

## فصل چهارم

### فولاد

#### □ ۴-۰ علایم اختصاری

$E_s$  = مدول الاستیسیته میلگردهای فولادی، مگاپاسکال (نیوتن بر میلیمتر مربع).

$f_{su}$  = مقاومت کششی میلگردهای فولادی، مگاپاسکال (نیوتن بر میلیمتر مربع).

$f_y$  = تنش تسلیم میلگردهای فولادی، مگاپاسکال (نیوتن بر میلیمتر مربع).

$f_{yk}$  = مقاومت مشخصه میلگردهای فولادی، مگاپاسکال (نیوتن بر میلیمتر مربع).

$f_{y, obs}$  = حد الاستیسیته به دست آمده از آزمایش کششی میلگردهای فولادی،

مگاپاسکال (نیوتن بر میلیمتر مربع).

$f_{ym}$  = میانگین تنش تسلیم ۱۰ نمونه مورد آزمایش موضوع رابطه ۴-۳.

$S_{10}$  = انحراف معیار تنش تسلیم ۱۰ نمونه، موضوع رابطه ۴-۴.

#### □ ۴-۱ کلیات

هر نوع فولاد به صورت میلگرد یا سیم که به موجب این آیین‌نامه بعنوان آرماتور در بتن آرمه به کار رود باید مطابق استانداردهای معتبر تولید شده و دارای برگ شناسایی کارخانه سازنده باشد.

### ۴-۲ انواع فولاد

انواع فولادهای مصرفی در بتن آرمه از نظر روش تولید، شکل رویه، جوش پذیری و شکل پذیری به شرح زیراند:

#### ۴-۲-۱ روش تولید

- الف- فولاد نورد شده در حالت گرم (گرم نورد شده).
- ب- فولاد اصلاح شده در حالت سرد به وسیله عملیات مکانیکی از قبیل پیچاندن، کشیدن، نورد کردن یا گذراندن از حدیده (سرد اصلاح شده).
- پ- فولاد ویژه که با عملیاتی مانند گرمایش و آبدادگی سخت شده است (گرم عمل آمده).

#### ۴-۲-۲ شکل رویه

- الف- میلگرد آجدار
- ب- میلگرد ساده

#### ۴-۲-۳ جوش پذیری

- فولاد از نظر جوش پذیری به سه رده زیر طبقه بندی می شود:
- الف- فولاد جوش پذیر که با تجهیزات و روشهای متداول قابل جوشکاری است.
  - ب- فولاد جوش پذیر مشروط که در شرایطی معین با تجهیزات و روشهای معین قابل جوشکاری است.
  - پ- فولاد جوش ناپذیر که با وسایل متعارف قابل جوشکاری نیست.

## ۴-۲-۴ شکل پذیری

فولاد از نظر شکل پذیری به سه رده زیر طبقه بندی می شود:

- الف- فولاد نرم که منحنی تنش-تغییر شکل نسبی آن دارای پله تسلیم مشهود است.
- ب- فولاد نیم سخت که منحنی تنش-تغییر شکل نسبی آن دارای پله تسلیم بسیار محدود است.
- پ- فولاد سخت که منحنی تنش-تغییر شکل نسبی آن فاقد پله تسلیم است.

## ۴-۳ قطر اسمی

۴-۳-۱ آرماتور به صورت کلاف، شاخه و شبکه های جوش شده یا بافته شده در کارخانه، برای مصرف عرضه می شود و تفکیک میلگردها از هم بر اساس قطر اسمی است.

۴-۳-۲ قطر اسمی میلگرد ساده قطری است که در برگ شناسایی ذکر می شود و معادل قطر دایره هم مساحت با مقطع عرضی نظری میلگرد بر حسب میلی متر است.

۴-۳-۳ قطر اسمی، سطح رویه اسمی و سطح مقطع اسمی میلگردهای آجدار بترتیب برابر است با قطر، سطح رویه و سطح مقطع میلگردهای ساده صاف هم وزن آنها.

۴-۳-۴ در محاسبات وزن، سطح رویه و سطح مقطع میلگرد، قطر اسمی آن و جرم واحد حجم معادل ۷۸۵۰ کیلوگرم در متر مکعب ملاک قرار می گیرد.

۴-۳-۵ قطرهای اسمی میلگردها از ۵ تا ۵۰ میلی متر با گامهای مختلف، و قطرهای اسمی سیمهای شبکه های جوش شده از ۴ تا ۱۲ میلی متر با گام ۰/۵ میلی متر می باشند.

۴-۳-۶ قطرهای اسمی مرجح مورد مصرف در بتن آرمه بر حسب میلیمتر بشرح زیراند:

۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۵، ۳۲، ۴۰، ۵۰

#### □ ۴-۴ مشخصات مکانیکی

۴-۴-۱ تنش تسلیم فولاد:  $f_y$ ، و مقاومت مشخصه فولاد،  $f_{yk}$

مقاومت مشخصه فولاد بر اساس مقدار تنش تسلیم آن تعیین می‌شود، و معادل مقداری است که حداکثر ۵ درصد مقادیر اندازه‌گیری شده برای حد تسلیم ممکن است کمتر از آن باشد. در مواردی که تنش تسلیم فولاد به وضوح مشخص نباشد مقدار آن معادل تنش نظیر ۰/۲ درصد تغییر شکل نسبی ماندگار اختیار می‌شود.

با آزمایش کششی هر نمونه باید ثابت شود روابط زیر برقرارند:

$$f_{su} \geq 1.18 f_{y,0.05} \quad f_{su} \geq 1.25 f_y \quad (۱-۴)$$

#### ۴-۴-۲ طبقه‌بندی میلگردها

میلگردهای فولادی بر اساس مقاومت مشخصه طبقه‌بندی می‌شوند، طبقه‌بندی میلگردهای مصرفی در بتن آرمه بر حسب نوع فولاد به شرح زیر است:

S220                  S300                  S350                  S400                  S500

اعداد بعد از S بیانگر حداقل مقاومت مشخصه میلگرد بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع می‌باشند.

#### ۴-۴-۳ آزمایشها

آزمایشهای مختلف روی نمونه‌های میلگردهای فولادی باید با رعایت بندهای ۴-۴-۴ و

۴-۴-۵ مطابق استانداردهای زیر به عمل آیند:

- آزمایش کششی میلگرد (دت ۷۰۱).
  - آزمایش ناشدگی به زاویه ۱۸۰ درجه (دت ۷۰۳).
  - آزمایش خم کردن و باز کردن خم میلگرد (دت ۷۰۳).
  - آزمایش کششی بعد از خم کردن و باز کردن خم میلگردها و سیمهای با قطر کمتر از ۹ میلیمتر (دت ۷۰۲).
  - آزمایش پیوستگی میلگرد با بتن (دت ۷۰۴) و (دت ۷۰۵).
  - آزمایش وصله‌های جوش شده میلگرد (دت ۷۰۶).
  - آزمایش خستگی میلگرد (دت ۷۰۷).
- تبصره- آزمایش کششی برای تمامی میلگردها و آزمایش خم کردن و باز کردن خم یا آزمایش ناشدگی با زاویه ۱۸۰ درجه برای میلگردهای سرد اصلاح شده الزامی است.

#### ۴-۴-۴ نمونه برداری

مقاومت و سایر مشخصه‌های میلگردها بر اساس نتایج آزمایش آزمون‌های بریده شده از آنها تعیین می‌شوند. در هر نمونه برداری باید یک نمونه به طول یک متر بریده شود و آزمون‌ها از این نمونه جدا شوند.

#### ۴-۴-۵ تواتر نمونه برداری

تعداد و تواتر نمونه‌ها باید طوری باشد که ارزیابی کیفیت کل آرماتور مصرفی ممکن شود. برای این منظور باید از هر پنجاه تن و کسر آن، از هر قطر و هر نوع فولاد حداقل پنج نمونه برداشته شود. در صورت موافقت دستگاه نظارت می‌توان از هر سه بندل پنج تنی میلگردهای مشابه، یک نمونه انتخاب کرد.

## ۴-۴-۲ ضوابط پذیرش میلگردها (یا فولاد)

مقاومت مشخصه فولاد وقتی منطبق بر طبقه مورد نظر و قابل قبول تلقی می‌شود که علاوه بر تامین شرایط بندهای ۴-۴-۱ و ۴-۴-۶ یکی از شرایط زیر هم برآورده شود:

۴-۴-۶-۱ در میان نتایج آزمایشهای کششی ۵ نمونه، تنش تسلیم هیچکدام از آزمون‌ها کمتر از مقاومت مشخصه فولاد نباشد.

۴-۴-۶-۲ در صورت برآورده نشدن بند ۴-۴-۶-۱ باید یک سری دیگر شامل ۵ نمونه مورد آزمایش قرار گیرد. در این صورت نتایج بدست آمده از کل ۱۰ آزمون باید در رابطه زیر صدق کنند:

$$f_{ym} \geq f_y + 0.6 s_{10} \quad (۲-۴)$$

که در آن  $f_{ym}$  و  $s_{10}$  بشرح زیرند:

$$f_{ym} = \frac{\sum_{i=1}^{10} f_{yi}}{10} = \frac{f_{y1} + f_{y2} + \dots + f_{y10}}{10} \quad (۳-۴)$$

$$s_{10} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (f_{ym} - f_{yi})^2}{9}} \quad (۴-۴)$$

در صورت برآورده نشدن شرایط بندهای ۴-۴-۶-۱ و ۴-۴-۶-۲ مقاومت مشخصه فولاد از نظر انطباق با طبقه مورد نظر، قابل قبول نخواهد بود.

#### □ ۴-۵ تغییر شکلها

##### ۴-۵-۱ نمودار تنش - تغییر شکل نسبی

برای سهولت محاسبه می‌توان نمودار واقعی تنش-تغییر شکل نسبی فولاد را با نموداری دو خطی جایگزین کرد. نمودار تنش-تغییر شکل نسبی فولاد در کشش و فشار یکسان در نظر گرفته می‌شود.

##### ۴-۵-۲ مدول الاستیسیته

مدول الاستیسیته برای تمامی میلگردهای مصرفی در بتن آرمه برابر با  $200000$  مگاپاسکال (نیوتن بر میلیمتر مربع) فرض می‌شود.

##### ۴-۵-۳ ضریب انبساط حرارتی

ضریب انبساط حرارتی برای تمامی میلگردهای مصرفی در بتن آرمه معادل  $10^{-5}$  بازای هر درجه سلسیوس (سانتیگراد) است.

#### □ ۴-۶ شکل پذیری

شکل‌پذیری میلگردها بر اساس آزمایش تاشدگی با زاویه  $180^\circ$  درجه با آزمایش خم کردن و باز کردن خم با استفاده از فلکه استاندارد تعیین می‌شود. شکل‌پذیری میلگردها وقتی قابل قبول تلقی می‌شود که ازدیاد طول نسبی گسیختگی در آزمایش کششی از ۸ درصد روی ده برابر قطر و ۱۲ درصد روی پنج برابر قطر میلگرد کمتر نباشد.

#### □ ۴-۷ جوش پذیری

جوش پذیری میلگردها به نحوه تولید و نیز ترکیب شیمیایی فولاد آنها بستگی دارد. تمامی میلگردهای گرم نورد شده با ترکیب شیمیایی متعارف، دارای جوش پذیری مطلوب تلقی می شوند. میلگردهای سرد اصلاح شده و گرم عمل آمده، به حرارت جوش حساسیت بسیار دارند و با روشهای معمول جوش پذیر نیستند. وصله جوشی این گونه میلگردها با رعایت ضوابطی خاص میسر است.

جوشکاری میلگردها باید مطابق بند ۸-۲-۵-۳ باشد.

#### □ ۴-۸ انبار کردن، نگهداری و کنترل فولاد

۴-۸-۱ میلگردهای فولادی را باید در محلهای تمیز و عاری از رطوبت انبار کرد تا از زنگ زدگی و کثیف شدن سطح آنها جلوگیری شود.

۴-۸-۲ میلگردهایی که تا حد پوسته شدن زنگ زده باشند بویژه میلگردهایی که بطور موضعی و عمیق دچار خوردگی شده اند، بدون انجام آزمایش و حصول اطمینان از انطباق مشخصه های آنها با مشخصه های مورد نظر و در نظر گرفتن کاهش احتمالی سطح مقطع، قابل مصرف در بتن آرمه نمی باشند.