ISIRI
9375
1st.Edition

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
Institute of Standards and Industrial Research of Iran

استاندارد ملی ایران
۹۳۷۵
چاپ اول

لوله‌های بتنی پیش‌تنیده تحت فشار – با استوانه فولادی و بدون استوانه فولادی، شامل اتصالات، متعلقات و ضوابط خاص میلگردهای فولادی پیش‌تنیدگی برای لوله‌ها – ویژگی‌ها

Prestressed concrete pressure pipes - Cylinder and non- cylinder, including joints, fittings and specific requirement for prestressing steel for pipes- Specifications

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
تهران- خیابان ولیعصر، ضلع جنوب غربی میدان ونک، پلاک ۱۲۹۴، صندوق پستی: ۶۱۳۹-۴۱۵۵
تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱
دورنگار: ۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳
کرج- شهر صنعتی، میدان استاندارد، صندوق پستی ۱۶۳-۳۱۵۸۵
تلفن: ۸-۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶۱)
دورنگار: ۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶۱)
پیام‌نگار: **standard@isiri.org.ir**
وب‌گاه: **WWW.isiri.org**
بخش فروش تلفن: ۲۸۱۸۹۸۹(۰۲۶۱)، دورنگار: ۲۸۱۸۷۸۷(۰۲۶۱)
بها: ۴۷۵۰ ریال

Institute of standards and industrial Research of IRAN
Central office: No.1294 Valiaser Ave. Vanak corner, Tehran, Iran
P.O.BOX: 14155-6139, Tehran, Iran
Tel: +98(21) 88879461-5
Fax: +98(21) 88887080, 88887103
Headquarters: Standard Square, Karaj, Iran
P.O.BOX: 31585-163
TEL: +98(261) 2806031-8
Fax: +98(261) 2808114
standard@isiri.org.ir Email:
WWW.isiri.org Website:
Sales Dep: Tel: +98(261)2818989, Fax: +98(261)2818787
Price: 4750 .RLs

به نام خدا

آشنایی با مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

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

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه*، 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 اگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در 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 علاقمند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیتهٔ ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی 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.

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

---

*مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

۱- International Organization for Standardization

۲- International Electrotechnical Commission

3-International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrologie Legal)

٤- Contact Point

٥-Codex Alimentarius Commission

«لوله‌های بتنی پیش‌تنیده تحت فشار – با استوانه فولادی و بدون استوانه فولادی، شامل اتصالات، متعلقات و ضوابط خاص میلگردهای فولادی پیش‌تنیدگی برای لوله‌ها – ویژگی‌ها»

رئیس	سمت یا نمایندگی
میرزایی ، حسن (کارشناس ارشد مهندسی مکانیک)	شرکت مهندسین مشاور آبسو
دبیر :	
کاظم زاده ، مهین (کارشناس مهندسی راه و ساختمان)	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب وزارت نیرو
اعضاء : (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اللهیاری، رضا کارشناس ارشد مهندسی (سازه‌های هیدرولیکی)	نماینده کارخانه لوله‌سازی آذرشهر
ایمان‌زاده، سایه (کارشناس ارشد مهندسی آب و فاضلاب)	وزارت نیرو
بهروزی‌نیا، محسن (کارشناس مهندسی مکانیک)	نماینده شرکت لوله‌سازی قائم اصفهان
تولایی، علیرضا (کارشناس ارشد مهندسی راه و ساختمان)	کارشناس آزاد
خوشحال، کوروش (کارشناس مهندسی عمران)	نماینده کارخانجات لوله‌سازی تهران
رئیس قاسمی، امیر مازیار (کارشناس مهندسی عمران)	مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
ستوده، علیرضا (کارشناس مهندسی عمران)	نماینده کارخانجات لوله‌سازی تهران
طهماسبی، محمدرضا (کارشناس مهندسی الکترونیک)	نماینده شرکت لوله‌سازی قائم اصفهان

علی‌نیا، علی‌اصغر
(کارشناس مدیریت صنعتی)
نماینده شرکت تولیدی کانال پیش‌ساخته، لولـه و قطعات بتنی گیلان

معین‌پور ، محمد
(کارشناس ارشد مهندسی عمران)
کارشناس آزاد

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
۱	هدف	۱
۲	دامنه کاربرد	۱
۳	مراجع الزامی	۱
۴	مصالح	۲
۵	طرح و ساخت لوله	۲
۵-۱	ضوابط عمومی	۲
۵-۲	طرح لوله‌ها	۶
۵-۳	میلگرد گذاری	۷
۵-۴	بتن و ملات	۷
۵-۵	پیش تنیدگی	۹
۵-۶	عمل آوری	۱۱
۶	آزمون‌های کارخانه‌ای	۱۱
۶-۱	آزمون بتن	۱۱
۶-۲	آزمون هیدرواستاتیک	۱۱
۶-۳	آزمون نفوذپذیری روی پوشش	۱۳
پیوست الف - (اطلاعاتی) ضوابط خاص برای سیم‌های فولادی با مقاومت بالا برای پیش‌تنیدگی لوله‌های بتنی با استوانه فولادی و یا بدون استوانه فولادی		۱۷
پیوست ب - (اطلاعاتی)- اتصال‌های تیپ		۲۷
پیوست ج - (اطلاعاتی)- راهنمای طراحی لوله‌های بتنی پیش تنیده با استوانه فولادی		۲۹
پیوست د- (اطلاعاتی) - راهنمای طراحی لوله‌های بتنی پیش تنیده بدون استوانه فولادی		۳۳

پیشگفتار

استاندارد «لوله‌های بتنی پیش‌تنیده تحت فشار – با استوانه فولادی و بدون استوانه فولادی، شامل اتصالات، متعلقات و ضوابط خاص میلگردهای فولادی پیش‌تنیدگی برای لوله‌ها، ویژگی‌ها» که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط به طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب وزارت نیرو تهیه و تدوین شده و در یکصدوهفتادمین اجلاس کمیته ملی مهندسی ساختمان ، مصالح و فرآورده های ساختمانی مورخ ۱۳۸۶/۷/۲۵ موردتصویب قرار گرفت. اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

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

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

1- **EN642:1994, Prestressed Concrete Pressure Pipes, Cylinder and non-Cylinder, Including Joints, Fittings and Specific Requirement for Prestressing Steel for Pipes.**

لوله‌های بتنی پیش‌تنیده تحت فشار – با استوانه فولادی و بدون استوانه فولادی، شامل اتصالات، متعلقات و ضوابط خاص میلگردهای فولادی پیش‌تنیدگی برای لوله‌ها – ویژگی‌ها

۱ هدف

هدف از تدوین این استاندارد تعیین ویژگی‌های فنی، ضوابط و روش های ساخت لوله‌های بتنی پیش تنیده تحت فشار و اتصالات مربوط بوده که برای کارهای آبرسانی است. لوله‌های بتنی پیش‌تنیده تحت فشار که برای انتقال استفاده می‌شود، نباید هیچ‌گونه اثر منفی بر روی کیفیت آب آشامیدنی مطابق بند ۳-۱ داشته باشد.

۲ دامنه کاربرد

این استاندارد برای لوله‌های بتنی پیش‌تنیده تحت فشار برای انتقال آب با و یا بدون استوانه فولادی و اتصالات مربوط با قطر داخلی اسمی ۵۰۰ میلی‌متر تا ۴۰۰۰ میلی‌متر کاربرد دارد. براساس این ضوابط می‌توان لوله‌هایی با اندازه بزرگتر نیز تولید کرد. این لوله‌ها را برای فشار داخلی و بارهای خارجی و شرایط بسترسازی تعریف شده توسط خریدار طراحی می‌کنند.

۳ مراجع الزامی

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

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن موردنظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها موردنظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۳-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۵۳: سال ۱۳۷۶، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی

۳-۲ آیین‌نامه بتن ایران : نشریه شماره ۱۲۰ معاونت امور پشتیبانی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

3-3 EN639:1994,Common Requirements for Concrete Pressure Pipes Including Joints and Fittings.

٤ مصالح

مصالح باید مطابق آیین‌نامه بند ۳-۲ باشد. رعایت ضوابطی به‌شرح زیر نیز ضروری است.

الف - حداکثر اندازه سنگدانه نباید از کوچکترین مقادیر زیر بیشتر باشد:

- اندازه پوشش بتن بر روی فولاد مسلح سازی
- ۰/۳۳ ضخامت جداره هسته بتنی لوله بدون استوانه فولادی
- ۰/۳۳ ضخامت جداره بتنی لوله با استوانه فولادی در هر طرف استوانه

ب - سیمان مصرفی هر قطعه می‌تواند از یک نوع و یک ترکیب بوده و در یک کارخانه تولید شده باشد.

٥ طرح و ساخت لوله

٥-١ ضوابط عمومی

٥-١-١ کلیات

٥-١-١-١ لوله بتنی پیش تنیده با استوانه فولادی

لوله‌ای است شامل یک استوانه فولادی ساخته شده از ورق که درز آن جوشی بوده و به دو انتهای آن حلقه‌های نر و ماده جوش شده است و با لایه‌ای از بتن متراکم (از جنس بتن هسته) پوشش داخلی شده و سپس با سیم تقویتی که دور استوانه فولادی پیچیده می‌شود، به صورت محیطی پیش تنیده شده تا در مقابل فشار داخلی و بارهای خارجی مقاومت کند. پس از این مرحله سطح خارجی آن برای حفاظت استوانه فولادی و سیم‌های محیطی پیش‌تنیدگی، با ملات سیمان،

پوشش خارجی می‌شود. در مورد لوله‌ها با استوانه مستغرق، هسته بتنی در دو طرف استوانه قراردارد. (به پیوست ب ، شکل ب -۱- د مراجعه شود)

لوله بتنی پیش تنیده با استوانه فولادی باید دارای ویژگی‌های اصلی زیر باشد:

- سیم‌های با کشش بالا برای پیش تنیدگی محیطی که در اطراف هسته به‌صورت یک لایه با کشش معین (میزان کشش در حدی باشد که سیم فولادی در ناحیه کشسان[1] باشد) پیچیده می‌شوند و در دو انتها به‌صورت مستحکمی مهار می‌شوند.
- یک لایه پوشش متراکم از ملات و یا بتن بر روی هسته و سیم‌ها، به‌جز قسمت‌هایی خاص از حلقه، جهت پوشش و حفاظت سطوح فولادی اعمال می‌شود.
- حلقه‌های اتصال باید به نحوی طراحی شوند که لوله‌های متصل شده به‌هم، در حین بهره‌برداری، آب بند باقی بماند.

۵-۱-۱-۲ لوله‌های بتنی پیش‌تنیده بدون استوانه فولادی

لوله‌های بتنی پیش‌تنیده بدون استوانه فولادی دارای ویژگی‌های اصلی زیر می‌باشد:

- دارای یک هسته معینی است که با میلگردهای فولادی مسلح شده است و یا به‌صورت طولی با سیم‌های فولادی با کشش بالا پیش کشیده ـ پیش تنیده گردیده و مستغرق در بتن شده است.
- دارای سیم‌های با کشش بالا برای پیش تنیدگی محیطی است که در اطراف هسته به‌صورت یک لایه با فواصل مختلف و با توجه به فشار تست کارخانه یا کارکرد خط و با کشش معین پیچیده شده‌اند و درهر دو انتها به‌صورت مستحکمی مهار شده‌اند.
- دارای یک لایه پوشش متراکم که از ملات و یا بتن بر روی سیم‌ها جهت پوشش و حفاظت می‌باشد.
- حلقه‌های اتصال به نحوی طراحی شده‌اند که لوله‌های متصل شده به‌هم، در حین بهره‌برداری، آب بند باقی بماند.

---

1 -Elastic

۵-۱-۳ لوله‌های بتنی پیش تنیده نوع یک‌پارچه

لوله‌های بتنی پیش‌تنیده نوع یک‌پارچه دارای ویژگی‌های اصلی زیر می‌باشد:

- یک لوله بتنی با سیم‌های فولادی با کشش بالا که به‌صورت طولی و محیطی، مستغرق درجداره لوله می‌باشد
- به‌صورت هم‌زمان بتن‌ریزی می‌شود. سیم‌های فولادی طولی قبل از بتن‌ریزی پیش کشیده می‌شوند.
- پیش‌تنیدگی محیطی توسط یک قفسه میلگردی از سیم‌های با کشش بالا که مستغرق در جداره لوله می‌باشد و برای انبساط هیدرولیکی تا تنش معینی پیش‌تنیده می‌گردد. این کار باید تا بتن تازه است، انجام شود.
- حلقه‌های اتصال، به نحوی طراحی شده‌اند که لوله‌های متصل شده به‌هم، درحین بهره‌برداری، آب بند باقی بماند.

۵-۱-۲ ضخامت جداره لوله

برای حداقل ضخامت جداره لوله برای انواع لوله‌های بتنی پیش تنیده به جدول ۱ مراجعه شود.

۵-۱-۳ رواداری‌ها

رواداری‌های مجاز در ابعاد و شکل هندسی باید مطابق بند ۳-۳ باشد.

جدول ۱- حداقل ضخامت جداره لوله بتنی پیش‌تنیده

ابعاد بر حسب میلی‌متر

قطر اسمی لوله	لوله با استوانه فولادی	لوله بدون استوانه فولادی	
	حداقل t_1	حداقل t_2	حداقل t_3 یک‌پارچه
۵۰۰	۵۰	۴۰	۴۵
۶۰۰	۵۰	۴۰	۴۵
۷۰۰	۵۰	۴۰	۵۰
۸۰۰	۵۰	۴۵	۵۵
۹۰۰	۵۵	۴۵	۶۰
۱۰۰۰	۶۵	۵۰	۶۵
۱۱۰۰	۷۰	۵۰	۷۰
۱۲۰۰	۷۵	۶۰	۷۵
۱۲۵۰	۷۵	۶۰	۸۰
۱۴۰۰	۸۵	۷۰	۸۵
۱۵۰۰	۹۰	۷۰	۹۰
۱۶۰۰	۱۰۰	۷۵	۹۵
۱۸۰۰	۱۱۵	۷۵	۱۰۵
۲۰۰۰	۱۲۵	۸۰	۱۱۵
۲۲۰۰	۱۳۵	۹۰	۱۲۵
۲۴۰۰	۱۴۵	۱۰۰	۱۳۵
۲۵۰۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۴۰
۲۶۰۰	۱۶۰	۱۱۰	۱۴۵
۲۸۰۰	۱۷۰	۱۲۰	۱۵۵
۳۰۰۰	۱۸۰	۱۳۰	۱۶۵
۳۲۰۰	۱۹۰	۱۴۰	-
۳۵۰۰	۲۱۰	۱۶۰	-
۴۰۰۰	۲۴۰	۱۸۰	-

t_1 = حداقل ضخامت طراحی جداره هسته لوله شامل ضخامت استوانه فولادی

t_2 = حداقل ضخامت طراحی جداره هسته لوله

t_3 = حداقل ضخامت طراحی جداره لوله

۵-۲ طرح لوله‌ها

۵-۲-۱ کلیات

لوله‌های بتنی با استوانه فولادی شامل یک استوانه فولادی با درز جوش می‌باشد که در داخل هسته بتنی قرار گرفته و سیم‌ها به‌صورت مارپیچ در اطراف آن پیچیده می‌شود. پیچیدن سیم‌ها پس از عمل‌آوری و گیرش بتن، تحت کشش معین و کنترل شده‌ای، انجام پذیرفته و حداقل ضخامت استوانه فولادی برای کلیه اقطار لوله ۱/۵ میلی متر است.

در مورد کلیه لوله‌های بتنی پیش تنیده با استوانه فولادی و یا بدون استوانه فولادی، اندازه و فاصله سیم‌های با کشش بالا و مقدار کشش پیش‌تنیدگی که سیم‌ها تحت آن کشش پیچیده می‌شوند، باید مطابق الزامات بند ۵-۲-۲ باشد. در طرح لوله‌ها باید افت ناشی از تغییر شکل‌های ارتجاعی و غیرارتجاعی منظور شود. کشش اولیه در سیم‌های با کشش بالا نباید از ۷۵ درصد مقاومت مشخصه آنها تجاوز کند.

قطر سیم‌های محیطی پیش تنیدگی نباید از ۴ میلی‌متر کمتر باشد. حداقل فاصله بین سیم‌ها در هر لایه نباید از قطر سیم کمتر باشد.

حداکثر فاصله بین محور سیم‌ها نباید از ۵۰ میلی‌متر بیشتر باشد. در مورد لوله‌های با استوانه فولادی و قطر سیم ۶ میلی‌متر و بیشتر حداکثر فاصله محور تا محور سیم‌ها نباید از ۲۵ میلی‌متر بیشتر باشد.

۵-۲-۲ الزامات طراحی

لوله‌های بتنی پیش تنیده باید به نحوی طراحی شوند که در مقابل تنش‌های خمشی وحلقوی ناشی از هرکدام از شرایط زیر مقاومت کنند:

الف ـ فشار طراحی به‌علاوه بار مرده

در این شرایط در هسته لوله نباید هیچ‌گونه کششی ایجاد شود.

ب ـ حداکثر فشار طراحی به‌علاوه ۱۰۰ کیلو پاسکال و بار مرده

در این شرایط در مورد لوله‌های با استوانه فولادی نباید کشش ایجاد شده در هسته لوله از $۰٫۳۸ \sqrt[۳]{f_{ck}^{۲}}$ و برای لوله‌های بدون استوانه فولادی نباید از $۰٫۱۳ \sqrt[۳]{f_{ck}^{۲}}$ تجاوز کند.

ج ـ فشار طراحی به‌علاوه بار مرده و بار زنده

در این شرایط در مورد لوله‌های با استوانه فولادی، کشش ایجاد شده در هسته لوله نباید از $۰٫۳۸ \sqrt[۳]{f_{ck}^{۲}}$ و برای لوله‌های بدون استوانه فولادی نباید از $۰٫۱۳ \sqrt[۳]{f_{ck}^{۲}}$ تجاوز کند.

د ـ حداکثر فشار طراحی

در این شرایط در هسته لوله هیچ‌گونه کششی نباید ایجاد شود.

مقدار $\mathbf{f_{ck}}$ مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن لوله مورد نظر برحسب مگا پاسکال می‌باشد.

تنش کششی کل هسته لوله، مجموع تنش‌های خمشی و حلقوی هسته لوله بدون اعمال ضرایب کاهش است. زمانی‌که لوله تحت آزمون هیدرواستاتیک قرار می‌گیرد (به بند ۶-۲ مراجعه شود)، در مورد لوله‌هایی که دارای پوشش خارجی از ملات یا بتن هستند عرض ترک در پوشش بتن نباید از ۰٫۱ میلی‌متر در طول ۳۰۰ میلی‌متر بیشتر باشد. این اندازه‌گیری باید مطابق بند ۶-۳-۱۰ ویژگی‌های استاندارد بند ۳-۳ باشد.

۵-۳ میلگرد گذاری

میلگردگذاری معمولی بدون پیش تنیدگی مجاز است.

۵-٤ بتن و ملات

۵-٤-۱ طرح اختلاط بتن

۵-٤-۱-۱ بتن هسته لوله

بتن هسته لوله باید حداقل دارای ۳۵۰ کیلوگرم سیمان در هر متر مکعب بتن باشد. نسبت آب به سیمان بتن باید به اندازه‌ای باشد که برای روش بتن‌ریزی موردنظر مناسب بوده و در هیچ حالتی پس از تراکم بتن، نسبت آب به سیمان نباید بیشتر از ۰٫۴۵ باشد. در مورد لوله‌های بتنی با استوانه فولادی با اقطار کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر حداکثر نسبت آب به سیمان در هسته بتنی لوله می‌تواند تا ۰٫۵ باشد. مشروط بر آنکه حداقل ۳۸۵ کیلوگرم سیمان در هر متر مکعب بتن به‌کار رفته باشد.

۵-٤-۱-۲ پوشش خارجی

پس از اینکه بر روی هسته لوله، سیم‌های پیش تنیدگی پیچیده شد، یک لایه پوشش بتنی خارجی یا ملات باید بر روی آن اجرا شود که دارای حداقل ضخامت مشخص شده در بند ۵-۵-۲ باشد. در مورد سیم‌های پیش تنیدگی چند لایه به بند ۵-۵-۳ مراجعه شود. در زمان اجرای پوشش بتن روی سیم‌های پیش تنیدگی هیچ‌گونه پوسته و یا حفره - حفره شدن[1] ناشی از زنگ‌زدگی و مواد روغنی نباید بر روی سیم های مربوط مشاهده شود.

۵-٤-۱-۳ ملات پوشش خارجی

ملات پوشش خارجی باید دارای نسبت وزنی یک به سه سیمان به سنگدانه ریز باشد. نسبت آب به سیمان ملات نباید از ۰٫۳۵ تجاوز کند. برای تراکم بتن از دستگاه‌های پرتابی[2] با سرعت بالا استفاده می‌شود که بتن را بر روی سطح هسته و یا بر روی پوشش قبلی اجرا می‌کند. درست قبل از اجرای ملات پوشش خارجی توصیه می‌شود به ازای هر متر مربع از سطح هسته، نیم لیتر دوغاب بر روی آن پاشیده شود. دوغاب مربوط باید شامل ۱٫۲ کیلوگرم سیمان در هر لیتر آب باشد.

۵-٤-۱-٤ بتن پوشش خارجی

بتن پوشش خارجی باید دارای حداقل ۴۰۰ کیلوگرم سیمان در هر متر مکعب بتن باشد. نسبت‌های سیمان، سنگدانه ریز، سنگدانه درشت، آب باید در حین پیشرفت کار تعیین وکنترل شود تا یک بتن یک‌نواخت[3] و قابل کارکردن به‌دست آید. نسبت آب به سیمان نباید از ۰٫۴۵ تجاوز کند. بتن باید تحت بسامد بالا مرتعش شود یا به روش مورد تایید دیگری متراکم گردد تا یک پوشش متراکم و با دوام، هسته مرکزی را احاطه کند.

---

1 - Pitting

۲ - Projection

3 -Homogenous

۵-٤-۲ مقاومت بتن

در زمان اعمال پیش تنیدگی محیطی باید بتن حداقل دارای مقاومت فشاری ۲۷ مگا پاسکال باشد. مقاومت فشاری بتن پس از ۲۸ روز باید حداقل ۳۵ مگا پاسکال باشد.

۵-۵ پیش تنیدگی

۵-۵-۱ پیش تنیدگی طولی

در مورد لوله‌های بتنی بدون استوانه فولادی باید هسته بتن لوله شامل سرکاسه به‌صورت طولی و در تمام طول آن تحت پیش تنیدگی قرار گیرد. فرآیند پیش تنیدگی توسط سیم‌های با کشش بالا انجام می‌شود که دارای حالت دندانه‌ای بوده و یا اینکه سیم‌ها دارای مهار دائمی بوده که در قسمت انتهایی بتن مستغرق گردیده‌اند. پیش تنیدگی طولی باید به اندازه کافی باشد، تا از ایجاد تنش کششی بیش از حد در هسته لوله به هنگام جابه‌جایی، بلندکردن، بارگذاری ویا پیش‌تنیدگی محیطی اجتناب شود. سیم‌های طولی باید تا حدکشش طراحی پیش‌تنیده شود و کلیه تلفات ناشی از تغییر شکل‌های ارتجاعی و غیرارتجاعی در آن لحاظ شود.

راه‌حل‌های دیگرمسلح‌سازی هسته با میلگردهای فولادی غیرپیش‌تنیده است تا از ایجاد تنش کششی بیش از حد در هسته لوله به هنگام جابه‌جایی، بلند کردن، بارگذاری و یا پیش تنیدگی محیطی اجتناب شود. حداقل ضخامت پوشش میلگرد که در هسته لوله مستغرق می‌باشد، به‌جز در قسمت‌های انتهایی، اتصال لوله باید ۱۵ میلی‌متر باشد.

۵-۵-۲ پیش تنیدگی محیطی

علاوه بر الزامات مندرج که در بند ۵-۴-۲ شرح داده شده است، تنش‌های فشاری القاء شده در هسته بتن در حین پیش‌تنیدگی نباید از ۵۵ درصد مقاومت فشاری بتنی لوله در آن زمان تجاوز کند. روش و تجهیزات مربوط به کارگذاری سیم‌های پیش‌تنیدگی باید به نحوی باشد که بتوان سیم‌ها را به صورت مارپیچی در اطراف هسته بتنی و با فاصله و کشش طراحی معینی پیچید. در ضمن امکان نشان دادن، کنترل و ثبت مقدار کشش سیم نیز وجود داشته باشد.

کشش توسط سیم‌ها باید حداقل برابر با کشش طراحی باشد. نوسانات عادی مقدار کشش سیم‌ها نباید بیشتر از ۱۰ درصد مقدار متوسط کشش سیم‌ها باشد و نباید بیش از ۵ درصد سیم‌ها دارای نوسانات لحظه‌ای (ناگهانی) بیش از ۱۰ درصد باشند.

وصله کردن سیم‌ها مجاز است. و اگر جایی از وصله کردن سیم‌ها استفاده شده باشد، باید مقاومت کامل سیم‌ها حاصل شود.

در مورد لوله‌های بتنی با استوانه فولادی آستردار[1] (با پوشش داخلی) باید سیم‌های پیش تنیدگی محیطی توسط یک دوغاب سیمانی پوشانده شوند. قبل از اعمال دوغاب سیمان باید پوسته‌های رنگ کارخانه و زنگ اضافی، روغن، گریس، و مواد خارجی دیگر از روی سطوح خارجی سیم پاک شده تا آماده برای دوغاب‌ریزی شود. در مورد لوله‌های بتنی یک‌پارچه باید قفسه محیطی به صورت مارپیچی و با گام طراحی ساخته شود و در قالب جاگذاری شود. فاصله آزاد بین دو سیم متوالی نباید از ۱۴ میلی‌متر کمتر باشد. در مورد دیواره لوله‌های بتنی یک‌پارچه که میلگردها در داخل آنها مستغرق می‌شوند، بتن‌ریزی باید به‌صورت یک‌پارچه انجام شده و عمل پیش تنیدگی توسط انبساط هیدرولیکی زمانی‌که بتن هنوز تازه است، حاصل شود. پیش تنیدگی هیدرولیکی باید به نحوی کنترل شود تا کشش تعیین شده مورد نیاز در سیم به‌دست آید. فشار هیدرولیکی را نباید تا بتن لوله حداقل به مقاومت ۳۲ مگا پاسکال نرسیده است از روی آن برداشت. تنش فشاری ناشی از پیش تنیدگی نباید از ۵۵ درصد مقاومت فشاری بتنی در آن زمان تجاوز کنند.

ضخامت پوشش بتنی و یا ملات روی سیم‌های پیش تنیدگی محیطی نباید حداقل از ۲۰ میلی‌متر کمتر باشد و اگر بین ۱۵ تا ۲۰ میلی متر است، باید پوشش بتن سیم‌ها تحت آزمون نفوذپذیری قرار گیرد. این آزمون مطابق بند ۶-۳ بر روی ۱ درصد از لوله‌ها اعمال می‌شود.

ترک‌های محیطی در هسته بتنی لوله ناشی از ناپیوستگی پیش تنیدگی در قسمت انتهای سرساده مجاز است، در صورتی‌که باعث عدم آب بندی اتصال لوله‌ها نشود.

---

1 -Lined

۵-۵-۳ لایه‌های متعدد

اگر لایه‌های متعددی از سیم‌های محیطی پیش تنیده به کار رفته باشد، هر لایه به‌جز لایه آخر باید مطابق با بند ۵-۴-۱ پوشش داده شود، به‌طوری‌که حداقل یک پوشش با ضخامت برابر قطر سیم بر روی هر لایه سیم تأمین شود و سپس مطابق بند ۵-۶ برای یک دوره زمانی که کمتر از هشت ساعت نباشد، عمل‌آوری می‌شود. اولین لایه سیم‌های مسلح‌سازی باید روی هسته بتنی پیچیده شود، لایه‌های بعدی نیز بر روی پوشش لایه‌های قبلی پیچیده می‌شود. ضخامت پوشش لایه آخر باید حداقل پوشش روی سطح فلز را تامین کند (طبق بند ۵-۵-۲).

۵-۶ عمل آوری

تسریع در عمل آوری مجاز است و به درجه حرارت، زمان عمل‌آوری و رطوبت اطاق عمل‌آوری بستگی دارد. روش عمل‌آوری باید مطابق ویژگی‌های استاندارد بند ۳-۳ باشد.

۶ آزمون‌های کارخانه

۶-۱ آزمون بتن

حداقل بر روی دو نمونه استوانه‌ای یا مکعبی از هر طرح اختلاط هسته بتنی لوله، آزمون مقاومت فشاری توسط سازنده انجام می‌شود.

۶-۲ آزمون هیدرواستاتیک

۶-۲-۱ کلیات

آزمون هیدرواستاتیک باید به‌نحوی اعمال شود که همه هسته پیش تنیده یا لوله را که شامل سرلاله و سر ساده نیز می‌باشد را در بر گیرد و باید دقت شود که همه هوای داخل لوله قبل از آزمون تخلیه شده و هم چنین سرعت اعمال فشار داخلی نباید از ۲۰۰ کیلو پاسکال درهر ۵ ثانیه تجاوز کند.

٦-٢-٢ لوله‌های دارای استوانه فولادی

از هر ۲۵۰ لوله تولیدی بعد از پوشش، یک لوله باید تحت آزمون هیدرواستاتیک قرار گیرد. فشار کامل هیدرواستاتیک باید برای مدت ۳ دقیقه حفظ شود و در طی این زمان هیچ‌گونه ترک یا نشتی نباید ظاهر شود (به بند ۵-۲-۲ مراجعه شود).

در صورتی‌که در آزمون هیدرواستاتیک، لوله مردود شود، باید دو لوله دیگر از همان دسته ۲۵۰ تایی تحت آزمون قرار گیرد و اگر هر دو لوله در آزمون قبول شود، آن دسته لوله مورد پذیرش قرار می‌گیرد. اگر یک یا هر دو لوله در آزمون قبول نشود، آن گاه همه لوله‌های آن دسته مردود می‌شوند، یا اینکه هر لوله در این دسته به‌صورت تکی مورد آزمون قرار گیرد تا در صورت قبولی پذیرفته شود.

٦-٢-٣ لوله‌های بدون استوانه فولادی

لوله‌های بدون استوانه فولادی قبل یا بعد از پوشش باید مورد آزمون هیدرواستاتیک قرار گیرد و فشار کامل باید حداقل مدت سه دقیقه حفظ شود و در طی این مدت ترک یا نشتی ظاهر نشود (اگر آزمون بعد از پوشش انجام گیرد به بند ۵-۲-۲ مراجعه شود). اگر نم یا رطوبت بر روی سطح لوله ظاهر شود ولی چکه نکند نشت محسوب نمی‌شود. سازنده می‌تواند لوله‌های مردود را مورد آزمون مجدد قرار دهد. اگر لوله‌ها قبل از پوشش مورد آزمون هیدرواستاتیک قرار گیرند یک لوله از هر ۲۵۰ لوله باید بعد از پوشش مورد آزمون هیدرواستاتیک قرار گیرد. در صورتی‌که در آزمون هیدرواستاتیک لوله مردود شود باید دو لوله دیگر از همان دسته ۲۵۰ تایی تحت آزمون قرار گیرد. اگر هر دو لوله در آزمون قبول شود، آن دسته لوله مورد پذیرش قرار می‌گیرد. اگر یک یا هر دو لوله در آزمون قبول نشود، آن‌گاه همه لوله‌های آن دسته مردود می‌شوند، یا اینکه هر لوله در این دسته به‌صورت تکی مورد آزمون قرار می‌گیرد تا در صورت قبولی پذیرفته شود.

٦-٢-٤ فشار آزمون

فشار آزمون هیدرواستاتیک باید به اندازه‌ای اعمال شود که تنش کششی در دیواره لوله با احتساب پیش‌تنیدگی و در زمان آزمون نزدیک به صفر شود.

۶-۳ آزمون نفوذپذیری روی پوشش

۶-۳-۱ هدف آزمون

این آزمون میزان نفوذپذیری بتن یا ملات پوشش لوله تولید شده نهایی را بدون تخریب لوله با استفاده از ابزار متعارف برای اندازه‌گیری مقدار دقیق جذب آب نمونه زیریک فشار ثابت، تعیین می‌کند.

۶-۳-۲ تواتر آزمون[1] روی لوله تولیدی

این آزمون باید بر روی یک لوله از هر دسته صد تایی انجام شود. اگر لوله انتخابی در آزمون مردود شود، باید دو لوله دیگر از همان دسته مورد آزمون قرارگیرد. اگر هر دو لوله مورد قبول قرار گرفت، تمام لوله‌های آن دسته پذیرفته است. اگر حتی یکی از لوله‌ها نیز جواب نداد، آن گاه تمام لوله‌های آن گروه مردود می‌شوند و باید برای پذیرش، کلیه لوله‌های آن دسته مورد آزمون قرار گیرد.

۶-۳-۳ لوازم و تجهیزات آزمون

لوازم مورد نیاز در آزمون به‌صورت کلی در شکل ۱ نشان داده شده است.

دقت مورد نیاز لوازم آزمون باید با گواهینامه کنترل کیفیت تایید شود.

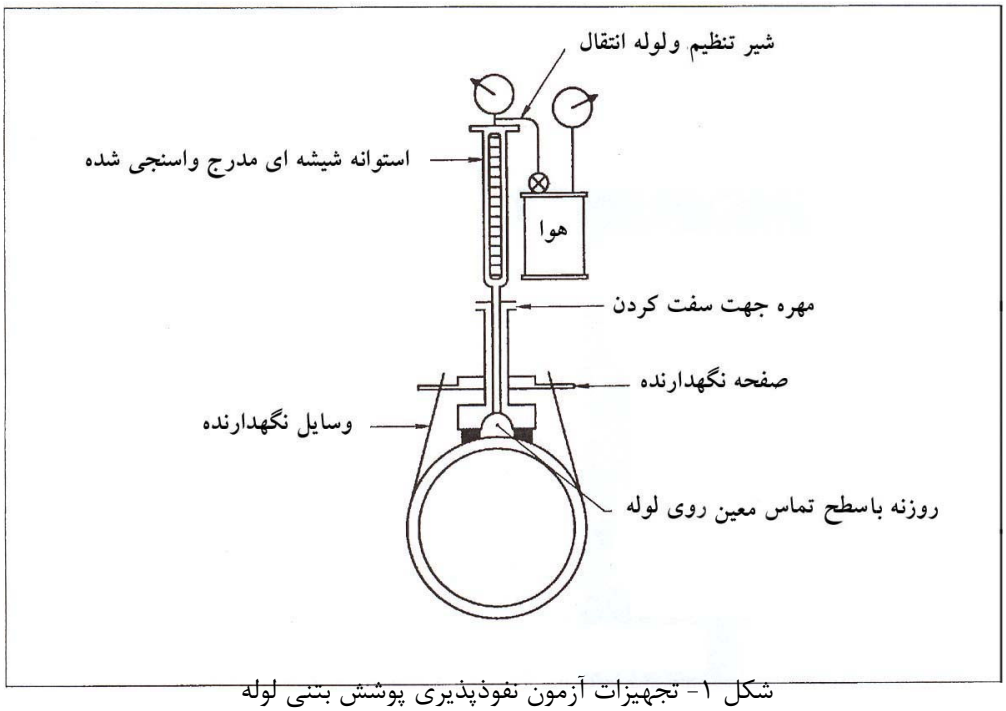
لوازم و تجهیزات آزمون شامل موارد زیر است:

- یک محفظه[2] با قابلیت ارتجاعی که به سطح بیرونی بالای لوله بسته شده است. این‌محفظه باید دارای روزنه[3] با سطح تماس معین برای تماس مستقیم بر روی سطح لوله باشد.
- استوانه شیشه‌ای[4] مدرج که به محفظه‌ای با یک فشارسنج مناسب که در بالای استوانه قرار دارد، متصل شده است.
- یک منبع هوای فشرده که فشاری معادل ۳۰۰ کیلو پاسکال را (با رواداری ۲۰ ± کیلو پاسکال) به‌صورت تنظیم شده و ثابت در بالای محفظه شیشه‌ای وارد می‌کند.

---

1 -Test Frequency
2 - Chamber
3 - Orifice
4 - Sight glass

- مقدار مناسبی از پودر رنگی قابل حل در آب با غلظت مناسب که قابل رویت بوده و در داخل استوانه بر روی سطح لوله ریخته می‌شود.
- کرنومترحداقل شش ساعته با درجه‌بندی بر حسب دقیقه



شکل ۱- تجهیزات آزمون نفوذپذیری پوشش بتنی لوله

٦-٣-٤ روش آزمون

- پوشش بتنی باید قبل از آزمون به‌طور کامل با آب اشباع شده باشد.
- آزمون باید برای شش ساعت به‌صورت مداوم انجام شود.
- لوازم آزمون باید به لوله بسته شده باشد و محفظه شیشه‌ای با رنگ پر شده باشد.
- منبع هوای فشرده باید متصل شده و کل مجموعه زیر فشار ۳۰۰ کیلو پاسکال (با رواداری ۲۰ ± کیلو پاسکال) از نظرنشتی‌کنترل شود.

- مقدار رنگ درون استوانه شیشه‌ای باید در هر ۳۰ دقیقه یک‌بار برای مدت شش ساعت زیرفشار ۳۰۰ کیلو پاسکال (با رواداری ۲۰ ± کیلو پاسکال) و تحت شرایط کامل پیوستگی هیدرولیکی رنگ با سطح لوله، اندازه‌گیری شود.

۶-۳-۵ نتایج آزمون

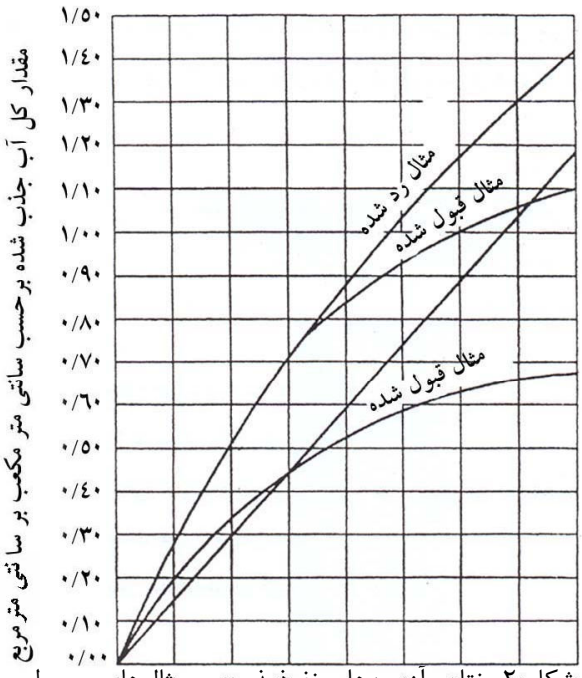
نتیجه آزمون برحسب مقدار رنگی بیان می‌شود که از استوانه شیشه‌ای در فاصله زمانی و در واحد سطح تماس رنگ با سطح لوله خارج می‌شود. مقدار رنگ استوانه شیشه‌ای برحسب سانتی‌متر مکعب و سطح روزنه برحسب سانتی‌متر مربع بیان می‌شود. در هر ۳۰ دقیقه مقدار رنگ خارج شده از استوانه شیشه‌ای اندازه‌گیری می‌شود. شیب منحنی نتایج آزمون در شکل ۲ با استفاده از معادله زیر تعیین می شود :

$$\text{شیب منحنی} = \frac{\text{مقدار رنگ خارج شده از استوانه شیشه‌ای برحسب سانتی مترمکعب در هرساعت}}{\text{مساحت روزنه محفظه روی سطح لوله بر حسب سانتی مترمربع}}$$

۶-۳-۶ معیار پذیرش آزمون

آزمون قابل قبول باید در برگیرنده موارد زیر باشد:

نسبت به دست آمده در بند ۶-۳-۵ برای یک دوره زمانی یک ساعته از دقیقه ۱۲۱ تا دقیقه۱۸۰ ، نباید از ۰/۱۵ در ساعت تجاوز کند. اگر در این دوره زمانی نسبت فوق از ۰/۱۵ بیشتر باشد، این نسبت برای دوره‌های زمانی از دقیقه ۱۲۱ تا ۲۴۰، ۳۰۰ ، ۳۶۰ ، ۴۲۰ و ۴۸۰ تعیین می‌شود، تا جواب لازم به‌دست آید. در صورتی‌که این نسبت پس از ۴۸۰ دقیقه حاصل نشود، لوله مورد آزمون مردود است.



شکل ۲۷- نتایج آزمون‌های نفوذپذیری و مثال‌های مربوط

پیوست الف

(اطلاعاتی)

ضوابط خاص برای سیم‌های فولادی با مقاومت بالا برای پیش تنیدگی لوله‌های بتنی با استوانه فولادی و یا بدون استوانه فولادی

پیش‌تنیدگی سیم‌های فولادی باید با استانداردهای معتبر مطابقت داشته باشد. به‌علاوه سیم‌های فولادی باید الزامات خاصی به شرح زیر را نیز تأمین کند.

الف – ۱ خواص مکانیکی

الف –۱-۱ ازدیاد طول

برای آزمون تأیید باید از یک دسته از یک محموله یا تولیدات هر روز کارخانه سه نمونه حداقل از سه قرقره یا کلاف مختلف نمونه‌گیری، و آزمون شود و حداقل یکی از الزامات زیر را تامین کند.

- ازدیاد طول نمونه ۲۰۰ میلی متری بر مبنای حداکثر بار

ازدیاد طول آزمونه به طول ۲۰۰ میلی‌متر عبارتست از مجموع تغییر طول پلاستیک در حداکثر بار وارده (بار وارده ابتدا به حداکثر خواهد رسید و سپس به صفر تقلیل می‌یابد) وازدیاد طول کشسان که توسط سازنده ارائه می‌شود.

حداقل ازدیاد طول بر مبنای حداکثر بار باید معادل ۳ درصد طول اولیه نمونه باشد.

- ازدیاد طول پایدار[1] به‌جز قسمت مربوط به باریک شدگی موضعی[2] برای نمونه اصلی به طول ۱۰۰ میلی‌متر

حداقل ازدیاد طول پایدار که پس از شکستن نمونه اندازه‌گیری می‌شود به‌جز در قسمت باریک شدگی باید ۲ درصد طول اولیه نمونه باشد.

---

1 - Permanent

2 - Necking

الف -۱-۲ آزمون پیچش معکوس

برای آزمون تایید باید از یک دسته از یک محموله یا تولیدات هر روز کارخانه سه نمونه حداقل از سه قرقره یا کلاف مختلف برای انجام آزمون نمونه گیری شود.

آزمون باید مطابق چرخه پیچش « ۱-۲-۱ » (طبق بند الف -۲-۲) بر روی سیم فولادی که بین دو گیره مهاری به‌فاصله ۵۰ برابر قطر اسمی سیم مهار شده، انجام شود.

تعداد چرخه‌های پیچش پس از ظاهر شدن اولین ترک باید حداقل معادل ۳ چرخه یا بیشتر باشد.

الف -۱-۳ مقاومت در مقابل شکنندگی هیدروژنی

برای «آزمون تایید» باید از یک دسته از یک محموله یا تولیدات هر روز کارخانه، شش‌استوانه که دور آن سیم پیچیده شده وحداقل از سه قرقره یا کلاف مختلف تهیه شود. (مطابق بند الف-۲-۳)

اگر زمان شکست شش استوانه بیش از ۹۰ دقیقه باشد، محموله مورد تأیید است.

اگر هر یک از استوانه‌ها زمان شکست کمتر از ۹۰ دقیقه داشته باشد، آزمون مجدداً روی شش نمونه دیگر انجام می‌شود.

- اگر متوسط زمان شکست سه نمونه از بدترین نمونه‌ها در هر یک از دو سری نمونه‌های لوله استوانه‌ای بیشتراز ۹۰ دقیقه باشد، آن دسته از محموله مورد تأیید است. با وجود این اگر در هر یک از دو سری آزمون، یک استوانه و یا بیشتر دارای زمان شکست کمتر از یک ساعت باشد، آن دسته از محموله مردود است.
- اگر متوسط زمان های شکست سه نمونه از بدترین نمونه‌ها در هر یک از دو سری نمونه کمتر از ۹۰ دقیقه باشد، آن دسته از محموله مردود است.

آزمون پس از سه ساعت متوقف می‌شود، اگر در یک سری از آزمون‌ها فقط یک یا دو نمونه استوانه شکسته شود، برای محاسبه متوسط زمان شکست تمام استوانه‌های دیگر، زمان شکست سه ساعت به‌حساب می‌آید.

الف -۲ روش های آزمون

الف -۲-۱ تغییر طول

- تغییر طول پلاستیک در حداکثر بار وارده

تغییر طول پلاستیک با نشانه‌گذاری به‌طول ۲۰۰ میلی‌متر بر روی سیم فولادی و ثبت نتیجه آزمون روی نمودار (بار، تغییر طول) تا حداکثر بار وارده انجام می‌شود. سپس میزان بارگذاری کم شده تا به‌حد صفر برسد و تغییر طول نمونه ۲۰۰ میلی‌متری اندازه‌گیری می‌شود. تغییر طول باید قبل از هر گونه باریک شدگی موضعی اندازه‌گیری شود.

- تغییر طول دائمی بدون احتساب باریک شدگی موضعی

قبل از بارگذاری، روی سیم فولادی به‌طول حداقل ۵۰۰ میلی‌متر، به فواصل ۵۰ میلی‌متری نشانه‌گذاری می‌شود. پس از بارگذاری و پاره شدن قطعه آزمون، طول جدید سیم در فاصله نشانه‌گذاری شده ۱۰۰ میلی‌متر اولیه اندازه‌گیری می‌شود. طول انتخاب شده برای اندازه‌گیری باید دورترین قسمت به محل باریک شدگی موضعی باشد.

الف -۲-۲ پیچش معکوس

آزمون باید روی یک قطعه سیم فولادی به طول حداقل ۷۰ برابر قطر سیم انجام شود.

سیم فولادی باید بین دو گیره[1] که فاصله آنها ۵۰ برابر قطر لوله است، مهار شود و یک دور کامل به سمت راست پیچانده شود، سپس دو دور به سمت چپ و مجدداً یک دور به سمت راست پیچانده شود، تا به حالت اولیه خود برگردد. این چهار دور یک چرخه کامل پیچش را تشکیل می‌دهد که به چرخه پیچش «۱-۲-۱» موسوم است. حداکثر سرعت پیچش باید یک دور در هر ۱۰ ثانیه باشد. وقتی اولین ترک قابل رؤیت به‌وجود آید، آزمون متوقف می‌شود.

الف -۲-۳ مقاومت در مقابل شکنندگی هیدروژنی (شکست هیدروژنی)

الف -۲-۳-۱ اصول آزمون

روش آزمون بدین ترتیب است که سیم فولادی با تنش یک‌نواخت در حدود و نزدیک به مقدار تنش سیم در زمان بهره‌برداری به دور استوانه‌های با قطر کم پیچیده می‌شود. این استوانه‌ها سپس در یک محلول خورنده در حالی‌که تحت تاثیر قطبی شدن کاتدی[2] است، غوطه‌ور می‌شود. این شرایط موجب آزاد شدن هیدورژن و جذب آن توسط سیم فولادی می‌شود.

---

1 - Jaw

2 - Cathodic polarization

الف -۲-۳-۲ تهیه آزمونه و روش آزمون

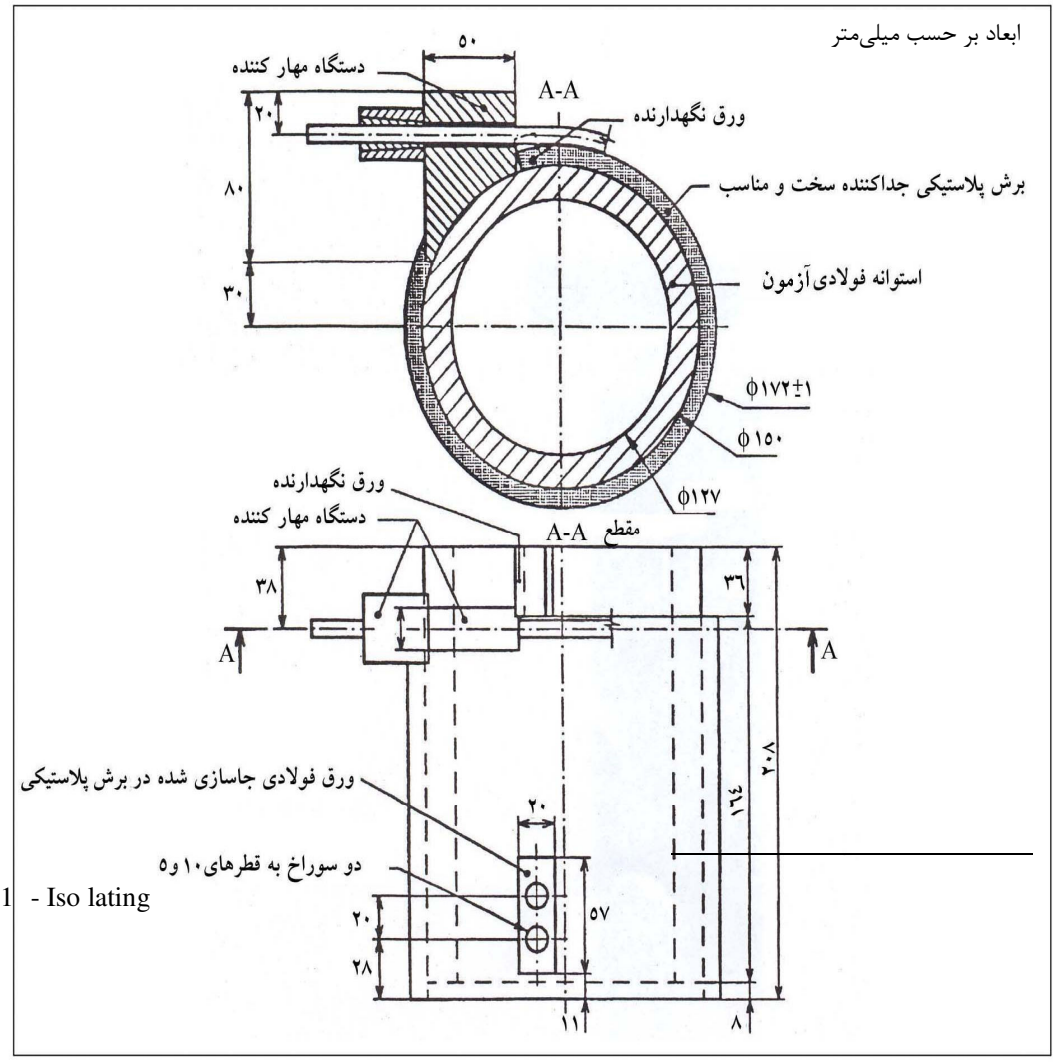
الف -۲-۳-۲-۱ آماده‌سازی آزمونه

استوانه‌ها متشکل از لوله‌های از جنس فولاد نرمه بوده که به‌طریقه سرد کشیده شده است. این استوانه‌ها داخل پلاستیک سخت به قطر خارجی ۱۷۲ میلی‌متر (روا داری ۱ ±میلی‌متر) و ضخامت ۱۱ میلی‌متر قرار داده می‌شود و از محیط خورنده جدا[1] می‌شود.

این سیستم مجهز به قسمت‌های زیر می‌باشد:

- صفحه نگهدارنده‌ای برای اعمال حرکت دورانی در موقع پیچیدن سیم فولادی به‌دور استوانه
- وسیله‌ای برای مهار کردن سیم در ابتدای پیچیدن آن
- مهار کننده‌ای که سیم را پس از پیچیده شدن مهار کند.

شکل الف – ۱ ابعاد استوانه و لوازم جانبی آنرا نشان می‌دهد.



1 - Iso lating

شکل الف -۱- جزییات استوانه آزمون

انتهای سیمی که باید مورد آزمون قرار گیرد، مجهز به یک مهار کننده است که سیم را روی استوانه نگه می‌دارد. با پیچیدن یک دور سیم روی استوانه بدون اینکه تنشی داخل آن ایجاد شود، این مهار کننده را در جای خود نگه می‌دارد. سپس سیم تحت تنش آزمون همان‌گونه که در زیر تعیین شده قرار می‌گیرد و پیچیدن آن با تنش ثابت تا ۷ دور در هر استوانه ادامه می‌یابد. پیچیدن سیم با سرعت خطی ثابت ۴۰ میلی‌متر در هر ثانیه (روا داری ۵ ± میلی‌متر) انجام می‌شود.

زمانی‌که پیچیدن سیم تکمیل شد، برای حفظ تنش داخلی، سیم درجای خود توسط پیچ‌های گیره‌ای نگهداشته می‌شود.

پس از آزاد شدن تنش در قسمت آزاد سیم این قسمت بریده می‌شود. روی سیم و استوانه نشانه‌گذاری می‌شود تا اطمینان حاصل شود که بعداً لغزشی صورت نگرفته باشد. سیم فولادی باید بیشتر از ۰/۷۵ و کمتر از ۱/۵ دور تاب[1] داشته باشد. اتصال الکتریکی، در انتهای مهار شده سیم فولادی انجام می‌شود.

شکل الف -۲ استوانه سیم پیچ شده و شکل الف -۳ اصول سیستم مورد استفاده برای پیچیدن سیم به دور استوانه را نشان می‌دهد. بعد از پیچیدن سیم، مهاری‌های نگهدارنده با مواد خمیری ضد زنگ پوشانده می‌شود تا از تماس با محلول خورنده محافظت شود.

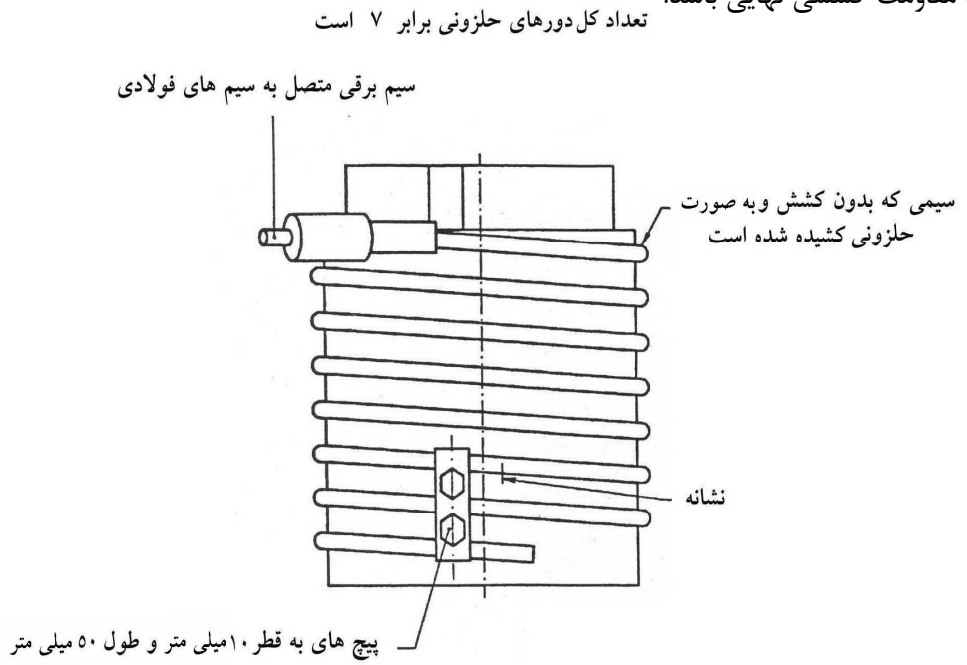
ظرف مدت زمان ۲۴ ساعت پس از پیچیدن، سیم استوانه باید به‌صورت نیمه مستغرق در یک محلول خورنده در دمای $^{oc}(2\pm18)$ نگهداری شود (به شکل الف -۴ مراجعه شود.)

---

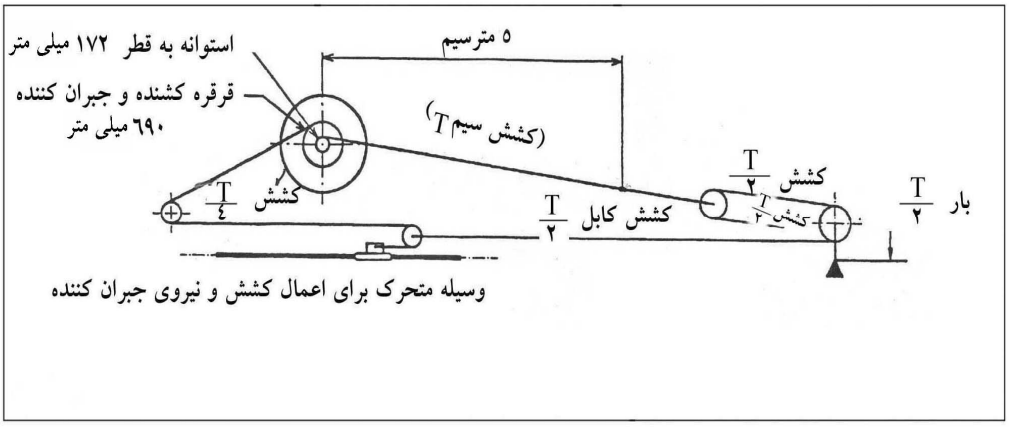
1 - Twist

الف -۲-۳-۲-۲ تنش حاصل از پیچیدن

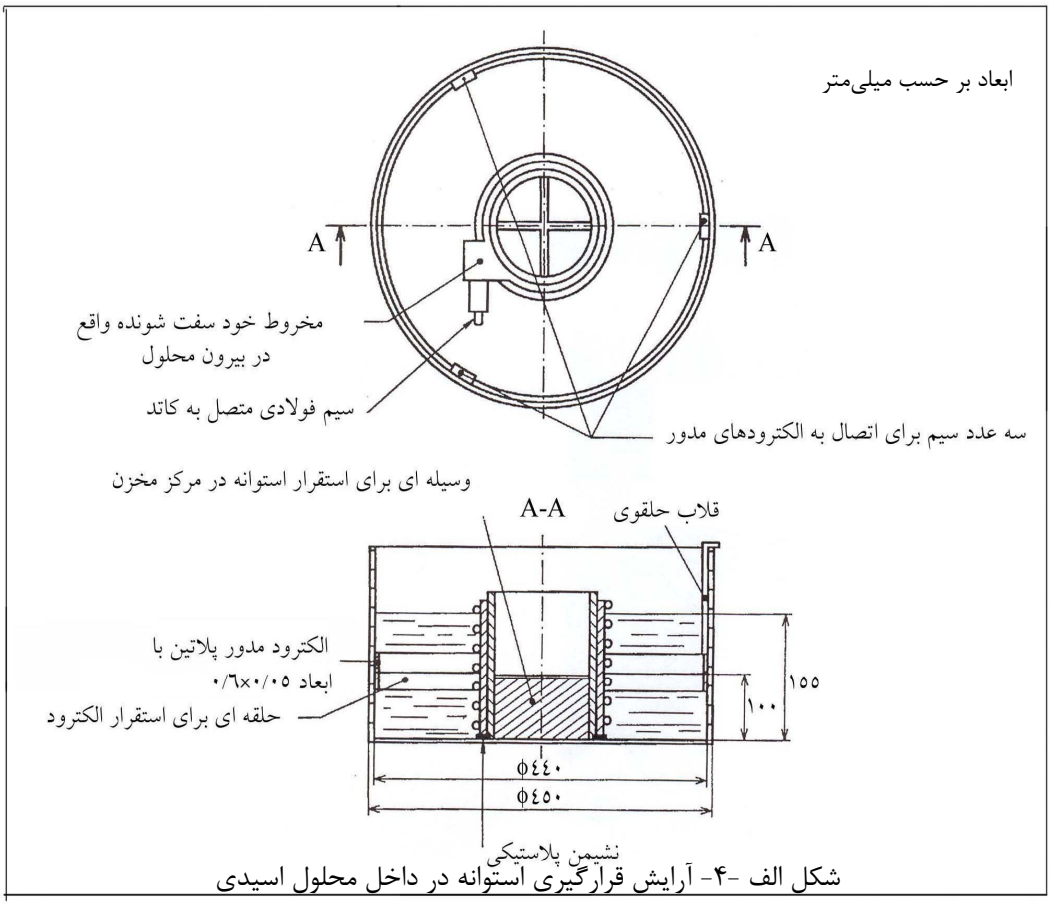
تنش حاصل از پیچیدن باید معادل ۷۵ درصد مقاومت کششی نهایی تضمین شده توسط فروشنده باشد. در صورتی‌که کشش نهایی واقعی تضمین شده، مشخص نباشد، تنش حاصل از پیچیدن باید ۷۰ درصد مقاومت کششی واقعی سیم فولادی باشد. روا داری تنش حاصل از پیچیدن باید ۱۰ ± درصد مقاومت کششی نهایی باشد.



شکل الف -۲- استوانه سیم‌پیچی شده برای آزمون



شکل الف -۳- نمونه‌ای از آرایش سیم‌پیچی استوانه‌های آزمون



شکل الف -۴- آرایش قرارگیری استوانه در داخل محلول اسیدی

الف -۲-۳-۲-۳ محلول آزمون

محلول در یک مخزن استوانه‌ای غیرعادی ومقاوم در مقابل اسید ریخته می‌شود. محلول حاوی اسید هیدروکلریک[1] $\frac{1}{2}$ نرمال تهیه می‌شود (دارای $\frac{1}{2}$ مول اسید هیدروکلریک در هر لیتر است). این محلول خالص برای تجزیه نامیده می‌شود و دارای حداکثر مواد خارجی به شرح زیر است.

مواد غیر فرار باقیمانده	کمتر از ۰/۰۰۱۰ درصد
فلزات سنگین (حسب سرب)	کمتر از ۰/۰۰۰۲ درصد
آهن (**Fe**)	کمتر از ۰/۰۰۰۵ درصد

1 - HCl

ارسنیک (**As**)	کمتر از ۰/۰۰۰۱ درصد
بروم (**Br**)	کمتر از ۰/۰۰۱۰ درصد
سولفات (SO_4)	کمتر از ۰/۰۰۰۲ درصد
مواد اکسیدان (حسب **CO**)	کمتر از ۰/۰۰۰۲ درصد
مواد احیاء کننده (حسبSO_2)	کمتر از ۰/۰۰۱۰ درصد

نرمالیته محلول باید بین ۰/۴۸ تا ۰/۵۲ شود، محلول باید حاوی ۲۰ لیتر آب مقطر دارای مقاومت الکتریکی بین ۵۰۰ اهم تا ۸۰۰ اهم باشد که بدین منظور به مقدار لازم اسید هیدروکلریک برای تهیه محلول $\frac{1}{2}$ نرمال به آن اضافه می‌شود.

محلول برای هر بار آزمون باید تعویض شود.

شکل الف-۴ اندازه مخزن و ترتیب قرار گیری استوانه در داخل محلول اسیدی را نشان می‌دهد.

آند باید به سطح محیطی داخل مخزن در ارتفاع میانی استوانه سیم پیچ شده وصل گردد. استوانه توسط وسیله مناسبی در وسط مخزن گذارده می‌شود و کف آن بر روی سطح لاستیکی قرار می‌گیرد.

الف -۲-۳-۲-۴ قطبی شدن کاتدی

به‌وسیله عبور جریان یک‌سو از داخل محلول بین آند از نوع پلاتین و کاتد که همان سیم فولادی تحت آزمون است، قطبی شدن حاصل می‌شود. جریان بلافاصله پس از قرار دادن استوانه در داخل محلول برقرار می‌گردد.

شدت جریان یکسو نباید از مقادیر تعیین شده بیشتر از ۱۰ ± درصد تغییر کند. آند و کاتد باید به تابلوی برق دستگاه یک‌سو کننده وصل شوند و مجهز به وات متر باشند تا بتوان مقدار جریان عبوری را تنظیم کرد. آند باید به سه نقطه با فاصله مساوی از هم به دیواره مخزن اتصال یابد

به‌طوری‌که توان[1] آن در همه نقاط محیطی مخزن یکسان باشد. شدت قطبی شدن کاتدی باید برابر ۱ میلی آمپر به ازای هر سانتی‌متر مربع سطح جانبی سیم غوطه‌ور در محلول باشد .

الف -۲-۳-۲-۵ مدت آزمون

مدت آزمون باید سه ساعت باشد. زمان شکستن نمونه باید ثبت شود.

الف -۲-۳-۳ نتیجه آزمون

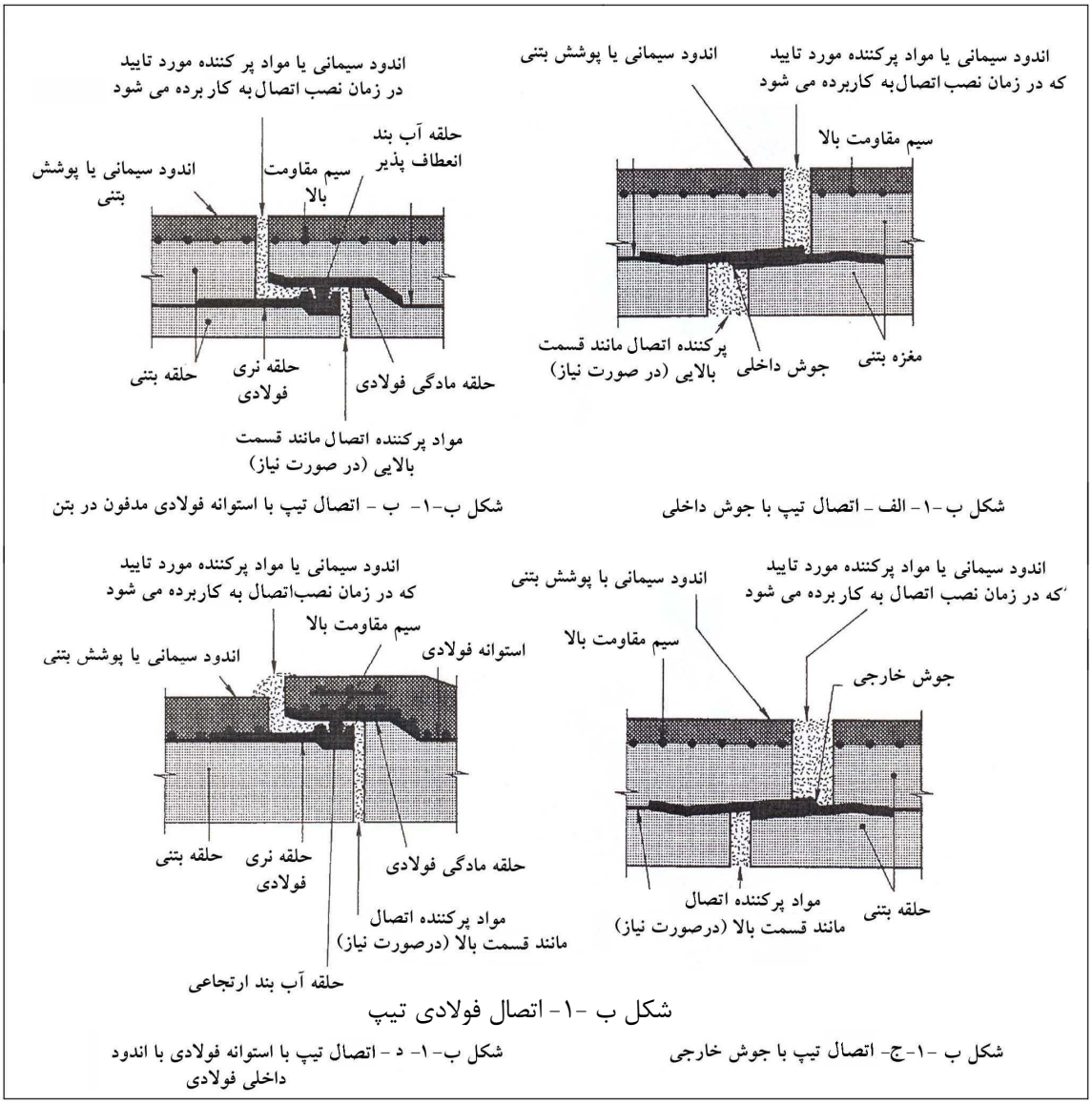
نتیجه آزمون بر مبنای زمان شکست است که از لحظه غوطه ور کردن آزمونه در محلول تا لحظه شکستن سیم فولادی پیش تنیده اندازه‌گیری می‌شود.

1 - Potential

پیوست ب

(اطلاعاتی)

اتصال‌های تیپ



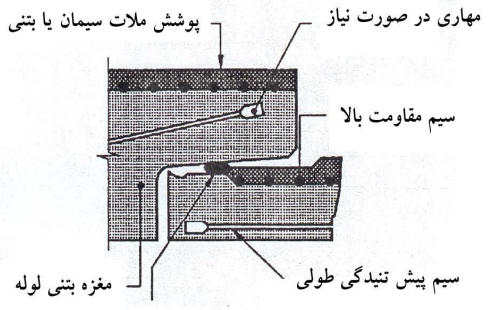
شکل ب -۱- الف - اتصال تیپ با جوش داخلی

شکل ب-۱- ب - اتصال تیپ با استوانه فولادی مدفون در بتن

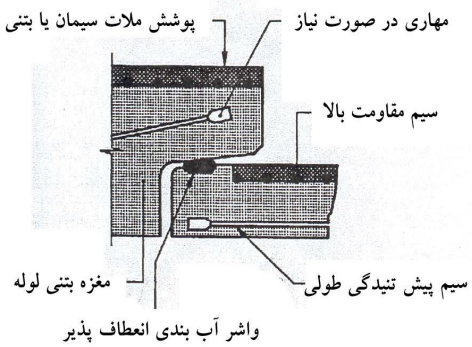
شکل ب -۱- اتصال فولادی تیپ

شکل ب -۱-ج- اتصال تیپ با جوش خارجی

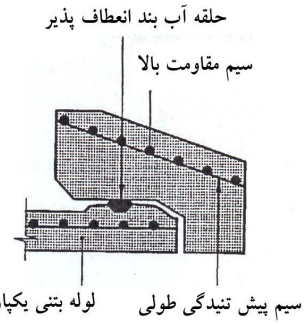
شکل ب-۱- د - اتصال تیپ با استوانه فولادی با اندود داخلی فولادی



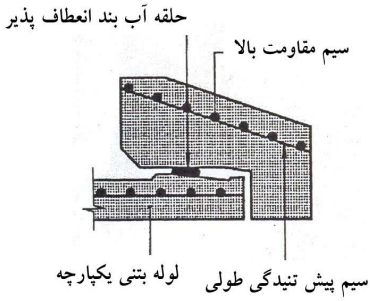
شکل ب - ۲ -الف- اتصال تیپ با واشر غلطان



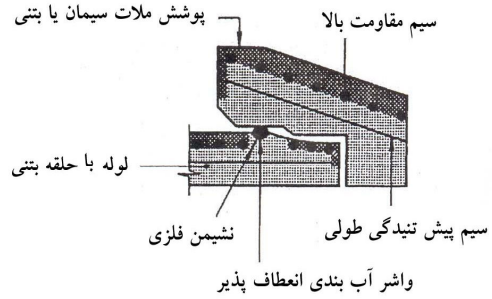
شکل ب - ۲ - ب - اتصال تیپ با واشر لغزنده



شکل ب - ۲ -ج - اتصال تیپ لوله های یکپارچه با واشر لغزه



شکل ب - ۲ - د - اتصال تیپ لوله های یکپارچه با واشر غلطان



شکل ب -۲- اتصال بتنی تیپ

شکل ب - ۲ - هـ - اتصال تیپ واشر لغزه با نشیمن فلزی برای واشر آب بندی

پیوست ج

(اطلاعاتی)

راهنمای طراحی لوله‌های بتنی پیش تنیده با استوانه فولادی

نمادها

$\mathbf{A_c}$ سطح مقطع لوله

$\mathbf{A_s}$ سطح مقطع سیم های پیش تنیده در واحد طول

$\mathbf{E_c}$ مدول کشسانی[1] مغزه بتنی

$\mathbf{E_{ci}}$ مدول کشسانی اولیه مغزه بتن

$\mathbf{E_r}$ مدول کشسانی در پوشش

$\mathbf{E_s}$ مدول کشسانی فولاد

$\mathbf{f_s}$ تنش اولیه در سیم های پیش تنیده

$\mathbf{N_{ov}}$ نیروی معمول ایجاد شده در اثر بارهای خارجی، وزن لوله و وزن آب

$\mathbf{r_c}$ شعاع خارجی مغزه

$\mathbf{r_i}$ شعاع داخلی لوله

$\mathbf{r_r}$ شعاع خارجی پوشش

$\mathbf{r_{sc}}$ شعاع داخلی استوانه فولادی

$\mathbf{t_{sc}}$ ضخامت استوانه فولادی

ε_C کرنش جمع شدگی مغزه بتنی

ε_r کرنش جمع شدگی پوشش بتن

φ_c ضریب خزش مغزه بتنی

φ_r ضریب خزش پوشش بتنی

روند محاسبه با توجه به پیش فرض‌های زیر انجام گرفته است :

- سطح مقطع سیم‌های پیش تنیده
- مشخصات هندسی لوله

1- Elasticity

- مشخصات مصالح لوله
- مقدار بیضوی شدن مناسب
- تنش‌های پیش تنیدگی

و سپس حداکثر فشار کار محاسبه می‌شود.

ضرایب معادل

$$n_i = \frac{E_S}{E_{ci}} \quad \text{و} \quad n = \frac{E_S}{E_C}, n_1 = \frac{E_S}{E_r}, n_2 = \frac{E_r}{E_c}$$

معادل شعاع خارجی مغزه $= r_{co} = r_c + (n-1)t_{sc}$

معادل شعاع خارجی پوشش $= r_{ro} = r_r + (n-1)t_{sc}$

ضرایب لازم

$$A = \frac{2r_i^2}{r_{co}^2 - r_i^2}, B = A + 1, C = A + 2$$

$$A_r = \frac{2r_{co}^2}{r_{ro}^2 - r_{co}^2}, B_r = A_r + 1, B_s = \frac{r_c}{A_s}$$

$$k = \frac{B}{B_r}$$

$$D = n_2 \times B(B_s + n_1 \times B_r) + B_r \times B_s$$

مشخصات هندسی

ضخامت معادل کل جداره لوله $= t_{ro} = (r_c + r_i) + (n-1)t_{sc} + (n-n_2)A_S + n_2(r_r - r_c)$

$$y_i = \frac{(r_c + r_i)^2}{2t_{ro}} + \frac{(n-1)t_{sc}(r_{sc} - r_i)}{t_{ro}} + \frac{(n-n_2)A_s(r_c - r_i)}{t_{ro}} + \frac{n_2(r_r - r_c)(r_r + r_c - 2r_i)}{2t_{ro}}$$

فاصله محور خنثی تا سطح داخلی مغزه

$$y_e = r_c - r_i - y_i$$

$$y_r = r_r - r_c + y_e$$

$$i_\circ = \frac{1}{12}(r_c - r_i)^3 + (r_c - r_i)\left[y_i \frac{r_c - r_i}{2}\right]^2 + (n-1)t_{sc}(r_i + y_i - r_{sc})^2 + (n-n_2)A_s y_e^2$$

$$+ \frac{1}{12}n_2(r_r - r_c)^3 + n_2(r_r - r_c)\left[\frac{r_r - r_c}{2}\right]^2$$

لنگر ماند[1] معادل سطح مقطع کل =

محاسبه تنش‌های محیطی

الف - تنش‌های کششی پدیدار شده بلافاصله بعد از سیم پیچی:

کاهش کشش اولیه در پیش‌تنیدگی به‌دلیل تغییر شکل ارتجاعی بتن $= \Delta' f_s = \frac{n_i f_s}{۴ B_s} \times \frac{r_c + r_i}{r_c - r_i}$

$$f'_s = f_s - \Delta' f_s$$

تنش کششی در سطح داخلی مغزه $= f'_{ci} = -\frac{CA_s f's}{r_c}$

تنش کششی در سطح خارجی مغزه $= f'_{ce} = -\frac{BA_s f's}{r_c}$

ب - کشش نهایی ناشی از پیش تنیدگی:

افت نهایی در فولاد ناشی از وادادگی در اثر گذشت زمان $= \Delta''_{\circ} f_s$

$$f''_s = f'_s - \Delta''_{\circ} f_s$$

$$\Delta''' f_s = \frac{2 n \varphi_c A_s B f''_s (1 - \varphi_r) - E_s \varepsilon_r (1 + \varphi_r) r_c - E_r \varepsilon_r n_2 k r_c}{2 r_c (1 + \varphi_r + n_2 k) + n A_s B (1 + \varphi_r)(2 + \varphi_c)}$$

افت تنش فولاد ناشی از جمع شدگی و خزش بتن

تنش فشاری به‌وجود آمده در پوشش $= f_1 = \frac{E_s E_r + \Delta''' f_s}{n_1 B_r (1 + \varphi_r)}$

مجموع افت نهایی تنش در فولاد $= \Delta'' f_s = \Delta''_{\circ} f_s \left[1 - 2 \frac{\Delta''' f_s}{f_s} \right]$

$$f'''s = f_s - (\Delta' f_s + \Delta'' f_s + \Delta''' f_s)$$

کشش نهایی در سطح داخلی مغزه $= f'''_{ci} = -C \left[\frac{A_s f''_s}{r_c} - f_1 \right]$

1- Moment of inertia

$$f'''_{ce} = -B\left[\frac{A_s f'''_s}{r_c} - f_1\right] =$$ کشش نهایی در سطح خارجی مغزه

ج - تنش‌های کششی به‌وجود آمده دراثر بارهای خارجی، وزن لوله و وزن آب:

$$f_{ci.ov} = \frac{N_{ov}}{t_{ro}} + \frac{M_{yi}}{\ell_\circ}$$ در سطح داخلی مغزه

$$f_{ce.ov} = \frac{N_{ov}}{t_{ro}} + \frac{M_{yr}}{\ell_\circ}$$ در سطح خارجی مغزه

د - تنش‌های کششی ناشی از فشار داخلی:

$$f_{ci.p} = BP - \frac{Cn_\gamma A}{D}(B_s + n_\gamma \times B_r)$$ در سطح داخلی مغزه

$$f_{ce.p} = AP - \frac{Bn_\gamma A}{D}(B_s + n_\gamma \times B_r)$$ در سطح خارجی مغزه

هـ - تنش کششی کل برابر است با جمع تنش حلقوی و خمش:

ترکیب تنش‌های حلقوی و خمشی ایجاد شده در هسته لوله باید برای کلیه شرایط بند ۵-۲-۲ محاسبه گردند. سطح مقطع سیم فولادی، فاصله سیم‌های محیطی پیش‌تنیدگی باید به نحوی باشد که الزامات بند ۵-۲-۲ را تأمین کند.

توجه: هنگامی که تنش‌های حلقوی محاسبه می‌شود، فقط ضخامت مغزه در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که تنش خمش محاسبه می‌شود، ضخامت دیواره برابر ضخامت مغزه و پوشش در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه بارهای خارجی، لنگر ماند و تنش‌های محوری به زیر تبصره بند ۴-۴ ویژگی‌های استاندارد بند ۳-۳ مراجعه شود .

پیوست د

(اطلاعاتی)

راهنمای طراحی لوله‌های بتنی پیش تنیده بدون استوانه فولادی

د-۱ کلیات

لوله‌های بتنی پیش تنیده بدون استوانه فولادی باید به‌نحوی طراحی شوند که در مقابل فشار داخلی (حلقوی) و فشار خارجی (خمشی) که توسط خریدار مشخص شده، مقاومت کنند و الزامات بند ۵-۲-۲ را تامین کنند.

د- ۲ روند محاسبه پیش تنیدگی محیطی

تنش‌های حلقوی باید با استفاده از معادله زیر برای هر شرط (برای هر یک از شرایط مندرج در بند ۵-۲-۲ و فشار داخلی و خارجی مشخص شده توسط خریدار) تعیین شود.

$$= \frac{PD_i}{2(A_c + nA_S)} f_{tp}$$

که در آن:

f_{tp} تنش‌کششی در دیواره لوله

P فشار (فشار طراحی یا حداکثر فشار طراحی یا فشار آزمون کارگاهی، بنا به مورد

D_i قطر داخلی لوله

A_c سطح مقطع یک دیواره مغزه در واحد طول

A_s سطح مقطع آهن در واحد طول

n = ۵ (نسبت مدول ها ..)

تنش خمشی باید با استفاده از معادله زیر برای هر شرط محاسبه شود.

$$f_{tf} = \frac{6M}{t^2}$$

که در آن:

f_{tf} تنش خمشی کششی در دیواره لوله

Mحداکثر لنگر خمشی در واحد طول با توجه به فرمول‌های شناخته شده مانند فرمول الاندر[1] محاسبه می‌شود که در آن وزن لوله، وزن آب، بارهای مرده و زنده و شرایط بستر مناسب طراحی بنا به مورد منظور شده است.

t کل ضخامت جداره

تنش کششی کل با جمع تنش‌های حلقوی و خمشی برابر است. ترکیب تنش‌های خمشی و کششی با توجه به بند ۵-۲-۲ برای دو حالت زیر نباید از $۰/۱۳\sqrt[۳]{f_{ck}^{۲}}$ تجاوز کند.

سطح مقطع سیم‌ها، کشش ایجاد شده بعد از افت (به بند **D** – ۴ رجوع شود) و فواصل سیم‌های پیش تنیده محیطی باید، با توجه به الزامات مندرج در بند ۵-۲-۲ تعیین شود.

توجه : در محاسبه تنش حلقوی، ضخامت دیواره باید برابر ضخامت مغزه در نظر گرفته شود. در هنگام محاسبه تنش خمشی بیضوی شدن ضخامت دیواره باید برابر مجموع ضخامت مغزه و پوشش منظور شود. برای محاسبه بارهای خارجی به بند ۴-۴ ویژگی‌های استاندارد بند ۳-۳ مراجعه شود .

د – ۳ الزامات محاسبه پیش تنیدگی

پیش تنیدگی طولی مورد نیاز (f_c **long**) برابر است با حداکثر مقدار به‌دست آمده در شرایط زیر:

د- ۳- ۱ لوله باید طوری طراحی شود که تنش‌های خمشی ثانویه حاصل از پیچش سیم پیچی حلقوی بدون ترک خوردن، با توجه به فرمول زیر مقاومت کند:

برحسب پاسکال ۲/۴- $\frac{f_c}{3}$ = (تنش پیش تنیدگی بعد از افت ـ به بند د ـ ۴ مراجعه شود) **long** f_c

fc تنش محیطی (به بند د- ۲ مراجعه شود)

د-۳-۲ - پیش تنیدگی در بتن (بعد از افت‌ها به بند د– ۴ مراجعه شود) نباید کمتر از ۰/۷ مگا پاسکال باشد.

---

1 -Olander

د – ۴ افت پیش تنیدگی

مجموع افت پیش تنیدگی در فولاد تنیده باید برابر مجموع اجزای زیر در هرجا که مناسب باشد، فرض شود

د – ۴- ۱ افت‌های فوری

افت‌های فوری (بعد از بتن‌ریزی) که در اثر تغییرات کشسان بتن به‌وجود می‌آید، برابر $۳/۲\,f_{ci}$ می‌باشد.

که در آن:

f_{ci} تنش اولیه در بتن می‌باشد

برای فولاد طولی نیز، هر جا که صدق نماید، افت‌های فوری (حین بتن‌ریزی) در اثر جاگذاری سرهای سیم، جمع شدن (کوتاه شدن) قالب، کش آمدن سیم به‌دلیل ریختن و متراکم کردن بتن منظور می‌شود.

$$\text{افت} = \frac{2E_s}{L}$$

مقدار E_s در زمان تنش آزاد شده[1]، 2×10^5 مگاپاسکال و

درهنگام‌کشیدن $1/93\times10^5$ مگاپاسکال‌میباشد

و با فرض L = طول موثر + ۸۰ میلی‌متر

د – ۵ افت‌های تأخیری

در غیاب داده‌های آزمون تایید شده، مقادیر زیر باید برای بتن فرض شود:

افت ناشی از جمع شدگی بتن = $۰/۰۰۰۱\,E_s$

افت ناشی از خزش بتن = $۲/۵\,f_{ci}$

افت ناشی از رهاسازی در فولاد باید دو برابر درصد رهاسازی بعداز ۱۰۰۰ ساعت که از داده‌های آزمون معتبر به‌دست آمده، فرض شود. در غیاب داده‌های آزمونی افت تنش در اثر رهاسازی باید

1 - Stress relieved

۱۶ درصد تنش پیش از افت‌های معمول تنش در سیم‌های آزاد شده، و یا ۶ درصد بـرای تـنش بـا رهاسازی پایین در سیم‌های آزاد شده و ۱۴ درصد برای سیم‌های کشیده شده فرض شود.

ICS: 23.040.50