جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو
امور برق

استاندارد سازه ها و گنتری های فلزی و بتنی پستهای انتقال نیرو

مبانی و معیارهای طراحی و انتخاب سازه ها و فونداسیون ها

نشریه شماره ۶۴/۲۰۱

تحقیقات و فن آوری
استانداردها

محقق : شرکت مهندسین مشاور غرب نیرو

Mohandishidniroo.com

استاندارد سازه ها و گنتری های فلزی و بتنی پستهای انتقال نیرو

کمیسیون فنی نشریه " مبانی و معیارهای طراحی و انتخاب سازه ها و فونداسیون ها "

رئیس	سمت یا نمایندگی
ابراهیم نمازی (فوق لیسانس مدیریت)	سازمان مدیریت توانیر - دفتر استانداردها

محقق	
هاشم دوزبخشان (فوق لیسانس مهندسی برق)	مهندسین مشاور غرب نیرو
مجید الستی (فوق لیسانس مهندسی عمران)	مهندسین مشاور غرب نیرو
مهرداد حسن شعبانی (فوق لیسانس مهندسی عمران)	مهندسین مشاور غرب نیرو

اعضاء	
عباس داوری	سازمان مدیریت توانیر - دفتر استانداردها
محمدرضا حاج زمان	سازمان توسعه برق ایران
اسدا... امیدواری نیا	شرکت توزیع نیروی برق استان خوزستان
مهوش گلشن	شرکت برق منطقه ای تهران
جواد رجبی	شرکت برق منطقه ای باختر
رضا بخردی	شرکت برق منطقه ای هرمزگان
علی صدرزاده	شرکت برق منطقه ای فارس
احمد عباسی	شرکت برق منطقه ای خراسان
سیدمسعود چاوشی	شرکت برق منطقه ای زنجان
مسعود مرصعی	شرکت برق منطقه ای زنجان
مرتضی رحیمی دانش	شرکت مشانیر
احمد رباط جزی	شرکت مهندسین مشاور نیرو
مهران زینلیان	شرکت مهندسین مشاور دانشمند

Mehrshidniroo.com

فهرست مندرجات

موضوع	صفحه
۱- کلیات	۱
۱-۱- مقاومت سازه	۱
۱-۲- ایمنی سازه	۱
۲- مبانی و معیارهای انتخاب و طراحی سازه های فلزی	۳
۲-۱- حداقل اندازه ها	۳
۲-۲- محدودیت ضرایب لاغری	۳
۲-۳- مقاطع محاسباتی	۳
۲-۴- اعضای کششی	۴
۲-۵- اعضای فشاری	۵
۲-۶- قطعات خمشی	۶
۲-۷- تنش مجاز برشی قطعات	۷
۲-۸- ترکیب تنش ها	۸
۲-۹- طراحی اتصالات	۹
۲-۱۰- تغییر مکان های مجاز	۱۱
۳- روش دیگر طراحی	۱۷
۳-۱- ضرایب اطمینان	۱۷
۳-۲- تنش های مجاز	۱۷
۳-۳- مقایسه دو روش	۱۷
۴- مراحل طراحی سازه های بتنی در پستهای انتقال نیرو	۱۸
۴-۱- پارامترها و شاخص ها	۱۸
۵- روش طراحی سازه های بتنی در پستهای انتقال نیرو	۲۰
۶- مراجع	۲۱

Mehrshidniroo.com

پیشگفتار

استاندارد برحسب مورد عبارتست از تعیین تمام یا برخی از خصوصیات و مشخصات هر جوهره (محصول ، فرآیند ، سازمان یا فرد) و اطمینان از کیفیت آن از قبیل :

کالا (Material) شامل : اجزاء تشکیل دهنده ، ترکیب ، مواد اولیه ، جنس ، منشاء ، کمیت ، رنگ ، وضع ظاهر ، وزن ، ابعاد ، عیار ، فهرست مقادیر ، نحوه استفاده ، شرایط کاری ، شرایط محیطی و آب و هوایی ، مشخصات فنی ، توانائی ها ، قابلیت ها ، فهرست اطلاعات داده شده توسط خریدار ، فهرست اطلاعات خواسته شده از سازنده ، اطلاعات شرایط محیطی و آب و هوایی ، بسته بندی ، حمل و نقل و نگهداری.

مهندسی (Engineering) شامل : معیارها ، مبانی ، نیازها و خواسته ها ، اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی و انتخاب ، نرم افزارها ، شاخص ها و پارامترهای مشخص کننده طراحی ، روش قدم به قدم طراحی ، یک نمونه طراحی ، جداول طراحی ، مشخصات فنی و قابلیت ها ، خواص ، ایمنی ، بهداشت، اقتصاد ، نقشه ها ، طرح تفصیلی ، محاسبات ، دستورالعمل ها ، راهنمای کاربردی، معیارهای طراحی ، شرایط محیطی و ضرایب اطمینان.

اجرایی (Construction) شامل : ساخت ، نشانه و علامت گذاری ، بسته بندی ، حمل و نقل، نصب، فونداسیون ، سازه ، ساختمان ، تاسیسات ، راه اندازی ، راهبری و بهره برداری ، ابزار و وسائل خاص ، فصل مشترک ها ، نگهداری و تعمیرات ، دستورالعمل نصب ، ابزار مخصوص و تنظیمات.

بازرسی (Inspection) شامل : کیفیت ، بازرسی ، آزمایش در طول ساخت ، آزمایش راه اندازی ، آزمایش دوره ای ، فرم های کنترل کیفی ، روش کنترل کیفی و تاییدها.

عمومی (General) شامل : فرم ها ، نحوه یکنواخت کردن اوراق اداری ، اسناد بازرگانی و مالی ، اولویت ها ، روش ها ، توصیه ها ، تفسیرها ، ملزومات ، مقررات و قوانین ، سیاست ها و استانداردهای مورد استفاده.

ساختار (Structure) شامل : طرح و ساختار گزارش و خلاصه آن ، تهیه و تدوین کنندگان منابع ، مراجعه و استانداردهای مورد استفاده ، عناوین ، هدف و دامنه کاربرد ، تعاریف ، متن اصلی ، عبارات ، جداول ، ... ، نظرات و پیشنهادات ، آمار و اطلاعات ، اشکال ، جداول ، منحنی ها ، نقشه ها ، فرمول ها ، نمودارها ، نتیجه ، واژگان ، پیوسته و سبک نگارش.

این استاندارد جهت استفاده در صنعت برق تهیه و به تصویب مقام محترم وزارت نیرو رسیده است بنابراین رعایت آن برای کلیه شرکت های تابعه و وابسته به وزارت نیرو الزامی می باشد.

این استاندارد توسط گروهی مرکب از متخصصین و کارشناسان مجرب در زمینه های سازه های پستهای انتقال نیرو که دارای تجارب طولانی در صنعت برق و صنایع دیگر می باشند بر مبنای استانداردهای معتبر جهانی ، مراجع منتشره علمی ، مدارک فنی و تجارب کارشناسان ، متخصصین و

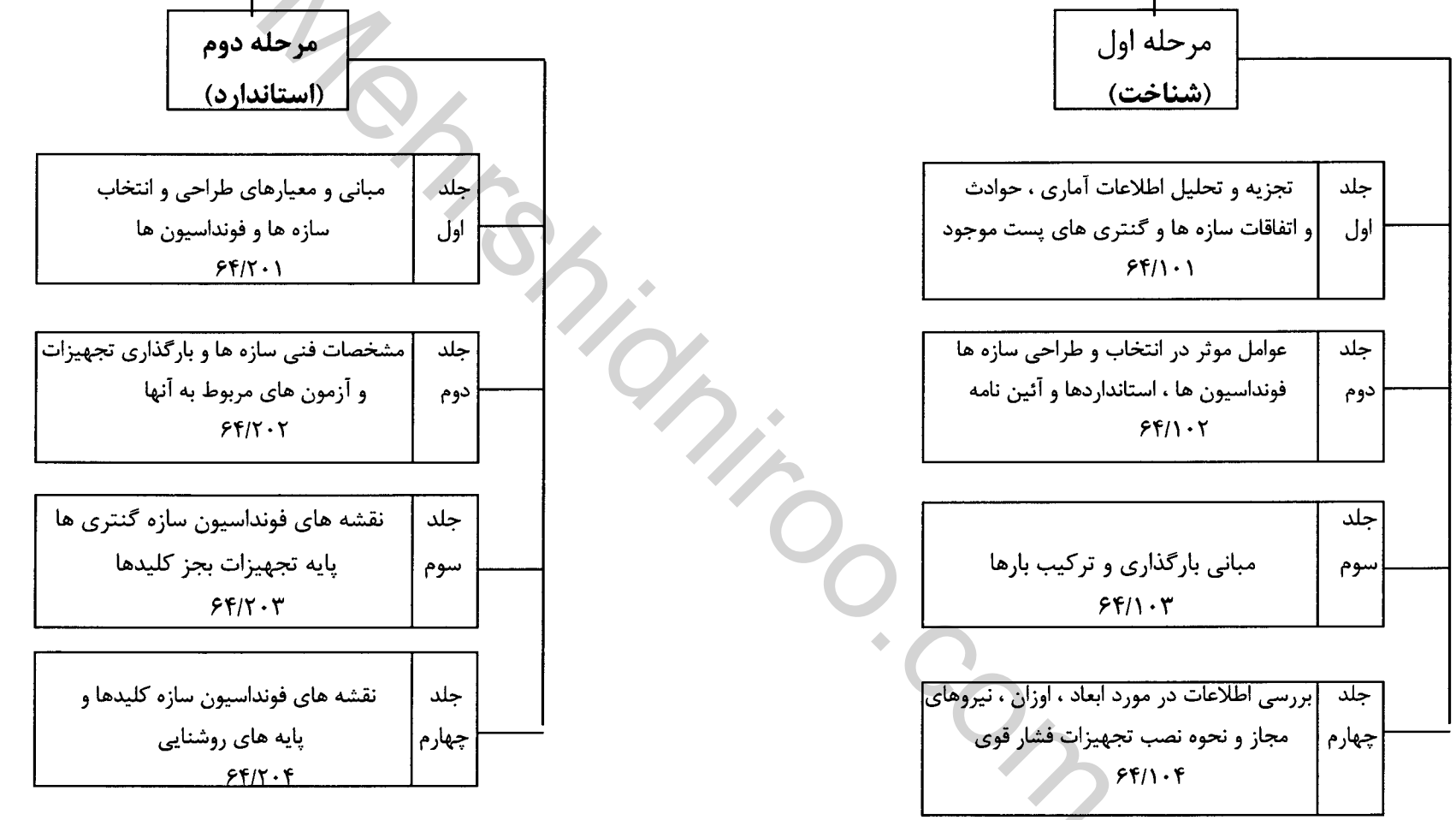
Mehrshidroo.com

صنعتگران تهیه شده و سپس بـه منظـور بررسـی و اظـهار نظـر بـرای اشـخاص علاقمنـد و ذینفـع شـامل مهندسین مشاور ، شرکت های تابعه و وابسته ، صاحبان صنایع و حرف و اساتید دانشگاه ها ، مراکز علمـی و تحقیقاتی ارسال و نظرات و پیشنهادات اصلاحی آنها جمع آوری گردیده است. و در مرحله بعدی جلساتی با حضور متخصصین و صاحب نظران فوق الذکر تشکیل و در نهایت نظرات و پیشنهادات اصلاحی مـورد تـایید اعضاء جلسه در آن اعمال و بدین ترتیب این استاندارد حاصل شده است.

علیرغم تلاش های فوق الذکر بهیچ وجه ادعا نمی گردد استاندارد حاضر بدون عیب و کاستی باشـد لـذا هرگونه نظرات اصلاحی در جهت ارتقاء کیفیت آن در تجدید نظر بعدی مورد استقبال قرار خواهد گرفت.

Mehrshidniroo.com

استاندارد سازه ها و گنتری های فلزی و بتنی پستهای انتقال نیرو



Mehrshidniroo.com

مقدمه

کیفیت عامل تعیین کننده در انجام هر کار است و بطورکلی هدف از انجـام هـر کـار کیفیـت آن کـار است و تحت هیچ شرایطی این عامل را نباید جدا نمود. در عین حال مسائل اقتصادی نـیز نقـش مـهمی در انتخاب نوع و طراحی سازه ها و فونداسیون ها ایفا می کنند. بنابراین در استاندارد نمودن طراحی سازه هـای پایه تجهیزات و گنتری ها سعی بر این بوده است که کاری بـا کیفیـت مطلـوب بـا در نظـر گرفتـن مسـائل اقتصادی ارایه گردد.

موفقیت در انتخاب و ارایه طرح بهینه بستگی مستقیم با شناخت هرچـه دقیقـتر از مشـخصات پـروژه دارد. در این راستا مسائل مختلفی باید مد نظر قـرار گـیرد و بـه کلیـه عواملـی کـه در طـرح کلـی سـازه و فونداسیون نقش اساسی دارند توجه شود. در استاندارد نمودن طراحی سازه ها و فونداسـیون هـا بـه لحـاظ عملکرد خاص نیاز به همکاری تخصص های مختلف مهندسی می باشد تا بتوان مجموعـه ای حـاصل نمـود که کلیه شروط زیر را تامین نماید :

- قابلیت نصب تجهیزات بر روی سازه بصورت آسان و مطمئن.
- تامین زیبایی و تناسب سازه ها.
- تامین مسائل ملی - اقتصادی و صرفه جویی در هزینه های ساخت.
- توجه به مسائل دوران نگهداری در انتخاب نوع سازه ها.

Mehrshidniroo.com

۱- کلیات

بعد از آشنایی با انواع پایه های نگهدارنده تجهیزات و گنتری هایی که در پستها مورد استفاده قرار می گیرند و در گزارشهای مرحله اول (شناخت) در جلدهای ۱ و ۲ به آنها اشاره شده است ، بحث معیارها و مبانی طراحی سازه مطرح می گردد. در طراحی سازه مهمترین و عمده ترین مبحث ، معیارهای طراحی می باشد که شامل بارگذاری سازه ، تحلیل ، بدست آوردن نیروهای داخلی در المان های مختلف (از قبیل المان های کششی ، فشاری و خمشی) و در نهایت طراحی قطعات سازه می باشد.

در جلد سوم از گزارشات مرحله اول ، مبانی بارگذاری بصورت مفصل مورد بحث و بررسی قرار گرفت و نحوه بارگذاری و مفروضات جهت پایه های نگهدارنده تجهیزات و گنتری ها مشخص گردید. در این جلد به معرفی مفروضات و ارایه روش های طراحی سازه های فلزی ، سازه های بتنی و فونداسیون ها پرداخته می شود. شایان ذکر است که مشخصات تجهیزاتی که در بارگذاری پایه های تجهیزات مدنظر قرار خواهند گرفت در جلد چهارم از گزارشهای مرحله اول آمده است.

همانطور که در مقدمه ذکر گردید مبانی و معیارهای طراحی باید مبتنی بر تامین مقاومت و ایمنی سازه انتخاب گردند که شرح مختصری از دو هدف ذکر شده ، آورده شده است.

۱-۱- مقاومت سازه

مقاومت یک سازه در درجه اول به مقاومت مصالحی بستگی دارد که از آن ساخته شده است. به همین دلیل در روش های استاندارد ، حداقل مقاومت مصالح تعریف می گردد. مقاومت واقعی مصالح بطور دقیق قابل تعیین نیست در نتیجه مقاومت فیزیکی مصالح مقداری اتفاقی خواهد بود. همچنین مقاومت سازه به ابعاد مقطع ، طول ، نحوه اتصالات و بطورکلی به هندسه هریک از اعضا و سازه ها بستگی دارد.

بعلاوه مقاومت یک سازه بستگی به دقتی دارد که در هنگام ساخت آن بکار می رود و این مساله منعکس کننده دقت نظارت و بازرسی در حین اجرا می باشد. از جمله مسائل اجرایی حین ساخت که می تواند در مقاومت سازه تاثیر بگذارد ، می توان اختلاف در ابعاد ساخته شده با ابعاد نقشه ، عدم قرار گیری صحیح المان ها در جای خود و ... را نام برد. بنابراین می توان گفت که مقاومت یک سازه ، که بطور کامل بررسی شده یک مقدار اتفاقی است و باید بطور تقریب آن را به کمک داده های آماری که از روی اندازه گیری های مقاومت مصالح و یا عضو بدست می آید ، تعیین نمود.

۱-۲- ایمنی سازه

برای اینکه یک سازه ، مقصودی را که برای آن طراحی می شود برآورده نماید ، باید در مقابل خرابی ایمن و همچنین در هنگام استفاده خدمت پذیر باشد. خدمت پذیری یک سازه یا ساختمان بدین معنی است که تغییر شکل ها از مقادیر مجاز تجاوز نکند و لرزش سازه یا ساختمان در حد مجاز نگهداشته شود.

ایمنی سازه بدین معنی است که مقاومت سازه در مقابل تمام بارهایی که احتمال وقوع و تاثیر آنها بر سازه می رود ، کافی باشد. اگر مقاومت یک سازه بطور دقیق قابل پیش بینی بود و اگر بارها و آثار داخلی آنها با دقت کافی معلوم بود ، با فراهم نمودن ظرفیت باربری سازه به مقدار جزئی بیش از بارهای وارده می توان از ایمنی سازه مطمئن بود. در تحلیل ، طراحی و اجرای سازه های بتن مسلح و فولادی تعداد

Mehrshidroo.com

زیادی عوامل غیر قطعی وجود دارد که این عوامل برقراری یک حاشیه اطمینان را لازم می دارند. این عوامل غیر قطعی بطور خلاصه به شرح زیر می باشند :

۱- بارهای واقعی ممکن است با بارهای مفروض در طراحی متفاوت باشد.

۲- توزیع واقعی بار ممکن است با توزیع مفروض طراحی متفاوت باشد.

۳- ساده سازی ها و مفروضاتی که برای ایده آل سازی در هنگام تحلیل به کار گرفته می شود ، باعث بوجود آمدن خطاها در تاثیر دادن نیروها می گردد.

۴- به علت عدم دانش کافی ، رفتار یک سازه در مقابل اثر نیروها ممکن است با رفتار مفروض متفاوت باشد.

۵- ابعاد واقعی اعضای ساخته شده با مقادیر مفروض در طراحی متفاوت باشد.

۶- المان ها ممکن است دقیقا" در جای خود قرار نگیرند.

۷- مقاومت واقعی مصالح با آنچه در طراحی مفروض است ممکن است متفاوت باشد.

با توجه به مفاد بالا ، دیده می شود که انتخاب یک حاشیه اطمینان (یا ضریب اطمینان) مناسب ، هم مهم و هم مشکل است. ضریب اطمینان باید توازنی بین اقتصاد و ایمنی سازه بوجود آورد. ایمنی سازه هیچ وقت نباید فدای اقتصاد شود و همچنین نمی توان عامل اقتصاد را در کارهای عمرانی از نظر دور داشت. بهبود کیفیت اجرا و شناخت دقیق مصالح و رفتار سازه ، این امکان را پدید می آورد که ضرایب اطمینان را کاهش داده و به اقتصاد طرح کمک نمود.

Mehrshidnroo.com

۲- مبانی و معیارهای انتخاب و طراحی سازه های فلزی

این مبانی و معیارها در دو بخش مورد بحث قرار گرفته اند. بخش اول را شاخص ها و پارامترها تشکیل داده اند و بخش دوم شامل مراحل طراحی می باشد. در انتها یک مثال طراحی نیز آورده شده است.

۲-۱- حداقل اندازه ها

حداقل ضخامت برای اعضای اصلی مانند پایه گنتری ها و تجهیزات ، ۶ میلی متر و برای اعضای مهاربندها ، ۴ میلی متر در نظر گرفته شود. حداقل ضخامت اعضای اضافی که فقط جهت مهار کردن اعضای دیگر استفاده می شود را می توان تا ۳ میلی متر کاهش داد. در ضمن در محیط های خشک و عاری از هرگونه آثار خورندگی می توان حداقل ابعاد اعضای اصلی و فرعی را به ترتیب ۵ و ۳ میلی متر در نظر گرفت.

سایز پیچ های مصرفی در سازه ها بایستی از ۸ میلی متر کمتر نباشد.

۲-۲- محدودیت ضرایب لاغری

در اعضایی که ملاک طراحی و محاسبه آنها نیروی فشاری است ، برای اعضای اصلی مانند اعضای اصلی خرپا ، ضریب لاغری (Kl/r) نباید از ۱۵۰ تجاوز نماید. در دیگر اعضای فشاری (اعضای درجه دوم نظیر بادبندی ها) لاغری را می توان تا ۲۰۰ افزایش داد. در اعضایی که فقط نیروی کششی عامل تعیین کننده طراحی است ، ضریب لاغری تا ۵۰۰ نیز می تواند افزایش یابد. برای اعضای فرعی مانند اعضایی که تنها برای مهار کردن اعضای اصلی بکار می روند ، لاغری مجاز تا ۲۵۰ می تواند در نظر گرفته شود. (مرجع شماره ۱۳)

۲-۳- مقاطع محاسباتی

۲-۳-۱- سطح مقطع کلی

سطح مقطع کلی عضو (A_g) برابر با مجموع سطح مقطع های اجزای آن و سطح مقطع هر بخش برابر با حاصل ضرب پهنای کلی در ضخامت آن می باشد. برای نیمرخ های نبشی پهنای کلی عبارتست از مجموع پهنای دو بال منهای ضخامت بال.

۲-۳-۲- سطح مقطع خالص

سطح مقطع خالص عضو (A_n) برابر با مجموع حاصل ضرب های پهنای خالص اجزا ، در ضخامت آنها می باشد. پهنای خالص عبارت است از پهنای کلی منهای قطر سوراخ هایی که به شرح زیر در نظر گرفته می شود.

الف - قطر سوراخ پیچ به مقدار ۱/۵ میلی متر بزرگتر از قطر اسمی سوراخ به حساب می آید.

ب - اگر سوراخ های متعدد به شکل زنجیره (به صورت قطری یا زیگزاگ) در مسیر مقطع بحرانی احتمالی قرار داشته باشند ، برای محاسبه پهنای خالص باید از پهنای کلی مورد بررسی مجموع

Mehrshidroo.com

قطرهای مسیر زنجیره را کم و به آن برای هر ردیف سوراخ در زنجیره یک مرتبه جمله $S^2/4g$ را اضافه کرد.

که در آن :

s = عبارت است از فواصل مرکز به مرکز سوراخ ها در امتداد طولی (گام طولی)

g = عبارت است از فاصله مرکز به مرکز ردیف های طولی (گام عرضی)

در نیمرخ نبشی گام عرضی برای سوراخ های واقع درروی دوبال متعامد ، عبارت خواهد بود از جمع فواصل سوراخ ها تا پشت نبشی منهای ضخامت آن.

مقطع بحرانی ، مقطعی است که سوراخ های مسیر زنجیره مربوط ، حداقل پهنای خالص را بدست دهد.

۲-۳-۳- سطح مقطع موثر

الف – در صورتی که بار به صورت مستقیم ، توسط وسایل اتصال ، به هریک از عناصر تشکیل دهنده مقطع منتقل شود ، سطح مقطع موثر (A_e) برابر سطح مقطع خالص (A_n) در نظر گرفته می شود.

ب – اگر بار توسط پیچ به قسمتی از عناصر تشکیل دهنده مقطع (و نه تمام آن) منتقل شود ، سطح مقطع موثر از رابطه زیر بدست می آید :

$$A_e = U.A_n \qquad (۱-۲)$$

که در آن :

A_n = سطح مقطع خالص عضو

U = ضریب کاهش دهنده

مقدار ضریب U باید به شرح زیر در نظر گرفته شود مگر اینکه نتایج آزمایش و سوابق تجربی دیگری ، استفاده از ضریب بزرگتری را موجه کند.

۱- برای نیمرخ های I نورد شده و سپری (T) بریده شده از آنها و مقاطع مرکب ساخته شده در صورتی که حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو موجود باشد : U = 0.85

۲- در تمام اعضا که فقط دو وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو موجود باشد : U = 0.75

۲-۴- اعضای کششی

تنش کششی مجاز (F_t) نباید از 0.6 F_y بر روی سطح مقطع کل و یا از 0.5 F_u بر روی سطح مقطع موثر خالص تجاوز کند که F_y تنش جاری شدن و F_u تنش نهایی فولاد می باشند.

Mehrshidniroo.com

۲-۵- اعضای فشاری

الف - در اعضای تحت اثر فشار محوری ، اگـر ضریـب لاغـری حداکـثر هـر قسـمت آزاد آن کمـتر از C_c باشد ، تنش مجاز برابر است با :

$$Fa = \frac{\left(1-0.5\beta^2\right)F_y}{F.S.} \qquad (۲-۲)$$

$$\beta = \left(K1/r\right)/C_c \qquad (۲-۳)$$

$$F.S. = 1.67 + 0.375\beta - 0.125\beta^3 \qquad (۲-۴)$$

که در آن :

$$C_C = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \frac{6440}{\sqrt{F_y}} \qquad (۲-۵)$$

ب - اگر Kl/r بزرگتر از Cc باشد ، تنش فشاری مجاز برای مقطع کلی عضـو تحـت اثـر فشـار محـوری از رابطه زیر تعیین می شود :

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} = \frac{105\times10^5}{(Kl/r)^2} \qquad (۲-۶)$$

در روابط فوق K ضریب لاغری ، l طول عضو ، r شعاع ژیراسیون حداقل ، E مدول ارتجاعی عضو و F_y تنـش تسلیم آن می باشد. مقادیر عددی فرمول ها با استفاده از واحدهای Kg و cm بدست آمده اند.

نحوه محاسبه لاغری اعضاء ، برای بادبندهایی که بصورت ضربـدری روی هـم بسـته شـده انـد و همچنیـن دروسط بادبندی ها به هم پیچ شده اند، به صورت زیر می باشد : (L طول کل بادبند می باشد.)

الف – کمانش عضو ، در نصف طول رخ دهد.

دراین حالت حداقل شعاع ژیراسیون عضو باید درنظر گرفته شود. طول کمانش نیز 0.5 L می باشد.

ب – کمانش عضو ، درکل طول رخ دهد .

در این حالت شعاع زیراسیون محور x یا y نبشی باید درنظر گرفته شود. در ضمن با توجـه بـه ا ینکـه عضـو ضربدری دیگر ، درحالت کشش می باشد و مـی توانـد تـاحدودی از کمـانش نبشـی دارای نـیروی فشـاری جلوگیری کند، طول کمانش عضو، 0.75 L می باشد.

Mehrshidniroo.com

Bracing :

$$K\frac{l}{r}=\max\begin{cases}\dfrac{0.5L}{r_{\min}}\\[2ex]\dfrac{0.75L}{r_x}\end{cases}$$

نکته : درصورتی که اعضای فشاری از اعضای مرکب ساخته شده باشد بایستی ضوابط بند ۱۰-۱-۴-۵ مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران رعایت گردد.

۲-۶- قطعات خمشی

با توجه به اینکه اغلب اعضای خمشی استفاده شده در پستهای انتقال نیرو را ناودانی ها و جفت نبشی ها تشکیل می دهند ، در این بخش نحوه محاسبه تنش مجاز خمشی این گونه نیمرخ ها ذکر شده اند. برای حالات خاص می توان از آیین نامه های معتبر نظیر مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران و یا آیین نامه فولاد آمریکا استفاده نمود.

برای مقاطع ناودانی که نسبت به محور قوی خود تحت خمش قرار گیرند ، تنش مجاز از رابطه زیر تعیین می شود.

$$F_b=\frac{840000C_b}{\dfrac{Ld}{A_f}}\le 0.6F_y \qquad (۲-۷)$$

که در آن :

F_y = حد جاری شدن فولاد تیر (Kg/cm^2)

L = فاصله تکیه گاه هایی که از تغییر مکان جانبی و یا پیچیدن بال فشاری جلوگیری می کنند (cm)

برای تیر طره ای که فقط در محاذات تکیه گاه به طور جانبی نگهداری شده باشد ، می توان L را برابر طول طره در نظر گرفت.

A_f = سطح مقطع بال فشاری (cm^2)

C_b = ضریبی است که از رابطه زیر تعیین می شود :

$$C_b=1.75+1.05\frac{M_1}{M_2}+0.3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \qquad (۲-۸)$$

در هر حال بیشینه مقدار C_b برابر 2.3 می باشد.

Mehrshidnroo.com

در رابطه (۲-۸) M_1 لنگر کوچکتر و M_2 لنگر بزرگتر در انتهای طول آزاد (بدون تکیه گاه جانبی) است که نسبت به محور قوی مقطع در نظر گرفته می شود. در حالتی که M_1 و M_2 هم علامت اند[1] (انحنای مضاعف)[2] نسبت $\frac{M_1}{M_2}$ مثبت و در حالتی که M_1 و M_2 علامت های مخالف دارند (انحنای ساده)[3]، این نسبت منفی به حساب می آید.

اگر لنگر خمشی در بین دو انتهای طول آزاد ، مقداری بزرگتر از لنگرهای دو انتها را به خود بگیرد ، ضریب C_b برابر یک محسوب می شود.

در تیرهای طره ای می توان C_b را برابر یک به حساب آورد. محدودیت های این بند برای مقاطع سپری که تیغه آنها در جایی از طول عضو ، تحت اثر تنش فشاری قرار گیرد ، صادق نیست.

۲-۷- تنش مجاز برشی قطعات

اگر $\frac{h}{t} \le \frac{3185}{\sqrt{Fy}}$ باشد ، برای سطح مقطعی که از حاصل ضرب ارتفاع کلی نیمرخ در ضخامت جان به دست می آید ، تنش برشی مجاز عبارت است از :

$$F_V = 0.4\, F_y \qquad (۹-۲)$$

اگر $\frac{h}{t} > \frac{3185}{\sqrt{Fy}}$ باشد ، برای سطح مقطع حاصل ضرب ارتفاع جان (فاصله خالص بین بالها) از ضخامت جان ، تنش برشی مجاز عبارت است از :

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} C_v \le 0.4 F_y \qquad (۱۰-۲)$$

که در آن

$$C_v = \frac{315 \times 10^4 k_v}{F_y (\frac{h}{t_w})^2} \qquad (۱۱-۲) \qquad (\text{برای } C_v \le 0.8)$$

۱- منظور علامت های موافق و مخالف عقربه های ساعت است.

2- Reverse curvature bending

3- Single curvature bending

Mehrshidniroo.com

(برای $C_v > 0.8$)

$$C_v = \frac{1600}{(\frac{h}{t_w})}\sqrt{\frac{K_v}{F_y}} \qquad (۱۲-۲)$$

K_V به کمک یکی از روابط زیر (بسته به مقدار a/h) بدست می آید :

اگر $\frac{a}{h} < 1$ باشد :

$$K_v = 4 + \frac{5.34}{(\frac{a}{h})^2} \qquad (۱۳-۲)$$

اگر $\frac{a}{h} \geq 1$ باشد :

$$K_v = 5.34 + \frac{4}{(\frac{a}{h})^2} \qquad (۱۴-۲)$$

که در آن a فاصله خالص بین قطعات تقویتی جان در امتداد طول تیر می باشد.

۲-۸- ترکیب تنش ها

در صورت وجود ترکیب تنش ها رعایت مواد بندهای زیر الزامی می باشد. اعضایی که فاقد حداقل یک محور تقارن باشند ، مشمول موارد بندهای زیر نمی گردند.

۲-۸-۱- فشار محوری و خمشی

اعضایی که تحت اثر فشار محوری توام با تنش خمشی قرار می گیرند باید طوری محاسبه شوند که محدودیت های زیر را برآورده کنند :

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right)F_{by}} \leq 1.0 \qquad (۱۵-۲)$$

که در آن :

Fa = تنش فشاری مجاز اگر فقط نیروی عمودی عمل کند.

Fb = تنش فشاری مجاز در خمش اگر فقط لنگر خمشی عمل کند.

F′e = تنش اولر که بر ضریب اطمینان تقسیم شده که عبارت است از :

Mehrshidniroo.com

$$F'_e = \frac{12\pi^2 E}{23\left(\frac{Kl_b}{r_b}\right)^2} = \frac{105\times10^5}{(Kl_b/r_b)^2} \qquad (۱۶-۲)$$

در این رابطه l_b طول آزاد قطعه در صفحه خمشی ، r_b شعاع ژیراسیون نظیر و K ضریب طول موثر در صفحه خمشی می باشد.

f_a = تنش فشاری ناشی از فشار که برای نقطه مورد نظر محاسبه شده.

f_b = تنش فشاری ناشی از خمشی حول محور مربوطه.

لازم به ذکر است که اگر نسبت $\frac{f_a}{F_a}$ کمتر از 0.15 باشد ، می توان به جای رابطه (۲-۱۱) از رابطه زیر استفاده نمود.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0 \qquad (۱۷-۲)$$

۲-۸-۲- کشش محوری و خمشی

اعضایی که تحت اثر کشش محوری توام با تنش خمشی قرار می گیرند باید طوری محاسبه شوند که در تمام نقاط طول عضو رابطه زیر را برآورده نمایند :

$$\frac{f_a}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0 \qquad (۱۸-۲)$$

که در آن :

f_b = تنش کششی محاسباتی حاصل از لنگر خمشی

f_a = تنش کششی محاسباتی حاصل از کشش محوری

F_b = تنش خمشی مجاز

F_t = تنش کششی مجاز

۲-۹- طراحی اتصالات

طراحی پیچ ها در سازه های فلزی پستها معمولا" به صورت اتکایی انجام می شود. به صورت معمول هر سوراخ برای پیچ ۱/۵ میلی متر بزرگتر از سایز پیچ در نظر گرفته شود.

Mehrshidniroo.com

۲-۹-۱ جنس پیچ

پیچ ها از دو نوع آمریکایی و اروپایی می تواند باشد پیچ از نوع آمریکایی بـا اسـتاندارد ASTM A394 و مهره با استاندارد ASTM A563 می باشد. گریدهای پیچ های اروپایی به قرار زیر است :

Grade	F_y	F_u
5.6	3000	5000
8.8	6400	8000

جدول ۲-۱- گریدهای پیچ های اروپایی

۲-۹-۲- تنش مجاز برشی

مقاومت برشی پیچ ها براساس تنش برشی اسمی مجاز آنها سنجیده می شود. حاصل ضرب تنش برشـی اسمی مجاز در سطح مقطع اسمی پیچ ، نیروی برشی مجاز قابل حمل توسط پیـچ را بـه دسـت مـی دهـد. تنش برشی اسمی مجاز پیچ برابر است با :

$$F_V = 0.4\, F_y \qquad (۱۹-۲)$$

در صورتیکه رزوه پیچ در داخل محل اتصال قرار گیرد یا به عبارت دیگر رزوه پیچ از صفحه برش پیچ بگـذرد تنش مجاز فوق الذکر بایستی به مقدار ۳۰ درصد کاهش یابد.

۲-۹-۳- تنش مجاز کششی

تنش مجاز کششی برای پیچ ها معادل $0.6\, F_y$ می باشد. برای پیـچ هـای اعـلا مقـدار F_y همـان نقطـه تسلیم فرضی می باشد که در بند ۲-۹-۱ ذکر شده است.

۲-۹-۴- تنش مجاز لهیدگی

فشار تماس مجاز به روی سطح تصویر شده پیچ حاصلضرب قطر در ضخامت قطعه برای اتصالات برشـی (تماسی) که در آنها حداقل فاصله مرکز به مرکز پیچ ها 3d و فاصله انتهایی بعد از سوراخ تا لبـه (در امتـداد نیرو) حداقل 1.5d باشد ، به شرح زیر تعیین می شود :

الف – برای سوراخ های استاندارد یا سوراخ های لوبیایی کوتاه که دو یا چند پیچ در خط نیرو داشته باشد :

$$F_p = 1.2\, F_u \qquad (۲۰-۲)$$

که در آن F_p تنش تماس مجاز در فشار است.

ب - برای سوراخ های لوبیایی بلند که محور شکاف عمود بر امتداد بـارگـذاری باشـد ، بـا دو یـا چنـد پیـچ درخط نیرو :

Mehrshidiroo.com

$$F_p = \frac{L_e.F_u}{2d} \le 1.2F_u \qquad (۲۲-۲)$$

که در آن L_e فاصله از لبه آزاد تا مرکز پیچ و d قطر پیچ است.

۲-۱۰- تغییر مکان های مجاز

تغییر مکان مجاز تیرهای نگهدارنده سکسیونرها در جهات افقی و عمودی به 1/300 دهانه تیر مورد نظر محدود می گردد.

حداکثر تغییر مکان مجاز افقی و عمودی تیرهای نگهدارنده سایر تجهیزات 1/200 دهانه تیر مورد نظر می باشد. ستون های نگهدارنده تجیزات نیز نباید بیش از 1/200 ارتفاع ستون مورد نظر ، تغییر مکان داشته باشد.

- مثال نمونه

وزن سازه	$W_S = 200$ Kg
وزن تجهیز	$W_e = 300$ Kg

- محاسبه بار زلزله روی پایه تجهیزات :

$F_H = 200 \times 0.35 \times 2.5 = 175$ Kg

$F_V = \pm 2/3 \times 200 \times 0.35 = 46.7$ Kg

- محاسبه بار زلزله روی تجهیز :

$F_H = 300 \times 0.35 \times 2.5 = 262.5$ Kg

$F_V = \pm 2/3 \times 300 \times 0.35 = 70$ Kg

Mehrshidniroo.com

حالت اول – بار زلزله

M = 1092 Kg-m
V = 487.5 Kg
N_{max} = 666.7 Kg
N_{min} = 433.3 Kg

حالت دوم –

(بار زلزله) 0.6 + بار اتصال کوتاه

M= 1579.2 Kg-m
V = 512.5 Kg
N_{max} = 620 Kg
N_{min} = 480 Kg

Mehrshidniroo.com

- بار سیم هادی در حالات مختلف به شرح زیر است :

حالت بارگذاری	Fx	Fy	Fz
نرمال	0	50	50
اتصال کوتاه در جهت x	250	0	50
اتصال کوتاه در جهت y	0	250	50

- محاسبه بار باد :

الف – روی تجهیز :

$D = 240$ mm

$V = 25$ m/s

$C = 1.1 \rightarrow Q = 0.0625 \times V^2 \times C.A = 0.0625 \times 25 \times 25 \times 1.1 \times 0.24 \times 2.4 = 24.8$ Kg

ب – روی پایه تجهیزات :

$A_e \approx 0.15\ A_{total} = 0.15 \times 0.4 \times 1.80 = 0.11$

$\phi = 0.15$

$C = (1\text{-}1.16\ \phi) = 0.83$

$Q = 0.0625 \times 25^2 \times 0.83 \times 0.11 = 3.6$ Kg

همانطور که ملاحظه می گردد بار باد در مقایسه با بار زلزله بسیار ناچیز است.

- طراحی عضو اصلی

Try L-60 × 60 × 6 for leg

$A = 6.91\ cm^2$, $r_{xx} = 1.82$ cm

$e = 1.69$ cm

$d = 40 - 2\ (1.69) = 36.62$ cm

حالت ۱ : $N = 1092/(2 \times 0.3662) + 666.7/4 = 1658$ Kg

حالت ۲ : $N = 1579.2\ /(2 \times 0.3662) + 620/4 = 2311$ Kg $\rightarrow$ Control

Mehrsndniroo.com

- طراحی عضوهای مهاربند

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{45}{40} = 53.7^\circ$$

$$TryL - 40\times 40\times 40\, forweb$$

$$r_{\min} = 0.78, A_w = 3.08, L = \sqrt{40^2 + 45^2} = 60.2$$

$$N_w = \frac{512.5}{2\cos 53.7} = 385Kg$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1\times 60.2}{0.78} = 77.2 < C_c = 131.5$$

$$\beta = \frac{\frac{kl}{r}}{C_c} = \frac{77.2}{131.5} = 0.59$$

$$F.S. = 1.67 + 0.375\beta - 0.125\beta^3 = 1.87$$

$$fa = \frac{1-0.5\beta^2}{F.S.}F_y = 841Kg/cm^2$$

$$fa = \frac{N_w}{A_w} = \frac{385}{3.08} = 125kg/cm^2 < Fa = 841Kg/cm^2 O.K.$$

- کنترل پیچ اتصال

$$Bolt_M12 : A_n = 1.13cm^2$$

$$f_v = \frac{385}{1.13} = 341kg/cm^2 < F_v = 0.4F_y = 0.4\times 3000 = 1200Kg/cm^2 O.K.$$

$$f_p = \frac{385}{1.2\times 0.4} = 802kg/cm^2 < F_p = 1.2F_u = 1.2\times 3700 = 4440Kg/cm^2 O.K.$$

Mohrshidniroo.com

نکته : در روابط فوق F_y مربوط به پیچ و F_p مربوط به عضو اتصال می باشد.

- طراحی ورق کف ستون

یافتن تنش ماکزیمم در انکربولت

$$d = 40 - 2 \times 4 = 32cm$$

$$T_{\max} = \frac{1}{2 \times 0.32}(1579.2) - \frac{620}{4} = 2312.5Kg$$

$$M_b = 2312.5 \times 1.5 = 3468.8Kg/cm$$

$$f_b = \frac{3468.8}{\frac{1}{6}(12)(1.5)^2} = 771Kg/cm^2 < F_b = 0.75F_y = 1800Kg/cm^2 O.K.$$

- کنترل جوش

$$T = 2312.5Kg$$

$$L_{weld} = 24cm, a = 6mm$$

نیروی مجاز جوش :

$$920 \times 0.6 \times 0.707 \times 24 = 9366Kg > T = 2312.5KgO.K.$$

- طراحی ورق بالای پایه

$$T_{\max} = \frac{250 \times 2.4 + 157.5 \times 0.96}{2 \times 0.335} = 1121Kg$$

Mehrshidniroo.com

$$M_{max} = \frac{2 \times 1121 \times 0.335 \times 7.25}{0.48} = 11346 Kg.cm$$

$$f_b = \frac{11346}{1/6 (56)(1.0)^2} = 1216 kg/cm^2 < F_b = 0.75 F_y = 1800 Kg/cm^2 O.K.$$

- کنترل نبشی زیر سری ورق

$$T = \frac{250 \times 2.4 \times 157.5 \times 0.96}{0.48} = 1565 Kg$$

$$M = 1565 \times 4 = 6260 Kg.cm$$

$$Try L - 80 \times 80 \times 8 \rightarrow f_b = \frac{6260}{1/6 \times 56 \times 0.8^2} = 1048 Kg/cm^2 < 1800 Kg/cm^2 O.K.$$

Mehrshidniroo.com

۳- روش دیگر طراحی

روش دیگر طراحی فولادی ، روش طراحی نهایی مـی باشـد. دراین روش ، بارهـا در ضرایـب اطمینـان ضرب می شوند و لی طراحی با تنش های اصلی صورت می گیرد. برای مثال بارهای وارد برسازه در ضریـب اطمینان ۱/۵ ضرب می شوند ولی طراحی براساس تنش تسلیم فولاد انجام می گیرد. البته ایـن روش بـرای طراحی دکلهای خطوط انتقال نیرو کاربرد بیشتری دارد. چنانچه نشریه شماره 52 انجمن مهندسان عمـران امریکا (ASCE) بطور مفصل به این روش پرداخته است .

محاسبات لاغری اعضا در این روش براساس طول و شعاع ژیراسیون عضو و همچنین نحـوه بـارگـذاری روی اعضاء محاسبه می گردد. در این نشریه ۱۱ رابطه برای محاسبه ضرایب لاغری آورده شده است که به منظـور جلوگیری از طولانی شدن مطلب از ذکر جزئیات روش فوق در اینجا خودداری می گردد.

۳-۱- ضرایب اطمینان

در این روش طراحی رعایت حداقل ضریـب اطمینـان ۱/۵ الزامـی اسـت . البتـه همـانطور کـه در روش طراحی " بارخدمت "، برای حالات دینامیک بارگذاری نظیر بار زلزله و اتصال کوتاه تنشهای مجاز ۳۳ درصـد افزایش می یابند ، در روش طراحی " بارنهایی " برای حالات دینامیک و غیردائمی بارگذاری نظیر بار زلزلـه و اتصال کوتاه ضریب اطمینان به ۱/۱ کاهش می یابد.

۳-۲- تنش های مجاز

با توجه به اینکه بارهای ضریب دار در این روش استفاده می شوند بطـور خلاصـه مقـادیر تنـش هـای مجاز به شرح زیر می باشند :

الف – تنش مجاز کششی $F_t = F_y$

ب – تنش مجاز فشاری $F_a=(1-0.5\ \beta^2)F_y$

ضریب β مطابق بند ۲-۵ محاسبه می شود.

ج – تنش مجاز برشی $F_v = 0.6\ F_y$

د – تنش مجاز لهیدگی $F_p = 1.5\ F_u$

۳-۳- مقایسه دو روش

بدیهی است بخاطر کاهش ضرایب اطمینان در روش " بارنهایی " این روش اقتصادی تر بنظر می رسـد. درعوض روش طراحی " بارخدمت" از ایمنی بیشتری برخوردار اسـت . در روش طراحـی بـارخدمت ضرایـب اطمینان بیش از ۱/۶۷ می باشند.

البته این نکته را باید در نظر داشت که برای ضرایب لاغری کمتر از ۱۲۰ فرمـول هـای محاسـبه لاغـری در نشریه شماره ۵۲ انجمن مهندسان عمران آمریکا ، مقادیر بیشتری را ارائه می دهد. در نتیجه به طور قطعـی نمی توان در مورد اقتصادی تر بودن این روش اظهار نظر نمود.

Mehrshidniroo.com

۴- مراحل طراحی سازه های بتنی در پستهای انتقال نیرو

کلیات دراین روش کاملا" مشابه طراحی دیگر سازه های بتنی می باشد. مراحل طراحی در دو بخش آورده شده است . بخش اول شامل پارامترها و شاخص ها می باشد. در بخش دوم روش طراحی عنوان گردیده است.

۴-۱- پارامترها و شاخص ها

پارامتر ها و شاخص را می توان به دو بخش تقسیم نمود . بخش اول مربوط به بتن و بخش دوم مربوط به فولاد یا همان آرماتور که خواص آن به ترتیب عنوان شده اند.

۴-۱-۱- پارامترها و شاخص های بتن

یکی از مهمترین عوامل مشخصه بتن مقاومت آن می باشد.

مقاومت بیست و هشت روزه نمونه استوانه ای بتن به قطر ۱۵ سانتیمتر و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر را f'c می نامند.

$$f'c = 0.9\ fcu\ (20) \qquad (۴-۱)$$

$$f'c = 0.8\ fcu\ (15) \qquad (۴-۲)$$

fcu (20) = مقاومت بیست و هشت روزه نمونه مکعبی ۲۰×۲۰×۲۰ سانتیمتر .

fcu (15) = مقاومت بیست و هشت روزه نمونه مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر .

درضمن رابطه بین نمونه مکعبی ۲۰×۲۰×۲۰ سانتیمتر با نمونه مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر بصورت زیر می باشد :

$$fcu(20) = 0.9\ fcu\ (15) \qquad (۴-۳)$$

درنتیجه رابطه زیر قابل حصول است :

$$f'c = 0.72\ fcu\ (15) \qquad (۴-۴)$$

ازطرفی چنانچه مقاومت هفت روزه نمونه در دسترس باشد، طبق رابطه زیر می توان آن را به مقاومت ۲۸ روزه تبدیل نمود.

$$f'_{c(28)} = f'_{c(7)} + 7.95\sqrt{f'_{c(7)}} \qquad (۴-۵)$$

در رابطه (۴-۵) واحدها cm , Kg می باشند.

۴-۱-۲- پارامترها و شاخص های فولاد

مهمترین پارامترهای طراحی میلگردها مدول الاستیسیته و تنش تسلیم آنها می باشند. مدول الاستیسیته فولاد مطابق جدول ۴-۱ می باشد.

Mehrshidniroo.com

جدول ۴-۱- مدول الاستیسیته فولاد

نوع	الاستیسیته
نرمه	۲/۰۴×۱۰۶
کربن متوسط	۲/۰×۱۰۶
سخت	۲/۱×۱۰۶

تنش تسلیم میلگردها مطابق جدول " ۴-۲ " می باشد.

جدول ۴-۲- تنش تسلیم میلگردها

علامت اختصاری	نوع	تنش تسلیم (Kg/cm^2)
A I	ساده	2400
A II	آجدار	3000
A III	آجدار	4200

۴-۱-۳- درصد ازدیاد طول[1]

یکی از موارد مهمی که نشان دهنده خواص فولاد می باشد ، درصد ازدیاد طول آن است . درصد ازدیاد طول فولاد اغلب برای یک میله بطول 15 cm درحدود 21% تا 25% می باشد.

فولاد پس از اینکه به حد تسلیم رسید تاوقتی که به حد گسیختگی برسد ، ازدیاد طول خواهد داشت . هرچه درصد ازدیاد طول نمونه بیشتر باشد فولاد نرم تر است و هرچه درصد ازدیاد طول کمتر باشد فولاد سخت تر می باشد.

[1]- Elongation

Mehrsadniroo.com

۵- روش طراحی سازه های بتنی در پستهای انتقال نیرو

چنانچه از بتن برای ساخت پایه تجهیزات و گنتری ها استفاده گردد ، کلیات روش طراحی و شاخص ها مانند موارد مذکور در بندهای پی - روش طراحی و پی – شاخص ها می باشد.

البته باید در نظر داشت که در حالت عادی بارگذاری رعایت ضریب اطمینان حداقل ۱/۵ برای طراحی الزامی می باشد.

برای ضریب اطمینان بارگذاری دینامیکی حداقل مقدار ۱/۱ الزامی می باشد. با توجه به اینکه در پستهای انتقال نیرو ، کمتر از سازه بتنی استفاده می شود ، از ذکر جزئیات روش طراحی خودداری می گردد.

Mehrshidniroo.com

۶- مراجع

1- IEC 56 : High-voltage alternating-current circuit-breakers.

2- IEC 129 : Alternating current disconnectors and earthing switches

۳- استاندارد پستهای ۶۳/۲۰ کیلوولت – وزارت نیرو – شرکت توانیر – معاونت تحقیقات و تکنولوژی.

۴- استاندارد پستهای (۳۳) ۱۳۲/۲۰ کیلوولت معمولی – وزارت نیرو – شرکت توانیر – معاونت تحقیقات و تکنولوژی.

۵- استاندارد طراحی بهینه پستهای ۴۰۰/۲۳۰ کیلوولت – وزارت نیرو – شرکت توانیر – معاونت تحقیقات و تکنولوژی.

۶- استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران – وزارت نیرو – شرکت توانیر – معاونت تحقیقات و تکنولوژی.

۷- اطلاعات فنی از پستهای پروژه های ۲۵ پست و ۱۸ پست (مشاور شرکت توانیر).

8- IEC 865 : CALCULATION OF THE EFFECTS OF SHORT CIRCUIT CURRENTS

۹- آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله – شماره استاندارد ۲۸۰۰ – وزارت مسکن و شهرسازی.

۱۰- طراحی برج های استاندارد انتقال نیرو با استفاده از مصرف انواع نبشی – سازمان برق مورخ مهرماه ۱۳۷۰

11- IEEE Standard 693-1984

۱۲- فهرست منابع و مراجع ، آمار و اطلاعات هادی های خطوط انتقال نیروی برق ایران ۶۳ الی ۴۰۰ کیلوولت – وزارت نیرو – شرکت توانیر – معاونت تحقیقات و تکنولوژی.

13- ASCE No. 52. 1981

14- IEC 865. 1989

۱۵- مقررات ملی ساختمانی ایران – مبحث ۱۰ : طرح و اجرای ساختمان های فولادی.

Mehrshidniroo.com