

**مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال
پایه های خطوط هوایی انتقال نیرو
نشریه شماره ۱-۴۴۰**

وزارت نیرو - شرکت توانیر
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق
www.tavanir.ir

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
<http://tec.mporg.ir>

جمهوری اسلامی ایران

**مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال
پایه های خطوط هوایی انتقال نیرو
نشریه شماره ۱-۴۴۰**

وزارت نیرو - شرکت توانیر
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق
www.tavanir.ir

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
<http://tec.mporg.ir>



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

شماره:	۱۰۰/۱۱۰۶۰۲
تاریخ:	۱۳۸۷/۱۱/۲۰
بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	
موضوع:	
مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - پایه‌های خطوط هوایی انتقال نیرو	
<p>به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۴۰ دفتر نظام فنی اجرایی، در دو جلد با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - پایه‌های خطوط هوایی انتقال نیرو (جلد اول) و (جلد دوم)» از نوع گروه دوم ابلاغ می‌شود.</p> <p>شایسته است دستگاه‌های اجرایی و مهندسان مشاور مفاد نشریه یاد شده، ضوابط و معیارهای مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کاری خود - در طرح‌های عمرانی مورد استفاده قرار دهند.</p> <p>امیر منصور برقی معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور</p> 	

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، **از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی،**

مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

سازمان مرکزی - تهران ۱۱۴۹۹۴۳۱۴۱ - خیابان صفی علی شاه

<http://tec.mporg.ir>

بسمه تعالی

پیشگفتار

در اجرای ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور و به منظور تعمیم استانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع نیروی برق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور (معاونت نظارت راهبردی - دفتر نظام فنی اجرائی) با همکاری وزارت نیرو - شرکت توانیر در قالب طرح «ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق» اقدام به تهیه مجموعه کاملی از استانداردهای مورد لزوم نموده است.

نشریه حاضر با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - پایه‌های خطوط هوایی انتقال نیرو - جلد اول» در برگیرنده ضوابط مربوط به طراحی، ساخت و نصب انواع پایه‌های خطوط هوایی انتقال نیرو شامل برج‌های مشبک فولادی، تیرهای فولادی، تیرهای بتنی و پایه‌های مهاری می‌باشد. این مباحث مشتمل بر مشخصات فنی مصالح تشکیل دهنده انواع پایه‌ها، مراحل مختلف طراحی و ساخت، ملاحظات طراحی، بازرسی و نگهداری، صفحات علائم و مشخصات، آزمون‌های استاندارد کارخانه‌ای، روش‌ها و دستورالعمل‌های اجرائی نصب، نقشه‌ها و مدارکی که سفارش دهندگان باید ارائه نمایند و همچنین نقشه‌ها و مدارکی که پیمانکاران باید تحویل نمایند، می‌باشد که به دو زبان فارسی و انگلیسی تهیه و تدوین شده است.

معاونت نظارت راهبردی به این وسیله از کوشش‌های دست‌اندرکاران به ثمر رسیدن این نشریه و همچنین سازمان‌ها و شرکت‌های مهندسی مشاور که با اظهارنظرهای سازنده خود این معاونت را در جهت غنا بخشیدن به آن یاری نموده‌اند سپاسگزاری و قدردانی نموده و توفیق روزافزون آنان را از درگاه ایزد یکتا آرزومند است.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۷

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها و خطوط فوق توزیع و انتقال - پایه های

خطوط هوایی انتقال نیرو - نشریه شماره ۱- ۴۴۰

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسين مشاور نیرو با همکاری آقایان مهندسين حامد نفیسی، پوریا معقولى، شهرام کاظمی و دکتر عارف درودی تهیه و تدوین شده است و توسط آقای اسماعیل زارعی مورد ویراستاری قرار گرفته است.

کمیته فنی

این نشریه همچنین در کمیته فنی طرح با مشارکت مجری و مشاور طرح و نمایندگان شرکت‌های مهندسی مشاور تحت پوشش وزارت نیرو به شرح زیر بررسی، اصلاح و تصویب شده است.

وزارت نیرو - سازمان توانیر - مجری طرح	آقای مهندس جمال بیانی
توانیر دفتر فنی تولید	آقای مهندس علیرضا اسحاقیان راد
سازمان توسعه برق ایران	آقای مهندس بهمن الله مرادی
مهندسين مشاور نیرو	آقای دکتر عارف درودی
شرکت مشانیر	آقای مهندس محمد شکاری خادملو
شرکت مشانیر	آقای مهندس رضا صائمی
مهندسين مشاور قدس نیرو	آقای مهندس سید حسن عرب اف
سازمان توسعه برق ایران	آقای مهندس بهروز قهرمانی
مشاور معاون هماهنگی و نظارت بر بهره برداری سازمان توانیر	آقای مهندس اباذر میرزایی
پژوهشگاه نیرو	آقای مهندس سید جمال الدین واسعی
مهندسين مشاور قدس نیرو	آقای مهندس امیر رضا یزدان دوست
وزارت نیرو - سازمان توانیر - دبیر کمیته فنی طرح	آقای مهندس احسان الله زمانی

مسئولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفتر نظام فنی اجرائی به عهده آقایان مهندسين محمدرضا طلاکوب و پرویز سیداحمدی بوده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- کلیات	۳
۲- برج‌های مشبک فولادی	۵
۱-۲- مصالح	۵
۲-۲- تهیه و آماده‌سازی قطعات فلزی	۵
۱-۲-۲- جداسازی قطعات	۵
۲-۲-۲- حدود مجاز خمش	۶
۳-۲-۲- سوراخ‌کاری	۶
۳-۲- حد اقل ابعاد	۷
۴-۲- پوشش سطوح فلزی	۷
۱-۴-۲- کلیات	۷
۲-۴-۲- پوشش شیمیایی (رنگ)	۸
۳-۴-۲- گالوانیزه کردن	۸
۴-۴-۲- استفاده از فولاد هوازده	۱۱
۵-۴-۲- فلز کاری	۱۱
۶-۴-۲- محافظت از فلز در محل دفن در زمین	۱۲
۵-۲- اتصالات	۱۲
۶-۲- اجرای اعضای کششی	۱۲
۷-۲- تجهیزات صعود	۱۲
۸-۲- صفحه علائم و مشخصات	۱۳
۱-۸-۲- اعلام خطر	۱۳
۲-۸-۲- صفحه مشخصات پایه و خط	۱۳
۳-۸-۲- صفحه علائم هوایی	۱۳
۹-۲- نقشه‌ها و مدارک	۱۴
۱-۹-۲- مدارکی که باید پیشنهاد دهندگان ارائه نمایند	۱۴
۲-۹-۲- مدارکی که باید پیمانکار یا سازنده ارائه نماید	۱۴
۱۰-۲- دستورالعمل‌های اجرایی	۱۸
۱-۱۰-۲- حمل و انبار کردن تجهیزات	۱۸
۲-۱۰-۲- مونتاز و نصب برج	۱۸
۳-۱۰-۲- تصحیحات کارگاهی	۲۰
۳- تیرهای فولادی	۲۱
۱-۳- انحرافات مجاز در ساخت	۲۱

- ۲۱..... ۳-۱-۱- بدنه تیر
- ۲۲..... ۳-۱-۲- بازوها
- ۲۲..... ۳-۱-۳- اتصال لغزشی در بدنه تیر
- ۲۲..... ۳-۱-۴- اتصال بازوها و سایر ملحقات
- ۲۲..... ۳-۲- تجهیزات صعود
- ۲۲..... ۳-۳- نقشه‌ها و مدارک
- ۲۳..... ۳-۴- دستورالعمل‌های اجرایی
- ۲۳..... ۳-۴-۱- حمل و نقل و نصب تیر
- ۲۳..... ۳-۴-۲- مونتاژ اتصالات لغزشی
- ۲۳..... ۳-۴-۳- مونتاژ اتصالات پیچی
- ۲۴..... ۳-۴-۴- انحرافات مجاز در نصب
- ۲۴..... ۴- تیرهای بتنی
- ۲۴..... ۴-۱- ملاحظات طراحی
- ۲۴..... ۴-۲- مصالح
- ۲۴..... ۴-۲-۱- سیمان
- ۲۵..... ۴-۲-۲- سنگدانه
- ۲۵..... ۴-۲-۳- آب
- ۲۶..... ۴-۲-۴- افزودنی‌ها
- ۲۶..... ۴-۲-۵- فولاد
- ۲۷..... ۴-۳- مقاومت بتن
- ۲۷..... ۴-۴- پوشش بتنی
- ۲۷..... ۴-۵- خاموت‌ها
- ۲۷..... ۴-۶- اختلاط بتن
- ۲۷..... ۴-۷- بتن‌ریزی
- ۲۸..... ۴-۸- عمل‌آوری
- ۲۸..... ۴-۸-۱- عمل‌آوری به کمک آب
- ۲۸..... ۴-۸-۲- عمل‌آوری به کمک بخار آب
- ۲۸..... ۴-۹- پیش‌تنیدگی
- ۲۹..... ۴-۱۰- قالب‌بندی
- ۲۹..... ۴-۱۱- پرداخت سطح رویه
- ۲۹..... ۴-۱۲- خطا در ساخت
- ۲۹..... ۴-۱۲-۱- طول
- ۲۹..... ۴-۱۲-۲- سطح مقطع
- ۲۹..... ۴-۱۲-۳- انحراف از محور طولی
- ۲۹..... ۴-۱۲-۴- جرم

- ۳۰-۴-۱۲-۵- جایگذاری آرماتورها و تاندن‌ها ۳۰
- ۳۰-۴-۱۲-۶- سوراخ‌ها ۳۰
- ۳۰-۴-۱۳-۱۳- آزمون‌ها ۳۰
- ۳۰-۴-۱۳-۱- آزمون تعیین مقاومت فشاری بتن ۳۰
- ۳۰-۴-۱۳-۲- آزمون بارگذاری تیرها ۳۰
- ۳۱-۴-۱۴- شرایط رد تیرهای ساخته‌شده ۳۱
- ۳۱-۴-۱۵- نقشه‌ها و مدارک ۳۱
- ۳۱-۴-۱۵-۱- مدارکی که باید پیشنهاددهندگان ارائه نمایند ۳۱
- ۳۲-۴-۱۵-۲- مدارکی که باید پیمانکار یا سازنده ارائه نماید ۳۲
- ۳۳-۵- پایه‌های مهارى ۳۳
- ۳۳-۵-۱- ملاحظات طراحی ۳۳
- ۳۳-۵-۲- بازرسی و نگهداری ۳۳
- ۳۳-۵-۳- دستورالعمل‌های اجرایی ۳۳
- ۳۴-۵-۱-۳- ملاحظات ساخت ۳۴
- ۳۴-۵-۲-۳- تیرهای مهارى ۳۴
- ۳۴-۵-۱-۲-۳- روش‌های جای‌گذاری ۳۴
- ۳۴-۵-۲-۲-۳- نصب مهارها ۳۴
- ۳۵-۵-۳-۳- قاب‌های صلب و برجهای مشبک مهارى ۳۵
- ۳۵-۵-۱-۳-۳- روش‌های جای‌گذاری ۳۵
- ۳۵-۵-۲-۳-۳- نصب به کمک جرتقیل ۳۵
- ۳۵-۵-۳-۳-۳- نصب به کمک بالگرد ۳۵
- ۳۶-۵-۴-۳-۳- نصب مهارها ۳۶
- ۳۷-۵-۴-۳- اتصال مهار به سازه ۳۷
- ۳۷-۵-۵-۳- تجهیزات کشش مهار ۳۷
- ۳۷-۵-۶-۳- انحرافات مجاز نصب ۳۷
- ۳۷-۵-۱-۶-۳- تیرهای ساده و H شکل مهارى ۳۷
- ۳۷-۵-۲-۶-۳- قاب‌های صلب و برج‌های مشبک مهارى ۳۷
- ۳۸-۵-۷-۳- ساخت تکیه‌گاه تزریقی جهت اتصال مهار به زمین ۳۸

مشخصات فنی عمومی و اجرایی

پایه‌های خطوط انتقال نیرو

۱- کلیات

این مشخصات و دستورالعمل، نیازمندیهای لازم برای مقادیر نامی، مصالح تشکیل دهنده، طراحی، ساخت و آزمون پایه‌های متداول مورد استفاده در خطوط هوایی انتقال نیرو را ارائه می‌نماید. پایه‌های خطوط می‌بایستی براساس نیازمندیهای آخرین تجدیدنظر استانداردهای ذیل و نشریات و مراجع مندرج در این استانداردها، طراحی، ساخته و مورد آزمون قرار گیرند:

- استاندارد ACI شماره ۳۱۸: آیین‌نامه طراحی سازه‌های بتن آرمه.
- استاندارد ASCE شماره ۹۷-۱۰: طراحی برج‌های فولادی مشبک خطوط انتقال.
- استاندارد ASTM شماره A36: فولاد کربن دار سازه‌ای.
- استاندارد ASTM شماره A82: سیم‌های فولادی و ساده برای مسلح کردن بتن.
- استاندارد ASTM شماره A123: اعمال پوشش روی بر روی آهن و فولاد به روش گالوانیزه گرم و عمیق.
- استاندارد ASTM شماره A143: ملاحظات مربوط به تردی قطعات فولادی گالوانیزه‌شده گرم و عمیق و روند تعیین تردی.
- استاندارد ASTM شماره A242: فولاد سازه‌ای کم آلیاژ مقاومت بالا.
- استاندارد ASTM شماره A370: روش‌ها و تعاریف آزمون‌های مکانیکی محصولات فولادی.
- استاندارد ASTM شماره A384: ملاحظات مربوط به تابیدگی و اعوجاج مجموعه‌های فولادی هنگام گالوانیزه کردن گرم و عمیق.
- استاندارد ASTM شماره A385: آماده سازه پوشش روی گرم و عمیق با کیفیت بالا.
- استاندارد ASTM شماره A394: پیچ‌های لخت و پوشش داده شده با روی برای برج‌های فولادی خطوط انتقال.
- استاندارد ASTM شماره A416: تاندن‌های هفت رشته‌ای بدون پوشش برای بتن پیش تنیده.
- استاندارد ASTM شماره A421: سیم‌های فولادی آزاد و بدون پوشش برای بتن پیش تنیده.
- استاندارد ASTM شماره A475: سیم‌های رشته‌ای فولادی با پوشش روی.
- استاندارد ASTM شماره A529: فولاد کربن _ منگنز مقاومت بالا با کیفیت سازه‌ای.
- استاندارد ASTM شماره A563: مهره‌های فولادی کربن دار و آلیاژی.
- استاندارد ASTM شماره A572: فولاد سازه‌ای کلوئیدیوم _ وانادیوم کم آلیاژ مقاومت بالا.

- استاندارد ASTM شماره A588: فولاد سازه‌ای کم آلیاژ مقاومت بالا با حداقل تنش تسلیم ۵۰ksi (۳۴۵ مگاپاسکال) و حداکثر ۴ اینچ (۱۰۰ میلی‌متر) ضخامت.
- استاندارد ASTM شماره A606: ورق‌ها و تسمه‌های فولادی کم آلیاژ مقاومت بالا، گرم نورد شده و سرد نورد شده، با مقاومت بهبودیافته در برابر خوردگی.
- استاندارد ASTM شماره A615: میلگردهای فولادی ساده و آج‌دار برای مسلح کردن بتن.
- استاندارد ASTM شماره A641: سیم‌های فولادی کربن‌دار پوشش داده شده با روی (گالوانیزه شده)
- استاندارد ASTM شماره A722: میلگردهای فولادی مقاومت بالا و پوشش نشده برای بتن پیش‌تنیده.
- استاندارد ASTM شماره A931: روش آزمون کشش سیم‌های مفتولی و رشته‌ای.
- استاندارد ASTM شماره A1008: ورق فولادی سرد نورد شده، کربن‌دار، سازه‌ای، کم آلیاژ مقاومت بالا و کم آلیاژ مقاومت بالا با شکل‌پذیری اصلاح شده.
- استاندارد ASTM شماره A1011: ورق و نوار فولادی گرم نورد شده، کربن‌دار، سازه‌ای، کم آلیاژ مقاومت بالا با شکل‌پذیری اصلاح شده.
- استاندارد ASTM شماره C31: ساخت و عمل‌آوری نمونه‌های بتن در کارگاه.
- استاندارد ASTM شماره C33: مصالح سنگی بتن.
- استاندارد ASTM شماره C39: روش آزمون برای مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای بتنی.
- استاندارد ASTM شماره C42: روش تهیه و آزمایش مغزه و تیرهای اره شده بتنی.
- استاندارد ASTM شماره C94: بتن آماده.
- استاندارد ASTM شماره C150: سیمان پرتلند.
- استاندارد ASTM شماره C172: نمونه‌گیری از مخلوط بتن تازه.
- استاندارد ASTM شماره C260: افزودنی هوازا برای بتن.
- استاندارد ASTM شماره C330: سنگدانه سبک برای بتن سازه‌ای.
- استاندارد ASTM شماره C403: روش آزمون برای زمان گیرش مخلوط بتن به کمک مقاومت در برابر نفوذ.
- استاندارد ASTM شماره C494: افزودنی‌های شیمیایی برای بتن.
- استاندارد ASTM شماره C595: سیمان‌های هیدرولیکی مخلوط.
- استاندارد ASTM شماره C618: خاکستر بادی زغال و پوزولان طبیعی آهکی یا خام.
- استاندارد ASTM شماره C935: ملزومات عمومی برای تیرهای بتنی پیش‌تنیده، بتن‌ریزی شده بصورت ساکن.
- استاندارد ASTM شماره C1089: تیرهای بتنی پیش‌تنیده، بتن‌ریزی شده به صورت دوار.
- استاندارد ASTM شماره E376: اندازه‌گیری ضخامت پوشش به کمک میدان مغناطیسی یا جریان گردابی.

- استاندارد ANSI/AWS شماره D1.1: آیین‌نامه جوشکاری سازه‌ای.
 - استاندارد IEC شماره ۶۰۶۵۲: آزمون بارگذاری سازه‌های خط انتقال.
 - نشریه شماره ۱۲۰ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور: آیین‌نامه بتن ایران «آبا»
 - نشریه شماره ۲۲۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور: آیین‌نامه جوشکاری ساختمانی ایران.
 - استاندارد ایران شماره ۲۷۶۱: آیین کاربرد، حفاظت و انبارکردن سیمان در کارگاه‌های ساختمانی.
 - مجموعه استاندارد رنگ و پوشش تجهیزات صنعت برق.
 - طراحی عمومی خطوط هوایی انتقال نیرو (از مجموعه استاندارد حاضر).
- سایر استانداردهای معتبر ملی یا بین‌المللی دیگر نیز به شرط تایید کارفرما و در صورتیکه جزئیات آنها با استانداردهای ذکرشده سازگار باشد، پذیرفته خواهد شد.

پیشنهاد دهنده موظف است در پیشنهاد خود اطلاعات کافی و لازم را بگنجاند، تا ارزیابی صحیح آن، باتوجه به این مشخصات فنی، امکان‌پذیر گردد. اگر پیشنهاد بر مبنای استانداردهایی غیر از موارد ذکرشده باشد، ارائه دهنده آن می‌بایستی دو نسخه از استانداردهای مذکور را همراه با توضیح و توجیه کتبی تفاوت‌های موجود، به کارفرما تسلیم کند.

۲- برج‌های مشبک فولادی

۱-۲- مصالح

روابط ارائه شده در این نشریه برای فولادهایی با تنش تسلیم حداکثر ۴۴۸ MPa (۶۵ ksi) و نسبت $\frac{F_u}{F_y} \geq 1/15$ قابل کاربرد است. در رابطه فوق F_y تنش تسلیم و F_u تنش نهایی فولاد می‌باشند. نسبت فوق به دلیل شکل‌پذیری مناسب سازه و جلوگیری از گسیختگی ترد اعضا در هنگام رسیدن به شرایط حدی می‌باشد.

مصالحی که به طور معمول برای پیچ‌ها به کار می‌روند، مطابق استاندارد ASTM A394 و مصالح مورد استفاده در مهره‌ها مطابق استاندارد ASTM A563 می‌باشند.

۲-۲- تهیه و آماده‌سازی قطعات فلزی

۱-۲-۲- جداسازی قطعات

الف_ برش با ماشین: مصالحی که دارای لبه صاف هستند، می‌توانند بوسیله ماشین برش به ابعاد مورد دلخواه درآیند. می‌بایستی دقت شود تا از ترک خوردگی و بروز سایر معایب در لبه برش‌خورده جلوگیری شود. به منظور حصول به یک برش مناسب، لازم است

محدودیت اندازه مقطع و طول برش مدنظر قرار گیرد. هرگونه برآمدگی بوجود آمده در صورتیکه از نظر سازه‌ای مخرب باشد و یا تهدیدی برای ایمنی به شمار آید، باید برطرف شود.

برش با شعله: لبه‌های منحنی و مقاطعی که برش آنها بوسیله ماشین غیرعملی است و همچنین لبه‌هایی که باید جوش داده شوند، می‌توانند به این طریق بریده شوند. لازم است درخصوص بروز ترک و سایر معایب در لبه برش خورده قطعه دقت لازم صورت گیرد. کلیه ضایعات فلز که در محل باقی مانده‌اند باید برطرف شوند. در صورت امکان بهتر است مشعل با روش‌های مکانیکی هدایت شود. لبه‌هایی که برای جوش آماده می‌شوند و یا تحت تنش قرار دارند باید از وجود دندان‌های تیز پاک شوند.

اره کردن: فولاد می‌تواند با اره نواری رفت و برگشتی، اره دایروی و یا اره اصطکاکی برش داده شود.

چکش کاری: لبه‌های برش شده بوسیله ماشین و یا شعله، می‌توانند بوسیله چکش کاری بهبود یابند. این کار تنها در مواقعی مانند نیاز به لبه صاف‌تر، محدودیت بیشتر انحرافات و یا شیارهای خاص برای جوش مورد نیاز خواهد بود.

۲-۲-۲- حدود مجاز خمش

محدودیت خم‌ها در قطعات فولادی معمولاً بوسیله نسبت شعاع داخلی خمش به ضخامت عضو بیان می‌شود. برخی از پارامترهایی که در محدودیت برای یک ورق خاص مؤثرند، عبارتند از زاویه و طول خم، خصوصیات مکانیکی و جهت نورد نهایی ورق، آماده‌سازی لبه آزاد در خط خمش و دمای فلز. لازم است دقت لازم صورت گیرد تا در حین خم کردن قطعه و یا پس از آن و در زمان حضور تنش‌های پسماند، مقطع به خصوص دو انتهای آزاد آن دچار ترک خوردگی نشود.

خمش سرد معمولاً روی قطعاتی با انحنا ساده و با زاویه کم صورت می‌گیرد. در این روش حتی اگر دقت لازم برای جلوگیری از ترک خوردگی صورت گیرد، مقاومت مقطع در برابر شکست ترد کاهش خواهد یافت.

در خمش گرم لازم است فولاد تا دمای ۷۶۰ تا ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شود. برای قطعاتی با زاویه متوسط و انحنای مرکب، استفاده از روش گرم الزامی می‌باشد. قطعاتی که باید در شیب‌های متفاوت خمیده شوند باید بریده شده و سپس جوش داده شوند. آماده‌سازی مخصوص و علائم جوش در این موارد باید در نقشه‌های اجرایی مشخص شوند.

۲-۲-۳- سوراخ کاری

سوراخ‌های پانچ شده یا مته‌زنی شده و یا سوراخ‌های ایجاد شده با شعله روی عضو، نباید بیش از یک میلی‌متر از محل واقعی آنها که در نقشه آمده، فاصله داشته باشند. قبل از آغاز ساخت، روش ساخت و روند کنترل کیفیت سازنده می‌بایستی بررسی شده و تایید گردد.

پانچ کردن: سوراخ‌هایی که در ورق‌های نازک مورد نیازند، می‌توانند با این روش ایجاد شوند. این روش می‌بایستی هنگامی که ضخامت ورق از قطر سوراخ مورد نظر بیشتر نباشد. در صورتیکه فلز گالوانیزه شده باشد، باید درخصوص شکننده کردن فولاد مطابق با ضوابط استانداردهای ASTM A123 و ASTM A143 توجه لازم صورت گیرد. سوراخ‌ها باید صاف و استوانه‌ای بوده و هیچ‌گونه ضایعات فلز و گودشدگی در آن وجود نداشته باشد.

مته‌زنی: سوراخ‌ها با هر قطری و هر ضخامتی می‌توانند بوسیله روش مته‌زنی ایجاد شوند.

سوراخ‌کاری با شعله: در این روش شعله باید با روش‌های مکانیکی کنترل شود و دقت لازم صورت گیرد تا لبه‌های برش‌شده به صورت قابل قبولی صاف بوده و برای انتقال تنش مناسب باشند. کلیه ضایعات فلز که در محل وجود دارد باید برطرف شوند.

۲-۳- حداقل ابعاد

حداقل ضخامت لازم برای پایه‌های اصلی و وترهای بازوها ۵ میلی‌متر و برای سایر اعضا ۳ میلی‌متر می‌باشد. همچنین ضخامت ورق‌های اتصال نباید کمتر از ۵ میلی‌متر اختیار شود. این ابعاد فقط برای فولاد است و شامل ضخامت لایه پوشش محافظ نمی‌شود. قطر پیچ‌های مورد استفاده نباید کمتر از ۱۲ میلی‌متر در نظر گرفته شوند. در صورتیکه از پیچ‌هایی با ابعاد مختلف استفاده می‌شود، بدون توجه به جنس آنها، اختلاف قطر نامی آنها نباید کمتر از ۳ میلی‌متر باشد. حداقل فواصل پیچ‌ها و حداقل ابعاد لبه و انتهای ورق نباید ضمن نورد و یا سایر روش‌های ساخت تقلیل یابند. حداقل ابعاد لازم بعد از ساخت قطعه می‌بایستی مطابق نقشه‌ها باشد.

۲-۴- پوشش سطوح فلزی

۲-۴-۱- کلیات

پوشش سطوح باعث محافظت از مصالح اصلی سازه در برابر خوردگی در شرایط جوی شده و به منظور زیبایی بیشتر نیز به کار می‌رود. سازه باید به کمک یکی از روش‌های پوشش شیمیایی (رنگ)، گالوانیزه کردن، استفاده از فولاد هوازده، فلزکاری و یا ترکیبی از این روش‌ها در برابر خوردگی محافظت شود. پوشش سطوح اجزایی از سازه که بطور مستقیم در زمین دفن شده‌اند، باید مورد توجه خاص قرار گیرند.

لازم است پوشش اصلی در کارگاه مجهز و با کنترل کیفیت کافی صورت گیرد.

قبل از انتخاب نوع پوشش محافظ و روش اعمال آن باید به نکات زیر توجه نمود:

- وجود شرایط جوی معمولی و یا خورنده مانند آب شور و یا محیط شیمیایی
- حضور و یا عدم حضور ذرات معلق در باد که قادر به سایش پوشش محافظ باشند
- شرایط ویژه حاکم بر قسمتهایی که در زمین دفن می‌گردند و قرارگیری یا عدم قرارگیری آنها در معرض آبهای زیرزمینی
- نوع مواد شیمیایی موجود در خاک و تاثیر آنها در نرخ خوردگی قسمتهای مدفون در زمین
- رنگ پوشش سازه از نظر حفظ زیبایی منطقه

۲-۴-۲- پوشش شیمیایی (رنگ)

در حال حاضر شمار زیادی از پوشش‌های شیمیایی تجاری در دسترس می‌باشد که هر کدام برای کاربرد خاصی طراحی شده است. لازم است سازنده قبل از به کار بردن پوشش‌های شیمیایی، با انجام آزمایش بر روی آنها از عملکرد مناسب آنها در محیط اطمینان حاصل کند.

در صورتیکه سازه قرار باشد در محیطی خورنده و یا ساینده قرار گیرد، باید از پوشش‌های شیمیایی مناسب آن استفاده گردد. بنابراین شرایط طراحی باید به دقت ارزیابی شده و استفاده از پوشش‌های خاص که موجب افزایش هزینه می‌گردند، جز در مواقع ضروری صورت نگیرد.

آماده‌سازی سطوح

لازم است قبل از رنگ‌آمیزی، سطوح از حضور برجستگیها و آلودگی‌ها پاک شوند. به منظور از بین بردن روغن و چربی‌های موجود روی سطح باید از حلالهای مناسب استفاده شود. پس از رنگ‌آمیزی و پوشاندن سطوح تیر باید رنگ به مقدار کافی به محل نصب فرستاده شود تا صدمات وارد شده به لایه پوشش ترمیم گردند.

بازرسی

بررسی ضخامت پوشش فلز به منظور ارزیابی و تایید صحت اجرای آن می‌بایستی بوسیله آزمایش‌های مخرب و غیرمخرب صورت گرفته و به تایید مشاور برسد. بنابه نظر مشاور، در صورت نیاز باید آزمایش‌های بررسی چسبندگی، مقاومت در برابر سایش، مقاومت شیمیایی و ثبات رنگ نیز انجام شود.

۲-۴-۳- گالوانیزه کردن

در این روش محافظت از فلز اصلی باید با استفاده از فلز روی و به روش گالوانیزه گرم و عمیق و بر مبنای استاندارد ASTM A123 صورت گیرد. ملاحظات استانداردهای ASTM A384 و ASTM A385 نیز باید رعایت گردد. ظاهر نهایی و دوام پوشش روی بستگی مستقیم به کیفیت روش گالوانیزه کردن خواهد داشت.

در این روش کلیه قطعات سازه باید از مصالحی که با گالوانیزاسیون سازگار باشند، ساخته شوند. مدت زمان غوطه‌وری، دمای حمام و استفاده از تسریع‌کننده‌ها و افزودنیها برحسب نوع فولاد تغییر خواهد کرد. قطعاتی که از فولادهایی با مواد ترکیبی مختلف ساخته شده‌اند و یا دارای اختلاف زیادی در ضخامت مقاطع هستند، ممکن است در رنگ، بافت و ضخامت پوشش با یکدیگر متفاوت شوند.

در تعیین ابعاد اعضای سازه باید به ابعاد مخزن‌های موجود توجه شود. روش «غوطه‌ور کردن دوگانه» که در آن ابتدا یک انتهای قطعه و سپس انتهای دیگر آن گالوانیزه می‌شوند جز در شرایط خاص که باید به تایید مشاور برسد، نباید اجرا شود. در صورت استفاده از این روش باید پوشش در داخل مقاطع بسته به دقت بررسی و تایید گردد.

انتخاب صحیح فولاد و روش گالوانیزه کردن آن به منظور کاهش احتمال تردشکنی عضو الزامیست. در مورد تردی قطعات می‌بایستی ملاحظات استانداردهای ASTM A123 و ASTM A143 در نظر گرفته شود.

آماده‌سازی سطوح

مصالح پایه باید از قبل بطور کامل تمیز شده باشند. برای از بین بردن روغن‌ها و رنگ‌های اضافی و همچنین برجستگی‌های ناشی از تراشکاری و زنگارها باید از یک حمام اسیدی استفاده شود. برای از بین بردن برجستگی‌های عمیق و یا جاییکه سطح فلز ناخالصی‌های دانه‌ای دارد که بوسیله قطعه‌شویی قابل برطرف‌شدن نیستند، می‌توان از ضربه‌زدن و سنگ‌شویی با سنگریزه استفاده نمود. از آنجا که باقیمانده‌های جوشکاری از نظر شیمیایی خنثی هستند و در محلول اسیدی شسته نخواهند شد، کلیه جوش‌ها باید بوسیله دست یا روش‌های دیگر تمیز شوند.

دمای زیاد حمام قطعه‌شویی و طولانی‌کردن غوطه‌وری ممکن است باعث افزایش حساسیت قطعه به تردشکنی در نتیجه جذب هیدروژن شود. در این حالت لازم است بازدارنده‌های شیمیایی که جذب هیدروژن را کاهش می‌دهند در حمام شستشو به کار روند. قبل از فروبردن قطعه در حمام گالوانیزاسیون، محلول شستشو باید بطور کامل از داخل و خارج قطعه پاک شده و خشک گردد.

پوشش روی

بعد از فروبردن در محلول اولیه، قطعه در حمام گالوانیزاسیون شامل روی فرو برده می‌شود. حداکثر مقدار پوشش روی با کیفیت مطلوب که در شرایط معمولی بر روی فولاد می‌تواند بدست آید، $840 \frac{gr}{m^2}$ می‌باشد.

جدول (۱) حداقل میانگین ضخامت پوشش را برحسب درجه گالوانیزاسیون و برای انواع مختلف قطعات فولادی بیان می‌کند. درجه گالوانیزاسیون ضخامت لایه پوشش برحسب میکرومتر (μm) است و مقادیر گرم بر مترمربع ($\frac{gr}{m^2}$) معادل آن در جدول (۲) آمده است.

جدول (۱): حداقل میانگین درجه گالوانیزاسیون برای انواع مختلف قطعات فولادی

ضخامت فولاد (mm)					نوع قطعه
$\geq 6/4$	$4/8 - 6/4$	$3/2 - 4/8$	$1/6 - 3/2$	$< 1/6$	
۱۰۰	۸۵	۷۵	۶۵	۴۵	پروفیل سازه‌ای و ورق
۱۰۰	۸۵	۷۵	۶۵	۴۵	نوار و میلگرد
۷۵	۷۵	۷۵	۴۵	۴۵	لوله
۸۰	۶۵	۶۰	۵۰	۳۵	سیم

جدول (۲): ضخامت پوشش درجه‌های مختلف گالوانیزاسیون *

$\frac{gr}{m^2}$	μm	درجه گالوانیزاسیون
۲۴۵	۳۵	۳۵
۳۲۰	۴۵	۴۵
۳۵۵	۵۰	۵۰
۳۹۰	۵۵	۵۵
۴۲۵	۶۰	۶۰
۴۶۰	۶۵	۶۵
۵۳۰	۷۵	۷۵
۵۶۵	۸۰	۸۰
۶۰۰	۸۵	۷۵
۷۰۵	۱۰۰	۱۰۰

* مقادیر ضخامت برحسب μm در واقع همان درجه گالوانیزاسیون می‌باشد. مقادیر ستون سوم از رابطه $\frac{gr}{m^2} = \mu m \times 7.067$ بدست آمده است.

قسمت‌هایی که در حین جابجایی و نصب آسیب دیده‌اند، باید بوسیله محصولات تجاری که برای همین منظور ساخته می‌شوند تعمیر شوند. از جمله این محصولات تجاری می‌توان به رنگ غنی‌شده روی، اسپری روی و روی مایع اشاره کرد.

بازرسی

برای بازرسی و تایید ضخامت گالوانیزاسیون می‌توان از روش‌های مختلف مخرب و یا غیرمخرب استفاده کرد. مناسب‌ترین روش، آزمون‌های غیرمخرب مغناطیسی است که در استاندارد ASTM E376 ارائه شده است. همچنین در محل جوش‌ها ممکن است آزمون‌های غیرمخرب اضافی برای اطمینان از عدم وجود ترک نیاز باشد که بنا بر نظر مشاور انجام خواهند شد.

اعمال پوشش روی سطح گالوانیزه شده

در حالت‌های زیر استفاده از پوشش شیمیایی و رنگ‌آمیزی روی سطح گالوانیزه شده مورد نیاز خواهد بود:

- نیاز به محافظت بیشتر از فلز پایه
- رنگ‌آمیزی به منظور زیبایی بیشتر
- کاهش انعکاس نور

لازم است در خصوص چسبندگی مناسب رنگ به سطح گالوانیزه‌شده دقت لازم صورت گیرد. عدم چسبندگی بین دو سطح به عوامل مختلفی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. لازم است در هر مورد اقدامات لازم جهت برطرف نمودن آن صورت گیرد.

- صافی بیش از اندازه سطح گالوانیزه شده که اجازه درگیری مکانیکی لایه‌های پوشش را نمی‌دهد.
- روغن‌ها و سایر مواد موجود روی سطح گالوانیزه شده که از چسبندگی سطوح می‌کاهند.
- اختلاف بین ضریب انبساط حرارتی لایه رنگ و فلز پایه که باعث ترک و جداشدگی می‌شود.
- عدم چسبندگی روی تازه با برخی از انواع رنگها

۲-۴-۴- استفاده از فولاد هوازده

استفاده از فولاد هوازده به ویژه در ساخت تیر فولادی از هزینه‌های پوشش فلز خواهد کاست. با توجه به اهمیت زیبایی، در صورت استفاده از این روش، کلیه قطعات سازه باید از فولاد هوازده ساخته شوند. جوشکاری باید با فلز مادر سازگار باشد. فولاد هوازده می‌تواند به سادگی فولاد کربن دار رنگ آمیزی شود. آماده‌سازی سطح بستگی به نوع رنگ داشته و باید به تایید مشاور برسد. تجربه نشان داده که ماندگاری رنگ روی فولاد هوازده بیشتر از ماندگاری همان رنگ روی فولاد کربن دار خواهد بود. فولاد هوازده می‌تواند مانند فولاد معمولی مطابق ضوابط بند (۲-۴-۳) گالوانیزه شود.

استفاده از فولاد هوازده به صورت لخت و بدون پوشش در برخی از شرایط آب و هوایی خاص ممنوع است. این امر به علت عدم تشکیل پوشش اکسید محافظ مناسب در این مناطق می‌باشد. این شرایط آب و هوایی عبارتند از:

- مناطقی که در آنها تمرکز گازهای خورنده صنعتی وجود دارد. لیکن در صورتیکه زمان اجازه دهد، بنا به درخواست مشاور باید نمونه‌هایی را به مدت یک سال در هوای آزاد قرار داده و آزمایش نمود.
- مناطقی که در آنها قطرات آب شور بصورت معلق در هوا وجود دارد.
- در محل‌هایی که سازه بطور مستقیم در آب یا خاک فرو خواهد رفت.

۲-۴-۵- فلزکاری ۱

سازه می‌تواند با پاشیدن حرارتی یک پوشش مناسب روی فلز اصلی، در برابر خوردگی محافظت شود. پاشیدن حرارتی شامل روشهای استفاده از شعله، قوس الکتریکی و پلاسما خواهد بود که می‌بایستی مطابق استاندارد ANSI/AISC 360-05 انجام گیرد. فلز مادر باید تمیز، صاف و عاری از هرگونه اثرات روغن و یا اسید باشد. فلز پوشش و ضخامت مورد نیاز آن بستگی به شرایط سازه دارد. تمامی ضخامت پوشش باید در طی دو ساعت بعد از آماده‌سازی سطح و حداقل در دو مرحله اعمال شود. به منظور افزایش مقاومت در برابر خوردگی، بهبود ظاهر سازه و جلوگیری از بالازدگی در مناطق ساحلی و صنعتی باید آب‌بندی و رنگ‌آمیزی صورت گیرد.

بازرسی مراحل فلزکاری شامل بررسی سایش، بررسی ظاهر، تخمین ضخامت، چسبندگی فلز پوشش و لایه آب‌بندی می‌شود.

۲-۴-۶- محافظت از فلز در محل دفن در زمین

پایه سازه که در زمین دفن می‌شود نیاز به ملاحظات ویژه دارد. برای این منظور یک لایه ضخیم از پوشش اپوکسی روی پوشش اصلی فلز اجرا می‌شود. برای این کار پوشش اصلی باید برای پذیرش این لایه آماده‌سازی شود. در صورتیکه بررسی نشان دهد لایه اپوکسی مقاومت کافی در برابر خوردگی ایجاد نمی‌کند، باید از روش حفاظت کاتدی در کنار روش فوق برای محافظت قسمت مدفون سازه استفاده شود.

۲-۵- اتصالات

کلیه اتصالاتی که در محل نصب مونتاژ می‌شوند، باید از نوع پیچی باشند. جوشکاری باید حداقل بوده، و قبل از گالوانیزاسیون صورت گیرد. در صورت نیاز به جوش دادن قطعات گالوانیزه شده، باید ملاحظات خاص عایق‌بندی و پوشش مجدد محل جوش در نظر گرفته شوند. وترهای بازوها، باید در هر انتهای خود، حداقل با دو پیچ متصل شوند. حداقل مقدار رویهم‌گذاری دو نبشی، برای ساخت یک عضو، دو برابر عرض بال نبشی کوچکتر می‌باشد. محل پیچ‌های اتصال باید به‌گونه‌ای باشد که مرکز ثقل گروه پیچ‌ها تا حد امکان نزدیک به مرکز ثقل نبشی‌ها باشد. در ساخت نبشی‌های دابل، حداکثر فاصله بین پیچ‌های دوخت، ۹۰ سانتیمتر برای اعضای کششی و ۶۰ سانتیمتر برای اعضای فشاری می‌باشد. در محل دوخت دو نبشی باید از واشر مناسب و یا ورق پرکننده، در بین دو نبشی استفاده شود.

۲-۶- اجرای اعضای کششی

اعضای کششی با طول کوچکتر یا برابر با ۴۵۰ سانتی‌متر باید به مقدار ۳ میلی‌متر کوچکتر از اندازه واقعی ساخته شوند. برای عضوهایی با طول بیش از ۴۵۰ سانتی‌متر به ازای هر ۳۰۰ سانتی‌متر افزایش طول، طول ساخته شده ۱/۵ میلی‌متر کوچکتر از اندازه واقعی خواهد بود. به این ترتیب در اعضای که تنها تحت کشش قرار خواهند گرفت، یک نیروی پیش‌کش اولیه ایجاد خواهد شد. در صورتیکه این اعضا از اتصال دو قطعه به هم تشکیل شوند، باید لغزش در محل اتصال در نظر گرفته شود. استفاده از حداقل ۲ پیچ برای اتصال دو قطعه به یکدیگر الزامیست.

۲-۷- تجهیزات صعود

هر برج باید با پیچ‌های پله‌ای که بر روی یکی از پایه‌های اصلی برج نصب می‌شود، تجهیز شود. پیچ‌پله‌ها از ارتفاع ۲/۵ متر از سطح زمین تا نوک برج ادامه خواهند یافت. هر پیچ باید قادر به تحمل ۱۳۰ کیلوگرم نیروی قائم که در انتهای آن وارد می‌شود، باشد. قطر پیچ‌ها نباید کمتر از ۱۶ میلی‌متر در نظر گرفته شوند. فاصله انتهای پیچ از بدنه حداقل برابر با ۱۰ سانتیمتر می‌باشد.

برای اعضای که شیب کمتر از ۳۰ درجه دارند، باید یک نیروی متمرکز معادل ۱۳۰ کیلوگرم، در محلی که بیشترین تنش‌ها را ایجاد می‌کند، در نظر گرفته شود. لازم است نیروی فوق در هنگام حضور تنش‌های روزمره (EDS) به عضو اعمال شود.

۲-۸- صفحه علائم و مشخصات

صفحات علائم و مشخصات برج‌های خطوط انتقال نیرو باید به شرح زیر آماده و نصب شوند. لازم است قبل از نصب کیفیت جنس صفحه و دوام رنگ آن تایید شده باشد. جنس صفحات می‌تواند از ورق فولادی گالوانیزه شده، آلومینیوم مقاوم شده و یا پلیمر باشد. هنگام تایید کیفیت و دوام تابلوها، لازم است شرایط آب و هوایی منطقه در نظر گرفته شوند.

۲-۸-۱- اعلام خطر

لازم است بر روی هر یک از برج‌ها، یک صفحه به عرض ۳۰ سانتیمتر و ارتفاع ۴۰ سانتیمتر و در تراز ۲/۵ متری از سطح زمین نصب شود. هر صفحه شامل «علامت خطر» و کلمه «خطر» و «DANGER» به زبان فارسی و لاتین خواهد بود. تابلو باید در سمتی نصب شود که در معرض دید عابران پیاده بیشتری قرار گیرد.

۲-۸-۲- صفحه مشخصات پایه و خط ۱

صفحه مشخصات با همان ابعاد تابلو خطر و در تراز ۲/۵ متری از سطح زمین نصب می‌شود. بر روی هر صفحه شماره برج، سطح ولتاژ و نام خط باید مشخص شوند. همچنین نوع برج از نظر آویزی یا کششی بودن و تغییر زاویه خط در محل برج باید بیان شوند. مشخصات فوق می‌توانند در قالب علائم اختصاری متداول و گویا نشان داده شوند. هر صفحه باید به گونه‌ای نصب شود که به سمت برج مجاور با شماره کوچکتر باشد. در صورت تغییر برخی از مشخصات خط، می‌توان به جای تعویض کل صفحه، یک صفحه کوچکتر با مشخصات جدید خط را بر روی تابلو قدیمی نصب کرد.

۲-۸-۳- صفحه علائم هوایی

به ازای هر ده پایه متوالی، صفحه‌های علائم هوایی بر روی یک پایه، در دو جهت و بصورت پشت به پشت، در بالاترین نقطه و در راستای خط نصب می‌شوند. هر صفحه باید به ابعاد ۷۰ × ۳۵ سانتیمتر بوده و تنها حاوی شماره پایه باشد.

۹-۲- نقشه‌ها و مدارک

۹-۲-۱- مدارکی که باید پیشنهاددهندگان ارائه نمایند:

- نوع و طرح کلی برج مورد استفاده.
- مشخصات کامل فولاد مورد استفاده.
- جدول تکمیل شده مشخصات کامل پیچ‌ها و مهره‌ها.
- جدول تکمیل شده وزن ضمانت شده بخش‌های مختلف برج و وزن کل فولاد مصرفی.
- فهرست آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مورد استفاده.
- شرح خلاصه‌ای از استثنای موجود بر مشخصات فنی.
- فهرست لوازم مخصوص مورد نیاز.
- خلاصه‌ای از نحوه انجام آزمون‌ها.
- دستورالعمل‌های مربوط به بسته‌بندی، حمل و نقل، انبارداری، نصب و نگهداری.

تذکر ۱- مشخصات فولاد مورد استفاده شامل نوع فولاد (ST37 و ...)، منبع تأمین، مقدار بیشینه کرن، منگنز، سولفور، فسفات و سیلیکون برحسب درصد، مقاومت در کشش (شامل تنش تسلیم و تنش نهایی)، میزان افزایش طول در لحظه گسیختگی برحسب درصد و حداقل درجه گالوانیزاسیون خواهد بود.

تذکر ۲- مشخصات پیچ‌ها و مهره‌های مورد استفاده شامل منبع تأمین آنها، استاندارد مورد استفاده در ساخت، نوع فولاد به کار رفته، تنش‌های برشی و کشش نهایی، حداقل درجه گالوانیزاسیون، ابعاد و طول رزوه شده می‌باشد.

تذکر ۳- در محاسبه وزن ضمانت شده بخش‌های مختلف برج، وزن پیچ‌ها، مهره‌ها، ورق‌های اتصالات و گالوانیزاسیون قطعات نیز در نظر گرفته خواهد شد. پرداخت نهایی برحسب مقدار فولاد مصرف شده واقعی صورت خواهد گرفت و در صورت تجاوز وزن واقعی از وزن‌های ضمانت شده، پرداخت هزینه‌ها بر مبنای وزن ضمانت شده انجام خواهد شد.

۹-۲-۲- مدارکی که باید پیمانکار یا سازنده ارائه نماید

- مدارک و نقشه‌های مربوط به طراحی، ساخت، بسته‌بندی، علامت‌گذاری، حمل، انبارداری، نصب و آزمون‌ها که به شرح ذیل می‌باشند، ولی به آنها محدود نمی‌شوند، باید ارسال گردند:
- دفترچه محاسبات طراحی برای اثبات کفایت مطلوب سازه (در صورت استفاده از نرم‌افزار، باید مشخصات و مبنای برنامه‌های مورد استفاده، فرض‌ها، داده‌های اولیه و نتایج بدست آمده ضمیمه دفترچه محاسبه شوند).
- نقشه‌های اجرایی.
- گزارش آزمون‌ها و گواهی‌های مربوط به موفق بودن آنها.

- جزئیات بسته‌بندی، حمل و انبارداری.
- جزئیات مربوط به نصب و نگهداری.
- جداول زمانی.
- گزارشات مربوط به پیشرفت کار ماهانه.
- فهرست نقشه‌ها.
- فهرست تجهیزات مورد استفاده.

همچنین نقشه‌های ارائه شده توسط طراح باید شامل موارد زیر باشد:

- محل نصب هر یک از اعضا
- جزئیات اتصالات
- جزئیات هندسی و نوع مصالح اعضای برج
- مشخصات و نوع پیچ‌ها، مهره‌ها و واشرها
- سایر جزئیات خاص مانند جوشکاری و ...

برای این منظور هر عضو با یک شماره مشخص شده و تعداد و نوع پیچ‌ها در هر اتصال نیز داده خواهند شد. نقشه نصب شامل کل سازه می‌گردد که موقعیت و جهت هر عضو در آن با مقیاس بزرگتر نمایش داده خواهد شد.

در رسم جزئیات اتصالات باید همواره به اتصال مستقیم اعضا به یکدیگر، با حداقل خروج از مرکزیت توجه داشت. در صورتیکه مهندس طراح جزئیات ویژه‌ای را برای اتصال تعیین کند، لازم است جزئیات مطابق اسناد ارائه شده اجرا شود.

مشخصات هندسی و نوع مصالح اعضا، پیچ‌ها، مهره‌ها و واشرها در جداول جداگانه‌ای ارائه می‌شوند. جدول (۳) و (۴) نمونه‌هایی از جداول ارائه مشخصات اعضا و قطعات اتصالات را نشان می‌دهند. کلیه ابعاد در جداول و نقشه‌های اجرایی باید با دقت ۱mm بیان شوند. در صورتیکه قطعه‌ای در جریان ساخت یا آزمایش برج مورد بازنگری قرار گرفته باشد، لازم است در ستون توضیحات ذکر شود. وزن کل هر قسمت از سازه از جمع مقادیر وزن‌های مربوط به اعضا و پیچ‌ها و مهره‌ها (جدول ۳ و ۴) بدست خواهد آمد.

جدول (۳)

جزئیات اعضای سازه									
طراح:							نوع سازه:		
تاریخ:							کد سازه:		
کد:							نام قسمت جداشده:		
توضیحات	وزن کل (kg)	وزن واحد (kg)	تعداد	طول (mm)	ابعاد مقطع (mm)	مصلح	کد قطعه	نوع قطعه	ردیف
						وزن کل:			

جدول (۴)

جزئیات قطعات اتصالات										
طراح:					نوع سازه:					
تاریخ:					کد سازه:					
کد:					نام قسمت جداشده:					
توضیحات	وزن کل (kg)	وزن واحد (kg)	تعداد	طول (mm)	قطر (mm)	مصالح	کد قطعه	نوع قطعه	ردیف	
			وزن کل:							

۲-۱۰-۱-۲- دستورالعمل‌های اجرایی

در این بخش مشخصات و دستورالعمل‌های اجرایی احداث برج‌های مشبک فولادی ارائه می‌شود. در صورت ارائه پیشنهاد از طرف سازنده که متفاوت با روش‌های ارائه شده در این بخش باشد، لازم است قبل از هر گونه اقدام، روش‌های یادشده به تایید برسند.

۲-۱۰-۱-۲- حمل و انبار کردن تجهیزات

نحوه بسته‌بندی، روش‌های بارگیری و حمل به محل باید به روشنی بیان شود.

پیمانکار موظف است برای هر قسمت از خط انتقال، انباری جهت کلیه وسایل مربوط به آن قسمت، تهیه کرده و در آن، مساله حفاظت در مقابل صدمه دیدن و سرقت را رعایت نماید. پیمانکار می‌بایستی از کلیه فضای انبار فقط برای نگهداری تجهیزات پروژه استفاده نماید. مسئولیت جایگزینی کمبودها و قطعات آسیب‌دیده در صورت قصور پیمانکار، بدون ایجاد تأخیر در کار بعهدده نامبرده می‌باشد. کلیه تعمیرات بر روی مصالح و تجهیزاتی که دارای عیب ساخت می‌باشند باید با تایید دستگاه نظارت، توسط پیمانکار انجام گیرد که ممکن است طبق درخواست دستگاه نظارت این تعمیرات در کارگاه انجام شود.

بعد از اتمام عملیات اجرائی، پیمانکار موظف است یک بازدید کامل از تمامی مسیر خط انتقال و کلیه برج‌ها بنماید و نسبت به کنترل پیچهای نصب شده و تجهیزات لازم اقدام لازم بعمل آورد.

در صورت تقاضای کارفرما کلیه مصالح و تجهیزات مازاد بوسیله پیمانکار بررسی و از آنها لیستی تهیه گردیده و در انبار موردنظر کارفرما ذخیره می‌گردد. کلیه تجهیزات برگشتی، می‌بایستی در شرایط مناسب و صحیح و سالم، و بدون کم و کاست باشند. کلیه تجهیزاتی که با یکدیگر مونتاژ می‌شوند، باید با هم انبار گردند. تجهیزات معیوب، جداگانه شناسایی و انبار می‌شوند.

۲-۱۰-۲- مونتاژ و نصب برج

مونتاژ برج بصورت بخش بخش و در وضعیت افقی صورت می‌گیرد. این روش باعث کاهش مشکلات مونتاژ، اطمینان بیشتر از صحت آن و تسهیل در تایید جزئیات اجرا خواهد شد. در صورتیکه روش اجرایی خاصی مدنظر باشد، جزئیات آن باید در نقشه‌های اجرایی مشخص شود.

پیمانکار موظف است براساس کلیه نقشه‌های طراحی، ساخت، مونتاژ و نصب برج‌ها، که قبل از شروع کار به تایید مهندس مشاور رسیده، عملیات نصب برج را انجام دهد. بعد از اتمام کار فونداسیون برای سیمان نوع (II,I) کار نصب برج باید بعد از ۱۰ روز و کار سیم‌کشی بعد از ۲۸ روز شروع شود. برای سیمان نوع (III) کار نصب بعد از ۳ روز و کار سیم‌کشی بعد از ۷ روز باید شروع شود. در صورت استفاده از سیمان نوع (V) که در زمینهای سولفاته مورد استفاده قرار خواهد گرفت، کار نصب بعد از ۱۵ روز و کار سیم‌کشی بعد از ۴۲ روز شروع خواهد شد.

مونتاز

پیمانکار باید تمهیداتی را بکار برد تا از آسیب تجهیزات و قسمتهای گالوانیزه جلوگیری شود. تجهیزات فلزی باید از تماس با زمین محافظت شوند. تجهیزات نباید بعنوان ابزار تخلیه یا بارگیری بکار روند. در صورت بروز صدمات کوچک در قسمتهای گالوانیزه، باید با رنگ گالوانیزه با حداقل ۹۲٪ وزنی پودر نرم روی و یا معادل آن که مورد تایید مهندس مشاور باشد، عمل ترمیم انجام شود.

مونتاز قطعات باید بطور کامل با کلیه اجزاء (پیچها، مهرهها و واشرها) طبق نقشه‌های جزئیات و نصب انجام شود. در کلیه قسمتهای نصب شده پیچها باید با طول صحیح نصب شوند و سه رزوه از آنها بیرون از مهره قرار گیرد.

در نقشه‌های نصب می‌بایستی طول پیچها مشخص باشد. به صورتی که طول پیچها عملاً با نقشه‌های تاییدشده توسط مشاور یکسان باشد. پیچها باید طوری نصب شوند که سر آنها بطرف داخل برج و یا بطرف پایین قرار گیرد مگر با تشخیص و تایید مشاور.

در صورتی که بعضی از مهرهها براحتی در پیچها نچرخند باید تعویض گردند. در صورتی که مهرهها با اندازه اشتباهی استفاده شده باشند باید به هزینه پیمانکار تعویض شوند. بطور کلی کلیه پیچها باید در زمان مونتاز قسمتهای مختلف بصورت نیمه بسته باشند و پس از اتمام کامل نصب برج کاملاً سفت شوند. انتخاب روش مونتاز برج بعهد پیمانکار می‌باشد.

مطابق استاندارد ASTM A394، کلیه مهرهها باید بوسیله آچار مدرج پیچانده شده و مقادیر جدول زیر را بعد از اتمام کار نشان دهند. آچارهای مدرج می‌بایستی قبل از شروع کار بوسیله دستگاه نظارت آزمایش و درجه‌بندی آنها تایید شود. این عمل بایستی هر ۴ ماه و تا زمان اتمام پروژه ادامه یابد. حداکثر خطای قابل قبول آچار ۵ درصد می‌باشد. در صورتی که از واشر فنری در نصب برج استفاده گردد، لنگر اعمال شده، باید واشر را تخت نماید.

جدول (۵): حداقل گشتاور وارد بر پیچها در هنگام نصب

اندازه پیچ	گشتاور وارد بر پیچ (کیلوگرم_متر)
۱/۲ (اینچ) ۱۲ میلیمتر	۶ تا ۸
۵/۸ (اینچ) ۱۶ میلیمتر	۱۰ تا ۱۴
۳/۴ (اینچ) ۲۰ میلیمتر	۱۷ تا ۲۱
۷/۸ (اینچ) ۲۲ میلیمتر	۱۷ تا ۲۱
۱ (اینچ) ۲۴ میلیمتر	۱۷ تا ۲۱

کلیه اضافات خارجی بر روی قطعات برج از قبیل خاک و گل و غیره، باید قبل از شروع نصب پاک شوند. بخصوص در نقاطی که قطعات روی هم نصب می‌شوند قبل از بستن پیچ و مهرهها باید سطوح مشترک کاملاً تمیز گردند. باید دقت شود موقع نصب، پوشش گالوانیزه قطعات از بین نرود. پیچها باید قبل و بعد از عملیات سیم‌کشی بازرسی گردند. کلیه پیچها قبل از سیم‌کشی باید کاملاً سفت شوند. در صورتی که بنا به تشخیص مهندس مشاور حدود ۵ درصد از پیچها از نظر طول پیچ و یا سفت‌بودن آن بطور صحیح منظور نشده باشند، پیمانکار موظف است کلیه پیچها را یا عوض و یا مجدداً محکم نماید. تا ارتفاع سه متری از سطح فونداسیون، کلیه پیچها از طرف مهره برای محکم نگهداشتن مهره باید سمبه‌زده شوند.

در حالتی که یک قسمت از برج بر روی زمین مونتاژ می‌گردد، این عمل باید روی تکیه‌گاه و یا سطوحی انجام شود که هیچگونه آسیب و خمیدگی در قطعات برج بوجود نیاید. کلیه پیچ‌ها باید در حالت مونتاژ بر روی زمین، در تمام نقاط اتصال نصب شوند. باید از اعضای تقویتی بطور موقت، جهت جلوگیری از واردشدن نیروی اضافی و خمیدگی در موقع مونتاژ استفاده نمود.

نصب

اکثر برجها بصورت قرینه می‌باشند. بنابراین در موقع نصب جهت بخصوصی مورد نیاز نیست. اما برجهای زاویه و انتهای ممکن است غیرممتقارن باشند. بنابر این باید در موقع نصب دقت کرد که در جهت مناسب نصب شوند. پیمانکار موظف است عملیات نصب را براساس لیست مصالح تاییدشده نصب انجام دهد.

در صورتی که هر کدام از قطعات برج جهت نصب مورد تایید دستگاه نظارت نباشند، پیمانکار نمی‌تواند از آنها برای نصب دائم استفاده نماید. قطعات ردشده باید بوسیله پیمانکار بدون هزینه اضافی تعویض گردد.

دقت کافی در زمان نصب بخصوص در هوای سرد باید بعمل آید تا از ایجاد نیروی اضافی و شکسته شدن قطعات جلوگیری شود. کلیه عملیات مونتاژ برج در روی زمین و بلندکردن و نصب آنها و دیگر عملیات می‌بایستی با تایید دستگاه نظارت انجام شوند. بر روی قطعات نصب شده نمی‌توان پیچ و یا قلابهای بالابر را نصب نمود.

هر روشی در نصب که به قطعات و یا کل برج آسیب برساند قابل قبول نیست. هرگونه عملیات جوش دادن در عملیات نصب (بجز مواردی که جهت رفع عیب ناشی از ساخت قطعات است و با تایید مهندس مشاور انجام می‌گیرد) ممنوع می‌باشد. در صورت تایید مهندس مشاور جهت رفع عیب، باید عملیات جوش دادن مطابق استانداردهای مربوطه انجام گیرد.

در زمان نصب باید دقت کافی جهت ایجاد و نگهداشتن شکل صحیح برج پس از نصب بکار رود. قلابها و کلیه تجهیزاتی که برای بلندکردن قطعات و یا قسمتی از برج بکار می‌روند باید از مصالحی انتخاب شوند که در حین بلندکردن بار سنگین، به قطعات برج صدمه وارد نیاورده و یا باعث خمیدگی آنها نگردند.

قطعات نباید برای نصب در محل خود با فشار خم شوند. از پیچ رگلاژ و تجهیزات نظیر آنها نباید به منظور نصب با فشار قطعات استفاده شود. پیچها نباید طوری نصب شوند که باعث خمیدگی و یا آسیب دیدن رزوه آنها شود. سرپیچها و واشرها باید کاملاً چسبیده به سطح قطعات برج قرار داده شوند.

بعد از اتمام کار نصب، صفحه علامت خطر و صفحه هوایی بر طبق مشخصات فنی و نقشه‌ها نصب می‌گردند. در نهایت سازه باید به‌گونه‌ای نصب شود که محور قائم آن، حداکثر ۰/۲ درصد ارتفاع در هر تراز، از راستای قائم انحراف داشته باشد.

۲-۱۰-۳- تصحیحات کارگاهی

در صورت وجود اشکالات ساخت در قطعات برج که باعث جلوگیری از مونتاژ مناسب و یا استفاده از اهرم برای نصب می‌شود، باید مراتب بلافاصله به دستگاه نظارت گزارش شود. پیمانکار موظف به برطرف نمودن این عیوب با نظر دستگاه نظارت می‌باشد.

سوراخ کردن قطعه‌ای با منگنه یا مته در صورتی که در زمان ساخت سوراخ برای آن منظور نشده باشد ولی در نقشه‌ها سوراخ برای آن پیش‌بینی شده باشد مجاز خواهد بود. جوش دادن و دوباره سوراخ کردن بعلت وجود سوراخ اشتباه و یا بعلت در امتداد نبودن سوراخها فقط با اجازه کتبی مهندس مشاور مجاز می‌باشد. سوراخ کردن و یا گشاد نمودن سوراخها در قطعات فولادی و یا آلومینیوم با رعایت حدود زیر مجاز می‌باشد:

گشاد نمودن تا حدود ۱/۵ میلیمتر برای سوراخ پیچهای اتصالات بشرط آنکه تعداد آنها از ۲۵ درصد کل پیچها کمتر باشد و تا حدود ۳ میلیمتر برای سوراخ پیچهای اتصالات بشرط آنکه تعداد آنها از ۱۰ درصد کل پیچها کمتر باشد.

سوراخهای اضافی نباید در قطعات ایجاد گردد و هیچ قطعه جایگزین شده، نمی‌تواند ساخته شده در کارگاه باشد مگر اینکه اجازه مخصوص در هر مورد توسط دستگاه نظارت صادر گردد.

در صورتیکه دستورالعمل خاصی توسط دستگاه نظارت برای عملیات کارگاهی مشخص نشده باشد، حداقل فاصله پیچها، ۳ برابر قطر پیچ و حداقل فاصله پیچ تا لبه ورق، ۱/۵ برابر قطر آن در نظر گرفته می‌شود.

پیمانکار موظف است کلیه آسیب دیدگیهای گالوانیزاسیون را که در طول زمان نصب و یا تعمیر و یا حمل و نقل و غیره بوجود آمده، بوسیله رنگ گالوانیزه که مورد تایید دستگاه نظارت باشد، رنگ نماید.

۳- تیرهای فولادی

مطالب ذکر شده در بند (۲) که مربوط به ملاحظات عمومی عملیات اجرایی فولاد است، برای این بخش نیز کاربرد خواهند داشت. از آن جمله می‌توان به بندهای (۱-۲) در مورد مصالح، (۲-۲) در خصوص تهیه و آماده‌سازی قطعات فلزی، (۲-۴) در مورد پوشش سطوح فلزی و بند (۲-۸) در مورد صفحات علائم و مشخصات اشاره نمود.

۳-۱- انحرافات مجاز در ساخت

روشی که بوسیله طراح و یا سازنده برای ساخت تیر فولادی و قطعات آن ارائه می‌شود، باید محدودیت‌های انحرافات مجاز ذکر شده را در همه حالت‌ها رعایت کند. روش ارائه شده توسط سازنده باید از قبل به تایید نماینده گروه طراحی برسد.

۳-۱-۱- بدنه تیر

قطر بدنه ساخته شده در هیچ شرایطی نباید از قطر طراحی کمتر گردد. در محل‌های پیوند بدنه، شکل مقاطع باید بطور کامل با یکدیگر هماهنگ باشند. طول هر مقطع و طول کل تیر بعد از نصب باید مشخص باشند. برای یک تیر منفرد، کوتاه‌شدگی تا مقدار ۰/۲۵ درصد طول کل تیر قابل قبول است. همچنین دقیق‌بودن زوایا از نقطه نظر زیبایی و فواصل ایمنی حائز اهمیت است.

۳-۱-۲- بازوها

حداکثر خطای مجاز در طول بازو ۲/۰ سانتی‌متر، خطا در جهت بازو نسبت به افق ۰/۵ درصد، خطا در جهت بازوی دوران‌یافته حول محور قائم ۱ درصد و خطا در موقعیت قائم نسبت به تیر در اتصال ۱/۰ سانتی‌متر می‌باشد. قطر ساخته‌شده بازوها در هیچ شرایطی نباید از قطر داده شده در نقشه‌های محاسباتی کمتر گردد.

۳-۱-۳- اتصال لغزشی در بدنه تیر

حداقل مقدار رویهم‌گذاری دو قطعه در اتصال لغزشی ۱/۶ برابر قطر داخلی مقطع بزرگتر می‌باشد. برای سازه‌های مرکب از چند قطعه، تاثیر انحرافات بسیار بحرانی‌تر خواهد بود. یک رویهم‌گذاری غیر صحیح منجر به وجود آمدن مشکلاتی در ساخت و بهره‌برداری خواهد شد. بنابراین بهتر است تا حد امکان مونتاژ در کارخانه صورت گیرد. لازم است مقاطع قبل از اتصال با رنگ ثابت کدگذاری شوند تا در موقعیت و جهت صحیح متصل شوند.

۳-۱-۴- اتصال بازوها و سایر ملحقات

موقعیت ملحقات و اتصالات از نقطه نظر مختصات و جهت باید به درستی اجرا شوند. هرگونه عدم تطابق ممکن است باعث تغییرات در جهت بازو و در نتیجه تغییر فواصل ایمنی گردد. دقت در اجرای سوراخ‌ها باعث سهولت نصب و جلوگیری از اتلاف وقت و هزینه به سبب تعمیرات می‌شود. خطای ساخت بیش از حد در اتصالات باعث خروج از مرکزیت و ایجاد تنش‌های اضافی می‌گردد که در برخی مواقع بسیار تعیین‌کننده‌اند.

۳-۲- تجهیزات صعود

باید تدابیری اندیشیده شود تا کلیه قطعات سازه تیر و سایر ملحقات قابل دسترسی باشند. برای این منظور می‌توان از پلکان ثابت یا جداشدنی بهره برد. پله‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند تا تحت وزن یک نفر به اضافه تجهیزات مورد حمل، معادل ۱۳۰ کیلوگرم، دچار تغییر شکل دائم نگردد. به منظور عدم دسترسی رهگذران، پله‌ها باید از ارتفاع حداقل ۲/۵ متر شروع شده و تا نوک تیر ادامه یابد. فاصله بین پله‌ها بین ۳۰ تا ۴۵ سانتی‌متر خواهد بود. فواصل ایمنی از قسمتهای برقدار تا بدن شخص باید در نظر گرفته شوند.

۳-۳- نقشه‌ها و مدارک

ضوابط این بند مطابق با ضوابط بند (۲-۹) است. علاوه بر آن لازم است جزئیات و ملاحظات خاص مربوط به جوشکاری، به روشنی در نقشه‌ها بیان شود.

۳-۴- دستورالعمل‌های اجرایی

در این بخش دستورالعمل‌های اجرایی احداث تیرهای فولادی ارائه می‌شود. در صورت ارائه پیشنهاد از طرف سازنده که متفاوت با روشهای ارائه شده در این بخش باشد، لازم است قبل از هرگونه اقدام، روشهای یادشده به تایید برسند.

۳-۴-۱- حمل و نقل و نصب تیر

سازه تیر فولادی باید با توجه به پیشنهادات سازنده نصب گردد. روش جابجا نمودن و نصب و تجهیزات مورد استفاده باید به گونه‌ای باشد که تیر، بازوها و سایر ملحقات خسارت ندیده و تحت تاثیر بارهایی بیش از مقادیر طراحی شده قرار نگیرند. در صورت نیاز، لازم است جزئیات نصب بطور کامل در نقشه‌های اجرایی مشخص شوند.

در صورت استفاده از طنابهای پلاستیکی و پلی‌پروپیلن، نیازی به استفاده از لایه محافظ برای سازه نیست. در صورت به کاربردن تسمه‌ها و قلابهای سیمی، باید از لایه‌های محافظ برای جلوگیری از صدمه خوردن پوشش نهایی سازه، استفاده شود. در هنگام انبارکردن تیرها و یا مونتاژ آنها روی زمین، لازم است از قطعات چوبی برای نگهداری آنها استفاده شود. قطعات خسارت‌دیده، خم‌شده، پیچیده و یا جداشده نباید بدون هماهنگی با ناظر نصب شوند. تعمیرات در کارگاه باید به تایید دستگاه نظارت برسد. ایجاد هرگونه سوراخ و یا برش و تعمیر آنها به منظور نصب و اجرا بدون هماهنگی با ناظر ممنوع می‌باشد.

۳-۴-۲- مونتاژ اتصالات لغزشی

وقتی که تیر با اتصالات لغزشی ساخته می‌شود، باید دقت لازم درخصوص جهت و تنظیم قطعات صورت گیرد. مواد خارجی مانند آلودگی‌ها، سنگ‌ریزه و گیاهان باید از محل اتصال زدوده شوند. دو قطعه باید مطابق با روش مشخصی به سمت یکدیگر کشیده شوند تا از مقدار کافی همپوشانی و محکم‌بودن اتصال اطمینان حاصل شود. لازم است دو قطعه از قبل علامت‌گذاری شوند تا از جهت صحیح نصب و مقدار کافی همپوشانی اطمینان حاصل شود.

۳-۴-۳- مونتاژ اتصالات پیچی

در مواقعی که از بالها و ورق‌های تقویتی استفاده می‌شود، انحراف کوچکی در زاویه اتصال آنها سبب تغییرات قابل توجهی در جهت نصب تیر می‌گردد. لازم است دقت کافی صورت گیرد تا از اتصال بالها با یک سطح محدب پرهیز شود.

در صورتی که اتصال ورق بالها دارای شکافی بیش از $0/8$ میلی‌متر باشد، باید از نصب آنها جلوگیری کرده و به محل ساخت برای اصلاح منتقل شوند. در صورتیکه اصلاح آنها امکان‌پذیر نبود می‌توان از قطعات پرکننده با دقت بالا استفاده نمود. کلیه پیچ‌ها باید با لنگر پیچشی کافی نصب و محکم شوند.

۳-۴-۴- انحرفات مجاز در نصب

محدودیت‌های موجود برای جهت و دقت نصب تیرها با توجه به دید ظاهری تیر تعیین می‌گردد. لازم است این بازبینی در زمانی انجام گیرد که خورشید باعث دمای نامساوی در دوطرف تیر نگردد. در صورتیکه دید ظاهری تیر چندان مورد توجه نباشد، مقادیر ارائه شده قابل افزایش‌اند. وقتی تیر روی پیچ‌های مهار شده در فونداسیون نصب می‌شود، جابجایی نوک تیر نباید از یک درصد ارتفاع کل تیر بیشتر گردد.

مرکز گروه پیچ‌ها می‌تواند حداکثر ۳ سانتی‌متر از محل واقعی، انحراف داشته باشد. دقت پیچ‌ها باید به گونه‌ای باشد که ورق کف ستون با در نظر گرفتن ابعاد سوراخ‌ها، قابل نصب باشد. برای تیرهای منفرد، تغییرات زاویه‌ای ناشی از خطای پیچ‌ها نباید بیش از یک درجه گردد.

باید دقت لازم صورت گیرد تا هنگام بتن‌ریزی و نصب تیر فولادی، پیچ‌ها و رزوه‌های آنها آسیب نبینند. مهره‌ها باید بدون اعمال نیروی اضافی روی پیچ‌ها نصب گردند.

بعد از نصب صحیح، مهره‌های نگهدارنده که روی پیچ‌های پی نصب شده‌اند، باید با روش مناسبی قفل شوند تا از شل شدن آنها در درازمدت جلوگیری شود. برای این منظور می‌توان از مهره‌های اضافی و یا اعمال لنگر پیچشی از پیش تعیین شده استفاده نمود.

۴- تیرهای بتنی

۴-۱- ملاحظات طراحی

تیرهای بتنی باید به گونه‌ای طراحی شوند که قادر به تحمل کلیه نیروهای وارد بر آنها، با در نظر گرفتن نیروی پیش تنیدگی، حمل و نقل، نصب و سایر شرایط باشند. نیروهای فوق نباید خسارتی به مقاومت مقطع، قابلیت سرویس‌دهی و زیبایی مقطع وارد نمایند. تحت شرایط محیطی خورنده و یا به کاربردن در وضعیت کششی، تیرها باید به گونه‌ای طراحی شوند که مقاومت تا مرز ترک‌خوردگی مقطع، از تنش ناشی از بارهای بدون ضریب، با دوره بازگشت ۱۰ سال بیشتر گردد.

۴-۲- مصالح

۴-۲-۱- سیمان

سیمان پرتلند مورد استفاده باید ضوابط استاندارد ASTM C150 را برآورده نماید. سیمان پرتلند همچنین می‌تواند با سیمان هیدرولیکی و یا پوزولان مطابق با ضوابط استاندارد ASTM C595 مخلوط گردد.

بارگیری، حمل و تخلیه سیمانها باید به دقت صورت گیرد و از اثر باران و رطوبت بر آنها جلوگیری شود. نگهداری سیمان فله فقط در سیلو مجاز است. نگهداری و ذخیره سیمان در نقاطی که رطوبت نسبی هوا از ۹۰ درصد بیشتر باشد، نباید در کیسه بیش از ۶ هفته و در سیلوهای مناسب بیش از ۳ ماه به طول بیانجامد. بطور کلی در حمل و نقل و انبار کردن سیمان رعایت استاندارد ۲۷۶۱ ایران، تحت عنوان «استاندارد آیین کاربرد، حفاظت و انبار کردن سیمان در کارگاههای ساختمانی» الزامی است.

۴-۲-۲- سنگدانه

سنگدانه‌های مورد استفاده می‌تواند ریزدانه و یا درشت‌دانه باشد و جز در موارد ذکر شده در این بند، باید مطابق با ضوابط ASTM C33 برای سنگدانه‌های معمولی و ASTM C330 برای سنگدانه‌های سبک، تهیه گردد.

حداکثر قطر اسمی سنگدانه‌های درشت دانه نباید از $\frac{1}{5}$ کوچکترین بعد عضو، $\frac{3}{4}$ فواصل بین آرماتورها و یا $\frac{3}{4}$ پوشش بتن بیشتر گردد. سنگدانه‌ها باید تمیز و سخت بوده و عاری از هرگونه مواد شیمیایی، ترکیبات آلی، نمک، پوشش‌های گچی، رس و یا مواد ریز دیگر که بر چسبندگی آنها با خمیر سیمان اثر می‌گذارد، باشند. همچنین سنگدانه‌ها نباید دارای پتانسیل واکنش قلیایی باشند. از نظر شکل ظاهری سنگدانه‌ها نباید پولکی، سوزنی، ترد، قابل تورم، متخلخل و از مصالح نرم باشند. درصد سنگدانه‌های پولکی و سوزنی در درشت‌دانه‌ها نباید از ۱۵٪ تجاوز کند. برای بتن مصرفی در مناطق ساحلی خلیج فارس و دریای عمان، حداکثر جذب آب سنگدانه‌های مصرفی در بتن برای سنگدانه‌های درشت به $\frac{2}{5}$ درصد و برای سنگدانه‌های ریز به ۳ درصد محدود می‌گردد.

۴-۲-۳- آب

آب مصرفی برای شستشوی سنگدانه‌ها، ساخت و عمل‌آوری بتن باید تمیز، صاف و روشن باشد. همچنین باید از مصرف آب حاوی مقادیر زیاد از هر نوع ماده از قبیل روغن‌ها، اسیدها، قلیایی‌ها، املاح، مواد قندی و مواد آلی که قادر به صدمه زدن به بتن یا میلگرد باشد، خودداری کرد. مواد زیان‌آور در آب مصرفی در بتن نباید از مقادیر حداکثر مجاز داده شده در جدول (۶) تجاوز کند.

جدول (۶): حداکثر مجاز مواد زیان‌آور در آب مصرفی بتن

نوع ماده زیان‌آور	شرح	حداکثر غلظت مجاز ppm (قسمت در میلیون)
ذرات جامد مطلق	- بتن‌آرمه در شرایط محیطی شدید و بتن پیش‌تنیده - بتن‌آرمه در شرایط محیطی ملایم	۱۰۰۰ ۲۰۰۰
مواد محلول	- بتن‌آرمه در شرایط محیطی شدید و بتن پیش‌تنیده - بتن‌آرمه در شرایط محیطی ملایم	۱۰۰۰ ۲۰۰۰
(CI) کلرید	- بتن‌آرمه در شرایط محیطی شدید، بتن پیش‌تنیده - سایر موارد بتن‌آرمه، در شرایط مرطوب	*۵۰۰ *۱۰۰۰
(SO ₄) سولفات	- بتن‌آرمه و بتن پیش‌تنیده	۱۰۰۰
قلیاییها	(Na ₂ O+0.658 K ₂ O)	۶۰۰

* جدول ۷ را ببینید.

بطور کلی آب آشامیدنی، برای مصرف در ساخت و عمل‌آوری بتن رضایت‌بخش تلقی می‌شود. آب غیرآشامیدنی را به شرطی می‌توان در ساختن بتن به کار برد که با ضوابط زیر و نیز جدول (۷) مطابقت داشته باشد.

الف- مقاومت‌های ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌های ملات ساخته شده با آب غیرآشامیدنی، حداقل معادل ۹۰ درصد مقاومت‌های نظیر نمونه‌های مشابه ساخته با آب مقطر باشند.

ب- زمان گیرش سیمان با آب غیرآشامیدنی نباید بیش از یکساعت زودتر تا ۱/۵ ساعت دیرتر از نتیجه به دست آمده با آب مقطر باشد.

ج- نتیجه آزمایش سلامت سیمان با آب غیرآشامیدنی بیش از میزان مجاز مربوط به آب مقطر نباشد.

جدول (۷): حداکثر کلرید قابل حل در آب در بتن

نوع قطعه بتنی	حداکثر کلرید قابل حل در آب در بتن، درصد نسبت به وزن سیمان
تیر پیش‌تنیده	۰/۰۶
تیر بتن‌آرمه که در زمان بهره‌برداری در معرض رطوبت و کلریدها قرار گیرد.	۰/۱۵
تیر بتن‌آرمه‌ای که در زمان بهره‌برداری در حالت خشک باشد یا از رطوبت محافظت شود.	۱/۰۰

مقدار PH آب مصرفی در بتن نباید از ۵ کمتر و از ۸/۵ بیشتر باشد. طرح اختلاط بتن باید براساس آبی که در کارگاه استفاده می‌شود، تعیین گردد.

۴-۲-۴- افزودنی‌ها

افزودنی‌های هوازا باید مطابق با استاندارد ASTM C260 به کار روند. افزودنی‌های شیمیایی نیز باید مطابق با استاندارد ASTM C494 مورد استفاده قرار گیرند. خاکستر بادی و یا سایر پوزولان‌های مورد استفاده باید ضوابط استاندارد ASTM C618 را برآورده سازند. در هر حال مقدار یون کلرید در افزودنی‌ها باید در حدی باشد که از مقادیر داده شده در جدول (۷) تجاوز نکند.

۴-۲-۵- فولاد

فولاد پیش‌تنیدگی باید مطابق ضوابط ASTM A416/A416M، ASTM A421 و یا ASTM A722/A722M باشد. میلگردهای طولی غیرپیش‌تنیده باید مطابق ضوابط ASTM A615/A615M و یا ASTM A494 باشند. خاموت‌ها باید ضوابط ASTM A82، ASTM A496 و یا ASTM A641 را برآورده سازند.

کلیه ملحقاتی که در مقطع قرار داده شده‌اند باید در برابر خوردگی مقاوم باشند. همچنین استفاده از آلومینیوم در مقطع بتن مجاز نمی‌باشد.

۴-۳- مقاومت بتن

حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن مورد استفاده در تیرها 50 MPa (500 kg/cm^2) می‌باشد. نحوه تعیین مقاومت فشاری مطابق با استاندارد ASTM C39 و یا ASTM C42 می‌باشد. استوانه‌های آزمایش مقاومت فشاری مطابق با ASTM C31 و ASTM C172 تهیه می‌شوند.

۴-۴- پوشش بتنی

حداقل پوشش بتن برای تیرهای بتنی که به شیوه بتن‌ریزی ساکن تولید می‌شوند 25 mm و برای تیرهایی که با روش گریز از مرکز و با مقطع لوله‌ای تولید می‌شوند 20 mm می‌باشد. محل انتهای آرماتورهای پیش‌تنیدگی باید 6 mm عقب‌نشینی داشته و با مصالح ضدآب مناسبی پر شوند.

۴-۵- خاموت‌ها

فواصل خاموت‌ها باید حداکثر 10 cm انتخاب گردد. در دو انتهای بالا و پایین تیر به فاصله 30 cm ، حداکثر فاصله بین خاموت‌ها $2/5 \text{ cm}$ در نظر گرفته می‌شود.

۴-۶- اختلاط بتن

سنگدانه‌ها باید شسته و دانه‌بندی شده بوده و به طرز صحیحی با نسبت‌های آب و سیمان و افزودنیها مخلوط گردد. به نحوی که بتن حاصل کیفیت موردنیاز را برآورده نماید. در این مورد ضوابط ASTM C94 باید برآورده شود.

۴-۷- بتن‌ریزی

بتن‌ریزی باید در شرایطی صورت گیرد که قالب آن تا حد امکان در موقعیتی نزدیک به موقعیت نهایی (قائم) قرار داشته باشد. لازم است در مورد پرشدن تمامی قالب و قرارگیری بتن در زیر و اطراف همه میلگردها، توجه ویژه صورت گیرد. آرماتورها باید به نحوی قرار داده شده و محکم شوند که در هنگام بتن‌ریزی جابجا نشوند. سیم‌هایی که برای محکم کردن خاموت‌ها و میلگرد و تاندن‌ها به کار می‌روند باید تا حد امکان خم شود تا مانع از بتن‌ریزی مناسب نشوند.

۴-۸- عمل‌آوری

تیرهای بتنی باید به کمک یکی از روشهای زیر عمل‌آوری شوند. دمای بتن در یک ساعت اول بعد از بتن‌ریزی نباید بیش از 40°C و یا کمتر از 4°C گردد.

۴-۸-۱- عمل‌آوری به کمک آب

تیرها می‌توانند با استفاده از پوشش اشباع از آب و یا به کمک سیستم لوله‌های سوراخ‌دار عمل‌آوری گردند.

۴-۸-۲- عمل‌آوری به کمک بخار آب

اتاق بخار باید به گونه‌ای ساخته شود که از افت حرارت و رطوبت جلوگیری کرده و اجازه دهد بخار آب در اطراف نمونه‌ها به خوبی گردش باشد. ورودی‌های بخار باید به گونه‌ای تعبیه شوند که بخار آب را بطور مستقیم روی نمونه‌ها و یا قالب‌ها ندمند. چرخه عمل‌آوری به کمک بخار آب مطابق زیر صورت خواهد گرفت:

الف - بعد از بتن‌ریزی و قبل از اقدام به بالابردن حرارت بتن، باید صبر کرد تا بتن به مقاومت اولیه تقریبی $3/5\text{ MPa}$ برسد. این کار به کمک روش ارائه شده در ASTM C403 صورت خواهد گرفت. اگر دمای محیط کمتر از 15°C گردد، باید حرارت کافی داده شود تا دمای بتن در حد دمای بتن‌ریزی باقی بماند.

ب - افزایش دما در محفظه عمل‌آوری باید یکنواخت و با نرخ افزایش بین 1°C تا 3°C در ساعت باشد. بتن باید در دمای بین 54°C تا 74°C عمل‌آوری شود تا اینکه به مقاومت موردنظر برسد.

ج - نمونه‌های استوانه‌ای باید در شرایط مشابه با تیرها عمل‌آوری گردند.

د - به منظور ثبت رابطه زمان - دما در طول عمل‌آوری از مرحله بتن‌ریزی تا انتقال پیش‌تنیدگی لازم است از داماسنج‌های ثبت‌کننده استفاده شود.

علاوه بر روش‌های ذکر شده، عمل‌آوری به طرق دیگر باید بر مبنای استانداردهای معتبر صورت گرفته و به تأیید کارفرما برسد.

۴-۹- پیش‌تنیدگی

قبل از اعمال پیش‌تنیدگی اولیه، بتن باید به مقاومتی بیش از 35 MPa و نیز $1/67$ برابر حداکثر تنش موردانتظار در بتن (که در نتیجه نیروهای پیش‌تنیدگی بلافاصله بعد از انتقال نیرو و قبل از افت‌ها در بتن بوجود می‌آید) برسد. ترتیب کشیدن رشته‌ها و سیم‌ها در حالت پس کشیده باید به نحوی باشد که از اعمال تنش‌های موقت نامطلوب جلوگیری شود.

۴-۱۰- قالب‌بندی

قالب‌ها باید صلب بوده و به قدر کافی مقاوم باشند تا وزن بتن را بدون بوجود آوردن تغییر شکل بیش از حد تحمل نمایند. نشت آب از قالب باید تا حد امکان برطرف گردد. کلیه قالب‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که هنگام جداسدن از بتن، آسیبی به آن وارد نکنند. کلیه لبه‌های نمایان بتن با زاویه کمتر از ۱۰۰ درجه باید گرد و یا پخ شوند. قالب‌ها قبل از هر مرحله استفاده باید تمیز گردند. قالب‌های نو باید از هر نوع رنگ و یا پوشش دیگر که ممکن است به سطح تیر بچسبد، عاری باشد.

۴-۱۱- پرداخت سطح رویه

پرداخت سطح رویه تیرها باید مطابق پیشنهادات ناظر صورت گیرد.

۴-۱۲- خطا در ساخت

۴-۱۲-۱- طول

خطا در ابعاد طول تیر نباید از بزرگترین دو مقدار ۵۰ میلی‌متر و یا ۳۰ میلی‌متر در هر ۳ متر طول تیر بیشتر گردد.

۴-۱۲-۲- سطح مقطع

الف - قطر خارجی: تغییرات قطر خارجی تیر نسبت به ابعاد طراحی نباید بیش از ۶ میلی‌متر گردد.
ب - ضخامت دیواره: در تیرهای بتنی توخالی، ضخامت دیواره نباید از بزرگترین دو مقدار ۸۸٪ مقدار محاسباتی و ۶ میلی‌متر کمتر از مقدار محاسباتی، کمتر گردد.

۴-۱۲-۳- انحراف از محور طولی

انحراف از محور طولی نباید از ۶ میلی‌متر در هر ۳ متر طول کمتر گردد. این بند چه در مورد کل سازه و چه در مورد بخشی از آن قابل کاربرد است.

۴-۱۲-۴- جرم

جرم کل سازه بتنی نباید بیش از ۱۰٪ با جرم طراحی تفاوت داشته باشد.

۴-۱۲-۵- جایگذاری آرماتورها و تاندن‌ها

الف- آرماتورهای طولی: انحراف آرماتورهای طولی و تاندن‌ها از محل اصلی نباید از ۶ میلی‌متر برای هر کدام و ۳ میلی‌متر برای مرکز یک دسته بیشتر گردد.

ب- خاموت‌ها: خاموت‌ها باید حداکثر در فاصله ۴۰ میلی‌متر از محل اصلی قرار گیرند. به جز در دو انتهای بالا و پایین تیر به فاصله ۳۰ سانتی‌متر که دقت قرارگیری خاموت در آنها ۵ میلی‌متر می‌باشد.

۴-۱۲-۶- سوراخ‌ها

تغییرات قطر سوراخ برای پیچ کردن تجهیزات به ۱/۵ میلی‌متر محدود می‌شود. تغییرات فضای بین سوراخ‌ها برای یک سوراخ به ۳ میلی‌متر و برای خط مرکزی دسته سوراخ‌ها به ۲۵ میلی‌متر محدود می‌گردد.

۴-۱۳- آزمون‌ها

۴-۱۳-۱- آزمون تعیین مقاومت فشاری بتن

الف - آزمون‌های تعیین مقاومت فشاری باید با استفاده از استوانه‌های استاندارد مطابق با استاندارد ASTM C39 صورت گیرد. برای این منظور باید دو نمونه برای هر ۸ مترمکعب بتن‌ریزی با حداقل دو نمونه برای هر مرحله اختلاط بتن، گرفته شود.

ب - در شرایط عمل‌آوری تیرها با بخار آب، نمونه‌ها باید در شرایطی مشابه عمل‌آوری شوند. اگر تیرها در درجه حرارت معمولی عمل‌آوری شوند، لازم است نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM C31 عمل‌آوری گردند.

ج - میانگین مقاومت فشاری کلیه نمونه‌های استوانه‌ای باید بزرگتر یا مساوی با مقاومت فشاری طرح بتن باشد. در هیچ حالتی مقاومت هر کدام از نمونه‌ها نباید از ۸۰٪ مقاومت فشاری طرح بتن کمتر گردد.

د - در صورتی که ضوابط بند (ج) برآورده نشد، باید از تیرهای بتنی مغزه‌گیری شود و مقاومت فشاری نمونه‌های مغزه‌گیری شده تعیین گردد. این کار مطابق ASTM C42 صورت خواهد گرفت. تعداد آزمایشات مطابق بند (الف) خواهد بود و نتایج آن باید احتیاجات بند (ج) را برآورده کند. در صورتی که نتایج آزمایشات حداقل‌های موردنیاز را برآورده نکردند، می‌توان از تیرهای فوق در موقعیت‌های دیگر که جوابگو هستند، استفاده کرد.

۴-۱۳-۲- آزمون بارگذاری تیرها

الف - آزمون بارگذاری تیرها باید بر روی تیری با ابعاد اصلی صورت گیرد. تیرها می‌توانند در دو موقعیت افقی و یا عمودی بارگذاری شوند. در هر صورت شرایط گیرداری انتهای تیر باید به طرز مناسبی تأمین شود. در صورت انجام آزمون به صورت افقی لازم است تمهیداتی جهت حذف نیروی وزن سازه به کار برده شود.

- ب - تعداد و توالی آزمونها، شیوه اعمال بارگذاری تیرها برای ایجاد پیچش و خمش، موقعیت، جهت اعمال بار و محل تجهیزات اندازه‌گیری تغییر شکل‌ها با نظر کارفرما تعیین خواهند شد.
- ج - پیمانکار موظف است فرم گزارشات مربوط به آزمون تیر را تکمیل و ارائه کند. این گزارشات شامل تمامی نتایج ثبت شده، به همراه نقشه‌های تفصیلی خواهند بود.

۴-۱۴- شرایط رد تیرهای ساخته شده

- تیرهای ساخته شده ممکن است به علت عدم برآوردن مشخصات فنی ذکر شده و یا یکی از دلایل زیر پذیرفته نشوند:
- الف- نقصی که بیان کننده عدم صحت نسبت مصالح، اختلاط بتن و قالب بندی باشد.
- ب- نقایص سطحی که شامل متخلخل بودن بتن و یا محل‌های بتن ریزی نشده باشد.
- ج- وجود مناطق آسیب دیده و ترک خورده به نحوی که مقطع دیگر قادر به برآوردن نیازهای طراحی نباشد.
- د- افت پیش تنیدگی تاندرها

در هر حال سازنده نباید بدون اخذ مجوز کتبی از ناظر اقدام به رفع نقایص ظاهری کند. از آنجاییکه مشکلات موضعی در ساخت و یا وارد آمدن خسارت در هنگام حمل تیر در برخی موارد غیرقابل اجتناب است، تعمیر مقطع می‌تواند صورت گیرد. در این مورد نیز اخذ مجوز کتبی از دستگاه نظارت الزامیست.

مقاطع تعمیر شده باید مطابق با مشخصات فنی ذکر شده در این نشریه باشد و پس از انجام تعمیرات لازم باید به تایید نهایی دستگاه نظارت برسد.

۴-۱۵- نقشه‌ها و مدارک

۴-۱۵-۱- مدارکی که باید پیشنهاد دهندگان ارائه نمایند:

- ابعاد و طرح کلی پایه بتنی
- مشخصات بتن مورد استفاده (شامل منبع تهیه، مقاومت ۲۸ روزه، استفاده و یا عدم استفاده از افزودنی‌ها و...)
- مشخصات کامل آرماتورها و تاندرها
- حداکثر وزن نهایی پایه بتنی
- فهرست آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مورد استفاده
- شرح خلاصه‌ای از استثناهای موجود بر مشخصات فنی
- فهرست لوازم مخصوص مورد نیاز
- روش اعمال پیش تنیدگی در تیرها

- خلاصه‌ای از نحوه انجام آزمون‌ها
- دستورالعمل‌های مربوط به بسته‌بندی، حمل و نقل، انبارداری، نصب و نگهداری

۴-۱۵-۲- مدارکی که باید پیمانکار یا سازنده ارائه نماید:

- مدارک و نقشه‌های مربوط به طراحی، ساخت، بسته‌بندی، علامت‌گذاری، حمل، انبارداری، نصب و آزمون‌ها که به شرح ذیل می‌باشند، ولی به آنها محدود نمی‌شوند، باید ارسال گردند:
- دفترچه محاسبات طراحی برای اثبات کفایت مطلوب سازه (در صورت استفاده از نرم‌افزار، باید مشخصات و مبنای برنامه‌های مورد استفاده، فرض‌ها، داده‌های اولیه و نتایج بدست آمده ضمیمه دفترچه محاسبه شوند).
- نقشه‌های اجرایی.
- گزارش آزمون‌ها و گواهی‌های مربوط به موفق بودن آنها.
- جزئیات بسته‌بندی، حمل و انبارداری.
- جزئیات مربوط به نصب و نگهداری.
- جداول زمانی.
- گزارشات مربوط به پیشرفت کار ماهانه.
- فهرست نقشه‌ها.
- فهرست تجهیزات مورد استفاده.
- همچنین نقشه‌های ارائه شده توسط طراح باید شامل موارد زیر باشد:
- الف- ابعاد و طول
- ب- توضیحات و موقعیت آرماتورها و تاندن‌ها
- ج- مقاومت ۲۸ روزه بتن
- د- کلیه اطلاعات مربوط به تنش تاندن‌ها
- ه- ابعاد، موقعیت و توضیحات کلیه سخت‌افزارهای الحاقی
- و- شماره‌گذاری تیر و سایر اطلاعات مورد لزوم

۵- پایه‌های مهارتی

۵-۱- ملاحظات طراحی

لازم است طراح خط با توجه به شرایط محل، تجهیزات قابل کاربرد و مهارت نیروی انسانی، محدودیت‌های روش‌های قابل قبول را بازبینی و مشخص نماید. جزئیات سازه‌ای و غیره که در ارتباط با ایمنی هنگام ساخت و اجرا هستند، باید در هنگام طراحی سازه در نظر گرفته شوند. طراح خط باید با پرسنل نصب و نگهداری مشورت نموده و با به کارگیری تجربیات موجود، تعادل مناسبی بین کارایی و انعطاف‌پذیری سازه و هزینه‌ها برقرار نماید. حداکثر بارهای مورد انتظار ناشی از روش‌های نصب و نگهداری و محل اعمال آنها باید توسط طراح خط مشخص گردد.

۵-۲- بازرسی و نگهداری

همانند سایر پایه‌های خطوط انتقال نیرو، سازه‌های مهارتی باید تحت بازرسی مشخص و زمانبندی شده با جزئیات مشخص قرار گیرد. لازم است بازرسی فرم‌های تهیه شده توسط کارفرما در مورد بازرسی سازه‌ها را تکمیل و ارائه نماید. در مورد سازه‌های مهارتی لازم است علاوه بر مواردی که در بازرسی سازه‌های خودایستا صورت می‌گیرد، موارد زیر نیز مورد بررسی قرار گیرند:

الف- راستای مهارها و میل مهارها

ب- مقدار کشش مهارها

ج- کنترل مهارها برای شل‌شدگی

سست‌شدن و شل‌شدن مهار یک تیر و یا مهارهای یک برج مهارتی معمولاً بیان‌کننده جابجایی پی‌ها می‌باشد. در هر حال در صورت مشاهده شل‌شدگی باید عوامل زیر بررسی شوند:

الف- پاره‌شدن رشته‌های مهار

ب- لغزش بست‌های دو سر مهار

ج- لغزش، ترک‌خوردگی، خمش و یا شکستگی سخت‌افزارها

۵-۳- دستورالعمل‌های اجرایی

در این بخش مشخصات و دستورالعمل‌های اجرایی احداث پایه‌های مهارتی ارائه می‌شود. در صورت ارائه پیشنهاد از طرف سازنده که متفاوت با روش‌های ارائه شده در این بخش باشد، لازم است قبل از هرگونه اقدام، روش‌های یادشده به تایید برسند.

۵-۳-۱- ملاحظات ساخت

سادگی در ساخت توسط شماری از ملاحظات در طراحی سازه و جزئیات اتصالات، قابل کسب است. روش‌های نصب و اتصال در محل از عوامل مختلفی نظیر مسیر خط، عوارض زمین، شرایط آب و هوایی و فصلی، محدودیت‌های محیط زیست، دسترسی به مسیر خط و در دسترس بودن منابع حیاتی از نظر نیروی انسانی و تجهیزات، تاثیر خواهد گرفت. به عنوان مثال در صورتیکه جابجایی و انتقال یک برج بزرگ به محل نصب مشکل باشد، باید حمل بوسیله بالگرد در نظر گرفته شود.

در واقع بزرگترین صرفه‌جویی در زمان و هزینه نصب سازه‌ها می‌تواند به کمک تجهیزات سریع نصب‌شونده برای بست‌ها و یا استفاده از انواعی از سازه‌های مهاریه که از نظر تغییر مکان‌های مجاز انعطاف بیشتری دارند، صورت گیرد. محدودیت‌های تغییر مکان باید بر مبنای معیارهای رفتاری سازه نصب شده باشد.

۵-۳-۲- تیرهای مهاریه

۵-۳-۲-۱- روش‌های جای گذاری

تیرها و قاب‌های H شکل مهاریه با اتصال گیردار به پی، نسبت به تیرها یا برج‌های فولادی خودایستا از انعطاف‌پذیری کمتری در هنگام نصب برخوردارند. دقت در محل دقیق نصب بست‌ها نقش مؤثری در عملکرد صحیح تیر مهاربندی شده دارد. زاویه مهارها در نمای افقی و قائم باید مورد توجه قرار گرفته و انحراف از این زوایا باید به تایید مهندس طراح برسد.

تیرهای مهاریه برای حمل ممکن است به دو یا چند محل برای اتصال تجهیزات بالا برنده نیاز داشته باشند تا از تغییر شکل بیش از حد و یا اعمال تنش‌های زیاد در حین بالا کشیدن تیر جلوگیری شود.

یک تیر فولادی مهاریه با اتصالات لغزشی باید روی زمین مونتاژ گردد. تغییرات در طول تیر که در نتیجه لغزش در اتصالات بوجود می‌آید باید هنگام جای گذاری میل مهارها و نصب تیر در محل پی جبران شود. نیروهای وارد بر تیر در طول عمل نصب نباید از نیروهای حداکثر طراحی تجاوز نمایند.

۵-۳-۲-۲- نصب مهارها

برای تیرهای مهاریه با پی‌گیردار، برخی طراحان ممکن است برای مقاومت در برابر بار باد، خواهان نصب سریع مهارها باشند. همچنین ممکن است مهارها تنها برای مقاومت در برابر بار هادی‌ها و سیم زمین طراحی شده باشند. در هر حال مهندس طراحی باید زمان نصب مهارها و هرگونه مهاربندی موقت احتمالی برای حفظ پایداری سازه را مشخص نماید.

برای تیرهای زاویه‌ای یا انتهایی، معمولاً مهارها به گونه‌ای نصب می‌شوند که سازه خمیده و با مقدار کمی تغییر شکل در جهت منفی باشد تا پس از اعمال بار جانبی روزانه، سازه به صورت مستقیم و بدون تغییر شکل باشد. این کار به دو صورت انجام می‌شود. در روش اول پس از نصب هادی‌ها و اعمال بار، مهارها دوباره کشیده می‌شوند. در روش دوم مهارها به گونه‌ای پیش کشیده می‌شوند که قبل از نصب هادی‌ها، نوک تیر مقدار مشخصی تغییر شکل در جهت منفی دارد.

در صورتیکه مقدار پیش کشیدگی مهارها مشخص باشد، این مقادیر باید طبق نظر طراح و با اختلاف در حد مجاز ارائه شده اعمال شوند.

۳-۳-۵- قاب‌های صلب و برج‌های مشبک مهاری

۱-۳-۳-۵- روش‌های جای گذاری

قاب‌ها و برج‌های مهاری ممکن است با هر روش که مناسب با شرایط ناحیه، دسترسی به محل، تجربه نیروی انسانی و تجهیزات در دسترس باشد، نصب گردند.

نیروی عمودی اثر ناچیزی بر روی کشش مهارها خواهد گذاشت. از این رو به ندرت پس از سیم‌کشی خط مهارهای برج‌های میانی را تنظیم می‌کنند. معمولاً پس از سیم‌کشی، مهارهای پایه‌های زاویه‌ای و انتهایی نیاز به تنظیم مجدد دارند.

۲-۳-۳-۵- نصب به کمک جرثقیل

در صورت امکان یک برج مهاری باید ابتدا بصورت کامل مونتاژ شده و سپس نصب گردد. اگرچه در شرایط دشوار محلی، سازه‌های مهاری می‌توانند به صورت بخش‌های مجزا و به کمک مهارهای موقت نصب گردند.

۳-۳-۳-۵- نصب به کمک بالگرد

بالگردها قادرند کل سازه (و در برخی مواقع همراه با ملحقات نصب هادی‌ها) را از محل ساخت به محل نصب منتقل کرده و حتی مستقیماً در موقعیت مشخص پی قرار دهند.

جابجایی کلی سازه بصورت فوق از کارگاه ساخت به محل نصب دارای امتیازات زیر خواهد بود:

الف- کاهش کمبود قطعات و حذف تاخیر به علت اینگونه نقایص

ب- کاهش زمان آماده‌سازی و پاکسازی کارگاه

ج- کاهش هزینه‌های انتقال و اقامت نیروی انسانی در کارگاه‌های مختلف در طول مسیر

د- کاهش هزینه‌های مونتاژ (مونتاژ بیش از ۴۰ برج در یک کارگاه باعث اقتصادی‌تر شدن هرچه بیشتر مونتاژ می‌شود. خصوصاً

هنگام استفاده از تجهیزات برقی برای سفت کردن پیچ‌ها و اندازه‌گیری، بریدن و اتصال مهارها به سازه قبل از جابجایی)

ه- کاهش خسارت‌های زیست محیطی (باتوجه به احداث حداقل راه‌های دسترسی و عدم حضور کارگاه در مسیر)

همچنین در صورت استفاده از این روش لازم است ملاحظات زیر در نظر گرفته شوند:

الف- اتصال ملحقات اضافی موردنیاز در جابجایی به سازه

ب- مناسب بودن بالگرد از نظر ظرفیت حمل و ارتفاع منطقه و دمای محیط

ج- تخمین صحیح وزن، مرکز ثقل و نقاط اتصال برای بالا کشیدن سازه

د- در نظر گرفتن مجاز و یا غیرمجاز بودن قرارگیری عوامل انسانی رو و یا زیر سازه در هنگام نصب

لازم به ذکر است بیشترین صرفه‌جویی در هزینه، زمان و مصالح و بیشترین کاهش خسارت به محیط زیست زمانی به وقوع می‌پیوندد که نوع بالگرد مورد استفاده در شروع طراحی سازه و طرح‌ریزی ساخت معرفی گردد.

۵-۳-۳-۴- نصب مهارها

انتهای بالایی مهارها دارای یک بست ثابت و غیرقابل تنظیم بوده که به بالای برج و یا بازوها متصل می‌گردد. اتصال این بست‌ها به سازه قبل از نصب سازه صورت خواهد گرفت. عملیات اتصال مهارها، ترازنمودن سازه و پیش‌تنیدگی کل سیستم حداقل به دو شیوه متفاوت صورت می‌گیرد:

الف- روش سنتی

مهارها در ابعاد تقریبی بریده‌شده (قدری بلندتر از مقدار موردنیاز) و به بالای سازه با بست‌های دائم متصل می‌گردند و بطور موقت در انتهای دیگر نصب می‌شوند. سازه به کمک جرثقیل و یا بالگرد بطور تقریبی در وضعیت شاقولی قرار می‌گیرد، تا زمانی که کلیه مهارها به کمک ابزارهای پیش‌کشیدگی در جای خود محکم گردند و سازه در محل دقیق خود قرار گیرد. تجهیزات نقشه‌برداری و وسایل تراز کردن سازه تا زمانی که سازه با محکم کردن مهارها در موقعیت صحیح خود قرار گیرد، استفاده می‌شود.

این روش ممکن است نیاز به زمان و نیروی انسانی زیادی داشته باشد. مخصوصاً در شرایطی که ملاحظات شدیدی برای تراز سازه و نیروهای پیش‌تنیدگی وجود داشته باشد.

ب- روش متناوب

در صورتیکه برای انحراف از موقعیت ایده‌آل، آزادی عمل بیشتری داشته باشیم و با این فرض که این انحرافات در حد مجاز تاثیر کمی در مقاومت و کارکرد برج دارند، این روش بسیار سودمندتر از روش قبل خواهد بود. محدودیت‌ها در حدی تعیین می‌شوند که سازه از نظر ظاهری قائم دیده شود.

در صورتیکه انحراف سازه برج در راستای قائم از حدود یک درجه کمتر باشد، چشم انسان قادر به تشخیص انحراف نخواهد بود، بنابراین انحراف مجاز برج از راستای قائم نیم درجه در نظر گرفته می‌شود. این مقدار انحراف باعث می‌شود تغییر مکان نوک برج کمتر از یک درصد ارتفاع برج گردد.

در این روش طول مورد نیاز بست‌ها محاسبه شده و مهارها بریده می‌شوند. سه مهار در دو انتهای خود با بست ثابت مسدود شده و تجهیزات قابل تنظیم تنها به یک مهار متصل می‌شود. در هنگام نصب برج، نوک آن اندکی از حالت قائم منحرف می‌شود تا سه مهار مستقیماً به پی خود متصل گردند. در نهایت مهار چهارم متصل شده و پیش‌کشیدگی مطلوب اعمال می‌شود.

در روش متناوب لازم است سه مهار و بست‌های آنها با دقت حداکثر $0/3$ درصد از طول محاسباتی ساخته شوند.

۵-۳-۴- اتصال مهار به سازه

اتصال مهارها به سازه متناسب با نوع سازه تغییر خواهد کرد. برای تیرهای فولادی و بتنی، معمولاً از پیچ‌های میان‌گذر و یا تسمه استفاده می‌شود. در تیرهای فولادی ممکن است قطعه‌ای برای نصب مهار، از قبل به تیر جوش شود.

۵-۳-۵- تجهیزات کشش مهار

تجهیزات کشش که در سیستم باقی می‌مانند، تنها در پایین مهارها نصب خواهند شد. سازه‌های مهاری معمولاً بطور موقت در محل پی قرار می‌گیرند و با نصب مهارها سازه تراز می‌گردد. قلاب‌های ثابت نصب می‌شوند و قرارگیری در موقعیت نهایی و پیش‌کشیدگی، توسط ابزارهای لازم صورت می‌گیرد.

۵-۳-۶- انحرافات مجاز نصب

انحرافات مجاز از مقادیر اصلی در هنگام نصب برای سه مورد زیر باید مشخص باشند:

الف- موقعیت و جهت قائم سازه

ب- موقعیت بست‌ها و جهت میل مهارها و تراکم مصالح پرکننده

ج- طول برش اولیه مهارها

۵-۳-۶-۱- تیرهای ساده و H شکل مهاری

تیرهای مهاری باید در موقعیت قائم قرار بگیرند. جابجایی افقی تیر از محل اصلی نباید بیش از ۷۵ میلیمتر گردد. جابجایی قائم که در نتیجه خطا در عمق دفن تیر در پی می‌باشد نیز به ۱۵۰ میلیمتر محدود می‌گردد.

در قاب‌های H شکل مهاری حداکثر اختلاف ارتفاع بین دو تیر مجاور ۷۵ میلیمتر و حداکثر جابجایی افقی بین دو تیر ۵۰ میلیمتر می‌باشد.

موقعیت تکیه‌گاهها و میل مهارها در شرایط بد زمین حداکثر تا ۱ متر از موقعیت اصلی می‌تواند جابجا شود و این تغییر مکان باید برای محاسبات مجدد به مهندس طراح گزارش شود.

مقدار خطا در نیروی پیش‌کشیدگی مهار به ۱۰ درصد محدود می‌گردد.

۵-۳-۶-۲- قاب‌های صلب و برج‌های مشبک مهاری

مقدار حداکثر انحراف محور مرکزی از راستای قائم نیم‌درجه خواهد بود. این محدودیت به سبب حفظ راستای قائم در حدی است که از نظر ظاهری برج انحراف نداشته باشد. بنابراین برای سازه‌هایی نظیر سازه V شکل مهارشده و یا قاب مهارشده، انحراف نقطه مرکزی بازوها نباید بیش از یک صدم ارتفاع سازه باشد.

جابجایی پی مهار باعث می‌شود نحوه اعمال بار بر سازه با شرایط اصلی تفاوت کند. لازم است قبل از آغاز ساخت، این تغییرات در بارگذاری سازه در نظر گرفته شوند. موقعیت میل مهار در راستای خود باید حداکثر ۲ درصد ارتفاع کل سازه جابجایی داشته باشد. جهت میل مهار نسبت به راستای مهار می‌تواند تا ۵ درجه اختلاف داشته باشد.

۵-۳-۷- ساخت تکیه‌گاه تزریقی جهت اتصال مهار به زمین

روش ساخت به این صورت است که ابتدا یک سوراخ با توجه به زاویه و ابعاد مهار حفر شده و یک میل مهار فولادی در حفره قرار داده می‌شود. سپس حفره با دوغاب پر می‌گردد. قطر سوراخ در سنگ ۱/۵ تا ۳ برابر قطر میلگرد در نظر گرفته می‌شود. قبل از تزریق دوغاب لازم است حفره شسته شده و حداقل به مدت ۱۲ ساعت از آب انباشته گردد. قبل از نصب سوراخ با دمیدن هوای پرفشار خشک و تمیز خواهد شد. دوغاب معمولاً از مخلوط آب و سیمان با نسبت آب به سیمان ۰/۴ تا ۰/۴۵ تهیه می‌گردد. تنش چسبندگی نهایی بین دوغاب و برخی از مصالح سنگی در جدول (۸) آورده شده است. در صورت عدم اطمینان از نوع مصالح بستر لازم است نوع و مقاومت آن با استفاده از مغزه‌گیری و آزمایش تعیین شوند.

جدول (۸): تنش چسبندگی نهایی بین دوغاب و برخی از مصالح سنگی

مقاومت چسبندگی نهایی* (kPa)	جنس سنگ
۱۷۰۰-۳۱۰۰	گرانیت یا سنگ آتش‌نشانی سیاه
۱۴۰۰-۲۱۰۰	سنگ آهک دولومیت
۱۰۰۰-۱۵۰۰	سنگ آهک نرم
۸۰۰-۱۴۰۰	سنگ متورق و سنگ رسی سخت
۲۱۰-۸۰۰	سنگ رسی نرم
۸۰۰-۱۷۰۰	سنگ ماسه (ماسه‌سنگ)
۱۴۰۰-۲۸۰۰	بتن

*مقاومت چسبندگی باید با آزمایش کشش که شامل خزش باشد کنترل گردد.

نصب میل مهار در خاک بسیار شبیه به حالت نصب در سنگ می‌باشد. دوغاب سیمان به یکی از دو روش وزنی و یا تحت فشار تزریق خواهد شد. تزریق دوغاب مقاومت کششی تکیه‌گاه را به میزان قابل توجهی افزایش خواهد داد که این افزایش بستگی به اندرکنش خاک و دوغاب و جنس خاک دارد. لازم است بعد از اتمام نصب میل مهار و رسیدن مقاومت دوغاب به مقدار موردنیاز، یک آزمایش کشش بر روی مهار به منظور کنترل ظرفیت مهار صورت گیرد.

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی

این نشریه

با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال -
پایه های خطوط هوایی انتقال نیرو» جلد اول از
مجموعه دو جلدی است. در این مجلد مباحث
مربوط به ضوابط طراحی، سافت و نصب انواع
پایه های خطوط هوایی انتقال نیرو شامل برج
های مشبک فولادی، تیرهای فولادی، تیرهای
بتنی و پایه های مهارزی به دو زبان فارسی و
انگلیسی ارائه شده است.

