جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال ترکیب بارگذاری نیروها برسازه های پست های فشار قوی

نشریه شماره ۴۵۷

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
http://tec.mporg.ir

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

جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال ترکیب بارگذاری نیروها بر سازه های پست های فشار قوی

نشریه شماره ۴۵۷

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

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

بسمه تعالی

ریاست جمهوری
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره :** ۱۰۰/۹۱۸۷۹
	تاریخ : ۱۳۸۷/۱۰/۱

موضوع :
مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها و خطوط فوق توزیع و انتقال – ترکیب بارگذاری نیروها بر سازه‌های پست‌های فشار قوی

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 ۴۵۷ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «**مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها و خطوط فوق توزیع و انتقال – ترکیب بارگذاری نیروها بر سازه‌های پست‌های فشار قوی**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی، ارسال کنند.

امیرمنصور برقعی
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

543136

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور 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، ایهام 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 بـه منظـور تعمـیم اسـتانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقـال و توزیـع نیـروی بـرق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری (معاونت نظارت راهبردی – دفتر نظام فنی اجرائی) بـا همکـاری وزارت نیرو – شرکت توانیر در قالب طرح «ضوابط و معیارهای فنی صـنعت بـرق» اقـدام بـه تهیـه مجموعـه کـاملی از استانداردهای مورد لزوم نموده است.

نشریه حاضر با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها و خطوط فوق توزیع و انتقال – ترکیب بارگـذاری نیروها بر سازه های پست های فشار قوی » در بر گیرنده مباحث مربوط به اهـداف، کلیـات و تعـاریف، انـواع بارگـذاری (بار های مکانیکی، بار کشش هادی، بار یخ، بار باد، بار زلزله، بار اتصال کوتاه، بـار عملکـرد، و بـار نصـب و نگهـداری)، ترکیبات بارگذاری(گنتری ها و سازه های نگهدارنده تجهیزات) و مثال کاربردی می باشد.

معاونت نظارت راهبردی به این وسیله از کوشش‌های دست‌اندرکاران به ثمر رسیدن این نشریه و همچنین سازمان‌هـا 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 خطـوط فـوق توزیـع و انتقـال - ترکیـب بارگذاری نیروها بر سازه های پست های فشار قوی - نشریه شماره ۴۵۷

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسین مشاور نیرو با همکاری آقایان مهندسین محمـد مهـدی محسـنی، احمـد رباط جزی، امیر حر ریاحی و دکتر عارف درودی تهیه و تـدوین شـده اسـت و توسـط آقـای اسـماعیل زارعـی مـورد 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.

آقای مهندس جمال بیاتی	وزارت نیرو – سازمان توانیر – مجری طرح
آقای مهندس مهدی اسماعیلی	مهندسین مشاور نیرو
آقای مهندس بهمن الله مرادی	سازمان توسعه برق ایران
خانم مهندس بهارک دانش نیا	شرکت مشانیر
آقای دکتر عارف درودی	مهندسین مشاور نیرو
آقای مهندس مهرداد حسن شعبانی	مهندسین مشاور قدس نیرو
آقای مهندس رضا صائمی	شرکت مشانیر
آقای مهندس سید حسن عرب اف	مهندسین مشاور قدس نیرو
آقای مهندس بهروز قهرمانی	سازمان توسعه برق ایران
آقای مهندس احسان الله زمانی	وزارت نیرو – سازمان توانیر – دبیر کمیته فنی طرح

مسوولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفترنظام فنی اجرائی به عهده آقایان مهندسین پرویز سیداحمدی و محمدرضا طلاکوب بوده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول – اهداف، کلیات و تعاریف

۱-۱- کلیات ۳

۱-۲- اهداف ۳

۱-۳- تعاریف ۳

فصل دوم- انواع بارگذاری

۲-۱- انواع بارهای مکانیکی ۷

۲-۲- بار کشش هادی ۸

۲-۳- بار یخ ۸

۲-۳-۱- محاسبهٔ نیروی ناشی از اثر یخ بر روی سیم‌ها ۹

۲-۴- بار باد ۹

۲-۴-۱- سرعت باد ۹

۲-۴-۲- نیروی باد روی تجهیزات و سازه‌ها ۹

۲-۴-۲-۱- قابهای منفرد ۱۰

۲-۴-۲-۲- قابهای چندتایی ۱۰

۲-۴-۲-۳- برجها و سازه‌های مشبک ۱۱

۲-۴-۲-۴- اعضای منفرد با مقطع دایره ۱۲

۲-۴-۲-۵- اعضای منفرد با سطح تخت ۱۲

۲-۴-۲-۶- تجهیزات فشار قوی ۱۲

۲-۴-۲-۷- زنجیره مقره ۱۲

۲-۴-۲-۸- شینه‌های صلب ۱۲

۲-۴-۳- نیروی باد روی هادی و سیم گارد ۱۲

۲-۵- بار زلزله ۱۳

۲-۵-۱- نیروی جانبی ناشی از زلزله (F_{eh}) ۱۳

۲-۵-۲- ضرایب اهمیت سازه (I) ۱۴

۲-۵-۳- نسبت شتاب مبنای طرح (A) ۱۴

۲-۵-۴- زمان تناوب اصلی نوسان سازه (T) ۱۴
۲-۵-۵- ضریب بازتاب سازه (B) ۱۵
۲-۵-۶- ضریب رفتار سازه (R) ۱۶
۲-۵-۷- نیروی قائم ناشی از زلزله (Fev)..... ۱۶
۲-۵-۸- محل اثر نیروی زلزله ۱۶
۲-۶- باراتصال کوتاه ۱۷
۲-۷- بار عملکرد ۱۸
۲-۸- بار نصب و نگهداری ۱۸

فصل سوم - ترکیبات بارگذاری

۳-۱- گنتری‌ها ۲۱
۳-۱-۱- بار باد معمولی و یخ ۲۱
۳-۱-۲- بار باد شدید..... ۲۱
۳-۱-۳- بار اتصال کوتاه به همراه بار باد شدید در حالت حداکثر جریان اتصال کوتاه ۲۱
۳-۱-۴- بار زلزله و اتصال کوتاه بدون بار باد و یخ ۲۲
۳-۱-۵- بار سیم‌کشی در حداقل درجه حرارت برای هوای آرام و بدون یخ ۲۲
۳-۱-۶- بار باد معمولی و یخ روی هادی در یک دهانه و بار باد معمولی بدون یخ در دهانه دیگر ۲۲
۳-۲- سازه‌های نگهدارنده تجهیزات ۲۲
۳-۲-۱- بار باد معمولی و یخ ۲۲
۳-۲-۲- بار باد شدید ۲۳
۳-۲-۳- بار اتصال کوتاه بهمراه بار باد شدید در حالت حداکثر جریان اتصال کوتاه..... ۲۳
۳-۲-۴- بار زلزله واتصال کوتاه بدون بار باد و یخ ۲۳
۳-۲-۵- بار سیم‌کشی در حداقل درجه حرارت برای هوای آرام و بدون یخ ۲۳
۳-۲-۶- بار ناشی از زلزله به تنهایی ۲۳
۳-۳- مثال کاربردی ۲۴
۵- بار زلزله ۳۲
۶- بار سیم‌کشی در حداقل درجه حرارت برای هوای آرام و بدون یخ ۳۲
مراجع ۳۳

فصل ۱

اهداف، کلیات و تعاریف

مقدمه

در این فصل کلیات، اهداف و تعاریف مربوط به بارگذاری و ترکیب بارگذاری سازه‌های نگهدارنده تجهیزات پست و گنتری‌ها ارائه خواهد شد.

۱-۱- کلیات

یکی از مراحل مهم در طراحی سازه‌های پست‌های فشارقوی، تعیین بارهای وارد بر سازه می‌باشد. بارهای وارد بر سازه نگهدارنده تجهیزات پست را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد. گروه اول مربوط به بارهای ناشی از استقرار تجهیزات روی سازه که شامل کشش ناشی از وزن هادی، وزن تجهیز، نیروی عملکرد تجهیز (در صورت وجود) و نیروی وزن سازه بوده و گروه دوم مربوط به بارهای ناشی از عوامل طبیعی و محیطی مثل یخ، باد، زلزله و اتصال کوتاه روی هادی و تجهیز و سازه می‌باشد.

سازه نگهدارنده تجهیزات پست بایستی در مقابل بارهای وارد بر آن ایمن باشد. ایمن بودن یک سازه یعنی اینکه بتواند بارهای وارد بر آن را با یک حاشیه اطمینان کافی تحمل کند. لذا پیش‌بینی درست از بارهای وارده بر یک سازه، تاثیر مستقیم بر ایمن بودن آن سازه خواهد داشت.

۱-۲- اهداف

هدف از تهیه این نشریه تعیین بارهای وارد بر سازه‌های پست‌های فشار قوی و ترکیب آنها می‌باشد. باتوجه به اینکه اولین مرحله طراحی سازه، تعیین بارهای وارد بر آن است، لذا بارگذاری و ترکیب بارگذاری اهمیت ویژه‌ای در طرح یک سازه ایمن خواهد داشت.

در این نشریه ضمن شناسایی انواع بارها و دسته‌بندی عوامل مؤثر در مقدار آنها، نحوه محاسبه مقدار بارها و ترکیب آنها مورد بررسی قرار گرفته تا مبنای طراحی سازه‌های پست قرار گیرد. نحوه استفاده از فرمولها، شکلها، جداول و ضرایب، با مثالی تشریح خواهد شد.

۱-۳- تعاریف [٤ و ٥]

بار مرده: بار ناشی از وزن تجهیزات روی سازه و وزن خود سازه که در طول عمر سازه مقدار و محل آن ثابت می‌باشد. همچنین بار ناشی از وزن هادی (اعم از رشته‌ای یا لوله‌ای)، وزن جداکننده‌ها[1] در هادی‌های رشته‌ای و وزن سیم دمپر در لوله‌ها از دیگر بارهای مرده به حساب می‌آیند.

بار اتصال کوتاه: بار ناشی از اتصال کوتاه بین هادی‌های مجاور

بار عملکرد: بار ناشی از عملکرد تجهیزات

1. Spacers

بار نصب و نگهداری: بار ناشی از وزن یک کارگر و وسایل مربوطه که جهت نصب و یا تعمیر تجهیزات به روی سازه وارد می‌گردد.

بار کشش هادی: بار کشش هادی ناشی از وزن خود هادی و یخ تشکیل شده اطراف آن و باد و زلزله و اتصال کوتاه وارد بر هادی می‌باشد. در مواقعی که اختلاف ارتفاع دو سوی سیم قابل توجه باشد نیروهای uplift نیز بایستی مد نظر قرار گیرد.

اسپن: فاصله افقی بین دو نقطه نگهدارندهٔ هادی

شکم (فلش) سیم: کمترین فاصلهٔ بین نزدیکترین نقطه هادی تا زمین و خطی که دو نقطه نگهدارندهٔ هادی را به هم متصل می‌کند.

معادلهٔ تغییر وضعیت: رابطه‌ای که مقادیر کشش و فلش را در شرایط مختلف بارگذاری نتیجه می‌دهد.

فصل ۲

انواع بارگذاری

مقدمه

در این فصل انواع بارهای وارده بر روی سازه‌های پست معرفی شده و نحوه محاسبه هر یک به تفصیل شرح داده خواهد شد.

۲-۱- انواع بارهای مکانیکی

بارهای مکانیکی وارده بر سازه‌های پست، شامل بارهای ناشی از تجهیزات نصب شده روی آنها به علاوه بارهای مربوط به شرایط طبیعی و محیطی است.

انواع بارهای وارده روی سازه‌های پست ناشی از تجهیزات نصب شده روی آنها عبارتند از :

- بار مرده (ناشی از وزن هادی اعم از رشته‌ای یا لوله‌ای، وزن جداکننده‌ها در هادی‌های رشته‌ای و وزن سیم دمپر در هادی‌های لوله‌ای، وزن تجهیز و وزن سازه)
- بار عملکرد تجهیز (درصورت وجود)
- و انواع بارهای وارده روی سازه‌های پست ناشی از عوامل طبیعی و محیطی عبارتند از :
- بار یخ
- بار باد
- بار زلزله
- بار اتصال کوتاه
- بار مربوط به نصب و نگهداری

برخی از بارهای ذکر شده شامل بار اتصال کوتاه (مثلاً در خصوص CVT) و بار عملکرد، برای کلیه سازه‌های پست عمومیت نداشته که در ادامه در مورد سازه‌های مختلف، بارهای قابل اعمال ارائه خواهد شد.

بار کشش هادی‌ها برروی سازه‌ها، خود ناشی از بارهای اعمالی روی آنها شامل بار مرده ناشی از وزن هادی، یخ، باد، زلزله و اتصال کوتاه است. همچنین این بار می‌تواند ناشی از جداکننده‌های استفاده شده در هادیهای باندل شده و سیم دمپر نیز باشد.

جدول (۲-۱) بارهای قابل اعمال از طرف تجهیزات به سازه (به لحاظ تجهیزات نصب شده روی آن) را نشان می‌دهد [۷].

جدول ۲-۱: بارهای قابل اعمال برای انواع سازه تجهیزات پست

نوع سازه	بار مرده	بارکشش هادی‌ها	بار یخ	بار باد	بار زلزله	بار اتصال کوتاه	بار ناشی از عملکرد تجهیز	بار نصب و نگهداری
گنتری	*	*	(*)	*	*	*	—	*
کلید قدرت	*	*	(*)	*	*	*	*	*
سکسیونر	*	*	(*)	*	*	*	(*)	*
ترانسفورماتور ولتاژ	*	*	(*)	*	*	—	—	*
ترانسفورماتور جریان	*	*	(*)	*	*	*	—	*
برقگیر	*	*	(*)	*	*	*	—	*
مقره اتکایی	*	*	(*)	*	*	*	—	*
موجگیر [۱]	*	*	(*)	*	*	*[۲]	—	*
پایه روشنایی	*	—	(*)	*	*	—	—	*

* : قابل اعمال
(*) : قابل صرفنظر کردن
ـ : غیرقابل اعمال

۱: درخصوص موجگیر بسته به نحوه نصب حالت‌های مختلفی مطرح است. در حالت آویزان بودن از روی گانتری وزن این تجهیز نیز باید به بار قابل اعمال بر گنتری افزوده شود.

۲: در صورت وجود دو موجگیر در دو فاز.

۲-۲- بار کشش هادی

هادی‌های پست شامل هادی‌های فاز و سیم‌های گارد به جهت نحوه وارد آوردن نیرو به تجهیزات و سازه‌ها به دو دسته قابل انعطاف (رشته‌ای) و صلب تقسیم می‌شوند.

در هادی‌های رشته‌ای، بارهای ناشی از وزن هادی و اتصالات، یخ، باد، زلزله و اتصال کوتاه در نهایت به صورت کشش در امتداد هادی به سازه و یا تجهیزاتی که روی سازه قرار می‌گیرند اثر می‌کند[۱]. در هادی‌های صلب (هادی‌های لوله‌ای)، بارهای ناشی از وزن هادی، دمپرها و اتصالات، یخ، باد، زلزله و اتصال کوتاه به صورت نیروهای عمود بر طول هادی با مؤلفه‌های افقی و عمودی منظور می‌گردد.

نیروی حاصل از کشش هادی بستگی به جنس هادی، اسپن آن و شرایط محیطی و حداکثر شکم هادی دارد که از محاسبات کشش، فلش و معادله تغییر وضعیت بدست می‌آید [۹ و ۱۰].

۲-۳- بار یخ

عمده تأثیر بار یخ در بارگذاری تجهیزات و سازه‌ها به مسئله افزایش بار وزن و سطح بادخور هادی‌های متصل به آنها ارتباط می‌یابد. در این حالت و در هنگام تعیین کشش هادی، باید بار ناشی از یخ ایجاد شده در روی آن را نیز در نظر گرفت.

یخ هنگامی تشکیل می‌شود که درجه حرارت محیط به زیر نقطه انجماد برسد و برف یا باران با سطح تجهیز برخورد نماید. زمانیکه درجه حرارت درحدود صفر درجه سانتیگراد باشد، بیشترین مقدار برف انباشته می‌شود.

۱. در مورد اتصال کوتاه، کشش ممکن است در امتداد هادی نبوده و نیروی وارد بر سازه با توجه به آن می‌بایستی محاسبه و برآیندگیری شود.

مقدار ضخامت یخ در نواحی مختلف ایران را می‌توان از مرجع [۱۱] بدست آورد. مقدار دانسیته یخ در محاسبات برابر ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته می‌شود. در هنگام محاسبه نیروی باد روی اعضای صاف مانند نبشی‌ها از ضخامت یخ صرف‌نظر شده و لذا این نیرو تنها درخصوص هادی‌ها در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳-۱- محاسبه نیروی ناشی از اثر یخ بر روی سیم‌ها :

برای محاسبهٔ نیروی ناشی از اثر یخ بر روی هادی و سیم گارد از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود:

$$F_{ic} = 9\times10^{-4}\,\pi\, t_i (t_i + d_c) \qquad (۱-۲)$$

F_{ic} : نیروی ناشی از اثر یخ بر روی هادی در واحد طول آن بر حسب کیلوگرم بر متر

d_c : قطر هادی بر حسب میلی‌متر

t_i : ضخامت یخ بر حسب میلی‌متر

۲-٤- بار باد

۲-٤-۱- سرعت باد

نیروی ناشی از باد بر روی هادی‌ها، تجهیزات و سازه‌ها متناسب با توان دوم سرعت باد و سطح مؤثر بادگیر است. حداکثر سرعت باد در نواحی مختلف ایران را می‌توان از مرجع [۱۱] بدست آورد.

سرعت مبنای باد (V_w) عبارت از حداکثر سرعت باد در یک زمان ۵ ثانیه‌ای در ارتفاع متوسط ۱۰ متری از سطح زمین است که احتمال وقوع آن در منطقه مورد نظر ۲ درصد در سال باشد [۴].

سرعت باد با ازدیاد ارتفاع از سطح زمین (H)، افزایش می‌یابد. سرعت باد V_{WH} در ارتفاع بیش از ۱۰ متر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V_{WH} = V_W \times (\frac{H}{10})^{0.095} \qquad (H \geq 10m) \qquad (۲-۲)$$

سرعت باد برای ارتفاع کمتر از ۱۰ متر برابر با سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در نظر گرفته می‌شود.

در پستها، سرعت باد در ترکیب با بار اتصال کوتاه برابر ۷۰ درصد آنچه در بالا ذکر شد ($۰/۷ \times V_w$) فرض می‌گردد. همچنین، سرعت باد در ترکیب با بار یخ برابر ۲۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود (V_{WHice} =۲۵ m/sec) [۴].

۲-٤-۲- نیروی باد روی تجهیزات و سازه‌ها

برای تجهیزات و سازه‌ها نیروی باد از رابطه زیر بدست می‌آید [۴]:

$$F_W = \frac{(V_{WH})^2}{16} \times C \times A \qquad (۳-۲)$$

F_W: نیروی ناشی از باد بر حسب کیلوگرم

V_{WH}: سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه

A: سطح مؤثر بادگیر بر حسب متر مربع

C= ضریب شکل که تابع شکل جسم مورد نظر و جهت وزش باد است. نمونه‌هایی از ضرایب شکل مختلف در زیر آورده شده است.

۲-٤-۲-۱- قابهای منفرد [۱]

ضریب شکل"C" برای قاب‌های منفرد با سطح بادگیر مختلف که دارای اعضایی با سطوح تخت [۲]یا اعضایی با مقاطع دایـره‌ای [۳] می‌باشد، در جدول (۲-۲) ارائه گردیده است [۴]:

جدول ۲-۲: ضریب شکل قابهای منفرد

ضریب سطح بادگیر "U"	ضریب شکل "C"		
	اعضا با سطوح تخت	اعضای با مقطع دایره	
		$D \times V_{WH} < ۷/۳$ (برحسب متر مربع بر ثانیه)	$D \times V_{WH} \geq ۷/۳$ (برحسب متر مربع بر ثانیه)
۰/۱	۲/۰	۱/۲	۰/۷
۰/۱-۰/۳	۱/۸	۱/۲	۰/۸
۰/۳-۰/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۱

در این جدول :

D: قطر عضو با مقطع دایره بر حسب متر

V_{WH}: سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه

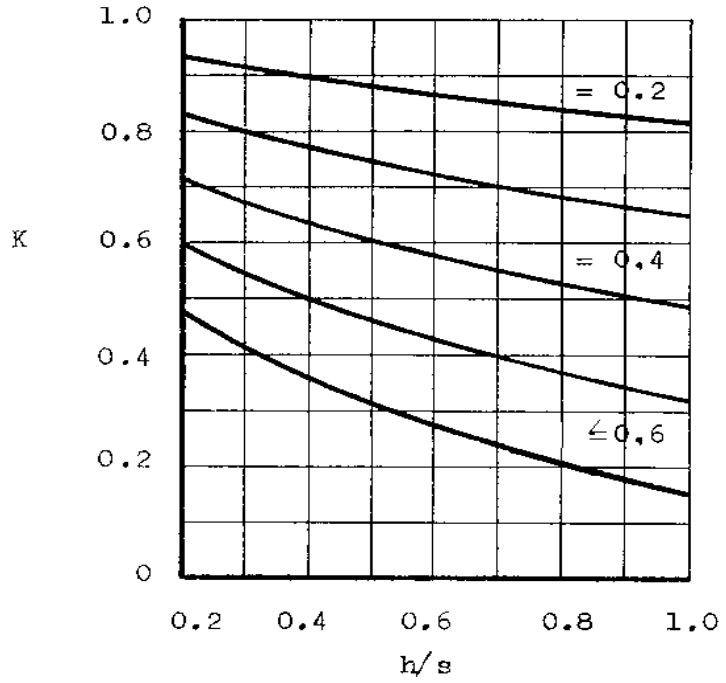
U: ضریب سطح بادگیر می‌باشد که برابر است با نسبت سطح مؤثر عناصر بادگیر قاب به سطحی که کلاً توسط قاب محدود می‌شود. این سطوح باید در جهت عمود بر وزش باد اندازه‌گیری شوند.

۲-٤-۲-۲- قابهای چندتایی [٤]

قابهای بادگیر (قابهایی که در جهت وزش باد قرار دارند)، پوشش مؤثری بر قابهای پشت به باد دارند. از ایـن جهـت، نیـروی بـاد وارد بر قابهای بادگیر مطابق بند (۲-۴-۲-۱) محاسبه می‌شود، ولیکن نیروی باد وارد بر قابهای پشت به باد در ضریب کاهشی به نام ضریب پوشش [۵] ، K ضرب می‌شود.

این ضریب به ضریب سطح بادگیر قاب (U)، حداقل بین دو بعد ارتفاع و عرض قاب (h) و فاصله قابهـا از یکـدیگر (s) بسـتگی دارد و با استفاده از نمودار شکل (۲-۱) بدست می‌آید [۴]:

1. Single frames
2. Flat sided
3. Circular section
4. Multiple frames
5. Shielding factor



شکل ۲-۱: ضریب پوششK به ازای Uهای متفاوت

۲-٤-۲-۳- برجها و سازه‌های مشبک [1]

برای برجها و سازه‌های مشبکی که دارای اعضایی با سطوح تخت و همچنین اعضایی با مقطع دایره‌ای می‌باشند، ضـریب شـکل به شرح زیر محاسبه می‌گردد :

الف ـ برجها و سازه‌های با مقطع مربع:

– اعضای تخت :

$C_{1F} = 4.30\ (1\text{-}1.16U)$ (۴-۲)

– اعضا با مقطع دایره‌ای :

$C_{1c}=0.67\ C_{1F}$ (۵-۲)

ب – برجها و سازه‌های با مقطع مثلثی (متساوی‌الاضلاع) :

– اعضای تخت :

$C_{2F} = 3.52\ (1\text{-}1.16U)$ (۶-۲)

– اعضا با مقطع دایره‌ای :

$C_{2c}=0.67\ C_{2F}$ (۷-۲)

در روابط فوق U ضریب سطح بادگیر می‌باشد که به مقدار ۰/۰۵ تا ۰/۴۵ محدود می‌شود.

1. Lattice towers & structures

۲-٤-۲-٤- اعضای منفرد با مقطع دایره[1]

ضریب شکل "C" برای اعضای منفرد با مقطع دایره مثل میله و لوله و غیره که در آنها نسبت طول به قطر بیشتر از ۵ است ، با استفاده از جدول (۲-۳) بدست می‌آید [۴]:

جدول (۲-۳) ضریب شکل اعضای منفرد با مقطع دایره

"C" ضریب شکل	"$D\times V_{WH}$ بر حسب مترمربع بر ثانیه"
۱/۲	$D\times V_{WH} < ۷/۳$
۰/۶	$۷/۳ \le D\times V_{WH} < ۱۲$
۰/۷	$۱۲ \le D\times V_{WH} < ۳۳$
۰/۸	$D\times V_{WH} \ge 33$

مقادیر جدول فوق برای اعضایی با زبری سطحی کمتر از ۰/۰۱ قطر D معتبر است.

۲-٤-۲-٥- اعضای منفرد با سطح تخت[2]

ضریب شکل برای اعضای منفرد با سطح تخت، بدون در نظر گرفتن طول عضو و یا جهت وزش باد، برابر با ۲ اختیار می‌گردد.

۲-٤-۲-٦- تجهیزات فشار قوی

ضریب شکل برای تجهیزات فشار قوی دارای بوشینگ مانند کلید، ترانس جریان، ترانس ولتاژ و ... می‌بایستی از سازنده تجهیز دریافت گردد. در صورت نبود اطلاعات می‌توان این ضریب را بین ۰/۸ تا ۰/۹ فرض نمود.

۲-٤-۲-۷- زنجیره مقره[3]

ضریب شکل برای زنجیره مقره، برابر با ۰/۵ فرض می‌شود.

۲-٤-۲-۸- شینه‌های صلب

ضریب شکل برای لوله‌ها برابر یک در نظر گرفته می‌شود.

۲-٤-۳- نیروی باد روی هادی و سیم گارد

نیروی باد (F_{wc}) که عمود بر راستای هادی و سیم گارد اثر می‌کند از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$F_{WC} = \frac{(V_{WH})^2}{16} \times C \times d_c \times R \times Sin^2\varphi \times 10^{-3} \qquad (۸-۲)$$

1. Single members with cirular cross section
2. Single flat sided members
3. String insulator

در این رابطه :

F_{wc}: نیروی باد روی هادی و سیم گارد بر حسب کیلوگرم بر متر طول

V_{WH}: سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه

C: ضریب شکل که وقتی قطر هادی یا سیم گارد بزرگتر از ۱۵میلیمتر باشد برابر یک در نظر گرفته می‌شود و در غیر اینصورت طبق بند ۲-۵-۲-۴ انتخاب می‌شود.

d_c: قطر هادی یا سیم گارد بر حسب میلیمتر

ϕ: زاویه بین جهت وزش باد و راستای هادی یا سیم گارد

R: ضریب کاهشی است که از روابط زیر بدست می‌آید :

$$\begin{cases} R = 1.0 & a_h \le 100 \\ R = 1.2 - 0.002\,a_h & 100 < a_h < 300 \\ R = 0.6 & a_h \ge 300 \end{cases} \qquad (۹-۲)$$

a_h: اسپن بادگیر[1] بر حسب متر که برابر با میانگین دهانه‌های مجاور می‌باشد.

از بار باد در راستای هادی یا سیم گارد صرفنظر می‌شود. در ضمن مقدار بار باد روی باندل‌ها به وسیله جمع کردن بارهای باد روی هر هادی بدست می‌آید.

۲-۵- بار زلزله

نیروی ناشی از زلزله روی تجهیزات و سازه‌ها بستگی به خصوصیات حرکت زمین، وزن سازه و رفتار لرزه‌ای آن دارد. ضوابط مربوط به محاسبه و تعیین نیروی زلزله و اثر آن بر سازه‌های پست‌های فشارقوی، جز در موارد ذکرشده در این نشریه، مطابق با آخرین ویرایش آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله « استاندارد ۲۸۰۰» ایران صورت می‌گیرد.

۲-۵-۱- نیروی جانبی ناشی از زلزله (F_{eh})

نیروی جانبی ناشی از زلزله وارد بر سازه‌های پست‌های فشارقوی را می‌توان با استفاده از روش «تحلیل استاتیکی معادل» محاسبه نمود. مشروط برآنکه زمان تناوب اصلی نوسان سازه از ۰/۵ ثانیه تجاوز نکند. در غیر این صورت به کارگیری یکی از روش‌های تحلیل دینامیکی در محاسبه نیروی جانبی الزامی است.

در این روش حداقل نیروی برش پایه در هر امتداد با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{eh}=CW \qquad (۱۰-۲)$$

در رابطه فوق:

F_{eh}: نیروی برشی در تراز پایه برحسب کیلوگرم،

W: وزن سازه و تجهیز برحسب کیلوگرم و

C_S: ضریب زلزله که از رابطه زیر بدست می آید:

1. Wind span

$$C_s = \frac{ABI}{R} \qquad (۱۱-۲)$$

که در آن:

A: نسبت شتاب مبنای طرح (شتاب زلزله به شتاب ثقل g)

B: ضریب بازتاب سازه که با استفاده از طیف بازتاب طرح بدست می‌آید

I: ضریب اهمیت سازه و

R: ضریب رفتار سازه می‌باشد.

لازم به ذکر است که در محاسبه وزن سازه و تجهیز (W) نیازی به درنظرگرفتن اثر یخبندان نمی‌باشد. مقادیر A، B، I و R باتوجه به بندهای بعدی تعیین می‌شوند.

۲-۵-۲- ضریب اهمیت سازه (I)

باتوجه به اهمیت قابل استفاده بودن تأسیسات برق‌رسانی پس از وقوع زلزله و افزایش غیرمستقیم تلفات و خسارات در صورت وقفه در بهره‌برداری از آن‌ها، سازه‌های پست‌های فشارقوی از نوع «گروه ۱» و با اهمیت خیلی زیاد درنظر گرفته می‌شوند. براین اساس ضریب اهمیت سازه برابر با ۱/۴ درنظر گرفته می‌شود.

۲-۵-۳- نسبت شتاب مبنای طرح (A)

نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق مختلف کشور، براساس میزان خطر لرزه‌خیزی آن‌ها، به شرح جدول زیر تعیین می‌شود. مناطق چهارگانه عنوان شده در این جدول در نشریه یادشده در بند (۲-۶) مشخص شده‌اند.

جدول ۲-٤: نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق مختلف

منطقه	میزان لرزه‌خیزی	نسبت شتاب مبنای طرح
۱	پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد	۰/۳۵
۲	پهنه با خطر نسبی زیاد	۰/۳۰
۳	پهنه با خطر نسبی متوسط	۰/۲۵
۴	پهنه با خطر نسبی کم	۰/۲۰

۲-۵-٤- زمان تناوب اصلی نوسان سازه (T)

زمان تناوب اصلی نوسان سازه برحسب ثانیه، اگر سازه از نوع جرم متمرکز در انتهای طره لاغر با مقطع یکنواخت فرض شود، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{p}{g} \times \frac{l^3}{3EI}} \qquad (۱۲-۲)$$

که در آن:

P: وزن جرم متمرکز برحسب کیلوگرم

l: طول طره برحسب سانتیمتر

g: شتاب ثقل برحسب سانتیمتر برمجذور ثانیه

E: مدول ارتجاعی مصالح طره برحسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

I: لنگر اینرسی مقطع برحسب سانتیمتر به توان چهار می‌باشد.

در صورتی که از وزن طره (q) صرف‌نظر نشود، می‌توان مقدار p' محاسبه شده از رابطه زیر را در رابطه فوق جایگزین p نمود.

$$p' = p + \frac{33}{140} ql \qquad (۱۳-۲)$$

که در آن q وزن واحد طول طره برحسب کیلوگرم بر سانتیمتر می‌باشد.

۲-۵-۵- ضریب بازتاب سازه (B)

ضریب بازتاب سازه بیانگر نحوه پاسخ آن به حرکت زمین است که با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شود.

$$\begin{cases} B = 1 + S(T/T_0) & 0 \le T \le T_0 \\ B = 1 + S & T_0 < T \le T_s \\ B = (1+S)(\frac{T_s}{T})^{2/3} & T_s < T \end{cases} \qquad (۱۴-۲)$$

در روابط فوق T زمان تناوب اصلی نوسان سازه برحسب ثانیه است و T0 ، TS و S مؤلفه‌هایی هستند که بستگی به نوع زمین و میزان خطر لرزه‌خیزی منطقه دارند [۵].

جدول ۲-۵: مؤلفه‌های مربوط به روابط (۲-۱۴)

نوع زمین	T_0	T_S	S	
			خطر نسبی کم و متوسط	خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد
I	۰/۱	۰/۴	۱/۵	۱/۵
II	۰/۱	۰/۵	۱/۵	۱/۵
III	۰/۱۵	۰/۷	۱/۷۵	۱/۷۵
IV	۰/۱۵	۱/۰	۲/۲۵	۱/۷۵

لازم به ذکر است که در تعیین ضریب بازتاب، نسبت میرایی سازه‌ها ۵ درصد درنظر گرفته شده است.

حداکثر مقدار B برای مناطق با خطر نسبی کم و متوسط برابر ۳/۲۵ و برای مناطق با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد برابر ۲/۷۵ است.

۲-۵-٦- ضریب رفتار سازه (R)

ضریب رفتار R برای سازه‌های به کار رفته در پستهای فشارقوی طبق جدول زیر تعیین می‌شوند. در هر حال لازم است مقدار $\frac{B}{R}$ همواره بزرگتر از ۰/۵ درنظر گرفته شود. سازه‌هایی که زمان تناوب اصلی آن‌ها کمتر از ۰/۰۶ ثانیه است، صلب تلقی شده و مقدار $\frac{B}{R}$ برای آن‌ها ۰/۵ درنظر گرفته می‌شود.

جدول ۲-٦: ضریب رفتار سازه‌های مختلف

ردیف	نوع سازه	R
۱	سازه‌هایی که رفتارشان مشابه پاندول وارونه با جرم متمرکز در انتها است	۳
۲	سازه‌هایی که رفتارشان مشابه ستون طره‌ای با جرم گسترده است	۵
۳	برج‌ها و دکل‌های مشبک، آزاد یا مهارشده	۴
۴	سایر سازه‌ها	۳/۵

۲-۵-۷- نیروی قائم ناشی از زلزله (F_{ev})

نیروی قائم ناشی از زلزله که اثر مؤلفه قائم شتاب زلزله در سازه است، از رابطه زیر محاسبه می‌شود. لازم است این نیرو در هر دو جهت رو به بالا و رو به پایین درنظر گرفته شود.

$$F_{ev}=0.7AIW_P \qquad (۱۵-۲)$$

در این رابطه:

A و I: مقادیر مشابه در محاسبه نیروی جانبی مندرج در بند (۲-۵-۱) و

W_P: بار مرده به اضافه تمامی سربار احتمالی می‌باشد.

نیروی قائم همراه با نیروهای افقی زلزله باید در ترکیبات زیر به کار برده شوند:

الف- صد درصد نیروی زلزله در هر امتداد افقی با ۳۰ درصد نیروی زلزله در امتداد عمود بر آن و ۳۰ درصد نیروی زلزله در امتداد قائم.

ب- صد درصد نیروی زلزله در امتداد قائم با ۳۰ درصد نیروی زلزله در هر یک از دو امتداد افقی عمود بر هم.

۲-۵-۸- محل اثر نیروی زلزله

محل اثر نیروی زلزله در محل مرکز ثقل سازه و تجهیز می‌باشد. در صورت وجود جرم‌های متفاوت در ترازهای مختلف ارتفاعی، نیروی جانبی زلزله وارد شده بر هر یک از رابطه زیر محاسبه خواهد شد.

$$(F_{eh})_i = \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^{n} W_j h_j} F_{eh} \qquad (۱۶-۲)$$

در رابطه فوق:

$(F_{eh})_i$: نیروی جانبی در تراز i ام سازه

W_i: وزن جرم موجود در تراز i ام

h_i: ارتفاع تراز i ام از تراز پایه می‌باشد.

نیروی قائم ناشی از زلزله برای هرکدام از بخش‌های سازه به صورت جداگانه محاسبه شده و در محل مرکز جرم آن اعمال می‌شود.

۲-٦- بار اتصال کوتاه [1]

هنگام خطا و یا اتصال کوتاه در شبکه برق جریانی با شدت زیاد در یک زمان کوتاه از هادی‌های عبور می‌کند. در اثر عبور این جریان، هادی گرم شده و تحت نیروی الکترومغناطیسی قرار می‌گیرد. مقدار این نیرو بستگی به ماکزیمم جریان، فاصله هادی‌ها از یکدیگر و طول آنها دارد. محاسبه نیروی اتصال کوتاه در هادی‌های قابل انعطاف و صلب براساس آخرین تجدیدنظر استاندارد **IEC** شماره ۶۰۸۶۵ انجام می‌شود.

در هادی‌های انعطاف‌پذیر، نیروی اتصال کوتاه به صورت نیروی کششی در راستای طول و در هادی‌های لوله‌ای یا صلب به صورت نیروی عرضی عمود بر راستای هادی اثر می‌کند.

بار حاصل از اتصال کوتاه بین هادی‌های رشته‌ای با جریان مساوی برحسب نیوتن از رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$F_m = 0.2 \times (I''_K)^2 \times \frac{L}{a} \qquad (۱۷-۲)$$

که در این رابطه I''_k مقدار موثر مؤلفه متقارن اولیه جریان اتصال کوتاه بر حسب کیلوآمپر و **L** طول هادی‌ها و **a** فاصله بین آنها می‌باشد. مقدار نیروی اتصال کوتاه در اتصال کوتاه سه فاز بر حسب نیوتن، با توجه به اینکه حداکثر نیرو روی فاز وسط اعمال می‌شود برابر با مقدار زیر خواهد بود:

$$F_{m3} = 0.15 \frac{(I''_{K3})^2}{a} \qquad (۱۸-۲)$$

و برای اتصال کوتاه دو فاز داریم:

$$F_{m2} = 0.2 \frac{(I''_{K2})^2}{a} \qquad (۱۹-۲)$$

که I''_{k3} و I''_{k2} به ترتیب برابر مقدار موثر مولفه متقارن اولیه جریان برای اتصال کوتاه‌های سه فاز و دو فاز برحسب کیلوآمپر می‌باشند.

برای هادی‌های لوله‌ای می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$F_{m3} = 0.2 I_{p2}^2 \frac{L}{a} \qquad (۲۰-۲)$$

$$F_{m2} = 0.173 I_{p3}^2 \frac{L}{a} \qquad (۲۱-۲)$$

1. Short circuit load

که در آن I_{p3} و I_{p2} به ترتیب برابر مقدار پیک جریان اتصال کوتاه سه فاز و دوفاز برحسب کیلوآمپر می‌باشند. در شبکه‌های فشارقوی نسبت مقدار پیک جریان به جریان مؤثر اتصال کوتاه به صورت تابعی از $\frac{X}{R}$ با یک ضریب $\sqrt{2}$ تعریف می‌شود. در صورتی که $\frac{X}{R} \geq 14$ باشد این ضریب را می‌توان برابر ۲/۵۵ در نظر گرفت.

۲-۷- بار عملکرد [1]

بار ناشی از عملکرد تنها برای کلیدهای فشار قوی مطرح بوده که مقدار آن توسط سازنده آن تعیین می‌گردد. این بار می‌بایستی در مورد کلیدهای قدرت با نیروی حاصل از دو ترکیب بارگذاری بار اتصال کوتاه به همراه باد شدید و بار زلزله و اتصال کوتاه جمع گردد.

۲-۸- بار نصب و نگهداری [2]

کلیه اعضای افقی و اعضایی که محور طولی آنها زاویه ای کمتر از ۳۰ درجه با امتداد افق دارند، باید قادر به تحمل بار متمرکزی برابر ۱۵۰ کیلوگرم (وزن احتمالی یک کارگر و وسایل تعمیرات) که به صورت عمود بر محور طولی در هر نقطه عضو تأثیر می‌کند، باشند.

1. Operating load
2. Maintainance and installation load

فصل ۳

ترکیبات بارگذاری

مقدمه

در این فصل ترکیبات بارگذاری مختلف وارد بر سازه گنتری و سازه نگهدارنده تجهیزات معرفی می‌شود. در مورد سازه گنتری تعداد ترکیب بارها ۶ مورد می‌باشد که ۵ مورد اول با سازه نگهدارنده تجهیزات مشابه بوده و یک مورد به علت اسپن زیاد گنتری در مورد آن اعمال می‌گردد. معمولاً نیروی بحرانی جهت گانتری‌ها از ترکیب بارگذاری باد و اتصال کوتاه و جهت پایه‌های تجهیزات از ترکیب بارگذاری اتصال کوتاه و زلزله بدست می‌آیند. در هر صورت گنتری‌ها و سازه‌های نگهدارندهٔ تجهیزات باید قادر به تحمل نیروهای ناشی از ترکیبات بارگذاری زیر باشند [۴]:

۳-۱- گنتری‌ها

۳-۱-۱- بار باد معمولی و یخ

الف – بار مرده

ب- بار هادی‌ها با در نظر گرفتن بار یخ و باد

پ – بار باد روی گنتری

ت – بار قائم ۱۵۰ کیلوگرمی مربوط به نصب و نگهداری

در این حالت سرعت باد درشرایط یخ برابر ۲۵ متر بر ثانیه و درجه حرارت برابر صفر درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود. ضخامت یخ نیز بسته به شرایط محیطی محل پست بدست می‌آید.

۳-۱-۲- بار باد شدید

الف – بار مرده

ب – بار هادی‌ها با توجه به باد شدید

پ – بار باد روی گنتری

در این حالت درجه حرارت برابر با ۲۰ درجه بالای حداقل درجه حرارت محیط در نظر گرفته می‌شود. حداقل درجه حرارت محیط و حداکثر سرعت باد بسته به شرایط محیطی محل پست بدست می‌آید [۱۱].

۳-۱-۳- بار اتصال کوتاه به همراه بار باد شدید در حالت حداکثر جریان اتصال کوتاه

الف- بار مرده

ب- بار هادی‌ها باتوجه به اتصال کوتاه و باد شدید در حالت حداکثر جریان اتصال کوتاه

پ- بار باد روی گنتری

دراین حالت سرعت باد برابر ۷۰ درصد حداکثر سرعت باد شدید در منطقه مورد نظر و درجه حرارت هادی برابر ۷۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-٤- بار زلزله و اتصال کوتاه بدون بار باد و یخ

الف – بار مرده

ب – بار هادی‌ها با توجه به نیروی حاصل از حداکثر جریان اتصال کوتاه روی آن

پ- ۶۰ درصد بار زلزله روی گنتری

درجه حرارت هادی در این حالت برابر ۷۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-۵- بار سیم‌کشی در حداقل درجه حرارت برای هوای آرام و بدون یخ

الف – بار مرده

ب- بار هادی‌ها تحت وزن خود و کشش ناشی از درجه حرارت پائین

پ – بار قائم ۱۵۰ کیلوگرمی مربوط به نصب و نگهداری

در این حالت مقدار درجه حرارت هادی مطابق با حداقل درجه حرارت محیط در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-٦- بار باد معمولی و یخ روی هادی‌ها در یک اسپن و بار باد معمولی بدون یخ در اسپن دیگر

در برخی مواقع یخ تشکیل شده در یک دهانه از خط به دلایلی (همانند گرم شدن سیم در اثر عبور جریان و یا واقع شدن آن در معرض تابش مستقیم خورشید) از سیم جدا شده در صورتی که دهانه مجاور دارای یخ می‌باشد و لذا موجب اختلاف در کشش سیم می‌گردد.

الف – بار مرده

ب- بار هادی‌ها تحت باد معمولی در یک اسپن و تحت باد و یخ معمولی در اسپن دیگر

پ – بار باد روی گنتری

در این حالت سرعت باد در شرایط یخ (V_{WHice}) برابر ۲۵ متر بر ثانیه و درجه حرارت برابر صفر درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲- سازه‌های نگهدارنده تجهیزات

۳-۲-۱- بار باد معمولی و یخ

الف – بار مرده

ب – بار هادی‌ها با در نظر گرفتن بار یخ و باد

پ – بار باد روی تجهیز و سازهٔ نگهدارنده

ت – بار قائم ۱۵۰ کیلوگرمی مربوط به نصب و نگهداری

در این حالت سرعت باد در شرایط یخ (V_{WHice}) برابر ۲۵ متر بر ثانیه و درجه حرارت برابر صفر درجه سانتیگراد می‌باشد و ضخامت یخ بسته به شرایط محیطی محل بدست می‌آید.

۳-۲-۲- بار باد شدید

الف – بار مرده

ب- بار هادی‌ها با توجه به باد شدید

پ – بار باد روی تجهیز و سازهٔ نگهدارنده

در این حالت درجه حرارت برابر با ۲۰ درجه بالای حداقل درجه حرارت محیط در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲-۳- بار اتصال کوتاه به همراه بار باد در حالت حداکثر جریان اتصال کوتاه

الف – بار مرده

ب- بار هادی‌ها با توجه به اتصال کوتاه و باد در حالت حداکثر جریان اتصال کوتاه

پ – بار باد روی تجهیز و سازهٔ نگهدارنده

ج- بار عملکرد تجهیز (در صورت وجود)

در این حالت سرعت باد برابر ۷۰ درصد حداکثر سرعت باد در منطقه مورد نظر و درجه حرارت هادی جریان برابر ۷۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲-٤- بار زلزله و اتصال کوتاه بدون بار باد و یخ

الف – بار مرده

ب- بار هادی‌ها با توجه به نیروی حاصل از حداکثر جریان اتصال کوتاه روی آن

پ- ۶۰ درصد بار زلزله روی تجهیز و سازهٔ نگهدارنده آن

ج- بار عملکرد تجهیز (در صورت وجود)

درجه حرارت هادی دراین حالت برابر ۷۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲-۵- بار سیم‌کشی در حداقل درجه حرارت برای هوای آرام و بدون یخ

الف – بار مرده

ب- بار هادی تحت وزن خود و کشش ناشی از درجه حرارت پائین

پ – بار قائم ۱۵۰ کیلوگرمی مربوط به نصب و نگهداری

در این حالت مقدار درجه حرارت هادی ، حداقل درجه حرارت محیط در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲-٦- بار ناشی از زلزله به تنهایی

الف- بار مرده

ب- بار زلزله روی تجهیز و سازنده نگهدارنده آن

ج- بار کشش هادی در حالت معمولی

۳-۳- مثال کاربردی

در این بخش به منظور نشان دادن نحوهٔ بکارگیری روشها، روابط، جداول و منحنی‌های مذکور در بخشهای قبل بطور نمونه بارگذاری سازهٔ مقرهٔ اتکایی با مشخصات زیر انجام می‌شود. توضیح آنکه این مثال می‌تواند برای کلیه تجهیزات فشار قوی به شکل مشابه تعمیم داده شود. تنها درخصوص کلیدهای قدرت باید بار عملکرد را به دو ترکیب بارگذاری زلزله و اتصال کوتاه و باد شدید و اتصال کوتاه جمع نمود.

۱- مشخصات شینه

۱-۱- نوع شینه : لوله‌ای (W_d =5.8 kg/m , t=6 mm, D=120 mm). وزن سیم دمپر نیز در وزن شینه گنجانده شده است.

۱-۲- جنس لوله : E-A1MgSi0.5 F22

۱-۳- وضعیت شینه: تعداد دهانه برابر یک عدد ، طول هادی بین دو نگهدارنده برابر ۱۲ متر (L=12 m) و فاصلهٔ فازها برابر ۷ متر (a=7 m) و نوع اتصال دو انتها ساده می‌باشد.

۱-۴- پیک جریان اتصال کوتاه : I_p=120 kA

۱-۵- ولتاژنامی: ۲۳۰ کیلوولت

۲- مشخصات مقره اتکایی

۲-۱- نوع مقره اتکایی : C8-1050

۲-۲- ارتفاع کلی مقره اتکایی : (H_{PI}=2300 mm)

۲-۳- وزن کلی مقرهٔ اتکایی : (W_{PI}=176 kg)

۲-۴- قطر مقرهٔ اتکایی : (D_{PI}=250 mm)

۳- مشخصات سازهٔ نگهدارنده

۳-۱- نوع سازه : لوله فولادی (PIPE 159×6.3 mm)

۳-۲- ارتفاع کلی سازه : (H_{st}= 2200 mm)

۳-۳- وزن کلی سازه : (W_{st}=60 kg)

۳-۴- مدول الاستیسته فولاد : ($E=2\times10^6$ kg/cm^2)

۳-۵- ممان اینرسی سازه : (I=882 cm^4)

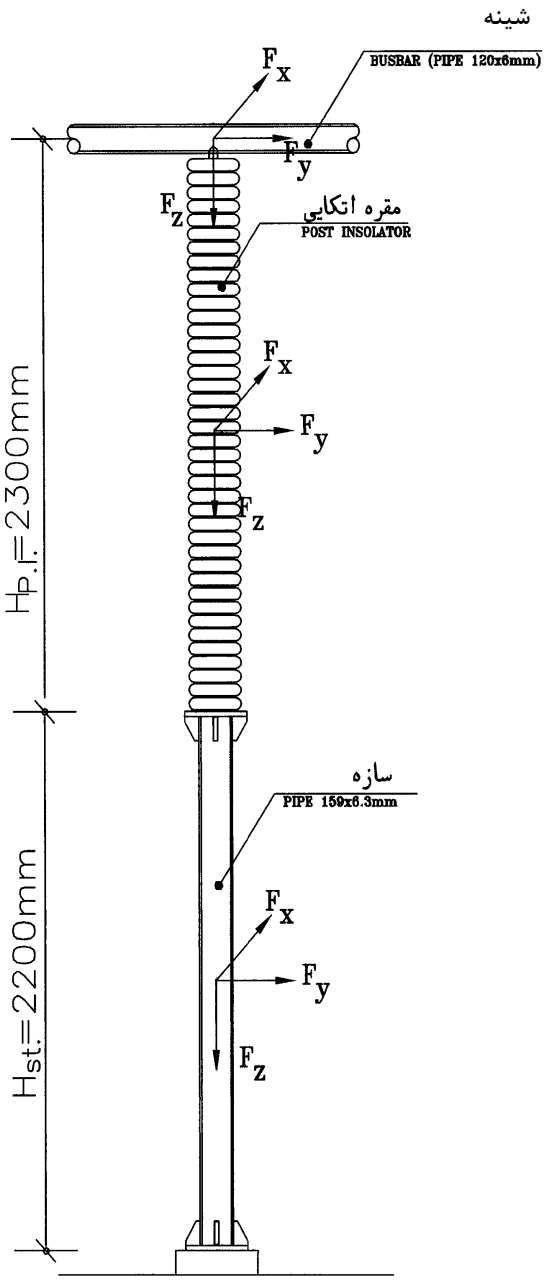
٤- مشخصات شرایط محیطی محل نصب

۴-۱- ضخامت یخ ۳۰ میلی‌متر

۴-۲- حداکثر سرعت باد ۴۰ متر بر ثانیه

۴-۳- شتاب زلزله ۰/۳۵g

۴-۴- نوع زمین III



شکل ۳-۱ : بارگذاری سازه نگهدارنده مقره اتکایی

- **تعیین بار مرده**

(نیروی ناشی از وزن شینه روی مقره اتکایی) $F_{dc}= 0.5\ W_d\ L = 0.5\times5.8\times12=34.8\ kg$

(نیروی ناشی از وزن مقره اتکایی) $F_{de}=176\ kg$

(نیروی ناشی از وزن سازه) $F_{ds} =60\ kg$

- **تعیین بار یخ**

نیروی ناشی از وزن یخ روی شینه متصل به مقره اتکایی برابر است با:

$F_i=0.5\times9\times10^{-4}\pi t_i(t_i+d_c)L=0.5\times9\times10^{-4}\times\pi\times30(30+120)\times12=76.3\ kg$

- **تعیین بار باد**

V_{WH} برابر است با:

الف- بار باد روی شینه

مقدار نیروی باد روی شینه با توجه به بند ۲-۴-۲-۸ بدست می‌آید که در آن مقدار ضریب شکل برابر با یک و مقدار ضـریب R نیز برابر با یک می‌باشد. نیروی وارد بر مقره اتکایی ناشی از اثر باید شدید روی شینه (F_{wc1}) برابر است با:

$$F_{wc1}=0.5\left[\frac{(V_{WH})^2}{16}C\,d_c\,R\,Sin^2\varphi\times10^{-3}\right]L=0.5\times\frac{(40)^2}{16}\times1\times120\times1.0\times Sin^2 90^\circ\times10^{-3}\times12=72\,kg$$

نیروی وارد بر مقره اتکایی ناشی از اثر باد معمولی روی شینه پوشیده از یخ (F_{wc1}) برابر است با:

$$F_{wc2}=0.5\left[\frac{(V_{WHice})^2}{16}C(d_c+2t_i)\,R\,Sin^2\varphi\times10^{-3}\right]L\ \Rightarrow$$

$$F_{wc2}=0.5\times\frac{(25)^2}{16}\times1\times(120+2\times30)\times1.0\times Sin^2 90^\circ\times10^{-3}\times12=42.2\,kg$$

ب- بار باد روی مقره اتکایی

برای محاسبه مقدار نیروی باد روی مقره اتکایی، مقدار ضریب شکل برابر با ۰/۸۵ فرض می‌شود. لذا نیروی ناشی از بـاد شـدید روی مقره اتکایی (F_{WPI1}) برابر است با:

$$F_{WPI1}=\frac{(V_{WH})^2}{16}CA=\frac{(40)^2}{16}\times0.85\times2.30\times0.25=48.9\,kg$$

و نیروی ناشی از باد معمولی روی مقره اتکایی در شرایط یخ (F_{WPI2}) برابر خواهد بود با:

$$F_{WPI2}=\frac{(V_{WHice})^2}{16}CA=\frac{(25)^2}{16}\times0.85\times2.30\times0.25=19.1\,kg$$

ج- بار باد روی سازه

مقدار ضریب شکل با توجه به جدول (۲-۲) برای سازه قاب منفرد مطابق ذیل بدست می‌آید:

$$DV_{WH} = 0.159 \times 38.1 = 6.06 \quad m^2/s \rightarrow C = 1.2$$

$$DV_{WH} = 0.159 \times 25 = 3.98 \quad m^2/s \rightarrow C = 1.2$$

و لذا نیروی ناشی از باد شدید روی سازه (F_{ws1}) برابر است با:

$$F_{ws1} = \frac{(V_{WH})^2}{16} CA = \frac{(40)^2}{16} \times 1.2 \times 2.20 \times 0.159 = 42 \text{ kg}$$

و نیروی ناشی از باد معمولی روی سازه در شرایط یخ (F_{ws2}) برابر خواهد بود با:

$$F_{ws2} = \frac{(V_{WHice})^2}{16} CA = \frac{(25)^2}{16} \times 1.2 \times 2.20 \times 0.159 = 16.4 \text{ kg}$$

- تعیین بار زلزله

باتوجه به نیروی وزن مقره اتکایی که بخش عمده‌ای از وزن کلی سازه را تشکیل می‌دهد، با تقریب خوبی می‌توان کل وزن سازه را در ارتفاع ۳۳۵ سانتیمتری درنظر گرفت.

$$l = 220 + \frac{230}{2} = 335 \text{ cm}$$

$$p = 34.8 + 176 + 60 = 270.8 \text{ kg}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{p}{g} \times \frac{l^3}{3EI}} = 2\pi \sqrt{\frac{270.8 \times (335)^3}{981 \times 3 \times 2 \times 10^6 \times 882}} = 0.278 \text{ s} < 0.5 \text{ s} \quad \text{ok.}$$

زمین از نوع III درنظر گرفته شده است، بنابراین با توجه به جدول (۲-۵) داریم:

$$T_0 = 0.15$$

$$T_S = 0.7$$

$$S = 1.75$$

$$T_0 < T \le T_S \quad \Rightarrow \quad B = 1 + S = 1 + 1.75 = 2.75$$

ضریب رفتار سازه با توجه به جدول (۲-۶) برابر است با:

$$R = 3 \Rightarrow \frac{B}{R} = \frac{2.75}{3} = 0.917 > 0.5 \quad \text{ok.}$$

$$C = \frac{ABI}{R} = \frac{0.35 \times 2.75 \times 1.4}{3} = 0.45$$

لذا کل نیروی جانبی ناشی از زلزله برابر است با:

$$F_{eh} = CW = 0.45 \times 270.8 = 121.9 \quad \text{kg}$$

الف _ بار زلزله روی شینه

$$\begin{cases} F_{eh} = 121.9 \times \dfrac{34.8 \times 450}{34.8 \times 450 + 176 \times 335 + 60 \times 110} = 121.9 \times \dfrac{15660}{81220} = 23.5 \ \text{kg} & \text{مؤلفه افقی} \\ F_{ev} = 0.7 \times 0.35 \times 1.4 \times 34.8 = 11.9 \ \text{kg} & \text{مؤلفه عمودی} \end{cases}$$

ب _ بار زلزله روی مقره اتکایی

$$\begin{cases} F_{eh} = 121.9 \times \dfrac{176 \times 335}{81220} = 88.5 \ \text{kg} & \text{مؤلفه افقی} \\ F_{ev} = 0.7 \times 0.35 \times 1.4 \times 176 = 60.4 \ \text{kg} & \text{مؤلفه عمودی} \end{cases}$$

ج _ بار زلزله روی سازه

$$\begin{cases} F_{eh} = 121.9 \times \dfrac{60 \times 110}{81220} = 9.9 \ \text{kg} & \text{مؤلفه افقی} \\ F_{ev} = 0.7 \times 0.35 \times 1.4 \times 60 = 20.6 \ \text{kg} & \text{مؤلفه عمودی} \end{cases}$$

- **تعیین بار اتصال کوتاه**

$$F_m = 0.2(I_p)^2 \frac{L}{a} = 0.2 \times (120)^2 \times \frac{12}{7} = 4937 \ \text{N}$$

با توجه به روابط ارائه شده در مرجع [۹]، مقدار نیروی اتصال کوتاه وارد بر مقره برابر است با:

$$F_{sc} = 251.6 \ \text{kg}$$

- **ترکیبات بارگذاری**

۱- باد معمولی و یخ

- چنانچه باد در جهت y باشد، مقادیر بار و محل اثر آنها به شرح زیر خواهد بود:

شینه
$$\begin{cases} F_x = 0.0 \\ F_y = 0.0 \\ F_Z = F_{dc} + F_i = 34.8 + 76.3 = 111.1 \ \text{kg} \end{cases}$$

محل اثر بار در محل اتصال شینه به مقره اتکایی می‌باشد.

مقره اتکایی
$$\begin{cases} F_x = 0.0 \\ F_y = F_{WPI2} = 19.1 \ \text{kg} \\ F_Z = F_{de} = 176 \ \text{kg} \end{cases}$$

محل اثر بار قائم در مرکز جرم و محل اثر بار افقی ناشی از باد معمولی در مرکز سطح مقره اتکایی می‌باشد.

سازه
$F_x = 0.0$
$F_y = F_{ws2} = 16.4$ kg
$F_Z = F_{ds} = 60$ kg

محل اثر بار قائم در مرکز جرم و محل اثر بار افقی ناشی از باد معمولی در مرکز سطح سازه می‌باشد.

- چنانچه باد در جهت x باشد، مقادیر بارها به شرح زیر خواهد بود :

شینه
$F_x = F_{wc2} = 42.2$ kg
$F_y = 0.0$
$F_Z = 111.1$kg

مقره اتکایی
$F_x = 19.1$ kg
$F_y = 0.0$
$F_Z = 176$ kg

سازه
$F_x = 16.4$ kg
$F_y = 0.0$
$F_Z = 60$ kg

۲- باد شدید

- چنانچه باد در جهت x باشد، مقادیر بار به شرح زیر خواهد بود :

شینه
$F_x = F_{wc1} = 72$ kg
$F_y = 0.0$
$F_Z = 34.8$ kg$= F_{dc}$

مقره اتکایی
$F_x = 48.9$ kg$= F_{WPI1}$
$F_y = 0.0$
$F_Z = 176$ kg$= F_{dc}$

سازه
$F_x = 42$ kg$= F_{ws1}$
$F_y = 0.0$
$F_Z = 60$ kg$= F_{ds}$

- چنانچه باد در جهت y باشد، مقادیر بار به شرح زیر خواهد بود :

شینه
$F_x = 0.0$
$F_y = 0.0$
$F_Z = 34.8$ kg

مقره اتکایی
$F_x = 0.0$
$F_y = 48.9$ kg
$F_Z = 176$ kg

سازه
$F_x = 0.0$
$F_y = 42$ kg
$F_Z = 60$ kg

۳- بار اتصال کوتاه به همراه باد شدید

در این حالت، سرعت باد مطابق استاندارد ۷۰ درصد حداکثر سرعت باد در نظر گرفته می‌شود. بنابراین مقادیر بارهای مربوط به باد شدید بایستی در ضریب ۰/۴۹ = $(۰/۷)^۲$ ضرب شود.

– چنانچه باد در جهت x باشد، مقادیر بار به شرح زیر خواهد بود :

شینه
$F_x = 0.49 \times 72 + 251.6 = 287$ kg
$F_y = 0.0$
$F_Z = 34.8$ kg

مقره اتکایی
$F_x = 0.49 \times 48.9 = 23.9$ kg
$F_y = 0.0$
$F_Z = 176$ kg

سازه
$F_x = 0.49 \times 42 = 20.6$ kg
$F_y = 0.0$
$F_Z = 60$ kg

- چنانچه باد در جهت y باشد، مقادیر بار به شرح زیر خواهد بود :

شینه
$F_x = 251.6$ kg
$F_y = 0.0$
$F_Z = 34.8$ kg

مقره اتکایی
$F_x = 0.0$
$F_y = 0.49 \times 48.9 = 24$ kg
$F_Z = 176$ kg

سازه
$F_x = 0.0$
$F_y = 0.49 \times 42 = 20.6$ kg
$F_Z = 60$ kg

٤- بار زلزله و اتصال کوتاه بدون بار باد و یخ

- چنانچه بار زلزله در جهت x باشد، مقادیر بار به شرح زیر خواهد بود :

شینه
$F_x = 0.6 \times 23.5 + 251.6 = 265.7$ kg
$F_y = 0.3 \times 23.5 \times 0.6 = 4.23$ kg
$F_Z = 34.8 \pm (0.3 \times 11.9 \times 0.6) = 32.6 , 36.9$ kg

مقره اتکایی
$F_x = 88.5 \times 0.6 = 531$ kg
$F_y = 0.3 \times 88.5 \times 0.6 = 15.9$ kg
$F_Z = 176 \pm (0.3 \times 0.6 \times 60.4) = 165.1 , 186.9$ kg

سازه
$F_x = 9.9\times0.6 = 5.94\ kg$
$F_y = 0.3 \times 9.9\times0.6 = 1.8\ kg$
$F_Z = 60 \pm (0.3 \times0.6\times 20.6) = 56.3\ ,\ 63.7\ kg$

- چنانچه بار زلزله در جهت y باشد، مقادیر بار به شرح زیر خواهد بود :

شینه
$F_x = 251.6 +(0.3 \times23.5\times0.6) = 255.8\ kg$
$F_y = 23.5\times0.6 = 14.1\ kg$
$F_Z = 34.8 \pm (0.3\times11.9\times0.6) = 36.9\ ,\ 32.65\ kg$

مقره اتکایی
$F_x = 0.3 \times 88.5\times0.6 = 15.93\ kg$
$F_y = 88.5\times0.6 = 53.1\ kg$
$F_Z = 176 \pm (0.3 \times 60.4\times0.6) = 165.1\ ,\ 186.9\ kg$

سازه
$F_x = 0.3\times9.9\times0.6 = 7.7\ kg$
$F_y = 9.9\times0.6 = 5.94\ kg$
$F_Z = 60 \pm (0.3 \times 20.6\times0.6) = 63.7\ ,\ 56.3\ kg$

- چنانچه بارگذاری زلزله در جهت قائم مورد نظر باشد، مقادیر به شرح زیر خواهد بود:

شینه
$F_x = 251.6 +(0.3\times0.6\times23.5) = 255.8\ kg$
$F_y = 0.3\times23.5\times0.6 = 4.23\ kg$
$F_Z = 34.8 \pm 11.9\times0.6 = 41.9\ ,\ 27.7\ kg$

مقره اتکایی
$F_x = 0.3 \times88.5\times0.6 = 15.9\ kg$
$F_y = 0.3 \times 88.5\times0.6 = 15.9\ kg$
$F_Z = 176 \pm 60.4\times0.6 = 212.2\ ,\ 139.8\ kg$

سازه
$F_x = 0.3 \times 9.9\times0.6 = 1.78\ kg$
$F_y = 0.3 \times 9.9\times0.6 = 1.78\ kg$
$F_Z = 60 \pm 20.6\times0.6 = 72.4\ ,\ 47.64\ kg$

۵- بار زلزله

محاسبات مربوط به بار زلزله ۱۰۰ درصد قبلاً آمده است.

٦- بار سیم‌کشی در حداقل درجه حرارت برای هوای آرام و بدون یخ

مقدار این نیرو با توجه به تعداد هادی‌های متصل‌شده و خصوصیات آن‌ها تعیین خواهد شد.

لازم است هرکدام از قسمتهای مختلف سازه برای بحرانی‌ترین حالت از بین ترکیبات بارگذاری فوق طراحی شود.

مراجع

1. IEEE, Recommended Practice for Seismic Design of Substations, IEEE Std. 693 – 1997, Institute of Electrical & Electronics Engineers Inc., New York , NY, 1998.
2. IEC, Short – Circuit Currents - Calculation of effects, Part 1: Definition and Calculation Methods, CEI/IEC 865-1, International Electrotechnical Commission, Geneve, Suisse, 1993.
3. IEC, Short – Circuit Currents - Calculation of effects, Part 2: Examples of Calculation, CEI/IEC 865-2, International Electrotechnical Commission, Geneve, Suisse, 1994.
4. SSPB, 400 kv Substations in Iran, Design Standard Appendices, Swedish State Power Board, 1978.

۵. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله «استاندارد ۸۴-۲۸۰۰»، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم، تهران، ۱۳۸۴.

۶. مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم: بارهای وارد بر ساختمان، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان وزارت مسکن و شهرسازی، نشر توسعه ایران، تهران، چاپ چهارم، ۱۳۸۳.

۷. استاندارد طراحی بهینه پست‌های ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، جلد ۲۱۸: معیارهای طراحی و مهندسی سازه‌ها و ترکیبات بارگذاری، وزارت نیرو، تهران، ۱۳۷۷.

۸. استاندارد پست‌های فوق‌توزیع (۳۲) ۱۳۲/۲۰ کیلوولت معمولی، جلد ۱۲۰۲: بارگذاری مکانیکی سازه‌ها، وزارت نیرو، تهران، ۱۳۷۴.

۹. مشخصات فنی و عمومی و اجرایی شینه و هادی‌ها در پست‌های فشار قوی، از سری نشریات استاندارد حاضر.

۱۰. طراحی عمومی خطوط انتقال نیرو، از سری نشریات استاندارد حاضر.

۱۱. طبقه‌بندی شرایط محیطی و اقلیمی، از سری نشریات استاندارد حاضر.

این نشریه

با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها و خطوط فوق توزیع و انتقال – ترکیب بارگذاری نیروها بر سازه های پست های فشار قوی » مباحث مربوط به اهداف، کلیات و تعاریف، انواع بارگذاری(بارگذاری های مکانیکی، بار کشش هادی، بار یخ، بار زلزله، بار اتصال کوتاه، بار عملکرد، و بار نصب و نگهداری)، ترکیبات بارگذاری(گنتری ها و سازه های نگهدارنده تجهیزات) و یک مثال کاربردی می باشد.