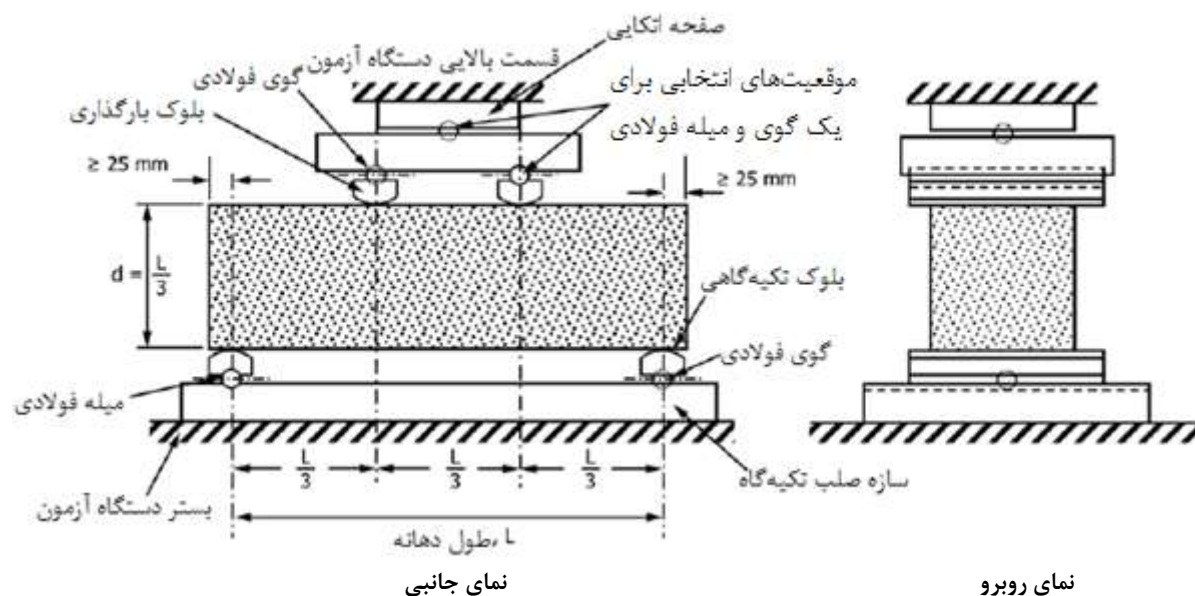
۴-۲-۵ سطوح تماس فلز با فلز مانند سطوح مقعر داخلی و گوی‌ها و میله‌های فولادی بلوک‌های بارگذاری و تکیه‌گاهی (به شکل ۱ مراجعه شود) را حداقل هر شش ماه یا همان‌طوری که سازنده وسایل آزمون خمش مشخص کرده است، تمیز و روان‌کاری کنید. روغن روان‌سازنده باید از نوع روغن نفتی مانند روغن موتور معمولی یا طبق مشخصات سازنده وسایل آزمون باشد.

۵-۲-۵ بلوک‌های تکیه‌گاهی باید به‌طور آزاد قابل چرخش باشند.

۶-۲-۵ بلوک‌های بارگذاری و تکیه‌گاهی باید در یک موقعیت عمودی و در تماس با میله یا گوی حفظ شوند، به‌طوری که بلوک‌ها توسط پیچ‌های فنی در تماس با میله یا گوی نگه داشته می‌شوند. اگر دستگاه آزمون دارای یاتاقان با نشیمن‌کروی باشد، صفحه اتکایی بالایی و گوی مرکزی نمایش داده شده در شکل ۱ می‌تواند حذف شود، به‌شرط آن که از یک میله و گوی به‌عنوان مفصل برای بلوک‌های بارگذاری بالایی استفاده شود.

۶ آزمون‌ها

۱-۶ آزمون باید مطابق با تمامی الزامات استانداردهای ASTM C31/C31M یا ASTM C42/C42M یا ASTM C192/C192M که برای آزمون‌های تیری قابل کاربرد هستند، باشد و در هنگام آزمون، باید طول دهانه سه برابر ارتفاع آن با دقت ۲٪ باشد. سطوح جانبی آزمون باید دارای زوایای قائمه با سطوح بالا و پایین باشد. تمامی سطوح باید صاف و عاری از شکاف‌ها، فرورفتگی‌ها، حفره‌ها یا علامت‌های شناسایی حک شده، باشند.



شکل ۱- طرح شماتیک برای وسایل آزمون خمش به روش بارگذاری در نقاط یک‌سوم

۲-۶ در صورتی که کوچک‌ترین بعد سطح مقطع آزمون تیری حداقل سه برابر حداکثر اندازه اسمی سنگدانه درشت باشد، مدول گسیختگی را می‌توان با استفاده از اندازه‌های مختلف آزمون تعیین کرد. در هر حال، مدول گسیختگی اندازه‌گیری شده معمولاً با کاهش اندازه آزمون، افزایش می‌یابد (یادآوری ۲).

یادآوری ۲- نسبت مقاومت برای اندازه‌های متفاوت تیرها عمدتاً به حداکثر اندازه سنگدانه بستگی دارد. داده‌های تجربی به دست آمده از دو مطالعه مختلف نشان دادند که برای حداکثر اندازه سنگدانه مابین ۱۹ mm و ۲۵ mm، نسبت میان مدول گسیختگی تعیین شده با آزمون 150×150 mm و آزمون 100×100 mm می‌تواند از ۰٫۹۰ تا ۱٫۰۷ متفاوت باشد و برای حداکثر اندازه سنگدانه مابین ۹٫۵ mm و ۳۷٫۵ mm، نسبت میان مدول گسیختگی تعیین شده با آزمون 150×150 mm و آزمون 115×115 mm می‌تواند از ۰٫۸۶ تا ۱٫۰۰ متفاوت باشد.

۳-۶ فرد مشخص‌کننده آزمون‌ها باید اندازه آزمون و تعداد آزمون‌های مورد آزمون برای دستیابی به یک میانگین از نتایج آزمون را تعیین کند. برای آزمون تایید و پذیرش باید از آزمون با اندازه یکسان استفاده شود.

- 1- Scars
- 2- Indentations

۷ روش اجرا

۷-۱ آزمونه‌های عمل‌آوری شده با رطوبت باید در فاصله زمانی مابین برداشتن آن‌ها از محفظه رطوبت تا انجام آزمون، مرطوب نگه داشته شوند.

یادآوری ۳- خشک شدن سطح آزمونه منجر به کاهش مقاومت خمشی اندازه‌گیری شده، می‌شود.

یادآوری ۴- روش‌های مرطوب نگه داشتن آزمونه شامل دورپیچی با پارچه یا حصیر مرطوب و نگهداری آزمونه‌ها در زیر آب آهک در ظرفی در نزدیکی دستگاه آزمون خمش تا زمان انجام آزمون است.

۷-۲ برای آزمونه‌های قالب‌گیری شده، آزمونه را با توجه به موقعیت آن در زمان قالب‌گیری روی طرف جانبی آن بچرخانید و به طور مرکزی روی بلوک‌های تکیه‌گاهی قرار دهید. هنگام استفاده از آزمونه‌های برش داده شده، موقعیت آزمونه طوری باشد که وجهی که عملاً در قطعه اصلی دچار کشش می‌شود، در آزمون نیز تحت کشش قرار گیرد. محل بلوک‌های بارگذاری مربوط به اعمال نیرو را تنظیم کنید. بلوک‌های بارگذاری را در تماس با سطح آزمونه در نقاط یک‌سوم قرار داده و نیرویی در حدود ۳٪ (۳ تا ۶) بار نهایی تخمین زده شده، اعمال کنید. با استفاده از سنج‌های فیلر نوع صفحه‌ای^۱ ۰/۱۰ mm و ۰/۴۰ mm، هر نوع فاصله بین آزمونه و بلوک‌های بارگذاری یا تکیه‌گاهی که بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از هر سنج می‌باشند را روی طولی به اندازه ۲۵ mm یا بیشتر، تعیین کنید. برای حذف هر نوع فاصله بزرگ‌تر از ۰/۱۰ mm در راستای عرض آزمونه از سایش، کلاهدک‌گذاری^۲ یا فاصله‌گیرهای چرمی^۳ روی سطح تماس آزمونه استفاده کنید. فاصله‌گیرهای چرمی باید دارای ضخامت یکنواخت ۶ mm و عرض (۲۵ تا ۵۰) mm باشند و باید در سراسر عرض کامل آزمونه، ادامه داشته باشند. فاصله‌های بزرگ‌تر از ۰/۴۰ mm، صرفاً باید از طریق کلاهدک‌گذاری یا سایش حذف شوند. از آنجا که سایش ممکن است مشخصات فیزیکی آزمونه‌ها را تغییر دهد، سایش سطوح جانبی باید به حداقل رسانده شود. کلاهدک‌گذاری باید مطابق با استاندارد ASTM C617، انجام شود.

۷-۳ آزمونه را به‌طور پیوسته و بدون اعمال شوک، بارگذاری کنید. بارگذاری باید با یک سرعت ثابتی تا نقطه شکست اعمال شود، به‌طوری که حداکثر تنش روی وجه کششی با سرعت ثابتی در حدود ۰/۹ تا ۱/۲) MPa/min افزایش یابد تا گسیختگی رخ دهد. سرعت بارگذاری با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$r = \frac{Sbd^2}{L} \quad (1)$$

که در آن:

r سرعت بارگذاری، بر حسب N/min؛

1- Leaf-type
2- Cap
3- Leather Shims

- S سرعت افزایش حداکثر تنش روی وجه کششی، بر حسب MPa/min؛
 b عرض متوسط آزمون در زمان تنظیم برای انجام آزمون، بر حسب mm؛
 d ارتفاع متوسط آزمون در زمان تنظیم برای انجام آزمون، بر حسب mm؛ و
 L طول دهانه، بر حسب mm.

۸ اندازه‌گیری آزمون‌ها پس از آزمون

۸-۱ ابعاد مقطع آزمون را به‌منظور محاسبه مدول گسیختگی، تعیین کنید. پس از انجام آزمون، اندازه‌گیری‌ها را در مقطع یکی از سطوح شکسته شده، برداشت کنید. عرض و ارتفاع آزمون با توجه به جهت قرارگرفتن آزمون برای آزمون اندازه‌گیری می‌شود. برای هر بعد آزمون، یک اندازه‌گیری در هر لبه و مرکز سطح مقطع، ثبت کنید. برای تعیین متوسط عرض و ارتفاع آزمون از سه اندازه‌گیری برای هر راستا استفاده کنید. تمام اندازه‌گیری‌ها را با تقریب 1 mm برداشت کنید. در صورتی که در یک مقطع کلاهدک‌گذاری شده، شکستگی رخ دهد، ضخامت کلاهدک را در اندازه‌گیری وارد کنید.

۹ محاسبه

۹-۱ در صورتی که شکستگی در سطح کششی در فاصله یک‌سوم میانی طول دهانه رخ دهد، مدول گسیختگی را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (2)$$

که در آن:

- R مدول گسیختگی، بر حسب MPa؛
 P حداکثر بار اعمال شده که توسط دستگاه آزمون نشان داده می‌شود، بر حسب N؛
 L طول دهانه، بر حسب mm؛
 b متوسط عرض آزمون در محل شکست، بر حسب mm؛ و
 d متوسط ارتفاع آزمون در محل شکست، بر حسب mm.

یادآوری ۵- وزن تیر در محاسبات بالا، وارد نشده است.

۹-۲ در صورتی که شکستگی در سطح کششی در فاصله بیرون از یک‌سوم میانی طول دهانه رخ دهد، به‌طوری که از ۵٪ طول دهانه بیشتر نباشد، مدول گسیختگی را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (۳)$$

که در آن:

a میانگین فاصله میان خط شکستگی و نزدیکترین تکیه‌گاه که روی سطح کششی تیر اندازه‌گیری می‌شود، بر حسب mm.

یادآوری ۶- وزن تیر در محاسبات بالا، وارد نشده است.

۳-۹ در صورتی که شکستگی در سطح کششی در فاصله بیرون از یک‌سوم میانی طول دهانه رخ دهد، به‌طوری که از ۵٪ طول دهانه بیشتر باشد، نتیجه آزمون را حذف کنید.

۱۰ گزارش

۱-۱۰ اطلاعات زیر را گزارش کنید:

۱-۱-۱۰ شماره شناسایی؛

۲-۱-۱۰ متوسط عرض آزمون با تقریب ۱ mm؛

۳-۱-۱۰ متوسط ارتفاع آزمون با تقریب ۱ mm؛

۴-۱-۱۰ طول دهانه بر حسب mm؛

۵-۱-۱۰ حداکثر بار اعمال شده بر حسب N؛

۶-۱-۱۰ مدول گسیختگی محاسبه شده با تقریب ۰٫۰۵ MPa؛

۷-۱-۱۰ سوابق عمل‌آوری و شرایط رطوبت‌ظاهری آزمون‌ها در زمان آزمون؛

۸-۱-۱۰ آیا آزمون‌ها کلاهک‌گذاری یا ساییده شده و یا از فاصله‌گیرهای چرمی استفاده شده است؛

۹-۱-۱۰ آیا آزمون‌ها برش داده شده یا قالب‌گیری شده و عیوب آنها؛ و

۱۰-۱-۱۰ سن آزمون‌ها.

۱۱ دقت و اریبی^۱

۱-۱۱ دقت

۱-۱-۱۱ دقت یک کاربر: انحراف معیار یک کاربر برای اندازه‌گیری‌های آزمون، ۰٫۲۵ MPa تشخیص داده شده است، که مستقل از اندازه‌های تیر مورد استفاده در مطالعه بین‌آزمایشگاهی است (یادآوری ۷). بنابراین،

1- Bias

مدول گسیختگی دو آزمون که به درستی توسط یک کاربر روی آزمون‌های ساخته شده از یک مخلوط بتن با ابعاد یکسان (تیرهایی با عمق ۱۰۰ mm یا ۱۵۰ mm) انجام می‌شود، انتظار نمی‌رود بیش از ۰٫۷۲ MPa متفاوت از یکدیگر باشند.

۱۱-۱-۲ دقت چند آزمایشگاهی: ضریب تغییرات چند آزمایشگاه برای اندازه‌گیری‌های آزمون مطابق ستون سوم جدول ۱ تعیین شده است. ضریب تغییرات برای هر دو اندازه آزمون مورد استفاده در مطالعه بین آزمایشگاهی برای مدول گسیختگی مابین ۴٫۲ MPa و ۵٫۵ MPa، یکسان تشخیص داده شد. برای تیرهایی با عمق ۱۰۰ mm و برای مدول گسیختگی نزدیک ۶٫۹ MPa، یک مقدار بالاتری برای ضریب تغییر چند آزمایشگاه مشاهده شد. بنابراین، مدول گسیختگی به دست آمده از دو آزمون که به درستی توسط دو آزمایشگاه مختلف روی آزمون‌های ساخته شده از یک مخلوط بتن با ابعاد یکسان انجام می‌شود، انتظار نمی‌رود بیش از مقادیر ارائه شده در ستون چهارم جدول ۱، متفاوت از یکدیگر باشند. تفاوت قابل قبول بین دو اندازه‌گیری آزمون، برحسب درصدی از میانگین آن‌ها بیان می‌شود.

جدول ۱- دقت چند آزمایشگاهی

| ارتفاع تیر mm | مدول گسیختگی MPa | ضریب تغییر % | تفاوت قابل قبول بین دو اندازه‌گیری آزمون (درصدی از میانگین آن‌ها) ^a |
|------------------|---------------------|-----------------|---|
| ۱۰۰ | ۴٫۱ تا ۵٫۵ | ۶٫۱ | ۱۷٫۱ |
| ۱۰۰ | ۶٫۹ | ۱۱٫۴ | ۳۱٫۸ |
| ۱۵۰ | ۴٫۱ تا ۶٫۹ | ۶٫۹ | ۱۹٫۳ |

^a این اعداد بیانگر حدود مختلف (d2s%) طبق استاندارد ASTM C670 است.

یادآوری ۷- دقت این روش آزمون از روی یک مطالعه بین آزمایشگاهی که در سال ۲۰۱۶ انجام شده است، تعیین شده است. این مطالعه شامل سه مخلوط بتن با مقادیر مدول گسیختگی ۴٫۱ MPa، ۵٫۵ MPa و ۶٫۹ MPa بوده که از دو اندازه تیر با ابعاد mm (۳۵۵ × ۱۰۰ × ۱۰۰) و mm (۵۵۳ × ۱۵۰ × ۱۵۰) استفاده شد. برای هر ترکیبی از اندازه آزمون و مخلوط بتن، سه اندازه‌گیری انجام شد. تعداد آزمایشگاه‌های مورد استفاده برای تعیین دقت با توجه به مخلوط بتن و اندازه تیر از ۱۰ تا ۱۷ آزمایشگاه متغیر بودند.

یادآوری ۸- نتایج برای هر وضعیت آزمون (اندازه آزمون و مقاومت بتن) شامل داده‌های به دست آمده از ۳ تا ۵ آزمایشگاه بوده، که از دستگاه‌های آزمون راه‌اندازی شده با دست که دارای نمودارهای کاغذی برای خوانش نیروی نهایی است، استفاده کردند. این دستگاه‌ها برای تیرهایی با عمق ۱۰۰ mm، تغییرپذیری بالاتری برای کاربر واحد در مخلوط‌هایی با مقاومت بین MPa (۴٫۱ تا ۵٫۵)، هم‌چنین تغییرپذیری چند آزمایشگاهی بالاتری در تمام مخلوط‌ها به دست دادند. این دستگاه‌ها برای تیرهایی با عمق ۱۵۰ mm، تغییرپذیری بالاتری را فقط برای مخلوط با مقاومت خمشی تقریبی ۶٫۹ MPa به دست دادند.

۱۱-۲ اریبی

از آن جا که هیچ استاندارد پذیرفته شده‌ای برای تعیین اریبی این روش آزمون، وجود ندارد، هیچ توضیحی در مورد اریبی داده نشده است.

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

تغییرات اعمال شده در این استاندارد در مقایسه با استاندارد منبع

الف-۱ کلیات

برای کاربرد این استاندارد در داخل کشور، تغییراتی در مقایسه با استاندارد منبع، به شرح زیر اعمال شده است:

الف-۲ بخش‌های حذف شده

- در بند هدف و دامنه کاربرد، زیربند ۱-۲ استاندارد منبع حذف شده است.
- در بند هدف و دامنه کاربرد، زیربند ۱-۴ استاندارد منبع حذف شده است.
- بند ۱۲ استاندارد منبع (کلمات کلیدی) حذف شده است.

الف-۳ بخش‌های جایگزین شده

- در بند هدف و دامنه کاربرد، زیربند ۱-۳ استاندارد منبع با عنوان هشدار به ابتدای متن استاندارد انتقال داده شده است.