



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran  
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران  
۱۴۷۶۱-۱  
تجدید نظر اول  
۱۳۹۶

INSO  
14761-1  
1st. Revision  
2018

Identical with ISO  
10406-1: 2015

پلیمر مسلح شده با الیاف (FRP) برای تسلیح  
بتن - قسمت ۱: میله ها و شبکه های FRP -  
روش های آزمون

Fibre-reinforced polymer (FRP) for  
reinforcement of concrete- Test methods-  
Part 1: FRP bars and grids



دارای محتوای رنگی

ICS:91.100.30; 83.120

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۷۶۱ (تجدید نظر اول): سال ۱۳۹۶

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ و ۸۸۸۸۷۰۸۰

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: [standard@isiri.gov.ir](mailto: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](mailto: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)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاها 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

### «پلمیر مسلح شده با الیاف (FRP) برای تسلیح بتن - قسمت ۱: میله‌ها و شبکه‌های FRP - روش آزمون»

#### رئیس:

رسولان، ایرج  
عضو هیات علمی - دانشگاه شهید چمران اهواز  
(دکتری مهندسی عمران - سازه)

#### دبیر:

کیوان‌راد، امین  
مدیرعامل - شرکت زرگستر روبینا  
(کارشناسی مهندسی عمران)

#### اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اندامی، محمدحسین  
مهندس ناظر - شرکت مهندسی مشاور فرادید  
(کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه)

بختیاری‌نژاد، امید  
مدیر عامل - شرکت پارس اروند آسیا  
(دکتری مهندسی عمران - آب)

بهروزی، فاطمه  
مدرس - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز  
(دکتری مهندسی عمران - آب)

بهزادی، علی‌اصغر  
کارشناس طراحی عمرانی - سازمان آب و برق استان خوزستان  
(کارشناسی مهندسی عمران)

خزائیل، رضا  
مدیرعامل - آزمایشگاه مکانیک خاک و بتن انطباق‌گران  
(کارشناسی مهندسی عمران)

زرگر، مینا  
مدیر کنترل کیفیت - شرکت تولیدی شلنگ و لوله خوزستان  
(کارشناسی شیمی کاربردی)

سید شرفی، سید هادی  
کارشناس - سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان خوزستان  
(کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه)

فاتحی، محمدرضا  
کارشناس تدوین - اداره کل استاندارد استان خوزستان  
(کارشناسی مهندسی مکانیک)

**اعضا:** (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

کیوان‌راد، ایمان

(کارشناسی ارشد مهندسی مواد- جوش)

منتظر حجت، سجاد

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه)

**سمت و / یا محل اشتغال:**

عضو مستقل

کارشناس- شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب

**ویراستار:**

طیبیان، محمدرضا

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه)

اداره کل استاندارد استان سمنان

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ز	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات، تعاریف و نمادها
۱۰	۴ ضوابط کلی آزمونها
۱۱	۵ روش آزمون خواص مقطع عرضی
۱۳	۶ روش آزمون خواص کششی
۲۰	۷ روش آزمون استحکام پیوندی به‌وسیله آزمون بیرون کشیدگی
۲۶	۸ روش آزمون عملکرد مهارها
۳۰	۹ روش آزمون آسودگی درازمدت
۳۳	۱۰ روش آزمون خستگی کششی
۳۷	۱۱ روش آزمون مقاومت قلیایی
۴۱	۱۲ روش آزمون برای شکست خزشی
۴۴	۱۳ روش آزمون استحکام برش عرضی
۴۸	۱۴ روش آزمون خواص کششی خمشی
۵۲	۱۵ روش آزمون ضریب انبساط حرارتی طولی با تحلیل مکانیکی - حرارتی

## پیش‌گفتار

استاندارد «پلیمر مسلح‌شده با الیاف (FRP) برای تسلیح بتن - قسمت ۱: میله‌ها و شبکه‌های FRP - روش آزمون» که نخستین بار در سال ۱۳۹۰ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تأیید کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی / منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ برای اولین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در هفتصد و هفتاد و چهارمین اجلاس کمیته ملی استاندارد ساختمان، مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۹۶/۱۲/۱۹ 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 ۱-۱۴۷۶۱: سال ۱۳۹۰ می‌شود.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

ISO 10406-1: 2015, Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete- Test methods- Part 1: FRP bars and grids

## پلیمر مسلح شده با الیاف (FRP) برای تسلیح بتن - قسمت ۱: میله‌ها و شبکه‌های FRP - روش‌های آزمون

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه روش‌های آزمون کاربردی برای میله‌ها و شبکه‌های پلیمری مسلح شده با الیاف به‌عنوان تسلیح‌کننده‌ها یا تاندون‌های پیش‌تنیدگی<sup>۱</sup> در بتن است.

### ۲ مراجع الزامی<sup>۲</sup>

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 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 مرجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۱۷: سال ۱۳۸۷، پلاستیک‌ها- شرایط محیطی استاندارد برای رسیدن به شرایط تثبیت و آزمون.

2-2 ISO 3611, Geometrical product specifications (GPS)- Dimensional measuring equipment: Micrometers for external measurements- Design and metrological characteristics

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۰۵۷: سال ۱۳۹۳، ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS)- تجهیزات اندازه‌گیری ابعادی: ریزسنج‌های برون‌سنج- طراحی و مشخصه‌های اندازه‌شناختی با استفاده از استاندارد ISO 3611: 2010 تدوین شده است.

2-3 ISO 4788, Laboratory glassware- Gratuated measuring cylinders

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۷۲۵۸: سال ۱۳۹۳، ظرف‌های شیشه‌ای آزمایشگاهی- استوانه‌های مدرج با استفاده از استاندارد ISO 4788: 2005 تدوین شده است.

2-4 ISO 7500-1, Metallic materials- Verification of staticuniaxial testing machines- Part 1: Tension/compression testing machine- Verification and calibration of the force-measuring system

---

1- Pre-stressing tendones

2- Normative references



یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱-۸۷۶۷: سال ۱۳۹۵، مواد فلزی- کالیبراسیون و تصدیق دستگاه‌های آزمون تک‌محوری ایستا- قسمت ۱: دستگاه‌های آزمون کشش / فشار- کالیبراسیون و تصدیق سامانه اندازه‌گیری نیرو با استفاده از استاندارد ISO 7500-1: 2001 تدوین شده است.

## 2-5 ISO 13385-1, Geometrical product specifications (GPS)- Dimensional measuring equipment- Part1: Callipers; Design and metrological characteristics

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۷۶۱: سال ۱۳۹۰ ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS)- تجهیزات اندازه‌گیری ابعادی- قسمت ۱: طراحی و مشخصه‌های اندازه‌شناختی کولیس‌ها با استفاده از استاندارد ISO 13385-1: 2011 تدوین شده است.

### ۳ اصطلاحات و تعاریف و نمادها

#### ۱-۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

##### ۱-۱-۳

#### خاصیت قلیایی

##### alkalinity

به شرایط دارا یا حاوی یون‌های هیدروکسیل (OH) بودن (حاوی مواد قلیایی بودن) گفته می‌شود.

یادآوری - در بتن، محیط قلیایی اولیه دارای pH بالاتر از ۱۳ می‌باشد.

##### ۲-۱-۳

#### تسلیح مهار

##### anchorage reinforcement

فولاد مسلح‌کننده مشبک یا مارپیچی یا FRP متصل به مهار و اجزای قرار گرفته به صورت مرتب در پشت آن می‌باشد.

##### ۳-۱-۳

#### بخش مهاری

##### anchoring section

قسمت انتهایی آزمون که مهار در آن جا، به منظور انتقال بارها از دستگاه آزمون به بخش آزمون قرار می‌گیرد.

##### ۴-۱-۳

#### بار میانگین

##### average load

«تنش» میانگین بیشینه و کمینه بار (تنش) تکراری می‌باشد.

۵-۱-۳

زاویه خمشی

**bending angle**

زاویه ایجادشده توسط قسمت‌های مستقیم آزمونه، روی هر دو طرف خم کن می‌باشد.

۶-۱-۳

نسبت قطر خمشی

**bending diameter ratio**

نسبت قطر بیرونی سطح خم کن در تماس با میله FRP و قطر اسمی میله FRP می‌باشد.

۷-۱-۳

ظرفیت کششی خمشی

**bending tensile capacity**

به بار کششی در لحظه شکست آزمونه، گفته می‌شود.

۸-۱-۳

ضریب انبساط حرارتی

**coefficient of thermal expansion**

میانگین ضریب انبساط حرارتی خطی بین دماهای ارائه شده می‌باشد.  
یادآوری - میانگین دماهای ارائه شده به‌عنوان دمای نماینده در نظر گرفته می‌شود.

۹-۱-۳

الیاف پیوسته

**continuous fibre**

اصطلاح کلی برای الیاف پیوسته از قبیل کربن، آرامید و شیشه می‌باشد.

۱۰-۱-۳

متصل کننده

**coupler**

وسیله متصل کننده تاندون‌ها می‌باشد.

۱۱-۱-۳

### ظرفیت شکست خزشی

#### creep failure capacity

به بار ایجاد کننده شکست، پس از یک دوره زمانی معین از آغاز بار مداوم<sup>۱</sup> گفته می‌شود. یادآوری - به‌عنوان مثال، بار ایجاد کننده شکست پس از یک میلیون ساعت، به‌عنوان ظرفیت شکست خزشی میلیون ساعتی نامیده می‌شود.

۱۲-۱-۳

### استحکام شکست خزشی

#### creep failure strength

به تنش ایجاد کننده شکست پس از یک دوره زمانی معین از آغاز بار مداوم گفته می‌شود. یادآوری - به‌عنوان مثال، بار ایجاد کننده شکست پس از یک میلیون ساعت به‌عنوان استحکام شکست خزشی میلیون ساعتی است.

۱۳-۱-۳

### زمان شکست خزش

#### creep failure time

زمان بین آغاز بار مداوم و شکست آزمونه است.

۱۴-۱-۳

### شکست خزشی

#### creep failure

شکست ناشی از خزش در آزمونه به‌دلیل بار مداوم می‌باشد.

۱۵-۱-۳

### کرنش خزشی

#### creep strain

تغییر دیفرانسیلی در طول، به ازای واحد طول به‌دلیل خزش در آزمونه می‌باشد.

۱۶-۱-۳

### خزش

#### creep

تغییر شکل وابسته به زمان یک میله FRP قرار گرفته در معرض بار مداوم در دمای ثابت می‌باشد.

---

1- Sustained

۱۷-۱-۳

بخش خم شده

**deflected section**

بخش خم شده میله FRP که در زاویه خمشی و نسبت قطری خمشی موردنیاز حفظ شده، می باشد.

۱۸-۱-۳

خم کن

**deflector**

وسیله مورد استفاده برای حفظ موقعیت، تغییر زاویه خمشی یا کاهش تمرکز تنش در میله FRP است که گاهی اوقات در بخش خم شده نصب می شود.

۱۹-۱-۳

استحکام خستگی

**fatigue strength**

بیشینه تنش تکراری که در آن آزمون در تعداد چرخه های توصیف شده، دچار گسیختگی نشود.

۲۰-۱-۳

پلیمر مسلح شده با الیاف

**fibre-reinforced polymer (FRP)**

ماده کامپوزیت<sup>۱</sup>، قالب گیری و سخت شده به شکل موردنظر، شامل الیاف های پیوسته آغشته با پلیمر پیوند دهنده الیاف می باشد.

۲۱-۱-۳

فرکانس

**frequency**

تعداد چرخه های بارگذاری (تنش دهی) در ۱ s طی آزمون می باشد.

۲۲-۱-۳

میله FRP

**FRP bar**

ماده کامپوزیتی با شکل ساختاری بلند و ظریف، مناسب برای استفاده به عنوان تسلیح کننده بتن و عمدتاً متشکل از الیاف تک جهت طولی که با ماده رزین پلیمری صلب، شکل و پیوند داده می شود.

۲۳-۱-۳

طول سنجه

**gauge length**

قسمت مستقیمی در امتداد طول آزمون که برای اندازه‌گیری ازدیاد طول<sup>۱</sup>، با استفاده از کشش سنج یا وسیله مشابه به کار می‌رود.

۲۴-۱-۳

شبکه

**grid**

آرایش صلب دوبعدی (مسطح) یا سه بعدی (فضایی) میله‌های FRP که از داخل به هم متصل‌اند، شبکه‌بندی پیوسته‌ای را شکل می‌دهد که می‌تواند برای تسلیح بتن به کار رود.

۲۵-۱-۳

دامنه بار

دامنه بار (تنش)

**load amplitude**

**load (stress) amplitude**

نصف گستره بار (تنش) است.

۲۶-۱-۳

گستره بار (تنش)

**load (stress) range**

اختلاف بین بیشینه و کمینه بار (تنش) تکراری می‌باشد.

۲۷-۱-۳

بیشینه بار (تنش) تکراری

**maximum repeated load (stress)**

بیشینه بار (تنش) طی بارگذاری تکراری می‌باشد.

۲۸-۱-۳

بیشینه نیروی کششی

**maximum tensile force**

بیشینه بار کششی تحمل شده توسط آزمون کشش می‌باشد.

۲۹-۱-۳

کمینه بار (تنش) تکراری

**minimum repeated load (stress)**

کمینه بار (تنش) طی بارگذاری تکراری می‌باشد.

۳۰-۱-۳

مساحت مقطع عرضی اسمی

**nominal cross-sectional area**

عدد حاصل از تقسیم حجم آزمون FRP بر طول آن می‌باشد.

۳۱-۱-۳

قطر اسمی

**nominal diameter**

قطر FRP محاسبه شده برای مقطع دایره‌ای فرضی می‌باشد.

۳۲-۱-۳

طول محیطی اسمی

**nominal peripheral length**

طول محیطی FRP که مبنای محاسبه مقاومت پیوندی است و باید به‌طور جداگانه برای هر FRP تعیین شود.

۳۳-۱-۳

تعداد چرخه‌ها

**number of cycles**

تعداد دفعات اعمال بار (تنش) تکراری بر آزمون است.

۳۴-۱-۳

آسودگی

آسودگی تنش

**relaxation**

**stress relaxation**

کاهش وابسته به زمان در بار FRP که در دمای ثابت نگه‌داشته شده با بار اولیه معین اعمال شده و در کرنش ثابت می‌باشد.

۳۵-۱-۳

### نرخ آسودگی

#### relaxation rate

کاهش درصد بار نسبت به بار اولیه پس از دوره زمانی داده شده، تحت کرنش ثابت است. یادآوری - به عنوان مثال، عدد آسودگی پس از یک میلیون ساعت (تقریباً ۱۱۴ سال) به عنوان نرخ آسودگی ۱۰۰ ساله تعریف می شود.

۳۶-۱-۳

### بار (تنش) تکراری

#### repeated load (stress)

تغییر چرخه‌ای بار (تنش) بین مقادیر بیشینه و کمینه می باشد.

۳۷-۱-۳

### نمودار S-N

#### S-N curve

منحنی ترسیم شده روی نمودار، که در آن تنش تکراری روی محور عمودی و تعداد چرخه‌های شکست خستگی روی محور افقی قرار گرفته است.

۳۸-۱-۳

### تاندون

#### FRP

#### tendon

#### FRP

ساختار بهم پیوسته شده توسط رزین که از الیاف پیوسته به شکل یک تاندون ساخته شده و برای تسلیح تک محوری<sup>۱</sup> بتن به کار می رود.

یادآوری - تاندون‌ها معمولاً در بتن پیش تنیده استفاده می شوند.

۳۹-۱-۳

### تحلیل حرارتی-مکانیکی

#### thermo-mechanical analysis

#### TMA

روشی برای اندازه‌گیری تغییر شکل ماده به عنوان تابع دما یا زمان، با تغییر دادن دمای ماده مطابق با برنامه کالیبره شده، در شرایط بار بدون ارتعاش است.

---

1- Uniaxially

۴۰-۱-۳

**TMA** منحنی

**TMA curve**

"TMA" نموداری است که در آن دما یا زمان روی محور افقی و تغییر شکل روی محور عمودی نشان داده می‌شود.

۴۱-۱-۳

**کرنش نهایی**

**ultimate strain**

کرنش متناظر با حداکثر نیروی کششی است.

۲-۳

**نمادها**

به جدول ۱ مراجعه شود.

**جدول ۱- نمادها**

مرجع	توصیف	واحد	نماد
زیربندهای ۳-۵، ۴-۶	مساحت مقطع عرضی اسمی آزمونه	mm <sup>2</sup>	<i>A</i>
زیربند ۳-۵	قطر اسمی	Mm	<i>D</i>
زیربند ۴-۶	مدول یانگ	N/mm <sup>2</sup>	<i>E</i>
زیربند ۴-۶	حداکثر نیروی کششی	N	<i>F<sub>u</sub></i>
زیربند ۴-۶	استحکام کششی	N/mm <sup>2</sup>	<i>f<sub>u</sub></i>
زیربند ۴-۶	کرنش نهایی	-	<i>ε<sub>u</sub></i>
زیربند ۴-۶	اختلاف بین بارها در % ۲۰ و % ۵۰ بیشینه نیروی کششی	N	<i>ΔF</i>
زیربند ۴-۶	اختلاف کرنش بین <i>ΔF</i>	-	<i>Δε</i>
زیربند ۴-۷	تنش پیوندی	N/mm <sup>2</sup>	<i>τ</i>
زیربند ۴-۷	بار کششی در آزمون بیرون کشیدگی <sup>۱</sup>	N	<i>P</i>
زیربند ۴-۷	طول محیطی اسمی آزمونه	Mm	<i>u</i>
زیربند ۴-۷	طول پیوند شده	mm	<i>l</i>
زیربند ۲-۵-۹	نرخ آسودگی	%	<i>Y</i>
زیربند ۲-۵-۹	زمان	H	<i>t</i>
زیربند ۲-۵-۹	ثابت تجربی	-	<i>k<sub>a</sub></i>
زیربند ۲-۵-۹	ثابت تجربی	-	<i>k<sub>b</sub></i>



مرجع	توصیف	واحد	نماد
	نسبت کاهش جرم	%	$R_{\Delta m}$
زیربند ۳-۵	حجم آب در سیلندر اندازه‌گیری	$\text{mm}^3$	$V_O$
زیربند ۳-۵	حجم مجموع کل آب و آزمون	$\text{mm}^3$	$V_S$
زیربند ۳-۵	طول آزمون	mm	$l_O$
زیربند ۴-۱۱	جرم قبل از غوطه‌وری	G	$m_0$
زیربند ۴-۱۱	طول قبل از غوطه‌وری	mm	$L_0$
زیربند ۴-۱۱	جرم بعد از غوطه‌وری	G	$m_1$
زیربند ۴-۱۱	طول بعد از غوطه‌وری	mm	$L_1$
زیربند ۲-۵-۱۱	نرخ حفظ <sup>۱</sup> ظرفیت کششی	%	$R_{et}$
زیربند ۲-۵-۱۱	ظرفیت کششی قبل از غوطه‌وری	N	$F_{u1}$
زیربند ۲-۵-۱۱	ظرفیت کششی بعد از غوطه‌وری	N	$F_{u0}$
زیربند ۳-۶-۱۲	نسبت بار خزشی	-	$R_{Yc}$
زیربند ۲-۵-۱۳	تنش برشی	$\text{N/mm}^2$	$\tau_s$
زیربند ۲-۵-۱۳	بار شکست برشی	N	$P_S$
زیربند ۱-۴-۱۵	ضریب انبساط حرارتی	$1/^\circ\text{C}$	$\alpha_{Sp}$
زیربند ۱-۴-۱۵	اختلاف طول آزمون بین دماهای $T_2$ و $T_1$	$\mu$	$\Delta L_{spm}$
زیربند ۱-۴-۱۵	اختلاف طول آزمون شاخص برای کالیبراسیون طول بین دماهای $T_2$ و $T_1$	$\mu$	$\Delta L_{refm}$
زیربند ۱-۴-۱۵	طول آزمون در دمای اتاق	M	$L_0$
زیربند ۱-۴-۱۵	بیشینه دما برای محاسبه ضریب انبساط حرارتی (معمولا $60^\circ\text{C}$ )	$^\circ\text{C}$	$T_2$
زیربند ۱-۴-۱۵	کمینه دما برای محاسبه ضریب انبساط حرارتی (معمولا $0^\circ\text{C}$ )	$^\circ\text{C}$	$T_1$
زیربند ۱-۴-۱۵	ضریب انبساط حرارتی محاسبه شده برای آزمون شاخص به منظور کالیبراسیون طول بین دماهای $T_2$ و $T_1$	$1/^\circ\text{C}$	$\alpha_{set}$

#### ۴ ضوابط کلی آزمون‌ها

آزمون باید از میله یا شبکه (به همان صورتی که تحویل داده شده است)<sup>۲</sup>، جز در مواردی که طور دیگری توافق شود، برداشته شود.

در مواردی که آزمون‌ها از یک کلاف پیچیده<sup>۳</sup> برداشته شوند، باید قبل از هرگونه آزمون با عملیات ساده خمش با کم‌ترین مقدار تغییر شکل خمیری<sup>۴</sup>، راست شوند.

- 
- 1- Retention
  - 2- Delivered condition
  - 3- Coil
  - 4- Plastic

برای تعیین خواص مکانیکی در آزمون‌های کششی، پیوند شده و مهاری، آزمون ممکن است بسته به الزامات عملکرد محصول، به‌طور ساختگی پیرسازی<sup>۱</sup> شود (پس از راست کردن، در صورت قابل اجرا بودن). وقتی آزمون پیر می‌شود، شرایط عملیات پیرسازی باید در گزارش آزمون بیان شود.

## ۵ روش آزمون خواص مقطع عرضی

### ۱-۵ آزمون‌ها

#### ۱-۱-۵ تهیه آزمون‌ها

آزمون‌ها باید به اندازه طول از پیش تعیین شده، از ماده مادر (FRP) برای آزمون کششی بریده شوند و انتهای بریده شده آن‌ها صاف و صیقلی شود.

#### ۲-۱-۵ طول آزمون‌ها

طول آزمون در صورتی که قطر اسمی تقریبی ۲۰ mm یا کم‌تر باشد باید ۱۰۰ mm باشد و زمانی که قطر تقریبی بالاتر از ۲۰ mm باشد، طول آزمون باید ۲۰۰ mm باشد.

#### ۳-۱-۵ تعداد آزمون‌ها

حداقل تعداد آزمون‌ها سه می‌باشد که از ماده مادر متعلق به یک بهر گرفته می‌شود.

#### ۲-۵ روش اجرای آزمون

روش اجرای آزمون به شرح زیر است:

الف- طول آزمون را با استفاده از کولیس ورنیه مطابق استاندارد ISO 13385-1 اندازه بگیرید. از هر نمونه سه بار و در سه جهت اندازه‌گیری را انجام دهید، مقادیر سه میانگین را تا یک رقم بعد از اعشار گرد کنید. این مقدار را به‌عنوان طول آزمون در نظر بگیرید.

ب- حجم آزمون را با استفاده از یک استوانه مدرج مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۵۸: سال ۱۳۹۳ اندازه‌گیری کنید که نوع 1a یا 1b (رده A یا رده B)، مطابق قطر تقریبی هر آزمون انتخاب می‌شود. جدول ۲ ارتباط بین قطر تقریبی آزمون و گنجایش استوانه مدرج را نشان می‌دهد. اگر دو گنجایش فهرست شده باشد، استوانه‌ای با گنجایش کوچک‌تر را برای آن گستره انتخاب کنید.

پ- مقدار مناسبی آب به استوانه مدرج افزوده و حجم را اندازه‌گیری کنید. زمانی که آزمون درون استوانه مدرج می‌باشد بهتر است آب آزمون را پوشانده و قسمت بالایی آب باید در گستره مقیاس قرار گیرد.

یادآوری- اگر روی سطح آزمون حباب‌های هوا ایجاد شود که می‌تواند باعث بروز خطای اندازه‌گیری شود، می‌توان برای کنترل ایجاد حباب‌های هوا، یک حلال کاهش‌دهنده کشش سطحی، مانند اتانول را به آب اضافه نمود.

ت- آزمون را درون استوانه مدرج قرار داده و حجم مجموع آب و آزمون را اندازه بگیرید.

ث- دمای آزمون باید در گستره  $15^{\circ}\text{C}$  تا  $25^{\circ}\text{C}$  باشد. گستره دمایی  $20^{\circ}\text{C}$  تا  $30^{\circ}\text{C}$  برای کشورهای گرمسیری، کاربرد دارد.

جدول ۲- ارتباط بین قطر تقریبی آزمون و گنجایش استوانه مدرج

گنجایش استوانه مدرج ml	قطر تقریبی آزمون mm
۱۰ یا ۲۰	کمتر از ۱۰
۲۵	۱۱ تا ۱۳
۵۰ یا ۱۰۰	۱۴ تا ۲۰
۱۰۰	۲۱ تا ۲۵
۳۰۰ یا ۵۰۰	بیشتر از ۲۵

۳-۵ محاسبات

مساحت مقطع عرضی اسمی،  $A$ ، آزمون را از رابطه ۱ محاسبه کرده و با دقت یک رقم پس از اعشار گرد کنید:

$$A = \frac{V_s - V_o}{l_o} \quad (1)$$

که در آن:

$V_s$  حجم مجموع کل آب و آزمون، بر حسب میلی‌متر مکعب؛

$V_o$  حجم آب در استوانه مدرج، بر حسب میلی‌متر مکعب؛

$l_o$  طول آزمون بر حسب میلی‌متر.

یادآوری- مساحت مقطع عرضی اسمی ذرات ماسه‌ای به سطح چسبیده، پوشش‌های عرضی پیوندشده با سطح و سایر محل‌هایی که تحمل بار را ندارند، را شامل می‌شود.

قطر اسمی،  $D$ ، را از رابطه ۲ محاسبه کرده و تا یک رقم اعشار گرد کنید:

$$D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2)$$

که در آن:

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۷۶۱ (تجدید نظر اول): سال ۱۳۹۶

A مساحت مقطع عرضی اسمی بر حسب میلی‌متر مربع است.

#### ۴-۵ گزارش آزمون

##### ۱-۴-۵ اطلاعات اجباری

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف- تاریخ انجام آزمون؛

ب- نام، شکل، تاریخ ساخت و شماره بهر FRP آزمون شده؛

پ- مساحت مقطع عرضی اسمی؛

ت- قطر اسمی.

##### ۲-۴-۵ اطلاعات تکمیلی

گزارش آزمون ممکن است شامل موارد تکمیلی زیر باشد:

الف- گنجایش استوانه مدرج به کار رفته در آزمون؛

ب- طول آزمون؛

پ- حجم آب در استوانه مدرج؛

ت- حجم مجموع کل آب و آزمون؛

ث- نام حلال، اگر در آزمون استفاده شود.

#### ۶ روش آزمون خواص کششی

##### ۱-۶ آزمون‌ها

##### ۱-۱-۶ تهیه آزمون‌ها

آزمون را به اندازه طول از پیش تعیین شده، مطابق زیربند ۶-۱-۲ به گونه‌ای برش دهید که تاثیری بر عملکرد قسمت مورد آزمون نداشته باشد. برای شبکه‌های FRP آزمون‌های خطی می‌تواند با بریدن قسمت زائد تهیه

شوند. بهتر است یک پیش‌آمدگی  $1 \text{ mm}$  از میله‌های عرضی به جا گذاشته شود.

#### ۲-۱-۶ طول آزمون‌ها

طول آزمون‌ها باید به گونه‌ای در نظر گرفته شود که به اندازه مجموع طول مقطع آزمون و بخش مهار باشد (به شکل ۱ مراجعه شود).

طول آزمون باید به شرح زیر در نظر گرفته شود:

الف- برای میله‌ها طول آزمون نباید کمتر از  $300 \text{ mm}$  و کمتر از  $40$  برابر قطر اسمی باشد.

ب- برای رشته‌ها، طول باید مطابق شرایط زیربند الف بوده و کمتر از دو برابر گام رشته نباشد.

پ- برای شبکه‌ها طول باید مطابق شرایط زیر بند الف بوده و نباید کمتر از سه نقطه تقاطع داشته باشد.

#### ۳-۱-۶ انبارش آزمون‌ها

آزمون‌ها را به دقت انبارش کنید و در مقابل تغییر شکل، حرارت و قرار گرفتن در معرض نور فرا بنفش که می‌تواند باعث تغییراتی در خواص ماده سازنده آزمون‌ها شود، محافظت کنید.

#### ۴-۱-۶ تعداد آزمون‌ها

حداقل تعداد کل آزمون‌ها باید پنج باشد.

#### ۲-۶ تجهیزات آزمون

#### ۱-۲-۶ دستگاه آزمون

بهتر است دستگاه آزمون با الزامات دستگاه آزمون کششی استاندارد ملی ایران شماره ۸۷۶۸ مطابقت داشته باشد.

#### ۲-۲-۶ مهار

مهار باید با هندسه آزمون‌ها متناسب بوده و باید فقط ظرفیت انتقال نیروی کششی در امتداد محور طولی آزمون‌ها را داشته باشد.

#### ۳-۲-۶ کشش سنج‌ها و کرنش سنج

کشش‌سنج‌ها و کرنش‌سنج‌های به کار رفته برای اندازه‌گیری ازدیاد طول (کشیدگی) طول آزمون تحت بارگذاری باید قادر به ثبت تغییرات در طول سنج یا ازدیاد طول (کشیدگی) حین آزمون با درستی کمینه

<sup>۵-</sup> ۱۰ باشد. طول سنج کشش سنج نباید کمتر از ۱۰۰ mm بوده و کمتر از هشت برابر قطر اسمی میله FRP نباشد. برای میله‌های رشته‌ای، علاوه بر شرایط بالا، طول سنج نباید کمتر از گام رشته (به شکل ۱ مراجعه شود) باشد. در سیستم‌های با پوشش غلاف خارجی منفصل، مطمئن شوید که کشش سنج، کرنش الیاف غلافی<sup>۱</sup> را به جای کرنش الیاف درونی اندازه‌گیری نکند.

### ۳-۶ روش آزمون

#### ۱-۳-۶ نصب آزمون

آزمون را روی دستگاه آزمون طوری نصب کنید که فقط بار محوری منتقل شود (به شکل ۲ مراجعه شود).

#### ۲-۳-۶ نصب کشش سنج

کشش سنج را در امتداد محور قسمت مرکزی آزمون نصب کنید.

#### ۳-۳-۶ روش بارگذاری

بارگذاری را مطابق الزامات زیر انجام دهید:

الف- بار را با نرخ ثابت، بدون ضربه بر آزمون، اعمال کنید. نرخ بارگذاری باید  $0.5\%$  تا  $1.5\%$  کرنش در هر دقیقه باشد. زمان آزمون نباید از پنج دقیقه بیشتر شود.

ب- بارگذاری را به حداقل ۱۰ بازه افزایشی برابر تقسیم کنید و کرنش را در هر بازه تا تقریباً دو سوم بیشینه نیروی کششی اندازه‌گیری کنید.

پ- نیروی کششی بیشینه را با دقت سه رقم اعشار معنی‌دار ثبت کنید.

#### ۴-۳-۶ دمای آزمون

دمای آزمون باید در گستره  $5^{\circ}\text{C}$  تا  $35^{\circ}\text{C}$  باشد.

### ۴-۶ محاسبات

#### ۱-۴-۶ کلیات

همه نتایج، به جز در مواردی که موقعیت شکست درون مهار است، باید به‌عنوان یک اصل استفاده شود. هر چند اگر محل شکست اغلب در مهار باشد، ممکن است نتایج شکست درون مهار نیز در نظر گرفته شود. در مواردی که نتیجه (در موارد دارای بیشینه نیروی کششی)  $10\%$  یا بیشتر از مقدار میانگین منحرف شود،

نتیجه باید نادیده گرفته شده و فقط چهار نتیجه باقی مانده استفاده شود. در چنین مواردی، اگر یک نتیجه با ۱۰٪ یا بیش تر از مقدار میانگین محاسبه شده با استفاده از چهار نتیجه منحرف شود، همه نتایج باید نادیده گرفته شوند و باید آزمون جدیدی انجام شود. نتایج آزمون رد شده نباید برای محاسبه صلبیت<sup>۱</sup> کششی، مدول یانگ یا کرنش نهایی استفاده شوند.

میانگین،  $\bar{X}$ ، انحراف،  $\Delta X_i$ ، انحراف استاندارد،  $\sigma$ ، به ترتیب مطابق رابطه‌های ۳ تا ۵ بیان شده، تعریف می‌شوند:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (۳)$$

$$\Delta X_i = X_i - \bar{X} \quad (۴)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (۵)$$

که در آن:

$N$  تعداد آزمونه‌ها؛

$X_i$  داده‌های نمونه برداری.

#### ۲-۴-۶ مساحت مقطع عرضی

مساحت مقطع عرضی باید مساحت مقطع عرضی اسمی محاسبه شده مطابق بند ۵ باشد. در صورتی که مساحت مقطع عرضی استاندارد توسط سازنده FRP گزارش شود، مساحت مقطع عرضی استاندارد می‌تواند به‌عنوان مساحت مقطع عرضی استفاده شود. لازم است مساحت مقطع عرضی اسمی، سطح الیاف موثر، سطح پلیمر و استحکام الیاف در مقدار مساحت مقطع عرضی استاندارد وارد شود.

#### ۳-۴-۶ استحکام کششی

استحکام کششی،  $f_u$ ، را بر حسب نیوتن بر میلی‌متر مربع با دقت سه رقم اعشار معنی‌دار با استفاده از رابطه ۶ محاسبه کنید:

$$f_u = F_u / A \quad (۶)$$

که در آن:

$F_u$  بیشینه نیروی کششی بر حسب نیوتن؛

$A$  مساحت مقطع عرضی بر حسب میلی‌متر مربع.

#### ۴-۴-۶ صلبیت کششی و مدول یانگ

صلبیت کششی،  $E_A$ ، را بر حسب نیوتن و مدول یانگ،  $E$ ، را بر حسب نیوتن بر میلی‌متر مربع را با دقت سه رقم اعشار معنی‌دار برای هر دو، به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۷ و ۸ محاسبه کنید. این مقدار باید از اختلاف بین منحنی بار (تنش)-کرنش حاصل از سطح بار در ۲۰٪ و ۵۰٪ ظرفیت کشش محاسبه شود. برای موادی که ظرفیت کششی ضمانت شده ارائه شده است، مقادیر در ۲۰٪ و ۵۰٪ ظرفیت کششی ضمانت شده ممکن است استفاده شود.

$$E_A = \frac{\Delta F}{\Delta \varepsilon} \quad (7)$$

$$E = \frac{\Delta F}{\Delta \varepsilon \times A} \quad (8)$$

که در آن:

$\Delta F$  اختلاف بین بارها در ۲۰٪ و ۵۰٪ بیشینه نیروی کششی، بر حسب نیوتن؛  
 $\Delta \varepsilon$  اختلاف کرنش  $\Delta F$ .

#### ۵-۴-۶ کرنش نهایی

کرنش نهایی باید کرنش متناظر با ظرفیت کشش نهایی باشد، زمانی که اندازه‌گیری‌های کرنش سنج آزمون تا زمان شکست در دسترس باشد. در مواقعی که اندازه‌گیری‌های کشش سنج یا کرنش سنج تا زمان شکست در دسترس نباشد، کرنش نهایی،  $\varepsilon_u$ ، باید با دقت سه رقم اعشار معنی‌دار از رابطه ۹ محاسبه شود:

$$\varepsilon_u = \frac{F_u}{E \times A} \quad (9)$$

#### ۵-۶ گزارش آزمون

##### ۱-۵-۶ اطلاعات الزامی

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف- نام، شکل، تاریخ ساخت و شماره بهر FRP آزمون شده؛

ب- نوع الیاف و پلیمر پیونددهنده الیاف؛

پ- شماره یا علائم شناسایی آزمون‌ها؛

ت- شناسه‌گذاری، مساحت مقطع عرضی اسمی و قطر؛



ث- تاریخ انجام آزمون، دما و نرخ بارگذاری؛

ج- روش محاسبه؛

چ- میانگین و انحراف استاندارد بیشینه نیروی کششی (استحکام) و بیشینه نیروی کششی (استحکام) هر آزمون؛

ح- صلبیت کششی و مدول یانگ هر آزمون و میانگین؛

خ- متوسط کرنش نهایی و کرنش نهایی هر آزمون؛

د- منحنی تنش-کرنش هر آزمون؛

ذ- مد شکست هر آزمون؛

ر- نام و نام خانوادگی آزمون‌گر.

۲-۵-۶ اطلاعات تکمیلی

اگر مساحت مقطع استاندارد به‌عنوان مساحت مقطع استفاده شود، موارد زیر ممکن است اضافه شوند:

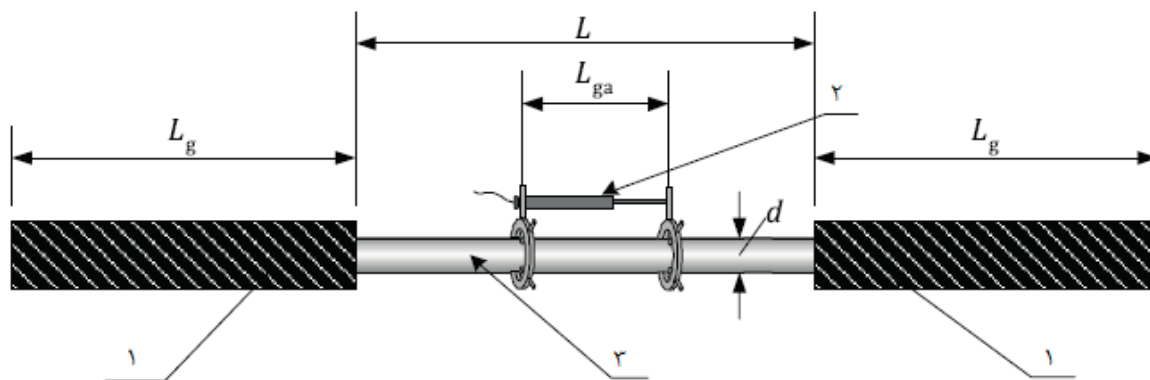
الف- مساحت مقطع عرضی استاندارد، قطر و مساحت پلیمر فرضی؛

ب- میانگین و انحراف استاندارد بیشینه استحکام کششی و بیشینه استحکام کششی هر آزمون؛

پ- مدول یانگ هر آزمون و میانگین؛

ت- منحنی تنش-کرنش هر آزمون؛

ث- استحکام الیاف.



$$L_{tot} = L + 2L_g$$

$L_{ga}$ : طول سنجه:

میله، شبکه:  $d$ ،  $L_{ga} \geq 100 \text{ mm}$

رشته: گام رشته،  $d$ ،  $L_{ga} \geq 100 \text{ mm}$

طول بخش آزمون

میله:  $d$ ،  $40$ ،  $L \geq 300 \text{ mm}$

رشته:  $2$  گام رشته،  $d$ ،  $40$ ،  $L \geq 300 \text{ mm}$

شبکه:  $3$  نقطه تقاطع،  $d$ ،  $40$ ،  $L \geq 300 \text{ mm}$

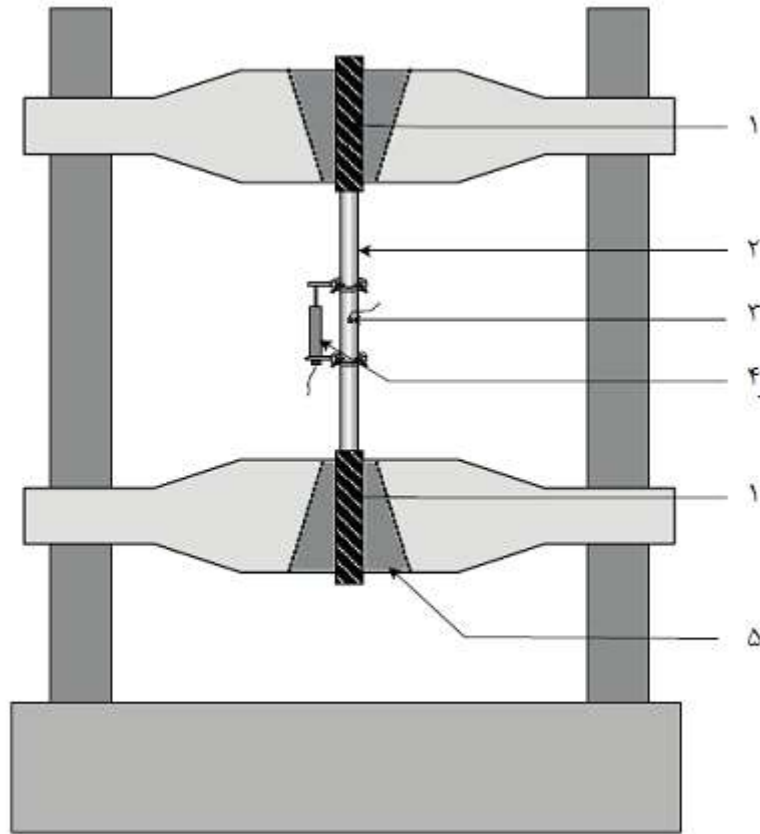
راهنما:

۱ بخش مهار

۲ کشش سنج

۳ بخش آزمون

شکل ۱- آزمون کششی آزمونه



راهنما:

- ۱ بخش مهار
- ۲ میله FRP
- ۳ کرنش‌سنج
- ۴ کشش‌سنج
- ۵ وسایل مهار

شکل ۲- طرح کلی آزمون کششی

## ۷ روش آزمون استحکام پیوندی به وسیله آزمون بیرون کشیدگی

### ۱-۷ آزمون‌ها

ضوابط زیربند ۱-۶ باید به کار گرفته شود.

#### ۱-۱-۷ ساخت آزمون‌ها

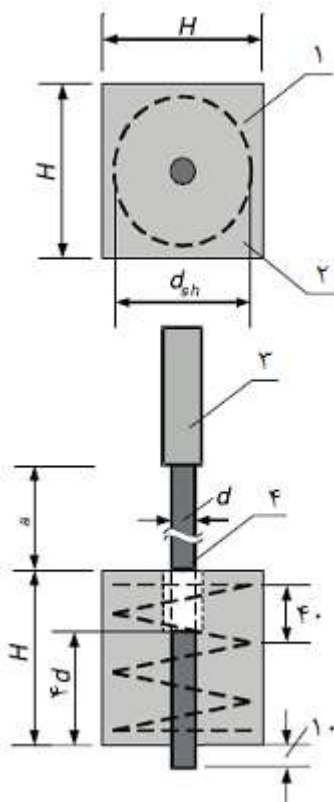
معمولا بهتر است آزمون‌ها به شکل مکعب با یک میله FRP منفرد جاساز شده به طور عمودی در امتداد محور مرکزی باشند (به شکل ۳ مراجعه شود). طول قسمت پیوند شده میله FRP باید بخشی نوعی از سطح میله FRP بوده و باید در بخش آزاد انتهایی آزمون‌ها قرار داشته باشد. طول پیوند شده میله FRP باید چهار

برابر قطر میله FRP باشد. به منظور متعادل کردن تنش از صفحه بارگذاری روی سمت بارگذاری شده، میله جاسازی شده در بیرون قسمت پیوند شده باید با PVC یا ماده مناسب دیگری به منظور جلوگیری از پیوند خوردن غلاف بندی شود.

### ۲-۱-۷ ابعاد آزمونها

ابعاد آزمونها را به عنوان تابعی از قطر اسمی میله های FRP، به روشی که در جدول ۳ نشان داده شده تعیین کنید (به شکل ۳ مراجعه شود).

ابعاد بر حسب میلی متر



$d_{sh}$	H	D
$100 \geq d_{sh} \geq 80$	۱۰۰	< ۱۷
$150 \geq d_{sh} \geq 120$	۱۵۰	۱۷ تا ۳۰

راهنما:

- ۱ تسلیح مارپیچ  $\phi = 6$
- ۲ منشور بتن
- ۳ بخش مهار
- ۴ میله FRP
- a حداقل ۳۰۰ mm و ۴۰ d

شکل ۳- آزمون برای آزمون پیوندی (آزمون بیرون کشیدگی)

### جدول ۳- ابعاد آزمونها

قطر بیرون تسلیح مارپیچ $d_{sh}$ mm	طول پیوند شده	اندازه مکعب mm	قطر اسمی FRP mm
$80 \leq d_{sh} \leq 100$	چهار برابر قطر اسمی	$100 \times 100 \times 100$	$17 >$
$120 \leq d_{sh} \leq 150$	چهار برابر قطر اسمی	$150 \times 150 \times 150$	۱۷ تا ۳۰

<sup>a</sup> در صورتی که نیاز است، میله هایی با قطر بیش تر از ۳۰ mm آزمون شوند، اندازه مکعب بتن ممکن است مطابق با آن افزایش یابد.

### ۳-۱-۷ ابعاد میله‌های FRP

اجازه دهید میله FRP به اندازه تقریبی ۱۰ mm در سمت با انتهای آزاد، بیرون زده باشد و وجه انتهایی را طوری قرار دهید که الصاق سنجه مدرج و غیره برای اندازه‌گیری طول بیرون کشیدگی، ممکن شود. انتهای بارگذاری شده میله FRP باید به اندازه کافی امتداد یابد تا آزمون بیرون کشیدگی عملی شود و باید با بخش مهاری، وسیله نگه‌دارنده یا وسایل مشابه با قابلیت انتقال بارهای محوری به میله FRP جفت شود.

### ۴-۱-۷ چیدمان میله‌های FRP

میله‌های FRP را بر اساس محور مرکزی آزمون چیدمان کنید.

### ۵-۱-۷ تسلیح مارپیچی

آزمونه‌ها می‌توانند برای جلوگیری از ایجاد شکست شکاف دهنده، با تسلیح مارپیچی در امتداد محور مرکزی فراهم شوند. تسلیح مارپیچی باید با قطر ۶ mm و با گام مارپیچ ۴۰ mm باشد. قطر بیرونی مسلح‌سازی‌های مارپیچ به قطر اسمی میله‌های FRP تعیین شده در جدول ۳ بستگی دارد. دو انتهای تسلیح‌های مارپیچی باید جوش داده شوند، یا باید ۱/۵ دور بیشتر در نظر گرفته شوند.

### ۶-۱-۷ تعداد آزمونه‌ها

حداقل سه آزمونه را آزمون کنید. در صورتی که یک آزمونه در بخش مهاری شکسته شود یا به بیرون از آن بلغزد، آزمون دیگری روی آزمونه مجزا با استفاده از میله‌های FRP که از همان بهر آزمونه رد شده تهیه شده باشد انجام دهید.

### ۷-۱-۷ کیفیت بتن

بتن را با سنگدانه‌های معمولی، با سنگدانه‌های درشت با ابعاد بیشینه ۲۰ mm یا ۲۵ mm تهیه کنید. بتن باید دارای اسلامپ<sup>۱</sup>  $10 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$  و استحکام فشاری استوانه‌ای ۲۸ روزه  $30 \text{ N/mm}^2 \pm 3 \text{ N/mm}^2$  برای آزمون پیوند شده باشد.

### ۸-۱-۷ بتن ریزی

الف- بخش پیوند شده میله FRP را تمیز کرده تا فاقد هرگونه چربی، کثیفی و غیره باشد.

ب- اقدامات مناسبی را قبل از بتن ریزی در نظر بگیرید، تا از پیوند شدن بخش‌های غیر پیوندی میله FRP جلوگیری شود.

پ- منفذ موجود در قالب را که میله FRP از طریق آن وارد می‌شود، برای جلوگیری از ورود آب و غیره به آن با استفاده از روغن، بتونه یا مواد مشابه آب‌بندی کنید.

ت- آزمون را پس از بتن ریزی، با تراشیدن قسمت‌های اضافه رویی صاف کنید، این فرایند را دوباره پس از دو ساعت تکرار کنید تا مطمئن شوید که آزمون‌های با ابعاد مناسب حاصل شده است.

#### ۹-۱-۷ برداشتن قالب‌ها و عمل‌آوری<sup>۱</sup>

قالب‌ها را پس از دو روز بردارید و آزمون‌ها را در آب با دمای  $3^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  تا زمان انجام آزمون عمل‌آوری کنید. برای کشورهای گرمسیری دمای  $2^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  کاربردی است.

#### ۲-۷ دستگاه و وسایل آزمون

##### ۱-۲-۷ دستگاه آزمون

دستگاه آزمون برای آزمون‌های بیرون کشیدگی، باید قابلیت اعمال بار از پیش تعیین شده را به‌درستی داشته باشد.

##### ۲-۲-۷ صفحه بارگذاری

صفحه بارگذاری باید دارای یک حفره باشد که میله FRP از آن عبور کند. قطر حفره موجود در صفحه بارگذاری باید دو یا سه برابر قطر میله FRP باشد.

##### ۳-۲-۷ مهار

انتهای بارگذاری شونده میله FRP باید به مهاری که قادر به انتقال صحیح بار باشد مجهز شود تا تاندون به دلیل شکستن اتصال یا به دلیل شکافتن یا ترک خوردن بتن خارج شود. وسیله انتقال بار فقط باید بارهای محوری را به میله FRP، بدون انتقال نیروهای پیچشی و خمشی انتقال دهد.

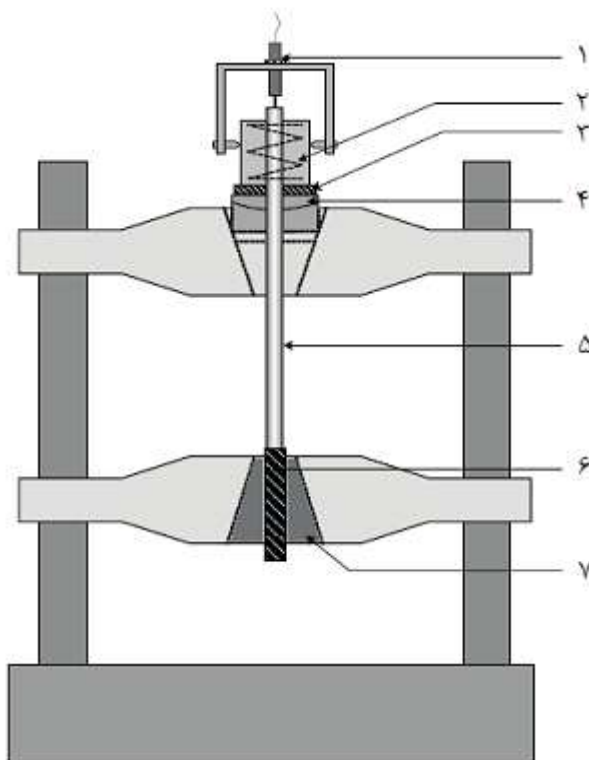
##### ۴-۲-۷ سنجه جابه‌جایی

سنجه جابه‌جایی که در انتهای آزاد میله FRP نصب شده باید یک LVDT یا هر دستگاه مشابه آن، با قابلیت ارائه قرائت‌هایی با درستی  $0.01 \text{ mm}$  باشد (به شکل ۴ مراجعه شود).

#### ۳-۷ روش آزمون

##### ۱-۳-۷ نصب آزمون‌ها

آزمون را به‌درستی روی صفحه بارگذاری که دارای یک صفحه کروی زیرین است قرار دهید تا از تاثیر گذاشتن بارهای خروج از مرکزیت بر روی آزمون‌ها جلوگیری شود (به شکل ۴ مراجعه شود).



راهنما:

- ۱ LDVT
- ۲ منشور بتن
- ۳ صفحه بارگذاری
- ۴ صفحه کروی
- ۵ میله FRP
- ۶ بخش مهار
- ۷ وسیله مهار

شکل ۴- طرح کلی آزمون پیوند (آزمون بیرون کشیدگی)

#### ۲-۳-۷ نرخ بارگذاری

نرخ بارگذاری استاندارد باید به گونه‌ای باشد که میانگین تنش کششی میله FRP با نرخ  $10 \text{ N/mm}^2/\text{min}$  تا  $20 \text{ N/mm}^2/\text{min}$  افزایش یابد. نرخ بارگذاری را تا حد ممکن ثابت نگه دارید تا آزمون‌ها در معرض شوک قرار نگیرند.

#### ۳-۳-۷ دامنه آزمون

لغزش انتهایی آزاد و بار اعمال شده باید در بازه‌های افزایشی نشان داده شده در جدول ۴ ثبت شود تا زمانی که میله FRP از بتن بیرون آید یا بار به‌طور قابل توجهی به دلیل شکافتگی یا ترک برداشتن بتن کاهش یابد.

جدول ۴- بازه‌های افزایشی اندازه‌گیری

لغزش انتهایی آزاد mm	افزایش اندازه‌گیری mm
< ۰٫۱	۰٫۰۱
۰٫۱ تا ۰٫۲	۰٫۰۲
۰٫۲ تا ۰٫۵	۰٫۰۵
> ۰٫۵	۰٫۱

۴-۳-۷ عمر آزمون‌ها

عمر آزمون‌ها در زمان آزمون باید ۲۸ روز باشد.

۴-۷ محاسبات

زمانی که تشخیص داده شود که آزمون دچار شکست کششی در بخش مهاری شده یا در بخش مهاری قبل از این که میله FRP از بتن بلغزد، لغزیده باشد یا بار به‌طور قابل توجهی به دلیل شکاف برداشتن یا ترک خوردن بتن کاهش یافته باشد، از داده‌ها صرف‌نظر کرده و آزمون(های) بیش‌تری انجام دهید تا تعداد آزمون‌هایی که از بتن می‌لغزند یا مواردی که بار به‌طور قابل توجهی به‌دلیل شکاف برداشتن یا ترک خوردن بتن کاهش می‌یابد، کم‌تر از سه نباشد.

تنش پیوند شده،  $\tau$ ، را بر حسب نیوتن بر میلی‌متر مربع، با دقت سه رقم اعشار معنی‌دار با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه کنید و منحنی بار بیرون کشیدگی یا تنش پیوند شده را در برابر جابه‌جایی لغزش برای هر آزمون رسم کنید.

$$\tau = \frac{P}{u \times l} \quad (10)$$

که در آن:

$P$  بار کششی در آزمون بیرون کشیدگی، بر حسب نیوتن؛

$u$  طول محیطی اسمی آزمون، بر حسب میلی‌متر؛

$l$  طول پیوند شده، بر حسب میلی‌متر.

۵-۷ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف- نام، شکل، تاریخ ساخت و شماره بهر FRP‌های آزمون شده؛

ب- نوع الیاف و پلیمر پیونددهنده الیاف، نوع عمل‌آوری سطحی الیاف؛



پ- شماره‌ها یا نشانه‌های شناسایی آزمون‌ها؛

ت- شناسه‌گذاری، مساحت مقطع عرضی اسمی و قطر؛

ث- تاریخ انجام آزمون، دمای آزمون و نرخ بارگذاری؛

ج- ابعاد آزمون‌ها، طول پیوندشده میله FRP؛

چ- طرح اختلاط، اسلامپ و استحکام فشاری بتن در زمان آزمون؛

ح- میانگین و بیشینه تنش پیوند و حالت شکست برای هر آزمون؛

خ- منحنی تنش پیوند در برابر جابه‌جایی لغزشی برای هر آزمون.

## ۸ روش آزمون عملکرد مهارها و متصل‌کننده‌ها

### ۱-۸ روش آزمون عملکرد مهارها

#### ۱-۱-۸ آزمون‌ها

##### ۱-۱-۱-۸ تهیه آزمون‌ها

آزمون‌ها را با الصاق یک مهار به یک یا هر دو انتهای تاندون FRP تهیه کنید.

##### ۲-۱-۱-۸ ابعاد آزمون‌ها

طول پیشنهادی تاندون FRP بین اتصالات<sup>۱</sup> ۳ m است (به شکل ۵ مراجعه شود). اگرچه، در مواردی که طول‌های کوتاه‌تری استفاده می‌شود، طول تاندون FRP بین مهارها باید نه کم‌تر از ۳۰۰ mm و نه کم‌تر از ۴۰ برابر قطر اسمی باشد.

##### ۳-۱-۱-۸ تعداد آزمون‌ها

کمینه سه آزمون را آزمون کنید.

##### ۲-۱-۸ دمای آزمون

بهتر است دمای آزمون به‌طور کلی بین گستره ۵ °C تا ۳۵ °C باشد. در صورت نیاز، آزمون آزمون‌های تاندون‌های FRP حساس به دما یا آن‌هایی که در دماهای بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند را در دمای

سرویس واقعی انجام دهید.

#### ۳-۱-۸ روش آزمون

##### ۱-۳-۱-۸ نصب آزمون

آزمونه‌ها را روی دستگاه آزمون کششی نصب و محکم کنید. مساحت و هندسه سطحی که مهار را نگه می‌دارد، کشش در تاندون‌های FRP و روش اعمال نیروهایی که شرایط واقعی ساختار بتن پیش‌تنیده را نشان می‌دهند، هر چه دقیق‌تر تعیین کنید.

##### ۲-۳-۱-۸ نرخ بارگذاری

نرخ بارگذاری استاندارد باید نرخ کرنش ثابتی برابر با  $\pm 0,5\%$  کرنش در دقیقه باشد.

##### ۳-۳-۱-۸ دامنه آزمون

بارگذاری را تا شکست کششی، که توسط شکست تاندون FRP یا توسط تغییر شکل بیش از حد دستگاه مهار تعیین می‌شود، ادامه دهید.

#### ۴-۱-۸ محاسبات

ظرفیت کششی هر آزمون و میانگین ظرفیت کششی را محاسبه کنید. مدهای شکست را ثبت و هر گونه تغییر شکل، آسیب، فرورفتگی و غیره در مهار را یادداشت کنید.

#### ۲-۸ روش آزمون عملکرد متصل‌کننده‌ها

##### ۱-۲-۸ آزمون‌ها

##### ۱-۱-۲-۸ تهیه آزمون‌ها

آزمون‌ها را با الصاق FRP یا سایر تاندون‌ها به یک یا هر دو انتهای متصل‌کننده تهیه کنید. تاندون‌های دیگر و متصل‌کننده‌های آن‌ها باید دارای استحکام کافی نسبت به تاندون‌های FRP آزمون شده باشند.

##### ۲-۱-۲-۸ ابعاد آزمون‌ها

طول پیشنهادی تاندون بین پایه‌های کناری ۳ m است (به شکل ۶ مراجعه شود). اگرچه، در مواردی که طول‌های کوتاه‌تری استفاده می‌شود، طول تاندون FRP بین مهارها باید نه کم‌تر از ۳۰۰ mm و نه کم‌تر از ۴۰ برابر قطر اسمی باشد.

۳-۱-۲-۸ تعداد آزمون‌ها

حداقل سه آزمون را انجام دهید.

۲-۲-۸ دمای آزمون

توصیه می‌شود دمای آزمون به‌طور کلی بین گستره  $5^{\circ}\text{C}$  تا  $35^{\circ}\text{C}$  باشد. در صورت نیاز، آزمون آزمون‌های تاندون‌های FRP حساس به دما یا آن‌هایی را که در دماهای بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند، در دمای سرویس واقعی انجام دهید.

۳-۲-۸ روش آزمون

ضوابط کلی بند ۳-۱-۸ باید اعمال گردد.

۴-۲-۸ محاسبات

ظرفیت کششی هر آزمون و میانگین ظرفیت کششی را محاسبه کنید. مدهای شکست را ثبت کنید، هر گونه تغییر شکل، آسیب، فرورفتگی و غیره در متصل‌کننده‌ها را یادداشت کنید.

۳-۸ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف- نام و شماره بهر FRP‌های آزمون‌شده؛

ب- نوع الیاف و ماده پیونددهنده به الیاف؛

پ- شماره‌ها یا نشانه‌های شناسایی آزمون‌ها؛

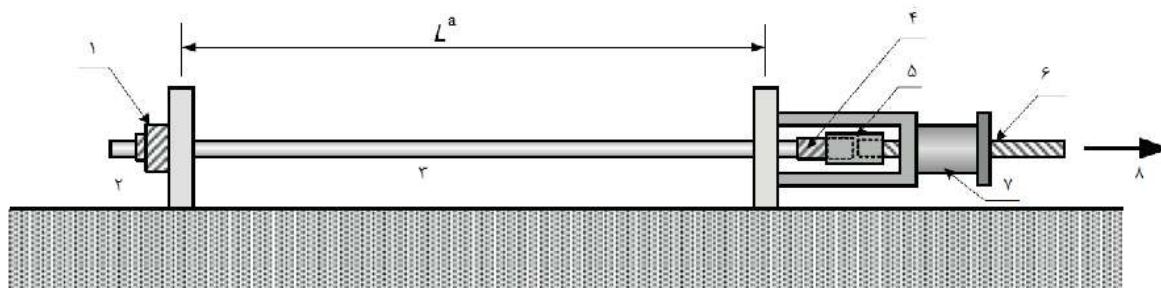
ت- شناسه‌گذاری، مساحت مقطع عرضی اسمی و قطر؛

ث- تاریخ انجام آزمون، دمای آزمون و نرخ بارگذاری؛

ج- ابعاد آزمون‌ها و توصیف مهار؛

چ- میانگین ظرفیت شکست کششی، ظرفیت شکست کششی و مد شکست هر آزمون؛

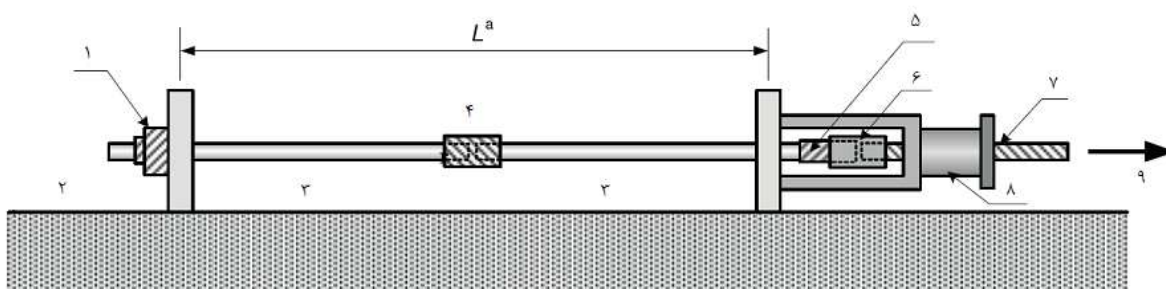
ح- سوابق مربوط به هر گونه تغییر شکل، آسیب، فرورفتگی و غیره مربوط به مهارها متصل‌کننده‌ها.



راهنما:

- ۱ مہار (آزمونہ)
- ۲ اتصال
- ۳ تاندون FRP
- ۴ بخش مہاری
- ۵ متصل کننده
- ۶ تاندون فولادی پیش تنیدگی
- ۷ سلول بار
- ۸ نیرو
- $L = ۳,۰ \text{ m}$  a

شکل ۵- طرح کلی آزمون عملکردی مہاری (مثال)



راهنما:

- ۱ مہار
- ۲ پایہ کناری
- ۳ تاندون FRP
- ۴ متصل کننده (آزمونہ)
- ۵ بخش مہار
- ۶ متصل کننده
- ۷ تاندون فولادی پیش تنیدگی
- ۸ سلول بار
- ۹ نیرو
- $L = ۳,۰ \text{ m}$  a

شکل ۶- طرح کلی آزمون عملکردی متصل کننده (مثال)

## ۹ روش آزمون آسودگی درازمدت

### ۱-۹ آزمون‌ها

#### ۱-۱-۹ تهیه، به‌کاربردن و ابعاد آزمون‌ها

آزمون‌ها را مطابق شرایط بند ۶ تهیه و به کار برید.

#### ۲-۱-۹ تعداد آزمون‌ها

حداقل سه آزمون را آزمون کنید. در مواردی که یک آزمون در بخش مهار شکسته شود یا به بیرون از آن بلغزد، آزمونی اضافه روی آزمون جداگانه تهیه شده از بهر یکسان با آزمون رد شده انجام دهید.

#### ۲-۹ چارچوب و وسایل آزمون

##### ۱-۲-۹ چارچوب و وسایل آزمون

چارچوب و وسایل آزمون باید توان اعمال باری مداوم و در عین حال حفظ کرنش ثابت را داشته باشد. وسیله بارگذاری باید قادر به بارگذاری در نرخ کرنش ثابت معادل  $1\%$  کرنش در ثانیه (با خطای)  $\pm 5\%$  را داشته باشد.

##### ۲-۲-۹ مهارها

مهارها باید مطابق شرایط بند ۶ باشد.

##### ۳-۲-۹ درستی بار اولیه

درستی بار اعمال شده اولیه به آزمون باید به صورت زیر باشد:

الف- چارچوب و وسایل آزمون با ظرفیت بارگذاری کوچک‌تر یا مساوی  $1\text{ kN}$ :  $0.1\% \pm$  از بار تنظیم شده؛

ب- چارچوب و وسایل آزمون با ظرفیت بارگذاری بزرگ‌تر از  $1\text{ kN}$ :  $0.2\% \pm$  از بار تنظیم شده.

##### ۴-۲-۹ درستی اندازه‌گیری‌های بار

درستی خوانش‌ها یا ثبت خودکار بارهای اعمال شده به آزمون باید در محدوده  $0.1\%$  بار اولیه باشد.

##### ۵-۲-۹ نوسانات کرنش

دستگاه آزمون باید نوسانات کرنش آزمون را به‌گونه‌ای کنترل کند تا در طول دوره آزمون، زمانی که کرنش در آزمون ثابت شده است بیش‌تر یا بزرگ‌تر از،  $10^{-6} \times 25 \pm$  نباشد. اگر FRP از بخش مهار لغزیده باشد، فاصله لغزش باید به‌گونه‌ای جبران شود که نتایج آزمون را تحت تاثیر قرار ندهد.

#### ۶-۲-۹ کشش سنج و کرنش سنج

اگر قرار باشد کشش سنج یا کرنش سنج روی آزمون نصب شود، کشش سنج یا کرنش سنج باید مطابق ضوابط بند ۶ باشد.

#### ۷-۲-۹ اندازه گیری زمان

گذر زمان طی آزمون باید با وسیله مناسبی (زمان سنج و غیره) با درستی حدود  $\pm 1\%$  از زمان سپری شده اندازه گیری شود.

#### ۳-۹ دمای آزمون

دمای آزمون بهتر است به طور معمول، به غیر از شرایط خاص، در گستره  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  باشد. دمای  $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  برای کشورهای گرمسیری قابل کاربرد است. در مواردی که دما تاثیر زیادی بر نتایج آزمون دارد، بهتر است آزمون های بیش تری در دمای  $0^{\circ}\text{C}$  و دمای  $60^{\circ}\text{C}$  انجام شود. در هر دو مورد، نوسان دما در طول دوره آزمون نباید بیش تر از  $2^{\circ}\text{C} \pm$  باشد.

#### ۴-۹ روش آزمون

##### ۱-۴-۹ نصب آزمون و طول سنج

نصب آزمون ها و طول سنج باید مطابق شرایط بند ۶ باشد.

##### ۲-۴-۹ پیش کشیدگی

در مواردی که از کرنش سنج برای آزمون استفاده می شود، آزمون باید به طور محکم با اعمال بار بین  $10\%$  تا  $40\%$  بار اولیه از پیش تعیین شده، قبل از تثبیت و کالیبراسیون کرنش سنج کشیده شود.

##### ۳-۴-۹ بار اولیه

بار اولیه باید بار قابل انتظار در انتقال باشد. اگر بار نامعلوم باشد، بار اولیه توصیه شده باید  $70\%$  ظرفیت کششی تضمین شده باشد.

##### ۴-۴-۹ اعمال بار اولیه

الف) بار اولیه باید بدون این که آزمون در معرض شوک یا لرزش قرار گیرد، اعمال شود.

ب) نرخ معین بار گذاری آزمون باید بین  $200 \text{ N/mm}^2/\text{min} \pm 50 \text{ N/mm}^2/\text{min}$  باشد.

پ) کرنش روی آزمون باید پس از اعمال بار اولیه به آزمون تثبیت شود، و به مدت  $2s \pm 120s$  حفظ شود. این زمان باید به عنوان زمان شروع آزمون در نظر گرفته شود.

#### ۵-۴-۹ اندازه‌گیری کاهش بار

کاهش بار باید به‌طور کلی در یک دوره زمانی حداقل  $1000 h$  اندازه‌گیری شود، مگر این‌که طور دیگری توافق شده باشد. کاهش بار باید به‌طور خودکار با یک ثبت‌کننده متصل به دستگاه آزمون، ثبت شود. اگر ثبت‌کننده روی دستگاه آزمون نصب نشده باشد، کاهش بار باید پس از سپری شدن زمان‌های  $1 min$ ،  $3 min$ ،  $6 min$ ،  $9 min$ ،  $15 min$ ،  $30 min$ ،  $45 min$ ،  $1 h$ ،  $1.5 h$ ،  $2 h$ ،  $4 h$ ،  $10 h$ ،  $24 h$ ،  $48 h$ ،  $72 h$ ،  $96 h$  و  $120 h$  اندازه‌گیری و ثبت شود، مگر این‌که طور دیگری توافق شده باشد. اندازه‌گیری‌های بعدی باید حداقل هر  $120 h$  یک‌بار انجام شوند.

#### ۵-۹ محاسبات

##### ۱-۵-۹ مقدار آسودگی

مقدار آسودگی باید از تقسیم بار اندازه‌گیری شده در آزمون آسودگی، بر بار اولیه محاسبه شود.

##### ۲-۵-۹ منحنی آسودگی

منحنی آسودگی باید با نمودار نیمه لگاریتمی رسم شود، جایی که مقدار آسودگی، بر حسب درصد، در مقیاس حسابی روی محور عمودی نمایش داده می‌شود و زمان آزمون، بر حسب ساعت، با مقیاس لگاریتمی روی محور افقی نمایش داده می‌شود. یک خط تقریبی برای زمان آسودگی،  $Y$ ، که بر حسب درصد بیان شده، باید از داده‌های منحنی با استفاده از روش کمینه مربعات به شکلی که در رابطه ۱۱ آورده شده حاصل شود:

$$Y = k_a - k_b \cdot \log t \quad (11)$$

که در آن:

$t$  زمان، بر حسب ساعت؛

$k_a$  و  $k_b$  ثابت‌های تجربی می‌باشند.

ضریب تعیین،  $r^2$ ، به شکلی که در رابطه ۱۲ آورده شده است محاسبه می‌شود:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Y_i - (k_a - k_b \cdot \log t)]^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (12)$$

## ۹-۶ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف- نام، شکل، تاریخ تولید و شماره بهر FRP های آزمون شده؛

ب- نوع الیاف و ماده پیونددهنده الیاف؛

پ- شماره یا نشانه‌های شناسایی آزمون‌ها؛

ت- شناسه‌گذاری، مساحت مقطع عرضی اسمی و قطر؛

ث- تاریخ انجام آزمون، دمای آزمون و نوسانات دما؛

ج- نوع دستگاه آزمون؛

چ- بار اولیه و نرخ بارگذاری آن؛

ح- ظرفیت کششی تضمین شده و نسبت بار اولیه به ظرفیت کششی تضمین شده؛

خ- منحنی آسودگی هر آزمون؛

د- میانگین نرخ‌های آسودگی در ۱۰ h، ۱۲۰ h و ۱۰۰۰ h؛

ذ- رابطه برای استخراج خطی تقریبی و ضریب تعیین آن.

## ۱۰ روش آزمون خستگی کششی

### ۱-۱۰ آزمون‌ها

#### ۱-۱-۱۰ تهیه، به‌کار بردن و ابعاد آزمون‌ها

تهیه، به‌کار بردن و ابعاد آزمون‌ها باید مطابق شرایط بند ۶ باشد.

#### ۱-۱-۲ تعداد آزمون‌ها

حداقل سه آزمون را برای هر کدام از سه سطح بار، آزمون کنید. در مواردی که آزمون‌ها در بخش مهاری شکسته شوند یا به بیرون از آن بلغزد، بهتر است آزمونی اضافه بر روی آزمون‌های جداگانه از همان بهری که آزمون شکسته شده از آن برداشته شده است انجام گیرد.



## ۲-۱۰ دستگاه و وسایل آزمون

### ۱-۲-۱۰ دستگاه آزمون

دستگاه آزمون باید قابلیت حفظ کردن دامنه بار (تنش) ثابت و بار (تنش) تکرار شده بیشینه و کمینه و فرکانس را داشته باشد. دستگاه آزمون باید به یک شمارش گر مجهز شده باشد که قابلیت ثبت تعداد چرخه‌ها تا شکست آزمون را داشته باشد. درستی بار باید حدود ۱٪ گستره بار باشد.

### ۲-۲-۱۰ مهار

مهار باید مطابق شرایط بند ۶ باشد. به طور ایده‌آل، مهارهای دارای نوع یکسان باید برای همه آزمون‌ها در مجموعه آزمون‌های در نظر گرفته استفاده کرد.

### ۳-۲-۱۰ اندازه‌گیری‌های کرنش

اگر اندازه‌گیری‌های کرنش به‌عنوان بخشی از آزمون‌های خستگی نیاز باشد، باید از کشش‌سنج و کرنش‌سنجی با قابلیت حفظ کردن درستی ۱٪  $\pm$  مقدار مشخص شده طی آزمون استفاده شود.

### ۳-۱۰ دمای آزمون

به‌طور کلی بهتر است دمای آزمون در گستره  $5^{\circ}\text{C}$  تا  $35^{\circ}\text{C}$  قرار گیرد. دمای آزمون تعیین شده برای آزمون‌هایی که به تغییرات دما حساس هستند باید در گستره  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  باشد. دمای  $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  برای کشورهای گرمسیری کاربردی است.

### ۴-۱۰ روش آزمون

#### ۱-۴-۱۰ نصب آزمون‌ها

نصب آزمون‌ها باید مطابق ضوابط بند ۶ باشد.

#### ۲-۴-۱۰ تنظیم بار

به منظور تعیین منحنی S-N بار کمینه و بیشینه را با یکی از سه روش زیر تنظیم کنید:

الف- بار میانگین را تثبیت کنید و دامنه بار را تغییر دهید؛

ب- بار کمینه را تثبیت کنید و بار بیشینه را تغییر دهید؛

پ- نرخ بار را تثبیت کنید و بار بیشینه و کمینه را مطابق نرخ تثبیت شده، تغییر دهید.

روش به کار گرفته شده را مطابق با هدف آزمون تعیین کنید. در هر مورد، حداقل سه سطح بار باید به گونه‌ای تنظیم شود که گستره تعداد چرخه‌ها برای شکست بین  $10^3$  تا  $10^6 \times 2$  باشد. از منحنی‌های معمول S-N برای مواد FRP جهت به‌کارگیری نرخ بار (تنش) تثبیت شده،  $R$ ، برابر با ۰٫۱ استفاده نمایید.

#### ۳-۴-۱۰ فرکانس

فرکانس بهتر است به‌طور معمول در گستره ۱ Hz تا ۱۰ Hz باشد.

#### ۴-۴-۱۰ شروع آزمون

پس از بارگذاری استاتیک تا رسیدن به بار میانگین، بارگذاری تکرار شونده را شروع کنید. بار تعیین شده را به‌سرعت و بدون هیچ شوکی وارد کنید. بارهای تکرار شونده بیشینه و کمینه باید طی مدت آزمون ثابت باقی بمانند. معمولاً بهتر است شمارش تعداد چرخه‌ها زمانی شروع شود که بار بر روی آزمون به بار از پیش تعیین شده رسیده باشد.

#### ۵-۴-۱۰ پایان آزمون

جداسازی کامل (شکستن) آزمون باید منجر به تشکیل شدن شکست شود. تعداد چرخه‌ها تا شکست را ثبت کنید. اگر آزمون پس از  $10^6 \times 2$  چرخه دچار شکست نشود، آزمون می‌تواند قطع شود. از آزمون‌هایی که شکسته نشده‌اند مجدداً استفاده نکنید.

#### ۶-۴-۱۰ قطع آزمون

آزمون‌ها بهتر است به‌طور معمول بدون قطع برای هر آزمون از آغاز تا پایان آزمون برای هر آزمون، انجام شوند. زمانی که آزمونی قطع شود، تعداد چرخه‌ها تا زمان قطع و مدت زمان قطع را ثبت کنید.

#### ۵-۱۰ محاسبات

#### ۱-۵-۱۰ کلیات

داده‌های آزمون‌هایی را که از بخش مهار لغزیده‌اند، در ارزیابی خواص ماده FRP نادیده بگیرید. در مواردی که شکست کششی یا لغزش به وضوح در بخش مهار اتفاق افتاده است، از داده‌ها صرف‌نظر کنید. توصیه می‌شود آزمون‌های دیگری انجام شود تا تعداد آزمون‌هایی که در بخش مهار دچار شکست شده‌اند، کمتر از سه نباشد.

۱۰-۵-۲ منحنی S-N

منحنی S-N را با تنش تکرار شونده بیشینه، گستره تنش یا دامنه تنش در مقیاس حسابی روی محور عمودی و تعداد چرخه‌ها در مقیاس لگاریتمی روی محور افقی را رسم کنید. جایی که نقاط اندازه‌گیری روی هم منطبق شود، تعداد نقاط منطبق بر هم را یادداشت کنید. پیکان‌های به جهت راست را برای نشان دادن نقاطی که نتایج آزمون را برای آزمون‌های باقی‌مانده که دچار شکست نشده‌اند بیان می‌کنند، اضافه کنید.

۱۰-۵-۳ استحکام خستگی

استحکام خستگی را در  $10^6 \times 2$  چرخه با درون‌یابی، از روی منحنی S-N حاصل از یکی از سه روش قسمت بار (به زیربندهای الف، ب یا پ مراجعه شود) بحث شده در بالا، به دست آورید. استحکام خستگی را تا سه رقم اعشار گزارش کنید.

۱۰-۶ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف- نام، شکل، تاریخ تولید و شماره بهر FRP‌های آزمون شده؛

ب- نوع الیاف و ماده پیونددهنده به الیاف؛

پ- شماره‌ها یا نشانه‌های شناسایی آزمون‌ها؛

ت- شناسه‌گذاری، مساحت مقطع عرضی اسمی و قطر؛

ث- تاریخ انجام آزمون، دما و رطوبت آزمون (از آغاز تا پایان آزمون)؛

ج- بار (تنش) بیشینه، بار (تنش) کمینه، بار (گستره تنش)، تعداد چرخه‌های شکست و نرخ فرکانس برای هر آزمون؛

چ- ثبت مد شکست مشاهده شده برای هر آزمون؛

ح- منحنی S-N و استحکام خستگی.

## ۱۱ روش آزمون مقاومت قلیایی

### ۱-۱۱ آزمون‌ها

#### ۱-۱-۱۱ تهیه آزمون‌ها

آزمون‌ها را قبل از آزمون در معرض هیچ نوع فرآوری قرار ندهید. برای شبکه FRP، آزمون‌های خطی می‌تواند با برش دادن قسمت‌های اضافی با روشی که عملکرد قسمتی که آزمون می‌شود را تحت تاثیر قرار ندهد، تهیه شوند.

#### ۲-۱-۱۱ انبارش آزمون‌ها

آزمون‌ها را به دقت انبار کنید و در برابر تغییر شکل، حرارت و قرار گرفتن در معرض نور فرابنفش که می‌تواند باعث تغییراتی در خواص ماده آزمون‌ها طی نمونه‌برداری و تهیه آزمون‌ها شود، محافظت کنید.

#### ۳-۱-۱۱ طول آزمون‌ها

طول آزمون نباید کم‌تر از ۱۰۰ mm یا ۴۰ برابر قطر اسمی میله FRP باشد. برای میله FRP رشته‌ای، طول باید مطابق ضوابط بالا باشد و نباید کوچک‌تر از دو برابر گام رشته باشد.

#### ۴-۱-۱۱ تعداد آزمون‌ها

حداقل پنج آزمون را برای آزمون کششی قبل از غوطه‌وری و پس از غوطه‌وری آزمون کنید. اگر یک آزمون دچار شکست شود، یا از بخش مهاری بلغزد، توصیه می‌شود یک آزمون اضافی روی آزمون‌های جداگانه که از همان بهری که آزمون‌های شکست شده از آن برداشته شده است، انجام شود.

## ۲-۱۱ غوطه‌وری در محلول قلیایی

### ۱-۲-۱۱ تهیه محلول قلیایی

محلول قلیایی استفاده شده برای غوطه‌وری، باید ترکیب شیمیایی یکسانی داشته باشند همان طور که محلول نافذ در بتن قالب ریزی می‌شود. بهتر است pH اولیه محلول بالاتر از ۱۳ باشد. برای مثال، ترکیب محلول قلیایی شامل سدیم هیدروکسید ۸٫۰ g و پتاسیم هیدروکسید ۲۲٫۴ g در ۱ lit آب یون‌زدایی شده می‌باشد.

### ۲-۲-۱۱ جلوگیری از نفوذ محلول به آزمون

برای جلوگیری از نفوذ محلول از انتهای آزمون طی غوطه‌وری، دو انتهای آزمون‌ها را با رزین اپوکسی بپوشانید و اجازه دهید تا عمل‌آوری شود.

### ۳-۲-۱۱ دمای غوطه‌وری

دمای تعیین شده غوطه‌وری باید  $3^{\circ}\text{C} \pm 60^{\circ}\text{C}$  باشد.

### ۴-۲-۱۱ نصب آزمونه

آزمونه را روی وسیله غوطه‌وری نصب کنید. در صورت لزوم، باری کششی به‌عنوان مثال، سطح باری که متناظر با تنش طراحی تسلیح FRP است باید به آزمونه اعمال شود. از جذب  $\text{CO}_2$  هوا و تبخیر آب طی غوطه‌وری محلول قلیایی ممانعت کنید.

### ۵-۲-۱۱ مدت زمان غوطه‌وری

مدت زمان غوطه‌وری باید، یک ماه باشد.

### ۶-۲-۱۱ عمل‌آوری پس از غوطه‌وری

آزمونه را پس از غوطه‌وری در آب بشوید.

### ۳-۱۱ ظاهر خارجی و تغییر جرم

#### ۱-۳-۱۱ بازرسی محلول قلیایی

مقدار pH محلول قلیایی را قبل و بعد از آزمون مقاومت قلیایی، اندازه بگیرید.

#### ۲-۳-۱۱ ظاهر خارجی

ظاهر آزمونه را قبل و بعد از آزمون مقاومت قلیایی برای مقایسه رنگ، شرایط سطح و تغییر شکل بررسی کنید. در صورت نیاز، آزمونه ممکن است بریده شده و صیقلی شود و شرایط مساحت مقطع عرضی با استفاده از میکروسکوپ بررسی شود.

#### ۳-۳-۱۱ اندازه‌گیری تغییر جرم

پس از غوطه‌وری، رزین اپوکسی را که بر قسمت‌های انتهایی آزمونه اعمال شده است، جدا کرده، آزمونه را خشک کنید و جرم آن را تا رسیدن به جرم ثابت اندازه بگیرید. نرخ کاهش جرم،  $R_{\Delta m}$ ، را بر حسب درصد با استفاده از رابطه ۱۳ محاسبه کنید:

$$R_{\Delta m} = \left[ \frac{(m_0 / L_0) - (m_1 / L_1)}{m_0 / L_0} \right] \times 100 \quad (13)$$

که در آن:

$m_0$  جرم قبل از غوطه‌وری، بر حسب گرم؛

$L_0$  طول قبل از غوطه‌وری، بر حسب میلی‌متر؛

$m_1$  جرم پس از غوطه‌وری، بر حسب گرم؛

$L_1$  طول آزمون‌های که دو انتهای آن پس از غوطه‌وری جدا شده است، بر حسب میلی‌متر.

#### ۴-۱۱ آزمون کششی

##### ۱-۴-۱۱ وسایل و دستگاه آزمون

وسایل و دستگاه آزمون باید مطابق با ضوابط بند ۶ باشد.

##### ۲-۴-۱۱ دمای آزمون و روش آزمون

دمای آزمون و روش آزمون باید مطابق ضوابط بند ۶ باشد.

#### ۵-۱۱ محاسبات

##### ۱-۵-۱۱ کلیات

خواص ماده میله FRP را فقط بر اساس آزمون‌هایی که متحمل شکست در بخش آزمون می‌شوند، ارزیابی کنید. اگر شکست کششی یا لغزش در بخش مهاری روی دهد، از داده‌ها صرف نظر کنید. توصیه می‌شود آزمون‌های بیش‌تری انجام شود تا تعداد آزمون‌هایی که دچار شکست در بخش آزمون می‌شوند، از پنج کم‌تر نباشد.

##### ۲-۵-۱۱ نرخ حفظ ظرفیت کششی

نرخ حفظ ظرفیت کششی،  $R_{et}$ ، را بر حسب درصد و با دقت دو رقم اعشار معنی‌دار با استفاده از رابطه ۱۴ محاسبه کنید:

$$R_{et} = \frac{F_{u1}}{F_{u0}} \times 100 \quad (14)$$

که در آن:

$F_{u1}$  ظرفیت کششی پس از غوطه‌وری، بر حسب نیوتن؛

$F_{u0}$  ظرفیت کششی قبل از غوطه‌وری، بر حسب نیوتن.

#### ۶-۱۱ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف- اطلاعات پایه:

- نام، شکل، تاریخ تولید و شماره بهر FRP های آزمون شده؛

- نوع الیاف و ماده پیونددهنده به الیاف؛

- شماره‌ها یا نشانه‌های شناسایی آزمون‌ها؛

- شناسه‌گذاری، مساحت مقطع عرضی اسمی و قطر؛

- تاریخ آغاز و پایان غوطه‌وری؛

**ب- اطلاعات مربوط به محلول قلیایی غوطه‌وری:**

- ترکیب محلول قلیایی، pH، دما، دوره غوطه‌وری و زمان؛

- بار کششی و نسبت بار کششی به ظرفیت کششی اسمی (اگر کشش انجام نشود، بهتر است این واقعه ثبت شود)؛

- ثبت مشاهدات وضعیت ظاهری خارجی و کاهش جرم؛

**پ- اطلاعات مربوط به آزمون کشش:**

- دمای آزمون و نرخ بارگذاری؛

- میانگین و انحراف استاندارد ظرفیت کششی برای (استحکام) آزمون‌های غوطه‌ور شده و غوطه‌ور نشده و ظرفیت کششی برای هر آزمون غوطه‌ور شده و غوطه‌ور نشده؛

- میانگین صلبیت کششی و مدول یانگ میانگین برای آزمون‌های غوطه‌ور شده و غوطه‌ور نشده و صلبیت کششی و مدول یانگ برای هر آزمون غوطه‌ور شده و غوطه‌ور نشده؛

- کرنش نهایی میانگین برای همه آزمون‌های غوطه‌ور شده و غوطه‌ور نشده و میانگین کرنش نهایی؛

- نرخ حفظ ظرفیت کششی؛

- منحنی تنش-کرنش همه آزمون‌های غوطه‌ور شده و غوطه‌ور نشده.

## ۱۲ روش آزمون برای شکست خزشی

### ۱-۱۲ آزمون‌ها

#### ۱-۱-۱۲ تهیه، به‌کار بردن و ابعاد آزمون‌ها

آزمون باید مطابق ضوابط بند ۶، تهیه و به‌کار روند.

#### ۲-۱-۱۲ تعداد آزمون‌ها

برای هر شرایط آزمون، حداقل سه آزمون را آزمون کنید. اگر آزمون در بخش مهارت شکسته شوند یا به بیرون از آن بلغزند، بهتر است یک آزمون اضافی روی آزمون جداگانه برداشته شده از همان بهر آزمون دچار شکست شده، انجام شود.

#### ۲-۱۲ وسایل و چارچوب آزمون

##### ۱-۲-۱۲ وسایل و چارچوب آزمون

وسایل و چارچوب آزمون باید قادر به حفظ کردن بار مدام و ثابت باشد، حتی اگر آزمون تغییر شکل دهد.

##### ۲-۲-۱۲ مهار

مهار باید مطابق ضوابط بند ۶ باشد.

##### ۳-۲-۱۲ کشش‌سنج و کرنش‌سنج

کشش‌سنج و کرنش‌سنج باید مطابق ضوابط بند ۶ باشد.

##### ۴-۲-۱۲ اندازه‌گیری زمان

گذشت زمان طی آزمون باید با تجهیزات مناسب (زمان‌سنج و غیره) با درستی  $\pm 1\%$  از زمان سپری شده، اندازه‌گیری شود.

##### ۳-۱۲ دمای آزمون

بهتر است دمای آزمون، به غیر از شرایط محیطی خاص، در گستره  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  باشد. دمای  $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  برای کشورهای گرمسیری قابل کاربرد است.

##### ۴-۱۲ ظرفیت کششی

ظرفیت کششی باید مطابق ضوابط بند ۶ باشد.



## ۱۲-۵ روش آزمون

### ۱۲-۵-۱ نصب آزمون و طول سنج

نصب آزمون و طول سنج باید مطابق ضوابط بند ۶ باشد.

### ۱۲-۵-۲ بارگذاری

الف- طی بارگذاری مراقب باشید تا از قرار گرفتن آزمون در معرض شوک و لرزش جلوگیری شود.

ب- بارگذاری را بی درنگ انجام دهید و زمان بارگذاری اولیه را ثبت کنید.

پ- اندازه‌گیری آزمون خزش از لحظه‌ای آغاز می‌شود که بارگذاری از پیش تعیین شده برای آزمون‌ها تکمیل شده باشد.

ت- نباید اجازه داده شود که نیروی خزش به اندازه ۲٪ رقم اسمی یا بیشتر کاهش یابد.

### ۱۲-۵-۳ انتخاب بارهای مداوم برای اعمال کردن

الف- آزمون‌های خزشی را برای پنج مجموعه یا بیشتر از آن از شرایط نسبت بار که بر مبنای ظرفیت کششی انتخاب شده‌اند، انجام دهید.

ب- مجموعه‌ای از شرایط نسبت بار باید طوری باشد که سه آزمون پس از ۱۰۰۰ h بارگذاری، شکسته نشود.

### ۱۲-۵-۴ اندازه‌گیری کرنش خزشی

کرنش خزشی باید به‌طور خودکار توسط یک ثبت‌کننده متصل شده به دستگاه آزمون ثبت شود اگر هیچ ثبت‌کننده‌ای به دستگاه آزمون متصل نشده باشد، کرنش خزشی را پس از زمان‌های سپری شده زیر اندازه‌گیری کنید: ۱ min، ۳ min، ۶ min، ۹ min، ۱۵ min، ۳۰ min، ۴۵ min، ۱ h، ۱٫۵ h، ۲ h، ۴ h، ۱۰ h، ۲۴ h، ۴۸ h، ۷۲ h، ۹۶ h و ۱۲۰ h و متعاقباً در مضرب‌هایی از ۲۴ h به‌نحوی که در هر ۱۲۰ h حداقل یک‌بار اندازه‌گیری شده باشد.

## ۱۲-۶ محاسبات

### ۱۲-۶-۱ به‌کار بردن داده‌ها

خواص ماده میله‌های FRP را تنها بر اساس آزمون‌های دچار شکست شده در بخش آزمون ارزیابی کنید. اگر شکست کششی یا لغزشی در بخش مهاری به وضوح روی دهند، از داده‌ها صرف نظر کنید. توصیه می‌شود آزمون‌های بیش‌تری انجام شود تا تعداد آزمون‌هایی که در این آزمون دچار شکست در بخش آزمون می‌شوند، کم‌تر از سه نباشد.

از داده‌های مربوط به آزمون‌هایی که در آغاز بارگذاری می‌شکنند، صرف‌نظر کنید. در چنین مواردی، فقط بار اعمال شده و زمان شکست خزش را ثبت کنید، اما آن‌ها را از داده‌ها حذف کنید، ضرورتی برای انجام آزمون‌های اضافی وجود ندارد.

#### ۱۲-۶-۲ منحنی نسبت بار / (زمان شکست خزشی)

برای هر آزمون‌ای که تحت آزمون خزشی قرار گرفته، منحنی نسبت بار / زمان شکست خزشی باید به صورت نمودار نیمه لگاریتمی که نسبت بار در مقیاس حسابی روی محور عمودی و زمان شکست خزشی، بر حسب ساعت، در مقیاس لگاریتمی روی محور افقی است، رسم شود.

#### ۱۲-۶-۳ نمودار خطی شکست خزشی

نمودار خطی شکست خزشی را بر پایه نسبت بار خزشی،  $R_{Yc}$ ، تهیه کنید. خطی با بهترین برازش را برای داده‌های نمودار با استفاده از روش کمینه مربعات مطابق رابطه‌های ۱۲ و ۱۵ محاسبه کنید:

$$R_{Yc} = k_a - k_b \cdot \log t \quad (15)$$

#### ۱۲-۷ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف- نام، شکل، تاریخ ساخت و شماره بهر FRP آزمون شده؛

ب- نوع الیاف و ماده پیونددهنده الیاف؛

پ- شماره‌ها یا نشانه‌های شناسایی آزمون‌ها؛

ت- شناسه‌گذاری، مساحت مقطع عرضی اسمی و قطر؛

ث- تاریخ انجام آزمون و دمای آزمون؛

ج- نوع و نام چهارچوب و وسایل آزمون؛

چ- نوع و نام مهار؛

ح- میانگین ظرفیت کششی و ظرفیت کششی (استحکام) هر آزمون؛

خ- زمان بارگذاری اولیه؛

د- منحنی نسبت بار / زمان شکست خزشی؛

ذ- منحنی کرنش خزشی زمان برای هر نمونه؛

ر- فرمول مشتق‌گیری خط تقریبی و ضریب تعیین آن.

### ۱۳ روش آزمون استحکام برش عرضی

#### ۱-۱۳ آزمون‌ها

##### ۱-۱-۱۳ تهیه آزمون‌ها

آزمون‌ها نباید در معرض هیچ‌گونه فرآوری قرار گیرند و باید تا حد ممکن راست و مستقیم باشند. بهتر است آزمون‌هایی که به شدت خم شده‌اند استفاده نشوند.

##### ۲-۱-۱۳ به‌کار بردن آزمون‌ها

به هنگام فراهم کردن و تهیه آزمون‌ها، از تغییر شکل، حرارت دادن، و قرار گرفتن بیرونی در معرض نور فرابنفش، که می‌تواند باعث تغییراتی در خواص ماده بخش آزمون شونده آزمون شود، اجتناب کنید.

##### ۳-۱-۱۳ طول آزمون‌ها

آزمون‌ها باید صرف‌نظر از قطر اسمی میله‌های FRP دارای طول ثابت باشند. طول نباید کمتر از پنج برابر فاصله صفحه برشی و بیش‌تر از ۳۰۰ mm باشد.

##### ۴-۱-۱۳ تعداد آزمون‌ها

حداقل سه آزمون را آزمون کنید. اگر الیاف آزمون کشیدگی قابل توجهی نشان دهند، با نشان دادن این‌که شکست ناشی از برش نیست، بهتر است یک آزمون اضافی روی آزمون جداگانه برداشته شده از همان بهر آزمون رد شده، انجام شود.

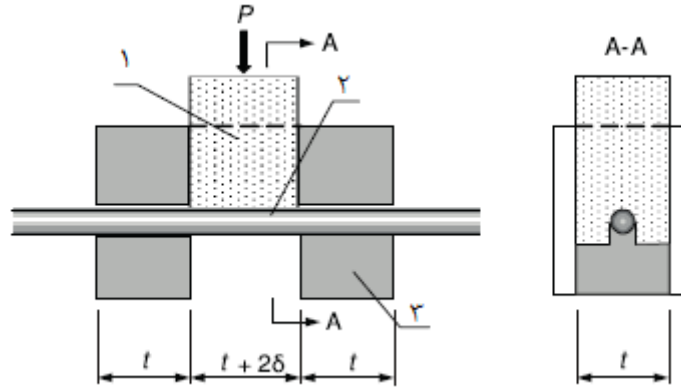
##### ۲-۱۳ دستگاه و وسایل آزمون

##### ۱-۲-۱۳ دستگاه آزمون

توصیه می‌شود دستگاه آزمون با الزامات استاندارد ISO 7500-1 مطابقت داشته باشد. دستگاه آزمون باید دارای ظرفیت بارگذاری افزون بر ظرفیت کششی آزمون‌ها باشد و باید قادر به اعمال بارگذاری در نرخ بارگذاری مورد نیاز باشد. دستگاه آزمون همچنین باید قادر به ارائه خوانش‌های بارگذاری با درستی % ۱ در طول آزمون باشد.

##### ۲-۲-۱۳ دستگاه آزمون برش

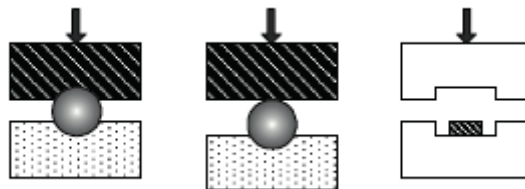
دستگاه آزمون برش (به شکل‌های ۷ تا ۹ مراجعه شود) باید به‌گونه‌ای ساخته شود که یک آزمون میله‌ای شکل روی دو صفحه کم و بیش هم‌زمان توسط دو تیغه (لبه) همگرا در راستای وجوه عمود بر جهت محور آزمون برش داده شود. اختلاف جهت محوری بین تیغه‌های بالایی و پایینی باید  $0$  تا  $0.5$  mm باشد و باید تا حد ممکن کوچک ساخته شود. فاصله تعیین شده بین صفحه‌های برش باید  $50$  mm باشد.



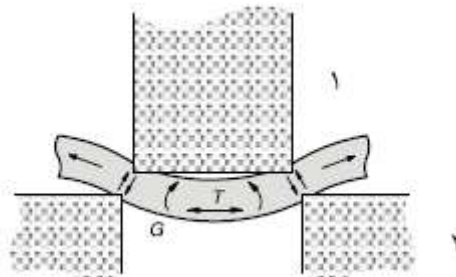
راهنما:

- ۱ برش‌دهنده فشاری
- ۲ آزمون
- ۳ نگهدارنده آزمون

شکل ۷- دستگاه آزمون برش دوگانه (آزمون برش عرضی)



شکل ۸- ترکیب سطوح تماس آزمون‌ها و دستگاه آزمون



راهنما:

شکل ۹- شکل مفهومی تنش‌های تماسی دستگاه آزمون عمل‌کننده روی آزمون

### ۳-۱۳ دمای آزمون

توصیه می‌شود به‌طور کلی، دمای آزمون در گستره  $5^{\circ}\text{C}$  تا  $35^{\circ}\text{C}$  قرار گیرد. دمای آزمون تعیین شده برای آزمون‌های حساس به دما باید  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  باشد. دمای  $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  برای کشورهای گرمسیری کاربردی است.

### ۴-۱۳ روش آزمون

#### ۱-۴-۱۳ نصب آزمون

آزمون را در مرکز دستگاه برش طوری نصب کنید که در تماس با وسیله بارگذاری بالایی باشد. بهتر است هیچ شکاف قابل مشاهده‌ای بین سطوح تماس وسایل بارگذاری نباشد.

#### ۲-۴-۱۳ نرخ بارگذاری

نرخ بارگذاری تعیین شده باید به‌گونه‌ای باشد که تنش برشی از نرخ  $30\text{ N/mm}^2/\text{min}$  تا  $60\text{ N/mm}^2/\text{min}$  افزایش یابد. بارگذاری را به‌طور یکنواخت بدون این‌که آزمون در معرض شوک قرار گیرد، اعمال کنید.

#### ۳-۴-۱۳ دامنه کاربرد آزمون

بارگذاری را تا شکست آزمون ادامه دهید. بار شکست را با دقت سه رقم اعشار معنی‌دار ثبت کنید. بهتر است توجه شود که بارگذاری می‌تواند به‌طور موقت به دلیل وجود دو وجه گسیخته شده کاهش یابد.

### ۵-۱۳ محاسبات

#### ۱-۵-۱۳ به‌کار بردن داده‌ها

با بازرسی چشمی، تعیین کنید که آیا شکست به دلیل برش روی داده است یا خیر. اگر بیرون کشیدگی الیاف آشکار باشد، از داده‌ها صرف‌نظر کنید، آزمون‌های اضافی باید انجام شود تا تعداد آزمون‌های شکسته شده ناشی از برش کمتر از سه نباشد.

### ۱۳-۵-۲ استحکام برشی

مقاومت برشی،  $\tau_s$ ، را بر حسب نیوتن بر میلی متر مربع با دقت سه رقم اعشار معنی دار از رابطه ۱۶ محاسبه کنید:

$$\tau_s = \frac{P_s}{2A} \quad (۱۶)$$

که در آن:

$P_s$  بار شکست برشی بر حسب نیوتن؛

$A$  مساحت مقطع عرضی اسمی آزمون بر حسب میلی متر مربع.

### ۱۳-۶ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف- نام FRP؛

ب- نوع الیاف و ماده پیونددهنده الیاف؛

پ- شماره‌ها یا نشانه‌های شناسایی آزمون‌ها؛

ت- شناسه گذاری، مساحت مقطع عرضی اسمی و قطر؛

ث- تاریخ انجام آزمون، دمای آزمون و نرخ بارگذاری؛

ج- فاصله بین وجوه برشی دوگانه و هندسه سطح تماس؛

چ- بار شکست برشی برای هر آزمون، میانگین بار شکست برشی و استحکام برشی؛

ح- مد شکست هر آزمون.

### ۱۴ روش آزمون خواص کششی خمشی

#### ۱-۱۴ آزمون‌ها

#### ۱-۱-۱۴ تهیه و به کار بردن آزمون‌ها

تهیه و به کار بردن آزمون‌ها باید مطابق ضوابط بند ۶ باشد.

#### ۲-۱-۱۴ طول آزمون‌ها

طول آزمون باید مجموع طول بخش آزمون شونده و طول بخش مهاری باشد. طول بخش آزمون نباید کمتر از ۱۰۰ mm از مهارها تا بخش تغییر شکل یافته باشد و نباید کمتر از ۴۰ برابر قطر اسمی میله FRP باشد. برای میله FRP رشته‌ای شکل، به‌عنوان شرایط اضافی، طول نباید از دو برابر گام رشته کمتر باشد.

#### ۳-۱-۱۴ تعداد آزمون‌ها

تعداد آزمون‌ها برای هر شرایط (ترکیب قطرهای خمشی و زوایای خمشی) آزمون نباید کمتر از سه باشد. اگر آزمون به وضوح در بخش مهار زیر ظرفیت کششی ۹۵٪ دچار شکست شود یا از آن بلغزد، باید یک آزمون اضافی روی آزمون برداشته شده از همان بهر انجام شود.

#### ۲-۱۴ وسایل و واحد آزمون

##### ۱-۲-۱۴ واحد آزمون

واحد آزمون (به شکل ۱۱ مراجعه شود) باید شامل یک وسیله بارگذاری، شاخص بارگذاری، نگه‌دارنده مهاری و خم‌کن باشد. دستگاه آزمون باید دارای ساختاری باشد که قابلیت ادامه آزمون تا شکستگی کششی را داشته باشد.

##### ۲-۲-۱۴ وسیله بارگذاری

وسيله بارگذاری باید دارای ظرفیت بارگذاری افزون بر ظرفیت کششی آزمون باشد و باید توانایی اعمال بارگذاری در نرخ بارگذاری مورد نیاز را داشته باشد.

##### ۳-۲-۱۴ شاخص بار

شاخص بار باید قابلیت نشان دادن بارها با درستی حداقل ۱٪ بار شکست، تا شکست آزمون را داشته باشد.

##### ۴-۲-۱۴ نگه‌دارنده مهار

نگه‌دارنده مهاری باید با هندسه آزمون متناسب باشد و باید قابلیت انتقال درست بار از دستگاه آزمون به آزمون را داشته باشد. نگه‌دارنده مهار باید به‌گونه‌ای ساخته شود که فقط بارهای محوری را به آزمون منتقل کند، بدون این که نیروی خمشی یا کششی را انتقال دهد.

##### ۵-۲-۱۴ خم‌کن

خم‌کن باید قادر به حفظ زاویه خم و قطر خمش خواسته شده طی آزمون باشد تا زمانی که آزمون گسیخته شود. سطح خم‌کن که در تماس با آزمون قرار می‌گیرد باید محکم و صاف باشد. (به شکل ۱۰ مراجعه شود).

#### ۶-۲-۱۴ دمای آزمون

دمای آزمون تعیین شده باید در گستره  $5^{\circ}\text{C}$  تا  $35^{\circ}\text{C}$  قرار گیرد به جز در مواردی که توافق دیگری صورت گیرد. دمای آزمون برای آزمون‌های حساس به تغییرات دما باید  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  باشد. دمای  $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  برای کشورهای گرمسیری کاربردی است.

#### ۳-۱۴ روش آزمون

##### ۱-۳-۱۴ آماده‌سازی آزمون

قطر خمش و زاویه خمش باید برای آزمون به‌طور مناسب تنظیم شود. آن‌گاه، این ترکیب شرایط آزمون واحدی را تشکیل می‌دهد. به‌عنوان پیکربندی شاخص، فقط یک بخش دارای خم باید در آزمون تنظیم شود.

##### ۲-۳-۱۴ نصب آزمون

به هنگام نصب آزمون روی واحد آزمون مراقب باشید تا زاویه خمشی و قطر خمشی موردنیاز در بخش خم شده طی آزمون حفظ شود.

##### ۳-۳-۱۴ نرخ بارگذاری

نرخ بارگذاری استاندارد باید نرخ کرنش ثابتی معادل  $0.5\% \pm 1\%$  کرنش در دقیقه باشد.

##### ۴-۳-۱۴ دامنه آزمون

بارگذاری را تا شکست آزمون اعمال کنید. بار و محل شکستگی را اندازه بگیرید و ثبت کنید و زمان شکست را ثبت کنید.

#### ۴-۱۴ محاسبات

##### ۱-۴-۱۴ بررسی داده‌ها

خواص ماده میله FRP را بر اساس آزمون‌های دچار شکست شده در بخش آزمون ارزیابی کنید. اگر شکست کششی یا لغزشی در بخش مهار به وضوح تحت ظرفیت کششی  $95\%$  روی دهد، از داده‌ها صرف‌نظر کنید.

##### ۲-۴-۱۴ ظرفیت کششی خمشی

میانگین، بیشینه و کمینه ظرفیت کششی خمشی را برای هر شرایطی از آزمون محاسبه کنید.



## ۱۴-۵ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف- نام، شکل، تاریخ ساخت و شماره بهر FRP های آزمون شده؛

ب- نوع الیاف و ماده پیونددهنده الیاف؛

پ- شماره‌ها یا نشانه‌های شناسایی آزمون‌ها؛

ت- شناسه‌گذاری، مساحت مقطع عرضی اسمی و قطر؛

ث- تاریخ انجام آزمون، دمای آزمون و نرخ بارگذاری؛

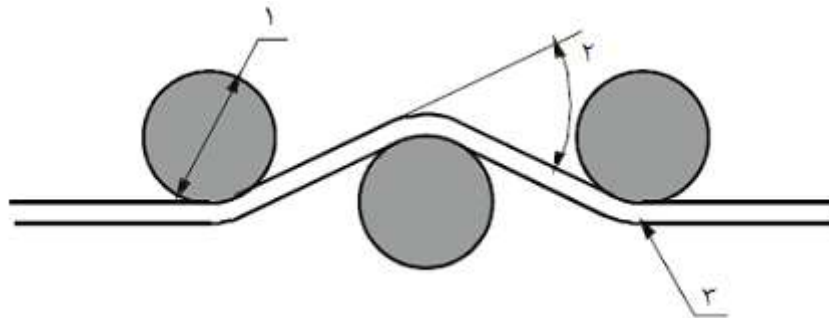
ج- شرایط سطح میله FRP (ماده، ضخامت، پیکربندی و غیره هر نوع پوشش)؛

چ- زاویه خم، قطر بیرونی وضعیت سطحی بخش خم شده، نسبت قطر خمشی، ماده و پیکربندی سطحی؛

ح- ظرفیت کششی خمشی هر آزمون؛

خ- موقعیت و مد شکست هر آزمون؛

ی- تعداد آزمون‌ها برای هر بهر از شرایط زیربند ۱۴-۵-۷، میانگین، بیشینه و کمینه ظرفیت کششی خمشی.



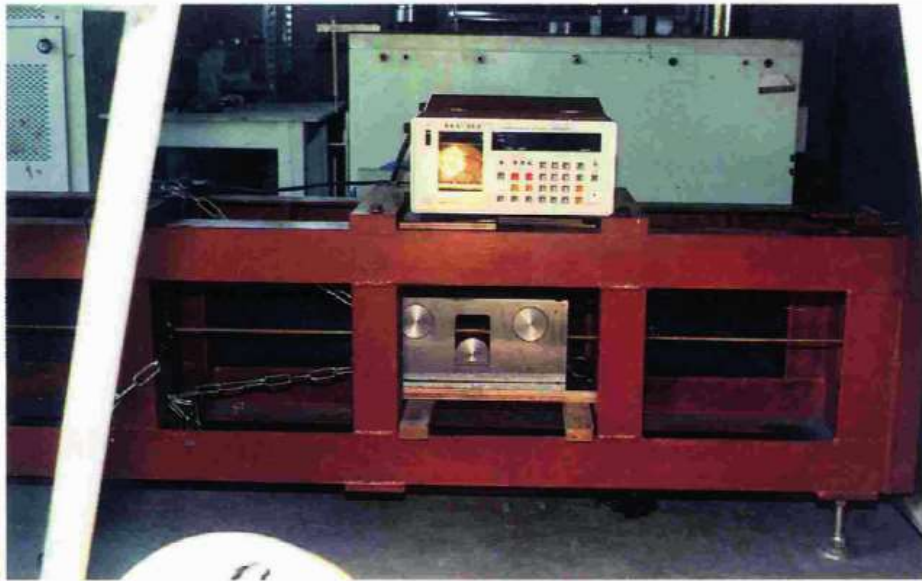
راهنما:

۱ قطر خمشی

۲ زاویه خمشی

۳ میله FRP

شکل ۱۰- مثالی از خم کن



شکل ۱۱- تصویر وسایل و واحد آزمون

## ۱۵ روش آزمون ضریب انبساط حرارتی طولی با تحلیل مکانیکی - حرارتی

### ۱-۱۵ آزمون‌ها

#### ۱-۱-۱۵ عمل‌آوری پیش‌آزمون آزمون‌ها

قبل از آزمون، آزمون‌ها باید کمینه به مدت ۲۴ h در دمای  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  و رطوبت نسبی  $(50 \pm 10)\%$ ، تحت شرایط دمایی کلاس دو و شرایط رطوبت نسبی مطابق بند ۶ استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۱۷: سال ۱۳۸۷، نگهداری شوند مگر این‌که به‌گونه‌ای دیگر توافق شده باشد. سپس آزمون‌ها باید به‌طور معمول به مدت ۴۸ h در بیشینه دمای آزمون به منظور حذف کرنش ناشی از خمش و برای رطوبت‌زدایی و هوازدایی نگهداری شوند.

#### ۲-۱-۱۵ ابعاد آزمون‌ها

آزمون شاخص بریده شده از میله FRP باید به طول ۲۰ mm، با سطح مقطع صاف یا مربع که قطر یا عرض آن بیش‌تر از ۵ mm نباشد.

#### ۳-۱-۱۵ تعداد آزمون‌ها

تعداد آزمون‌ها نباید کم‌تر از سه باشد.

#### ۲-۱۵ وسیله آزمون

### ۱-۲-۱۵ وسیله آزمون

دستگاه تحلیل مکانیکی - حرارتی (TMA)<sup>۱</sup> استفاده شده برای آزمون باید توانایی اندازه‌گیری در حالت فشاری، حفظ اتمسفر ثابت اطراف آزمون و بالا بردن دمای آزمون با نرخ ثابت را داشته باشد.

### ۲-۲-۱۵ کالیبراسیون وسیله آزمون

کالیبراسیون حساسیت سنجه جابه‌جایی باید به‌طور دوره‌ای با استفاده از یک میکرومتر خارجی مطابق استاندارد ISO 3611 یا میکرومتر متصل به دستگاه آزمون انجام شود. کالیبراسیون دماسنج باید با استفاده از ماده خالص با نقطه ذوب مشخص انجام شود.

### ۳-۲-۱۵ نصب وسیله آزمون

دستگاه TMA باید در محلی نصب شود که طی آزمون در معرض لرزش قرار نگیرد.

### ۳-۱۵ روش آزمون

روش اجرای آزمون به شرح زیر است:

الف- آزمون، میله سنجه و سکوی آزمون را تمیز کنید و آزمون را به‌طور ایستاده قرار داده و در صورت امکان، به سکو پیوند دهید.

ب- میله سنجه را در مرکز آزمون و بدون اعمال هیچ‌گونه فشاری قرار دهید.

پ- جو اطراف آزمون باید متشکل از هوای خشک (مقدار آب بیشینه ۰٫۱٪ کسر جرمی) یا نیتروژن (مقدار آب بیشینه ۰٫۰۰۱٪ کسر جرمی، مقدار اکسیژن بیشینه ۰٫۰۰۱٪ کسر جرمی)، حفظ شده در نرخ جریان در گستره ۱۰۰ ml/min تا ۵۰۰ ml/min باشد.

ت- بار را به‌آرامی به نوک میله سنجه در دمای اتاق اعمال کنید، ابتدا دما باید تا دمای  $0^{\circ}\text{C}$  پایین آورده شود، سپس تا  $60^{\circ}\text{C}$  بالا برده شود، مگر این‌که طور دیگری توافق شده باشد، و فرایند کامل جابه‌جایی آزمون باید ثبت شود.

ث- نرخ افزایش دما نباید بیش‌تر از  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  باشد.

ج- تنش فشاری عمل‌کننده روی آزمون باید حدود  $3\text{ mN}/\text{mm}^2$  باشد.

### ۴-۱۵ محاسبات

#### ۱-۴-۱۵ ضریب انبساط حرارتی

ضریب انبساط حرارتی آزمونه،  $\alpha_{sp}$ ، بر حسب درجه سانتی‌گراد معکوس، با گستره دمایی اندازه‌گیری شده  $T_1$  تا  $T_2$  باید مطابق رابطه ۱۷ محاسبه شود:

$$\alpha_{sp} = (\Delta L_{spm} - \Delta L_{refm}) / [L_0 \times (T_2 - T_1)] + \alpha_{set} \quad (17)$$

که در آن:

$\Delta L_{spm}$  اختلاف طول آزمونه بین دو دمای  $T_1$  و  $T_2$ ، بر حسب میکرومتر؛

$\Delta L_{refm}$  اختلاف طول آزمونه شاخص برای کالیبراسیون طول بین دو دمای  $T_1$  و  $T_2$ ، بر حسب میکرومتر؛

$L_0$  طول آزمون در دمای اتاق، بر حسب میکرومتر؛

$T_2$  بیشینه دما برای محاسبه ضریب انبساط حرارتی، معمولاً  $60^\circ\text{C}$ ؛

$T_1$  کمینه دما برای محاسبه ضریب انبساط حرارتی، معمولاً  $0^\circ\text{C}$ ؛

$\alpha_{set}$  ضریب انبساط حرارتی محاسبه شده آزمونه شاخص برای کالیبراسیون طول بین دو دمای  $T_1$  و  $T_2$ ، بر حسب درجه‌های متقابل.

در دستگاه‌هایی که کالیبراسیون طول آزمونه و آزمونه شاخص، به طور هم‌زمان اندازه‌گیری می‌شود،  $\Delta L_{refm}$ ، در رابطه ۱۷ باید برابر صفر در نظر گرفته شود.

#### ۱۵-۴-۲ گرد کردن مقادیر عددی

هر یک از ضرایب انبساط حرارتی باید تا شش رقم اعشار ( $10^{-7}$ ) محاسبه شوند و میانگین مقادیر تا پنج رقم اعشار گرد شوند ( $10^{-6}$ ). اگر مقدار میانگین کمتر از یک باشد، باید با درستی شش رقم اعشار ( $10^{-7}$ ) بیان شود.

#### ۱۵-۵ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف- نام، شکل، تاریخ تولید و شماره بهر FRP‌های آزمون شده؛

ب- نوع الیاف و ماده پیونددهنده الیاف؛

پ- شماره یا نشانه‌های شناسایی آزمونه‌ها؛

ت- شناسه‌گذاری، مساحت مقطع عرضی اسمی و قطر؛

ث- تاریخ انجام آزمون؛

ج- ابعاد آزمون‌ها؛

چ- روش عمل‌آوری پیش از آزمون؛

ح- نوع دستگاه آزمون؛

خ- نوع اتمسفر محیطی طی آزمون و نرخ جریان؛

د- نام ماده استفاده شده برای کالیبراسیون دما و اندازه‌های گرفته شده؛

ذ- نوع آزمون شاخص برای کالیبراسیون طول؛

ر- گستره دمایی که ضریب انبساط حرارتی در آن اندازه‌گیری شده است و دمای نماینده؛

ز- منحنی TMA هر آزمون؛

ژ- ضریب انبساط حرارتی هر آزمون و ضریب انبساط حرارتی میانگین.