

**مشخصات فنی عمومی و اجرایی**  
**پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال**  
**شینه و هادی ها در پست های فشار قوی**  
نشریه شماره ۲- ۴۵۱

وزارت نیرو - شرکت توانیر  
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق  
[www.tavanir.ir](http://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  
شینه و هادی ها در پست های فشار قوی  
نشریه شماره ۲-۴۵۱**

وزارت نیرو - شرکت توانیر  
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق  
[www.tavanir.ir](http://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 برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

شماره:	۱۰۰/۴۸۶۷۳
تاریخ:	۱۳۸۷/۵/۲۸

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران

موضوع:

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها و خطوط فوق توزیع و انتقال - شینه و هادی‌ها در پست‌های فشار قوی (جلد اول) و (جلد دوم)

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 ۳۳۴۹۷-هـ، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۵۱ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها و خطوط فوق توزیع و انتقال - شینه و هادی‌ها در پست‌های فشار قوی (جلد اول) و (دوم)» 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 برقی

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور



# 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 ریاست جمهوری (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 و عمومی و اجرایی شینه و هادی ها در پست‌های فشارقوی - جلد دوم» در برگیرنده مباحث مربوط به شینه‌ها و هادی‌ها شامل کلیات و تعاریف، معیارهای طراحی و مهندسی، آزمونهای نوعی (که به منظور بررسی و تایید مشخصات فنی شینه‌ها و هادی‌ها انجام می‌گردد) و آزمونهای جاری (که برای تشخیص نقایص و خطاهای موجود در ساختار شینه‌ها و هادی‌ها صورت می‌گیرد) می‌باشد.

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 - شینه و

هادی ها در پست های فشار قوی (جلد دوم) نشریه شماره ۲-۴۵۱

### تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسين مشاور نیرو با همکاری آقایان مهندسين شهرام کاظمی، دکتر عارف درودی و دکتر سيد حسين حسينيان تهیه و تدوين شده است و توسط آقای اسماعيل زارعی مورد ویراستاری قرار گرفته است.

### کمیته فنی

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

آقای مهندس جمال بیانی	وزارت نیرو - سازمان توانیر - مجری طرح
آقای مهندس بهمن الله مرادی	سازمان توسعه برق ایران
آقای مهندس علیرضا خیری	وزارت نیرو - دفتر استانداردهای برق و انرژی
خانم مهندس بهارک دانش نیا	شرکت مشانیر
آقای دکتر عارف درودی	مهندسين مشاور نیرو
آقای مهندس علی رحيم زاده خوشرو	معاونت برنامه ریزی - دفتر فنی شبکه
آقای مهندس رضا صائمی	شرکت مشانیر
آقای مهندس سيد حسن عرب اف	شرکت مهندسين مشاور قدس نیرو
آقای مهندس هادی قیاسی معاصر	شرکت مهندسين مشاور قدس نیرو
آقای مهندس حامد نفیسی	مهندسين مشاور نیرو
آقای مهندس سيد جمال الدین واسعی	پژوهشگاه نیرو
آقای مهندس احسان الله زمانی	وزارت نیرو - سازمان توانیر - دبیر کمیته فنی

مسئولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفتر نظام فنی اجرائی به عهده آقایان مهندسين

محمد رضا طلاکوب و پرویز سيداحمدی بوده است.



## فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
فصل اول: اهداف، کلیات، تعاریف	
۱- مقدمه	۳
۱-۱- کلیات	۳
۲-۱- تعاریف	۴
۱-۲-۱- استراکچر شینه	۴
۲-۲-۱- استراکچر نگهدارنده	۴
۳-۲-۱- گنتری	۴
۴-۲-۱- استراکچر شینه سخت	۴
۵-۲-۱- استراکچر شینه نرم	۴
۶-۲-۱- اسپین	۴
۷-۲-۱- رشته	۴
۸-۲-۱- هادی رشته‌ای	۴
۹-۲-۱- هادی آلومینیوم - فولاد	۵
۱۰-۲-۱- جهت لایه	۵
۱۱-۲-۱- نسبت لایه	۵
۱۲-۲-۱- طول لایه	۵
۱۳-۲-۱- اجرام متمرکز	۵
۱۴-۲-۱- آزمونهای نوعی	۵
۱۵-۲-۱- آزمونهای جاری	۶
۳-۱- جنس شینه‌ها	۶
۴-۱- انواع شینه‌ها، ساختمان، خصوصیات و پدیده‌های اثرگذار بر آنها	۸
۱-۴-۱- ساختمان و خصوصیات شینه‌های سخت	۹
۲-۴-۱- ساختمان و خصوصیات شینه‌های نرم	۱۰
۳-۴-۱- پدیده‌های الکتریکی و مکانیکی تاثیرگذار بر شینه‌ها	۱۱
۴-۴-۱- مزایا و معایب شینه‌های سخت و نرم	۱۲
۵-۴-۱- کمیات مؤثر در انتخاب نوع شینه‌ها	۱۳

## فصل دوم: معیارهای طراحی و مهندسی انتخاب شینه

- ۲- مقدمه ..... ۱۷
- ۱-۲- کلیات ..... ۱۷
- ۲-۲- اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی ..... ۱۷
- ۱-۲-۲- جریان نامی شینه‌ها ..... ۱۸
- ۲-۲-۲- سطح اتصال کوتاه پست ..... ۱۸
- ۳-۲-۲- شرایط محیطی و ارتفاع محل پست ..... ۱۸
- ۴-۲-۲- اطلاعات عمومی پست ..... ۱۸
- ۳-۲- عوامل تاثیرگذار در انتخاب شینه ..... ۱۸
- ۱-۳-۲- حداکثر درجه حرارت دائمی مجاز ..... ۱۹
- ۲-۳-۲- جریان مجاز دائمی ..... ۱۹
- ۱-۲-۳-۲- جریان مجاز دائمی شینه‌های سخت ..... ۲۲
- ۲-۲-۳-۲- جریان مجاز دائمی شینه‌های نرم ..... ۲۵
- ۳-۳-۲- کرونا و تداخلات رادیویی ..... ۲۶
- ۴-۳-۲- تشبه‌های حرارتی ناشی از اتصال کوتاه ..... ۳۰
- ۱-۴-۳-۲- کلیات ..... ۳۰
- ۲-۴-۳-۲- محاسبه معادل حرارتی جریان کوتاه مدت ..... ۳۱
- ۵-۳-۲- نیروهای وزنی شینه ..... ۳۵
- ۱-۵-۳-۲- نیروی وزن هادی ..... ۳۵
- ۲-۵-۳-۲- نیروی ناشی از وزن میرا کننده‌ها ..... ۳۵
- ۳-۵-۳-۲- نیروی ناشی از وزن یخ ..... ۳۵
- ۴-۵-۳-۲- نیروی ناشی از وزن اجرام متمرکز ..... ۳۵
- ۶-۳-۲- نیروهای ناشی از باد ..... ۳۶
- ۷-۳-۲- نیروها و تشبه‌های ناشی از جریان اتصال کوتاه در شینه‌های سخت ..... ۳۷
- ۱-۷-۳-۲- نیروهای وارد شده بر هادی‌های سخت ..... ۳۷
- ۲-۷-۳-۲- تشبه‌های وارد شده بر شینه‌های سخت ..... ۳۸
- ۳-۷-۳-۲- نیروهای وارد شده بر نگهدارنده‌های هادی‌های سخت (مقره‌های اتکایی) ..... ۴۰
- ۴-۷-۳-۲- تشبه‌ها و نیروهای وارد شده بر هادی و نگهدارنده‌های شینه‌های سخت بادر نظرگرفتن نوسانات هادی ..... ۴۱
- ۸-۳-۲- نیروها و تشبه‌های ناشی از جریان اتصال کوتاه در شینه‌های نرم ..... ۴۳
- ۱-۸-۳-۲- پارامترهای مشخصه ..... ۴۴
- ۲-۸-۳-۲- نیروی کششی وارد شده بر هادی در حین اتصال کوتاه، (Ft) ..... ۴۶
- ۳-۸-۳-۲- نیروی کششی وارده شده بر هادی پس از رفع اتصال کوتاه، (Ff) ..... ۴۸

- ۴۸-۳-۸-۴-۲- جابجایی افقی هادی، bh، و حداقل فاصله هوایی، amin.....
- ۵۰-۳-۸-۵-۲- نیروی کششی Fpi ناشی از نزدیک شدن هادی‌های باندل.....
- ۵۶-۳-۹-۱-۲- بارگذاری مجاز بر روی نگهدارنده‌های شینه از دیدگاه آثار الکترومکانیکی.....
- ۵۶-۳-۹-۱-۲- بارگذاری مجاز بر روی مقره‌های اتکائی، پایه نگهدارنده و اتصالات.....
- ۵۶-۳-۹-۲-۲- بارگذاری مجاز بر روی زنجیره مقره و اتصالات.....
- ۵۶-۳-۱۰-۱-۲- حداکثر طول اسپن مجاز شینه‌های سخت.....
- ۵۶-۳-۱۰-۱-۱-۲- حداکثر طول اسپن مجاز از دیدگاه حداکثر انحراف عمودی مجاز.....
- ۵۷-۳-۱۰-۲-۲- حداکثر طول اسپن مجاز از دیدگاه حداکثر تنش مجاز هادی.....
- ۵۸-۳-۱۱-۱-۲- سیم میرا کننده.....
- ۵۹-۲-۴-۱-۲- روش گام به گام طراحی شینه.....
- ۵۹-۲-۴-۱-۲- طراحی شینه‌های سخت:.....
- ۶۰-۲-۴-۲- طراحی شینه‌های نرم.....
- ۶۴-۲-۵-۱-۲- مثالهایی از طراحی شینه‌های نرم و سخت پستهای فشار قوی.....
- ۶۴-۲-۵-۱-۱-۲- مثال اول.....
- ۶۴-۲-۵-۱-۱-۲- اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی.....
- ۶۴-۲-۵-۱-۲- انتخاب مقطع هادی بر اساس جریان مجاز دائم، تحت شرایط طراحی.....
- ۶۵-۲-۵-۱-۳- بررسی سطح مقطع انتخاب شده از دیدگاه تنش‌های حرارتی ناشی از اتصال کوتاه.....
- ۶۵-۲-۵-۱-۴- بررسی سطح مقطع انتخاب شده از دیدگاه تنش‌های مکانیکی حاصل از اتصال کوتاه.....
- ۶۸-۲-۵-۱-۵-۲- بررسی شینه از دیدگاه حداکثر طول اسپن مجاز.....
- ۶۹-۲-۵-۱-۲-۲- مثال دوم.....
- ۶۹-۲-۵-۱-۲-۲- اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی.....
- ۷۱-۲-۵-۲-۲- انتخاب مقطع هادی براساس جریان مجاز دائم، تحت شرایط طراحی.....
- ۷۲-۲-۵-۳-۲- بررسی سطح مقطع انتخابی از دیدگاه پدیده کرونا.....
- ۷۳-۲-۵-۴-۲- بررسی سطح مقطع انتخاب شده از دیدگاه تنش‌های حرارتی ناشی از اتصال کوتاه.....
- ۷۳-۲-۵-۵-۲- بررسی سطح مقطع انتخاب شده از دیدگاه تنش‌های مکانیکی حاصل از اتصال کوتاه.....
- ۸۱-۲-۵-۶-۲- بررسی فواصل مجاز الکتریکی بین هادی‌ها در هنگام نوسانات الکتروپویامیکی ناشی از اتصال کوتاه.....

## فصل سوم: نیازمندیها و آزمونها

۳- مقدمه	۹۱
۱-۳- آزمونهای هادیهای رشتهای	۹۱
۱-۱-۳- آزمونهای نوعی	۹۲
۱-۱-۱-۳- آزمون اتصالات در رشتههای آلومینیومی و فولادی	۹۲
۱-۱-۲-۳- آزمون منحنیهای تنش - کرنش بر روی رشتهها و هادیها	۹۳
۱-۱-۳-۳- آزمون نیروی گسیختگی هادی	۱۰۰
۱-۲-۳- آزمونهای نمونه‌ای	۱۰۰
۱-۲-۱-۳- آزمون کشش بر روی مفتولهای آلومینیومی و فولادی	۱۰۰
۲-۲-۱-۳- آزمون پیچش مفتولهای آلومینیومی	۱۰۰
۳-۲-۱-۳- آزمون مقاومت الکتریکی مفتولهای آلومینیومی	۱۰۱
۴-۲-۱-۳- آزمون تنش در یک درصد افزایش طول روی مفتولهای فولادی	۱۰۴
۵-۲-۱-۳- آزمون خاصیت لوله شدن روی مفتولهای فولادی	۱۰۴
۶-۲-۱-۳- آزمون پوشش روی در مفتولهای فولادی	۱۰۸
۷-۲-۱-۳- اندازه‌گیری سطح مقطع هادی	۱۱۲
۸-۲-۱-۳- اندازه‌گیری قطر نهایی هادی	۱۱۲
۹-۲-۱-۳- اندازه‌گیری جرم گریس و جرم واحد طول هادی (چگالی خطی)	۱۱۳
۱۰-۲-۱-۳- آزمون گسیختگی رشتههای آلومینیومی و فولادی پس از تاییده شدن	۱۱۵
۱۱-۲-۱-۳- آزمون وضعیت سطح هادی	۱۱۵
۱۲-۲-۱-۳- آزمون نسبت لایه و جهت لایه هادی:	۱۱۵
۲-۳- آزمونهای هادیهای لوله‌ای مورد استفاده در شینه‌های سخت	۱۱۵
۱-۲-۳- آزمون خواص کششی	۱۱۶
۱-۱-۲-۳- تجهیزات آزمون	۱۱۷
۲-۱-۲-۳- نمونه‌های آزمون	۱۱۷
۳-۱-۲-۳- تعداد نمونه‌های مورد نیاز	۱۱۹
۴-۱-۲-۳- روش انجام آزمون	۱۱۹
۵-۱-۲-۳- موارد جایگزینی نمونه	۱۲۵
۶-۱-۲-۳- آزمونهای مجدد	۱۲۵
۷-۱-۲-۳- شرایط پذیرش نمونه	۱۲۵
۲-۲-۳- آزمون مقاومت الکتریکی	۱۲۶
۳-۲-۳- آزمونهای ابعادی	۱۲۷
فهرست منابع و مراجع	۱۲۸



\_\_\_\_\_





## ۱- مقدمه

شینه‌ها در شرایط بهره‌برداری عادی و اضطراری پست نقش عمده‌ای را در برقراری جریان و ارتباط خطوط به یکدیگر ایفا می‌نمایند. شینه‌ها طول قابل ملاحظه‌ای را در پست به خود اختصاص می‌دهند، لذا انتخاب نوع مناسب شینه‌ها در قابلیت اطمینان پست، ابعاد و اندازه آن و هزینه تجهیزات و یراق‌آلات مورد استفاده دارای اهمیت فراوان می‌باشد. در این فصل انواع شینه‌ها و خصوصیات آنها مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

## ۱-۱- کلیات

در پست‌های فشارقوی، اتصال الکتریکی کلیه خطوط ورودی و خروجی به یکدیگر توسط شینه‌های فشار قوی امکان‌پذیر می‌گردد و تمامی فیدرها از طریق شینه سراسری به یکدیگر متصل می‌شوند. به همین علت در حالت کلی لازم است شینه‌ها از ظرفیت کافی جهت دریافت تمامی انرژی و توزیع آن برخوردار باشند. با بروز عیب در هر یک از فیدرها و تجهیزات آنها، جریان اتصالی از طریق تمامی فیدرها به سمت نقطه عیب برگشته و در شینه‌ها با یکدیگر جمع شده، جریان اصلی را تشکیل می‌دهند. در نتیجه ضروری است، شینه‌ها و یراق‌آلات مربوطه از استقامت حرارتی، الکتریکی و مکانیکی کافی در قبال برقراری جریان عیب برخوردار باشند. براین اساس طراحی و انتخاب نوع مناسب شینه‌ها، نوع مقره‌های انتخاب شده، روش اتصال خروجی‌ها و خطوط به شینه‌ها حائز اهمیت بوده و لازم است با دقت کافی صورت گیرد. بطور کلی انتخاب شینه شامل سه مرحله انتخاب جنس هادی، نوع هادی و سطح مقطع آن می‌باشد. جنس شینه‌ها عموماً از مس و آلومینیوم بوده که هر کدام مزایا و معایب مربوط به خود را دارند. در پست‌های فشار قوی فضای باز عمدتاً از هادی‌های آلومینیومی و یا آلیاژهای آن استفاده می‌گردد. شینه‌ها به دو نوع نرم یا قابل انعطاف و سخت یا صلب تقسیم‌بندی می‌گردند. بسته به طرح استقرار فیزیکی تجهیزات یکی از این نوع شینه‌ها و یا ترکیبی از آنها به عنوان شینه پست انتخاب می‌گردد.

استقرار شینه‌های نرم با استفاده از مقره‌های زنجیره‌ای و گنتری صورت می‌گیرد، درحالی‌که شینه‌های سخت با استفاده از مقره‌های اتکایی نصب می‌گردند.

سطح مقطع شینه مهمترین پارامتر در انتخاب این تجهیز است که با توجه به معیارهایی مانند جریان مجاز دائمی، تحمل جریان اتصال کوتاه از نظر حرارتی، استقامت مکانیکی، کرونا و غیره توسط طراح انتخاب می‌شود.

جریان نامی و حداکثر درجه حرارت محیط مهمترین عامل برای انتخاب سطح مقطع شینه می‌باشد. همچنین مقدار جریان اتصال کوتاه نیز در انتخاب نوع هادی شینه نقش داشته و بطور کلی در اثر عبور جریان اتصال کوتاه از هادی، درجه حرارت آن نباید از حد معینی فراتر رود. یکی دیگر از پارامترهایی که در انتخاب هادی نقش دارد کرونا می‌باشد. هنگامیکه میدان الکتریکی اطراف هادی از تحمل عایقی هوا تجاوز نماید، کرونا در سطح خارجی هادی ظاهر شده و باعث بوجود آمدن تلفات در سیستم قدرت می‌شود. جهت جلوگیری از ایجاد کرونا باید هادی با سطح مقطع بیشتر و یا هادی‌های باندل را که متشکل از دو یا سه و یا تعداد بیشتری هادی بصورت موازی با یکدیگر می‌باشد را مورد استفاده قرارداد. این مسئله در مورد هادی‌های لوله‌ای چندان مطرح نمی‌باشد.

از نظر تحمل نیروهای مکانیکی، بایستی نیروهای حاصله از اتصال کوتاه در طراحی شینه‌ها و مقره‌های نگهدارنده آنها در نظر گرفته شود.

## ۲-۱- تعاریف

### ۱-۲-۱- استراکچر شینه<sup>۱</sup>

یک ترکیب کامل از هادیهای شینه همراه با اتصالات مربوطه و مقره‌های نگهدارنده را استراکچر شینه گویند.

### ۲-۲-۱- استراکچر نگهدارنده<sup>۲</sup>

استراکچری که جهت نگهداری مقره‌های اتکایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ۳-۲-۱- گنتری<sup>۳</sup>

استراکچری که جهت نگهداری مقره‌های کششی یا آویزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ۴-۲-۱- استراکچر شینه سخت<sup>۴</sup>

استراکچر شینه‌ای که متشکل از هادی‌های سخت و مقره‌های اتکایی است.

### ۵-۲-۱- استراکچر شینه نرم<sup>۵</sup>

استراکچر شینه‌ای که متشکل از هادی‌های نرم و زنجیره مقره‌های کششی است.

### ۶-۲-۱- اسپن<sup>۶</sup>

فاصله بین دو پایه نگهدارنده مجاورهم در استراکچر شینه را اسپن می‌نامند.

### ۷-۲-۱- رشته<sup>۷</sup>

یک هادی تک مفتولی با مقطع دایره را رشته می‌نامند.

### ۸-۲-۱- هادی رشته‌ای<sup>۸</sup>

هادی متشکل از چند رشته که در لایه‌های مختلف به دور یکدیگر پیچیده شده‌اند را هادی رشته‌ای گویند (از این پس جهت اختصار با لفظ هادی بیان می‌گردد).

- 
1. Bus structure
  2. Mounting structure
  3. Gantry
  4. Rigid – bus structure
  5. Strain – bus structure
  6. Span
  7. Wire
  8. Conductor

### ۱-۲-۹- هادی آلومینیوم - فولاد

هادی رشته‌ای که مغزی آن رشته یا رشته‌های فولادی بوده و رشته‌های قرار گرفته بر روی آن از جنس آلومینیوم است، هادی آلومینیوم - فولاد نامیده می‌شود.

#### ۱-۲-۱۰- جهت لایه<sup>۱</sup>

جهت پیچش لایه‌ها روی یکدیگر را جهت لایه گویند و به دو حالت راستگرد و چپگرد تقسیم بندی می‌شود. در صورتی که هادی به صورت عمودی نگاه داشته شود، در حالت راستگرد، جهت چرخش رشته‌ها در جهت عقربه‌های ساعت و در حالت چپگرد در خلاف جهت عقربه‌های ساعت خواهد بود.

#### ۱-۲-۱۱- نسبت لایه<sup>۲</sup>

نسبت طول محوری یک دور کامل مارپیچی که توسط یک رشته مشخص ایجاد می‌شود، به قطر خارجی مارپیچ مذکور را نسبت لایه گویند. کوچک بودن نسبت لایه نشانگر قابلیت خمش بیشتر هادی است.

#### ۱-۲-۱۲- طول لایه<sup>۳</sup>

به طول محوری یک مفتول که توسط یک دور مارپیچی کامل ایجاد می‌گردد، طول لایه گویند.

#### ۱-۲-۱۳- اجرام متمرکز<sup>۴</sup>

اجرامی همچون جداکننده‌ها<sup>۵</sup>، انشعابها و اتصالات صورت گرفته بر روی شینه را اجرام متمرکز گویند. نیروهای وزنی ناشی از این اجرام در هنگام محاسبه نیروهای وزنی وارد شده بر مقره‌ها و استراکچرهای نگهدارنده می‌بایستی به صورت نیروهای متمرکز در نظر گرفته شود.

#### ۱-۲-۱۴- آزمونهای نوعی<sup>۶</sup>

آزمونهای نوعی جهت تعیین مشخصات اصلی هادی که مستقیماً به طراحی ساخت هادی بستگی دارد، انجام می‌پذیرند. این آزمونها برای هر طراحی جدید یا تغییر فرآیند ساخت هادی می‌بایستی انجام گیرند و نتایج بدست آمده می‌بایستی در محدوده مجاز استاندارد قرار گیرند.

- 
1. Direction of lay
  2. Lay ratio
  3. Lay length
  4. Concentrated mass
  5. Spacers
  6. Type test

### ۱-۲-۱۵- آزمونهای جاری<sup>۱</sup>

آزمونهای جاری جهت تضمین کیفیت هادیهای تولیدی و برآورده شدن نیازمندیهای مطرح شده در استاندارد انجام گرفته و در طول فرآیند تولید و یا در زمان تحویل سفارشها اجرا می‌گردد.

### ۱-۳- جنس شینه‌ها

مس و آلومینیوم ماده اولیه اصلی شینه‌ها را تشکیل می‌دهند. از نظر جنس، شینه مس بهتر از آلومینیوم می‌باشد، مگر در بعضی مواقع که شرایط آب و هوایی اثر معکوسی بر مس بگذارد. مس نسبت به آلومینیوم دارای ضریب هدایت بیشتری بوده، به راحتی نصب شده و اتصالات پیچی بر روی آن به راحتی انجام می‌گیرد. همچنین نقطه ذوب آلومینیوم پایین‌تر از مس است و به همین دلیل در هنگام خطا و ایجاد جرقه خسارت بیشتری به آلومینیوم وارد می‌گردد.

از طرف دیگر آلومینیوم نسبت به مس دارای هدایت الکتریکی کمتری در حدود ۶۰٪ بوده ولی وزن مخصوص آن در حدود یک سوم مس می‌باشد. بنابراین بطور کلی برای هدایت مقدار جریان معینی از یک هادی، از نظر وزنی آلومینیوم نسبت به مس ارجحیت دارد. ضمناً آلومینیوم می‌تواند درجه حرارت‌های بالاتری را نسبت به مس تحمل نماید. ویژگی مهم دیگر، قیمت مس می‌باشد که در مقابل آلومینیوم بسیار گرانتر است. علاوه بر این مس در محیط‌های که آلودگی صنعتی (نظیر بخار گوگرد) وجود دارد، در مقابل خوردگی مقاومت کمتری را دارا بوده، اما در محیط‌های معمولی استقامت آن در برابر خوردگی بالا می‌باشد.

یکی از مهمترین مزایای آلومینیوم نسبت به مس این است که قوسهای ایجاد شده بر اثر اتصال کوتاه در شینه‌ها، اکسیدی از آلومینیوم که دارای هدایت پایین و به صورت پودر می‌باشد از خود برجای می‌گذارد که رسوب آنها بر روی تجهیزات همجوار در داخل پست اثرات نامطلوب کمتری نسبت به مس ایجاد می‌کند. بنابراین پستیایی که در آنها از شینه‌های آلومینیومی استفاده می‌گردد، بعد از برطرف شدن اتصال کوتاه سریعتر راه اندازی می‌گردند.

ازدیاد درجه حرارت به جهت افزایش شدت جریان عبوری از هادی و یا جریان اتصال کوتاه در آلومینیوم کمتر است زیرا تشعشعات حرارتی و تبادل حرارتی آن در یک جریاندهی یکسان با سطح مقطع مختلف، بسیار بهتر از مس است. آلومینیوم گرچه در مقابل اسیدکلریدریک و اسیدسولفوریک و آمونیاک باثبات است ولی بعلاوه ناپایدار بودن در مقابل بخار کلر و جیوه و بسیاری از مواد شیمیایی دیگر باید در موقع بکار بردن شینه‌های آلومینیومی در چنین محیط‌هایی دقت کافی انجام گیرد. علاوه بر این آلومینیوم دارای معایب دیگر همچون اکسیداسیون سطحی، فرو رفتن در اثر فشار و اثر الکترولیتی شدید می‌باشد. با توجه به مطالب فوق معمولاً هادیهای آلومینیومی یا آلیاژهای آن در پستهای فشارقوی فضای باز استفاده می‌گردد.

در جدول (۱-۱) مشخصات الکتریکی و مکانیکی مس و آلومینیوم با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در جدول (۲-۱) خواص هادی‌هایی که در پستهای فشار قوی استفاده می‌شوند آورده شده است. همچنین در جدول (۳-۱) مشخصات مهم هادیها با جنسهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفته‌اند [۶].

جدول ۱-۱: مقایسه مشخصات الکتریکی و مکانیکی مس و آلومینیوم

مس	آلومینیوم	مشخصات
۵۶	۲۵	هدایت الکتریکی $[m/\Omega \cdot mm^2]$
۸/۹	۲/۷	وزن مخصوص $[gr/cm^3]$
$(۳۸۴-۴۳۰) \times ۱۰^{-۶}$	$(۸۰-۲۳۴) \times ۱۰^{-۶}$	قدرت کششی $[N/m^2]$
۲۷/۰۷۷	۸/۱۴۴	وزن یک کیلو متر هادی با سطح مقطع $1mm^2$ $[gr]$
۱	۰/۶	نسبت هدایت الکتریکی با سطح مقطع مساوی
۱	۱/۶۶	نسبت سطح مقطعها برای هدایت مساوی
۱	۱/۲۹	نسبت قطرها برای مقاومت یکسان

جدول ۲-۱: مقادیر نوعی برای مشخصات هادی‌های مورد استفاده در پستهای فشار قوی

هدایت الکتریکی در ۲۰ درجه سانتیگراد $(m/\Omega mm^2)$	میزان سختی برینل $(N/mm^2)$	استقامت تسلیم <sup>۱</sup> در ۰/۲ درصد افزایش طول $(N/mm^2)$		مدول یانگ $(N/mm^2)$	استقامت کششی $(N/mm^2)$	نوع هادی
		حداقل $R_{p0.2}$	حداکثر $R_{p0.2}$			
۵۷	۴۵۰ - ۷۰۰	۱۲۰	—	$۱۱ \times ۱۰^۴$	۲۰۰	E-CU F20
۵۶	۷۰۰ - ۹۵۰	۲۹۰	۲۰۰	$۱۱ \times ۱۰^۴$	۲۵۰	E-CU F25
۵۶	۸۰۰ - ۱۰۵۰	۳۶۰	۲۵۰	$۱۱ \times ۱۰^۴$	۳۰۰	E-CU F30
۵۵	۹۵۰ - ۱۱۵۰	۴۰۰	۳۳۰	$۱۱ \times ۱۰^۴$	۳۷۰	E-CU F37
۳۵/۴	۲۰۰ - ۳۰۰	۸۰	۲۵	$۶/۵ \times ۱۰^۴$	۶۵/۷۰	E-AL F6.5/7
۳۵/۲	۲۲۰ - ۳۲۰	۱۰۰	۵۰	$۶/۵ \times ۱۰^۴$	۸۰	E-AL F8
۳۴/۸	۲۸۰ - ۳۸۰	۱۲۰	۷۰	$۶/۵ \times ۱۰^۴$	۱۰۰	E-AL F10
۳۴/۵	۳۲۰ - ۴۲۰	۱۶۰	۹۰	$۶/۵ \times ۱۰^۴$	۱۳۰	E-AL F13
۳۴	۲۸۰ - ۳۰۰	—	۷۰	$\approx ۶/۵ \times ۱۰^۴$	۱۰۰	AL F10
۳۲	۴۵۰ - ۶۵۰	۱۸۰	۱۲۰	$۷ \times ۱۰^۴$	۱۷۰	آلیاژهای آلومینیوم: E-AL Mg Si 0.5 F17
۳۰	۶۵۰ - ۹۰۰	۲۴۰	۱۶۰	$۷ \times ۱۰^۴$	۲۲۰	E-AL Mg Si 0.5 F22
۴۲/۳	—	۱۳۰	۱۰۰	$۸ \times ۱۰^۴$	۱۳۰	آلومینیوم با روکش مس با میزان مس ۱۵ درصد

## توضیحات جدول:

- علامت اختصاری E-AL Mg Si 0.5 F17 نشان دهنده هادی آلومینیومی با ۰/۵ درصد آلیاژ سیلیکون می‌باشد که استقامت کششی آن  $۱۷ \times ۱۰ = ۱۷۰$  نیوتن بر میلی‌متر مربع می‌باشد.
- علامت اختصاری E-CU F30 نشان دهنده هادی مسی با استقامت کششی  $۳۰ \times ۱۰ = ۳۰۰$  نیوتن بر میلی‌متر مربع است.
- علامت اختصاری E-AL F13 نشان دهنده هادی آلومینیومی با استقامت کششی  $۱۳ \times ۱۰ = ۱۳۰$  نیوتن بر میلی‌متر مربع می‌باشد.

جدول ۱-۳: مقایسه مهمترین مشخصات الکتریکی و مکانیکی انواع هادی‌های متداول

خواص	واحد	مس (E-CU)	آلومینیوم خالص (E-AL)	پنتال (E-AL Mg Si 0.5)	براس (Ms 58)	فولاد گالوانیزه
چگالی	$\text{Kg/dm}^3$	۸/۹	۲/۷	۲/۷	۸/۵	۷/۸۵
هدایت الکتریکی در ۲۰ درجه سانتیگراد	$\text{m}/\Omega.\text{mm}^2$	۵۶	۳۵	۳۰	≈۱۸	≈۷
هدایت الکتریکی در ۶۰ درجه سانتیگراد	$\text{m}/\Omega.\text{mm}^2$	۴۸	۳۰	۲۶	≈۱۶	≈۶
چگالی هدایتی	---	۶/۳	۱۳	۱۱	≈۲	≈۱
ضریب حرارتی مقاومت الکتریکی مابین ۱ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد	$\text{K}^{-1}$	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۵
نقطه ذوب	$^{\circ}\text{C}$	۱۰۸۳	۶۵۸	۶۳۰	≈۹۱۲	۱۴۰۰
گرمای گداختگی	$\text{Ws/g}$ $\text{Ws/cm}^3$	۱۸۱/۲۸ ۱۶۱۲	۳۸۶/۸۶ ۱۰۴۷	۳۷۶/۸۱ ۱۰۱۷	۱۶۷/۴۷ ۱۴۴۴	۲۹۳/۰۷ ۲۳۰۲
متوسط گرمای ویژه مابین ۱ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد	$\text{Ws/g.k}$ $\text{Ws/cm}^3.\text{k}$	۰/۳۹۳ ۳/۴۷۵	۰/۹۲ ۲/۳۸۶	۰/۹۲ ۲/۳۸۶	۰/۳۹۷ ۳/۳۹۱	۰/۴۸۵ ۳/۵۵۸
هدایت حرارتی مابین ۱ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد	$\text{Ws/cm.s.k}$	۳/۸۵	۲/۲	۱/۹	۱/۱	۰/۴۶
متوسط ضریب انبساط حرارتی مابین ۱ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد	$\text{mm/m.k}$	۰/۰۱۷	۰/۰۲۴	۰/۰۲۳	۰/۰۱۸	۰/۰۱۲
مدول یانگ	$\text{N/mm}^2$	۱۱۰۰۰۰	۶۵۰۰۰	۷۰۰۰۰	≈۹۰۰۰۰	۲۱۰۰۰۰
چگالی جریان حد حرارتی <sup>۱</sup>	$\text{A/mm}^2$	۱۵۴	۱۰۲	۸۹	۹۱	---
چگالی جریان ذوب کننده <sup>۲</sup>	$\text{A/mm}^2$	۳۰۶۰	۱۹۱۰	۱۶۹۰	۱۹۰۰	---

**توضیحات جدول:**

- ۱- چگالی جریان حد حرارتی براساس نظریه مولر هیلبرند، میزان چگالی جریانی است که در صورت عبور آن از هادی، میزان درجه حرارت هادی در مدت زمان یک ثانیه از ۳۵ به ۲۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. در این حالت از انتقال هدایتی حرارت صرف‌نظر شده است.
- ۲- چگالی جریان ذوب کننده براساس نظریه مولر هیلبرند، میزان چگالی جریانی است که در صورت عبور آن از هادی، میزان افزایش دمایی هادی تا دمایی ذوب در مدت زمان ۰/۰۱ ثانیه بوقوع می‌پیوندد.

**۱-۴- انواع شینه‌ها، ساختمان، خصوصیات و پدیده‌های اثرگذار بر آنها**

در پست‌های فشارقوی شینه‌ها به دو نوع کلی زیر ساخته و نصب می‌گردند:

- شینه‌های سخت یا صلب<sup>۱</sup>
- شینه‌های نرم یا قابل انعطاف<sup>۲</sup>

نوع شینه‌ها در قابلیت اطمینان پست و سطح زیربنای آن موثر است. در زیر خصوصیات و ساختمان دو نوع شینه سخت و نرم را

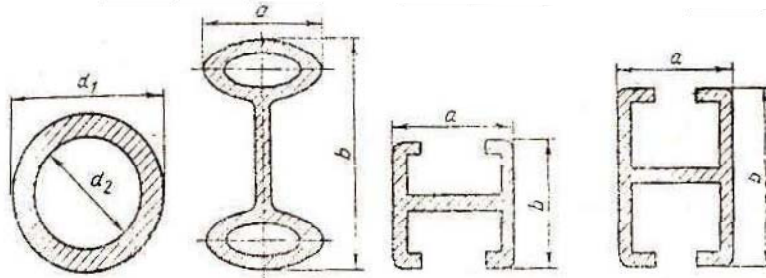
مورد بررسی قرار می‌دهیم.

1. Rigid busbar

2. Strain busbar – flexible busbar

### ۱-۴-۱- ساختمان و خصوصیات شیشه‌های سخت

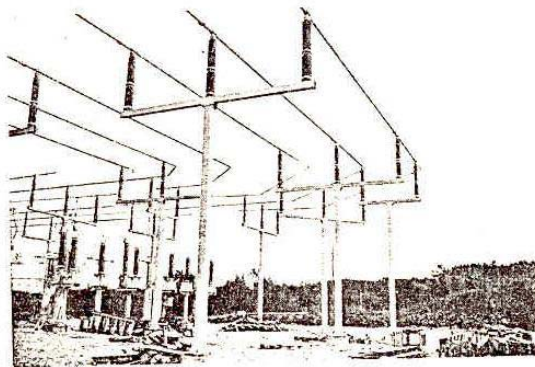
شیشه‌های سخت، شیشه‌های غیرقابل انعطافی هستند، به همین علت به شکل نبشی، ناودانی، لوله و غیره ساخته می‌شوند. شکل (۱-۱) انواع متداول سطح مقطع این شیشه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: انواع متداول سطح مقطع شیشه‌های سخت

نصب این شیشه‌ها بر روی پایه‌ها و مقره‌های قائم بصورت مایل و یا عمودی صورت می‌پذیرد. معمول‌ترین شکل این شیشه‌ها، از جنس آلیاژ آلومینیوم- منگنز با مقطع دایره و بصورت استوانه توخالی می‌باشد. به همین علت به این نوع هادی‌ها شیشه‌های لوله‌ای<sup>۱</sup> نیز گفته می‌شود. وجود منگنز در این هادی‌ها به منظور تامین استحکام مکانیکی آلیاژ است.

در سطوح ولتاژی زیر ۱۳۲ کیلوولت شیشه‌های سه فاز از نوع سخت با توجه به محدود بودن فاصله فاز-فاز، بر روی پایه مشترک (شکل ۱-۲) نصب می‌گردند اما با افزایش ولتاژ و ضرورت تامین فاصله کافی عایقی فاز- فاز، امکان نصب شیشه‌ها بر روی پایه مشترک میسر نبوده و باید از پایه‌های جداگانه‌ای برای هر شیشه استفاده نمود. این پایه‌ها به شکل اسکلت فلزی پیش‌بینی شده، ستون‌های مقره با ارتفاع ایزولاسیون مناسب را بر روی خود جای می‌دهند و هادی‌ها نیز بر روی این مقره‌ها قرار می‌گیرند. این مقره‌ها به مقره‌های اتکایی<sup>۲</sup> موس

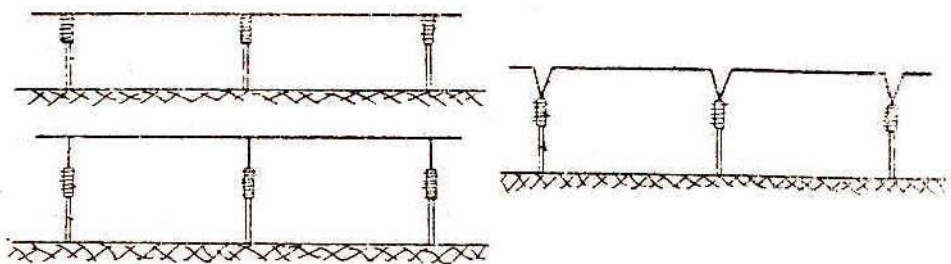


شکل ۱-۲: نحوه نصب شیشه‌های سه فاز بر روی یک پایه مشترک در سطوح ولتاژ پائین

هنگام نصب شیشه‌های سخت، ارتفاع مناسب آنها از طریق ارتفاع پایه‌های مقره‌های اتکایی و یا افزودن شیشه‌ها در امتداد قائم و یا استفاده از آنها به فرم شکل V امکان‌پذیر می‌گردد. این وضعیتها در شکل (۱-۳) نشان داده شده‌اند.

1. Tubular busbar  
2. Post insulator





شکل ۱-۳: روشهای مختلف مهیا نمودن ارتفاع نصب مناسب جهت شینه‌های سخت

در طراحی شینه‌های سخت و انتخاب نوع مقره‌های مناسب برای نگهداری آنها لازم است کلیه پدیده‌های مکانیکی و الکتریکی ظاهر شده در طی بهره‌برداری موردنظر قرار گیرد. به همین علت محاسبات دقیقی به منظور برآورد نیروها و وزن شینه‌ها و انتخاب مقره‌ها با استحکام کافی انجام می‌گیرند.

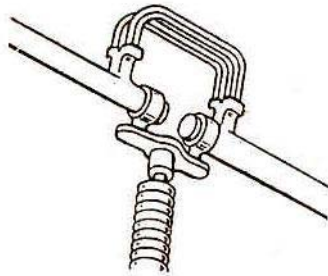
### ۱-۴-۲- ساختمان و خصوصیات شینه‌های نرم

شینه‌های نرم از هادیهای آلومینیوم و یا آلیاژ آلومینیوم مشابه هادیهای معمول در خطوط هوایی تشکیل شده‌اند. این هادیها از رشته‌های آلومینیومی تابیده شده با هسته فولاد یا آلومینیوم جهت تامین مقاومت مکانیکی لازم ساخته می‌شوند، به همین علت آنها را هادیهای رشته‌ای<sup>۱</sup> نیز می‌نامند. این شینه‌ها از طریق زنجیره مقره‌های کششی بین گنتری‌ها و اسکلت‌های فلزی قرار می‌گیرند، بدین لحاظ نصب شینه‌ها مستلزم پیش‌بینی دو گنتری بصورت اسکلت فلزی یا ستون فلزی در دو انتهای آنها می‌باشد. ارتفاع گنتری‌ها و ارتفاع نصب شینه‌ها باتوجه به فاصله عایقی مورد نظر شینه‌ها از زمین، ارتفاع ایمنی لازم، جابجایی احتمالی شینه‌ها تحت تاثیر نیروی باد، تغییرات افتادگی شینه‌ها برحسب درجه حرارت و غیره انتخاب می‌گردد، به همین علت ارتفاع نصب آنها در حدود  $1/7-2$  برابر ارتفاع نصب شینه‌های سخت خواهد بود. همچنین فاصله فاز \_ فاز در این شینه‌ها در حدود  $1/5-1/6$  برابر فاصله فاز \_ فاز در شینه‌های نوع سخت می‌باشد. به همین علت سطح مورد نیاز پست در هنگام استفاده از شینه‌های نوع سخت به مراتب کمتر از سطح مورد نیاز در هنگام استفاده از شینه‌های نوع نرم خواهد بود. بنابراین در مواردی که کاهش سطح مورد نیاز پست مدنظر باشد، استفاده از شینه‌های سخت پیشنهاد می‌گردد. ایزولاسیون بین شینه‌ها و گنتری‌ها توسط زنجیره مقره کششی بین هادیها و گنتری تامین می‌گردد، به همین علت نحوه نصب مقره‌ها و تامین فاصله عایقی فاز - زمین نیز در شینه‌های نرم کاملاً متفاوت از شینه‌های سخت است. در شینه‌های نرم مقره‌ها در امتداد افقی و در شینه‌های سخت در امتداد قائم قرار می‌گیرند، لذا نوع نیروهای وارد بر مقره‌ها نیز متفاوت از هم بوده (کششی یا اتکایی) و محاسبات استقامت مکانیکی آنها نیز متفاوت می‌باشد.

1. Stranded conductor

### ۱-۴-۳- پدیده‌های الکتریکی و مکانیکی تاثیرگذار بر شینه‌ها

- همچنان که اشاره گردید، شینه‌ها در طی بهره‌برداری و برقراری جریانهای بار و جریانهای اتصال کوتاه تحت تاثیر پدیده‌های متعدد الکتریکی و مکانیکی قرار می‌گیرند. پدیده‌های الکتریکی ظاهر شده در شینه‌ها عبارتند از:
- انرژی حرارتی حاصل از برقراری جریان مداوم بار یا جریان کوتاه مدت اتصال کوتاه در شینه‌ها موجب بالا رفتن دمای آنها می‌شود. درجه حرارت شینه‌ها با توجه به انرژی حرارتی حاصل از جریانها فوق نمی‌بایستی از مقدار مجاز تجاوز نماید.
  - شدت میدان الکتریکی و پدیده کرونا حاصل از آن در سطح شینه‌ها. تلفات ناشی از پدیده کرونا در شینه‌ها محدود بوده و قابل ملاحظه نمی‌باشد ولی عوارض ناشی از بروز کرونا شامل تداخلات رادیویی، تلویزیونی، تلفنی، صدای پدیده در محیط پیرامون پست حائز اهمیت بوده و لازم است در پستهای فشار قوی مورد توجه قرار گیرد.
  - احتمال بروز قوس تحت تاثیر اضافه ولتاژهای موجی کلیدزنی و صاعقه ظاهر شده در شینه‌ها. برای جلوگیری از بروز اینگونه پدیده‌ها ضروری است فاصله عایقی شینه‌ها به طور مناسب انتخاب گردد، به نحوی که احتمال بروز قوس الکتریکی از حد مشخصی تجاوز ننماید.
- پدیده‌های مکانیکی ظاهر شده در شینه‌ها عبارتند از:
- نیروی ناشی از وزن شینه‌ها و وزن یخ و برف حاصل در سطح آنها. تحت تاثیر این نیروها، افتادگی یا انحراف عمودی شینه‌ها واقع بین مقره‌های اتکایی نمی‌بایستی از مقدار مجاز تجاوز نماید.
  - نیروی حاصل از باد بر شینه‌ها و مقره‌های نگاهدارنده.
  - نیروهای الکترومکانیکی ناشی از برقراری جریان اتصال کوتاه در شینه‌ها. تحت تاثیر این نیرو مقاومت مکانیکی مقره‌های اتکایی در شینه‌های نوع سخت و فاصله فاز - فاز در شینه‌های نوع نرم باید افزایش یابد.
  - لرزش شینه‌ها ناشی از نیروی الکترومغناطیسی حاصل از جریان فرکانس شبکه که در حین بهره‌برداری بر شینه‌ها وارد می‌گردد.
  - انبساط و انقباض شینه‌ها تحت تاثیر تغییرات درجه حرارت.
  - نیروهای ناشی از زلزله به شینه‌ها و مقره‌های نگاهدارنده.
- تاثیر پدیده‌های فوق و انجام پیش بینی‌های لازم در قبال آنها در انواع مختلف شینه‌ها شامل شینه‌های نرم و سخت متفاوت از یکدیگر است. بعنوان مثال انقباض و انبساط شینه‌ها تحت تاثیر درجه حرارت در شینه‌های نوع سخت انجام پیش‌بینی‌های خاصی را ضروری می‌سازد. عدم انجام این پیش‌بینی‌ها با توجه به محکم بودن کامل شینه‌ها در مقره‌های اتکایی، موجبات شکستگی در مقره‌ها و پایه‌ها را در پی انبساط و انقباض شینه‌ها فراهم می‌سازد. به منظور امکان جابجائی، انبساط و انقباض، شینه‌ها به فواصل معینی بریده می‌شوند و در فواصل طولی مشخصی از یکدیگر نصب می‌شوند. در این نقاط شینه‌ها توسط اتصالات قابل انعطاف متشکل از ورقه‌ها و نوارهای آلومینیوم و یا لوله‌های نرم به یکدیگر متصل می‌گردند که اصطلاحاً به اتصالات قابل انعطاف یا قابل انبساط<sup>۱</sup> موسوم می‌باشند. شکل (۱-۴) یک نمونه از این اتصالات را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴: یک نمونه از اتصالات قابل انبساط جهت استفاده در شینه‌های سخت

### ۱-۴-۱- مزایا و معایب شینه‌های سخت و نرم

#### • مزایای شینه‌های سخت

- در پست‌هایی که از شینه‌های سخت استفاده می‌کنند، اسکلت‌های فلزی مورد نیاز کم ارتفاع، ساده و با حداقل مصالح ساخته می‌شوند.
- هادیها تحت کشش نمی‌باشد.
- تمیز کردن مقره‌های اتکائی به لحاظ در دسترس بودن آنها ساده است. این موضوع در مناطقی که دارای سطح آلودگی بالا می‌باشند حائز اهمیت است.
- اسکلت‌های فلزی بلندی که در شینه‌های نرم مورد استفاده قرار می‌گیرند، از نظر کارکردن روی آنها برای پرسنل خطرناک می‌باشد و فاصله بین شینه‌ها و فازها کاملاً از نظر دید جدا از هم و مشخص نمی‌باشد. بنابراین از نظر ایمنی شینه‌های سخت بهتر می‌باشند.
- استفاده از شینه‌های سخت به لحاظ استفاده از حداقل فولاد و پایه ریزی از نظر زیبایی و شکل ظاهری پست مناسب می‌باشد، علاوه بر اینکه یک نمای روشن و بدون مانعی از کلیه وسایل موجود در پست را باعث می‌شود.

#### • معایب شینه‌های سخت

- پست‌هایی که از شینه‌های سخت استفاده می‌کنند کمی پر هزینه‌تر از پست‌هایی هستند که از شینه‌های نرم استفاده می‌کنند و محدودیت در مورد طول اسپن (فاصله پایه‌ها) با توجه به نیروهای مکانیکی وارد بر شینه (اتصال کوتاه، باد، برف، یخ، زلزله و وزن هادی) باعث افزایش تعداد پایه‌های اتکایی برای نصب این قبیل شینه‌ها می‌گردد.
- افزایش تعداد مقره‌های اتکائی باعث افزایش تعداد مقره‌های قابل شستشو می‌شود.
- در مورد طرح توسعه پستها معمولاً باید احتمال گسترش پست را در نظر گرفت که شامل توسعه شینه‌ها نیز می‌گردد، لذا در موقع طرح پست باید بدقت محل اتصالات و پایه‌ها را برای توسعه شینه‌ها معین کرد که البته این کار در مورد شینه‌های سخت مشکل‌تر خواهد بود.

- در مناطقی که دارای سطح آلودگی بالایی می‌باشند و شستن مقره‌ها مورد نیاز است، در هنگام شستشوی برق‌دار مقره‌های اتکائی، مخلوط آب و آلودگی روی مقره‌ها از بالای مقره به طرف پایین سرازیر شده که بالقوه یک مسیر خطرناک برای جرقه زدن ایجاد خواهد کرد.

#### • مزایای شینه‌های نرم

- شینه‌های نرم و مقره‌های مربوط به آنها نسبتاً ارزان می‌باشند.  
 - شینه‌های نرم از نوع هادیهای مورد استفاده در خطوط انتقال بوده و لذا از لحاظ یراق‌آلات مشکل خاصی ندارند.  
 - تمیز کردن مقره‌های کششی در مناطقی که دارای سطح آلودگی بالا هستند با توجه به این که زنجیره مقره به صورت افقی نسبت به سطح زمین قرار گرفته‌اند شستشوی برق‌دار آنها بدون این که خطر جرقه زدن موجود باشد، امکان پذیر است. در واقع در یک مقره افقی مخلوط آب و آلودگی در طول مقره جاری نمی‌شود بلکه به صورت قطراتی از مقره جدا شده و به پایین می‌چکد و احتمال جرقه زدن بسیار کم است.

#### • معایب شینه‌های نرم

- شینه‌های نرم احتیاج به اسکلت‌های فلزی (گنتری) بلند و در نتیجه فونداسیون‌های بزرگتر دارند.  
 - هادیها دائماً تحت کشش می‌باشند و خطر پاره شدن آنها وجود دارد.  
 - مقره‌ها برای شستشو به راحتی قابل دسترسی نیستند.  
 - تعمیرات اضطراری روی شینه‌های نرم به خاطر ارتفاع زیاد اسکلت فلزی مشکل‌تر است.  
 - ضعف در برابر زلزله

### ۱-۴-۵- کمیات مؤثر در انتخاب نوع شینه‌ها

به طور کلی کمیات مؤثر در انتخاب شینه‌ها در هر سطح ولتاژی عبارتند از:

جریان بار، جریان اتصالی یا قدرت اتصال کوتاه، نوع تجهیزات، نوع آرایش شینه‌بندی پست و درجه اطمینان مورد نظر برای آن. شینه‌های نوع سخت در قبال کمیات فوق و پدیده‌هایی که قبلاً به آنها اشاره گردید، خصوصیات مناسب‌تر از شینه‌های نوع نرم عرضه می‌دارند. بعنوان مثال استفاده از شینه‌های نوع سخت به جهت عدم جابجایی آنها با کاهش فوق العاده سطح زیربنای پست همراه می‌باشد. جابجایی شینه‌های سخت تحت تاثیر نیروی باد، تغییرات درجه حرارت و جریان‌های عیب به سهولت امکان پذیر نبوده، لذا کاهش قابل ملاحظه ارتفاع نصب و فاصله بین فازها ممکن می‌گردد. در حالیکه در شینه‌های نوع نرم جابجایی هادیها تحت تاثیر نیروی وزن، نیروی باد، انبساط و انقباض هادیها و غیره، پیش بینی فاصله بیشتر فاز - فاز و فاز - زمین را ایجاب می‌نماید.

استفاده از هادیهای نوع نرم موجب می‌گردد تا به منظور جلوگیری از بروز پدیده کرونا از هادیهای متعدد به صورت باندا در هر فاز استفاده شود، در حالیکه این مطلب در مورد شینه‌های سخت بعلا بزرگ بودن قطرشان کمتر به چشم می‌خورد.

بدین ترتیب در پستهای مجهز به شینه‌های نوع سخت سطح مورد نیاز و ابعاد و اندازه خروجی‌ها نسبت به پست‌های مجهز به شینه‌های نوع نرم به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و موجب می‌گردد تا طول کابل‌های کنترل و کابل‌های اصلی، طول جاده‌ها،

حجم عملیات ساختمانی و مساحت پست در قبال تخلیه جوی و ... کاهش یابد. ارتفاع نصب محدود شینه‌های سخت و نحوه نصب مقره‌های اتکایی موجب می‌شود که تعویض و تعمیر آنها به سهولت صورت گیرد.

در شینه‌های سخت وزن حاصل از شینه‌ها بر مقره‌ها محدود بوده، در حالیکه در شینه‌های نرم، زنجیره مقره همواره تحت تاثیر نیروی کششی قابل ملاحظه‌ای واقع می‌باشد. در این حالت امکان قطع شینه‌ها و بریدگی زنجیره مقره وجود خواهد داشت. نیروی کششی قابل ملاحظه شینه‌ها در زنجیره مقره مستلزم وجود استحکام قابل ملاحظه در گنتری و فونداسیونهای مربوطه می‌باشد. مشکلات ناشی از ساختمان و احداث شینه‌های سخت کمتر از مشکلات مربوط به شینه‌های نرم می‌باشند. در شینه‌های سخت حجم عملیات مکانیکی و مونتاژ تجهیزات در محوطه پست محدود بوده و تعداد بیشتری از تجهیزات می‌توانند بصورت پیش‌ساخته و آماده دریافت و نصب گردند. این امر منجر به کاهش زمان مورد نیاز برای احداث پست‌هایی که در آنها از شینه‌های سخت استفاده شده است، می‌گردد.

با وجود مطالب فوق، تجربیات حاصل از بهره‌برداری، مونتاژ و طراحی پستها نشان داده است که استفاده از شینه‌های سخت با مشکلاتی نیز همراه است. تاثیر آلودگی محیط در مقره‌های نگهدارنده شینه‌های سخت که در امتداد قائم نصب شده‌اند، بیش از زنجیره مقره‌های افقی است که در شینه‌های نرم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در زنجیر مقره‌های افقی امکان شست‌وشوی طبیعی مقره‌ها در هنگام بارندگی وجود دارد. لرزش شینه‌ها و ستونهای مقره تحت تاثیر نیروی باد در شینه‌های سخت مشاهده می‌گردد. با توجه به مطالب فوق، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در موارد زیر استفاده از شینه‌های سخت نسبت به شینه‌های نرم دارای ارجحیت هستند:

- در پست‌هایی که جریان نامی شینه از ۳۰۰۰ آمپر بیشتر و قدرت اتصال کوتاه آن نیز بالا باشد. همچنین در ولتاژ ۴۰۰ کیلوولت استفاده از شینه‌های سخت معمول‌تر است.
- در پست‌هایی که از لحاظ شرایط جوی در مناطق طوفانی قرار گرفته‌اند و یا پست‌هایی که در مناطق زلزله‌خیز قرار دارند.
- در مواردی که به خاطر کمبود آهن و پروفیل لازم است که از اسکلت فلزی با ارتفاع کم استفاده شود.
- در مواردی که به خاطر راحت بودن تعمیرات احتیاج به این است که طرح جانمایی پست<sup>۱</sup> ساده بوده و مناطق تعمیراتی کاملاً از هم مشخص و جدا باشد.
- در مواردی که پست از لحاظ مساحت محدودیت داشته باشد.
- همچنین در موارد زیر نیز می‌توان از شینه‌های نرم استفاده نمود:
- در مواقعی که از لحاظ پست و اتصالات جوشکاری روی شینه‌های سخت مشکلاتی وجود داشته باشد.
- اصولاً شینه‌های نرم از شینه‌های سخت ارزاتر هستند و تکنولوژی ساخت آنها در مقابل تکنولوژی لازم برای ساخت شینه‌های سخت چندان پیچیده نمی‌باشد.



\_\_\_\_\_



## ۲- مقدمه

در این فصل اصول و معیارهای طراحی شینه پستهای فشار قوی و عوامل مؤثر در طراحی آن بیان می‌گردد. در پایان مثالهای متنوعی جهت آشنایی با رویه‌های طراحی ارائه می‌شوند.

## ۲-۱- کلیات

همانطور که در فصل اول بیان گردید، در پست‌های فشار قوی، اتصال الکتریکی کلیه خطوط ورودی و خروجی به یکدیگر توسط شینه فشار قوی امکان پذیر می‌گردد و کلیه فیدرها از طریق شینه سراسری به یکدیگر متصل می‌شوند. به همین علت در حالت کلی لازم است شینه‌ها از ظرفیت کافی جهت دریافت تمامی انرژی و توزیع آن برخوردار باشد. با بروز عیب در هر یک از فیدرها و تجهیزات آنها، جریان اتصالی از طریق تمامی فیدرها به سمت نقطه عیب برگشته و در شینه‌ها با یکدیگر جمع شده، جریان اصلی را تشکیل می‌دهند. در نتیجه ضروری است، شینه‌ها و یراق‌آلات مربوط به آنها از استقامت الکتریکی، مکانیکی و حرارتی کافی در قبال برقراری جریان عیب برخوردار باشد.

به طور کلی مسئله طراحی شینه، شامل انتخاب المانهای استراکچر شینه و نحوه قرارگیری آنها می‌باشد. برای دست یافتن به یک طراحی ایمن، قابل اطمینان و اقتصادی ضروری است که المانها و نحوه قرارگیری آنها، به جهت برآورده شدن شرایط طراحی، به صورت بهینه انتخاب گردند. در این فصل اصول و معیارهای انتخاب خصوصیات هادی استراکچر شینه، که از این به بعد به طور خلاصه شینه نامیده می‌شود، ارائه می‌گردد.

به طور کلی انتخاب شینه شامل سه مرحله انتخاب جنس هادی، نوع هادی و سطح مقطع آن است. شینه‌ها عموماً از جنس آلومینیوم و مس ساخته می‌شوند که هر یک دارای معایب و مزایای مربوط به خود می‌باشند. در پستهای فشار قوی فضای باز با سطوح ولتاژی ۶۳ الی ۴۰۰ کیلوولت، عمدتاً از شینه‌های آلومینیومی یا آلیاژهای آن استفاده می‌گردد. شینه‌ها به دو نوع نرم یا قابل انعطاف و سخت یا صلب تقسیم‌بندی می‌گردند که بسته به طرح استقرار فیزیکی تجهیزات، مزایا و معایب آنها و هزینه‌های پرداختی جهت طراحی، نصب و بهره‌برداری از آنها یکی از این نوع شینه‌ها و یا ترکیبی از آنها بعنوان شینه پست انتخاب می‌شود.

سطح مقطع شینه مهمترین پارامتر در انتخاب این تجهیز است که با توجه به معیارهایی مانند جریان مجاز دائمی، تحمل جریان اتصال کوتاه از نظر حرارتی، استقامت مکانیکی در رابطه با نیروهای اتصال کوتاه، کرونا و غیره انتخاب می‌گردد. به طور کلی، پس از انتخاب جنس (آلومینیوم یا آلیاژهای آن) و نوع شینه (سخت، نرم و یا ترکیب آنها)، تنها پارامتر باقی‌مانده، سطح مقطع شینه بوده که اصول و معیارهای حاکم برای انتخاب آن در این فصل ارائه می‌شود.

## ۲-۲- اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی

اطلاعات یا شرایط طراحی، حداقل نیازمندیهای الکتریکی و مکانیکی ضروری جهت طراحی شینه را در اختیار طراح قرار می‌دهد. این شرایط طراحی براساس مشخصه‌های سیستم قدرت مورد نظر و جایگاه پست در این سیستم، تعیین می‌گردند. شرایط طراحی شامل موارد زیر می‌باشند:



## ۲-۲-۱- جریان نامی شینه‌ها

جریان نامی شینه‌ها عموماً بوسیله نیازمندیهای سیستم قدرت و یا بوسیله ظرفیت تجهیزات متصل شده به آنها تعیین می‌گردد. در این مورد حداکثر بار فیدرهای ورودی و خروجی در دوره عمر پست و یا ظرفیت ترانسفورماتورهای متصل به آنها جزء اطلاعات مورد نیازی است که باید در دسترس باشد. جریان نامی شینه‌های پستهای فشار قوی می‌بایستی با توجه به حداکثر جریان فیدرها در طول عمر پست و حالت‌های مختلفی که این جریانها می‌توانند به شینه‌ها وارد یا خارج شوند، تعیین گردد. پس از محاسبه حداکثر جریان ممکنه عبوری از شینه، عدد بدست آمده حداقل در ضریب  $1/3$  ضرب می‌گردد تا حداکثر جریان عبوری از شینه بدست می‌آید. این ضریب جهت پوشش موارد غیرقابل پیش‌بینی در تعیین حداکثر جریان ممکنه عبوری از شینه، استفاده می‌گردد.

## ۲-۲-۲- سطح اتصال کوتاه پست

اطلاعات مربوط به حداکثر سطح اتصال کوتاه در دوره طول عمر پست باید توسط گروه برنامه‌ریزی در اختیار طراح قرار گیرد. در صورت عدم وجود اطلاعات کافی و یا وجود اطلاعات مربوط به سطح اتصال کوتاه پست تنها در چند سال بهره‌برداری، طراح پست خود بایستی یک بررسی تقریبی جهت تعیین سطح اتصال کوتاه تجهیزات پست انجام دهد.

## ۲-۲-۳- شرایط محیطی و ارتفاع محل پست

حداکثر و حداقل درجه حرارت محیط، حداکثر سرعت باد پیش بینی شده، بدترین شرایط یخ همراه باد در محل پست و همچنین ارتفاع پست از سطح دریا باید بعنوان اطلاعات ورودی به طراح اعلام گردد. چنانچه محلی که پست در آن قرار گرفته است، جزء مناطق زلزله خیز محسوب گردد، شرایط دیگری نیز در این خصوص باید در نظر گرفته شود. شرایط فوق در محل پست مورد نظر را می‌توان با استفاده از نشریه "طبقه‌بندی شرایط محیطی و اقلیمی" استخراج نمود.

## ۲-۲-۴- اطلاعات عمومی پست

اطلاعات عمومی پست شامل: حداکثر ولتاژ بهره‌برداری پست، سطحی استقامت عایقی تجهیزات پست و طرح جانمایی اولیه پست که در آن ارتفاع و محل قرارگیری شینه‌ها مشخص شده‌اند، می‌باشد. علاوه بر این اطلاعات، مکان و نوع اتصال تجهیزات فشار قوی به شینه‌ها نیز باید مشخص باشد. وجود یا عدم وجود سیستم وصل مجدد اتوماتیک<sup>۱</sup> در کلیدهای پست نیز باید مشخص گردد.

## ۲-۳- عوامل تاثیرگذار در انتخاب شینه

شینه‌ها در طی بهره‌برداری و برقراری جریانهای بار و جریانهای اتصال کوتاه تحت تاثیر پدیده‌های متعدد الکتریکی و مکانیکی قرار می‌گیرند. انتخاب اجزای استراکچر شینه با توجه به آثار این پدیده‌های الکتریکی و مکانیکی صورت می‌گیرد. در این میان عوامل تاثیرگذار در انتخاب سطح مقطع شینه عبارتند از:

1. Autoreclosing

- جریان مجاز دائمی که وابسته به شرایط محیطی محل نصب هادی می‌باشد.
- شدت میدان الکتریکی و پدیده کرونا حاصل از آن در سطح شینه‌ها.
- تنشهای حرارتی ناشی از اتصال کوتاه.
- تنشهای مکانیکی ناشی از اتصال کوتاه.
- تنشهای مکانیکی ناشی از نیروهای استاتیکی اثرگذار بر شینه.

### ۲-۳-۱- حداکثر درجه حرارت دائمی مجاز

استقامت مکانیکی مواد تشکیل دهنده هادی با افزایش دما کاهش می‌یابد. این میزان کاهش در هادی‌های آلومینیومی بیش از هادیهای مسی می‌باشد. بعنوان نمونه جدول (۲-۱) تاثیر افزایش درجه حرارت بر روی استقامت مکانیکی آلومینیوم را نشان می‌دهد [۶]. در حین آزمایش کشش مفتولهای فلزی، نقطه‌ای که در آن تغییر شکل پلاستیکی<sup>۱</sup> بدون افزایش نیرو حاصل می‌شود را کشش تسلیم گویند.

برای دماهای بالاتر از ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد این خواص به مدت زمان تداوم حرارت نیز بستگی دارند. تحت شرایط اتصال کوتاه، دمای هادیهای آلومینیومی نباید بیش از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد [۷].

حداکثر دمای کار دائم هادی‌های آلومینیوم نیز نباید بیش از ۸۰ درجه سانتی‌گراد باشد.

جدول ۲-۱: تأثیر درجه حرارت بر روی استقامت مکانیکی آلومینیوم

درجه حرارت (°C)	۲۰	۱۰۰	۱۶۰	۲۵۰
استقامت کششی <sup>۲</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	۹۰-۱۳۰	۹۰-۱۲۰	۸۰-۱۱۰	۳۰-۷۰
کشش تسلیم <sup>۳</sup> (N/mm)	۸۰-۱۲۰	۸۰-۱۱۰	۷۰-۱۰۰	۳۰-۶۰
میزان کشیدگی در هنگام گسیختگی <sup>۴</sup> (%)	۵-۱۰	۵-۱۰	۷-۱۱	تا ۶۰

### ۲-۳-۲- جریان مجاز دائمی

جریان مجاز هادی بوسیله حداکثر دمای کاری آن هادی محدود می‌گردد. افزایش بی‌رویه دمای هادی کاهش استقامت مکانیکی هادی را به دنبال خواهد داشت و یا اینکه با انتقال حرارت به تجهیزات<sup>۵</sup> که به هادیها متصل هستند، می‌تواند موجب بروز عیب در این تجهیزات گردد.

دمای هادی به تعادل مقدار گرمای وارد شده و خارج شده از آن بستگی دارد. برای برقراری تعادل حرارتی، باید حرارت ایجاد شده به جهت اثر ژولی<sup>۵</sup> و اشعه خورشید<sup>۶</sup> معادل حرارت خارج شده از هادی به جهت انتقال همرفتی<sup>۷</sup> گرما و تشعشع<sup>۸</sup> باشد. تعادل حرارتی را می‌توان بوسیله رابطه تقریبی زیر بیان نمود [۵]:

1. Plastic deformation
2. Tensile strength
3. Yield point
4. Elongation at fracture
5. Joule effect
6. Solar radiation
6. Convection
7. Radiation

$$P_j + P_{sol} = P_{rad} + P_{conv} \quad (۱-۲)$$

که در آن:

$P_j$ : حرارت تولید شده بوسیله اثر ژولی، (W/m)

$P_{sol}$ : بهره جذب حرارت خورشید بوسیله سطح هادی، (W/m)

$P_{rad}$ : تلف حرارتی ناشی از تشعشع حرارت، (W/m)

$P_{conv}$ : تلف حرارتی ناشی از انتقال همرفتی حرارت، برحسب وات بر متر می‌باشد.

پارامترهای مورد استفاده در معادله (۱-۲) به عوامل مختلفی از قبیل

- مقاومت مؤثر هادی مورد نظر تحت دما و فرکانس مشخص
- ضریب جذب اشعه خورشید برای سطح هادی
- ارتفاع هادی از سطح دریا
- سرعت باد
- مساحت سطح هادی
- دمای اولیه هادی
- دمای محیط
- دمای مجاز نهایی و ... وابسته می‌باشند.

### – اثر ژولی [۵]

تلفات توان ناشی از اثر ژولی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_j = R_T I_{max}^2 \quad (۲-۲)$$

که در آن:

$P_j$ : تلفات توان ناشی از اثر ژولی در دمای  $T$ ، برحسب وات بر متر

$R_T$ : مقاومت الکتریکی هادی در دمای  $T$ ، برحسب اهم بر متر

$I_{max}$ : حداکثر جریان مجاز هادی در دمای  $T$ ، برحسب آمپر می‌باشد.

مقاومت الکتریکی هادی در دمای  $T$ ، بطور تقریبی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$R_T = R_{80} \left\{ 1 + \left[ \frac{1}{20} - \left( \frac{R_{100}}{R_{80}} - 1 \right) \right] \times (T - 80) \right\} \quad (۳-۲)$$

که در آن:

$T$ : دمای هادی که رابطه (۳-۲) به مقاومت هادی در آن منجر می‌گردد، برحسب درجه سانتی‌گراد

$R_{100}$ : مقاومت هادی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، برحسب اهم بر متر

$R_{80}$ : مقاومت هادی در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، برحسب اهم بر متر می‌باشد.

کمیت‌های  $R_{80}$ ،  $R_{100}$  برای هادی‌های آلومینیومی (نوع A1 مطابق مراجع [۵ و ۱۷]) در جدول (الف-۳) پیوست (۱-۲) ارائه شده‌اند.

### - بهره جذب انرژی حرارتی خورشید [۵]

بهره جذب انرژی حرارتی خورشید از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$P_{sol} = \gamma \cdot D \cdot S_i \quad (۴-۲)$$

که در آن:

$P_{sol}$ : بهره جذب انرژی خورشید، برحسب وات بر متر.

$\gamma$ : کمیتی ثابت که نشان دهنده ضریب جذب انرژی خورشید است. مقدار این کمیت بین ۰/۳ تا ۰/۹ می‌باشد. مقدار این کمیت برای هادی‌های آلومینیومی عموماً برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود [۱]. با گذشت زمان و سیاه شدن هادی این ضریب افزایش یافته و به حدود ۰/۹ نیز می‌رسد.

$D$ : قطر هادی، برحسب متر

$S_i$ : شدت اشعه خورشید، برحسب وات بر متر مربع است. مقدار این کمیت تابع شرایط آب و هوایی محل پست، زاویه تابش خورشید و... می‌باشد. در صورت نبود اطلاعات دقیق درخصوص این پارامتر می‌توان آن را برابر ۹۰۰ وات بر متر مربع در نظر گرفت.

### - تلف حرارتی ناشی از تشعشع حرارت [۵]

تلفات حرارتی ناشی از تشعشع حرارت از هادی، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_{rad} = S \pi D K_e (T_2^4 - T_1^4) \quad (۵-۲)$$

که در آن:

$P_{rad}$ : تلف حرارتی ناشی از تشعشع حرارت از هادی، برحسب وات بر متر.

$S$ : ثابت بولتزمن ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ w.m}^{-2} \cdot \text{k}^{-4}$ )

$D$ : قطر هادی، برحسب متر.

$K_e$ : کمیتی ثابت بوده که نشان دهنده ضریب صدور تشعشع<sup>۱</sup> از هادی نسبت به اجسام تیره است. مقدار این کمیت برای هادی‌های آلومینیومی و آلیاژهای آن عموماً برابر ۰/۶ در نظر گرفته می‌شود.

$T_1$ : درجه حرارت متوسط محیط، برحسب درجه کلوین.

$T_2$ : درجه حرارت نهایی هادی برحسب درجه کلوین می‌باشد.

### - تلفات حرارتی ناشی از انتقال همرفتی حرارت [۵]

تلف حرارتی ناشی از انتقال همرفتی حرارت از هادی به محیط پیرامونش از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_{conv} = \lambda \cdot Nu \cdot (T_2 - T_1) \pi \quad (۶-۲)$$

که در آن:

$P_{conv}$ : تلف حرارتی ناشی از انتقال همرفتی حرارت از هادی به محیط پیرامون، برحسب وات بر متر.

1. Emissivity coefficient

$\lambda$ : هدایت حرارتی لایه‌ای از هوا بوده که با سطح هادی در تماس است. فرض می‌شود که مقدار این کمیت ثابت و برابر  $0.2585 \text{ w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$  می‌باشد [۵].

Nu: عدد ناسلت<sup>۱</sup>، که با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$\text{Nu} = 0.65\text{Re}^{0.2} + 0.23\text{Re}^{0.61} \quad (7-2)$$

که در آن:

Re: عدد رینولدز<sup>۲</sup> بوده و از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$\text{Re} = 1.644 \times 10^9 \nu D [T_1 + 0.5(T_2 - T_1)]^{-1.78} \quad (8-2)$$

که در آن:

$\nu$ : سرعت باد تقریباً دائمی بوده که به صورت عمود بر هادی می‌وزد (برحسب متر بر ثانیه)

حداکثر جریان عبوری از هادی را می‌توان تحت شرایط مشخص با استفاده از روابط فوق به صورت زیر تعیین کرد:

$$I_{\max} = \sqrt{(P_{\text{rad}} + P_{\text{conv}} - P_{\text{sol}})/R_T} \quad (9-2)$$

براساس روابط ارائه شده فوق، برخی استانداردها جداولی را تهیه نموده‌اند که با داشتن اطلاعات هادی مورد نظر می‌توان به جریان مجاز دائمی آن دسترسی پیدا نمود. برای هادیهای مختلف استانداردهای زیر قابل مراجعه هستند:

- استاندارد DIN شماره ۴۳۶۷۰ برای لوله‌های آلومینیومی [۸].

- استاندارد DIN شماره ۴۳۶۷۱ برای لوله‌های مسی [۹].

- استاندارد DIN شماره ۴۸۲۰۱ و IEC شماره ۶۱۵۹۷ TR برای هادی‌های رشته‌ای آلومینیومی و مسی [۵ و ۱۰].

جداولی که توسط استانداردهای مذکور تهیه گردیده‌اند، جریانهای مجاز مقاطع مختلفی از هادیها را با مفروضات مشخص به همراه سایر مشخصات مورد نیاز ارائه می‌دهند.

با استفاده از این جداول می‌توان جریان مجاز دائمی هادی مورد نظر را برحسب نوع، جنس و سطح مقطع هادی و با در نظر گرفتن شرایط مفروض در این جدول، استخراج نموده و سپس با توجه به شرایط واقعی مورد نیاز، تصحیحات لازم را در انتخاب خود انجام داده و جریان مجاز واقعی را برای هادی مورد نظر بدست آورد.

## ۲-۳-۱- جریان مجاز دائمی شینه‌های سخت [۶ و ۸]

به علت خصوصیات مناسب الکتریکی و مکانیکی هادی‌های لوله‌ای، عمدتاً در طراحی پست‌های فشار قوی با شینه‌های سخت از هادی‌های لوله‌ای از جنس آلومینیوم و یا آلیاژهای آن استفاده می‌گردد.

جدول (الف-۱) پیوست (۱-۲)، جریان مجاز دائمی شینه‌های لوله‌ای از جنس آلومینیوم را تحت شرایط دمایی محیط ۳۵ درجه سانتیگراد و دمایی نهایی هادی برابر با ۶۵ درجه سانتیگراد ارائه می‌نماید.

در صورت وجود تفاوت بین شرایط واقعی و شرایط فرض شده در این جدول، مقادیر بدست آمده از این جدول باید در فاکتورهای تصحیح به شرح زیر ضرب گردند:

1. Nusselt number  
2. Reynolds number

$K_1$  = ضریب تصحیح برای تغییرات ظرفیت بار ناشی از هدایت الکتریکی (جدول (الف-۱) پیوست (۱-۲) مربوط به آلومینیوم با

هدایت الکتریکی  $35 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$  می باشد).

$K_2$  = ضریب تصحیح برای منظور نمودن تغییرات دمای محیط یا شینه.

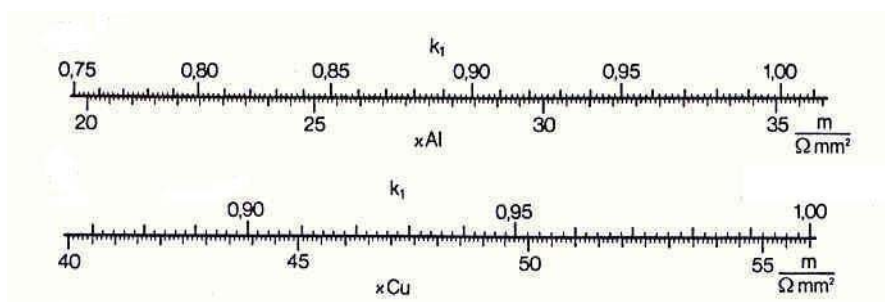
$K_3$  = ضریب تصحیح برای منظور نمودن اثر ارتفاع محل.

با در نظر گرفتن ضرایب تصحیح فوق، جریان مجاز دائمی از رابطه زیر بدست می آید:

$$I(\quad) = I(\quad) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (۱۰-۲)$$

- ضریب تصحیح  $K_1$

ضریب تصحیح  $K_1$  را می توان به کمک شکل (۱-۲) و با در اختیار داشتن ضریب هدایت الکتریکی هادی مورد نظر بدست آورد.

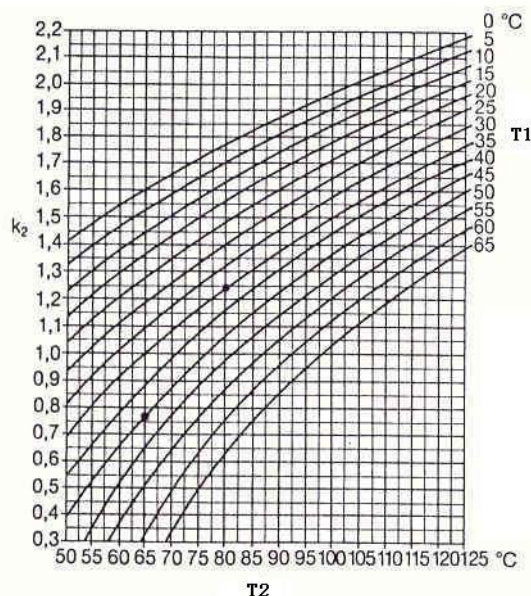


شکل ۱-۲: ضریب تصحیح  $K_1$  به منظور نشان دادن تغییرات ظرفیت بار ناشی از تغییر هدایت الکتریکی

- ضریب تصحیح  $K_2$

ضریب تصحیح  $K_2$  برای منظور نمودن تغییرات دمای محیط و شینه فرض شده در جدول با شرایط واقعی، به کمک شکل (۲-۲)

بدست می آید. در این شکل  $T_2$  دمای نهایی شینه و  $T_1$  دمای متوسط روزانه محیط برحسب درجه سانتی گراد می باشد.



شکل ۲-۲: ضریب تصحیح  $K_2$  جهت تغییرات ظرفیت بار در اثر درجه حرارت‌های محیط غیر از ۳۵ درجه سانتیگراد و درجه حرارت‌های نهایی شینه غیر از ۶۵ درجه سانتی‌گراد.

### - ضریب تصحیح $K_3$

ضریب تصحیح  $K_3$  برای منظور نمودن تغییرات ناشی از شرایط محل (ارتفاع از سطح دریا، میزان تشعشع خورشید و ...) به کمک جدول (۲-۲) بدست می‌آید.

جدول ۲-۲: ضریب تصحیح  $K_3$  برحسب ارتفاع محل پست از سطح دریا و نوع پست

ارتفاع محل پست از سطح دریا برحسب متر	فاکتور تصحیح $K_3$ برای پست‌های فضای باز
$1000 \leq h < 2000$	۰/۹۸
$2000 \leq h < 3000$	۰/۹۴
$3000 \leq h$	۰/۸۹

جدول (الف-۲) پیوست (۱-۲) مقادیر جریان‌های مجاز دائمی هادی‌های لوله‌ای آلایژ آلومینیوم E-ALMgSi0.5F22 را تحت شرایط دمای محیط ۳۵ درجه سانتیگراد و دمای نهایی هادی برابر با ۸۵ درجه سانتیگراد ارائه می‌نماید. این جدول با استفاده از جدول (الف-۱) و با انتخاب مقدار ۰/۹۲۵ برای ضریب تصحیح  $K_1$  از شکل (۱-۲)، (میزان هدایت الکتریکی E-ALMgSi 0.5 برابر

۳۰ می‌باشد) برای تصحیح تغییرات بار ناشی از هدایت الکتریکی و مقدار ۱/۳۲ برای ضریب تصحیح  $K_2$  از شکل (۲-۲)

برای تصحیح درجه حرارت نهایی شینه و به کمک معادله (۱۰-۲) بدست آمده است. ضریب  $K_3$  برابر یک فرض شده است.

در هنگام استفاده از این جداول باید به این نکته توجه شود که مبنای محاسبه جریان مجاز واقعی شینه‌های لوله‌ای از جنس آلومینیوم و آلیاژهای آن، جدول (الف-۱)، معادله (۲-۱۰)، شکل‌های (۱-۲) و (۲-۲) و جدول (۱-۲) می‌باشد و استفاده از جدول (الف-۲) منحصر به شینه‌های لوله‌ای از جنس E-ALMgSi 0.5 است و تنها تصحیحات لازم در هنگام استفاده از این جدول در مورد لوله‌های از این جنس، ضرایب تصحیح  $K_2$ ،  $K_3$  بوده و ضریب  $K_1$  برابر یک در نظر گرفته می‌شود. هنگام استفاده از جدول (الف-۲) ابتدا باید مقادیر جریان بر  $1/32$  تقسیم شود و سپس در ضریب تصحیح  $K_2$  جدید ضرب گردد. در صورت وجود هرگونه اختلاف در جنس مواد به کار رفته در ساخت شینه لوله‌ای آلومینیومی و یا تفاوت میزان آلیاژهای مورد استفاده در آن، حتماً باید با استفاده از ضرایب تصحیح  $K_1$ ،  $K_2$ ،  $K_3$  و با استفاده از جدول (الف-۱) و معادله (۲-۱۰) جریان مجاز دائمی هادی لوله‌ای مفروض را تحت شرایط واقعی بدست آورد.

### ۲-۲-۳-۲- جریان مجاز دائمی شینه‌های نرم [۵]

هادی‌های مورد استفاده در شینه‌های نرم عموماً از نوع و جنس هادی‌های مورد استفاده در خطوط انتقال می‌باشند. جنس این هادیها از آلومینیوم یا آلیاژهای آن می‌باشد. جدول (الف-۳) پیوست (۱-۲) جریان‌های مجاز دائمی هادی‌های آلومینیومی را که در طراحی شینه‌های نرم پست‌های فشار قوی به کار می‌روند، ارائه می‌نماید. جریانهای مجاز ارائه شده در این جدول براساس شرایط زیر محاسبه شده‌اند:

- سرعت بادی که تقریباً به طور دائم بصورت عمود بر هادی می‌وزد،  $v = 1m/s$
- شدت اشعه خورشید،  $S_i = 900 W/m^2$
- ضریب جذب اشعه خورشید،  $\gamma = 0.5$
- ضریب صدور تشعشع از هادی نسبت به اجسام تیره،  $K_e = 0.6$
- دمای نهایی هادی،  $T_2 = 80^\circ C, 100^\circ C$
- دمای متوسط محیط،  $T_1 = 20^\circ C$
- فرکانس شبکه برابر ۵۰ هرتز در نظر گرفته شده است.

باید توجه نمود که در صورت بروز هرگونه تغییر در این شرایط، به ویژه در سرعت باد و دمای متوسط محیط و دمای نهایی هادی، جریان مجاز دائمی هادی تحت شرایط جدید با مقادیر داده شده در جدول (الف-۳) پیوست (۱-۲) تفاوت خواهند داشت. در این گونه شرایط ضروری است که مقدار جدید جریان مجاز دائمی هادی مطابق روش ارائه شده در بخش‌های قبلی محاسبه گردد. برای روشن شدن مطلب و آشنایی با نحوه انجام محاسبات فرض کنید که قصد داریم جریان مجاز دائمی هادی آلومینیومی با سطح مقطع  $500 mm^2$  را تحت شرایط دمای متوسط محیط  $35$  درجه سانتیگراد، دمای نهایی هادی  $80$  درجه سانتیگراد و سرعت باد  $0.6$  متر بر ثانیه بدست آوریم. فرض می‌کنیم سایر شرایط بدون تغییر باقی می‌مانند.

از جدول (الف-۳) برای هادی رشته‌ای  $500$  میلی‌متر مربع داریم:

$$R_T = R_{80} = 0.0728 \times 10^{-3} \frac{\Omega}{m} \quad \text{مقاومت هادی در دمای نهایی هادی } (80^\circ C):$$

$$D = 29.0 \text{ mm} \quad \text{قطر هادی:}$$

$$P_{sol} = \gamma \cdot D \cdot S_i = 0.5 \times 0.029 \times 900 = 13.05 \text{ W/m} \quad \text{از رابطه (۲-۴) داریم:}$$



از رابطه (۵-۲) داریم:

$$P_{\text{rad}} = S\pi DK_e (T_2^4 - T_1^4) \quad , \quad T_2 = 273 + 80 = 353^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 273 + 35 = 308^\circ\text{K}$$

$$\Rightarrow P_{\text{rad}} = 5.67 \times 10^{-8} \times \pi \times 0.029 \times 0.6(353^4 - 308^4) = 20.234 \text{ W/m}$$

از روابط (۶-۲)، (۷-۲) و (۸-۲) داریم:

$$Re = 1.644 \times 10^9 \nu D [T_1 + 0.5(T_2 - T_1)]^{-1.78}$$

$$= 1.644 \times 10^9 \times 0.6 \times 0.029 [308 + 0.5(353 - 308)]^{-1.78} = 938.266$$

$$Nu = 0.65 Re^{0.2} + 0.23 Re^{0.61}$$

$$= 17.512$$

$$P_{\text{con}} = \lambda \cdot Nu \cdot (T_2 - T_1) \cdot \pi$$

$$= 0.02585 \times 17.512 (353 - 308) \pi = 64 \text{ W/m}$$

جریان مجاز دائمی هادی در شرایط جدید از رابطه (۹-۲) برابر است با:

$$I_{\text{max}} = [(P_{\text{rad}} + P_{\text{conv}} - P_{\text{sol}}) / R_T]^{0.5}$$

$$= [(20.234 + 64 - 13.05) / (0.0728 \times 10^{-3})]^{0.5}$$

$$= 988.84 \text{ A}$$

### ۲-۳-۳- کرونا و تداخلات رادیویی

کرونا به شکل تخلیه الکتریکی در هوای اطراف هادی، زمانی ظاهر می‌گردد که میدان الکتریکی اطراف هادی (گرادیان ولتاژ در سطح هادی) بیش از استقامت دی الکتریک هوای اطراف هادی باشد. پدیده کرونا که با یونیزاسیون مولکولهای هوای اطراف هادی همراه است، موجب بروز تداخلات رادیویی<sup>۱</sup> می‌گردد.

طراح شینه باید هادی شینه و یراق آلات مربوط به آن را به گونه‌ای انتخاب نماید که تحت شرایط آب و هوایی مساعد در ولتاژ، ارتفاع و دمای کاری مشخص، پدیده کرونا مشاهده نگردد. البته باید توجه نمود که تحت شرایط جوی مرطوب یا آلوده، احتمال وقوع پدیده کرونا بیشتر شده و طراح می‌بایستی تا حد امکان از بروز یا شدت این پدیده در این گونه شرایط جلوگیری بعمل آورد.

برای پرهیز از پدیده کرونا، حداکثر گرادیان ولتاژ در سطح هادی، باید از گرادیان ولتاژ سطحی مجاز کوچکتر باشد. پارامترهای

موثر بر حداکثر گرادیان ولتاژ در سطح هادی عبارتند از:

- قطر یا شکل هادی
- ارتفاع هادی از سطح زمین
- فاصله بین فازها

- ولتاژ اعمال شده به هادیها

پدیده کرونا اغلب در مورد شینه‌های نرم در نظر گرفته می‌شود و در شینه‌های سخت که از هادی‌های لوله‌ای استفاده می‌شود به سبب توخالی بودن و قطر زیاد هادی این پدیده تاثیر چندانی ندارد. به هر حال بایستی توجه نمود که در قسمتهای انتهایی لوله‌ها، بعلاوه ناهموار بودن انتهایی لوله، امکان بوجود آمدن پدیده کرونا وجود دارد که معمولاً برای تعدیل پدیده فوق، کلاهک‌های مخصوصی (درپوش کرونا) که به صورت نیم کره می‌باشند در انتهایی لوله نصب می‌گردد. این کلاهک‌های مخصوص، درپوش مناسبی جهت جلوگیری از ورود گرد و خاک، باران، پرندگان و حشرات موذی به داخل لوله‌ها نیز بوده و عموماً جزء یراق آلات هر پست متشکل از شینه‌های لوله‌ای می‌باشند.

چنانچه شرایط بهره‌برداری از شینه نزدیک به شرایط گرادیان ولتاژ سطحی مجاز باشد، عدم وجود هر نوع برجستگی بر روی سطح هادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد، چرا که در صورت وجود برجستگی بر روی سطح هادی، ممکن است که شدت میدان الکتریکی در این نقاط افزایش یافته و موجب بروز پدیده کرونا گردد.

گرادیان ولتاژ سطحی مجاز برای هادی‌های نرم لوله‌ای شکل، باتوجه به ناخالصی هوا، رطوبت، درجه حرارت و ارتفاع محل قرارگیری پست، ارقام مختلفی را به خود اختصاص می‌دهد. در شرایط استاندارد یا به عبارت دیگر در ارتفاع سطح دریا (با یک اتمسفر

فشار هوا) و درجه حرارت ۲۵ درجه سانتیگراد و در هوای بدون ناخالصی، گرادیان ولتاژ آغاز کرونا برابر  $\frac{21}{2} \frac{kV_{rms}}{cm}$  است. در شرایط محیطی متفاوت از شرایط استاندارد، مقدار گرادیان ولتاژ سطحی مجاز را می‌توان بصورت تابعی از چگالی نسبی هوا نشان داد:

$$E_0 = g_0 \cdot \delta \quad (11-2)$$

که در آن:

$E_0$ : گرادیان ولتاژ سطحی مجاز در شرایط غیر استاندارد،  $\left( \frac{kV_{rms}}{cm} \right)$

$g_0$ : گرادیان ولتاژ سطحی مجاز در شرایط استاندارد،  $\left( \frac{kV_{rms}}{cm} \right)$

$\delta$ : چگالی نسبی هوا که در شرایط استاندارد مقدار آن برابر یک می‌باشد.

چگالی نسبی هوا از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\delta = \frac{298P}{273 + t} \quad (12-2)$$

که در آن:

P: فشار هوا برحسب اتمسفر که در شرایط استاندارد مقدار آن برابر یک اتمسفر است. جدول (۲-۳) فشار هوا را به صورت تابعی از ارتفاع محل قرارگیری پست ارائه می‌دهد.

t: درجه حرارت هوا که برحسب درجه سانتیگراد می‌باشد.

در عمل علاوه بر درجه حرارت و فشار هوا عوامل مختلف دیگری همچون آلودگی هوا، رطوبت و شرجی و مه‌آلود بودن هوا، بارانی و یا برفی بودن شرایط جوی محیط نیز در مقدار ولتاژ شکست هوا مؤثر خواهند بود، لذا اگر در طراحی شینه از دیدگاه کرونا تنها دو عامل درجه حرارت و ارتفاع محل پست مورد توجه قرار گیرد، پدیده کرونا تنها در روزهای آفتابی و تمیز کنترل می‌شود و در

روزهای بارانی، برفی یا در هوای آلوده این پدیده قابل کنترل نخواهد بود. لذا برای اینکه پدیده کرونا در زمانهای بیشتری از سال کنترل گردد، لازم است که مقدار گرادیان ولتاژ سطحی مجاز کمتر از  $21/2 \frac{kV_{rms}}{cm}$  در نظر گرفته شود. از آنجاکه در بحث طراحی، تلفات کرونا چندان حائز اهمیت نیست و مسئله اصلی بحث تداخلات رادیویی و تلویزیونی ناشی از این پدیده می‌باشد، انتخاب حداکثر گرادیان ولتاژ سطحی مجاز در واقع می‌بایستی همراه با در نظر گرفتن میزان تداخلات مجاز رادیویی و تلویزیونی ناشی از این پدیده باشد.

جدول ۲-۳: فشار هوا برحسب ارتفاع محل پست از سطح دریا

ارتفاع منطقه برحسب متر	فشار هوا برحسب اتمسفر
۰	۱/۰۰۰
۵۰۰	۰/۹۴۱
۱۰۰۰	۰/۸۸۵
۱۵۰۰	۰/۸۳۳
۲۰۰۰	۰/۷۸۳
۳۰۰۰	۰/۶۹۴
۴۵۰۰	۰/۵۷۷

یک انتخاب برای لحاظ پدیده‌های فوق استفاده از ۹۰ درصد گرادیان ولتاژ آغاز کرونا در شرایط استاندارد، بعنوان گرادیان سطحی مجاز برای استفاده در رابطه (۲-۱۱) می‌باشد، یعنی  $g_0 = 21.2 \times 0.9 = 19.08 \frac{kV_{rms}}{cm}$  با استفاده از این مقدار  $g_0$  می‌توان گرادیان ولتاژ سطحی مجاز را در شرایط غیر استاندارد با استفاده از روابط (۲-۱۱) و (۲-۱۲) بدست آورد. جدول (۲-۴) مقدار گرادیان ولتاژ سطحی مجاز را برای چند حالت مختلف، براساس استفاده از ۹۰ درصد گرادیان ولتاژ آغاز کرونا در شرایط استاندارد، نشان می‌دهد.

برای پرهیز از پدیده کرونا می‌بایستی:

$$E_m \leq E_0 \quad (2-13)$$

که در آن:

$E_0$ : گرادیان ولتاژ سطحی مجاز که براساس شرایط محیطی محل پست و با استفاده از روابط (۲-۱۱) و (۲-۱۲) تعیین شده است،

$$\text{برحسب } \frac{kV_{rms}}{cm}$$

$E_m$ : حداکثر گرادیان ولتاژ در سطح هادی در هنگام بهره‌برداری، برحسب  $\frac{kV_{rms}}{cm}$  می‌باشد.

جدول ۲-۴: مقدار گرادیان ولتاژ سطحی مجاز  $\frac{kV_{rms}}{cm}$ ، با توجه به تنوع ارتفاع و درجه حرارت محیط محل پست و با استفاده از

$$g = 19.08 \frac{kV_{rms}}{cm} \text{ بعنوان گرادیان ولتاژ سطحی مجاز در شرایط استاندارد.}$$

درجه حرارت محیط برحسب درجه سانتیگراد					ارتفاع برحسب متر
۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۰	
۱۸/۱۷	۱۸/۷۷	۱۹/۴	۲۰/۱	۲۰/۸۳	۰
۱۷/۰۹	۱۷/۶۶	۱۸/۲۶	۱۸/۹۱	۱۹/۶۰	۵۰۰
۱۶/۰۸	۱۶/۶۱	۱۷/۱۷	۱۷/۷۸	۱۸/۴۳	۱۰۰۰
۱۵/۱۳	۱۵/۶۳	۱۶/۱۶	۱۶/۷۴	۱۷/۳۵	۱۵۰۰
۱۴/۲۲	۱۴/۶۹	۱۵/۱۹	۱۵/۷۳	۱۶/۳۱	۲۰۰۰

$E_m$  از روابط زیر بدست می‌آید [۱، ۱۲ و ۶]:

$$E_m = \frac{h_e}{h_e - \frac{D}{2}} E_a \quad (۱۴-۲)$$

$$E_a = 1.1 \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\chi}{R_L \cdot \ln\left(\frac{a}{r_e} \cdot \frac{2h_e}{\sqrt{4h_e^2 + a^2}}\right)} \quad (۱۵-۲)$$

$$\chi = \frac{1 + (n-1) \frac{D}{2r_b}}{n} \quad (۱۶-۲)$$

$$r_e = \sqrt[n]{\frac{n \cdot D \cdot r_b^{n-1}}{2}} \quad (۱۷-۲)$$

$$r_b = \frac{a_s}{2 \sin\left(\frac{\pi}{n}\right)} \quad (۱۸-۲)$$

که در آن:

$h_e$ : ارتفاع متوسط هادی‌های سیستم سه فاز از سطح زمین، برحسب سانتیمتر.

$D$ : قطر هادی فاز، برحسب سانتیمتر (در صورت باندلی بودن،  $D$  برابر قطر یکی از هادی‌های باندل انتخاب می‌شود).

$E_a$ : متوسط گرادیان ولتاژ در سطح هادی، برحسب  $\frac{kV_{rms}}{cm}$

$U$ : ولتاژ نامی فاز به فاز سیستم، برحسب کیلوولت مؤثر

$R_L$ : شعاع هادی، بر حسب سانتیمتر

$a$ : فاصله متوسط بین هادی‌های فاز، برحسب سانتیمتر

$n$ : تعداد هادی‌های مورد استفاده در باندل

$a_s$ : فاصله بین نقاط مرکزی هادی‌های باندل، برحسب سانتیمتر

$r_e$ : شعاع معادل هادی‌های باندل، برحسب سانتیمتر

$r_b$ : شعاع دایره‌ای که هادی‌های باندل بر روی محیط آن قرار می‌گیرند، برحسب سانتیمتر

$\chi$ : ضریب نشان دهنده اثر باندلی بودن هادی‌ها است.

## ۲-۳-۴- تنشهای حرارتی ناشی از اتصال کوتاه

عبور جریان اتصال کوتاه از هادی‌های شینه، دو اثر مهم را در پی خواهد داشت:

- درجه حرارت در مدت زمان کوتاهی به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند.
  - نیروی شدیدی بین هادی‌ها، در اثر میدان‌های الکترومغناطیسی ناشی از جریان اتصال کوتاه به وجود می‌آید.
- در این بخش اثر تنشهای حرارتی ناشی از اتصال کوتاه بر روی انتخاب سطح مقطع شینه‌های سخت و نرم بیان می‌گردد و در بخشهای بعدی به تنشهای مکانیکی حاصل از این پدیده پرداخته می‌شود.

## ۲-۳-۴-۱- کلیات

گرم شدن هادی‌های شینه در اثر جریان اتصال کوتاه همراه با وقوع چندین پدیده با طبیعت غیرخطی و فاکتورهای دیگری از این قبیل است که به جهت فراهم نمودن امکان تحلیل ریاضی مسئله، از آنها صرفنظر گردیده و یا تقریب زده می‌شوند. براین اساس جهت مقاصد مورد بحث در این بخش، فرضیات زیر در نظر گرفته می‌شود:

- از اثر پوستی<sup>۱</sup> (اثر مغناطیسی خود هادی) و اثر هم‌جواری<sup>۲</sup> (اثر مغناطیسی هادی‌های موازی هم جوار) صرفنظر می‌شود.
- مشخصه مقاومت - درجه حرارت هادی به صورت خطی فرض می‌شود.
- ظرفیت گرمایی ویژه<sup>۳</sup> هادی ثابت در نظر گرفته می‌شود.
- پدیده گرم شدن هادی آدیاباتیک<sup>۴</sup> فرض می‌گردد.

تبادل حرارت ایجاد شده در هادی در حین عبور جریان اتصال کوتاه با محیط و اجسام پیرامون بسیار ناچیز است و بر این اساس فرض آدیاباتیک بودن پدیده نسبتاً صحیح خواهد بود. در چنین بازه زمانی، تمام حرارت ایجاد شده در هادی باقی مانده و هادی فرصتی برای تبادل این حرارت با محیط پیرامون به صورت همرفتی یا تشعشع پیدا نمی‌کند. از این رو سطح مقطع هادی باید به گونه‌ای انتخاب گردد که در مدت زمان مشخصی جریان اتصال کوتاه را تحمل کند، بدون آنکه دمای آن از حد مجاز فراتر رود. چنانچه پدیده اتصال کوتاه در فواصل زمانی کوتاه چندین بار اتفاق بیفتد (به جهت وجود سیستم وصل مجدد اتوماتیک در کلیدهای پست) تبادل حرارتی صورت گرفته در فاصله بین این وصل شدن‌های مجدد ناچیز بوده و از آن صرفنظر می‌گردد و هنوز هم پدیده را می‌توان آدیاباتیک در نظر گرفت. در مواردی که فاصله زمانی بین وقوع مجدد اتصال کوتاه نسبتاً طولانی‌تر است (به

---

1. Skin - effect  
2. Proximity  
3. Specific heat  
4. Adiabatic

جهت وجود سیستم تاخیری در هنگام وصل مجدد اتوماتیک، اثر تبادل حرارت ایجاد شده در این فواصل زمانی ممکن است در نظر گرفته شود.

### ۲-۳-۴-۲- محاسبه معادل حرارتی جریان کوتاه مدت<sup>۱</sup>

تنش‌های حرارتی وارد شده به شینه به تعداد دفعات وقوع اتصال کوتاه و مدت زمان برقراری هر یک از اتصال کوتاه‌ها بستگی دارند. معادل حرارتی جریان کوتاه مدت،  $I_{th}$ ، عبارت است از جریانی که مقدار مؤثر آن همان حرارت تولید شده بوسیله جریان اتصال کوتاه را در همان مدت زمان در هادی تولید می‌نماید، با این تفاوت که دامنه این جریان در طول زمان ثابت است، در حالی که مؤلفه‌های ac, dc جریان اتصال کوتاه در طول پریود اتصال کوتاه،  $T_k$ ، ممکن است تغییر نمایند. مقدار این کمیت برای یک بار بروز پدیده اتصال کوتاه با مدت زمان  $T_k$  از رابطه زیر استخراج می‌گردد:

$$I_{th} = I_k'' \times \sqrt{(m+n)} \quad (۱۹-۲)$$

که در آن:

$I_{th}$ : معادل حرارتی جریان کوتاه مدت، [kA<sub>rms</sub>].

$I_k''$ : مقدار جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه می‌باشد که در شکل (۳-۲) نشان داده شده است، [kA<sub>rms</sub>].

$m$ : کمیتی بدون بعد که نشان دهنده آثار حرارتی ناشی از مؤلفه dc جریان اتصال کوتاه می‌باشد. این کمیت از شکل (۴-۲) و با اطلاع از مدت زمان اتصال کوتاه،  $T_k$  و مقدار پارامتر  $K$  محاسبه می‌شود.

$n$ : کمیتی بدون بعد که نشان دهنده آثار حرارتی ناشی از مؤلفه ac جریان اتصال کوتاه می‌باشد. این کمیت از شکل (۵-۲) و با اطلاع

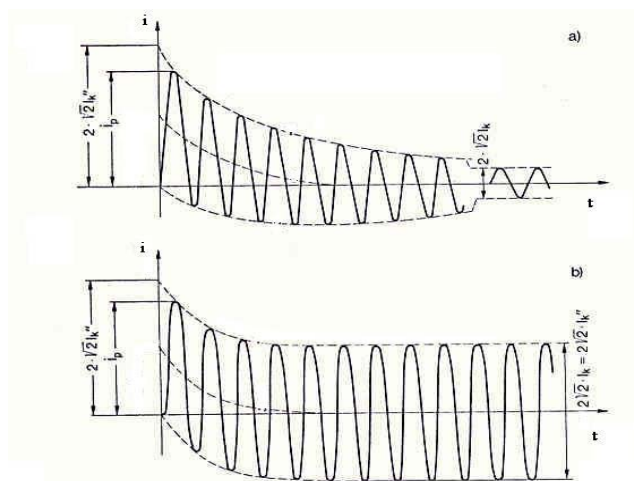
از مدت زمان اتصال کوتاه،  $T_k$  و مقدار پارامتر  $\frac{I_k''}{I_k}$ ، که نشان دهنده نسبت مقدار جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه به جریان اتصال

کوتاه حالت مانا است، تعیین می‌گردد.

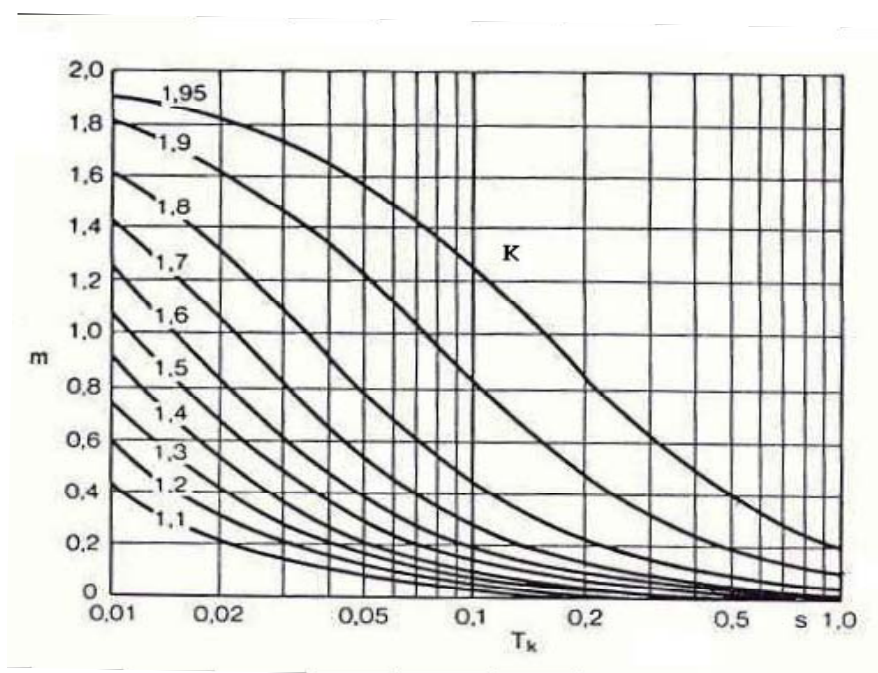
پارامتر  $K$  که در استخراج کمیت  $n$  از شکل (۴-۲) مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان دهنده نحوه تنزل مؤلفه dc جریان اتصال کوتاه بوده و جهت تعیین پیک جریان اتصال کوتاه  $I_p$  در شکل (۳-۲) استفاده می‌شود. مقدار این کمیت از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$K = 1.02 + 0.98e^{-3R/X} \quad (۲۰-۲)$$

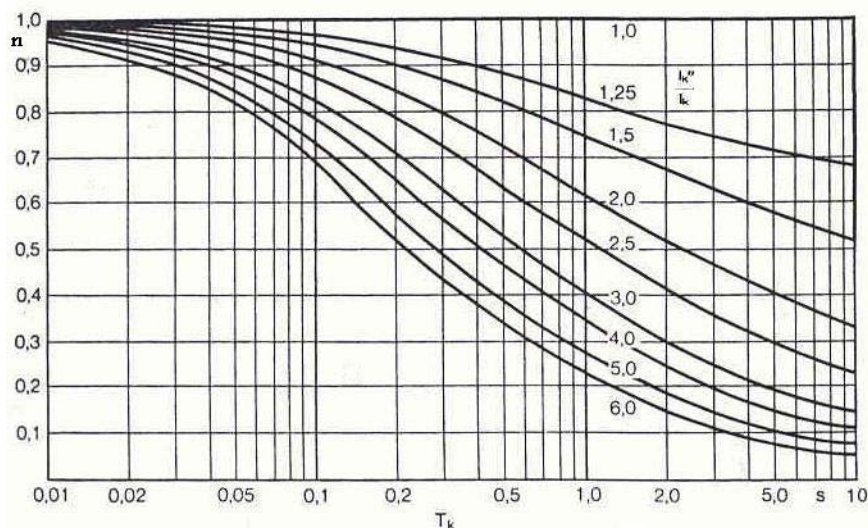
که در آن  $R$ ،  $X$  مقاومت و راکتانس معادل مدار اتصال کوتاه می‌باشند. مقدار این پارامتر از طریق محاسبات اتصال کوتاه شبکه تعیین می‌شود.



شکل ۲-۳: منحنی‌های جریان اتصال کوتاه در هنگام وقوع اتصال کوتاه در (a) نزدیکی ژنراتور \_ (b) دور از ژنراتور



شکل ۲-۴: کمیت بدون بعد  $m$  برای محاسبه جریان معادل حرارتی کوتاه مدت بر حسب مدت زمان اتصال کوتاه،  $T_k$  و پارامتر  $K$



شکل ۲-۵: کمیت بدون بعد  $n$  برای محاسبه جریان معادل حرارتی کوتاه مدت برحسب مدت زمان اتصال کوتاه،  $T_k$  و نسبت  $\frac{I_k''}{I_k}$

چنانچه پست دارای کلیدهای از نوع وصل مجدد باشد، اثر وصل مجدد جریان اتصال کوتاه باید در نظر گرفته شود. برای این منظور ابتدا برای هر پریود از برقراری جریان اتصال کوتاه، جریان معادل حرارتی کوتاه مدتی تعیین می‌گردد. سپس با استفاده از این مقادیر و معادلات زیر، جریان معادل حرارتی کل و مدت زمان اتصال کوتاه کل بدست می‌آیند:

$$I_{th} = \sqrt{\frac{1}{T_k} \sum_{i=1}^n I_{thi}^2 \cdot T_{ki}} \quad (21-2)$$

$$T_k = \sum_{i=1}^n T_{ki} \quad (22-2)$$

که در آن:

$T_{ki}$ : مدت زمان برقراری جریان اتصال کوتاه  $i$  ام، برحسب ثانیه.

$I_{thi}$ : دامنه جریان معادل حرارتی کوتاه مدت  $i$  ام، برحسب کیلوآمپر.

$n$ : تعداد دفعات برقراری جریان اتصال کوتاه می‌باشد.

سازندگان هادی‌های الکتریکی میزان جریان کوتاه مدت نامی،  $I_{thr}$  را که یک هادی برای مدت زمان نامی اتصال کوتاه،  $T_{kr}$  می‌تواند بدون آسیب دیدن تحمل کند، مشخص می‌نمایند. هادی در اثر جریان اتصال کوتاه آسیب نخواهد دید، مادامیکه یکی از روابط زیر برقرار باشد:

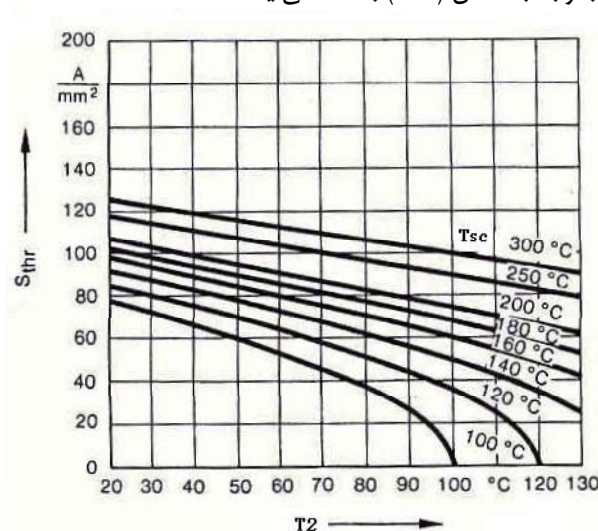
$$\begin{cases} I_{th} \leq I_{thr} \\ T_k \leq T_{kr} \end{cases} \quad (23-2)$$

$$\begin{cases} I_{th} \leq I_{thr} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \\ T_k \geq T_{kr} \end{cases} \quad (24-2)$$



باتوجه به اثر مهم  $T_k$  در روابط (۲۱-۲)، (۲۳-۲) و (۲۴-۲) باید دقت نمود که در هنگام محاسبه  $T_k$ ، اثر مدت زمان واکنش رله‌ها به قطع کلید و مدت زمان لازم برای باز شدن کامل کلید در هر بار عملکرد سیستم حفاظتی در قطع جریان اتصال کوتاه در نظر گرفته شود.

در مورد هادی‌های شینه، تحمل حرارتی هادی بوسیله چگالی جریان کوتاه مدت نامی،  $S_{thr}$  مشخص می‌شود. مقدار چگالی جریان کوتاه مدت نامی،  $S_{thr}$  به ازای مدت زمان نامی اتصال کوتاه  $T_{kr} = 1 \text{ sec}$  برای هادی‌های آلومینیومی و آلیاژ آلومینیوم و هادی‌های آلومینیوم - فولاد (ASCR) باتوجه به شکل (۶-۲) بدست می‌آید.



شکل ۶-۲: چگالی جریان کوتاه مدت نامی،  $S_{thr}$ ، به ازای  $T_{kr} = 1 \text{ sec}$  برای هادیهای آلومینیومی، آلیاژ آلومینیوم و هادی‌های ASCR

در شکل (۶-۲)،  $T_2$  حداکثر دمای دائمی مجاز در هنگام عبور جریان نامی از هادی می‌باشد (مقدار این کمیت در جداول جریان مجاز هادی‌ها ارائه می‌گردد) و  $T_{sc}$  حداکثر دمای مجاز هادی در شرایط اتصال کوتاه بوده که برای هادی‌های آلومینیومی و مسی معمولاً برابر ۲۰۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود [۷].

هادی شینه دارای استقامت حرارتی کافی در هنگام وقوع اتصال کوتاه خواهد بود، مادامیکه چگالی معادل حرارتی جریان اتصال کوتاه،  $S_{th}$ ، مربوط به آن در معادله زیر صدق کند:

$$S_{th} \leq S_{thr} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad (۲۵-۲)$$

معادله فوق برای کلیه  $T_k$  ها صادق است.

مقدار چگالی معادل حرارتی جریان اتصال کوتاه،  $S_{th}$  با مشخص بودن جریان معادل حرارتی کوتاه مدت،  $I_{th}$  برحسب آمپر و سطح مقطع هادی،  $A$  برحسب میلیمتر مربع از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$S_{th} = \frac{I_{th}}{A} \left[ \frac{A}{\text{mm}^2} \right] \quad (۲۶-۲)$$

### ۲-۳-۵- نیروهای وزنی شینه

نیروهای وزنی میزان انحراف عمودی هادیهای شینه (شکم هادی) را تعیین می‌نمایند و یکی از نیروهای هستند که هادی می‌بایستی آنها را تحمل کند. نیروهای وزنی شامل، نیروی وزن هادی، نیروی ناشی از وزن میراکننده‌ها<sup>۱</sup>، نیروی ناشی از وزن یخ و نیروی ناشی از وزن اجرام متمرکزی می‌باشد که بر روی هادی قرار گرفته‌اند.

### ۲-۳-۵-۱- نیروی وزن هادی

وزن هادی با استفاده از مشخصات فنی ارائه شده از سوی سازنده هادی ارائه می‌گردد. این نیرو تابعی از طول اسپن بوده و با افزایش طول اسپن بعلاوه افزایش طول هادی، افزایش می‌یابد. میزان این نیرو در واحد طول هادی مشخص می‌گردد.

### ۲-۳-۵-۲- نیروی ناشی از وزن میراکننده‌ها

اگر از میراکننده‌ها جهت میرانمودن نوسانات الکتروپدینامیکی هادی در پست‌های فشار قوی استفاده شود، در محاسبات نیروی وزنی حاصل از اجرام متمرکز باید نیروی ناشی از وزن این میراکننده‌ها لحاظ شود.

### ۲-۳-۵-۳- نیروی ناشی از وزن یخ

هنگامی که یخ دور هادی را احاطه می‌نماید، نیروی وزنی وارد بر هادی نیز افزایش می‌یابد. با فرض اینکه در اثر وزش باد یک لایه استوانه‌ای از یخ بدور هادی تشکیل می‌شود، وزن یخ روی هادی‌های لوله‌ای شکل را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$F_I = \pi w_I r_I (r_I + D) \times g_n \quad (27-2)$$

که در آن:

$F_I$ : نیروی ناشی از وزن یخ در واحد طول، برحسب نیوتن بر متر.

$w_I$ : جرم مخصوص یخ که برابر با  $900 \text{ kg/m}^3$  می‌باشد.

$r_I$ : ضخامت لایه استوانه‌ای یخ ایجاد شده بر روی هادی، برحسب متر.

$D$ : قطر خارجی هادی، بر حسب متر.

$g_n$ : شتاب ثقل زمین که برابر  $9/81$  متر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

معادله فوق را می‌توان بصورت ساده شده زیر نیز بیان نمود، با این تفاوت که در این رابطه کمیت‌های  $r_I$  و  $D$  برحسب سانتیمتر می‌باشند.

$$F_I = 2.7737 r_I (r_I + D) \quad (28-2)$$

### ۲-۳-۵-۴- نیروی ناشی از وزن اجرام متمرکز

نیروهای ناشی از وزن اجرام متمرکز از قبیل: فاصله‌دهنده‌ها<sup>۲</sup>، تجهیزات متصل شده به هادی‌ها، هادی‌های انشعابی و غیره را باید تعیین نموده و به نیروهای وزنی قبلی اضافه نمود.

## ۲-۳-۶- نیروهای ناشی از باد

استراکچر شینه، کلاس مکانیکی مقره اتکائی، ترمینال تجهیزات و کلاس مکانیکی زنجیره مقره‌ها و یراق‌آلات باید قادر به تحمل نیروهای مکانیکی ناشی از بادهای پیش‌بینی شده باشد. حداکثر نیروی ناشی از باد ممکن است در هنگام وزیدن بادهای بسیار تند بدون وجود یخ و یا هنگام وزیدن بادهای تند همراه با یخ رخ دهد. عموماً، حداکثر سرعت باد در شرایط یخ کمتر از سرعت بادهای تندی است که در شرایط بدون یخ می‌وزند. برای مطالعه اثر باد بر روی شینه‌ها باید اطلاعاتی از مقادیر حداکثر و حداقل سرعت باد در مناطق مختلف در دسترس باشد. سرعتی که بعنوان مبنای طراحی در نظر گرفته می‌شود، حداکثر سرعت باد در عرض پنج ثانیه است که ممکن است یکبار در طول پنجاه سال اتفاق بیفتد [۱۳]. نیروی ناشی از بادی که برهادی می‌وزد علاوه بر سرعت وزش باد به زاویه وزش باد، سطح بادخوری هادی، ضخامت لایه یخ قرار گرفته بر روی هادی، شکل پروفیل هادی و ارتفاع هادی بستگی دارد. مقدار این نیرو برای شینه‌های سخت و نرم از رابطه زیر بدست می‌آید، [۱۵]:

$$F_w = 0.625 \cdot V_z^2 \cdot (D + 2r_1) \cdot C \cdot R \cdot \sin^2 \theta \quad (29-2)$$

که در آن:

$F_w$ : نیروی ناشی از وزن باد بر هادی، برحسب نیوتن بر متر

$D$ : قطر لوله، برحسب متر

$r_1$ : ضخامت لایه استوانه‌ای یخ برحسب متر

$\theta$ : زاویه وزش باد بر روی هادی نسبت به راستای هادی، که برای نمایش حداکثر نیروی وارده بر هادی عموماً برابر ۹۰ درجه در نظر گرفته می‌شود.

$V_z$ : حداکثر سرعت باد ۵ ثانیه در ارتفاعی که هادیها نصب شده‌اند، بر حسب متر بر ثانیه.

چنانچه حداکثر سرعت باد ۵ ثانیه در ارتفاع ۱۰ متر،  $V_{5sec}$ ، موجود باشد، سرعت وزش باد در ارتفاع نصب هادی‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V_z = V_{5sec} \left( \frac{Z}{10} \right)^{0.095} \quad (30-2)$$

که در آن:

$Z$ : ارتفاع نصب هادی‌ها برحسب متر می‌باشد.

$C$ : کمیتی بدون بعد موسوم به ضریب کشش بوده که مقدار آن برای هادی‌های لوله‌ای شکل با نسبت طول به قطر بزرگتر از ۵ و با توجه به حاصلضرب قطر هادی در سرعت باد ( $D \times V_z$ ) از جدول (۲-۵) بدست می‌آید [۱۵].

$R$ : فاکتور کاهش دهنده اثر وزش باد بر کل طول هادی می‌باشد. اگر طول اسپن کوچکتر از ۱۰۰ متر باشد مقدار این فاکتور برابر یک و اگر طول اسپن بزرگتر از ۳۰۰ متر باشد، مقدار این فاکتور برابر ۰/۶ در نظر گرفته می‌شود. برای اسپن‌های با طولهای ما بین ۱۰۰ و ۳۰۰ متر، مقدار این کمیت از درون‌یابی، مابین این دو مقدار بدست می‌آید.

همچنین مقدار نیروی ناشی از باد برای A.Frame ها از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F_{WA} = 0.625 \cdot V_z^2 \cdot L_A \cdot C \cdot R \cdot \sin^2 \theta \quad (31-2)$$

که در آن:

$F_{WA}$ : نیروی ناشی از وزن باد بر A.Frame بر حسب نیوتن بر متر

LA: طول دو پایه هادی A.frame

بقیه کمیت‌ها مانند رابطه (۲-۲۹) تعریف می‌شود.

جدول ۲-۵: مقدار ضریب کششی C، بر حسب حاصلضرب  $D \times V_Z$

ضریب کششی (C)	$D \times V_Z [m^2 / s]$
۱/۲	$D \times V < 7.3$
۰/۶	$7.3 \leq D \times V < ۱۲$
۰/۷	$۱۲ \leq D \times V < ۳۳$
۰/۸	$D \times V > ۳۳$

### ۲-۳-۷- نیروها و تنشهای ناشی از جریان اتصال کوتاه در شینه‌های سخت

میدانهای مغناطیسی ایجاد شده بوسیله جریان اتصال کوتاه، موجب اعمال نیروهایی بر هادی‌های شینه می‌گردند. هادی‌های شینه و نگهدارنده‌های آنها باید قادر به تحمل این نیروها باشند. نیروهای وارد شده بر استراکچر شینه در اثر جریان‌های اتصال کوتاه به فاصله مابین هادی‌ها، اندازه جریان اتصال کوتاه، نوع اتصال کوتاه و میزان نامتقارن بودن جریان‌های اتصال کوتاه بستگی دارد. علاوه بر آن فاکتورهای دیگری از قبیل انعطاف‌پذیری نگهدارنده‌ها و شرایط نقاط تکیه‌گاهی شینه در آثار مکانیکی ناشی از این پدیده مؤثر هستند.

در هنگام اتصال کوتاه، نیروهای الکترومغناطیسی ایجاد شده بسیار شدید هستند. این نیروها تنشهای مختلفی را بر هادی‌های شینه وارد می‌سازند. بر این اساس در انتخاب شینه و یراق‌آلات مربوط به آن، آثار ناشی از این پدیده باید در نظر گرفته شوند.

### ۲-۳-۷-۱- نیروهای وارد شده بر هادی‌های سخت

نیروی وارد بر هادی‌های لوله‌ای سیستم سه فازی که محورهای آنها در یک صفحه قرار گرفته‌اند، از روابط زیر بدست می‌آید:

$$\begin{cases} F_m = 0.2I_{P2}^2 \cdot \frac{L}{a} \\ I_{P2} = \sqrt{2KI''_{K2}} \end{cases} \quad (۳۲-۲)$$

$$\begin{cases} F_m = 0.173I_{P3}^2 \cdot \frac{L}{a} \\ I_{P3} = \sqrt{2KI''_{K3}} \end{cases} \quad (۳۳-۲)$$

که در آنها:

$F_m$ : نیروی الکترومغناطیسی وارد شده بر هادی‌های فاز در اثر جریان اتصال کوتاه، بر حسب نیوتن

$I_{p2}$ : پیک جریان اتصال کوتاه دو فاز، برحسب کیلوآمپر

$I_{p3}$ : پیک جریان اتصال کوتاه سه فاز، بر حسب کیلوآمپر

$L$ : فاصله بین نقاط نگهدارنده بر حسب متر

$a$ : فاصله بین مراکز هادی‌های دوفاز مجاور هم، برحسب متر.

$I''_{K2}$  و  $I''_{K3}$ : مقادیر مؤثر جریان اتصال کوتاه سه فاز و دو فاز متقارن اولیه، برحسب کیلوآمپر می‌باشند.

مقدار  $K$  نیز در رابطه ۲-۲۰ آمده است

### ۲-۳-۷-۲- تنشهای وارد شده بر شینه‌های سخت

شینه‌های سخت به روشهای مختلفی بر روی نگهدارنده‌های خود قرار می‌گیرند. آنها ممکن است به صورت ثابت و یا ساده و یا ترکیبی از هر دو نگهداری شوند. بسته به نوع و تعداد نگهدارنده‌ها، تنشهای وارد شده بر هادی‌ها و نیروهای اعمال شده به نگهدارنده‌های شینه به ازای جریانهای اتصال کوتاه یکسان، متفاوت خواهد بود. علاوه بر این، معادلات ارائه شده برای تنشها و نیروهای وارد شده بر هادی، انعطاف‌پذیری نگهدارنده‌ها را نیز باید در نظر بگیرند.

تنشهای وارد شده بر هادی‌ها و نیروهای اعمال شده به نگهدارنده‌ها در اثر جریان اتصال کوتاه به نسبت بین فرکانس طبیعی سیستم مکانیکی و سیستم الکتریکی نیز وابسته است. بعنوان مثال در صورت نزدیک بودن فرکانس نوسانات مکانیکی حاصل از اتصال کوتاه به فرکانس طبیعی سیستم مکانیکی، نوسانات مکانیکی بوجود آمده بعلت پدیده تشدید ممکن است افزایش یافته و در صورت عدم وجود میرایی مناسب جهت کاهش نوسانات، این پدیده ممکن است آثار مخربی را به دنبال داشته باشد. اگر نسبت فرکانس طبیعی هادی شینه،  $f_c$ ، به فرکانس سیستم  $f$ ، کوچکتر از  $0.5$  باشد (یعنی  $\frac{f_c}{f} < 0.5$ ) در این صورت نوسانات مکانیکی حاصل از این پدیده کاهش می‌یابند و حداکثر تنش در فازهای بیرونی بوقوع می‌پیوندد. در مورد شینه‌های سخت میزان نیروهای محوری قابل صرفنظر کردن هستند. بر این اساس، نیروهای اثرگذار بر هادی، نیروهای خمشی<sup>۱</sup> هستند و با استفاده از رابطه زیر می‌توان تنش وارد شده بر هادی را بدست آورد:

$$\delta_m = V_\delta \cdot V_r \cdot \beta \frac{F_m \cdot L}{8 \cdot Z} \quad (2-34)$$

که در آن:

$\delta_m$ : تنش خمشی ایجاد شده بر هادی در اثر نیروی حاصل از جریان اتصال کوتاه بین هادیهای اصلی، برحسب نیوتن بر متر مربع.

$L$ : فاصله بین دو نگهدارنده، برحسب متر

$Z$ : مدول مقطع که بر اساس شکل سطح مقطع هادی تعیین می‌گردد. برای هادی‌های سخت لوله‌ای مقدار این کمیت از رابطه زیر

بدست می‌آید:

$$Z = 0.098 \frac{D^4 - d^4}{D} \quad (2-35)$$

که در آن  $D$  قطر خارجی لوله و  $d$  قطر داخلی آن هر دو برحسب متر و  $Z$  مدول مقطع بر حسب متر مکعب می‌باشد.

$F_m$ : نیروی حاصل از جریان اتصال کوتاه بین هادی‌های فاز سیستم، برحسب نیوتن، که با استفاده از معادلات (۲-۳۲) یا (۲-۳۳)

تعیین می‌شود.

$\beta$ : کمیتی بدون بعد است که به تعداد اسپنها و ثابت بودن یا نبودن نگهدارنده‌های واسط بین هادی و مقره‌های اتکایی بستگی دارد.

مقدار این کمیت از طریق جدول (۶-۲) بدست می‌آید [۶].

$V_{\delta}$ ,  $V_T$ : ضرایبی بدون بعد هستند که بر اساس مشخصات دینامیکی شینه تعیین می‌گردند. برای سیستم‌های سه فاز بدون وصل مجدد اتوماتیک، مقدار حاصلضرب آنها برابر یک و برای سیستم‌های سه فاز با وصل مجدد خودکار برابر  $1/8$  در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۶-۲: کمیت‌های  $\alpha$  و  $\beta$  و  $\gamma$  برای آرایشهای مختلف نگهدارنده‌های شینه‌های سخت.

Type of busbar and its clamping condition	Force on support	Main conductor stress	Relevant characteristic frequency
	Factor $\alpha$	Factor $\beta$	Factor $\gamma$
both sides supported	A: 0.5 B: 0.5	1.0	1.57
Single-span beam			
fixed, supported	A: 0.625 B: 0.375	0.73	2.45
both sides fixed	A: 0.5 B: 0.5	0.50	3.56
Continuous beam with multiple supports and $N$ equal or approximately equal support distances			
$N = 2$	A: 0.375 B: 1.25	0.73	2.45
$N \geq 3$	A: 0.4 B: 1.1	0.73	3.56

مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  نشان داده شده در جدول (۶-۲) برای فواصل یکسانی از فاصله نگهدارنده‌ها می‌باشند. با این وجود مادامیکه نسبت طول اسپن‌ها به یکدیگر کمتر از  $0.2$  نباشد، این جدول قابل استفاده می‌باشد. در این حالت نگهدارنده‌های انتهایی نباید تحت نیروی بزرگتر از نیروهای وارد شده بر نگهدارنده‌های میانی قرار گیرد. در این قبیل حالات، مقدار کمیت  $L$  در فرمولهای ارائه شده، برابر طول بزرگترین اسپن قرار داده می‌شود.

در شرایطی که از ثابت بودن یا نبودن نگهدارنده‌های واسط بین هادی و مقره‌های اتکایی اطلاعات مشخصی در دسترس نیست، بدترین حالت ممکنه باید در نظر گرفته شود.

حال با توجه به روابط فوق می‌توان هادی انتخابی را از نظر تحمل تنش ناشی از اتصال کوتاه بررسی نمود. هادی شینه تنش ناشی از اتصال کوتاه را تحمل می‌نماید، اگر رابطه زیر برقرار باشد:

$$\delta_m \leq qR_{p0.2} \quad (۳۶-۲)$$

که در آن:

$\delta_m$ : تنش خمشی وارد شده بر هادی شینه به جهت نیروهای ناشی از اتصال کوتاه، بر حسب نیوتن بر متر مربع.

$R_{p0.2}$ : حداکثر تنش مجاز هادی که به ازاء آن میزان افزایش طول هادی کمتر از ۰/۲ درصد واحد طول می‌باشد. مقدار این کمیت برای هادی‌های با جنسهای مختلف در جدول (۲-۱) ارائه گردیده است. در این جدول مقادیر حداکثر و حداقل این کمیت ارائه شده است و در مواردی که از مقدار واقعی این کمیت برای هادی مورد نظر اطلاعی در دسترس نباشد، می‌بایستی در رابطه (۲-۳۶) از مقدار حداقل این کمیت استفاده گردد [۲].

$q$ : ضریب شکل پذیری<sup>۲</sup> هادی که باتوجه به شکل سطح مقطع هادی مشخص می‌گردد. برای هادی‌های لوله‌ای، مقدار این کمیت بدون بعد از رابطه زیر استخراج می‌گردد:

$$q = 1.7 \frac{1 - (1 - 2 \frac{a'}{D})^3}{1 - (1 - 2 \frac{a'}{D})^4} \quad (۲-۳۷)$$

که در آن  $D$  قطر خارجی لوله و  $a'$  ضخامت جداره لوله می‌باشد.

### ۲-۳-۷-۳- نیروهای وارد شده بر نگهدارنده‌های هادی‌های سخت (مقره‌های اتکایی)

حداکثر نیروی دینامیکی ناشی از اتصال کوتاه که بر نگهدارنده‌های شینه وارد می‌شود، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_d = V_F \cdot V_r \cdot \alpha \cdot F_m \quad (۲-۳۸)$$

که در آن:

$F_m$ : نیروی ناشی از جریان اتصال کوتاه بوده که با استفاده از معادلات (۲-۳۲) یا (۲-۳۳) بدست می‌آید.

$V_F \cdot V_r$ : ضرایب نشان‌دهنده نسبت نیروهای دینامیکی و استاتیکی وارد بر نگهدارنده‌های شینه به جهت اتصال کوتاه می‌باشند. مقدار حداکثر این ضرایب از روابط زیر بدست می‌آیند [۲].

$$V_F \cdot V_r = \begin{cases} 2.7 & \text{اگر } N' \leq 0.37 \\ \frac{1}{N'} & \text{اگر } 0.37 < N' < 1 \\ 1 & \text{اگر } N' \geq 1 \end{cases} \quad (۲-۳۹)$$

برای اتصال کوتاه دو فاز:

$$V_F \cdot V_r = \begin{cases} 2 & \text{اگر } N' \leq 0.5 \\ \frac{1}{N'} & \text{اگر } 0.5 < N' < 1 \\ 1 & \text{اگر } N' \geq 1 \end{cases} \quad (۲-۴۰)$$

که در آن:

$$N' = \frac{\delta_m}{0.8 R_{p0.2}} \quad (۲-۴۱)$$

$\alpha$ : ضریبی است که با توجه به تعداد و نوع نگهدارنده‌ها از جدول (۲-۶) استخراج می‌گردد.

1. Stress corresponding to the yield point  
2. Plasticity factor

### ۲-۳-۷-۴- تنشها و نیروهای وارد شده بر هادی و نگهدارنده‌های شینه‌های سخت بادر نظر گرفتن نوسانات هادی

معادلاتی که در بخشهای (۲-۷-۳-۲) و (۳-۷-۳-۲) ارائه شده، از ضرایب  $V_F$ ،  $V_\delta$  و  $V_T$  استفاده می‌نمایند. این ضرایب طبیعت نوسانی هادی را در محاسبه تنش‌ها و نیروهای وارد شده بر هادی و نگهدارنده‌های آن، در نظر می‌گیرند. حداکثر مقدار ضرایب فوق در بخشهای قبلی ارائه شد. اگر فرکانس طبیعی هادی،  $f_c$ ، در نظر گرفته شود، مقادیر استخراج شده برای تنشها و نیروهای وارد شده بر هادیها و نگهدارنده‌های آن ممکن است نسبت به حالتی که از حداکثر مقدار ضرایب فوق استفاده می‌شود، کوچکتر باشند. اما اگر مقادیر بزرگتری بدست آیند، مقادیر جدید فاقد اعتبار می‌باشند [۶].

فرکانس طبیعی هادی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$f_c = \frac{\gamma}{L^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}} \quad (۲-۴۲)$$

$f_c$ : فرکانس طبیعی هادی، برحسب هرتز

$\gamma$ : ضریبی که با توجه به نوع و تعداد نگهدارنده‌ها مشخص می‌گردد. مقدار این کمیت در جدول (۲-۶) ارائه شده است.

$E$ : مدول الاستیسیته یا مدول یانگ<sup>۱</sup> هادی، بر حسب نیوتن بر متر مربع می‌باشد.

$J$ : ممان اینرسی هادی است که برای هادی‌های لوله‌ای از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$J = 0.049[D^4 - d^4] \quad (۲-۴۳)$$

که در آن  $D$  قطر خارجی لوله و  $d$  قطر داخلی لوله هر دو برحسب متر و  $J$  ممان اینرسی هادی برحسب  $m^4$  می‌باشد.

$m$ : جرم واحد طول هادی بدون در نظر گرفتن لایه یخ، برحسب کیلوگرم بر متر

$L$ : فاصله بین دو نگهدارنده مجاور هم، برحسب متر می‌باشد.

پس از مشخص شدن فرکانس طبیعی شینه،  $f_c$ ، با استفاده از نسبت  $f_c/f$  (که در آن  $f$  فرکانس سیستم برحسب هرتز است) و با

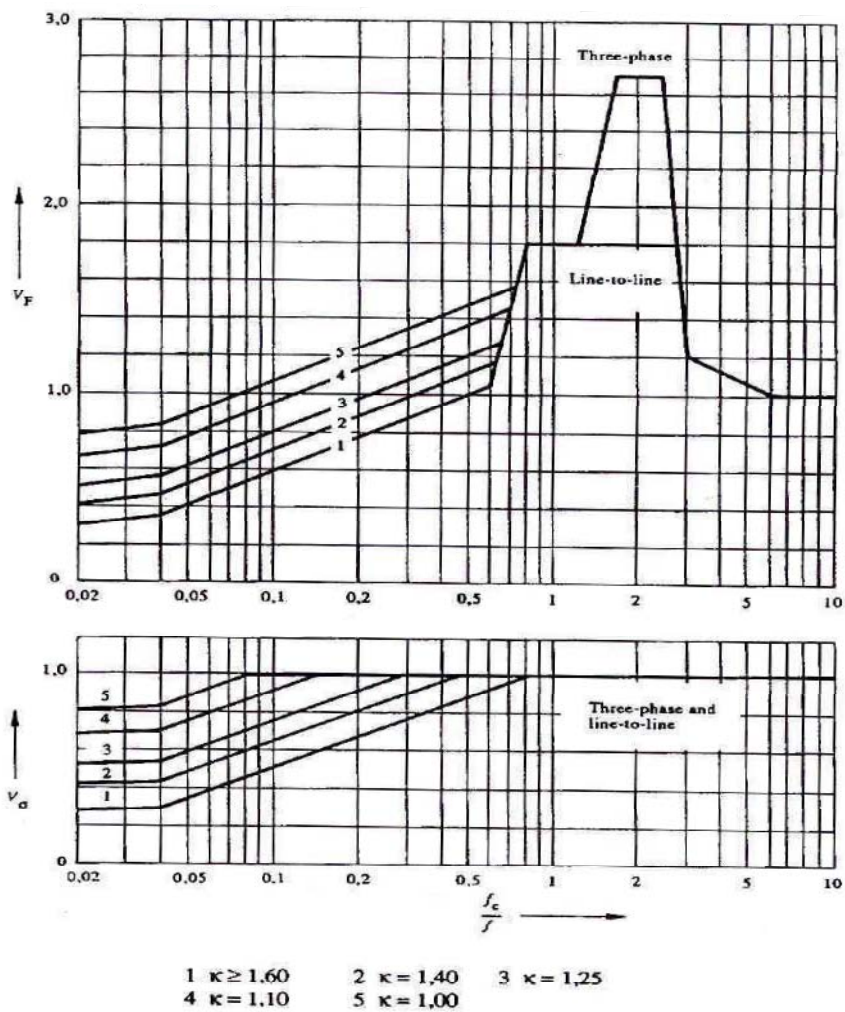
استفاده از شکل (۲-۷) و مقدار ضریب  $K$  (که در تعیین پیک جریان اتصال کوتاه مورد استفاده قرار گرفت) می‌توان ضرایب  $V_F$  و  $V_\delta$

را جهت استفاده در معادلات (۲-۳۳) و (۲-۳۸) استخراج نمود.

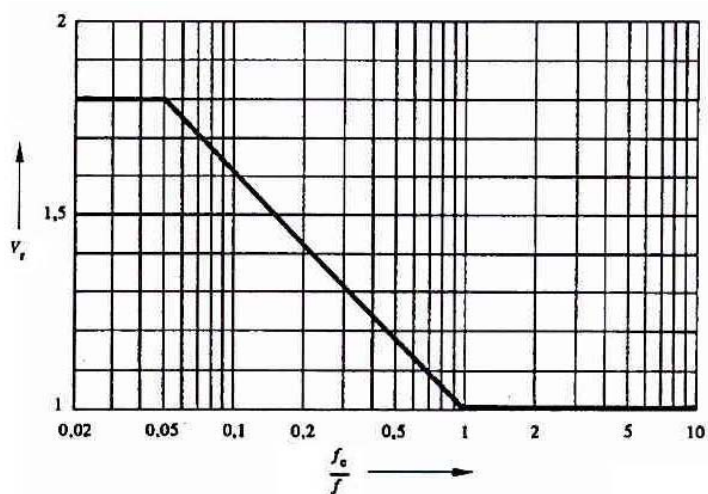
برای سیستم‌هایی که دارای سیستم وصل مجدد اتوماتیک هستند، مقدار  $V_T$  به کمک شکل (۲-۸) بدست می‌آید و در سایر موارد  $V_T$

برابر یک در نظر گرفته می‌شود [۲].





شکل ۲-۷: ضرایب  $V_F$  و  $V_d$  براساس نسبت  $\frac{f_c}{f}$  و پارامتر  $K$  برای اتصال کوتاه‌های سه فاز و دو فاز



شکل ۲-۸: ضریب  $V_r$  برای سیستم‌های سه فاز دارای وصل مجدد خودکار برحسب نسبت  $f_c / f$

چنانچه مدت زمان اتصال کوتاه،  $T_k$ ، کمتر از  $0.1$  ثانیه باشد، میزان تنشها و نیروهای واقعی که بر روی استراکچر شینه (هادی و نگهدارنده‌های آن) وارد می‌شود، ممکن است کمتر از مقادیر محاسبه شده به ازای  $f_c \leq f_t$ ، در نظر گرفته شوند [۲].

### ۲-۳-۸- نیروها و تنشهای ناشی از جریان اتصال کوتاه در شینه‌های نرم

جریان اتصال کوتاه در هادی‌های رشته‌ای موازی، نیروهای کششی در آنها بوجود می‌آورد که این نیروها روی مقره‌ها و کلیه تجهیزات و متعلقاتشان اثر می‌گذارد و همچنین باعث تغییر مکان افقی هادیها (کم شدن فاصله بین آنها) می‌شود. از این رو در هنگام بررسی شینه‌های نرم، علاوه بر استقامت مکانیکی آنها در قبال نیروها و تنشهای حاصل از جریان اتصال کوتاه، برقراری فواصل مجاز الکتریکی بین هادی‌ها نیز باید مد نظر قرار گیرد.

حداکثر نیروهای کششی ناشی از اتصال کوتاه بر روی هادی‌های رشته‌ای، پس از محاسبه پارامترهای مشخصه لازم برای نوع آرایش هادی‌ها و نوع اتصال کوتاه محاسبه می‌گردد. این پارامترها در بخش (۲-۳-۸-۱) معرفی می‌گردند. در یک اسپن بین نیروی کششی  $F_t$  حین اتصال کوتاه و نیروی کششی  $F_f$  بعد از اتصال کوتاه زمانی که هادی به موقعیت خود باز می‌گردد، تفاوت وجود دارد. این نیروها در بخشهای (۲-۳-۸-۲) و (۲-۳-۸-۳) معرفی می‌گردند. در بخش (۲-۳-۸-۴) حداکثر جابجایی افقی اسپن و حداقل فاصله هوایی بین هادی‌ها تعیین می‌گردد و در نهایت در بخش (۲-۳-۸-۵) نیروی کششی  $F_{pi}$  که در اثر نزدیک شدن هادی‌های باندل ایجاد می‌شود، محاسبه می‌گردد.

در مورد هادی‌های رشته‌ای، تنش‌های حاصل از اتصال کوتاه‌های فاز به فاز و اتصال کوتاه‌های سه فاز متقارن تقریباً یکسان می‌باشد. با وجود این، در هنگام خطای فاز به فاز، تاب خوردن هادی نوعاً به گونه‌ای است که باعث کاهش فواصل هوایی می‌گردد (یعنی هنگامی که هادی‌های حامل جریان اتصال کوتاه مجاور، پس از اتصال کوتاه به سوی یکدیگر حرکت می‌کنند). در هنگام اتصال کوتاه سه فاز متقارن، جابجایی هادی میانی بسیار ناچیز می‌باشد. علت این مسئله اینرسی هادی و اعمال نیروی خلاف جهت هم به هادی می‌باشد. بنابراین  $F_t$ ،  $F_f$  و  $b_h$  برای اتصال کوتاه فاز به فاز محاسبه می‌شوند. نیروهای کششی  $F_t$ ،  $F_f$  و  $F_{pi}$  دربرگیرنده نیروهای کششی ایجاد شده بوسیله بارهای مرده<sup>۱</sup> نیز می‌باشند.

محاسباتی که در بخشهای زیر به آنها پرداخته می‌شود، باید بر اساس نیروی کشش استاتیکی،  $F_{st}$ ، هادی در حداقل دمای محلی و همچنین بر اساس نیروی کششی استاتیکی هادی در حداکثر دمای کاری هادی انجام گیرند. برای هر کدام از نیروهای کششی، بدترین وضعیت بدست آمده باید برای محاسبات در نظر گرفته شود.

#### توجه:

- معادلات ارائه شده در بندهای آتی قابل استفاده برای اسپن‌هایی هستند که طول آنها تقریباً از ۶۰ متر بیشتر نباشد و نسبت انحراف عمودی به طول اسپن تقریباً بیش از ۸ درصد نباشد. برای اسپن‌های بلندتر از این مقدار، جابجایی هادیها ممکن است به تنشهای کمتری، نسبت به مقادیر بدست آمده از معادلات، منجر گردد. اگر این مطلب توسط آزمونها یا محاسبه تصدیق گردد، آنگاه بارهای کوچکتری را می‌توان در نظر گرفت.
- معادلات ارائه شده در بندهای آتی قابل استفاده برای اسپن‌های افقی هستند که بصورت آرایش پهلو به پهلو قرار گرفته‌اند. سایر آرایشها، ممکن است به نیروهای کششی کوچکتر منجر گردند. با این وجود به جهت پیچیدگی محاسبات مربوط به این قبیل آرایشها، پیشنهاد می‌شود که از معادلات ارائه شده در بندهای آتی برای این قبیل آرایشها نیز استفاده گردد.
- سهم اجرام متمرکز اضافی داخل اسپن باید در نیروی وزنی اسپن در نظر گرفته شود.

## ۲-۳-۸-۱- پارامترهای مشخصه

مقصود از هادی‌های اصلی، هادی‌های منفرد و یا آرایش باندلی از هادی‌ها می‌باشد که در آن هادی‌ها باندل به فاصله یکسانی از یکدیگر و بر روی محیط یک دایره فرضی قرار گرفته‌اند. در این حالت فاصله بین فازها فاصله بین مراکز این دواير فرض می‌شود.

$$\left\{ \begin{array}{l} F' = 0.15 \frac{(I_{k3}'' )^2}{a} \cdot \frac{L_c}{L} \\ F' = 0.2 \frac{(I_{k2}'' )^2}{a} \cdot \frac{L_c}{L} \end{array} \right. \quad (۴۴-۲)$$

که در آن:

$F'$ : نیروی الکترومغناطیسی در واحد طولی که بر روی هادی‌های اصلی اثر می‌نماید، برحسب نیوتن بر متر.

$I_{k3}''$ : مقدار مؤثر مؤلفه متقارن اولیه جریان اتصال کوتاه سه فاز، برحسب کیلوآمپر

$I_{k2}''$ : مقدار مؤثر مؤلفه متقارن اولیه جریان اتصال کوتاه دو فاز، بر حسب کیلوآمپر

$a$ : فاصله بین مراکز هادی‌های دو فاز، برحسب متر

$L$ : طول اسپن مربوط به هادی‌های اصلی، برحسب متر

$L_c$ : طولی از اسپن مربوط به هادی‌های اصلی که حامل جریان الکتریکی باشد. این طول در واقع برابر  $L_c = L - 2L_i$  است که در آن  $2L_i$  کل طول زنجیره مقره‌هایی می‌باشد که هادی اصلی را از دو طرف به گنتری‌ها متصل می‌نمایند، (برحسب متر). چنانچه هادی‌ها بدون زنجیره مقره استفاده شده باشند، مانند اتصالات مابین تجهیزات،  $L_c = L$  در نظر گرفته می‌شود.

نسبت بین نیروی الکترومغناطیسی در شرایط اتصال کوتاه به نیروی جاذبه وارد شده بر هادی پارامتر مهمی می‌باشد که توسط رابطه زیر معین می‌گردد\*:

$$r = \frac{F'}{nm'_s g_n} \quad (۴۵-۲)$$

که در آن:

$r$ : نسبت بین نیروی الکترومغناطیسی اعمال شده به هادی در شرایط اتصال کوتاه به نیروی جاذبه وارد بر هادی می‌باشد.

$n$ : تعداد هادی‌های باندل

$m'_s$ : جرم واحد طول هادیهای باندل (یا هادی‌های اصلی، اگر  $n=1$  باشد)، بر حسب کیلوگرم بر متر

$g_n$ : مقدار قراردادی شتاب جاذبه زمین که برابر  $9/81$  متر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

$F'$ : نیروی الکترومغناطیسی ناشی از اتصال کوتاه بر واحد طول هادی اصلی، که از رابطه (۴۴-۲) بدست می‌آید.

با استفاده از نسبت فوق زاویه نیروهای متوجه اثرگذار بر هادی در شرایط اتصال کوتاه،  $\delta_1$ ، از معادله زیر تعیین می‌گردد:

$$\delta_1 = \text{Arc tan } r \quad (۴۶-۲)$$

\* روش محاسباتی که در بندهای آتی ارائه می‌گردد، سهم مولفه آپریودیک جریان اتصال کوتاه را در ایجاد تنش‌های بوجود آمده در نظر نمی‌گیرد. این مسئله در صورتیکه مدت زمان جریان اتصال کوتاه کمتر از  $0/1$  ثانیه باشد، ممکن است دارای اثر قابل توجهی باشد. در اینگونه شرایط روش ارائه شده در مرجع [۱۴] باید دنبال گردد.

انحراف عمودی معادلی که در شرایط ایستا در وسط هادی بوقوع می‌پیوندد، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$b_c = \frac{nm_s' g_n L^2}{8F_{st}} \quad (۴۷-۲)$$

که در این رابطه  $F_{st}$  نیروی کشش استاتیک هادی بر حسب نیوتن می‌باشد.

مدت زمان لازم برای طی هر تناوب از نوسانات بوجود آمده در هادی،  $T$ ، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T = 2\pi \sqrt{0.8 \frac{b_c}{g_n}} \quad (۴۸-۲)$$

این مدت زمان، مربوط به زوایای کوچکی از تاب خوردن هادی بوده که جریان اتصال کوتاه از هادی عبور نمی‌نماید. در هنگام عبور جریان اتصال کوتاه از هادی‌ها، مدت زمان منتجه برای طی هر تناوب از نوسانات اعمال شده، بوسیله رابطه زیر مشخص

می‌شود:

$$T_{res} = \frac{T}{\sqrt[4]{1+r^2} \left[ 1 - \frac{\pi^2}{64} \left( \frac{\delta_1}{90} \right)^2 \right]} \quad (۴۹-۲)$$

که در آن:

$T_{res}$ : مدت زمان منتجه برای طی هر تناوب از نوسانات هادی در شرایط اتصال کوتاه برحسب ثانیه.

در رابطه فوق  $\delta_1$  بر حسب درجه و  $T$  نیز برحسب ثانیه می‌باشد.

میزان سختی  $N^1$ ، از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$N = \frac{1}{SL} + \frac{1}{nE_s A_s} \quad (۵۰-۲)$$

که در آن:

$N$ : میزان سختی نگهدارنده هادی‌های رشته‌ای، بر حسب یک بر نیوتن.

$S$ : ثابت فنریت نگهدارنده هادی‌های رشته‌ای، برحسب  $\frac{N}{m}$ . اگر مقدار دقیق این کمیت مشخص نباشد، مقدار  $S = 10^5 N/m$  را

می‌بایستی برای هادی‌های لختی<sup>۲</sup> که نیروهای خمشی را بر روی نگهدارنده‌های مقررهما اعمال می‌کنند، استفاده نمود.

$E_s$ : مدول یانگ حقیقی که از رابطه (۵۱-۲) بدست می‌آید، بر حسب  $\frac{N}{m^2}$ .

$A_s$ : سطح مقطع هادی اصلی یا هادی باندل، بر حسب متر مربع می‌باشد.

$$E_s = \begin{cases} E \left[ 0.3 + 0.7 \sin \left( \frac{F_{st}}{nA_s \delta_{fin}} 90^\circ \right) \right] & \text{برای } \frac{F_{st}}{nA_s} \leq \delta_{fin} \\ E & \text{برای } \frac{F_{st}}{nA_s} > \delta_{fin} \end{cases} \quad (۵۱-۲)$$

که در آن:

$E$ : مدول نهایی یانگ برای هادی‌های اصلی، برحسب  $\frac{N}{m^2}$

$\delta_{fin}$ : کمترین مقدار تنش در شرایطی است که مدول یانگ ثابت است، مقدار این کمیت برابر  $10^6 \times 5$  در نظر گرفته می‌شود.

فاکتور تنش هادی اصلی،  $\zeta$ ، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\zeta = \frac{(ng_n m_s' L)^2}{24F_{st}^3 N} \quad (۵۲-۲)$$

که در آن  $\delta_k$  کمیتی بدون بعد می‌باشد.

درحین اتصال کوتاه و یا بعد از آن، هادی‌های رشته‌ای شروع به تاب خوردن می‌کنند، که زاویه خروج از وضعیت حالت مانای آنها از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\delta_k = \begin{cases} \delta_1 \left[ 1 - \cos \left( \frac{T_{kl}}{T_{res}} 360 \right) \right] & \text{برای } 0 \leq \frac{T_{kl}}{T_{res}} \leq 0.5 \\ 2\delta_1 & \text{برای } \frac{T_{kl}}{T_{res}} > 0.5 \end{cases} \quad (53-2)$$

که در آن:

$\delta_k$ : زاویه خروج از وضعیت حالت مانای اسپن هادی‌های اصلی درحین اتصال کوتاه و یا بعد از آن، برحسب درجه  
 $T_{kl}$ : مدت زمان برقراری اولین اتصال کوتاه، بر حسب ثانیه می‌باشد.

چنانچه مدت زمان برقراری اولین اتصال کوتاه،  $T_{kl}$ ، مشخص باشد، حداکثر زاویه انحراف اسپن،  $\delta_m$ ، را می‌توان با استفاده از شکل (۹-۲) و یا با استفاده از روابط (۵۴-۲)، (۵۶-۲) و (۵۵-۲) بدست آورد. در صورتیکه مدت زمان  $T_{kl}$  مشخص نباشد و یا اگر  $T_{kl}$  بزرگتر از مقدار  $0.4T$  باشد، آنگاه باید از مقدار  $0.4T$  به جای  $T_{kl}$  در معادلات (۵۳-۲) و (۶۱-۲) استفاده گردد.

در حین اتصال کوتاه و یا بعد از آن، حداکثر زاویه انحرافی که اسپن هادی میتواند تا آن زاویه نوسان یابد، از روابط زیر بدست می‌آید:

$$K' = \begin{cases} 1 - r \sin \delta_k & 0 \leq \delta_k \leq 90^\circ & \text{برای} \\ 1 - r & \delta_k > 90^\circ & \text{برای} \end{cases} \quad (54-2)$$

$$\delta_m = \begin{cases} 1.25 \text{Arccos} K' & 0.766 \leq K' \leq 1 & \text{برای} \\ 10^\circ + \text{Arccos} K' & -0.985 \leq K' \leq 0.766 & \text{برای} \\ 180^\circ & K' < -0.985 & \text{برای} \end{cases} \quad (55-2)$$

توجه:

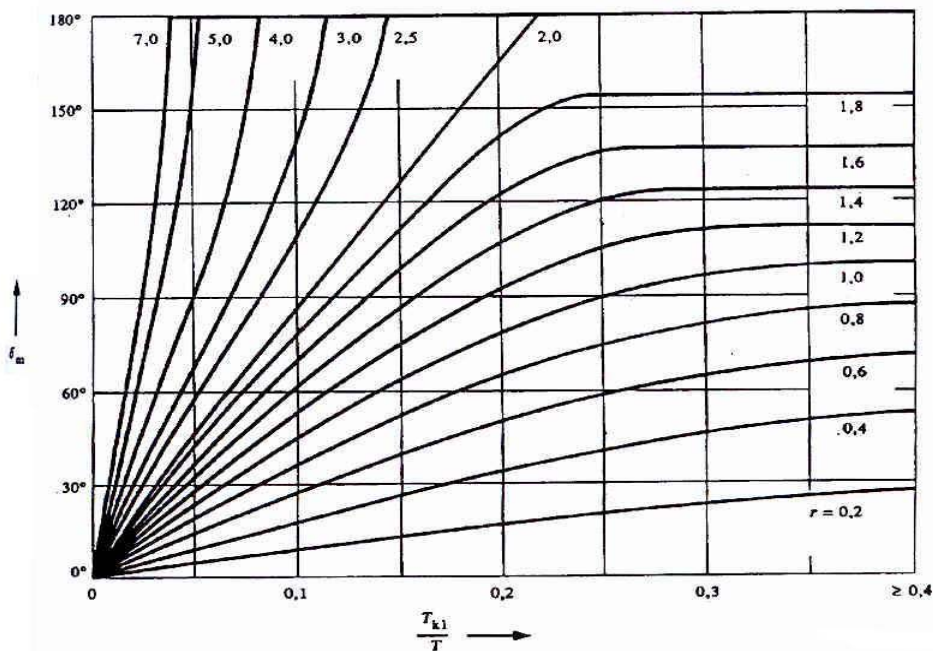
- زاویه نوسان محاسبه شده  $\delta_m$  حداکثر مقداری است که در بدترین شرایط در مدت زمان اتصال کوتاه برابر یا کمتر از  $T_{kl}$  می‌تواند بوقوع بپیوندد.

### ۲-۳-۸-۲- نیروی کششی وارد شده بر هادی در حین اتصال کوتاه ( $F_t$ )

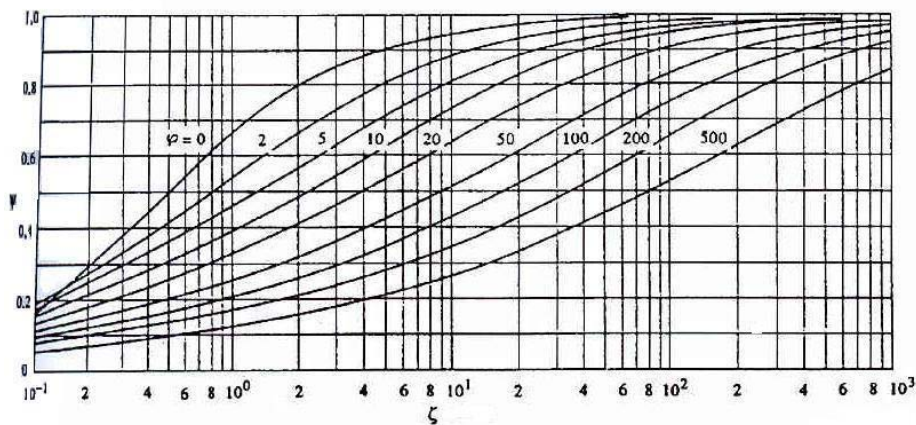
پارامتر بار  $\phi$  از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\phi = \begin{cases} 3(\sqrt{1+r^2} - 1) & T_{kl} \geq \frac{T_{res}}{4} & \text{برای} \\ 3(r \sin \delta_k + \cos \delta_k - 1) & T_{kl} < \frac{T_{res}}{4} & \text{برای} \end{cases} \quad (56-2)$$

فاکتور  $\Psi$  که بصورت تابعی از  $\zeta$  و  $\phi$  می باشد با استفاده از شکل (۲-۱۰) بدست می آید:



شکل ۲-۹: حداکثر زاویه انحراف هادی،  $\delta_m$ ، برای مدت زمان معین اتصال کوتاه  $T_{k1}$ .



شکل ۲-۱۰: فاکتور  $\Psi$  برای محاسبه نیروی کششی وارد شده بر هادی

مقدار فاکتور  $\Psi$  از حل حقیقی معادله زیر به ازای  $0 \leq \Psi \leq 1$ ، نیز امکان پذیر می باشد:

$$\phi^2 \Psi^3 + \phi(2 + \zeta)\Psi^2 + (1 + 2\zeta)\Psi - \zeta(2 + \phi) = 0 \tag{۵۷-۲}$$

نیروی کششی که در جین اتصال کوتاه و در اثر تاب خوردن هادی رو به خارج به وجود می آید، از رابطه زیر بدست می آید:

$$F_t = \begin{cases} F_{st}(1 + \phi\Psi) & n = 1 & \text{برای هادیهای منفرد،} \\ 1.1F_{st}(1 + \phi\Psi) & n \geq 2 & \text{برای هادیهای بانبدلی،} \end{cases} \tag{۵۸-۲}$$

۲-۳-۸-۳- نیروی کششی وارده شده بر هادی پس از رفع اتصال کوتاه، ( $F_f$ )

در پایان اتصال کوتاه، هادی رشته‌ای که تحت اثر نیروی حاصل از اتصال کوتاه قرار داشت، رها شده و بعد از چند نوسان به حالت اولیه خود برمی‌گردد. حداکثر مقدار  $F_f$  زمانی قابل توجه خواهد بود که  $r > 0.6$  و  $\delta_m \geq 70^\circ$  باشد. در این قبیل شرایط، نیروی حاصل از رها شدن هادی از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$F_f = 1.2F_{st} \sqrt{1 + 8\zeta \frac{\delta_m}{180^\circ}} \quad (۵۹-۲)$$

توجه:

- اگر طول اسپن کوچکتر از ۱۰۰ برابر هادی باشد نیروی محاسبه شده از (۵۹-۲) بسیار بزرگتر از مقدار نیروی واقعی خواهد بود.

۲-۳-۸-۴- جابجایی افقی هادی،  $b_h$ ، و حداقل فاصله هوایی،  $a_{min}$ 

پدر اثر اتصال کوتاه، تغییر مکان افقی در اسپن هادی‌ها رخ می‌دهد که باعث کم شدن فاصله بین هادی‌ها می‌گردد. نحوه محاسبه این جابجایی و حداقل فاصله هوایی به شرح ذیل می‌باشد.

انبساط الاستیک<sup>۱</sup> از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\varepsilon_{ela} = N(F_t - F_{st}) \quad (۶۰-۲)$$

که در آن  $\varepsilon_{ela}$ ، انبساط الاستیک بوده که فاقد بعد است و سایر کمیتها مشابه قبل تعریف می‌گردند.

انبساط حرارتی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\varepsilon_{th} = \begin{cases} C_{th} \left[ \frac{I_{k3} \cdot 10^3}{nA_s} \right]^2 \cdot \frac{T_{res}}{4} & T_{kl} \geq \frac{T_{res}}{4} & \text{برای} \\ C_{th} \left[ \frac{I_{k3} \cdot 10^3}{nA_s} \right]^2 \cdot T_{kl} & T_{kl} < \frac{T_{res}}{4} & \text{برای} \end{cases} \quad (۶۱-۲)$$

که در آن:

$\varepsilon_{th}$ : انبساط حرارتی می‌باشد و کمیتی بدون بعد است.

$C_{th}$ : ثابت ماده هادی برحسب  $\frac{m^4}{A^2 \cdot sec}$  می‌باشد. مقدار  $C_{th}$  بصورت زیر انتخاب می‌گردد:

- برای هادی‌های آلومینیومی، آلیاژ آلومینیوم و هادی‌های آلومینیوم- فولاد (ACSR) با نسبت سطح مقطع  $\frac{AL}{St} > 6$  (که منظور از  $AL$  و  $St$  به ترتیب آلومینیوم و فولاد می‌باشد) مقدار  $C_{th}$  برابر با  $0.27 \times 10^{-18} \frac{m^4}{A^2 S}$  در نظر گرفته می‌شود.

- برای هادی‌های آلومینیوم- فولاد (ACSR) با نسبت سطح مقطع  $\frac{AL}{St} \leq 6$  مقدار  $C_{th}$  برابر با  $0.17 \times 10^{-18} \frac{m^4}{A^2 S}$  در نظر گرفته می‌شود.

فاکتور ازدیاد طول حرارتی  $C_D$ <sup>۱</sup> که جهت محاسبه میزان افزایش انحراف عمودی هادی (به جهت انبساطهای حرارتی و انبساط الاستیک) به کار می‌رود، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C_D = \sqrt{1 + \frac{3}{8} \left(\frac{L}{b_c}\right)^2 (\epsilon_{ela} + \epsilon_{th})} \quad (۶۲-۲)$$

فاکتور فرم  $C_F$  که جهت محاسبه میزان افزایش ممکن در انحراف عمودی دینامیکی هادی (به جهت تغییر در شکل منحنی هادی) به کار می‌رود، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C_F = \begin{cases} 1.05 & r \leq 0.8 & \text{برای} \\ 0.97 + 0.1r & 0.8 < r < 1.8 & \text{برای} \\ 1.15 & r \geq 1.8 & \text{برای} \end{cases} \quad (۶۳-۲)$$

حال با استفاده از پارامترهای فوق می‌توان حداکثر جابجایی افقی اسپن هادی،  $b_h$ ، را که به جهت اتصال کوتاه بوجود آمده است، با استفاده از معادلات زیر بدست آورد:

- برای اسپن‌های شامل هادی‌های لخت و اسپن‌های فاقد زنجیره مقره (همانند اتصالات مابین تجهیزات)  $L_c=L$  خواهد بود و  $b_h$  از رابطه زیر، (برحسب متر) بدست می‌آید:

$$b_h = \begin{cases} C_F C_D b_c & \delta_m \geq 90^\circ \\ C_F C_D b_c \sin \delta_m & \delta_m < 90^\circ \end{cases} \quad (۶۴-۲)$$

- برای اسپن‌های شامل هادی‌های رشته‌ای متصل به زنجیره مقره‌های کششی،  $L_c = L - 2L_i$  خواهد بود و  $b_h$  از رابطه زیر (برحسب متر) بدست می‌آید:

$$b_h = \begin{cases} C_F C_D b_c \sin \delta_1 & \delta_m \geq \delta_1 \\ C_F C_D b_c \sin \delta_m & \delta_m < \delta_1 \end{cases} \quad (۶۵-۲)$$

در معادلات فوق، کمیت‌ها مشابه قبل تعریف می‌گردند.

در اثر اتصال کوتاه، هادی‌های هر فاز در آرایشی که هادی‌های سه فاز در یک صفحه افقی قرار گرفته‌اند در نقطه میانی اسپن و در بدترین شرایط در دایره‌ای به شعاع  $b_h$  در اطراف خط مستقیمی که بوسیله اتصال دو نقطه لنگر رسم شده است، جابجا می‌شوند. در بدترین حالت ممکن، یعنی در هنگام اتصال کوتاه در دو فاز مجاور هم و در حالتی که هادی‌ها به سمت یکدیگر نوسان می‌یابند، حداقل فاصله بین هادی‌ها در این شرایط،  $a_{min}$ ، از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$a_{min} = a - 2b_h \quad (۶۶-۲)$$

این فاصله نباید از ۵۰ درصد حداقل فاصله مجاز فاز - فاز پست کوچکتر باشد [۶].

حداقل فاصله مجاز فاز - فاز برای سطوح ولتاژی مختلف، براساس سطوح استقامت عایقی تجهیزات در مقابل امواج ضربه صاعقه و کلیدزنی در جدول (۷-۲) ارائه شده است [۶ و ۱۶].



جدول ۲-۷: حداقل فاصله مجاز هادی - هادی برای سطوح ولتاژی پستهای فشار قوی ایران براساس استاندارد IEC-60071-1

ولتاژ نامی پست [kV]	سطح استقامت عایقی تجهیزات پست در برابر موج صاعقه [kV]	سطح استقامت عایقی تجهیزات پست در برابر موج کلیدزنی [kV]	حداقل فاصله مجاز فاز به فاز [mm]
۶۳ و ۶۶	۳۲۵	—	۶۳۰
۱۳۲	۴۵۰	—	۹۰۰
	۵۵۰	—	۱۱۰۰
	۶۵۰	—	۱۳۰۰
۲۳۰	۷۵۰	—	۱۵۰۰
	۸۵۰	—	۱۷۰۰
	۹۵۰	—	۱۹۰۰
	۱۰۵۰	—	۲۱۰۰
۴۰۰	۱۱۷۵-۱۳۰۰	۱۴۲۵ فاز به فاز	۳۱۰۰
	۱۳۰۰-۱۴۲۵	۱۵۷۵ فاز به فاز	۳۶۰۰

### ۲-۳-۸-۵- نیروی کششی $F_{pi}$ ناشی از نزدیک شدن هادیهای باندل

چنانچه هادیهای اصلی به صورت باندلی باشد، در اثر عبور جریان اتصال کوتاه از هادیهای باندل یک نیروی الکترومغناطیسی که مایل به نزدیک کردن باندل و جذب هادیهای باندل به سوی یکدیگر است به وجود می آید. این نیرو با  $F_{pi}$  نشان داده می شود و در این بخش روش محاسبه این نیرو برای آرایشهای باندلی متداول، که در آن هادیهای باندل بر روی محیط یک دایره قرار گرفته اند و هادیهای مجاور هم به فاصله یکسان از هم،  $a_s$ ، قرار گرفته اند، ارائه می گردد.

اگر فاصله هوایی بین هادیهای باندل و آرایش فاصله دهنده ها<sup>۱</sup> به گونه ای باشد که در هنگام اتصال کوتاه هادیهای باندل به طور مؤثری با یکدیگر برخورد نمایند، نیروی کششی حاصل از نزدیک شدن هادیهای باندل،  $F_{pi}$ ، ممکن است در مقابل نیروی کششی حین اتصال کوتاه،  $F_t$ ، برای آرایشهای متداولی از باندلها (حداکثر تا چهار هادی در باندل) صرف نظر گردد.

هادیهای باندل زمانی به طور مؤثر با یکدیگر برخورد می نمایند که فاصله هوایی بین مراکز هادیهای باندل مجاور هم ( $a_s$ ) و

فاصله بین دو فاصله دهنده مجاور هم ( $L_s$ )، یکی از معادلات زیر را برآورده نماید:

$$\begin{cases} \frac{a_s}{D_s} \leq 2.0 \\ L_s \geq 50a_s \end{cases} \quad (۶۷-۲)$$

$$\begin{cases} \frac{a_s}{D_s} \leq 2.5 \\ L_s \geq 70a_s \end{cases} \quad (۶۸-۲)$$

که در آنها  $D_s$ ، قطر هادیهای استفاده شده در باندل، برحسب متر می باشد.  $L_s$  و  $a_s$  نیز هر دو برحسب متر هستند.

چنانچه آرایش باندلی استفاده شده در روابط فوق صدق نکند، می‌بایستی با استفاده از معادلات زیر،  $F_{pi}$  را محاسبه نمود.

نیروی حاصل شده مابین هادی‌های باندل، ناشی از جریان اتصال کوتاه،  $F_v$ ، از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$F_v = 0.2(n-1) \left( \frac{I''_{k3}}{n} \right)^2 \frac{L_s}{a_s} \cdot \frac{v_2}{v_3} \quad (۶۹-۲)$$

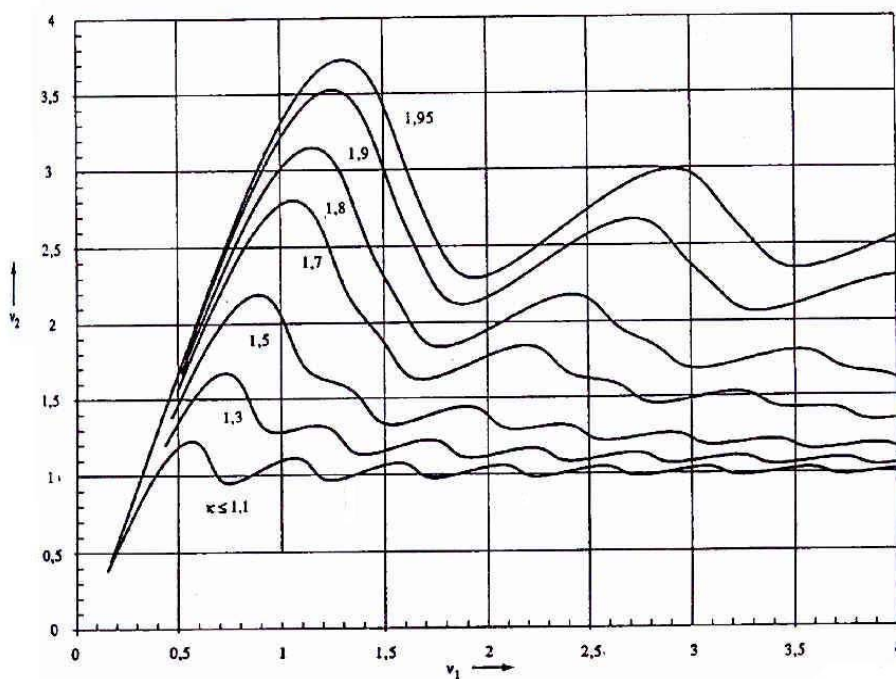
که در آن:

$F_v$  برحسب نیوتن،  $I''_{k3}$  برحسب کیلو آمپر و سایر کمیته‌ها مشابه قبل تعریف می‌شوند.

با استفاده از فاکتور  $v_1$  که از رابطه زیر بدست می‌آید و با استفاده از ضریب  $K$  (که برای بدست آوردن پیک جریان اتصال کوتاه استفاده شد) بعنوان پارامتر، از شکل (۱۱-۲) مقدار فاکتور  $v_2$  تعیین می‌گردد.

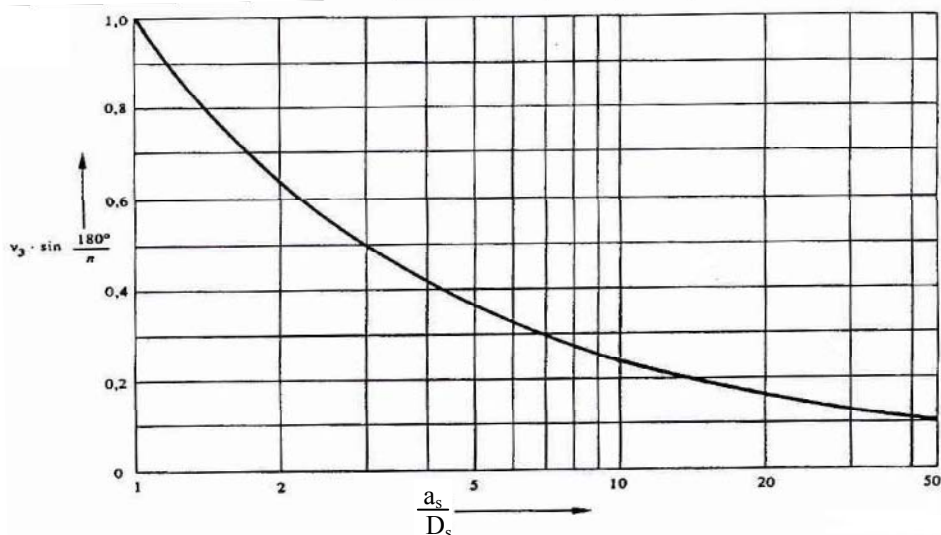
$$v_1 = \frac{f}{\sin \frac{180}{n}} \sqrt{\frac{(a_s - D_s) m'_s}{0.2 \left( \frac{I''_{k3}}{n} \right)^2 \cdot \frac{n-1}{a_s}}} \quad (۷۰-۲)$$

که در آن  $f$  فرکانس سیستم برحسب هرتز بوده و فاکتور  $v_3$  نیز از شکل (۱۲-۲) بدست می‌آید.



شکل ۱۱-۲: فاکتور  $v_2$  به صورت تابعی از  $v_1$  و پارامتر  $K$

\* رابطه (۶۹-۲) ساده شده رابطه  $F_v = (n-1) \frac{\mu_0}{2\pi} \left( \frac{I''_{k3}}{n} \right)^2 \frac{L_s}{a_s} \cdot \frac{v_2}{v_3}$  می‌باشد که در این رابطه  $I''_{k3}$  بر حسب آمپر می‌باشد.



شکل ۲-۱۲: فاکتور  $v_3 \sin \frac{180}{n}$  به صورت تابعی از  $\frac{a_s}{D_s}$

اگر جریان اتصال کوتاه اولیه در هنگام اتصال کوتاه فاز به زمین،  $I''_{k1}$ ، بزرگتر از جریان اتصال کوتاه سه فاز متقارن  $I''_{k3}$  باشد، در روابط (۲-۶۹)، (۲-۷۰)، (۲-۷۶) و (۲-۷۹) می‌بایستی به جای  $I''_{k3}$  از  $I''_{k1}$  استفاده نمود.

فاکتورهای کششی که مشخص کننده نزدیک شدن هادی‌های باندل می‌باشد بصورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$\varepsilon_{st} = 1.5 \frac{F_{st} L_s^2 N}{(a_s - D_s)^2} \left( \sin \frac{180^\circ}{n} \right)^2 \quad (2-71)$$

$$\varepsilon_{pi} = 0.375n \frac{F_v L_s^3 N}{(a_s - D_s)^3} \left( \sin \frac{180^\circ}{n} \right)^3 \quad (2-72)$$

کمیت‌های فوق فاقد بعد بوده و سایر کمیتها مشابه قبل تعریف می‌گردند.

پارامتر  $j$  که از رابطه زیر بدست می‌آید، مشخص کننده وضعیت هادی‌های باندل در هنگام عبور جریان اتصال کوتاه از آنها می‌باشد:

$$j = \sqrt{\frac{\varepsilon_{pi}}{1 + \varepsilon_{st}}} \quad (2-73)$$

اگر  $j \geq 1$  باشد به این معنی است که در حین اتصال کوتاه، هادی‌ها با یکدیگر برخورد می‌نمایند و اگر  $j < 1$  باشد به این معنی است که در حین اتصال کوتاه هادی‌های باندل به یکدیگر نزدیک می‌شوند ولی با یکدیگر برخورد نمی‌کنند. متناسب با مقدار بدست آمده برای  $j$  روش مشخصی جهت محاسبه  $F_{pi}$  به کار گرفته می‌شود.

- نیروی کششی  $F_{pi}$  در حالتی که هادی‌های باندل با یکدیگر برخورد می‌کنند، ( $j \geq 1$ ):

اگر  $j \geq 1$ ، نیروی کششی  $F_{pi}$ ، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_{pi} = F_{st} \left(1 + \frac{V_e}{\epsilon_{st}} \xi\right) \quad (۷۴-۲)$$

که پارامتر  $\xi$  با استفاده از حل معادله زیر با  $j \leq \xi \leq j^{2/3}$  و یا با استفاده از شکل (۱۳-۲) بدست می آید.

$$\xi^3 + \epsilon_{st} \xi^2 - \epsilon_{pi} = 0 \quad (۷۵-۲)$$

پارامتر  $V_e$  نیز با استفاده از معادله زیر تعیین می گردد:

$$V_e = \frac{1}{2} + \left[ \frac{9}{8} n(n-1) \frac{\mu_o}{2\pi} \left(\frac{I_{k3}''}{n}\right)^2 N.v_2 \left(\frac{L_s}{a_s - D_s}\right)^4 \frac{(\sin \frac{180}{n})^4}{\xi^3} \left\{ 1 - \frac{\arctan \sqrt{v_4}}{\sqrt{v_4}} \right\} - \frac{1}{4} \right]^{1/2} \quad (۷۶-۲)$$

که در آن  $I_{k3}''$  مقدار موثر مؤلفه متقارن اولیه جریان اتصال کوتاه سه فاز بر حسب آمپر و بقیه کمیتها مشابه قبل تعریف می شوند و فاکتور  $v_4$  نیز از رابطه زیر بدست می آید:

$$v_4 = \frac{a_s - D_s}{D_s} \quad (۷۷-۲)$$

- نیروی کششی  $F_{pi}$  در حالتی که هادی های باندل با یکدیگر برخورد نمی کنند، ( $j < 1$ ):

اگر  $j < 1$  باشد نیروی کششی  $F_{pi}$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$F_{pi} = F_{st} \left(1 + \frac{V'_e}{\epsilon_{st}} \eta^2\right) \quad (۷۸-۲)$$

که در آن:

فاکتور  $\eta$  با استفاده از یکی از شکل های (۱۴-۲)، (۱۵-۲) یا (۱۶-۲) و براساس پارامتر  $\frac{a_s}{D_s}$  بدست می آید.

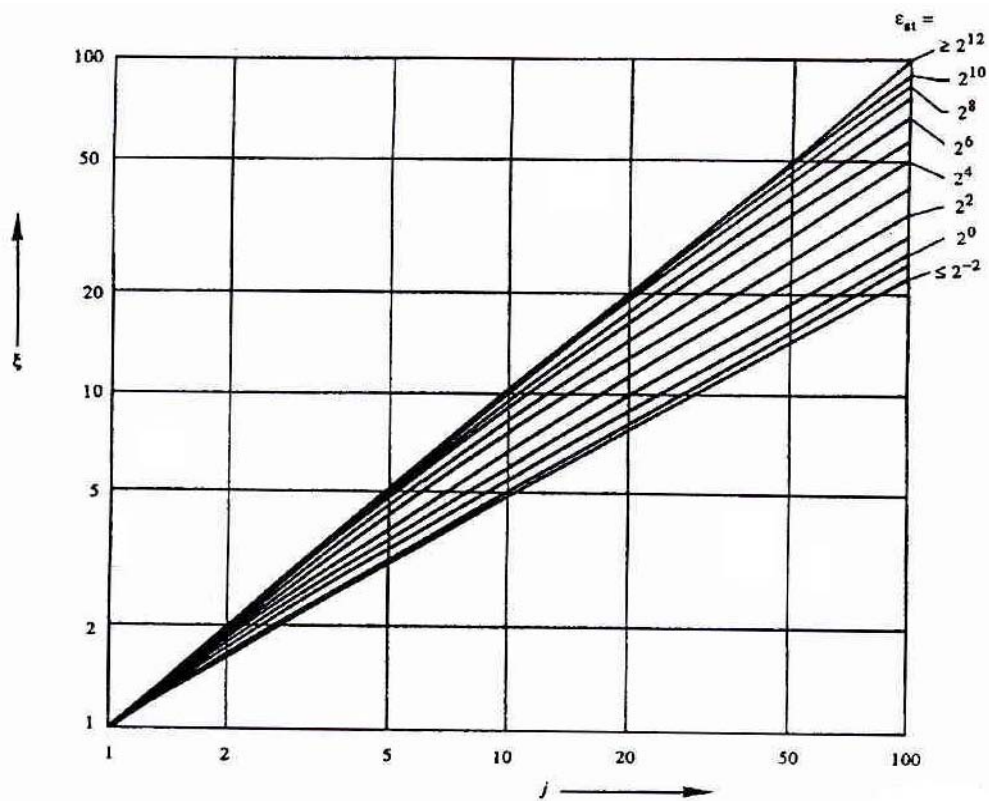
فاکتور  $V'_e$  نیز از رابطه زیر بدست می آید:

$$V'_e = \frac{1}{2} + \left[ \frac{9}{8} n(n-1) \frac{\mu_o}{2\pi} \left(\frac{I_{k3}''}{n}\right)^2 N.v_2 \left(\frac{L_s}{a_s - D_s}\right)^4 \frac{(\sin \frac{180}{n})^4}{\eta^4} \left\{ 1 - \frac{\arctan \sqrt{v'_4}}{\sqrt{v'_4}} \right\} - \frac{1}{4} \right]^{1/2} \quad (۷۹-۲)$$

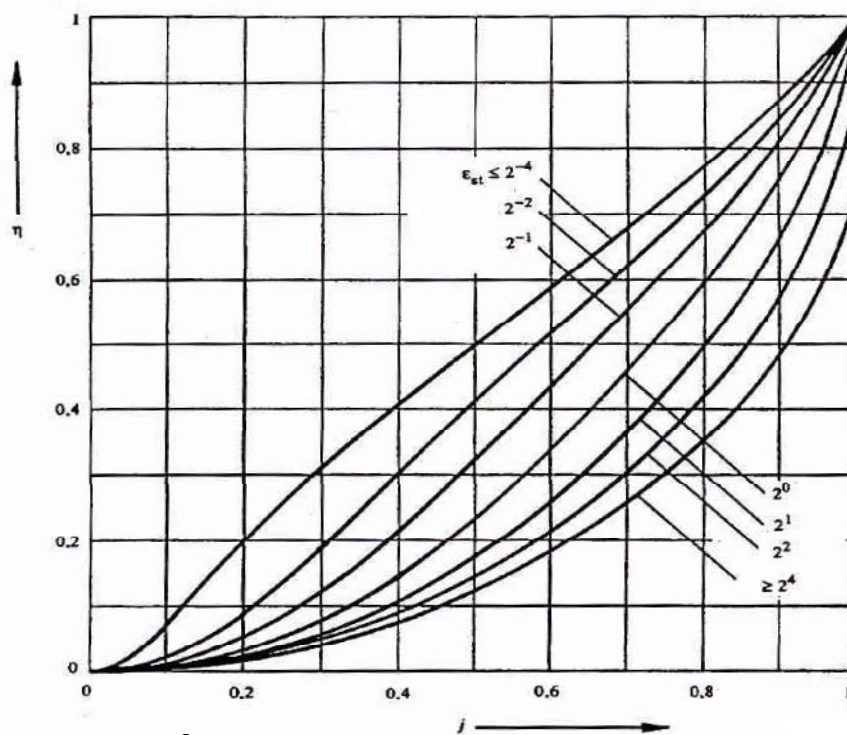
که در آن  $I_{k3}''$  مقدار موثر مؤلفه متقارن اولیه جریان اتصال کوتاه سه فاز بر حسب آمپر و بقیه کمیتها مشابه قبل تعریف می شوند و

فاکتور  $v'_4$  نیز از رابطه زیر بدست می آید:

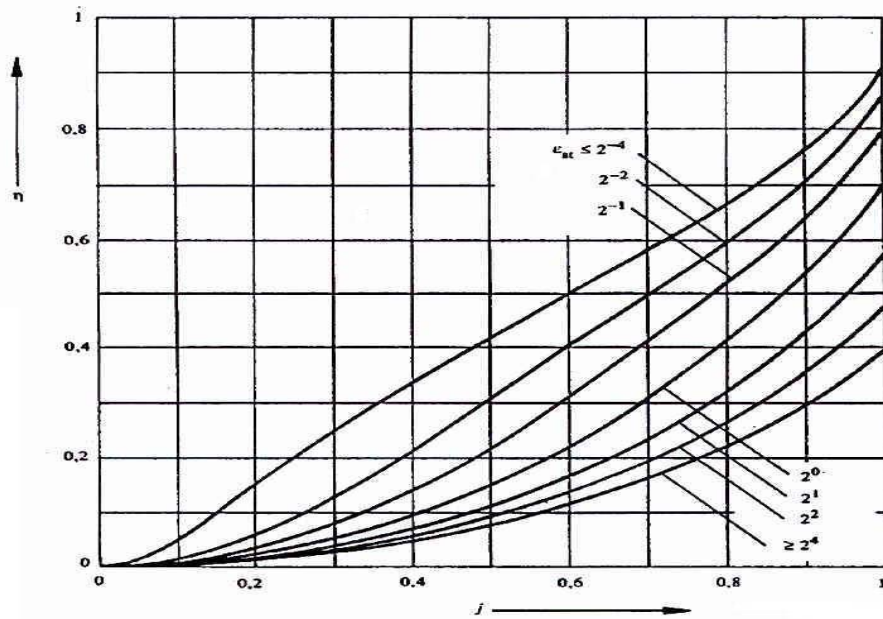
$$v'_4 = \eta \frac{a_s - D_s}{a_s - \eta(a_s - D_s)} \quad (۸۰-۲)$$



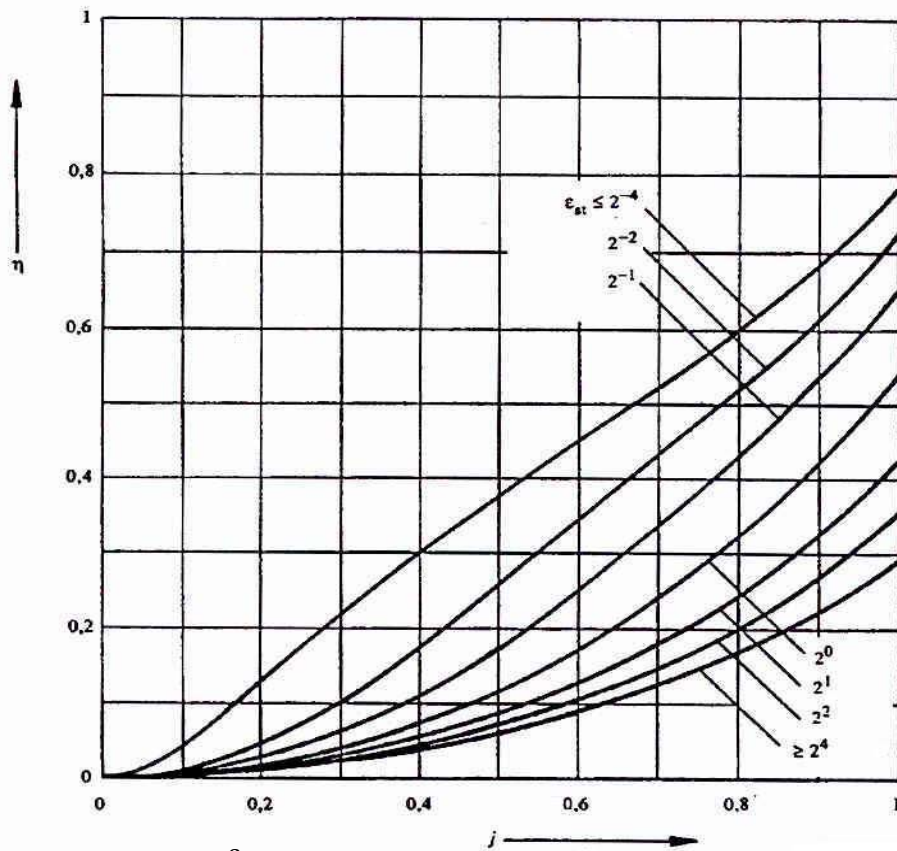
شکل ۲-۱۳: پارامتر  $\xi$  بصورت تابعی از  $\epsilon_{st}$  و  $j$



شکل ۲-۱۴: پارامتر  $\eta$  به صورت تابعی از  $j$ ,  $\epsilon_{st}$  برای  $2.5 < \frac{a_s}{D_s} \leq 5$



شکل ۲-۱۵: پارامتر  $\eta$  به صورت تابعی از  $j, \epsilon_{st}$  برای  $5 < \frac{a_s}{D_s} \leq 10$



شکل ۲-۱۶: پارامتر  $\eta$  به صورت تابعی از  $j, \epsilon_{st}$  برای  $10 < \frac{a_s}{D_s} \leq 15$

## ۲-۳-۹- بارگذاری مجاز بر روی نگهدارنده‌های شینه از دیدگاه آثار الکترومکانیکی

### ۲-۳-۹-۱- بارگذاری مجاز بر روی مقره‌های اتکائی، پایه نگهدارنده و اتصالات

نیروی  $F_d$  برای لوله‌ها و حداکثر مقدار  $F_t$ ،  $F_f$  یا  $F_{pi}$  برای هادی‌های رشته‌ای نباید بزرگتر از مقدار حد استقامت نگهدارنده‌ها و مقره‌های استراکچر شینه باشند. این حدود استقامت بوسیله سازندگان مقره و نگهدارنده‌های شینه و یا بوسیله آزمایش مشخص می‌شوند. برای مقره‌هایی که بوسیله نیروهای خمشی تحت تنش قرار می‌گیرند، مقدار حد استقامت نامی، در ازای نیروهایی می‌باشد که به سر مقره اعمال می‌شوند. لذا برای نیروهایی که به نقاطی بالاتر از سر مقره اعمال می‌شوند، حد استقامت مقره کمتر از حد استقامت نامی باید در نظر گرفته شود. مقدار حد استقامت مقره تحت چنین شرایطی، براساس حد استقامت ممان خمشی در مقاطع حساس مقره مشخص می‌شود.

اتصالات مورد استفاده برای لوله‌ها باید براساس نیروی  $F_d$  انتخاب گردند. در مورد هادی‌های رشته‌ای، اتصالات باید براساس حداکثر مقدار  $F_t$ ،  $F_f$ ،  $1/5 F_t$  و یا  $F_{pi}$  انتخاب گردند. ضریب ایمنی  $1/5$  به جهت لحاظ داشتن جذب نوسانات انرژی بوسیله جرم مقره‌ها می‌باشد.

### ۲-۳-۹-۲- بارگذاری مجاز بر روی زنجیره مقره و اتصالات

حداکثر مقدار  $F_t$ ،  $F_f$  و یا  $F_{pi}$  باید بعنوان نیروی استاتیک به استراکچر نگهدارنده هادی‌ها، مقره‌ها و اتصالات مربوطه اعمال گردد [۲].

#### توجه:

- هنگام طراحی استراکچرهای سه فازی که برای مدارات سه فاز مورد استفاده قرار می‌گیرند باید به این نکته توجه نمود که حداکثر مقدار  $F_t$  یا  $F_f$  تنها در دو فاز ظاهر می‌گردد و فاز سوم تنها در معرض نیروی کشش استاتیک قرار خواهد داشت.
- هنگام طراحی استراکچرهای سه فازی که برای مدارات سه فاز مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید به این نکته توجه نمود که مقادیر حداکثر مختلفی از نیروی  $F_{pi}$  ممکن است در زمانهای مختلفی در فازهای مختلف به وقوع بپیوندد. این مسئله را می‌توان به طور تقریبی با اعمال نیروی  $F_{pi}$  محاسبه شده به دو فاز استراکچر در نظر گرفت.
- در استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۸۶۵-۱ از ضرایب ایمنی جهت محاسبه بارگذاری مجاز استفاده نشده است.

### ۲-۳-۱۰- حداکثر طول اسپن مجاز شینه‌های سخت

حداکثر طول اسپن مجاز شینه‌های سخت با توجه به دو عامل حداکثر انحراف عمودی مجاز هادی شینه (در اثر نیروهای وزنی شینه) و حداکثر تنش مجاز هادی (در اثر کل نیروهای اثر گذار بر هادی)، مشخص می‌شود. حداکثر طول اسپن مجاز برابر کوچکترین طول اسپن مجاز بدست آمده از دو عامل فوق است. طول اسپن واقعی می‌بایستی از حداکثر طول اسپن مجاز کوچکتر باشد، در غیر اینصورت باید از هادی با سطح مقطع بزرگتر و یا اسپنهای با طولهای کوتاهتر استفاده نمود [۱].

### ۲-۳-۱۰-۱- حداکثر طول اسپن مجاز از دیدگاه حداکثر انحراف عمودی مجاز

انحراف عمودی هادی‌های شینه، به نیروهای وزنی اثر گذار بر هادی وابسته می‌باشد. نیروهای وزنی شینه عبارتند از: نیروهای حاصل از وزن خود هادی، وزن یخ و وزن اجرام متمرکز (به بخش ۲-۳-۵ مراجعه نمایید).

حداکثر طول اسپن مجاز شینه با در نظر گرفتن حداکثر انحراف عمودی مجاز از رابطه زیر تعیین می‌گردد [۱ و ۶]:

$$L_D = \sqrt[3]{\frac{i.E.J}{Y_A.F_G}} \quad (۸۱-۲)$$

که در آن:

$L_D$ : حداکثر طول اسپن مجاز از دیدگاه حداکثر انحراف عمودی مجاز، برحسب متر

$E$ : مدول الاستیسیته هادی که با استفاده از جدول (۱-۲) بدست می‌آید، برحسب نیوتن بر متر مربع

$I$ : ممان اینرسی هادی که با استفاده از معادله (۲-۴۳) بدست می‌آید، برحسب  $m^4$

$F_G$ : کل نیروهای وزنی هادی، برحسب نیوتن بر متر

$i$ : فاکتوری که با توجه به تعداد و نوع نگهدارنده‌های شینه از جدول (۲-۸) استخراج می‌گردد.

$Y_A$ : فاکتوری که با توجه به نیروهای وزنی اثر گذار بر هادی، جهت وارد کردن اثر حداکثر انحراف عمودی مجاز به کار می‌رود. در

صورتیکه تنها نیروی وزنی، وزن خود هادی باشد، مقدار این فاکتور برابر ۱۵۰ در نظر گرفته می‌شود. در سایر شرایط از قبیل وجود

لایه یخ مقدار این فاکتور برابر ۸۰ انتخاب می‌شود [۱ و ۶].

### ۲-۳-۱۰-۲- حداکثر طول اسپن مجاز از دیدگاه حداکثر تنش مجاز هادی

در برخی شرایط، طول اسپن ممکن است به جهت تشمهای الیافی مواد تشکیل دهنده هادی شینه محدود گردد. نیروهای

استاتیکی که بر هادی وارد می‌شوند، عبارتند از نیروی ناشی از وزش باد بر هادی و نیروهای وزنی هادی. تحت این شرایط و در

آرایی که در آن هادی‌ها در یک صفحه افقی قرار می‌گیرند، مقدار نیروی منتجه وارد شده بر شینه از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$F_T = \sqrt{F_G^2 + F_W^2} \quad (۸۲-۲)$$

که در آن:

$F_T$ : کل نیروی وارد شده بر هادی شینه در واحد طول، برحسب نیوتن بر متر

$F_W$ : نیروی ناشی از وزش باد بر هادی در واحد طول که با استفاده از معادله (۲-۲۹) بدست می‌آید، برحسب نیوتن بر متر

$F_G$ : کل نیروهای وزنی هادی در واحد طول، برحسب نیوتن بر متر می‌باشد.

حداکثر طول اسپن مجاز، از دیدگاه حداکثر تنش مجاز هادی از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$L_s = \sqrt{\frac{\delta_A.Z}{H.F_T}} \quad (۸۳-۲)$$

که در آن:

$L_s$ : حداکثر طول اسپن مجاز از دیدگاه حداکثر تنش مجاز هادی، برحسب متر

$Z$ : مدول مقطع هادی، برحسب متر مکعب، برای هادی‌های لوله‌ای مقدار این کمیت از رابطه (۲-۳۵) بدست می‌آید.

$H$ : فاکتوری که با توجه به تعداد و نوع نگهدارنده‌های شینه از جدول (۲-۸) استخراج می‌شود

$F_T$ : کل نیروهای استاتیک وارد شده بر هادی شینه در واحد طول، برحسب نیوتن بر متر



$\delta_A$ : حداکثر تنش مجاز هادی، از دیدگاه نیروهای استاتیکی وارد شده بر هادی برحسب نیوتن بر متر مربع است، مقدار این کمیت برای تنشهایی که تنها ناشی از نیروهای وزنی هادی می‌باشد، برابر  $\frac{R_{p0.2}}{1.7}$  در نظر گرفته می‌شود و در حالتی که علاوه بر تنش

حاصل از نیروهای وزنی، تنش حاصل از نیروی باد بر هادی نیز در نظر گرفته شود برابر  $\frac{R_{p0.2}}{1.5}$  انتخاب می‌شود [۶].

مقدار کمیت  $R_{p0.2}$  در جداول استاندارد هادی‌ها، دارای دو مقدار حداقل و حداکثر می‌باشد که در مواردی که از مقدار دقیق آن اطلاعی در دسترس نباشد، مقدار حداقل آن برای استفاده در معادلات فوق به کار گرفته می‌شود. مقادیر حداقل و حداکثر این کمیت برای هادی‌های مختلفی که در پستهای فشار قوی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در جدول (۱-۲) ارائه شده‌اند.

جدول ۲-۸: فاکتورهای  $i$  و  $H$  برای محاسبه میزان شکم و تنش هادی‌های لوله‌ای

H	i	نحوه استقرار لوله بر روی نگهدارنده‌ها
۰/۱۲۵	۷۷	لوله در هر دو انتهای خود آزاد می‌باشد.
۰/۱۲۵	۱۸۵	لوله در یک انتها آزاد و در انتهای دیگر ثابت است.
۰/۰۸۳۴	۳۸۴	لوله در هر دو انتهای خود ثابت می‌باشد.
۰/۱۲۵	۱۸۵	لوله بر روی سه نگهدارنده قرار گرفته است.
۰/۱	۱۴۵	لوله بر روی چهار نگهدارنده قرار گرفته است.
۰/۱۱	۱۳۰	لوله بر روی بیش از چهار نگهدارنده قرار گرفته است.

## ۲-۳-۱۱- سیم میرا کننده<sup>۱</sup>

هر بخشی از شینه‌های سخت که بین دو نگهدارنده قرار دارد، دارای یک فرکانس طبیعی می‌باشد که تحت آن فرکانس شروع به ارتعاش می‌نماید. اگر هادی را از وضعیت تعادل خود خارج نموده و سپس آن را آزاد نماییم، هادی در این فرکانس طبیعی شروع به نوسان می‌کند و دامنه این نوسانها بعلت میرایی کاهش می‌یابد. با این وجود اگر هادی در معرض یک نیروی تناوبی قرار بگیرد که فرکانس نوسان آن نزدیک فرکانس طبیعی اسپن مورد نظر باشد، شینه ممکن است به نوسانهای خود ادامه دهد و دامنه این نوسانها افزایش یابد.

عواملی همچون جریان متناوب عبوری از شینه‌ها یا باد می‌توانند عامل تحریک نوسانهایی با فرکانس نزدیک فرکانس طبیعی اسپن باشند.

این نوسانها موجب ایجاد تنشهای الیافی<sup>۲</sup> (تنش فشاری یا کششی بر روی الیاف هادی زمانیکه جهت پیچش رشته موازی با محور خنثی باشد) در هادی شده و می‌تواند موجب آسیب دیدن هادی شینه گردد. برای رفع این مشکل با تغییر طول اسپن و ابعاد هادی می‌توان فرکانس طبیعی اسپن را به گونه‌ای انتخاب نمود که عوامل تحریک کننده فوق قادر به تحریک فرکانس طبیعی اسپن نباشند.

از سیم میرا کننده نیز برای کاهش نوسانهای هادی می‌توان استفاده نمود. جنس سیم میرا کننده می‌بایستی از جنس مواد استفاده شده در هادی‌های شینه باشد تا شرایط خوردگی فراهم نگردد. علاوه بر این باید وزن این سیم بین ۱۰ تا ۳۳ درصد وزن هادی شینه باشد، اگرچه که در برخی موارد استفاده از سیم‌هایی با وزن ۳ تا ۵ درصد وزن شینه برای این منظور کفایت نموده است.

1. Damping wire  
2. Fiber stress

در برخی جاها صدای نویز تولید شده بوسیله این نوع میرا کننده‌ها ممکن است قابل قبول نباشد. بنابراین به جای استفاده از این نوع میرا کننده‌ها، می‌توان از میرا کننده‌های ارتعاشی تجاری که هم برای هادی‌های لوله‌ای و هم برای هادی‌های غیر لوله‌ای قابل استفاده هستند استفاده نمود. این نوع میرا کننده‌ها بایستی مطابق با توصیه‌های سازنده انتخاب و نصب گردند [۱].

در جدول (۲-۹) سطح مقطع سیم میرا کننده برای قطرهای مختلف لوله آورده شده است [۶]. روش معمول که از نظر فنی مناسبترین روش کارگذاری سیم میرا کننده در داخل لوله‌ها می‌باشد، این است که از یک انتهای لوله، سیم میرا کننده وارد و طول سیم‌های میرا کننده به اندازه طول لوله انتخاب گردد و جهت این کار می‌بایستی در دو انتهای لوله‌ها گیره (پیچ و مهره) جهت محکم و ثابت نگاه داشتن سیم میرا کننده پیش بینی گردد.

جدول ۲-۹: میزان سطح مقطع سیم میرا کننده براساس قطر لوله‌های شینه

قطر لوله (mm)	حداکثر طول اسپن بین نگهدارنده‌ها بدون سیم میرا کننده (m)	سطح مقطع سیم میرا کننده (mm <sup>2</sup> )
۱۰۰	۴/۵	۲۴۰
۱۲۰	۵/۵	۳۰۰
۱۶۰	۷/۵	۵۰۰
۲۰۰	۹/۵	۶۲۵
۲۵۰	۱۲	۶۲۵

## ۲-۴- روش گام به گام طراحی شینه

روش گام به گام طراحی شینه‌های سخت و نرم به شرح زیر می‌باشد.

### ۲-۴-۱- طراحی شینه‌های سخت:

گام اول - جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی، شامل:

- جانمایی اولیه پست که در آن تعداد و طول اسپن‌ها، نوع و تعداد نگهدارنده‌های شینه، فاصله بین فازها، ارتفاع نگهدارنده‌ها و مقره‌های نصب شده بر روی آنها، وجود یا عدم وجود اجرام متمرکز و اطلاعات مربوط به آنها و مواردی از این قبیل مشخص شده است.
- جنس هادی‌های مورد استفاده در شینه‌ها همراه با اطلاعات الکتریکی و مکانیکی مربوط به آنها و شکل سطح مقطع هادی (نوع لوله‌ای ارجحیت دارد).
- جریان دائم پیش‌بینی شده شینه
- ماکزیمم دمای متوسط روزانه محیط در طی یکسال
- دمای نهایی شینه
- ارتفاع محل پست از سطح دریا
- حداکثر سرعت باد در شرایط وجود یخ، در محل پست
- حداکثر ضخامت لایه یخ قرار گرفته بر روی تجهیزات پست
- مقدار مؤثر جریان اتصال کوتاه دائم پست

- وجود یا عدم وجود سیستم وصل مجدد خودکار
  - حداکثر مقدار جریان اتصال کوتاه سه فاز متقارن اولیه
  - فاکتور لازم برای محاسبه پیک جریان اتصال کوتاه
  - کل مدت زمان اتصال کوتاه
- گام دوم - انتخاب سطح مقطع هادی بر اساس جریان مجاز دائم، تحت شرایط طراحی.
- گام سوم - بررسی سطح مقطع انتخاب شده از مراحل قبل با توجه به تنش‌های حرارتی حاصل از عبور جریان اتصال کوتاه از هادی و اصلاح آن در صورت نیاز.
- گام چهارم - بررسی سطح مقطع انتخاب شده از مراحل قبل با توجه به تنش‌های مکانیکی حاصل از عبور جریان اتصال کوتاه از هادی‌ها به روش ساده و دقیق (در صورت لزوم) و اصلاح آن در صورت نیاز.
- گام پنجم - محاسبه حداکثر طول اسپن مجاز برای هادی انتخاب شده و اصلاح اسپن یا هادی در صورت نیاز.
- گام ششم - محاسبه حداکثر مقدار  $F_d$  (نیروی وارد بر نگهدارنده‌ها) جهت تعیین کلاس مکانیکی مقره‌های اتکائی و مناسب بودن از نظر حداکثر نیروی قابل تحمل ترمینال تجهیزات و مناسب برای استراکچر شینه.
- فرآیند طراحی شینه‌های سخت در فلوجارت شکل (۲-۱۷) نشان داده شده است.

## ۲-۴-۲- طراحی شینه‌های نرم

گام اول - جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی، شامل:

- جانمایی اولیه پست که در آن مشخصات اسپن‌ها، نوع اتصالات (با زنجیره مقره یا بدون زنجیره مقره)، فاصله بین فازها، ارتفاع متوسط هادی‌ها از سطح زمین، وجود یا عدم وجود اجرام متمرکز و اطلاعات مربوط به آنها، مشخصات نگهدارنده‌ها و مواردی از این قبیل مشخص شده است.
- جنس هادی مورد استفاده در شینه همراه با اطلاعات الکتریکی و مکانیکی مربوط به آنها و در صورت باندلی بودن هادی‌ها، مشخصات مربوط به باندل‌ها.
- جریان دائم پیش‌بینی شده شینه
- ماکزیمم دمای متوسط روزانه در طی یکسال
- شرایط محیطی مؤثر بر جریان مجاز هادی (سرعت متوسط باد در محل پست، شدت اشعه آفتاب، ...).
- حداکثر دمای نهایی شینه
- ارتفاع محل پست از سطح دریا
- حداکثر مقدار مؤثر جریان اتصال کوتاه سه فاز متقارن اولیه،  $I''_{k3}$
- پیک جریان اتصال کوتاه یا مقدار فاکتور  $K$ .
- کل مدت زمان اتصال کوتاه و مدت زمان تداوم اولین اتصال کوتاه
- مقدار مؤثر جریان اتصال کوتاه دائم پست
- نیروی کشش استاتیک هادی در پایین‌ترین درجه حرارت محل پست
- نیروی کششی استاتیک هادی در بالاترین درجه حرارت کار هادی

• سطوح استقامت عایقی تجهیزات پست

گام دوم - انتخاب سطح مقطع هادی بر اساس جریان مجاز دائم، تحت شرایط طراحی

گام سوم - بررسی سطح مقطع انتخابی بر اساس پدیده کرونا و اصلاح آن در صورت نیاز (افزایش قطر هادی یا باندلی نمودن هادی‌ها).

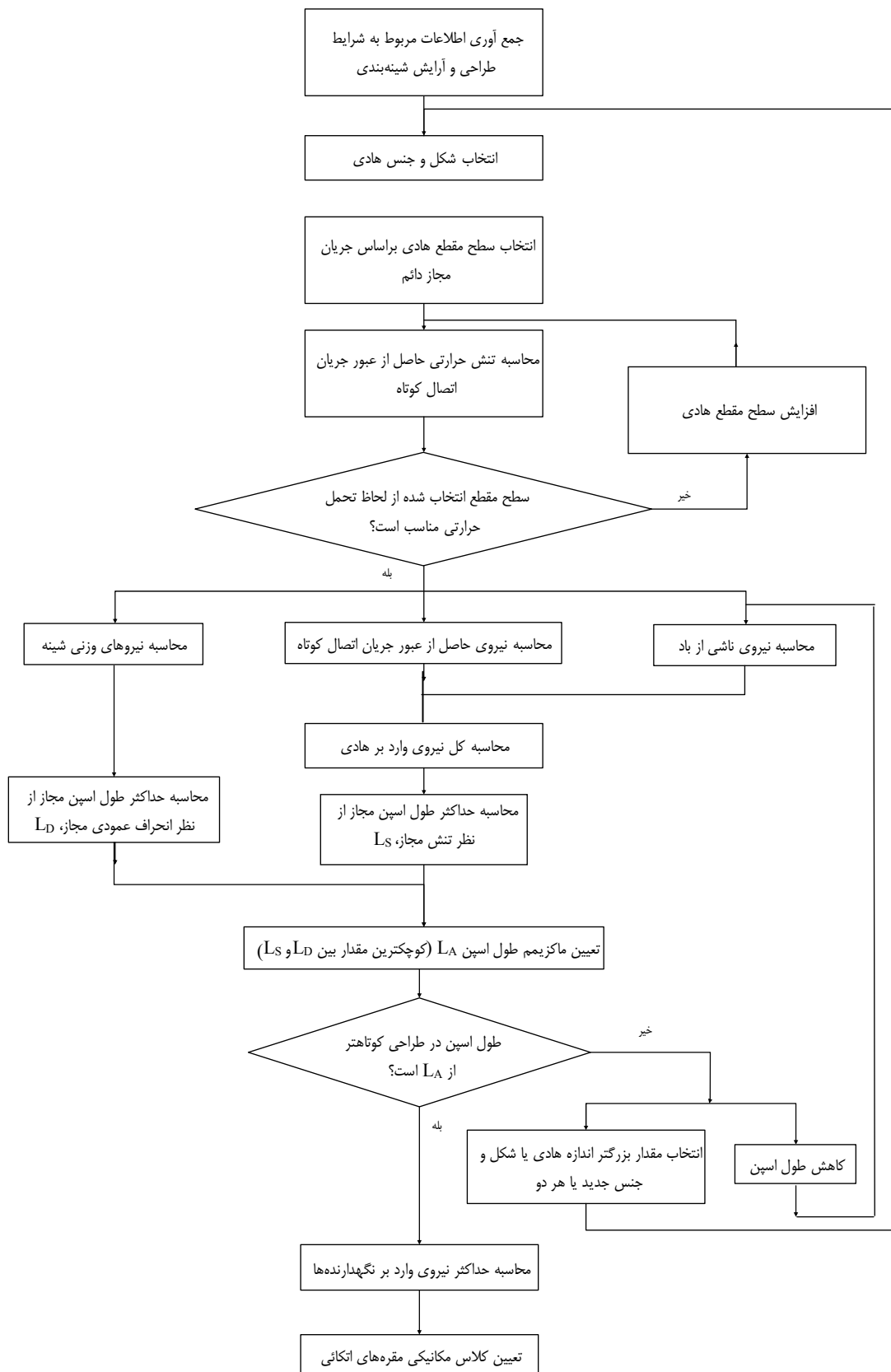
گام چهارم- بررسی سطح مقطع انتخاب شده از مراحل قبل با توجه به تنش‌های حرارتی حاصل از عبور جریان اتصال کوتاه از هادی و اصلاح آن در صورت نیاز.

گام پنجم - بررسی سطح مقطع انتخاب شده از مراحل قبل با توجه به تنشهای مکانیکی حاصل از عبور جریان اتصال کوتاه از هادی‌ها و اصلاح آن در صورت نیاز.

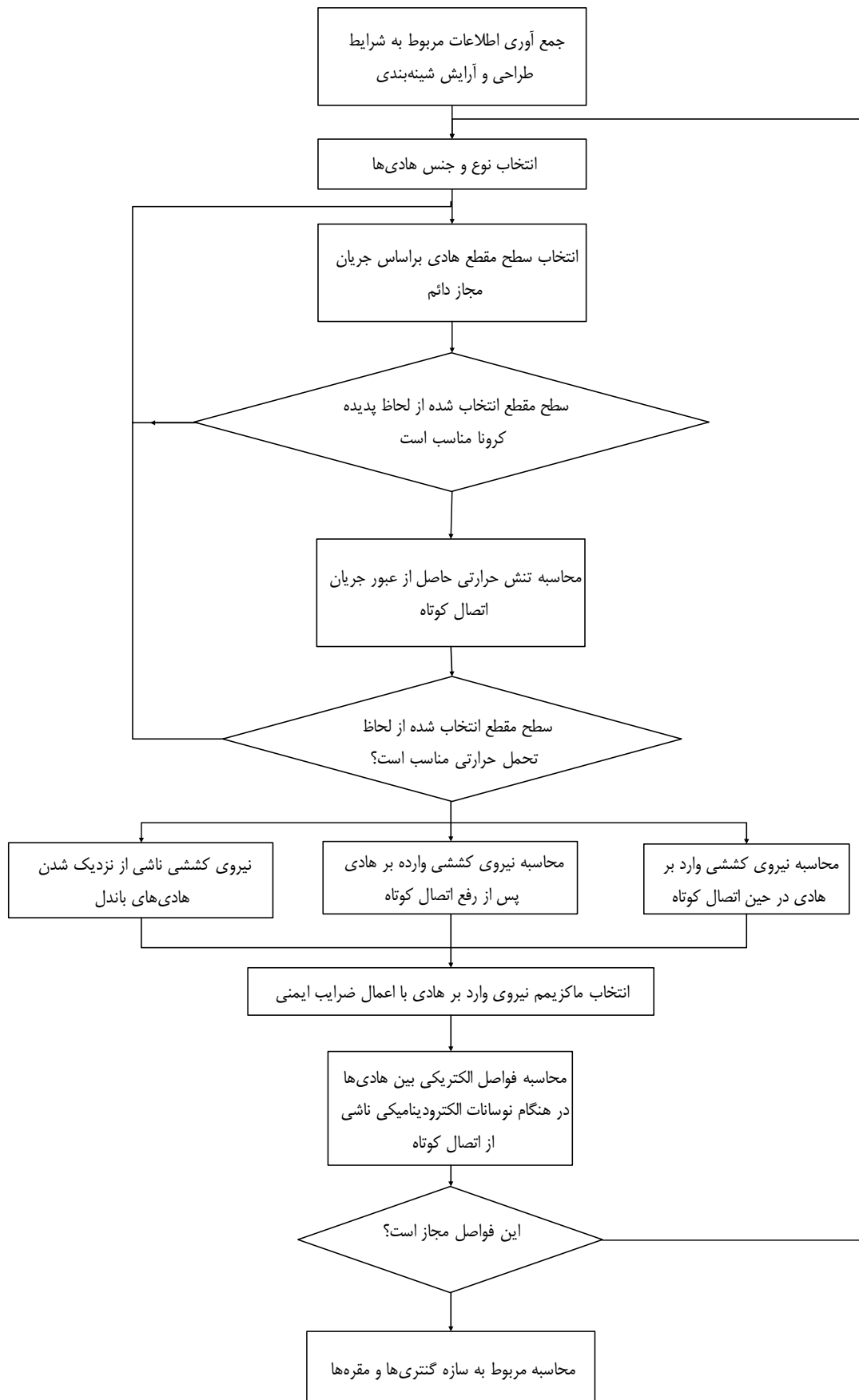
گام ششم- بررسی فواصل مجاز الکتریکی بین هادی‌ها در هنگام نوسان هادی‌ها در اثر نیروی‌های الکتروستاتیکی ناشی از عبور جریان اتصال کوتاه از هادی‌ها و اصلاح فواصل بین‌هادی‌ها در صورت نیاز.

گام هفتم- محاسبه نیروهای کششی حاصل از اتصال کوتاه ( $F_{P_i}$ ,  $F_{F_i}$ ,  $F_t$ ) جهت محاسبه سازه گنتری‌ها و انتخاب مقره‌ها و همچنین مقایسه این نیروها با ماکزیمم نیروی مجاز ترمینال تجهیزات

فرآیند طراحی شینه‌های سخت در شکل (۲-۱۸) نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۷: فرآیند طراحی شینه های سخت



شکل ۲-۱۸: فرآیند طراحی شینه های نرم

## ۲-۵- مثالهایی از طراحی شینه‌های نرم و سخت پستهای فشار قوی

در این بخش نمونه‌هایی از طراحی شینه‌های نرم و سخت پست‌های فشار قوی ارائه می‌گردد.

### ۲-۵-۱- مثال اول

در این بخش برای نشان دادن نحوه بکارگیری روشها، روابط، جداول و منحنی‌های ارائه شده در بخشهای قبلی، بطور نمونه طراحی بخشی از شینه‌های سخت یک پست ۴۰۰ کیلوولت ارائه می‌گردد. این مثال در حالت وجود سیستم وصل مجدد اتوماتیک ارائه می‌گردد.

### ۲-۵-۱-۱- اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی

- اطلاعات بدست آمده از جانمایی اولیه پست:
- تعداد اسپن‌ها برابر دو عدد، طول اسپن‌ها یکسان و برابر ۱۸ متر، تعداد نگهدارنده‌ها برابر سه عدد (نگهدارنده میانی ثابت و نگهدارنده‌های انتهایی قابل انعطاف می‌باشند)، فاصله بین فازها برابر ۵ متر، ارتفاع استراکچرها برابر ۷ متر و ارتفاع مقره‌های نصب شده بر روی آنها برابر ۳/۷ متر می‌باشد. در طول اسپن اجرام متمرکز وجود ندارد.

- شینه‌ها از هادی‌های لوله‌ای از جنس آلومینیوم آلیاژی E-AlmgSi0.5F22 با مدول الاستیسته  $\frac{N}{mm^2}$  ۷۰۰۰۰، هدایت الکتریکی  $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$  ۳۰ و حداقل و حداکثر تنش تسلیم  $R_{p0.2}$  برابر با ۱۶۰ تا ۲۴۰ نیوتن بر میلیمتر مربع، می‌باشند:

$$I=4000 \text{ A} \quad \text{جریان دائم پیش‌بینی شده شینه،}$$

$$T_1=40^\circ\text{C} \quad \text{ماکزیمم دمای متوسط روزانه در طی یکسال،}$$

$$T_2 = 75 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{دمای نهایی شینه}$$

ارتفاع پست از سطح دریا ۱۵۰۰ متر می‌باشد.

$$V_{5Sec} = 20 \frac{m}{s} \quad \text{حداکثر سرعت باد در شرایط یخ،}$$

حداکثر ضخامت لایه یخ قرار گرفته بر روی تجهیزات،  $r_1 = 10 \text{ mm}$ .

$$I''_{K3} = 50 \text{ kA} \quad \text{حداکثر مقدار مؤثر جریان اتصال کوتاه سه فاز متقاون اولیه،}$$

$$K = 1/81 \quad \text{فاکتور لازم برای محاسبه پیک جریان اتصال کوتاه،}$$

$$T_k = 1 \text{ sec} \quad \text{کل مدت زمان اتصال کوتاه،}$$

$$I_K = 40 \text{ kA} \quad \text{مقدار مؤثر جریان اتصال کوتاه دائم،}$$

### ۲-۵-۱-۲- انتخاب سطح مقطع هادی بر اساس جریان مجاز دائم، تحت شرایط طراحی

مطابق توضیحات بند (۲-۳-۱) و با استفاده از رابطه (۲-۱۰) خواهیم داشت:

$$\text{جریان جدول} = \frac{4000}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} \text{ A}$$

با توجه به توضیحات بند (۲-۳-۱)، مقدار ضرایب  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  برای اطلاعات داده شده بصورت زیر استخراج می گردند:

$$K_1 = 1, K_2 = 1.06, K_3 = 0.96$$

$$\text{جریان جدول} = \frac{4000}{1 \times 1.06 \times 0.96} = 3931 \quad \text{A}$$

با استفاده از جدول (الف - ۲) پیوست (۱-۲)، اولین هادی لوله‌ای که جریان مجاز آن بزرگتر یا مساوی مقدار فوق است، انتخاب می‌گردد. مشخصات این هادی با استفاده از جدول (الف - ۲) عبارتند از:

$$\text{ضخامت دیواره} = 6 \text{ mm}, \text{ قطر هادی} = 160 \text{ mm}, \text{ جریان مجاز دائم} = 4015 \text{ A}$$

$$A = 2900 \text{ mm}^2 = \text{سطح مقطع هادی}, \text{ وزن واحد طول هادی} = 7.84 \text{ kg/m}$$

### ۲-۱-۵-۳- بررسی سطح مقطع انتخاب شده از دیدگاه تنش‌های حرارتی ناشی از اتصال کوتاه

با استفاده از رابطه (۲-۱۹) و شکل‌های (۲-۴) و (۲-۵) و اطلاعات مسئله خواهیم داشت:

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{(m+n)} \quad ; \quad I_k'' = I_{k3}'' = 50 \text{ kA} \quad ; \quad K = 1.81$$

$$T_k = 1 \text{ Sec} \quad ; \quad I_{k3} = 40 \text{ kA} \quad ; \quad \frac{I_{k3}''}{I_{k3}} = \frac{50}{40} = 1.25$$

$$\Rightarrow m = 0.04 \quad ; \quad n = 0.83 \Rightarrow I_{th} = 50 \times \sqrt{(0.04 + 0.83)} = 46.637 \text{ kA}$$

$$S_{th} = \frac{I_{th}}{A} = \frac{46.637}{2900} = 16.082 \quad \text{A/mm}^2 \quad \text{از رابطه (۲-۲۶) داریم:}$$

با توجه به اطلاعات مسئله و با استفاده از شکل (۲-۶)، مقدار چگالی جریان کوتاه مدت نامی  $S_{thr}$  بدست می‌آید:

$$T_{kr} = 1 \text{ sec} \quad ; \quad T_2 = 75^\circ \text{C} \quad ; \quad T_{sc} = 200^\circ \text{C}$$

$$\Rightarrow S_{thr} = 85 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

از رابطه (۲-۲۵) خواهیم داشت:

$$S_{th} = 16.081 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \quad ; \quad S_{thr} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} = 85 \cdot \sqrt{\frac{1}{1}} = 85 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$\Rightarrow S_{th} < S_{thr} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}}$$

بنابراین سطح مقطع انتخاب شده از لحاظ تحمل حرارتی، استقامت کافی را در قبال عبور جریان اتصال کوتاه دارا می‌باشد.

### ۲-۱-۵-۴- بررسی سطح مقطع انتخاب شده از دیدگاه تنش‌های مکانیکی حاصل از اتصال کوتاه

از رابطه (۲-۳۳) حداکثر نیروی وارد شده بر هادی‌ها برابر خواهد بود با:

$$F_m = 0.173 I_{p3}^2 \cdot \frac{L}{a} \quad ; \quad I_{p3} = \sqrt{2} K I_{k3}''$$

$$I_{p3} = \sqrt{2} \times 1.81 \times 50 = 128 \text{ kA} \Rightarrow F_m = 10.2 \text{ kN}$$



برای محاسبه تنش‌ها و نیروهای وارد شده بر هادی‌های سخت و نگهدارنده‌های آنها، از روش ساده ارائه شده در بندهای (۲-۷-۳-۲) و (۳-۷-۳-۲) استفاده می‌شود. در صورتی آرایش شینه یا سطح مقطع انتخابی مناسب است که نتایج حاصل از روش ساده و روش دقیق بند (۴-۷-۳-۲) این مطلب را تأیید نمایند.

#### • روش ساده:

حداکثر تنش وارده شده بر هادی‌ها با استفاده از معادله (۳۴-۲) بدست می‌آید:

$$\delta_m = V_\delta \cdot V_r \cdot \beta \frac{F_m \cdot L}{8Z}$$

که با توجه به اطلاعات مسئله، جدول (۶-۲)، بند (۲-۷-۳-۲)، نتایج مراحل قبلی و معادله (۳۵-۲) خواهیم داشت:

$$V_\delta \cdot V_r = (V_r \cdot V_\delta)_{\max} = 1.8 ; \quad \beta = 0.73 ; \quad F_m = 10.2 \text{ kN} ; \quad L = 18 \text{ m}$$

$$Z = 0.098 \frac{D^4 - d^4}{D} = 0.098 \frac{0.16^4 - (0.16 - 2 \times 0.006)^4}{0.16} = 107.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \delta_m = 1.8 \times 0.73 \times \frac{10.2 \times 10^3 \times 18}{8 \times 107.5 \times 10^{-6}} = 280.52 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 280.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

مطابق معادله (۳۶-۲) هادی تنش خمشی حاصل از اتصال کوتاه را تحمل می‌کند، مادامیکه رابطه زیر برقرار باشد:

$$\delta_m \leq qR_{p0.2}$$

که از رابطه (۳۷-۲) مقدار  $q$  برابر است با:

$$q = 1.7 \frac{1 - (1 - 2 \frac{a}{D})^3}{1 - (1 - 2 \frac{a}{D})^4} = 1.7 \frac{1 - (1 - 2 \frac{6}{160})^3}{1 - (1 - 2 \frac{6}{160})^4} = 1.323$$

با استفاده از حداقل مقدار  $R_{p0.2}$  از اطلاعات مسئله خواهیم داشت:

$$qR_{p0.2} = 1.323 \times 160 = 211.68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} ; \quad \delta_m = 280.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Rightarrow \delta_m > qR_{p0.2}$$

همانطور که ملاحظه می‌گردد رابطه (۳۶-۲) برآورده نشده است و مطابق روش ساده باید تغییراتی در سطح مقطع هادی جهت برآورده شدن این شرط داده شود. اما قبل از انجام این کار، روش دقیق را با در نظر گرفتن خصوصیات دینامیکی شینه به کار می‌بریم و اگر باز شرط فوق ارضا نگردد، اصلاحات لازم را در سطح مقطع هادی بعمل می‌آوریم.

## • روش دقیق

فرکانس طبیعی شینه با استفاده از معادله‌های (۲-۴۲) و (۲-۴۳) اطلاعات مسئله و جدول (۲-۶) برابر است با:

$$f_c = \frac{\gamma}{L^2} \sqrt{\frac{EJ}{m'}} \quad , J = 0.049 [D^4 - d^4]$$

$$\Rightarrow J = 0.049(0.16^4 - (0.16 - 2 \times 0.006)^4) = 8.603 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$m' = 7.84 \text{ kg/m} \quad , E = 7 \times 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad , L = 18\text{m} \quad , \gamma = 2.45$$

$$\Rightarrow f_c = \frac{2.45}{18^2} \sqrt{\frac{7 \times 10^{10} \times 8.603 \times 10^{-6}}{7.84}} = 2.1 \text{ Hz}$$

نسبت فرکانس طبیعی شینه به فرکانس سیستم برابر است با:

$$\frac{f_c}{f} = \frac{2.1}{50} = 0.042$$

مقدار پارامترهای  $V_F$ ,  $V_\delta$ ,  $V_r$  با استفاده از شکل‌های (۲-۷) و (۲-۸) بدست می‌آیند:

$$V_F = 0.36$$

$$V_\delta = 0.31$$

$$V_r = 1.8$$

حداکثر نیروی خمشی وارد شده بر هادی با استفاده از معادله (۲-۳۴) بدست می‌آید:

$$\delta_m = V_\delta \cdot V_r \cdot \beta \frac{F_m \cdot L}{8Z} = 0.31 \times 1.8 \times 0.73 \times \frac{10.2 \times 10^3 \times 18}{8 \times 107.5 \times 10^{-6}} = 86.962 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$q = 1.323 \Rightarrow qR_{p0.2} = 1.323 \times 160 = 211.68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow \delta_m \leq qR_{p0.2}$$

ملاحظه می‌شود که باتوجه به نتایج حاصل از تحلیل دقیق نوسانات الکترودینامیکی، هادی انتخاب شده قادر به تحمل تنش‌های مکانیکی ناشی از اتصال کوتاه خواهد بود.

نیروی خمشی وارد شده بر نگهدارنده‌ها بصورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$F_A = V_F \cdot V_r \cdot \alpha_A \cdot F_m = 0.36 \times 1.8 \times 0.375 \times 10.2 \times 10^3 = 2.48 \text{ kN}$$

$$F_B = V_F \cdot V_r \cdot \alpha_B \cdot F_m = 0.36 \times 1.8 \times 1.25 \times 10.2 \times 10^3 = 8.262 \text{ kN}$$

گشتاور خمشی وارد شده بر استراکچرها نیز بصورت زیر تعیین می‌گردد:

- گشتاور وارد شده بر انتهای مقره‌های اتکایی نصب شده بر روی نگهدارنده‌های انتهایی برابر است با:

$$M_{IA} = F_A \cdot h_1 = 2.48 \times 3.7 = 9.176 \text{ kN.m}$$

- گشتاور وارد شده بر انتهای نگهدارنده‌های انتهایی برابر است با:

$$M_{SA} = F_A \cdot h_s = 2.48 \times 7 = 17.36 \text{ kN.m}$$

- گشتاور وارد شده بر انتهای مقره‌های اتکایی نصب شده بر روی نگهدارنده‌های میانی برابر است با:

$$M_{IB} = F_B \cdot h_I = 8.262 \times 3.7 = 30.57 \text{ kN.m}$$

- گشتاور وارد شده بر انتهای نگهدارنده‌های میانی برابر است با:

$$M_{SB} = F_B \cdot h_s = 8.262 \times 7 = 57.834 \text{ kN.m}$$

#### ۲-۵-۱-۵- بررسی شینه از دیدگاه حداکثر طول اسپین مجاز

حداکثر طول اسپین مجاز شینه با در نظر گرفتن حداکثر انحراف عمودی مجاز از رابطه (۲-۸۱) بدست می‌آید:

$$L_D = \sqrt[3]{\frac{i \cdot E \cdot J}{Y_A \cdot F_G}}, \quad E = 7 \times 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}, \quad J = 8.603 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

مقدار پارامتر  $i$  از جدول (۲-۸) برابر ۱۸۵ انتخاب می‌گردد و برای در نظر گرفتن اثر بارگذاری یخ، مقدار  $Y_A$  با توجه به توضیحات بند (۲-۳-۱۰-۱) برابر ۸۰ انتخاب می‌گردد.

نیروی وزنی واحد طول شینه با در نظر گرفتن وزن لایه یخ، با استفاده از معادله (۲-۲۸) بدست می‌آید:

$$F_G = (9.81 \times m') + [2.7737 r_I (r_I + D)] \\ = (9.81 \times 7.84) + [2.7737 \times 1 \times (1 + 16)] = 124 \text{ N/m}$$

بنابراین:

$$p L_D = \sqrt[3]{\frac{185 \times 7 \times 10^{10} \times 8.603 \times 10^{-6}}{80 \times 124}} = 22.39 \text{ m}$$

حداکثر طول اسپین مجاز از دیدگاه حداکثر تنش مجاز هادی با استفاده از رابطه (۲-۸۳) بدست می‌آید:

$$L_S = \sqrt{\frac{\delta_A \cdot Z}{H \cdot F_T}}, \quad Z = 107.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

مقدار پارامتر  $H$  از جدول (۲-۸) برابر ۰/۱۲۵ بدست می‌آید و برای در نظر گرفتن بدترین شرایط ممکن، مقدار  $\delta_A$  در حالت وجود شرایط باد و به ازای حداقل مقدار  $R_{p0.2}$ ، باتوجه به توضیحات بند (۲-۳-۱۰-۲) برابر  $\frac{R_{p0.2}}{1.5}$  در نظر گرفته می‌شود، یعنی:

$$\delta_A = \frac{R_{p0.2}}{1.5} = \frac{160}{1.5} = 106.67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 106.67 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

مقدار کل نیروهای استاتیک وارد شده بر هادی شینه در واحد طول از روابط (۲-۸۲)، (۲-۲۹) و (۲-۳۰) و جدول (۲-۵) بدست می‌آید:

$$F_T = \sqrt{F_G^2 + F_W^2} \quad , \quad F_G = 124 \text{ N/m}$$

$$F_W = 0.625 V_z^2 (D + 2r_1) C R \sin^2 \theta \quad , \theta = 90^\circ \quad , D = 16 \text{ cm}$$

$$r_1 = 1 \text{ cm} \quad , \quad R = 1 \quad , \quad V_z = V_{\text{sec}} \left( \frac{Z}{10} \right)^{0.095}$$

$$\Rightarrow V_z = 20 \times \left( \frac{7+3.7}{10} \right)^{0.095} = 20.13 \text{ m/s}$$

$$D \times V_z = 0.16 \times 20.13 = 3.22 \text{ m}^2/\text{s} \Rightarrow C = 1.2$$

$$\Rightarrow F_W = 0.625 \times (20.13)^2 \times (160 + 2 \times 10) \times 10^{-3} \times 1.2 \times 1 \times 1 = 54.70 \text{ N/m}$$

$$\Rightarrow F_T = \sqrt{(124)^2 + (54.70)^2} = 135.53 \text{ N/m}$$

$$\Rightarrow L_s = \sqrt{\frac{106.67 \times 10^6 \times 107.5 \times 10^{-6}}{0.125 \times 135.53}} = 26.02 \text{ m}$$

باتوجه به توضیحات بند (۲-۳-۱۰) حداکثر طول اسپن مجاز برابر کوچکترین مقدار بین دو پارامتر  $L_D$  یا  $L_S$  بوده که در این مثال حداکثر طول اسپن مجاز برابر  $L_D$  و برابر ۲۲/۳۳ متر است. از آنجائیکه طول اسپن در نظر گرفته شده در طراحی (۱۸ متر) از این مقدار کوچکتر است، طراحی انجام گرفته صحیح بوده و طول اسپن انتخاب شده مجاز می‌باشد.

## ۲-۵-۲- مثال دوم

در این مثال برای نشان دادن نحوه به کارگیری روشها، روابط، جداول و منحنی‌های ارائه شده در بخشهای قبلی، به طور نمونه طراحی بخشی از شینه‌های نرم یک پست ۴۰۰ کیلوولت ارائه می‌گردد. برای نشان دادن اثر فواصل مابین هادی‌های باندل در تنش‌های بوجود آمده از پدیده اتصال کوتاه، مثال برای دو فاصله مختلف مابین هادی‌های باندل، بررسی می‌گردد.

### ۲-۵-۲-۱- اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی

• نمای اولیه شینه‌های نرم پست در شکل (۲-۱۹) نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به آن به شرح زیر می‌باشد:

– ولتاژ نامی پست،  $U_n = 400 \text{ kV}$

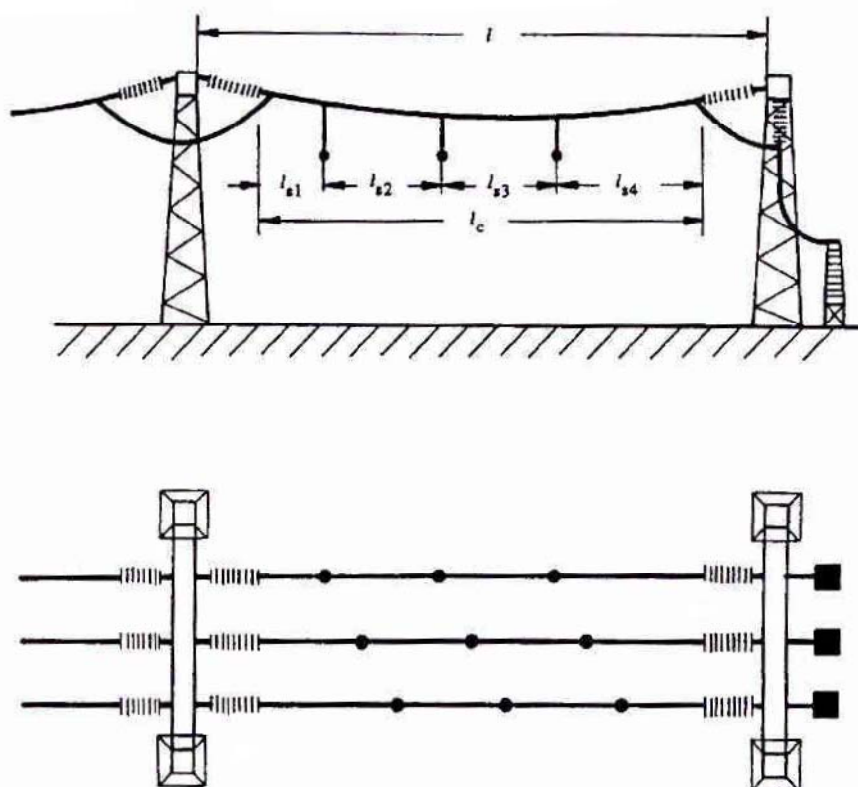
– فاصله بین گنتری‌ها،  $L = 48 \text{ m}$

– طول هادی‌های حامل جریان الکتریکی،  $L_C = 37.4 \text{ m}$

– طول هر یک از زنجیره مقره‌های متصل به انتهای هادی‌ها،  $L_i = 0.5 (L - L_C) = 5.3 \text{ m}$

– فاصله بین هادی‌های فازهای مجاور هم،  $a = 5 \text{ m}$

- ثابت فنریت منتهجه از هر دو نگهدارنده یک اسپن،  $S = 500 \text{ N/mm}$
- تعداد اجرام متمرکز متصل به هر اسپن،  $n_c = 3$ ، این اجرام متمرکز در واقع هادی‌های انشعابی هستند که به هادی‌های شینه متصل می‌گردند.
- وزن هر یک از اجرام متمرکز متصل به هادی‌های اسپن،  $m_c = 36 \text{ kg}$
- طول فواصل نشان داده شده در شکل (۲-۱۹):  
 $l_{s1} = 5.7\text{m}$  ،  $l_{s2} = 10\text{m}$  ،  $l_{s3} = 10\text{m}$  ،  $l_{s4} = 11.7\text{m}$
- ارتفاع متوسط هادی‌ها از سطح زمین،  $h_e = 20\text{m}$
- شینه دارای هادی‌های باندلی از جنس آلومینیوم\* می‌باشد. دو هادی در هر باندل استفاده شده است و مدول الاستیسیته هادی‌های باندل برابر  $65000 \text{ N/mm}^2$  می‌باشد. فاصله هادی‌های باندل از هم ابتدا برابر  $10 \text{ cm}$  و سپس برابر  $20 \text{ cm}$  در نظر گرفته می‌شود.
- جریان دائم پیش بینی شده شینه،  $I = 3000\text{A}$
- دمای متوسط محیط،  $T_1 = 40^\circ\text{C}$
- دمای نهایی شینه،  $T_2 = 70^\circ\text{C}$
- کشش استاتیک هادی در حداقل دمای محیط،  $-25$  درجه سانتیگراد،  $F_{st,-25} = 23.1\text{kN}$
- کشش استاتیک هادی در حداکثر دمای کاری،  $+70$  درجه سانتیگراد،  $F_{st,70} = 18.9\text{kN}$
- ارتفاع پست از سطح دریا  $1000$  متر می‌باشد.
- سرعت باد و شدت اشعه خورشید جهت محاسبه جریان مجاز هادی‌ها،  
 $v = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ،  $S_i = 900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
- حداکثر مقدار مؤثر جریان اتصال کوتاه سه فاز متقارن اولیه،  $I''_{k3} = 63\text{Ka}$
- فاکتور مورد نیاز جهت محاسبه پیک جریان اتصال کوتاه،  $K = 1.81$
- کل مدت زمان اتصال کوتاه،  $T_k = 1\text{sec}$
- مدت زمان تداوم اولین اتصال کوتاه،  $T_{k1} = 0.5\text{sec}$
- مقدار مؤثر جریان اتصال کوتاه دائم،  $I_{k3} = 45\text{kA}$
- سطح استقامت عایقی تجهیزات پست درمقابل موج ضربه صاعقه،  $\text{LIWL} = 1300 \text{ kV}_{\text{peak}}$



شکل ۲-۱۹: آرایش هادی‌های شینه نرم مثال دوم بخش (۲-۵)

### ۲-۲-۵-۲- انتخاب سطح مقطع هادی براساس جریان مجاز دائم، تحت شرایط طراحی

جریان دائم پیش بینی شده شینه برابر ۳۰۰۰ آمپر است، لذا سهم هر هادی باندل از این جریان برابر ۱۵۰۰ آمپر خواهد بود. با فرض اینکه هادی‌های استفاده شده در طراحی شینه از جنس هادی‌های آلومینیومی هستند که اطلاعات مربوط به آنها در جدول (الف-۳) پیوست (۱-۲) ارائه شده است، می‌توان سطح مقطع مورد نیاز هادی‌های شینه را تعیین نمود. جریانهای مجاز ارائه شده در جدول (الف-۳) تحت شرایط مشخصی محاسبه شده‌اند که به منظور استفاده از آنها در شرایط متفاوت باید اصلاحاتی در آنها صورت گیرد. در مثال مورد نظر ما، فرض بر این است که تنها دمای متوسط محیط و دمای نهایی هادی‌ها تغییر نموده‌اند و سایر عوامل بدون تغییر باقی می‌مانند. از آنجائی که دمای متوسط محیط و دمای نهایی شینه به ترتیب از دمای متوسط محیط و دمای نهایی هادی فرض شده در استخراج نتایج جدول (الف-۳) بزرگتر و کوچکتر هستند، انتظار داریم که جریانهای مجاز هادی‌ها، تحت دمای متوسط محیط ۴۰ درجه سانتیگراد و دمای نهایی هادی ۷۰ درجه سانتیگراد، از مقادیر ارائه شده در جدول (الف-۳) کوچکتر باشد، لذا برای انتخاب سطح مقطع مناسب باید با سعی و خطا و با شروع از نزدیکترین سطح مقطع استاندارد که جریان مجاز آن بزرگتر از ۱۵۰۰ آمپر است به سطح مقطع مطلوب دست یافت.

بعنوان مثال، سطح مقطع ۷۱۰ میلی‌متر مربع را که جریان نامی آن در دمای نهائی هادی ۸۰ درجه سانتیگراد برابر ۱۶۵۳ آمپر است، انتخاب می‌کنیم. جریان مجاز هادی تحت شرایط واقعی و مطابق توضیحات بند (۲-۳-۲) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$v = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad S_i = 900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}, \quad \gamma = 0.5, \quad K_e = 0.6, \quad T_2 = 70^\circ\text{C}, \quad T_1 = 40^\circ\text{C}$$

$$R_{80} = 0.0522 \times 10^{-3} \frac{\Omega}{\text{m}}, \quad R_{100} = 0.0554 \times 10^{-3} \frac{\Omega}{\text{m}} \Rightarrow R_{70} = 0.0506 \times 10^{-3} \frac{\Omega}{\text{m}}$$

$$D = 34.6 \text{mm} \Rightarrow P_{\text{sol}} = 15.57 \frac{\text{W}}{\text{m}}, \quad P_{\text{rad}} = 15.69 \frac{\text{W}}{\text{m}}, \quad P_{\text{con}} = 62.95 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\Rightarrow I_{\text{max}} = 1116 \text{A}$$

همانطور که ملاحظه می‌گردد، این جریان از جریان پیش بینی شده برای هر هادی باندل کوچکتر بوده و لذا باید سطح مقطع بالاتری را انتخاب کرده و پس از اصلاحات لازم، جریان مجاز واقعی آن را پیدا نمود و با مقدار مورد نیاز ۱۵۰۰ آمپر مقایسه گردد. پس از چندین بار سعی و خطا مشخصات هادی مناسب، از دیدگاه جریان مجاز دائم پیش بینی شده در محل پست، به شرح ذیل می‌باشد:

$$\text{سطح مقطع هادی} = 1250 \text{ mm}^2$$

$$\text{قطر هادی} = 46 \text{ mm}$$

$$\text{جریان مجاز دائم تحت شرایط مسئله} = 1563 \text{ A}$$

$$\text{وزن واحد طول هادی} = 3.4526 \text{ kg/m}$$

### ۲-۵-۳- بررسی سطح مقطع انتخابی از دیدگاه پدیده کرونا

الف) فاصله بین هادی‌های باندل برابر ۱۰ cm است:

با استفاده از روابط (۲-۱۴) تا (۲-۱۸) و اطلاعات مسئله خواهیم داشت:

$$E_a = 1.1 \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\chi}{R_L \cdot \ln\left(\frac{a}{r_c} \cdot \frac{2h_c}{\sqrt{4h_c^2 + a^2}}\right)}, \quad D = 4.6 \text{cm}, \quad a_s = 10 \text{cm}$$

$$a = 5 \text{m} = 500 \text{cm}, \quad n = 2 \Rightarrow r_b = \frac{10}{2 \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)} = 5 \text{cm}$$

$$\Rightarrow r_c = \sqrt{\frac{2 \times 4.6 \times 5}{2}} = 4.796 \text{cm}$$

$$\Rightarrow \chi = \frac{1 + \frac{4.6}{2 \times 5}}{2} = 0.73$$

$$h_c = 20 \text{m} = 2000 \text{cm} \Rightarrow E_a = 1.1 \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0.73}{2.3 \ln\left(\frac{500}{4.796} \times \frac{2 \times 2000}{\sqrt{4 \times (2000)^2 + (500)^2}}\right)}$$

$$\Rightarrow E_a = 17.38 \frac{\text{kV}_{\text{rms}}}{\text{cm}}, \quad E_m \approx E_a = 17.38 \frac{\text{kV}_{\text{rms}}}{\text{cm}}$$

ب) فاصله بین هادی‌های باندل برابر ۲۰ cm است:

با انجام محاسباتی مشابه فوق حداکثر گرادیان ولتاژ در سطح هادی در هنگام بهره‌برداری برابر خواهد بود با:

$$E_m \approx E_a = 15.82 \frac{kV_{rms}}{cm}$$

با استفاده از جدول (۲-۴) مقدار گرادیان سطحی مجاز تحت شرایط محیطی پست مورد نظر برابر ۱۶/۰۸ بدست می‌آید که با توجه به تجربی بودن فرمول‌های مورد استفاده و نزدیک بودن مقادیر گرادیان ولتاژ به دست آمده به مقدار مجاز، لذا سطح مقطع انتخاب شده از لحاظ پدیده کرونا مشکلی نخواهد داشت.

### ۲-۵-۲-۴- بررسی سطح مقطع انتخاب شده از دیدگاه تنش‌های حرارتی ناشی از اتصال کوتاه

با استفاده از رابطه (۲-۱۹) و شکل‌های (۲-۴) و (۲-۵) و اطلاعات مسئله خواهیم داشت:

$$I_{th} = I_K'' \cdot \sqrt{(m+n)} \quad , \quad I_K'' = I_{K3}'' = 63kA \quad , \quad K = 1.81 \quad , \quad T_K = 1sec$$

$$I_{K3} = 45kA \quad , \quad \frac{I_{K3}''}{I_{K3}} = \frac{63}{45} = 1.4$$

$$\Rightarrow m = 0.04 \quad , \quad n = 0.8 \quad \Rightarrow I_{th} = 63\sqrt{(0.04+0.8)} = 57.74kA$$

از رابطه (۲-۲۶) و باتوجه به این نکته که جریان اتصال کوتاه از هر دو هادی باندل عبور می‌کند، خواهیم داشت:

$$S_{th} = \frac{I_{th}}{2A} = \frac{57740}{2 \times 1250} = 23.1 \frac{A}{mm^2}$$

باتوجه به اطلاعات مسئله و با استفاده از شکل (۲-۶)، مقدار چگالی جریان کوتاه مدت  $S_{thr}$  بدست می‌آید:

$$T_{kr} = 1sec \quad , \quad T_2 = 70^\circ C \quad , \quad T_{sc} = 200^\circ C$$

$$\Rightarrow S_{thr} = 87 \frac{A}{mm^2}$$

از رابطه (۲-۲۵) خواهیم داشت:

$$S_{th} = 23.1 \frac{A}{mm^2} \quad , \quad S_{thr} \times \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} = 87 \frac{A}{mm^2}$$

$$\Rightarrow S_{th} \langle S_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}}$$

بنابراین سطح مقطع انتخابی از لحاظ تحمل حرارتی، استقامت کافی را در قبال عبور جریان اتصال کوتاه خواهد داشت.

### ۲-۵-۲-۵- بررسی سطح مقطع انتخاب شده از دیدگاه تنش‌های مکانیکی حاصل از اتصال کوتاه

نیروی الکترومغناطیس در واحد طولی که بر روی هادی‌های اصلی اثر می‌نماید، از رابطه (۲-۴۴) بدست می‌آید:

$$F' = 0.15 \frac{(I_{K3}'')^2}{a} \cdot \frac{L_c}{L} = 0.15 \frac{(63)^2}{5} \cdot \frac{37.4}{48} = 92.78 \frac{N}{m}$$

پارامتر  $r$  باتوجه به رابطه (۲-۴۵) محاسبه می‌شود:

$$r = \frac{F'}{nm'_{sc} g_n}$$



که در این رابطه  $m'_{sc}$  جرم منتجه واحد طول هر یک از هادی‌های باندل می‌باشد و باتوجه به اطلاعات مسئله برابر است با:

$$m'_{sc} = m'_s + \frac{n_c m_c}{n L_c} = 3.4526 + \frac{3 \times 36}{2 \times 37.4} = 4.897 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\Rightarrow r = \frac{F'}{n m'_{sc} g_n} = \frac{92.78}{2 \times 4.897 \times 9.81} = 0.9657$$

جهت نیروی منتجه از رابطه (۴۶-۲) برابر است با:

$$\delta_1 = \arctan r = \arctan 0.9657 = 44^\circ$$

انحراف عمودی معادلی که در شرایط ایستا در وسط هادی به وقوع می‌پیوندد، از رابطه (۴۷-۲) محاسبه می‌شوند:

$$b_{c,-25} = \frac{n m'_{sc} g_n L^2}{8 F_{st,-25}} = \frac{2 \times 4.897 \times 9.81 \times (48)^2}{8 \times 23.1 \times 10^3} = 1.198 \text{m}$$

$$b_{c,70} = \frac{n m'_{sc} g_n L^2}{8 F_{st,70}} = \frac{2 \times 4.897 \times 9.81 \times (48)^2}{8 \times 18.9 \times 10^3} = 1.464 \text{m}$$

مدت زمان لازم برای طی هر تناوب از نوسانات بوجود آمده در هادی، از رابطه (۴۸-۲) بدست می‌آید:

$$T_{-25} = 2\pi \sqrt{0.8 \frac{b_{c,-25}}{g_n}} = 2\pi \sqrt{0.8 \times \frac{1.198}{9.81}} = 1.964 \text{sec}$$

$$T_{70} = 2\pi \sqrt{0.8 \frac{b_{c,70}}{g_n}} = 2\pi \sqrt{0.8 \times \frac{1.464}{9.81}} = 2.17 \text{sec}$$

مدت زمان منتجه برای طی هر دوره تناوب از نوسانات اعمال شده از رابطه (۴۹-۲) بدست می‌آیند:

$$T_{res,-25} = \frac{T_{-25}}{\sqrt[4]{1+r^2} \left[ 1 - \frac{\pi^2}{64} \left( \frac{\delta_1}{90} \right)^2 \right]} = \frac{1.964}{\sqrt[4]{1+(0.9657)^2} \left[ 1 - \frac{\pi^2}{64} \left( \frac{44}{90} \right)^2 \right]} = 1.73 \text{ sec}$$

$$T_{res,70} = \frac{T_{70}}{\sqrt[4]{1+r^2} \left[ 1 - \frac{\pi^2}{64} \left( \frac{\delta_1}{90} \right)^2 \right]} = \frac{2.17}{\sqrt[4]{1+(0.9657)^2} \left[ 1 - \frac{\pi^2}{64} \left( \frac{44}{90} \right)^2 \right]} = 1.91 \text{ sec}$$

میزان سختی از روابط (۵۰-۲) و (۵۱-۲) تعیین می‌گردد:

$$N_{-25} = \frac{1}{SL} + \frac{1}{nE_{s,-25}A_s}, \quad \frac{F_{st,-25}}{nA_s} = \frac{23100}{2 \times 1250 \times 10^{-6}} = 9.24 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$\delta_{fin} = 5 \times 10^7 \frac{N}{m^2} \Rightarrow \frac{F_{st,-25}}{nA_s} \langle \delta_{fin}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow E_{s,-25} &= E \left[ 0.3 + 0.7 \sin \left( \frac{F_{st,-25}}{nA_s \delta_{fin}} \times 90^\circ \right) \right] \\ &= 6.5 \times 10^{10} \times \left[ 0.3 + 0.7 \sin \left( \frac{23100}{2 \times 1250 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^7} \times 90^\circ \right) \right] \\ &= 3.253 \times 10^{10} \frac{N}{m^2} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow N_{-25} = \frac{1}{5 \times 10^5 \times 48} + \frac{1}{2 \times 3.253 \times 10^{10} \times 1250 \times 10^{-6}} = 5.396 \times 10^{-8} \frac{1}{N}$$

$$N_{70} = \frac{1}{SL} + \frac{1}{nE_{s,70}A_s}, \quad \frac{F_{st,70}}{nA_s} = \frac{18900}{2 \times 1250 \times 10^{-6}} = 7.56 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$\delta_{fin} = 5 \times 10^7 \frac{N}{m^2} \Rightarrow \frac{F_{st,70}}{nA_s} \langle \delta_{fin}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow E_{s,70} &= E \left[ 0.3 + 0.7 \sin \left( \frac{F_{st,70}}{nA_s \delta_{fin}} \times 90^\circ \right) \right] \\ &= 6.5 \times 10^{10} \left[ 0.3 + 0.7 \sin \left( \frac{18900}{2 \times 1250 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^7} \times 90^\circ \right) \right] \\ &= 3.02 \times 10^{10} \frac{N}{m^2} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow N_{70} = \frac{1}{5 \times 10^5 \times 48} + \frac{1}{2 \times 3.02 \times 10^{10} \times 1250 \times 10^{-6}} = 5.491 \times 10^{-8} \frac{1}{N}$$

فاکتورهای تنش از رابطه (۵۲-۲) بدست می‌آیند:

$$\zeta_{-25} = \frac{(nm'_{sc} g_n L)^2}{24F_{st,-25}^3 N_{-25}} = \frac{(2 \times 4.897 \times 9.81 \times 48)^2}{24 \times (23100)^3 \times 5.396 \times 10^{-8}} = 1.332$$

$$\zeta_{70} = \frac{(nm'_{sc} g_n L)^2}{24F_{st,70}^3 N_{70}} = \frac{(2 \times 4.897 \times 9.81 \times 48)^2}{24 \times (18900)^3 \times 5.491 \times 10^{-8}} = 2.390$$

زوایای خروج از وضعیت حالت مانا از رابطه (۵۳-۲) بدست می‌آیند:

$$\frac{T_{k1}}{T_{res,-25}} = \frac{0.5}{1.73} = 0.289 \Rightarrow 0 < \frac{T_{k1}}{T_{res,-25}} < 0.5$$

$$\Rightarrow \delta_{k,-25} = \delta_1 \left[ 1 - \cos\left(\frac{T_{k1}}{T_{res,-25}} 360\right) \right] = 44 \left[ 1 - \cos\left(\frac{0.5}{1.73} 360\right) \right] = 54.68^\circ$$

$$\frac{T_{k1}}{T_{res,70}} = \frac{0.5}{1.91} = 0.262 \Rightarrow 0 < \frac{T_{k1}}{T_{res,70}} < 0.5$$

$$\Rightarrow \delta_{k,70} = \delta_1 \left[ 1 - \cos\left(\frac{T_{k1}}{T_{res,70}} 360\right) \right] = 44 \left[ 1 - \cos\left(\frac{0.5}{1.91} 360\right) \right] = 47.25^\circ$$

حداکثر زوایای انحرافی که اسپن‌ها می‌توانند تا آن زاویه نوسان کننده از روابط (۵۴-۲) و (۵۵-۲) بدست می‌آیند:

$$\delta_{k,-25} = 54.68^\circ \Rightarrow K'_{-25} = 1 - r \sin \delta_{k,-25} = 1 - 0.9657 \sin 54.68$$

$$K'_{-25} = 0.212 \Rightarrow \delta_{m,-25} = 10 + \arccos K'_{-25} = 10 + \arccos 0.212$$

$$\delta_{m,-25} = 87.76^\circ$$

$$\delta_{k,70} = 47.25^\circ \Rightarrow K'_{70} = 1 - r \sin \delta_{k,70} = 1 - 0.9657 \sin 47.25$$

$$K'_{70} = 0.291 \Rightarrow \delta_{m,70} = 10 + \arccos K'_{70} = 10 + \arccos 0.291$$

$$\delta_{m,70} = 83.08^\circ$$

پارامترهای بار با استفاده از رابطه (۵۶-۲) بدست می‌آیند:

$$\frac{T_{res,-25}}{4} = \frac{1.73}{4} = 0.4325 \text{ sec} , T_{k1} = 0.5 \text{ sec} \Rightarrow T_{k1} > \frac{T_{res,-25}}{4}$$

$$\Rightarrow \varphi_{-25} = 3(\sqrt{1+r^2} - 1) = 3(\sqrt{1+(0.9657)^2} - 1) = 1.17$$

$$\frac{T_{res,70}}{4} = \frac{1.91}{4} = 0.4775 \text{ sec} , T_{k1} = 0.5 \text{ sec} \Rightarrow T_{k1} > \frac{T_{res,70}}{4}$$

$$\Rightarrow \varphi_{70} = 3(\sqrt{1+r^2} - 1) = 3(\sqrt{1+(0.9657)^2} - 1) = 1.17$$

فاکتورهای  $\psi$  با استفاده از شکل (۱۰-۲) و نتایج مراحل قبل به صورت زیر استخراج می‌گردند:

$$\Psi_{-25} = 0.64$$

$$\Psi_{70} = 0.75$$

نیروهای کششی که در حین اتصال کوتاه و در اثر تاب خوردن هادی رو به خارج به وجود می‌آیند، به ازای  $n=2$  از رابطه (۵۸-۲) بدست می‌آیند:

$$F_{t,-25} = 1.1F_{st,-25}(1 + \varphi_{-25}\Psi_{-25}) = 1.1 \times 23.1 \times (1 + 1.17 \times 0.64) = 44.43 \text{ kN}$$

$$F_{t,70} = 1.1F_{st,70}(1 + \varphi_{70}\Psi_{70}) = 1.1 \times 18.9 \times (1 + 1.17 \times 0.75) = 39.03 \text{ kN}$$

حداکثر نیروی کششی که در حین اتصال کوتاه و در اثر تاب خوردن هادی رو به خارج به وجود می‌آید، برابر بزرگترین مقدار  $F_{t,-}$  و  $F_{t,70}$  می‌باشد، یعنی:

$$F_t = \max(F_{t,-25}, F_{t,70}) = \max(44.43, 39.03) \Rightarrow F_t = 44.43 \text{ kN}$$

از آنجائیکه  $t > 0.6$  و  $\delta_{m,-25}$  و  $\delta_{m,70}$  هر دو بزرگتر از  $70^\circ$  درجه هستند. نیروهای کششی وارد شده بر هادی پس از رفع اتصال کوتاه قابل توجه می‌باشند و از رابطه (۵۹-۲) بدست می‌آیند:

$$F_{f,-25} = 1.2F_{st,-25} \sqrt{1 + 8\xi_{-25} \frac{\delta_{m,-25}}{180}} = 1.2 \times 23.1 \sqrt{1 + 8 \times 1.332 \frac{87.76}{180}}$$

$$F_{f,-25} = 68.996 \text{ kN}$$

$$F_{f,70} = 1.2F_{st,70} \sqrt{1 + 8\xi_{70} \frac{\delta_{m,70}}{180}} = 1.2 \times 18.9 \sqrt{1 + 8 \times 2.390 \frac{83.08}{180}}$$

$$F_{f,70} = 71.089 \text{ kN}$$

حداکثر نیروی کششی که پس از رفع اتصال کوتاه به وجود می‌آید، برابر بزرگترین مقدار  $F_{f,-25}$  و  $F_{f,70}$  می‌باشد، یعنی:

$$F_f = \max(F_{f,-25}, F_{f,70}) = \max(68.996, 71.089)$$

$$F_f = 71.089 \text{ kN}$$

نیروی کششی ناشی از نزدیک شدن هادی‌های باندل را در دو حالت بررسی می‌کنیم:

الف \_ فاصله هادی‌های باندل از هم برابر  $10$  سانتیمتر باشد:

فاصله متوسط اسپیسرهای استفاده شده در هر اسپن مطابق شکل (۱۹-۲) از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$L_s = \frac{l_{s1} + l_{s2} + l_{s3} + l_{s4}}{4} = \frac{5.7 + 10 + 10 + 11.7}{4} = 9.4 \text{ m}$$

از روابط (۶۷-۲) و (۶۸-۲) داریم:

$$a_s = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m} \quad , \quad D_s = 0.046 \text{ m} \quad , \quad L_s = 9.4 \text{ m}$$

$$\frac{a_s}{D_s} = \frac{0.1}{0.046} = 2.174 \quad \Rightarrow \quad \frac{a_s}{D_s} < (2.5 \quad , \quad L_s) > 70a_s$$

با توجه به توضیحات بند (۲-۳-۸-۵) و باتوجه به اینکه رابطه (۶۸-۲) ارضا شده است، نیروی کششی ناشی از انقباض هادی‌های باندل در مقایسه با  $F_t$ ،  $F_f$  قابل توجه نمی‌باشد و لذا از آن صرف‌نظر می‌گردد.

ب-فاصله هادی‌های باندل از هم برابر ۲۰ سانتیمتر باشد:

از روابط (۶۷-۲) و (۶۸-۲) داریم:

$$a_s = 20\text{cm} = 0.2\text{m} \quad , \quad D_s = 0.046\text{m} \quad , \quad L_s = 9.4\text{m}$$

$$\frac{a_s}{D_s} = \frac{0.2}{0.046} = 4.348$$

در این حالت هیچ یک از روابط (۶۷-۲) و (۶۸-۲) ارضا نمی‌شوند و لذا نیروی کششی ناشی از انقباض هادی‌های باندل قابل

توجه بوده و باید مطابق زیر محاسبه گردد.

فاکتور  $v_1$  از رابطه (۷۰-۲) تعیین می‌گردد:

$$v_1 = \frac{f}{\sin \frac{180}{n}} \sqrt{\frac{(a_s - D_s)m'_s}{0.2 \left(\frac{I''_{k3}}{n}\right)^2 \cdot \frac{n-1}{a_s}}} = \frac{50}{\sin \frac{180}{2}} \sqrt{\frac{(0.2 - 0.046) \times 3.4526}{0.2 \left(\frac{63}{2}\right)^2 \times \frac{2-1}{0.2}}} = 1.1574$$

$$\Rightarrow v_1 = 1.1574$$

فاکتورهای  $v_2$  ,  $v_3$  با استفاده از شکل‌های (۱۱-۲) و (۱۲-۲) و با استفاده از نتایج مراحل قبل به صورت زیر استخراج می‌گردند:

$$v_2 = 3.2 \quad , \quad v_3 = 0.40$$

نیروی حاصل از جریان اتصال کوتاهی که مابین هادی‌های باندل بوجود می‌آید، از رابطه (۶۹-۲) برابر است با:

$$F_v = 0.2(n-1) \left(\frac{I''_{k3}}{n}\right)^2 \frac{L_s}{a_s} \cdot \frac{v_2}{v_3} = 0.2(2-1) \left(\frac{63}{2}\right)^2 \frac{9.4}{0.2} \cdot \frac{3.2}{0.4} = 74.61 \text{ kN}$$

فاکتورهای کششی از روابط (۷۱-۲) و (۷۲-۲) تعیین می‌گردند:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{st,-25} &= 1.5 \frac{F_{st,-25} L_s^2 N_{-25}}{(a_s - D_s)^2} \left(\sin \frac{180}{n}\right)^2 \\ &= 1.5 \frac{23100 \times (9.4)^2 \times 5.396 \times 10^{-8}}{(0.2 - 0.046)^2} \left(\sin \frac{180}{2}\right)^2 \\ &= 6.966 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{st,70} &= 1.5 \frac{F_{st,70} L_s^2 N_{70}}{(a_s - D_s)^2} \left(\sin \frac{180}{n}\right)^2 \\ &= 1.5 \frac{18900 \times (9.4)^2 \times 5.491 \times 10^{-8}}{(0.2 - 0.046)^2} \left(\sin \frac{180}{2}\right)^2 \\ &= 5.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{pi,-25} &= 0.375n \frac{F_v L_s^3 N_{-25}}{(a_s - D_s)^3} \left(\sin \frac{180}{n}\right)^3 \\ &= 0.375 \times 2 \times \frac{74610 \times (9.4)^3 \times 5.396 \times 10^{-8}}{(0.2 - 0.046)^3} \left(\sin \frac{180}{2}\right)^3 \\ &= 686.676\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{pi,70} &= 0.375n \frac{F_v L_s^3 N_{70}}{(a_s - D_s)^3} \left(\sin \frac{180}{n}\right)^3 \\ &= 0.375 \times 2 \times \frac{74610 \times (9.4)^3 \times 5.491 \times 10^{-8}}{(0.2 - 0.046)^3} \left(\sin \frac{180}{2}\right)^3 \\ &= 698.765\end{aligned}$$

پارامترهای  $j_{-25}$ ،  $j_{70}$  از رابطه (۷۳-۲) تعیین می‌گردند:

$$j_{-25} = \sqrt{\frac{\varepsilon_{pi,-25}}{1 + \varepsilon_{st,-25}}} = \sqrt{\frac{686.676}{1 + 6.966}} = 9.284$$

$$j_{70} = \sqrt{\frac{\varepsilon_{pi,70}}{1 + \varepsilon_{st,70}}} = \sqrt{\frac{698.765}{1 + 5.8}} = 10.137$$

از آنجائیکه هر دو مقدار  $j_{-25}$ ،  $j_{70}$  بزرگتر از یک هستند، از رابطه (۷۴-۲) برای محاسبه نیروی کششی  $F_{pi}$  استفاده می‌گردد.

$$F_{pi,-25} = F_{st,-25} \left(1 + \frac{V_{e,-25}}{\varepsilon_{st,-25}} \xi_{-25}\right)$$

$$F_{pi,70} = F_{st,70} \left(1 + \frac{V_{e,70}}{\varepsilon_{st,70}} \xi_{70}\right)$$

با استفاده از شکل (۱۳-۲) و باتوجه به نتایج بدست آمده قبلی، مقادیر  $\xi_{-25}$ ،  $\xi_{70}$  به صورت زیر استخراج می‌گردند:

$$\xi_{70} = 7.55$$

$$\xi_{-25} = 7.51$$

فاکتور  $v_4$  از رابطه (۷۷-۲) برابر است با:

$$v_4 = \frac{a_s - D_s}{D_s} = \frac{0.2 - 0.046}{0.046} = 3.3478$$

فاکتورهای  $V_{e,70}$  ,  $V_{e,25}$  از رابطه (۷۶-۲) تعیین می گردند:

$$V_{e,25} = \frac{1}{2} + \left[ \frac{9}{8} n(n-1) \frac{\mu_0}{2\pi} \left( \frac{I_{k3}''}{n} \right)^2 N_{-25} \cdot v_2 \left( \frac{L_s}{a_s - D_s} \right)^4 \frac{(\sin \frac{180}{n})^4}{\xi_{-25}^3} \times \left\{ 1 - \frac{\arctan \sqrt{v_4}}{\sqrt{v_4}} \right\} - \frac{1}{4} \right]^{1/2}$$

$$= \frac{1}{2} + \left[ \frac{1.8}{8} 2(2-1) \left( \frac{63}{2} \right)^2 \times 5.396 \times 10^{-8} \times 3.2 \times \left( \frac{9.4}{0.2 - 0.046} \right)^4 \right. \\ \left. \cdot \frac{(\sin \frac{180}{2})^4}{(7.51)^3} \left\{ 1 - \frac{\arctan \sqrt{3.3478}}{\sqrt{3.3478}} \right\} - \frac{1}{4} \right]^{1/2} = 1.393$$

$$V_{e,70} = \frac{1}{2} + \left[ \frac{9}{8} n(n-1)(n-1) \frac{\mu_0}{2\pi} \left( \frac{I_{k3}''}{n} \right)^2 N_{70} \cdot v_2 \left( \frac{L_s}{a_s - D_s} \right)^4 \frac{(\sin \frac{180}{n})^4}{\xi_{70}^3} \times \left\{ 1 - \frac{\text{Arctan} \sqrt{v_4}}{\sqrt{v_4}} \right\} - \frac{1}{4} \right]^{1/2}$$

$$= \frac{1}{2} + \left[ \frac{1.8}{8} 2(2-1) \left( \frac{63}{2} \right)^2 \times 5.491 \times 10^{-8} \times 3.2 \times \left( \frac{9.4}{0.2 - 0.046} \right)^4 \right. \\ \left. \cdot \frac{(\sin \frac{180}{2})^4}{(7.55)^3} \left\{ 1 - \frac{\text{Arctan} \sqrt{3.3478}}{\sqrt{3.3478}} \right\} - \frac{1}{4} \right]^{1/2} = 1.394$$

$$\Rightarrow F_{pi,25} = 23.1 \left( 1 + \frac{1.393}{6.966} \times 7.51 \right) = 57.79 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow F_{pi,70} = 18.9 \left( 1 + \frac{1.394}{5.8} \times 7.55 \right) = 53.2 \text{ kN}$$

حداکثر نیروی کششی ناشی از نزدیک شدن هادی‌های باندا در حین اتصال کوتاه، برابر بزرگترین مقدار  $F_{pi,25}$  و  $F_{pi,70}$  می‌باشد،

یعنی:

$$F_{pi} = \max(F_{pi,25}, F_{pi,70}) = \max(57.79, 53.2)$$

$$F_{pi} = 57.79 \text{ kN}$$

بنابراین استراکچرها، مقره‌ها و اتصالات باید قادر به تحمل حداکثر مقدار  $F_t$ ,  $F_f$  و  $F_{pi}$  بعنوان نیروی استاتیک باشند، یعنی:

- در حالتی که فاصله هادی‌های باندا از هم برابر ۱۰ سانتیمتر باشد:

$$\text{Max} \{F_t, F_f\} = \max \{44.43, 71.089\} = 71.089 \text{ kN}$$

- در حالتی که فاصله هادی‌های باندا از هم برابر ۲۰ سانتیمتر است:

$$\text{Max} \{F_t, F_f, F_{pi}\} = \max \{44.43, 71.089, 57.79\} = 71.089 \text{ kN}$$

## ۲-۵-۲- بررسی فواصل مجاز الکتریکی بین هادی‌ها در هنگام نوسانات الکتروپدینامیکی ناشی از اتصال کوتاه

از آنجائیکه تحت حداکثر دمای کاری، میزان شکم هادی‌ها بیشتر و جابجائی افقی آنها در این وضعیت، در اثر اتصال کوتاه، بیشتر است. محاسبات جابجائی افقی هادی‌ها، فقط در این درجه حرارت انجام می‌گیرد.  
 انبساط الاستیک از رابطه (۶۰-۲) بدست می‌آید:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{ela},70} &= N_{70}(F_{t,70} - F_{st,70}) \\ &= 5.491 \times 10^{-8} \times (39.03 - 18.9) \times 10^3 = 1.105 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

انبساط حرارتی از رابطه (۶۱-۲) بدست می‌آید:

$$\begin{aligned}\frac{T_{\text{res},70}}{4} &= \frac{1.91}{4} = 0.4775 \Rightarrow T_{K1} > \frac{T_{\text{res},70}}{4} \\ \Rightarrow \varepsilon_{\text{th},70} &= C_{\text{th}} \left( \frac{I_{K3}'' \times 10^3}{nA_s} \right)^2 \cdot \frac{T_{\text{res},70}}{4}, C_{\text{th}} = 0.27 \times 10^{-18} \frac{\text{m}^4}{\text{A}^2\text{S}} \\ \varepsilon_{\text{th},70} &= 0.27 \times 10^{-18} \left( \frac{63 \times 10^3}{2 \times 1250 \times 10^{-6}} \right)^2 \times \frac{1.91}{4} = 8.187 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

فاکتور انبساط  $C_D$  از رابطه (۶۲-۲) بدست می‌آید:

$$\begin{aligned}C_D &= \sqrt{1 + \frac{3}{8} \left( \frac{L}{b_{c,70}} \right)^2 (\varepsilon_{\text{ela},70} + \varepsilon_{\text{th},70})} \\ &= \sqrt{1 + \frac{3}{8} \left( \frac{48}{1.464} \right)^2 (1.105 \times 10^{-3} + 8.187 \times 10^{-5})} = 1.216\end{aligned}$$

از آنجائیکه  $1/8 < r < 0.8$  است، فاکتور فرم از رابطه (۶۳-۲) بصورت زیر تعیین می‌گردد:

$$C_F = 0.97 + 0.1r = 0.97 + 0.1 \times 0.9657 = 1.0666$$

از آنجائیکه:

$$\delta_{M,70} = 83.08^\circ, \quad \delta_1 = 44^\circ \Rightarrow \delta_{M,70} > \delta_1$$

بنابراین با استفاده از معادله (۶۳-۲) حداکثر جابجائی افقی اسپین هادی تعیین می‌گردد:

$$\begin{aligned}b_h &= C_F C_D b_{c,70} \sin \delta_1 = 1.0666 \times 1.216 \times 1.464 \times \sin 44^\circ \\ \Rightarrow b_h &= 1.32 \text{ m}\end{aligned}$$

حداقل فاصله بین هادی‌ها در حین اتصال کوتاه از رابطه (۶۴-۲) برابر است با:

$$a_{\text{min}} = a - 2b_h = 5 - 2 \times 1.32 = 2.36 \text{ m}$$

با توجه به ولتاژ نامی پست، سطح استقامت عایقی پست و جدول (۷-۲) حداقل فاصله مجاز فاز به فاز بدست می‌آید:

$$\begin{aligned}U &= 400 \text{ kV}, \quad \text{LIWL} = 1300 \text{ kVpeak} \\ \Rightarrow \text{حداقل فاصله مجاز} &= 3100 \text{ mm} = 3.1 \text{ m}\end{aligned}$$

از آنجائیکه حداقل فاصله بین هادیها در حین اتصال کوتاه، از نصف این فاصله بزرگتر است،  $\left( \frac{3.1}{2} \right) > (2.36)$ ، نتیجه می‌گیریم

که فاصله مجاز بین هادی‌های شینه رعایت گردیده و آرایش مذکور از این جهت مشکلی ندارد.



### پیوست (۱-۲)

جدول جریانهای مجاز دائمی هادیهای متداولی که در طراحی  
شینههای نرم و سخت پستهای فشار قوی  
مورد استفاده قرار می گیرند.

جدول الف - ۱: جریان مجاز دائمی هادی‌های آلومینیومی با سطح مقطع حلقه‌ای (لوله‌ای) تحت شرایط دمای محیط ۳۵ درجه سانتیگراد و دمای نهایی هادی ۶۵ درجه سانتیگراد و ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر

جریان مجاز دائمی برحسب آمپر، جهت استفاده در پستهای				استقامت کششی (N/mm <sup>2</sup> )	وزن (kg/m)	سطح مقطع (mm <sup>2</sup> )	ضخامت جداره (mm)	قطر لوله (mm)
فضای باز		فضای بسته						
لخت	رنگ شده	لخت	رنگ شده					
۱۰۳۰	۱۰۸۰	۸۲۲	۱۰۱۰	۱۰۰	۱/۵۶	۵۷۸	۴	۵۰
۱۱۴۰	۱۱۹۰	۹۰۹	۱۱۲۰	۱۰۰	۱/۹۱	۷۰۷	۵	
۱۲۳۰	۱۲۹۰	۹۸۳	۱۲۱۰	۱۰۰	۲/۲۴	۸۲۹	۶	
۱۳۹۰	۱۴۶۰	۱۱۱۰	۱۳۷۰	۷۰	۲/۸۵	۱۰۶۰	۸	
۱۵۱۰	۱۵۸۰	۱۲۱۰	۱۴۹۰	۷۰	۳/۳۹	۱۲۶۰	۱۰	
۱۲۴۰	۱۳۱۰	۱۰۲۰	۱۲۷۰	۱۰۰	۲	۷۴۱	۴	۶۳
۱۳۸۰	۱۴۵۰	۱۱۳۰	۱۴۰۰	۱۰۰	۲/۴۶	۹۱۱	۵	
۱۴۹۰	۱۵۷۰	۱۲۳۰	۱۵۲۰	۱۰۰	۲/۸۹	۱۰۷۰	۶	
۱۷۰۰	۱۷۹۰	۱۳۹۰	۱۷۳۰	۷۰	۳/۷۳	۱۳۸۰	۸	
۱۵۱۰	۱۶۰۰	۱۲۸۰	۱۶۰۰	۱۰۰	۲/۵۴	۹۵۵	۴	۸۰
۱۶۸۰	۱۷۸۰	۱۴۲۰	۱۷۷۰	۱۰۰	۳/۱۸	۱۱۸۰	۵	
۱۸۲۰	۱۹۳۰	۱۵۴۰	۱۹۲۰	۱۰۰	۳/۷۷	۱۴۰۰	۶	
۲۰۸۰	۲۲۰۰	۱۷۶۰	۲۲۰۰	۷۰	۴/۸۹	۱۸۱۰	۸	
۲۲۸۰	۲۴۲۰	۱۹۲۰	۲۴۱۰	۷۰	۵/۹۴	۲۲۰۰	۱۰	
۱۸۲۰	۱۹۳۰	۱۵۷۰	۱۹۸۰	۱۰۰	۳/۲۶	۱۲۱۰	۴	۱۰۰
۲۰۲۰	۲۱۵۰	۱۷۵۰	۲۲۰۰	۱۰۰	۴/۰۳	۱۴۹۰	۵	
۲۲۰۰	۲۳۴۰	۱۹۰۰	۲۳۹۰	۱۰۰	۴/۷۸	۱۷۷۰	۶	
۲۵۱۰	۲۶۷۰	۲۱۷۰	۲۷۴۰	۷۰	۶/۲۴	۲۳۱۰	۸	

## ادامه جدول الف - ۱

جریان مجاز دائمی برحسب آمپر، جهت استفاده در پستهای				استقامت کششی (N/mm <sup>2</sup> )	وزن (kg/m)	سطح مقطع (mm <sup>2</sup> )	ضخامت جداره (mm)	قطر لوله (mm)
فضای باز		فضای بسته						
لخت	رنگ شده	لخت	رنگ شده					
۲۱۰۰	۲۲۵۰	۱۸۶۰	۲۳۶۰	۱۰۰	۳/۹۴	۱۴۶۰	۴	۱۲۰
۲۳۴۰	۲۵۰۰	۲۰۷۰	۲۶۲۰	۱۰۰	۴/۸۸	۱۸۱۰	۵	
۲۵۵۰	۲۷۳۰	۲۲۵۰	۲۸۶۰	۱۰۰	۵/۸	۲۱۵۰	۶	
۲۹۲۰	۳۱۲۰	۲۵۸۰	۳۲۷۰	۷۰	۷/۶	۲۸۲۰	۸	
۳۲۰۰	۳۴۲۰	۲۸۳۰	۳۵۹۰	۷۰	۹/۳۳	۳۴۶۰	۱۰	
۲۷۱۰	۲۹۱۰	۲۴۳۰	۳۱۱۰	۱۰۰	۵/۲۹	۱۹۶۰	۴	۱۶۰
۳۰۱۰	۳۲۴۰	۲۷۱۰	۳۴۶۰	۱۰۰	۶/۵۷	۲۴۴۰	۵	
۳۲۹۰	۳۵۳۰	۲۹۵۰	۳۷۸۰	۱۰۰	۷/۸۴	۲۹۰۰	۶	
۳۷۸۰	۴۰۶۰	۳۳۹۰	۴۳۴۰	۷۰	۱۰/۳	۳۸۲۰	۸	
۴۱۴۰	۴۴۶۰	۳۷۲۰	۴۷۶۰	۷۰	۱۲/۷	۴۷۱۰	۱۰	
۳۶۷۰	۳۹۶۰	۳۳۳۰	۴۲۹۰	۱۰۰	۸/۲۷	۳۰۶۰	۵	۲۰۰
۴۰۰۰	۴۳۲۰	۳۶۴۰	۴۶۹۰	۱۰۰	۹/۸۷	۳۶۶۰	۶	
۴۶۰۰	۴۹۷۰	۴۱۸۰	۵۳۹۰	۷۰	۱۳	۴۸۳۰	۸	
۵۰۶۰	۵۴۶۰	۴۶۰۰	۵۹۲۰	۷۰	۱۶/۱	۵۹۷۰	۱۰	
۵۴۰۰	۵۸۳۰	۴۹۱۰	۶۳۳۰	۷۰	۱۹/۱	۷۰۹۰	۱۲	
۴۴۶۰	۴۸۴۰	۴۱۰۰	۵۳۳۰	۱۰۰	۱۰/۴	۳۸۵۰	۵	۲۵۰
۴۸۷۰	۵۲۸۰	۴۴۸۰	۵۸۱۰	۱۰۰	۱۲/۴	۴۶۰۰	۶	
۵۶۱۰	۶۰۸۰	۵۱۶۰	۶۶۹۰	۷۰	۱۶/۴	۶۰۸۰	۸	
۶۱۷۰	۶۶۹۰	۵۶۸۰	۷۳۶۰	۷۰	۲۰/۴	۷۵۴۰	۱۰	
۶۶۰۰	۷۱۵۰	۶۰۷۰	۷۸۷۰	۷۰	۲۴/۲	۸۹۷۰	۱۲	

جدول الف-۲: جریان مجاز دائمی هادی‌های آلومینیوم الیازی E-ALMgSi 0.5 F22 با سطح مقطع حلقه‌ای (لوله‌ای)، تحت شرایط دمای محیط ۳۵ درجه سانتیگراد و دمای نهایی هادی ۸۵ درجه سانتیگراد با استقامت کششی ۲۲۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع و ضریب هدایت الکتریکی  $30 \frac{m}{\pi \cdot mm^2}$

جریان مجاز دائمی برحسب آمپر، جهت استفاده در پستهای				وزن (kg/m)	سطح مقطع (mm <sup>2</sup> )	ضخامت جداره (mm)	قطر لوله (mm)
فضای باز		فضای بسته					
لخت	رنگ شده	لخت	رنگ شده				
۱۲۵۸	۱۳۱۹	۱۰۰۴	۱۲۳۳	۱/۵۶	۵۷۸	۴	۵۰
۱۳۹۲	۱۴۵۳	۱۱۱۰	۱۳۶۸	۱/۹۱	۷۰۷	۵	
۱۵۰۲	۱۵۷۵	۱۲۰۰	۱۴۷۷	۲/۲۴	۸۲۹	۶	
۱۶۹۷	۱۷۸۳	۱۳۵۵	۱۶۷۳	۲/۸۵	۱۰۶۰	۸	
۱۸۴۴	۱۹۲۹	۱۴۷۷	۱۸۱۹	۳/۳۹	۱۲۶۰	۱۰	
۱۵۱۴	۱۶۰۰	۱۲۴۵	۱۵۵۱	۲	۷۴۱	۴	۶۳
۱۶۸۵	۱۷۷۰	۱۳۸۰	۱۷۰۹	۲/۴۶	۹۱۱	۵	
۱۸۱۹	۱۹۱۷	۱۵۰۲	۱۸۵۶	۲/۹	۱۰۷۰	۶	
۲۰۷۶	۲۱۸۶	۱۶۹۷	۲۱۱۲	۳/۷۳	۱۳۸۰	۸	
۱۸۴۴	۱۹۵۴	۱۵۶۳	۱۹۵۴	۲/۵۸	۹۵۵	۴	۸۰
۲۰۵۱	۲۱۷۳	۱۷۳۴	۲۱۶۱	۳/۱۸	۱۱۸۰	۵	
۲۲۲۲	۲۳۵۷	۱۸۸۰	۲۳۴۴	۳/۷۷	۱۴۰۰	۶	
۲۵۴۰	۲۶۸۶	۲۱۴۹	۲۶۸۶	۴/۸۹	۱۸۱۰	۸	
۲۷۸۴	۲۹۵۵	۲۳۴۴	۲۹۴۳	۵/۹۴	۲۲۰۰	۱۰	
۲۲۲۰	۲۳۵۵	۱۹۱۵	۲۴۲۰	۳/۲۶	۱۲۱۰	۴	۱۰۰
۲۴۶۶	۲۶۲۵	۲۱۳۵	۲۶۸۵	۴/۰۳	۱۴۹۰	۵	
۲۶۸۵	۲۸۵۵	۲۳۲۰	۲۹۲۰	۴/۷۸	۱۷۷۰	۶	
۳۰۶۵	۳۲۶۰	۲۶۵۰	۳۳۴۵	۶/۲۴	۲۳۱۰	۸	

## ادامه جدول الف - ۲

جریان مجاز دائمی برحسب آمپر، جهت استفاده در پستهای				وزن (kg/m)	سطح مقطع (mm <sup>2</sup> )	ضخامت جداره (mm)	قطر لوله (mm)
فضای باز		فضای بسته					
لخت	رنگ شده	لخت	رنگ شده				
۲۵۶۵	۲۷۴۵	۲۲۷۰	۲۸۸۰	۳/۹۴	۱۴۶۰	۴	۱۲۰
۲۸۵۵	۳۰۵۵	۲۵۲۵	۳۲۰۰	۴/۸۸	۱۸۱۰	۵	
۳۱۱۵	۳۳۳۵	۲۷۴۵	۳۴۹۰	۵/۸	۲۱۵۰	۶	
۳۵۶۵	۳۸۱۰	۳۱۵۰	۳۹۹۵	۷/۶	۲۸۲۰	۸	
۳۹۰۵	۴۱۷۵	۳۴۵۵	۴۳۸۵	۹/۳۳	۳۴۶۰	۱۰	
۳۳۱۰	۳۵۵۵	۲۹۶۵	۳۷۹۵	۵/۲۹	۱۹۶۰	۴	۱۶۰
۳۶۷۵	۳۹۵۵	۳۳۳۱۰	۴۲۲۵	۶/۵۷	۲۴۴۰	۵	
۴۰۱۵	۴۳۱۰	۳۶۰۰	۴۶۱۵	۷/۸۴	۲۹۰۰	۶	
۴۶۱۵	۴۹۵۵	۴۱۴۰	۵۳۰۰	۱۰/۳	۳۸۲۰	۸	
۵۰۵۵	۵۴۴۵	۴۵۴۰	۵۸۱۰	۱۲/۷	۴۷۱۰	۱۰	
۴۴۸۰	۴۸۳۵	۴۰۶۵	۵۲۴۰	۸/۲۷	۳۰۶۰	۵	۲۰۰
۴۸۸۵	۵۲۷۵	۴۴۴۵	۵۷۲۵	۹/۸۷	۳۶۶۰	۶	
۵۶۱۵	۶۰۷۰	۵۱۰۵	۶۵۸۰	۱۳	۴۸۳۰	۸	
۶۱۸۰	۶۶۶۵	۵۶۱۵	۷۲۳۰	۱۶/۱	۵۹۷۰	۱۰	
۶۵۹۵	۷۱۲۰	۵۹۹۵	۷۷۳۰	۱۹/۱	۷۰۹۰	۱۲	
۵۴۴۵	۵۹۱۰	۵۰۰۵	۶۵۱۰	۱۰/۴	۳۸۵۰	۵	۲۵۰
۵۹۴۵	۶۴۴۵	۵۴۷۰	۷۰۹۵	۱۲/۴	۴۶۰۰	۶	
۶۸۵۰	۷۴۲۵	۶۳۰۰	۸۱۷۰	۱۶/۴	۶۰۸۰	۸	
۷۵۳۵	۸۱۷۰	۶۹۴۵	۸۹۸۵	۲۰/۴	۷۵۴۰	۱۰	
۸۰۶۰	۸۷۳۰	۷۴۱۰	۹۶۱۰	۲۴/۲	۸۹۷۰	۱۲	

جدول الف - ۳: جریان مجاز دائمی و سایر خصوصیات الکتریکی و مکانیکی هادی‌های آلومینیومی

(هادی‌های آلومینیومی از نوع A1 مطابق مراجع (۵ و ۱۷))

جریان مجاز دائمی در درجه حرارت (A)		مقاومت الکتریکی در درجه حرارت ( $\Omega/\text{Km}$ )		استقامت نامی (KN)	وزن (kg/Km)	قطر هادی (mm)	سطح مقطع ( $\text{mm}^2$ )
۱۰۰ درجه سانتیگراد	۸۰ درجه سانتیگراد	۱۰۰ درجه سانتیگراد	۸۰ درجه سانتیگراد				
۲۰۱	۱۴۶	۲/۳۶۸۹	۲/۲۲۴۵	۳/۰۴	۴۳/۸	۵/۱۲	۱۶
۲۶۷	۱۹۴	۱/۵۱۶۱	۱/۴۲۳۷	۴/۵	۶۸/۴	۶/۴	۲۵
۳۶۱	۲۶۲	۰/۹۴۷۵	۰/۸۸۹۸	۶/۸	۱۰۹/۴	۸/۰۹	۴۰
۴۸۳	۳۵۱	۰/۶۰۱۶	۰/۵۶۵۰	۱۰/۳۹	۱۷۲/۳	۱۰/۲	۶۳
۶۵۱	۴۷۲	۰/۳۸۰۸	۰/۳۵۷۶	۱۷	۲۷۴/۸	۱۲/۹	۱۰۰
۷۵۰	۵۴۵	۰/۳۰۵۰	۰/۲۸۶۵	۲۱/۲۵	۳۴۳/۶	۱۴/۵	۱۲۵
۸۸۳	۶۳۹	۰/۲۳۸۴	۰/۲۲۳۹	۲۶/۴	۴۳۹/۸	۱۶/۴	۱۶۰
۱۰۱۸	۷۳۷	۰/۱۹۰۹	۰/۱۷۹۳	۳۲	۵۴۹/۷	۱۸/۳	۲۰۰
۱۱۷۹	۸۵۲	۰/۱۵۲۹	۰/۱۴۳۶	۴۰	۶۸۷/۱	۲۰/۵	۲۵۰
۱۳۴۷	۹۸۷	۰/۱۲۱۹	۰/۱۱۴۶	۵۱/۹۷	۸۶۷/۹	۲۳	۳۱۵
۱۵۸۲	۱۱۵۲	۰/۰۹۶۳	۰/۰۹۰۵	۶۴	۱۱۰۲	۲۶	۴۰۰
۱۶۸۴	۱۲۴۰	۰/۰۸۵۸	۰/۰۸۰۷	۷۲	۱۲۳۹/۸	۲۷/۵	۴۵۰
۱۸۰۲	۱۳۲۷	۰/۰۷۷۴	۰/۰۷۲۸	۸۰	۱۳۷۷/۶	۲۹	۵۰۰
۱۹۲۶	۱۴۲۵	۰/۰۶۹۴	۰/۰۶۵۳	۸۹/۶	۱۵۴۲/۹	۳۰/۷	۵۶۰
۲۰۴۴	۱۵۳۵	۰/۰۶۲۰	۰/۰۵۸۴	۱۰۰/۸	۱۷۳۸/۳	۳۲/۶	۶۳۰
۲۱۹۳	۱۶۵۳	۰/۰۵۵۴	۰/۰۵۲۲	۱۱۳/۶	۱۹۵۹/۱	۳۴/۶	۷۱۰
۲۳۳۰	۱۷۸۳	۰/۰۴۹۴	۰/۰۴۶۶	۱۲۸	۲۲۰۷/۴	۳۶/۸	۸۰۰
۲۴۹۰	۱۹۱۴	۰/۰۴۴۴	۰/۰۴۱۹	۱۴۴	۲۴۸۳/۳	۳۹	۹۰۰
۲۵۹۴	۲۰۳۹	۰/۰۴۰۳	۰/۰۳۸۱	۱۶۰	۲۷۵۹/۲	۴۱/۱	۱۰۰۰
۲۷۸۳	۲۱۸۱	۰/۰۳۶۵	۰/۰۳۴۵	۱۷۹/۲	۳۰۹۳/۵	۴۳/۵	۱۱۲۰
۲۹۵۸	۲۳۲۹	۰/۰۳۳۱	۰/۰۳۱۳	۲۰۰	۳۴۵۲/۶	۴۶	۱۲۵۰
۲۹۷۹	۲۴۸۰	۰/۰۳۰۱	۰/۰۲۸۶	۲۲۴	۳۸۶۶/۹	۴۸/۷	۱۴۰۰
۲۹۵۸	۲۵۷۵	۰/۰۲۸۴	۰/۰۲۷۱	۲۴۰	۴۱۴۳/۱	۵۰/۴	۱۵۰۰





\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_





### ۳- مقدمه

در این فصل نحوه انجام آزمونهای شینه‌های نرم و سخت مورد استفاده در پستهای فشارقوی ۶۳ الی ۴۰۰ کیلوولت، جهت حصول از کار صحیح و مورد انتظار آنها تشریح می‌گردد.

### ۳-۱- آزمونهای هادیهای رشته‌ای

در این بخش روشهای انجام آزمونهای نوعی و نمونه‌ای برای هادیهای رشته‌ای آلومینیومی و آلومینیوم - فولاد تشریح و حدود مجاز پارامترهای اندازه‌گیری شده جهت تأیید هادیها ارائه می‌گردد. در هنگام استفاده از این بخش، به کارگیری مراجع [۱۷-۲۳] الزامی است.

کلیه آزمونهای نوعی و نمونه‌ای زیر بایستی مطابق با آخرین تجدیدنظر مراجع [۱۷-۲۳] انجام گیرند.

#### آزمونهای نوعی شامل

- آزمون اتصالات در رشته‌های آلومینیومی
- آزمون منحنی‌های تنش - کرنش بر روی هادی
- آزمون نیروی گسیختگی هادی

#### آزمونهای نمونه‌ای شامل

- آزمون کشش بر روی مفتولهای آلومینیومی و فولادی
- آزمون پیچش مفتولهای آلومینیومی
- آزمون مقاومت الکتریکی مفتولهای آلومینیومی
- آزمون تنش در یک درصد افزایش طول روی مفتولهای فولادی
- آزمون خاصیت لوله شدن روی مفتولهای فولادی
- آزمون پوشش فلز روی در مفتولهای فولادی
- اندازه‌گیری سطح مقطع هادی
- اندازه‌گیری قطر نهایی هادی
- اندازه‌گیری جرم در واحد طول هادی (چگالی خطی)
- آزمون گسیختگی رشته‌های آلومینیومی و فولادی پس از تابیده شدن
- آزمون وضعیت سطح هادی
- آزمون نسبت لایه و جهت لایه هادی

### ۳-۱-۱- آزمونهای نوعی

#### ۳-۱-۱-۱- آزمون اتصالات در رشته‌های آلومینیومی و فولادی

##### - مفتولهای آلومینیومی

به علت گسیختگیهای غیرقابل پیش‌بینی به هنگام ساخت و به منظور استفاده از مفتولهای با طول کوتاه، به اتصال مفتولهای آلومینیومی نیاز می‌باشد. در این مفتولها، مستقل از تعداد مفتولها در هر هادی، اتصال مفتولهای آلومینیومی باید از طریق جوش سربه سر الکتریکی<sup>۱</sup>، جوش سربه سر فشاری سرد<sup>۲</sup>، یا هر طریق مورد تأیید دیگر صورت پذیرد و نیازی نیست که مفتول در نقطه اتصال، مشخصات مکانیکی یک مفتول یکسره و بدون اتصال را کاملاً دارا باشد و تنها کافی است اتصالاتی که با استفاده از جوش سربه سر الکتریکی انجام شده‌اند، تنشی به میزان ۷۵ نیوتن بر میلیمتر مربع و در اتصالاتی که از طریق جوش سربه سر به سر فشاری سرد انجام شده‌اند، تنشی به میزان ۱۳۰ نیوتن بر میلیمتر مربع را تحمل کنند.

فاصله دو اتصال در یک هادی نباید کمتر از ۱۵ متر باشد و در اتصالاتی که از طریق جوش سربه سر الکتریکی ایجاد شده‌اند، باید پس از جوشکاری در محدوده‌ای به طول ۲۵۰ میلیمتر در هر دو طرف نقطه اتصال، تنش پس‌ماند به طریق عملیات حرارتی<sup>۳</sup> از بین برود. لازم به ذکر است منظور از اتصال در این بند، اتصالاتی که پیش از آخرین مرحله کشش سیم‌ها ایجاد می‌شوند نبوده و این اتصالات مشمول مقررات این بند نمی‌باشد.

تعداد اتصالات مجاز در رشته‌های آلومینیومی نبایستی از مقادیر مشخص شده در جدول (۳-۱) فراتر رود. این اتصالات نبایستی با اتصالات مجاورشان در همان رشته یا رشته‌های پیرامونش، کمتر از ۱۵ متر فاصله داشته باشد.

##### - مفتولهای فولادی

هیچ اتصالی، از هر نوعی، در طول مفتولهای فولادی مجاز نیست. تنها اتصالات مجاز، اتصالات با جوش سربه سر الکتریکی و در مراحل پیش از کشش می‌باشد.

در صورتی که هادی دارای هفت مفتول فولادی باشد وجود اتصالاتی که پس از مرحله نهایی کشش ایجاد می‌شوند (به شرطی که فاصله دو اتصال در یک هادی بیش از ۱۵ متر باشد) بلامانع است. در این صورت این اتصالات باید از طریق جوش سربه سر الکتریکی انجام پذیرد و در مقابل خوردگی به نحو مطلوبی محافظت شود.

سازنده موظف است که مدارک و اطلاعات مورد نیاز خریدار را در ارتباط با روش مورد استفاده جهت اتصال رشته‌های آلومینیومی و فولادی فراهم نموده و دلایل کافی در مورد اینکه روش مذکور نیازمندیهای استاندارد را برآورده می‌سازد (شامل نتایج آخرین آزمونهای انجام شده) ارائه نماید و یا مقدمات انجام مجدد آزمونها و بازرسیهای رشته‌ها را فراهم آورد.

سازنده بایستی مدارکی مبنی بر تحمل تنشهای فوق‌الذکر را به خریدار ارائه نموده یا آزمون‌های مربوطه را انجام دهد.

- 1 . Electric butt-welding
- 2 . Cold- pressure
3. Annealing

جدول ۳-۱: تعداد اتصالات مجاز در هادیهای آلومینیومی

تعداد لایه‌های آلومینیومی	تعداد مجاز اتصال در طول هادی
۱	۲
۲	۳
۳	۴
۴	۵

### ۳-۱-۱-۲- آزمون منحنی‌های تنش - کرنش بر روی رشته‌ها و هادی‌ها

در این قسمت آزمونهای کششی رشته‌ها و هادیها بصورت عام تشریح می‌گردد که برای کلیه آزمونهای مشابه صادق می‌باشد. طول نمونه‌های مورد نیاز جهت انجام این آزمون بایستی حداقل ۴۰۰ برابر قطر هادی باشد که این مقدار نباید کمتر از ۱۰ متر شود. این طول، حداقل مقدار مورد نیاز برای انجام آزمون با دقت کافی خواهد بود. چنانچه سازنده با در دست داشتن مدارک و اطلاعات کافی بتواند خریدار را متقاعد نماید که انجام آزمون بر روی نمونه‌های با طول کوتاهتر از مقدار ارائه شده فوق، نتایج یکسانی را بدنبال خواهد داشت، در صورت موافقت خریدار می‌توان طولهای کوتاهتری را برای انجام آزمون برگزید.

آزمون تهیه منحنیهای تنش - کرنش که بعنوان یک آزمون نوعی توسط خریدار (در صورت لزوم) درخواست می‌گردد، اطلاعات بسیار مفیدی در مورد رفتار رشته‌ها و هادی در شرایط بارگذاری مختلف را ارائه می‌نماید. این آزمون، بنابه توافق خریدار و تأمین‌کننده هادی در زمان سفارش، بر روی هادی و چنانچه لازم تشخیص داده شود، بر روی رشته‌های فولادی بطور منفرد انجام می‌گیرد. آزمونها بجز در مواردی که مشخص شده است، در درجه حرارت محیط ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شوند. در انجام آزمون منحنیهای تنش - کرنش بایستی دقت شود که درجه حرارت در طول آزمون بیش از  $\pm 2$  درجه سانتیگراد تغییر ننماید. بنابراین درجه حرارت بایستی در شروع و پایان هر پرپود وقفه (سکون در آزمون) ثبت گردد. قبل از شروع آزمون، فرآیند آماده‌سازی نمونه‌ها بایستی با دقت انجام گیرد. در آزمون هادی، لغزش و تغییر مکان نسبی بین مغزی فولادی و لایه‌های آلومینیومی، حتی به اندازه ۱ میلی‌متر، منجر به تغییرات قابل ملاحظه در منحنی‌های تنش - کرنش می‌گردد. آماده‌سازی نمونه‌ها شامل فعالیت‌های زیر است:

- قبل از جداسازی نمونه از هادی کلاف شده بر روی قرقره، یک کلمپ پیچ و مهره‌ای به فاصله  $5 \pm 1$  متر از انتهای هادی نصب می‌گردد. این کلمپ بایستی با فشار زیاد به هادی محکم گردد تا از حرکت نسبی رشته‌ها ممانعت بعمل آورد.
- طول مورد نظر جهت آزمون، از قرقره باز شده و کلمپ دیگری با همان کیفیت بر روی هادی نصب می‌گردد. پس از نصب برچسب مناسب (مشخص‌کننده نمونه)، هادی بفاصله کافی از کلمپ بریده می‌شود تا گیره‌های انتهایی قابل نصب باشند.
- در زمان حمل نمونه تا آزمایشگاه، بایستی با روشهای مناسب از صدمه دیدن آن جلوگیری نمود. قطر کلاف یا قرقره‌ای که برای حمل نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد، بایستی حداقل ۵۰ برابر قطر هادی باشد.

- گیره‌های انتهایی از نوع پرسی یا اپوکسی یا جوشی (که به تأیید خریدار رسیده باشد) بایستی برای انجام آزمون مورد استفاده قرار گیرد. قبل از نصب گیره‌های انتهایی، رشته‌ها نبایستی بازشده، تمیز یا گریس کاری شوند.
  - در فرآیند آماده‌سازی انتهای نمونه‌ها باید کاملاً دقت شود که نمونه‌ها صدمه نبینند.
  - در هنگام نصب گیره‌های انتهایی باید دقت شود که هیچکدام از رشته‌ها آزاد یا شل نباشند. شل بودن رشته‌ها تاثیر قابل ملاحظه‌ای در منحنیهای تنش - کرنش می‌گذارد.
- تعاریف زیر در تشریح فرآیند آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرند:
- طول اولیه مینا ( $L_0$ ): طول مینا قبل از اعمال نیروی کششی (بر حسب میلی‌متر).
  - طول نهایی مینا ( $L_U$ ): طول مینا پس از گسیختگی قطعه آزمون (بر حسب میلی‌متر).
  - کشیدگی: مقدار افزایش در طول اولیه مینا در هر لحظه از آزمون (بر حسب میلی‌متر).
  - درصد افزایش طول دائم: مقدار افزایش طول مینا پس از حذف تنش مشخص که بر حسب درصدی از طول مینا بیان می‌گردد.
  - حداکثر نیرو ( $F_m$ ): بزرگترین نیرویی که قطعه در طول آزمون قبل از تسلیم شدن تحمل می‌کند (بر حسب نیوتن).
  - استقامت کششی ( $R_m$ ): تنش مربوط به حداکثر نیرو (بر حسب نیوتن بر میلی‌متر مربع).
- جهت انجام آزمون، ابتدا قطعات آزمون تهیه می‌گردند. طول اولیه مینا از روی سطح مقطع رشته و توسط رابطه  $L_0 = k\sqrt{S_0}$  انتخاب می‌گردد که مقدار ضریب تناسب  $k$  بایستی  $5/65$  باشد، ضمن اینکه مقدار طول اولیه مینا نبایستی کمتر از  $20$  میلی‌متر باشد. در رابطه مذکور  $S_0$  سطح مقطع نامی رشته (بر حسب میلی‌مترمربع) می‌باشد. چنانچه سطح مقطع رشته بسیار کوچک باشد، بطوریکه مقدار بدست آمده با در نظر گرفتن  $k=5/65$  به  $20$  میلی‌متر نرسد، مقدار  $k=11/3$  انتخاب شده یا آزمون غیرمتناسب انجام می‌گیرد. به این ترتیب طول اولیه مینا مستقل از سطح مقطع اولیه انتخاب می‌گردد.
- برای رشته‌هایی با سطح مقطع دایره و با قطر کمتر از  $4$  میلی‌متر، طول اولیه مینا برابر با  $200 \pm 2$  میلی‌متر یا  $100 \pm 1$  میلی‌متر پیشنهاد می‌گردد. فاصله بین گیره‌های دستگاه آزمون بایستی حداقل  $50$  میلی‌متر بیشتر از طول اولیه مینا یعنی  $250$  یا  $150$  میلی‌متر باشد.
- تلورانس قابل قبول برای علامتگذاری طول اولیه مینا، یک درصد طول مینا و فاصله بین گیره‌ها و نشانه‌های طول مینا معادل  $10$  درصد طول مینا پیشنهاد می‌گردد. طول کلی قطعه آزمون که از نمونه‌ها جدا شده، بسته به روش محکم شدن نمونه در گیره‌های دستگاه آزمون، بایستی  $2$  تا  $4$  برابر قطر رشته، بزرگتر از فاصله بین گیره‌ها انتخاب گردد.
- هر انتهای طول اولیه مینا بایستی بوسیله یک علامتگذار نازک یا خط حکاکی شده مشخص گردد. باید دقت شود تا شکاف در رشته ایجاد نگردد و گسیختگی نابهنگام رخ ندهد.
- دستگاه آزمون بایستی مطابق با استاندارد ISO شماره  $1-7500$  و از کلاس  $1$  یا کلاس بهتر باشد. فاصله بین نشانه طول مینا و دهانه گیره بایستی در طول آزمون توسط یک کولیس اندازه‌گیری شود تا اطمینان حاصل گردد که پس از اعمال  $85$  درصد سیکل بار و در بازه زمانی حذف بار، این فاصله بیش از یک میلی‌متر از مقدار قبل از آزمون تغییر نکند. دقت اندازه‌گیری  $0/1$  میلی‌متر کافی است. در زمان اعمال بار، این فاصله ممکن است بیش از یک میلی‌متر افزایش یابد.
- سرعت باز شدن گیره‌ها در دستگاه آزمون بایستی بین  $25$  تا  $100$  میلی‌متر در دقیقه باشد.

شکلهای شماره (۱-۳) و (۲-۳)، نتیجه آزمون و منحنیهای تنش - کرنش را نمایش می دهند. اعداد مشخص شده در شکلها

بیانگر پارامترهای زیر می باشند:

۱۳: کشیدگی پس از گسیختگی

۱۴: درصد کشیدگی پس از گسیختگی

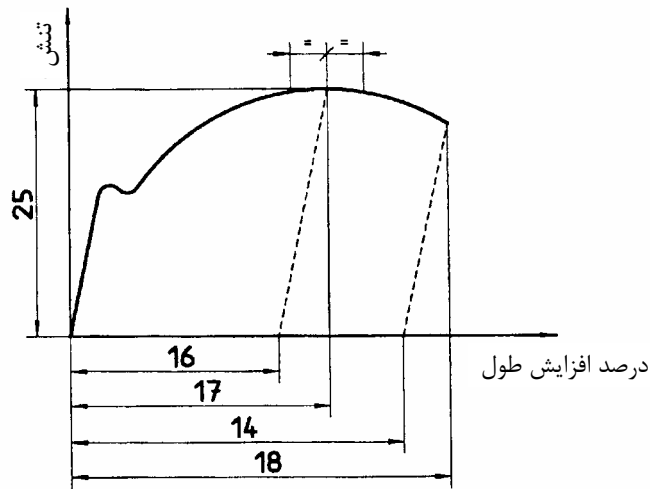
۱۶: درصد کشیدگی غیر متناسب در حداکثر نیرو

۱۷: درصد کشیدگی کل در حداکثر نیرو

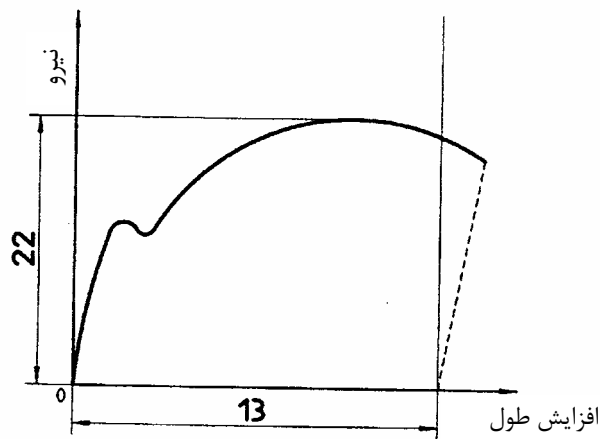
۱۸: درصد کشیدگی کل در گسیختگی

۲۲: حداکثر نیرو

۲۵: استقامت کششی



شکل ۱-۳: منحنی تنش بر حسب درصد کشیدگی



شکل ۲-۳: منحنی حداکثر نیرو

استقامت کششی رشته‌های آلومینیومی نبایستی کمتر از مقادیر مشخص شده در جدول شماره (۳-۲) باشد.

جدول ۳-۲: خواص مکانیکی رشته آلومینیومی سخت

حداقل استقامت کششی (Mpa)	قطر نامی رشته	
	کمتر یا مساوی با (mm)	بیشتر از (mm)
۲۰۰	۱/۲۵	—
۱۹۵	۱/۵۰	۱/۲۵
۱۹۰	۱/۷۵	۱/۵۰
۱۸۵	۲/۰۰	۱/۷۵
۱۸۰	۲/۲۵	۲/۰۰
۱۷۵	۲/۵۰	۲/۲۵
۱۷۰	۳/۰۰	۲/۵۰
۱۶۵	۳/۵۰	۳/۰۰
۱۶۰	۵/۰۰	۳/۵۰

در مورد رشته‌های فولادی با پوشش روی، آزمون تنش در یک درصد کشیدگی انجام می‌گیرد. برای اینکار، یک قطعه از نمونه‌های آزمون در بین گیره‌های دستگاه آزمون قرار گرفته و محکم می‌گردد. یک بار کشش مطابق با ستون دوم جدول (۳-۳) به قطعه اعمال شده و توسط دستگاه اندازه‌گیری افزایش طول که مناسب برای طول مبنای ۲۵۰ میلی‌متر باشد و تنظیم اولیه‌ای مطابق با ستون سوم جدول (۳-۳) داشته باشد، افزایش طول قطعه با دقت اندازه‌گیری می‌گردد. چنانچه طول مبنا برابر با ۱۰۰ یا ۲۰۰ میلی‌متر یا هر مقدار دیگر انتخاب گردد، در این صورت تنظیم اولیه دستگاه اندازه‌گیری بایستی متناسب با طول واقعی آزمون نسبت به طول ۲۵۰ میلی‌متر اصلاح شود. طول مبنا برای اندازه‌گیری‌های بعدی بایستی قبل از اعمال بار ثبت گردد.

جدول ۳-۳: تنش اولیه و تنظیم دستگاه اندازه‌گیری طول برای تعیین تنش در یک درصد افزایش طول

تنظیم اولیه دستگاه اندازه‌گیری (برای طول مبنای ۲۵۰ میلی‌متر)	تنش اولیه (مگاپاسکال)	قطر واقعی رشته (mm)	
		کمتر یا مساوی با	بیشتر از
۰/۱۲۵	۱۰۰	۲/۲۵	۱/۲۴
۰/۲۵۰	۲۰۰	۳/۰۰	۲/۲۵
۰/۳۷۵	۳۰۰	۴/۷۵	۳/۰۰
۰/۵۰۰	۴۰۰	۵/۵۰	۴/۷۵

چنانچه طول مبنا متفاوت از ۲۵۰ میلیمتر باشد، مقدار تنظیم اولیه دستگاه اندازه‌گیری با ضرب کردن نسبت طول واقعی مبنا به ۲۵۰ میلیمتر اصلاح می‌گردد.

بعبارت دیگر در شرایط تنش اولیه، افزایش طولی برابر با ستون سوم جدول (۳-۳) بایستی در دستگاه اندازه‌گیری افزایش طول نشان داده شود. اینکار با تنظیم اولیه دستگاه اندازه‌گیری انجام می‌گیرد. سپس بار بصورت یکنواخت افزایش می‌یابد تا دستگاه اندازه‌گیری، افزایش طولی برابر با یک درصد طول اولیه مبنا را نشان دهد. در این لحظه بار مربوطه ثبت شده و از روی آن مقدار تنش در یک درصد افزایش طول محاسبه می‌گردد. مقدار تنش با تقسیم بار به سطح مقطع اولیه رشته بدست می‌آید. این مقدار برای قطعه تحت آزمون نبایستی از مقادیر داده شده در جدول (۳-۴) تا (۳-۶) کمتر باشد. قطعه تحت آزمون، متعاقباً برای آزمونهای کشش و کشیدگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. منظور از کلاس ۱ و کلاس ۲ پوشش روی، دسته‌بندی پوشش از لحاظ حداقل جرم روی استفاده شده در واحد سطح می‌باشد.

جدول ۳-۴: حداقل تنش در یک درصد افزایش طول برای رشته‌های فولادی معمولی

حداقل تنش در یک درصد افزایش طول (مگاپاسکال)		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
۱۱۰۰	۱۱۷۰	$\pm 0.05$	$\pm 0.03$	۲/۲۵	۱/۲۴
۱۰۷۰	۱۱۴۰	$\pm 0.06$	$\pm 0.04$	۲/۷۵	۲/۲۵
۱۰۷۰	۱۱۴۰	$\pm 0.06$	$\pm 0.05$	۳/۰۰	۲/۷۵
۱۰۰۰	۱۱۰۰	$\pm 0.06$	$\pm 0.05$	۳/۵۰	۳/۰۰
۱۰۰۰	۱۱۰۰	$\pm 0.09$	$\pm 0.06$	۴/۲۵	۳/۵۰
۱۰۰۰	۱۱۰۰	$\pm 0.10$	$\pm 0.06$	۴/۷۵	۴/۲۵
۱۰۰۰	۱۱۰۰	$\pm 0.11$	$\pm 0.07$	۵/۵۰	۴/۷۵

جدول ۳-۵: حداقل تنش در یک درصد افزایش طول برای رشته‌های فولادی با استقامت زیاد

حداقل تنش در یک درصد افزایش طول (مگاپاسکال)		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
۱۲۴۰	۱۳۱۰	$\pm 0.05$	$\pm 0.03$	۲/۲۵	۱/۲۴
۱۲۱۰	۱۲۸۰	$\pm 0.06$	$\pm 0.04$	۲/۷۵	۲/۲۵
۱۲۱۰	۱۲۸۰	$\pm 0.06$	$\pm 0.05$	۳/۰۰	۲/۷۵
۱۱۷۰	۱۲۴۰	$\pm 0.07$	$\pm 0.05$	۳/۵۰	۳/۰۰
۱۱۰۰	۱۱۷۰	$\pm 0.09$	$\pm 0.06$	۴/۲۵	۳/۵۰
۱۱۰۰	۱۱۷۰	$\pm 0.10$	$\pm 0.06$	۴/۷۵	۴/۲۵
۱۱۰۰	۱۱۷۰	$\pm 0.11$	$\pm 0.07$	۵/۵۰	۴/۷۵



جدول ۳-۶: حداقل تنش در یک درصد افزایش طول برای رشته‌های فولادی با استقامت بسیار زیاد

حداقل تنش در یک درصد افزایش طول (مگاپاسکال)		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
—	۱۴۵۰	—	$\pm 0.3$	۲/۲۵	۱/۲۴
—	۱۴۱۰	—	$\pm 0.4$	۲/۷۵	۲/۲۵
—	۱۴۱۰	—	$\pm 0.5$	۳/۰۰	۲/۷۵
—	۱۳۸۰	—	$\pm 0.5$	۳/۵۰	۳/۰۰
—	۱۳۴۰	—	$\pm 0.6$	۴/۲۵	۳/۵۰
—	۱۳۴۰	—	$\pm 0.6$	۴/۷۵	۴/۲۵
—	۱۲۷۰	—	$\pm 0.7$	۵/۵۰	۴/۷۵

جهت انجام آزمون استقامت کششی ابتدا باری معادل ۲ درصد استقامت کششی نامی<sup>۱</sup> (RTS) برای صاف شدن رشته اعمال می‌شود. پس از صاف شدن، بار برداشته شده و دستگاه‌های اندازه‌گیری در کشش صفر تنظیم می‌گردند. برای ثبت اطلاعات تنش - کرنش غیرپیوسته، مقدار افزایش طول در بازه‌های ۲/۵ درصدی از RTS که به نزدیکترین عدد برحسب کیلونیوتن گرد شده باشد، ثبت خواهند شد.

فرآیند آزمون با افزایش کشش تا ۳۰ درصد RTS آغاز می‌گردد. سپس ۰/۵ ساعت در ۳۰ درصد کشش متوقف می‌شود. در طول بازه زمانی توقف و در زمانهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ دقیقه اندازه‌گیری انجام می‌گیرد. سپس بارگذاری به حالت اولیه باز گردانده می‌شود.

مجدداً آزمون با افزایش کشش تا ۵۰ درصد RTS ادامه می‌یابد و یکساعت توقف اعمال می‌شود. در طول بازه زمانی توقف و در زمانهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه اندازه‌گیری انجام گرفته و بارگذاری به حالت اولیه بازگردانده می‌شود. مجدداً آزمون با روند قبل برای ۷۵ و ۸۵ درصد RTS تکرار می‌گردد. پس از انجام ۴ آزمون فوق‌نهایتاً کشش بصورت یکنواخت اعمال می‌گردد تا گسیختگی در رشته رخ دهد. تا کشش ۸۵ درصد RTS در همان بازه‌های قبلی، ثبت اندازه‌گیریها بایستی انجام گیرد.

نرخ افزایش کشش بایستی در طول آزمون بصورت یکنواخت باشد. زمان مورد نیاز برای رسیدن به ۳۰ درصد RTS نبایستی کمتر از ۱ دقیقه و بیشتر از ۲ دقیقه باشد. همان نرخ بارگذاری بایستی تا اتمام آزمون حفظ شود. حد نهایی تنش کششی قابل تحمل با تقسیم بار گسیختگی به سطح مقطع رشته (که از روی قطر واقعی محاسبه می‌گردد) تعیین می‌گردد و نبایستی از مقدار مشخص شده در جداول (۳-۷) تا (۳-۹) کمتر باشد.

جدول ۳-۷: حداقل حد نهایی تنش کششی برای رشته‌های فولادی عادی

حداقل حد نهایی تنش کششی (مگاپاسکال)		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
۱۲۴۰	۱۳۴۰	±۰/۰۵	±۰/۰۳	۲/۲۵	۱/۲۴
۱۲۱۰	۱۳۱۰	±۰/۰۶	±۰/۰۴	۲/۷۵	۲/۲۵
۱۲۱۰	۱۳۱۰	±۰/۰۶	±۰/۰۵	۳/۰۰	۲/۷۵
۱۱۹۰	۱۲۹۰	±۰/۰۷	±۰/۰۵	۳/۵۰	۳/۰۰
۱۱۹۰	۱۲۹۰	±۰/۰۹	±۰/۰۶	۴/۲۵	۳/۵۰
۱۱۹۰	۱۲۹۰	±۰/۱۰	±۰/۰۶	۴/۷۵	۴/۲۵
۱۱۹۰	۱۲۹۰	±۰/۱۱	±۰/۰۷	۵/۵۰	۴/۷۵

جدول ۳-۸: حداقل حد نهایی تنش کششی برای رشته‌های فولادی با استقامت زیاد

حداقل حد نهایی تنش کششی (مگاپاسکال)		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
۱۳۸۰	۱۴۵۰	±۰/۰۵	±۰/۰۳	۲/۲۵	۱/۲۴
۱۳۴۰	۱۴۱۰	±۰/۰۶	±۰/۰۴	۲/۷۵	۲/۲۵
۱۳۴۰	۱۴۱۰	±۰/۰۶	±۰/۰۵	۳/۰۰	۲/۷۵
۱۳۴۰	۱۴۱۰	±۰/۰۷	±۰/۰۵	۳/۵۰	۳/۰۰
۱۲۸۰	۱۳۸۰	±۰/۰۹	±۰/۰۶	۴/۲۵	۳/۵۰
۱۲۸۰	۱۳۸۰	±۰/۱۰	±۰/۰۶	۴/۷۵	۴/۲۵
۱۲۸۰	۱۳۸۰	±۰/۱۱	±۰/۰۷	۵/۵۰	۴/۷۵

جدول شماره ۳-۹: حداقل حد نهایی تنش کششی برای رشته‌های فولادی با استقامت بسیار زیاد

حداقل حد نهایی تنش کششی (مگاپاسکال)		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
—	۱۶۲۰	—	±۰/۰۳	۲/۲۵	۱/۲۴
—	۱۵۹۰	—	±۰/۰۴	۲/۷۵	۲/۲۵
—	۱۵۹۰	—	±۰/۰۵	۳/۰۰	۲/۷۵
—	۱۵۵۰	—	±۰/۰۵	۳/۵۰	۳/۰۰
—	۱۵۲۰	—	±۰/۰۶	۴/۲۵	۳/۵۰
—	۱۵۲۰	—	±۰/۰۶	۴/۷۵	۴/۲۵
—	۱۵۰۰	—	±۰/۰۷	۵/۵۰	۴/۷۵

### ۳-۱-۱-۳- آزمون نیروی گسیختگی هادی

دستگاه آزمون مشابه آزمون قبلی بوده و هادی تحت کشش قرار می‌گیرد. دقت اندازه‌گیری بایستی  $\pm 1$  درصد باشد. نیروی کششی بصورت یکنواخت افزایش یافته و زمان مورد نیاز برای رسیدن به ۳۰ درصد RTS نایبستی کمتر از ۱ دقیقه و بیشتر از ۲ دقیقه باشد. ادامه آزمون با همان نرخ‌گذاری انجام می‌گیرد. استقامت پارگی یا گسیختگی هادی، مقدار باری است که یک یا چند رشته گسیخته می‌شود. چنانچه پارگی رشته‌های هادی تا فاصله یک سانتیمتری گیره‌های انتهایی رخ دهد، آزمون بایستی مجدداً (حداکثر تا سه بار) تکرار گردد.

بعنوان معیار پذیرش، هادی بایستی بیش از ۹۵ درصد استقامت کششی محاسباتی را بدون اینکه رشته‌ای پاره شود، تحمل نماید. استقامت کششی محاسباتی برای هادی آلومینیومی همگن برابر با مجموع حداقل استقامت کششی رشته‌هاست. برای هادی آلومینیوم - فولاد، مجموع استقامت کششی بخش آلومینیومی هادی و استقامت رشته فولادی متناسب با افزایش طولی برابر با آنچه که در آلومینیوم و در بار گسیختگی رخ می‌دهد، بعنوان استقامت کششی محاسباتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت تعیین مشخصات و کاربردی نمودن آن، می‌توان تنش متناسب با افزایش طول یک درصد برای یک طول مبنای ۲۵۰ میلیمتری را برابر با استقامت کششی محاسباتی قرار داد.

### ۳-۱-۲- آزمونهای نمونه‌ای

#### ۳-۱-۲-۱- آزمون کشش بر روی مفتولهای آلومینیومی و فولادی

مطابق با آزمونهای نوعی انجام می‌گیرد.

#### ۳-۱-۲-۲- آزمون پیچش مفتولهای آلومینیومی

این آزمون شامل پیچیدن رشته به تعداد دور مشخص حول یک استوانه با قطر معین می‌باشد. این آزمون را می‌توان بصورت ترکیبی از مراحل پیچیدن رشته، توقف فرآیند پیچیدن و حتی باز کردن رشته از روی استوانه انجام داد. تجهیز آزمون بایستی دارای این قابلیت باشد که رشته را حول استوانه بصورت فنر پیچد، بطوری که دورهای همجوار سیم‌پیچ در تماس با هم قرار گیرند. یک قطعه از رشته را می‌توان بعنوان استوانه (محور) مورد استفاده قرار داد. در این صورت، رشته بایستی قطر استوانه مورد نظر را تأمین نموده و از استحکام لازم برخوردار باشد.

عموماً این آزمون در شرایط محیطی بین ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد انجام می‌گیرد. بنابراین آزمون بایستی در شرایط کنترل شده انجام پذیرد. در طول آزمون درجه حرارت بایستی در محدوده  $\pm 5$  ۲۳ درجه سانتیگراد قرار داشته باشد. جهت انجام آزمون، رشته بایستی حول استوانه با سرعت ثابت کمتر از یک دور در ثانیه پیچیده شود. جهت حصول اطمینان از اینکه حرارت تولید شده در فرآیند پیچیدن، تأثیری در نتایج آزمون ایجاد ننماید، در صورت لزوم می‌توان سرعت را کاهش داد. همچنین تنش کششی اعمال شده به رشته در طول آزمون نایبستی از ۵ درصد استقامت کششی نامی فراتر رود.

چنانچه فرآیند پیچیدن متوقف شده و در ادامه رشته از روی استوانه باز شود، سرعت انجام فرآیند بایستی تا حدی آهسته باشد که از هرگونه افزایش درجه حرارت رشته که نتایج آزمون را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اجتناب گردد. بایستی دقت نمود که در انتهای فرآیند باز کردن سیم‌پیچ، حداقل یک دور بر روی استوانه باقی بماند.

برای انجام آزمون مذکور، پیچیدن ۸ دور حول استوانه یا محوری با قطر برابر با قطر رشته بایستی انجام گیرد. سرعت پیچیدن نبایستی از ۶۰ دور در دقیقه فراتر رود. سپس ۶ دور باز شده و بلافاصله پیچیده می‌شود. رشته پس از این شرایط نبایستی بشکند.

جهت نتیجه‌گیری از آزمون پیچش بازدید سطح رشته کفایت می‌نماید. چنانچه نیازهای خاصی توسط خریدار مطرح نگردیده باشد، عدم وجود ترک قابل رویت بدون استفاده از وسایل بزرگنمایی برای کافی بودن استقامت رشته، معیار پذیرش در این آزمون می‌باشد. رشته با قطر کمتر از ۰/۵ میلی‌متر با تقریباً ۱۰ برابر بزرگنمایی مورد بازبینی قرار می‌گیرند.

### ۳-۱-۲-۳- آزمون مقاومت الکتریکی مفتولهای آلومینیومی

مقاومت الکتریکی ویژه یک قطعه از نمونه‌های برداشت شده از رشته‌های آلومینیومی با روش روتین مشخص شده در مرجع [۲۳] تعیین می‌گردد. استاندارد مذکور برای محاسبه مقاومت ویژه حجمی، مقاومت ویژه جرمی و مقاومت ویژه واحد طول هادیهای فلزی مفتولی (بافته نشده) با سطح مقطع یکنواخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. دقت مجاز برای محاسبه مقاومت ویژه حجمی  $\pm 0/65$  درصد، برای مقاومت ویژه جرمی  $\pm 0/45$  درصد و برای مقاومت ویژه واحد طول  $\pm 0/40$  درصد می‌باشد. اندازه‌گیری هر یک از مقادیر فیزیکی مورد نیاز جهت محاسبات بایستی با دقتی انجام گیرد که خطای کلی از محدوده‌های فوق‌الذکر فراتر نرود. چنانچه پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه مقاومت ویژه با دقت‌های مندرج در جدول (۳-۱) اندازه‌گیری شوند، دقت‌های مجاز فوق‌الذکر تأمین می‌گردند.

جدول شماره ۳-۱۰: محدوده دقت اندازه‌گیریها

پارامتر	دقت اندازه‌گیری
طول مبنا	$\pm 0/10$ درصد
مقاومت	$\pm 0/30$ درصد
سطح مقطع	$\pm 0/50$ درصد
با اطلاع داشتن از چگالی قطعه نمونه:	
جرم در هوا	$\pm 0/10$ درصد
طول قطعه	$\pm 0/20$ درصد
چگالی قطعه	$\pm 0/45$ درصد
با استفاده از وزن کردن هیدرواستاتیک:	
جرم در هوا	$\pm 0/30 d_L/d_L$ درصد
جرم در مایع	$\pm 0/3 d_L(d_S-d_L)$ درصد
چگالی مایع	$\pm 0/20$ درصد
عدم قطعیت در درجه حرارت	$\pm 0/25$ درصد
کنترل درجه حرارت	$(0/4^\circ C) \pm 0/15$ درصد
اصلاح درجه حرارت	$\pm 0/15$ درصد
کل:	
مقاومت ویژه حجمی	$\pm 0/65$ درصد
مقاومت ویژه جرمی	$\pm 0/45$ درصد
مقاومت واحد طول	$\pm 0/40$ درصد

درجه حرارت مرجع برای آزمونها ۲۰ درجه سانتیگراد است. مقاومت ویژه حجمی طبق تعریف، مقاومت یک هادی با طول واحد و سطح مقطع واحد است که در درجه حرارت مرجع  $t_0$  از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R_v(t_0) = \frac{A(t_0)}{L_1(t_0)} \times R(t_0) \quad (1-3)$$

که در آن  $R_v(t_0)$  مقاومت ویژه حجمی (بر حسب اهم در متر)،  $R(t_0)$  مقاومت بین پایانه‌های طول مبنا از یک قطعه آزمون (بر حسب اهم) و  $A(t_0)$  سطح مقطع قطعه (بر حسب مترمربع) و  $L_1(t_0)$  طول مبنای قطعه (بر حسب متر) و همگی در درجه حرارت مرجع  $t_0$  می‌باشند.

مقاومت ویژه جرمی بصورت مقاومت یک هادی با طول واحد و جرم واحد تعریف می‌گردد. این مقدار در درجه حرارت مرجع  $t_0$  از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$R_M(t_0) = \frac{m}{L_2(t_0)} \times \frac{R(t_0)}{L_1(t_0)} \quad (2-3)$$

که در آن  $R_M(t_0)$  مقاومت ویژه جرمی (بر حسب اهم در کیلوگرم بر متر مربع)،  $m$  جرم قطعه (بر حسب کیلوگرم) و  $L_2(t_0)$  طول کل قطعه (بر حسب متر)، همگی در درجه حرارت مرجع  $t_0$  می‌باشند. نهایتاً مقاومت واحد طول  $R_L(t_0)$  (بر حسب اهم بر متر)، در درجه حرارت مرجع  $t_0$  از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R_L(t_0) = \frac{R(t_0)}{L_1(t_0)} \quad (3-3)$$

جهت انجام آزمون بر روی قطعات با مقاومت یک اهم یا کمتر از روش اندازه‌گیری چهار پایانه‌ای و برای قطعات با مقاومت بزرگتر از یک اهم از روش اندازه‌گیری دو پایانه‌ای بهره گرفته می‌شود. از بین قطعات آزمون، بایستی قطعاتی انتخاب گردند که با بیش از چهار بار اندازه‌گیری سطح مقطع در فواصل مساوی از طول مبنا، انحراف معیار مقادیر کمتر از ۲ درصد باشد. دستگاه اندازه‌گیری مقاومت بایستی خطایی در محدوده  $\pm 0.3\%$  درصد داشته باشد. طول مبنا که بین کنتاکتهای ولتاژ قرار می‌گیرد، بایستی با دقتی در محدوده  $\pm 0.1\%$  درصد اندازه‌گیری شود. مقاومت‌های مرجع و قطعه آزمون بایستی در یک محفظه عاری از جریان هوا و در یک آزمایشگاه بمدت حداقل یک ساعت قبل از انجام آزمون قرار داده شوند، یا اینکه در یک وان روغن غوطه‌ور گردند. درجه حرارت هوای محفظه یا وان روغن بایستی با دقتی کوچکتر یا برابر با  $0.4^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شود. درجه حرارت آزمون بایستی بین ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد باشد. جهت دستیابی به نتایج مطلوب و جلوگیری از تأثیر عوامل دیگر، می‌توان اندازه‌گیریها را تکرار نموده (بعنوان مثال ۵ تکرار)، سپس با میانگین‌گیری از اندازه‌ها، مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده را تعیین نمود.

جهت حصول اطمینان از اینکه افزایش درجه حرارت تولید شده در اثر عبور جریان اندازه‌گیری، تأثیری بر روی نتایج آزمون نداشته است، یک مجموعه دیگر برای اندازه‌گیری مقاومت با جریانی معادل  $1/4$  برابر جریان اندازه‌گیری اولیه در نظر گرفته می‌شود. چنانچه میانگین اندازه‌گیریهای جدید، با نتایج آزمون با جریان کوچکتر، اختلافی بیش از  $0.06\%$  درصد داشته باشد، مشخص می‌گردد که افزایش درجه حرارت بایستی در نظر گرفته شود. بنابر این جریان آزمون بایستی تا حدی کاهش داده شود که افزایش ۴۰ درصدی در آن، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی نتایج آزمون نداشته باشد.

درجه حرارت قطعات آزمون و قطعات مرجع بایستی اندازه‌گیری و کنترل شوند تا دقت‌های مورد نظر برآورده شود. در این صورت حاصلضرب این دقتها و ضریب حرارتی مقاومت در هر حالت نبایستی از  $0.04\%$  درصد فراتر رود. چنانچه لازم باشد، بایستی وان مایع

برای یکنواختی و کنترل درجه حرارت بکار گرفته شود. مدت زمان کافی بایستی بین برقراری وضعیت آزمون و انجام اندازه‌گیریها اختصاص داده شود تا این اطمینان حاصل گردد که درجه حرارت در طول اندازه‌گیری، خارج از محدوده دقت مربوطه قرار نگیرد. درجه حرارت قطعات آزمون و مرجع بایستی در محدوده ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتیگراد قرار داشته باشد.

سطح مقطع رشته‌ها بایستی در محدوده ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد با دقت  $\pm 0.50$  درصد اندازه‌گیری شود. سطح مذکور توسط میانگین‌گیری از دو مقدار محاسبه شده از روی اندازه‌گیری قطرهای دو انتهای طول مبنا تعیین می‌گردد. اگر دو مقدار فوق‌الذکر بیش از ۰/۷۰ درصد اختلاف داشته باشند، سطح مقطع بایستی از روی جرم، طول و چگالی قطعه بدست آید. خطای اندازه‌گیریها بایستی از  $\pm 0.1$  درصد برای جرم،  $\pm 0.2$  درصد برای طول و  $\pm 0.45$  درصد برای چگالی فراتر رود.

در اندازه‌گیری جرم بایستی دقت لازم بکار گرفته شود تا جریان هوا تأثیری در نتیجه اندازه‌گیری نداشته باشد.

چگالی قطعه آزمون با استفاده از روش توزین هیدرواستاتیکی تعیین می‌گردد. در این روش و قطعه در هوا و مایع با چگالی مشخص در درجه حرارت اندازه‌گیری، توزین می‌گردد. چگالی قطعه،  $d_s$ ، (برحسب کیلوگرم بر متر مکعب) از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$d_s = \frac{m_A d_L(t) - m_L(t) d_A}{m_A - m_L(t)} \quad (4-3)$$

که در آن  $m_A$  و  $m_L(t)$  بترتیب جرمهای قطعه در هوا و مایع (برحسب کیلوگرم)،  $d_A$  و  $d_L(t)$  چگالی هوا (۱/۲ کیلوگرم بر متر مکعب) و مایع در درجه حرارت  $t$  می‌باشند. خطا در تعیین چگالی مایع بایستی بزرگتر از  $\pm 0.20$  درصد باشد. ضمن اینکه یکنواختی و کنترل درجه حرارت مایع بایستی در محدوده‌ای باشد که این شرایط تضمین گردد.

زمانیکه این روش برای تعیین چگالی قطعه آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرد، خطای ایجاد شده در تعیین سطح مقطع بستگی به حاصلضرب دقت اندازه‌گیری  $m_A$  در  $d_s/d_L$  و حاصلضرب دقت اندازه‌گیری  $m_L$  در  $(d_s - d_L)/d_L$  دارد.

اندازه‌گیری جرم در هوا بایستی با خطایی کوچکتر از  $(d_L - d_s)$   $\pm 0.30$  درصد و در مایع با خطایی کوچکتر از  $d_L/(d_s - d_L)$   $\pm 0.30$  انجام گیرد. چنانچه قطعه‌ای از رشته که در مایع معلق می‌شود، دارای قطری بزرگتر از ۰/۱۵ میلی‌متر باشد، دو بار توزین بایستی با رشته‌هایی که قطر آنها نسبت یک به دو دارند و اختلافشان بیشتر از  $0.1 d_L/(d_s - d_L)$  درصد از جرم ظاهری قطعه در مایع نباشد، انجام گیرد، مگر اینکه اثر کششی سطحی حذف گردد.

مقادیر محاسبه شده در درجه حرارت آزمایشگاه ( $t$ ) بایستی به درجه حرارت مرجع  $t_0$  مثلاً ۲۰ درجه سانتیگراد تبدیل گردد.

$$R(t_0) = \frac{R(t)}{1 + [\alpha_R(t_0)](t - t_0)} \quad (5-3)$$

که در آن  $R(t)$  مقاومت قطعه در درجه حرارت  $t$ ،  $R(t_0)$  مقاومت قطعه در درجه حرارت مرجع  $t_0$  و  $\alpha_R(t_0)$  ضریب حرارتی مقاومت در درجه حرارت مرجع  $t_0$  می‌باشند. این ضریب برای آلومینیوم برابر  $0.00403$  است.

اگر مقاومت  $R(t)$  و طول مبنای قطعه  $L_1(t)$  در درجه حرارت  $t$  اندازه‌گیری شده باشند، مقاومت واحد طول در درجه حرارت مرجع  $t_0$  با دقت کافی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R_L(t_0) = \frac{R_L(t)}{1 + [\alpha_R(t_0) - \gamma](t - t_0)} \quad (6-3)$$

که  $R_L(t)$  مقاومت ویژه حجمی قطعه در درجه حرارت  $t$ ،  $\gamma$  ضریب حرارتی انبساط خطی است. اگر مقاومت  $R(t)$ ، طول مبنای قطعه  $L_1(t)$  و سطح مقطع  $A(t)$  در درجه حرارت  $t$  اندازه‌گیری شده باشند، مقاومت ویژه حجمی در درجه حرارت مرجع  $t_0$  با دقت کافی برابر است با:

$$R_V(t_0) = \frac{R_V(t)}{1 + [\alpha_R(t_0) + \gamma](t - t_0)} \quad (7-3)$$

که  $R_V(t)$  مقاومت ویژه حجمی قطعه در درجه حرارت  $t$  می‌باشد. اگر مقاومت  $R(t)$ ، طول مبنا  $L_1(t)$ ، طول کل  $L_2(t)$  و جرم قطعه در درجه حرارت  $t$  اندازه‌گیری شده باشند، مقاومت ویژه جرمی در درجه حرارت  $t_0$  با دقت کافی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$R_M(t_0) = \frac{R_M(t)}{1 + [\alpha_R(t_0) + 2\gamma](t - t_0)} \quad (8-3)$$

که  $R_M(t)$  مقاومت ویژه جرمی قطعه در درجه حرارت  $t$  می‌باشد.

اگر اندازه‌گیری طول کل قطعه و سطح مقطع آن در درجه حرارت  $t'$  متفاوت از درجه حرارت  $t$  که مقاومت و طول مبنا در آن اندازه‌گیری شده‌اند، انجام گرفته باشد، بایستی این ابعاد از  $t'$  به  $t$  اصلاح گردند. روابط مربوطه عبارتند از:

$$L_2(t) = L_2(t')[1 + \gamma.(t - t')] \quad (9-3)$$

$$A(t) = A(t')[1 + 2\gamma.(t - t')] \quad (10-3)$$

برای اغلب مواد، ضریب حرارتی انبساط خطی  $\gamma$  بسیار کوچکتر از ضریب حرارتی مقاومت  $\alpha_R(t_0)$  می‌باشد. بنابراین برای اختلاف درجه حرارت‌های کوچک  $(t - t_0)$  در نظر گرفتن  $\gamma$  در روابط فوق ضروری بنظر نمی‌رسد. حاصلضرب اختلاف درجه حرارت  $(t - t_0)$  در خطای ضریب حرارتی نبایستی از  $0/15$  درصد بیشتر باشد. دقت شود که در روش آزمون روتین، اختلاف درجه حرارت ممکن است بحدی بزرگ باشد که لزوماً ضریب حرارتی انبساط خطی بایستی در نظر گرفته شود.

### ۳-۱-۲-۴- آزمون تنش در یک درصد افزایش طول روی مفتولهای فولادی

این آزمون در بند (۳-۱-۱-۲) در زمره آزمونهای نوعی تشریح گردیده است.

### ۳-۱-۲-۵- آزمون خاصیت لوله شدن روی مفتولهای فولادی

این آزمون شامل سه آزمون کشیدگی، آزمون پیچش و آزمون پیچاندن دور لوله می‌باشد. انتخاب یکی از دو آزمون کشیدگی و پیچش کفایت می‌نماید و نتیجه انتخاب، تأثیری در ارزیابی کیفیت فولاد مورد استفاده نخواهد داشت. بنابراین انتخاب آزمون به صلاحدید سازنده انجام می‌گیرد، مگر اینکه در زمان سفارش، توافق دیگری بین سازنده و خریدار صورت گرفته باشد.

### \_ آزمون کشیدگی

جهت انجام این آزمون بایستی از نمونه‌هایی استفاده نمود که تحت آزمون تنش در یک درصد افزایش طول مطابق با روش آزمون مربوطه نشانه‌گذاری شده‌اند. این آزمون بر روی یک تکه از هر یک نمونه‌های آزمون انجام می‌گیرد. این تکه مطابق با آزمون کشش بارگذاری گردیده و پس از پاره شدن، انتهای تکه با دقت بهم وصل شده و در فاصله گیره‌ها قرار داده می‌شود. سپس فاصله مبنا اندازه‌گیری شده و مقدار کشیدگی بدست می‌آید.

در این آزمون مناسبتر است که تکه تحت آزمون در فاصله بین نشانه‌های مبنا پاره شود. کشیدگی برابر با افزایش طول مبنا بر حسب درصد طول اولیه مبنا می‌باشد. حد نهایی کشیدگی نایبستی از مقادیر مشخص شده در جداول (۳-۱۱) تا (۳-۱۳) کمتر باشد. چنانچه این آزمون برای کنترل کیفی جاری مورد استفاده قرار گیرد، می‌توان از طول مبنای کوچکتر استفاده نمود. در شرایطی که توافق صورت نگیرد، طول مبنای ۲۵۰ میلی‌متر الزامی است.

جدول ۳-۱۱: حداقل حد نهایی کشیدگی برای رشته‌های فولادی عادی

حد اقل حد نهایی کشیدگی (درصد)		تلورانس قطر (میلی‌متر)		قطر نامی رشته (میلی‌متر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
۴/۰	۳/۰	±۰/۰۵	±۰/۰۳	۲/۲۵	۱/۲۴
۴/۰	۳/۰	±۰/۰۶	±۰/۰۴	۲/۷۵	۲/۲۵
۴/۰	۳/۵	±۰/۰۶	±۰/۰۵	۳/۰۰	۲/۷۵
۴/۰	۳/۵	±۰/۰۷	±۰/۰۵	۳/۵۰	۳/۰۰
۴/۰	۴/۰	±۰/۰۹	±۰/۰۶	۴/۲۵	۳/۵۰
۴/۰	۴/۰	±۰/۱۰	±۰/۰۶	۴/۷۵	۴/۲۵
۴/۰	۴/۰	±۰/۱۱	±۰/۰۷	۵/۵۰	۴/۷۵

جدول ۳-۱۲: حداقل حد نهایی کشیدگی برای رشته‌های فولادی با استقامت زیاد

حد اقل حد نهایی کشیدگی (درصد)		تلورانس قطر (میلی‌متر)		قطر نامی رشته (میلی‌متر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
۲/۵	۲/۵	±۰/۰۵	±۰/۰۳	۲/۲۵	۱/۲۴
۲/۵	۲/۵	±۰/۰۶	±۰/۰۴	۲/۷۵	۲/۲۵
۳/۰	۳/۰	±۰/۰۶	±۰/۰۵	۳/۰۰	۲/۷۵
۳/۰	۳/۰	±۰/۰۷	±۰/۰۵	۳/۵۰	۳/۰۰
۳/۰	۳/۰	±۰/۰۹	±۰/۰۶	۴/۲۵	۳/۵۰
۳/۰	۳/۰	±۰/۱۰	±۰/۰۶	۴/۷۵	۴/۲۵
۳/۰	۳/۰	±۰/۱۱	±۰/۰۷	۵/۵۰	۴/۷۵

جدول ۳-۱۳: حداقل حد نهایی کشیدگی برای رشته‌های فولادی با استقامت بسیار زیاد

حد اقل حد نهایی کشیدگی (درصد)		تلورانس قطر (میلی‌متر)		قطر نامی رشته (میلی‌متر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
—	۲/۰	—	±۰/۰۳	۲/۲۵	۱/۲۴
—	۲/۰	—	±۰/۰۴	۲/۷۵	۲/۲۵
—	۲/۵	—	±۰/۰۵	۳/۰۰	۲/۷۵
—	۲/۵	—	±۰/۰۵	۳/۵۰	۳/۰۰
—	۲/۵	—	±۰/۰۶	۴/۲۵	۳/۵۰
—	۲/۵	—	±۰/۰۶	۴/۷۵	۴/۲۵
—	۲/۵	—	±۰/۰۷	۵/۵۰	۴/۷۵



## - آزمون پیچش

می‌توان بجای آزمون حد نهایی کشیدگی از آزمون پیچش بهره گرفت. این آزمون برای رشته‌های فولادی با پوشش روی کلاس ۲ قابل اعمال نمی‌باشد. جهت انجام این آزمون، قطعه‌ای از رشته بایستی در میان دو گیره قرار گیرد و یکی از این گیره‌ها بایستی توانایی گردش آزادانه حول محور گیره‌ها را داشته باشد. به این ترتیب می‌توان رشته را حول محور طولی آن پیچاند (تابیدن رشته). قبل از گردش گیره حول محور، یک بار کششی کوچک (که بایستی از ۲ درصد کشش گسیختگی رشته بزرگتر باشد)، به قطعه اعمال شده و در طول آزمون برقرار خواهد بود. سپس قطعه در حول محور طولی خود تابانده شده و تعداد چرخش گیره توسط یک شمارنده یا دیگر وسیله مناسب ثبت می‌گردد. این فرآیند تا زمان گسیختگی رشته ادامه می‌یابد. تعداد چرخش گیره در زمان گسیختگی بعنوان نتیجه آزمون تعیین می‌گردد. نرخ چرخیدن گیره بایستی از ۶۰ دور در دقیقه فراتر رود. تعداد پیچش در زمان گسیختگی رشته برای یک قطعه با طول ۱۰۰ برابر قطر رشته، بایستی از تعداد مشخص شده در جداول شماره (۳-۱۴) تا (۳-۱۶) کمتر باشد.

جدول ۳-۱۴: حداقل تعداد پیچش در آزمون پیچش برای رشته‌های فولادی عادی

حداقل تعداد پیچش در آزمون پیچش		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
—	۱۸	—	$\pm 0.3$	۲/۲۵	۱/۲۴
—	۱۶	—	$\pm 0.4$	۲/۷۵	۲/۲۵
—	۱۶	—	$\pm 0.5$	۳/۰۰	۲/۷۵
—	۱۴	—	$\pm 0.5$	۳/۵۰	۳/۰۰
—	۱۲	—	$\pm 0.6$	۴/۲۵	۳/۵۰
—	۱۲	—	$\pm 0.6$	۴/۷۵	۴/۲۵
—	۱۲	—	$\pm 0.7$	۵/۵۰	۴/۷۵

جدول ۳-۱۵: حداقل تعداد پیچش در آزمون پیچش برای رشته‌های فولادی با استقامت زیاد

حداقل تعداد پیچش در آزمون پیچش		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
—	۱۶	—	$\pm 0.3$	۲/۲۵	۱/۲۴
—	۱۶	—	$\pm 0.4$	۲/۷۵	۲/۲۵
—	۱۶	—	$\pm 0.5$	۳/۰۰	۲/۷۵
—	۱۴	—	$\pm 0.5$	۳/۵۰	۳/۰۰
—	۱۲	—	$\pm 0.6$	۴/۲۵	۳/۵۰
—	۱۲	—	$\pm 0.6$	۴/۷۵	۴/۲۵
—	۱۲	—	$\pm 0.7$	۵/۵۰	۴/۷۵

جدول ۳-۱۶: حداقل تعداد پیچش در آزمون پیچش برای رشته‌های فولادی با استقامت بسیار زیاد

حداقل تعداد پیچش در آزمون پیچش		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
—	۱۴	—	$\pm 0.03$	۲/۲۵	۱/۲۴
—	۱۴	—	$\pm 0.04$	۲/۷۵	۲/۲۵
—	۱۲	—	$\pm 0.05$	۳/۰۰	۲/۷۵
—	۱۲	—	$\pm 0.05$	۳/۵۰	۳/۰۰
—	۱۰	—	$\pm 0.06$	۴/۲۵	۳/۵۰
—	۱۰	—	$\pm 0.06$	۴/۷۵	۴/۲۵
—	۱۰	—	$\pm 0.07$	۵/۵۰	۴/۷۵

## - آزمون پیچاندن دور لوله

یک قطعه بریده شده از هر یک از نمونه‌های آزمون از رشته فولادی پوشش‌دار برای انجام این آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرد. تجهیزاتی که برای انجام این آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرد بایستی رشته را بدور یک محور استوانه‌ای شکل با قطر مشخص پیچاند، بطوری که یک مارپیچ فنری شکل تشکیل شود. تعداد حلقه‌های مارپیچ فنری بایستی ۸ دور بوده و با نرخ کمتر از ۱۵ دور در دقیقه پیچیده شود. در این حالت رشته نایستی پاره شود. قطر محور استوانه‌ای شکل بایستی مطابق با مقادیر مشخص شده در جداول شماره (۳-۱۷) تا (۳-۱۹) باشد.

جدول ۳-۱۷: قطر لوله استوانه‌ای در آزمون پیچاندن دور لوله برای رشته‌های فولادی عادی

قطر لوله (ضربیی از قطر رشته)		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
۱	۱	$\pm 0.05$	$\pm 0.03$	۲/۲۵	۱/۲۴
۱	۱	$\pm 0.06$	$\pm 0.04$	۲/۷۵	۲/۲۵
۱	۱	$\pm 0.06$	$\pm 0.05$	۳/۰۰	۲/۷۵
۱	۱	$\pm 0.07$	$\pm 0.05$	۳/۵۰	۳/۰۰
۱	۱	$\pm 0.09$	$\pm 0.06$	۴/۲۵	۳/۵۰
۱	۱	$\pm 0.10$	$\pm 0.06$	۴/۷۵	۴/۲۵
۱	۱	$\pm 0.11$	$\pm 0.07$	۵/۵۰	۴/۷۵

جدول ۳-۱۸: قطر لوله استوانه‌ای در آزمون پیچاندن دور لوله برای رشته‌های فولادی با استقامت زیاد

قطر لوله (ضریبی از قطر رشته)		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
۳	۳	±۰/۰۵	±۰/۰۳	۲/۲۵	۱/۲۴
۳	۳	±۰/۰۶	±۰/۰۴	۲/۷۵	۲/۲۵
۴	۴	±۰/۰۶	±۰/۰۵	۳/۰۰	۲/۷۵
۴	۴	±۰/۰۷	±۰/۰۵	۳/۵۰	۳/۰۰
۴	۴	±۰/۰۹	±۰/۰۶	۴/۲۵	۳/۵۰
۴	۴	±۰/۱۰	±۰/۰۶	۴/۷۵	۴/۲۵
۴	۴	±۰/۱۱	±۰/۰۷	۵/۵۰	۴/۷۵

جدول ۳-۱۹: قطر لوله استوانه‌ای در آزمون پیچاندن دور لوله برای رشته‌های فولادی با استقامت بسیار زیاد

قطر لوله (ضریبی از قطر رشته)		تلورانس قطر (میلیمتر)		قطر نامی رشته (میلیمتر)	
پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	پوشش روی کلاس ۲	پوشش روی کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
—	۴	—	±۰/۰۳	۲/۲۵	۱/۲۴
—	۴	—	±۰/۰۴	۲/۷۵	۲/۲۵
—	۵	—	±۰/۰۵	۳/۰۰	۲/۷۵
—	۵	—	±۰/۰۵	۳/۵۰	۳/۰۰
—	۵	—	±۰/۰۶	۴/۲۵	۳/۵۰
—	۵	—	±۰/۰۶	۴/۷۵	۴/۲۵
—	۵	—	±۰/۰۷	۵/۵۰	۴/۷۵

## ۳-۱-۲-۶- آزمون پوشش روی در مفتولهای فولادی

## - آزمون تعیین جرم پوشش روی

مفتولهای فولادی جهت جلوگیری از زنگ‌زدگی باید دارای پوشش روی باشند. جهت تعیین جرم پوشش روی از یکی از دو روش اندازه‌گیری حجم یا اندازه‌گیری وزن استفاده می‌شود. روش اندازه‌گیری حجم دارای دقت قابل ملاحظه‌ای بوده و سریعاً قابل انجام می‌باشد. بنابراین روش اندازه‌گیری حجم برای آزمونهای جاری مربوط به کلیه سایزهای رشته‌ها توصیه می‌گردد. چنانچه بین سازنده و خریدار اختلاف نظر وجود داشته باشد، روش اندازه‌گیری وزن بعنوان روش الزامی بایستی بکار برده شود. جرم پوشش روی نبایستی از مقدار مشخص شده در جدول شماره (۳-۲۰) کمتر باشد.

جدول ۳-۲۰: حداقل جرم پوشش روی در رشته‌های فولادی

حداقل جرم پوشش روی (گرم بر متر مربع)		قطر رشته (میلیمتر)	
کلاس ۲	کلاس ۱	کمتر یا مساوی با	بیشتر از
۳۷۰	۱۸۵	۱/۵۰	۱/۲۴
۴۰۰	۲۰۰	۱/۷۵	۱/۵۰
۴۳۰	۲۱۵	۲/۲۵	۱/۷۵
۴۶۰	۲۳۰	۳/۰۰	۲/۲۵
۴۹۰	۲۴۵	۳/۵۰	۳/۰۰
۵۲۰	۲۶۰	۴/۲۵	۳/۵۰
۵۵۰	۲۷۵	۴/۷۵	۴/۲۵
۵۸۰	۲۹۰	۵/۵۰	۴/۷۵

### الف - روش اندازه‌گیری حجم توسط گاز

اساس روش اندازه‌گیری حجم بر این پدیده استوار است که در زمان حل شدن یک فلز در یک اسید، گاز هیدروژن آزاد می‌گردد و مقدار این گاز متناسب با مقدار فلز حل شده می‌باشد. عبارت دیگر جهت تعیین جرم فلز حل شده، معادل شیمیایی آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. هر یک گرم فلز معادل ۰/۳۴۳ لیتر هیدروژن در درجه حرارت صفر درجه سانتیگراد و فشار ۱۰۱/۳ کیلو پاسکال آزاد می‌نماید.

لازم به ذکر است که در انجام آزمون برای رشته‌های خیلی ضخیم، مشکلاتی در آزمون پدید می‌آید که ممکن است منجر به صدمه دیدن تجهیزات آزمون شود. بنابراین، این روش اندازه‌گیری برای رشته‌هایی با قطر حداکثر ۵ میلی‌متر توصیه می‌گردد. در طول آزمون، معرفهای زیر بایستی مورد استفاده قرار گیرند:

- کلراید آنتیموان که بوسیله حل کردن ۲۰ گرم تری‌اکسید آنتیموان یا ۳۲ گرم تری کلراید آنتیموان در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلراید تهیه می‌گردد (وزن مخصوص بین ۱/۱۶ و ۱/۱۸)

- اسید هیدروکلراید (وزن مخصوص بین ۱/۱۶ و ۱/۱۸)

برای ترکیب دو محلول فوق، ۵ میلی لیتر از محلول اول به ۱۰۰ میلی لیتر از محلول دوم اضافه می‌گردد.

علاوه بر موارد فوق‌الذکر می‌توان از دستورالعمل ترکیبی اشاره شده در استاندارد ISO شماره ۱۴۶۰ نیز بهره گرفت.

تجهیزات آزمون شامل یک بورت<sup>۱</sup> شیشه‌ای ۱۰۰ میلی لیتری است که توسط یک لوله پلاستیکی به یک مخزن متصل شده و توسط شیر در بالا و پایین کنترل می‌گردد. بورت مذکور بایستی به فواصل ۰/۵ میلی لیتری مدرج شده باشد. چنانچه رشته‌هایی با سایز کوچکتر (بعنوان مثال رشته‌هایی با قطر کوچکتر از ۱/۵ میلی‌متر) تحت آزمون قرار می‌گیرند، استفاده از بورت ۵۰ میلی لیتری با طول تقریبی یکسان با حالت قبل و فواصل درجه‌بندی ۰/۲ میلی لیتر مناسبتر خواهد بود.

قطعاتی از رشته که تحت آزمون قرار می‌گیرند، بایستی از یک قسمت سالم رشته و به اندازه مورد نیاز با خطای کمتر از یک درصد جدا شود. مناسبترین طول رشته برای آزمون بستگی به سایز بورت، قطر رشته و جرم تقریبی پوشش دارد. طولهای مشخص شده در جدول شماره (۳-۲۱) رایج می‌باشد.

جدول ۳-۲۱: طول قطعات آزمون اندازه‌گیری حجم توسط گاز

طول قطعه، آزمون		قطر رشته با پوشش روی	
برای یک بورت ۵۰ میلی‌لیتری (mm)	برای یک بورت ۱۰۰ میلی‌لیتری (mm)	کمتر یا مساوی با (mm)	بیشتر از (mm)
۷۵	۱۰۰	۱/۸	۱/۳۴
—	۷۵	۳/۶	۱/۸
—	۵۰	۵/۵	۳/۶

معرف اسید داخل منبع ریخته می‌شود، بطوریکه کاملاً بورت را پر نموده و یک بخش کوچکی از حجم مخزن را خالی نگه‌دارد. برای انجام آزمون، ارتفاع مخزن بطریقی تنظیم می‌گردد که معرف اسید، ظرفیت بورت را تا شیر بالایی پر نماید. در این حالت شیر پایینی بسته خواهد بود. قطعه آزمون که با طول مشخص بریده شده است، داخل بورت قرار داده شده و فوراً شیر بالایی بسته می‌شود. در این شرایط، پوشش روی سریعاً حل شده و گاز هیدروژن آزاد می‌نماید. اجازه داده می‌شود که حل شدن ادامه یابد تا زمانی که بجز تعدادی حباب ریز، تولید هیدروژن متوقف گردد. سپس مخزن از گیره آن جدا شده و هم‌تراز با بورت بطریقی قرار می‌گیرد که سطوح معرف اسید در بورت و مخزن برابر باشد و حجم هیدروژن از روی درجه‌های بورت قابل خواندن باشد.

زمانیکه آزمون پایان پذیرفت، شیر بالایی باز شده و تمام معرف اسید از بورت توسط پایین آوردن مخزن خارج می‌شود. سپس شیر پایینی باز شده و قطعه آزمون خارج می‌گردد. قطعه آزمون با دقت خشک شده و قطر آن با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری می‌شود.

جرم پوشش روی از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{جرم پوشش روی در واحد سطح فولاد} = \frac{V}{dL} \times f \quad (۱۱-۳)$$

که در آن  $V$  حجم هیدروژن آزاد شده برحسب میلی‌لیتر،  $d$  قطر رشته لخت شده و  $L$  طول قطعه آزمون است. چنانچه طول و قطر برحسب میلی‌متر و  $f$  برابر با ۸۶۶ در نظر گرفته شود، جرم پوشش برحسب گرم بر متر مربع بدست می‌آید. ضریب  $f$  برای درجه حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد و فشار ۱۰۱/۳ کیلو پاسکال محاسبه شده است. اگر فشار اتمسفر خارج از محدوده ۹۸/۷ تا ۱۰۴ کیلو پاسکال باشد، یا درجه حرارت بین ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتیگراد نباشد، ضرایب اصلاح مناسب از جدول (۳-۲۲) بایستی استخراج و به ضریب  $f$  اعمال گردد.

اگر حاصلضرب ضرایب اصلاح فشار و درجه حرارت از ۰/۹۸ تا ۱/۰۲ باشد، اعمال این ضریب ضروری بنظر نمی‌رسد. در مواردی که نتایج آزمون با حداقل مقادیر مشخص شده کمتر از ۵ گرم بر مترمربع فاصله داشته باشد، بایستی فشار و درجه حرارت محیط با دقت بررسی شده و ضرایب اصلاح اعمال گردد.

چنانچه وضعیت آب و هوایی یا ارتفاع از سطح دریا، شرایط آزمون را تحت تاثیر قرار دهد، یک ضریب اصلاح ثابت بایستی در نظر گرفته شود. در ارتفاع زیاد، بهتر است که از یک بورت با ظرفیت بزرگتر از ۵۰ یا ۱۰۰ میلی‌لیتر استفاده گردد. جدول (۳-۲۲) لیست ضرایب تصحیح درجه حرارت و فشار را ارائه می‌نماید.

جدول ۳-۲۲: ضرایب اصلاح درجه حرارت و فشار

فشار اتمسفر (کیلو پاسکال)															درجه حرارت (°C)
۱۰۶/۷	۱۰۴/۰	۱۰۱/۳	۹۸/۷	۹۶/۰	۹۳/۳	۹۰/۷	۸۸/۰	۸۵/۳	۸۲/۷	۸۰/۰	۷۷/۳	۷۴/۷	۷۲/۰	۶۹/۳	
۱/۰۸۲	۱/۰۵۵	۱/۰۲۸	۱/۰۰۱	-/۹۷۴	-/۹۴۷	-/۹۲۰	-/۸۹۳	-/۸۶۶	-/۸۳۹	-/۸۱۱	-/۷۸۴	-/۷۵۸	-/۷۳۰	-/۷۰۳	۱۲
۱/۰۷۵	۱/۰۴۸	۱/۰۲۱	-/۹۹۴	-/۹۶۷	-/۹۴۰	-/۹۱۴	-/۸۸۶	-/۸۶۰	-/۸۳۳	-/۸۰۶	-/۷۷۹	-/۷۵۲	-/۷۲۵	-/۶۹۸	۱۴
۱/۰۶۸	۱/۰۴۰	۱/۰۱۴	-/۹۸۸	-/۹۶۰	-/۹۳۴	-/۹۰۸	-/۸۸۰	-/۸۵۴	-/۸۲۷	-/۸۰۰	-/۷۷۴	-/۷۴۷	-/۷۲۰	-/۶۹۴	۱۶
۱/۰۶۰	۱/۰۳۳	۱/۰۰۷	-/۹۸۱	-/۹۵۴	-/۹۲۷	-/۹۰۱	-/۸۷۴	-/۸۴۸	-/۸۲۲	-/۷۹۵	-/۷۶۸	-/۷۴۲	-/۷۱۵	-/۶۸۹	۱۸
۱/۰۵۳	۱/۰۲۶	۱/۰۰۰	-/۹۷۴	-/۹۴۷	-/۹۲۱	-/۸۹۵	-/۸۶۸	-/۸۴۲	-/۸۱۶	-/۷۸۹	-/۷۶۳	-/۷۳۷	-/۷۱۰	-/۶۸۴	۲۰
۱/۰۴۶	۱/۰۱۹	-/۹۹۳	-/۹۶۷	-/۹۴۰	-/۹۱۵	-/۸۸۹	-/۸۶۲	-/۸۳۶	-/۸۱۰	-/۷۸۳	-/۷۵۸	-/۷۳۲	-/۷۰۵	-/۶۷۹	۲۲
۱/۰۳۸	۱/۰۱۲	-/۹۸۶	-/۹۶۰	-/۹۳۴	-/۹۰۸	-/۸۸۲	-/۸۵۶	-/۸۳۰	-/۸۰۵	-/۷۷۸	-/۷۵۲	-/۷۲۷	-/۷۰۰	-/۶۷۴	۲۴
۱/۰۳۲	۱/۰۰۵	-/۹۸۰	-/۹۵۵	-/۹۲۸	-/۹۰۳	-/۸۷۷	-/۸۵۱	-/۸۲۵	-/۸۰۰	-/۷۷۳	-/۷۴۸	-/۷۲۲	-/۶۹۶	-/۶۷۰	۲۶
۱/۰۲۵	-/۹۹۸	-/۹۷۳	-/۹۴۷	-/۹۲۱	-/۸۹۶	-/۸۷۱	-/۸۴۵	-/۸۱۹	-/۷۹۴	-/۷۶۹	-/۷۴۲	-/۷۱۷	-/۶۹۱	-/۶۶۶	۲۸
۱/۰۱۸	-/۹۹۲	-/۹۶۷	-/۹۴۲	-/۹۱۶	-/۸۹۱	-/۸۶۵	-/۸۳۹	-/۸۱۴	-/۷۸۹	-/۷۶۳	-/۷۳۸	-/۷۱۳	-/۶۸۷	-/۶۶۱	۳۰
۸۰۰	۷۸۰	۷۶۰	۷۴۰	۷۲۰	۷۰۰	۶۸۰	۶۶۰	۶۴۰	۶۲۰	۶۰۰	۵۸۰	۵۶۰	۵۴۰	۵۲۰	
ارتفاع بارومتر (میلی متر جیوه)															

## ب - روش اندازه گیری وزن

در این روش یک قطعه از رشته فولادی با پوشش روی بریده می شود و با دست کاملاً صاف شده و سپس با فرو بردن در یک حلال روغن زدای مناسب، کاملاً تمیز می گردد. سپس توسط یک دستمال نرم و تمیز کاملاً خشک شده و با دقت  $0/01$  گرم توزین می شود. جرم آن برحسب گرم نبایستی از ۴ برابر قطر آن برحسب میلی متر کمتر باشد. جهت سهولت، خم نمودن قطعه بریده شده جهت لخت کردن بلامانع است. حلالهایی که در روش اندازه گیری حجم توسط گاز معرفی گردید، در اینجا نیز قابل استفاده می باشد. قطعه بریده شده با غوطه ور شدن در حجم مناسب از حلالهای مذکور، از پوشش روی جدا می گردد. همان حلال متناوباً بدون اضافه کردن محلول کلراید آنتیموان مورد استفاده قرار می گیرد تا جائیکه زمان لخت شدن بمقدار قابل ملاحظه ای طولانی گردد. درجه حرارت محلول لخت کننده نبایستی در هیچ زمانی از ۴۰ درجه سانتیگراد بالاتر رود.

برای انجام یک آزمون، حجم مناسب محلول بمقدار ۱۰۰ میلی لیتر در یک ظرف استوانه ای شیشه ای با قطر ۵۰ میلی متر و عمق ۱۵۰ میلی متر مناسب می باشد. تعداد قطعه های غوطه ور شونده در محلول در یک مرحله انجام آزمون نبایستی از ۳ قطعه برای هر ۱۰۰ میلی لیتر محلول فراتر رود.

برای هر رشته، بلافاصله پس از اینکه فعالیت شیمیایی شدید بر روی آن متوقف گردید، رشته بایستی از اسید جدا شده و توسط آب جاری کاملاً شسته و خشک گردد. قطر رشته بایستی با دقت  $0/01$  میلی متر اندازه گیری شود. اینکار با میانگین گیری از دو اندازه گیری که با زاویه ۹۰ درجه از یکدیگر انجام پذیرفته است، محاسبه می گردد. سپس قطعه لخت شده با دقت  $0/01$  گرم توزین می شود.

جرم پوشش در واحد سطح رشته لخت شده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Dr = 1950 = \text{جرم پوشش برحسب گرم بر متر مربع از سطح رشته لخت شده} \quad (12-3)$$

که در آن  $D$  قطر رشته لخت شده برحسب میلیمتر و  $r$  از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$r = \frac{\text{جرم رشته لخت شده} - \text{جرم اولیه رشته}}{\text{جرم رشته لخت شده}} \quad (13-3)$$

### - آزمون چسبندگی پوشش روی

یک قطعه بریده شده از هر نمونه رشته فولادی پوشش‌دار بایستی با نرخ کمتر یا مساوی با ۱۵ دور در دقیقه بصورت مارپیچ، بمقدار حداقل ۸ دور حول یک محور سیلندری پیچیده شود. قطر این سیلندر بایستی ۴ برابر قطر رشته برای رشته‌های با قطر کوچکتر و مساوی با ۳/۵ میلیمتر و ۵ برابر قطر رشته برای رشته‌های با قطر بزرگتر از ۳/۵ میلیمتر باشد.

پس از انجام فرآیند فوق‌الذکر، پوشش روی بایستی با استحکام کافی به فولاد چسبیده باقی بماند و نبایستی ترک خورده یا توسط سائیدن انگشتان بر روی رشته، از آن جدا گردد.

### - آزمون پیوستگی پوشش روی

یک قطعه از رشته پوشش‌دار بایستی با مشاهده چشمی مورد ارزیابی قرار گیرد تا اطمینان حاصل گردد که هیچ خلل یا عدم پیوستگی در پوشش موجود نباشد. پوشش روی بایستی هموار بوده و در طول رشته دارای ضخامت کافی باشد.

### ۳-۱-۲-۷- اندازه‌گیری سطح مقطع هادی

ابتدا قطر هر رشته از هادی با استفاده از کولیس میکرومتر که بازوهای آن دارای سطوح مسطح می‌باشد، اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری بر روی دو نقطه در نزدیکی دو انتهای قطعه تحت آزمون و یک نقطه میانی قطعه انجام می‌گیرد. قطر  $d$  برحسب میلیمتر میانگین سه اندازه‌گیری قطر در سه نقطه فوق‌الذکر است که اندازه قطر در هر نقطه، از میانگین‌گیری مقادیر حداکثر و حداقل ناشی از چندین اندازه‌گیری در نقطه مذکور محاسبه می‌گردد.

سطح مقطع بخش آلومینیومی یک هادی رشته‌ای از مجموع سطح مقطع‌های رشته‌های آلومینیومی محاسبه می‌شود که سطح مقطع هر رشته از روی قطر اندازه‌گیری شده به روش فوق‌الذکر تعیین خواهد شد.

این سطح مقطع نبایستی از  $\pm 2\%$  درصد در هیچ نمونه‌ای و بیش از  $\pm 1/5\%$  درصد برای میانگین هر چهار مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیتهایی که بصورت تصادفی انتخاب شده‌اند و حداقل دارای فواصل ۲۰ سانتیمتری باشند، تجاوز نماید. سطح مقطع هسته فولادی (در صورت نیاز) با مجموع سطح مقطع‌های رشته‌های مفتولی تشکیل‌دهنده هسته فولادی محاسبه می‌شود که سطح مقطع هر رشته از روی قطر اندازه‌گیری شده به روش فوق‌الذکر تعیین خواهد شد.

### ۳-۱-۲-۸- اندازه‌گیری قطر نهایی هادی

قطر نهایی هادی بایستی در طول هادی و توسط یک کولیس با دقت  $0.1\%$  میلیمتر اندازه‌گیری شود. قطر بایستی با میانگین‌گیری از دو مقدار با دو رقم اعشار برحسب میلیمتر تعیین گردد که این دو مقدار با زاویه ۹۰ درجه برای هر نقطه از هادی اندازه‌گیری می‌شود.

قطر هادی نایستی از  $\pm 1$  درصد برای هادیهایی با قطر بزرگتر یا مساوی ۱۰ میلیمتر و  $\pm 0.1$  میلیمتر برای هادیهایی با قطر کوچکتر از ۱۰ میلیمتر تجاوز نماید.

### ۳-۱-۲-۹- اندازه‌گیری جرم گریس و جرم واحد طول هادی (چگالی خطی)

بمنظور کاهش ریسک خوردگی در محیطهای مختلف، از گریس جهت پوشش هادیها استفاده می‌گردد. جرم پوشش گریس به روش زیر محاسبه می‌شود. با فرض اینکه گریس کاملاً حفره‌های بین رشته‌ها را پر می‌نماید، حجم گریس در هر لایه هادی از معادله زیر بدست می‌آید:

$$V_g = (D_e^2 - D_i^2) \frac{\pi}{4} - \frac{n\pi}{4} d^2 \quad (3-14)$$

که در آن:

$D_e$ : قطر بیرونی لایه

$D_i$ : قطر داخلی لایه

$d$ : قطر رشته‌ها در لایه

$n$ : تعداد رشته‌ها در لایه

$V_g$ : حجم گریس در لایه

برای هادیهایی که چندین لایه دارند، جرم کل گریس با مجموع مقادیر لایه‌ها محاسبه می‌گردد. از آنجا که یک ارتباط هندسی بین تمام پارامترهای معادله فوق‌الذکر وجود دارد، می‌توان جرم کل گریس در هر هادی را از رابطه زیر بدست آورد:

$$M_g = K_a d_a^2 \quad (3-15)$$

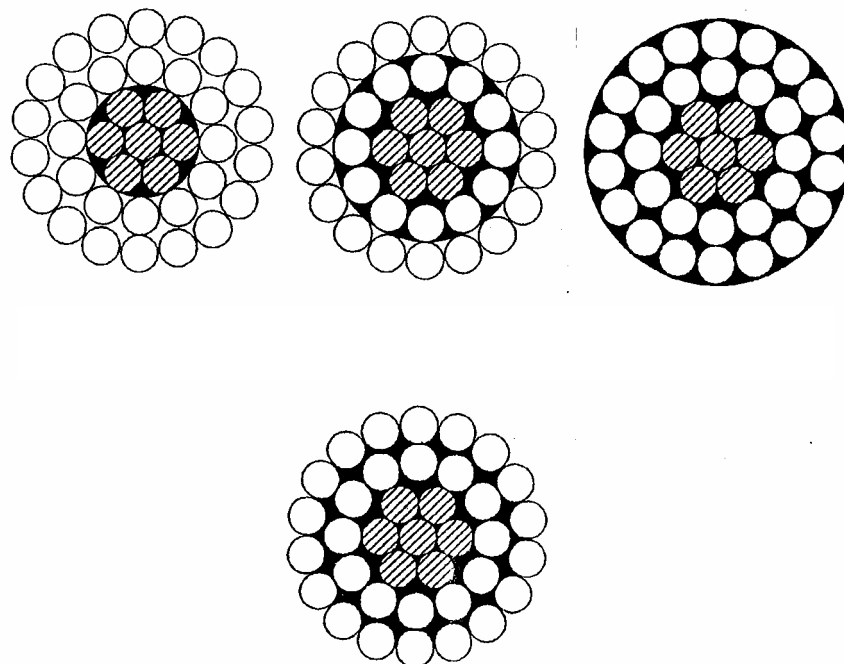
که در آن  $d_a$  قطر رشته برحسب میلیمتر،  $M_g$  جرم گریس برحسب کیلوگرم بر کیلومتر و  $K_a$  فاکتوری است که بستگی به چگونگی بافت هادی، چگالی گریس و ضریب پر شدن (درصدی از مقدار تئوریک) دارد. در جدول (۳-۲۳) مقادیر  $K_a$  برای چهار حالت گریس کاری با چگالی گریس ۰/۸۷ گرم بر سانتیمتر مکعب و حداقل ضریب پر شدن ۰/۷ ارائه شده است. در حالت اول تنها هسته فولادی دارای پوشش گریس است. در حالت دوم کل هادی بجز لایه بیرونی، در حالت سوم کل هادی شامل لایه بیرونی و در حالت چهارم کل هادی بجز سطوح بیرونی رشته‌ها در لایه آخر دارای پوشش گریس می‌باشند. حالت‌های مختلف گریس کاری در شکل (۳-۳) آورده شده است.

جرم گریس هادی را می‌توان از روی تفاضل بین جرم هادی با گریس و جرم آن پس از حذف کامل گریس محاسبه نمود. جرم گریس بایستی حداقل برابر با مقدار مینیمم مشخص شده در جداول باشد. جرم واحد طول هادی بدون گریس نایستی از مقدار نامی ارائه شده در جداول بیش از  $\pm 0.2$  درصد تغییرات داشته باشد. تجهیزاتی که جهت انجام اندازه‌گیری چگالی خطی (جرم واحد طول) بکار می‌رود، بایستی دارای دقت  $\pm 0.1$  درصد باشد.



جدول ۳-۲۳: ضرایب  $K_a$  برای جرم گریس

$K_{a4}$	$K_{a3}$	$K_{a2}$	$K_{a1}$	بافته شده	
				فولاد	آلومینیوم
تمام هادی بجز سطوح بیرونی لایه آخر گریس دارد کلاس ۴	تمام هادی شامل لایه بیرونی گریس دارد کلاس ۳	تمام هادی بجز لایه بیرونی گریس دارد کلاس ۲	تنها هسته فولادی گریس دارد کلاس ۱		
۰/۴۶	۰/۹۶	—	—	۱	۶
۰/۴۶	۰/۹۶	—	—	—	۷
۱/۸۷	۲/۸۷	۰/۹۶	—	۱	۱۸
۲/۶۹	۳/۸۱	۱/۵۷	۰/۳۰	۷	۲۲
۳/۳۷	۴/۷۲	۲/۱۷	۰/۵۸	۷	۲۶
۱/۸۷	۲/۸۷	۰/۹۶	—	—	۱۹
۴/۲۱	۵/۷۴	۲/۸۷	۰/۹۶	۷	۳۰
۴/۲۱	۵/۷۴	۲/۸۷	—	—	۳۷
۷/۲۷	۹/۵۷	۵/۷۴	—	—	۶۱
۷/۲۷	۷/۶۰	۴/۲۵	۰/۴۲۰	۷	۴۵
۷/۳۳	۹/۵۷	۵/۷۴	۰/۹۶	۷	۵۴
۸/۹۷	۹/۶۴	۵/۸۲	۱/۰۳	۱۹	۵۴
۸/۹۷	۱۱/۹۰	۷/۶۰	۰/۴۳	۷	۷۲
۹/۴۲	۱۱/۹۴	۷/۶۳	۰/۴۶	۷	۷۲
۱۱/۱۱	۱۴/۳۵	۹/۵۷	۰/۹۶	۱۹	۸۴
۱۱/۱۸	۱۴/۴۳	۹/۶۴	۰/۹۶	۷	۸۴
۱۱/۱۱	۱۴/۳۵	۹/۵۷	—	—	۹۱



شکل ۳-۳: حالت‌های مختلف گریس کاری هادی

### ۳-۱-۲-۱۰- آزمون گسیختگی رشته‌های آلومینیومی و فولادی پس از تابیده شدن

در مواقع لزوم، جهت ارزیابی استقامت پارگی رشته‌هایی که از هادی بافته شده جدا شده‌اند، این آزمون انجام می‌گیرد. قطعه‌ای از رشته، با دقت از هادی نمونه جدا شده و کاملاً صاف می‌شود. دقت کافی در انجام کار بایستی مبذول گردد تا رشته کش نیاید. سطح مقطع رشته بایستی مطابق با آزمون مربوطه بدقت اندازه‌گیری شود. سپس رشته صاف شده در تجهیز آزمون کشش قرار داده شده و بار بصورت تدریجی به آن اعمال می‌گردد. نرخ جدا شدن گیره‌های تجهیز آزمون بایستی از ۲۵ میلی‌متر در دقیقه کمتر و از ۱۰۰ میلی‌متر در دقیقه بیشتر باشد. نسبت بار در زمان پارگی به سطح مقطع رشته بایستی از ۹۵ درصد تنش قابل تحمل قبل از بافته شدن کمتر باشد. ۵ درصد کاهش بخاطر فرآیند بافته شدن در نظر گرفته شده است.

### ۳-۱-۲-۱۱- آزمون وضعیت سطح هادی

سطح هادی بایستی با چشم غیرمسلح مورد بازدید قرار گیرد. استفاده از لنزهای اصلاح‌کننده نرمال قابل قبول می‌باشد. سطح هادی بایستی عاری از هرگونه عیب قابل رؤیت مثل شکاف، برجستگی و ... باشد.

### ۳-۱-۲-۱۲- آزمون نسبت لایه و جهت لایه هادی:

نسبت لایه هر لایه از هادی با محاسبه نسبت طول لایه اندازه‌گیری شده به قطر خارجی لایه مذکور بدست می‌آید. جهت لایه‌های همجوار در هادی بایستی نسبت بهم معکوس باشد. جهت لایه بیرونی بایستی به جهت راست باشد مگر اینکه در زمان خرید جهت دیگر مشخص شده باشد. نسبت لایه برای لایه‌های فولادی با پوشش روی بایستی مطابق زیر باشد:

◆ نسبت لایه برای لایه ۶ رشته‌ای از هسته‌های ۷ و ۱۹ رشته‌ای بایستی کمتر از ۱۶ و بیشتر از ۲۶ باشد.

◆ نسبت لایه برای لایه ۱۲ رشته‌ای از هسته ۱۹ رشته‌ای بایستی کمتر از ۱۴ و بیشتر از ۲۲ باشد.

نسبت لایه برای لایه‌های آلومینیومی در انواع هادیها بایستی مطابق شاخص‌های زیر باشد:

◆ نسبت لایه برای لایه بیرونی رشته‌های آلومینیومی بایستی کمتر از ۱۰ و بیشتر از ۱۴ باشد.

◆ نسبت لایه برای لایه داخلی رشته‌های آلومینیومی بایستی کمتر از ۱۰ و بیشتر از ۱۶ باشد.

در یک هسته فولادی ۱۹ رشته‌ای، نسبت لایه ۱۲ رشته‌ای بایستی بزرگتر از نسبت لایه ۶ رشته‌ای باشد. همچنین در یک هادی با چندین لایه آلومینیومی، نسبت لایه هر لایه آلومینیومی بایستی کمتر از نسبت لایه آلومینیومی زیرین باشد.

کلیه رشته‌های فولادی باید به طور طبیعی در موقعیت خود در هسته فولادی باقی بمانند و در صورتی که هسته بریده شود، انتهای رشته‌ها می‌بایستی در موقعیت خود باقی بمانند و یا اینکه با دست به راحتی بتوان آنها را در وضعیت خود قرار داد و در این وضعیت باقی بمانند. این مسئله در مورد لایه‌های بیرونی رشته‌های آلومینیومی نیز صادق است. قبل از بافته شدن هادی، رشته‌های آلومینیومی و فولادی باید دارای دمای تقریباً یکنواختی باشند.

### ۳-۲- آزمونهای هادی‌های لوله‌ای مورد استفاده در شینه‌های سخت

هادی‌های لوله‌ای مورد استفاده در شینه‌های سخت می‌بایستی مطابق روشهای ارائه شده در مراجع [۲۳-۲۷]، تحت آزمون قرار

گیرند.

این آزمونها عبارتند از:

- آزمون خواص کششی
- آزمون مقاومت الکتریکی
- آزمونهای ابعادی

مقادیر مشخص شده در آزمونهای این بخش قابل اعمال به هادیهای لوله‌ای از جنس آلومینیوم با آلیاژهای منیزیم و سیلیکان (با اسکجول\* ۴۰ و ۸۰) می‌باشند که مشخصات آنها طبق استاندارد ASTM شماره B۳۱۷ در جدول (۳-۲۴) ارائه شده است.

جدول ۳-۲۴: مشخصات هادیهای لوله‌ای از جنس آلومینیوم آلیاژی مورد استفاده در شینه‌های سخت

عضو	حداکثر درصد ترکیب استفاده شده
سیلیکان	۰/۷-۰/۳
آهن	۰/۵
مس	۰/۱
منگنز	۰/۰۳
منیزیم	۰/۸-۰/۳۵
کرم	۰/۰۳
روی	۰/۱
برم	۰/۰۶
سایر عناصر هریک حداکثر به میزان ۰/۰۳ درصد و جمعاً به میزان حداکثر ۰/۰۱ درصد	
میزان باقی مانده آلومینیوم خالص خواهد بود	

هادیهای لوله‌ای به طرق مختلفی مورد عملیات حرارتی قرار می‌گیرند. هادیهای لوله‌ای که آزمونهای آنها در این بخش ارائه می‌گردد، هادیهای هستند که عملیات حرارتی انجام گرفته بر روی آنها طبق استاندارد ANSI شماره H۳۵/۱ از نوع T6، T61، T63، T64، T65 و H111 می‌باشد.

### ۳-۲-۱- آزمون خواص کششی

آزمونهای کششی استقامت مواد را تحت تنش‌های کششی بررسی می‌نماید. اطلاعات حاصل از این آزمون برای مقایسه مواد، بهبود و تغییر آلیاژهای استفاده شده، کنترل کیفیت و طراحی جهت شرایط خاص استفاده می‌شوند. برای مقاصد کنترل کیفیت، نتایج استخراج شده از آزمونهای استاندارد انجام گرفته بر روی نمونه‌ها، می‌تواند به عنوان شاخصی از کیفیت موادی که نمونه‌ها از آن انتخاب شده‌اند، تلقی گردد. این آزمون می‌بایستی مطابق با روش ارائه شده در استاندارد ASTM شماره B۵۵۷ انجام گیرد.

\* از آنجاکه لوله‌ها در ابعاد و اندازه‌های مختلف ساخته می‌شوند، طبق استاندارد ANSI جهت شناسایی نوع مشخصی از لوله‌ها باید عدد اسکجول (schedule) لوله ارائه گردد. با مشخص بودن این عدد و قطر نامی لوله سایر اطلاعات آن از قبیل ضخامت جداره لوله، وزن واحد طول لوله و ... مشخص می‌گردد.

## ۳-۲-۱-۱- تجهیزات آزمون

دستگاه مورد استفاده برای آزمون کششی (ماشین آزمون) باید نیازمندیهای ارائه شده در استاندارد ASTM شماره E۴ را دارا باشد. بارهای مورد استفاده جهت تعیین استقامت کششی و استقامت تسلیم نمونه‌ها می‌بایستی در محدوده بارگذاری تحقیق شده ماشین آزمون قرار گیرند.

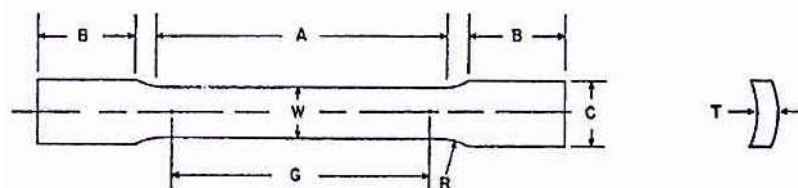
انواع مختلفی از گیره‌ها را می‌توان برای انتقال نیروی ایجاد شده بوسیله ماشین آزمون به نمونه‌ها به کار برد. برای اطمینان از ایجاد تنش محوری، محور نمونه آزمون می‌بایستی با محور بارگذاری ماشین در یک راستا قرار گیرد. در غیر این صورت امکان بوجود آمدن نیروهای خمشی وجود خواهد داشت که معمولاً در هنگام یافتن تنش هادی (نیروی محوری تقسیم بر سطح مقطع هادی) در نظر گرفته نمی‌شود.

میکرومترها و سایر وسایلی که برای اندازه‌گیری ابعاد خطی مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌بایستی حداقل دقتی برابر با نصف کوچکترین واحد منفرد مورد استفاده جهت اندازه‌گیری‌ها را دارا باشند.

## ۳-۲-۱-۲- نمونه‌های آزمون

نمونه‌های آزمون، در صورت امکان باید به شکل مقطع کامل باشد. در غیر اینصورت می‌بایستی نمونه‌های ماشین کاری شده‌ای با سطح مقطع‌های چهارگوش مورد استفاده قرار گیرند. انتخاب نادرست نمونه‌های آزمون اغلب به نتایج آزمون نادرستی منجر خواهند شد. بنابراین در هنگام تهیه نمونه‌ها، بویژه در هنگام ماشین کاری جهت تهیه نمونه آزمون و برای دست یافتن به میزان دقت مطلوب و میزان خطای قابل قبول در نتایج باید شرایط لازم در نظر گرفته شود.

سطح مقطع نمونه را می‌توان در وسط آن کاهش داد تا در هنگام گسیختگی نمونه، گسیختگی در محل مشخصی از نمونه به وقوع بپیوندد. به همین دلیل یک کاهش تدریجی مشخص در سطح مقطع نمونه‌ها مجاز می‌باشد. نمونه‌هایی که دارای سطح مقطع چهار گوش هستند (مطابق شکل ۳-۴) می‌بایستی پهنای  $0.5$  اینچ و ضخامتی برابر با ضخامت واقعی لوله را دارا باشند.



شکل ۳-۴: نمونه‌های آزمون کششی طولی برای هادی‌های لوله‌ای

کمیت‌های مشخص شده در شکل فوق دارای تعاریف و حدود زیر می‌باشند:

$W$  = پهنای قسمت باریک شده نمونه که اندازه استاندارد آن  $0.1 \pm 0.05$  اینچ است. انتهای قسمت باریک شده نباید بیش از  $0.02$  اینچ با هم اختلاف اندازه داشته باشند. یک کاهش تدریجی در پهنای نمونه از دو انتها رو به مرکز نمونه امکان پذیر است، اما پهنای هر انتها نباید بیش از یک درصد بزرگتر از پهنای مرکز نمونه باشد.

$G$  = طول مشخص شده برای بررسی آزمون که اندازه استاندارد آن  $2 \pm 0.05$  اینچ است.

$T$  = ضخامت نمونه آزمون که مقدار آن برابر ضخامت واقعی هادی لوله‌ای می‌باشد که نمونه‌های آزمون از آن تهیه شده‌اند.

$R$  = شعاع حاشیه باریک شده نمونه که حداقل مقدار استاندارد آن  $0/5$  اینچ است.

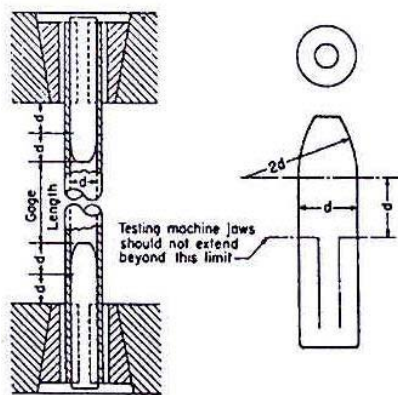
$A$  = طول بخش باریک شده نمونه که حداقل مقدار استاندارد آن  $2/25$  اینچ است.

$B$  = طول بخشی از نمونه که در داخل گیره‌های ماشین آزمون قرار می‌گیرد و حداقل مقدار استاندارد آن  $3$  اینچ است. در صورت امکان طول  $B$  باید به اندازه کافی بزرگ انتخاب گردد تا بتوان حداقل به اندازه  $\frac{2}{3}$  طول گیره، نمونه را در داخل گیره قرار داد.

$C$  = پهنای مقطع گیره ماشین آزمون که اندازه استاندارد آن تقریباً برابر  $\frac{11}{16}$  اینچ است. دو انتهای نمونه باید نسبت به خطی که از

مرکز بخش باریک شده نمونه می‌گذرد متقارن باشند و این عدم تقارن نایستی بیش از  $0/05$  اینچ باشد.

کلیه نمونه‌های مورد استفاده در آزمونها باید طولی<sup>۱</sup> باشد. برای کلیه لوله‌های کوچک، بویژه سایزهای یک اینچی و لوله‌هایی با قطر نامی کمتر از این مقدار و گاهی اوقات برای سایزهای بزرگتر تا حدی که ظرفیت دستگاه آزمون اجازه دهد، می‌بایستی استفاده از نمونه‌های آزمون کششی با مقطع کامل مدنظر قرار گیرد. توپ‌های<sup>۲</sup> فلزی با اندازه‌های مناسب می‌بایستی در داخل انتهای نمونه‌های لوله‌ای فرو برده شوند تا گیره‌های دستگاه آزمون بتوانند به طور صحیحی نمونه آزمون را محکم بگیرند. توپ‌ها نباید تا قسمتی از لوله که افزایش طول آن اندازه‌گیری می‌شود، امتداد یابند. شکل (۳-۵) شکل مناسبی از توپی، محل توپی‌ها در نمونه و محل نمونه در گیره‌های ماشین آزمون را نشان می‌دهد. توجه کنید که قطر توپی از خطی که نشان دهنده محدوده گیره‌های ماشین آزمون است تا بخش مخروطی شکل یک کاهش تدریجی در قطر را دارا می‌باشد.



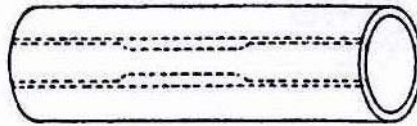
شکل ۳-۵: توپی‌های فلزی برای انجام آزمون نمونه‌های لوله‌ای، جایگاه مناسب توپی‌ها در نمونه و جایگاه مناسب نمونه در گیره‌های ماشین آزمون

در مواقعی که انجام آزمون بر روی نمونه‌ها با اندازه مقطع واقعی امکان پذیر نباشد، در صورت امکان باید از نمونه‌هایی با پهنای  $0/5$  اینچ بصورت شکل (۳-۴) که مطابق با شکل (۳-۶) از هادی لوله‌ای مورد نظر بریده شده‌اند، استفاده نمود. در هنگام تهیه نمونه باید دقت نمود که لبه‌های نمونه کاملاً موازی هم باشند.

اگر از نمونه‌هایی مطابق شکل (۳-۴) که از لوله بریده شده‌اند استفاده شود و دسترسی به گیره‌های انحنادار جهت گرفتن نمونه وجود نداشته باشد، تخت نمودن انتهای نمونه جهت استفاده از گیره‌های تخت معمولی مجاز می‌باشد. توجه کنید که تخت نمودن

1. Longitudinal
2. Plugs

دو انتهای نمونه باید بدون گرم کردن آن صورت گیرد. علاوه بر این، مقطع قسمت مشخص شده برای اندازه‌گیری (G) نباید دچار تغییرات گردد.



شکل ۳-۶: نحوه تهیه نمونه‌های آزمون کشش طولی برای لوله‌های قطور از طریق برش نمونه از جداره لوله واقعی

### ۳-۲-۱-۳- تعداد نمونه‌های مورد نیاز

جهت انجام آزمون خواص کششی، یک نمونه به طور اتفاقی از هر ۱۳۵۰ کیلوگرم مجموعه یا کسری از آن با دما، ضخامت، پهنا یا سطح مقطع مشخص شده در مجموعه، بصورت اتفاقی انتخاب می‌گردد. اگر در مجموعه‌ای لوله‌های با سایزهای مختلف وجود داشته باشد، انتخاب نمونه‌ها بایستی از میان گروهی از لوله‌ها که دارای سطح مقطع یکسان هستند، صورت گیرد. در صورت توافق بین سازنده و خریدار می‌توان از روشهای دیگری جهت انتخاب نمونه‌ها استفاده نمود.

### ۳-۲-۱-۴- روش انجام آزمون

مراحل انجام آزمون به شرح ذیل می‌باشد:

#### مرحله اول: اندازه‌گیری ابعاد نمونه‌های آزمون

برای تعیین سطح مقطع نمونه مورد استفاده در آزمون کششی، ابعاد مقطع آن در مرکز بخش باریک شده اندازه‌گیری می‌شود. در مورد نمونه‌های کوچکتر از  $\frac{3}{16}$  اینچ، به منظور امکان قضاوت در مورد نتایج آزمون، ابعاد مقطع در جایی که حداقل سطح مقطع ایجاد شده است اندازه‌گیری می‌شود.

اندازه‌گیری و ثبت ابعاد مقطع نمونه‌های آزمون می‌بایستی مطابق مقادیر ارائه شده در جدول (۳-۲۵) انجام گیرد.

جدول ۳-۲۵: مقادیر دقت مورد نیاز جهت اندازه‌گیری و ثبت ابعاد مقطع نمونه‌های آزمون

ابعاد مقطع نمونه‌های آزمون	دقت مورد نیاز جهت اندازه‌گیری و ثبت ابعاد مقطع نمونه‌های آزمون
برابر یا بزرگتر از ۰/۲ اینچ	۰/۰۰۱ اینچ
کمتر از ۰/۲ اینچ و بزرگتر از ۰/۱ اینچ	۰/۰۰۰۵ اینچ
کمتر از ۰/۱ اینچ و بزرگتر از ۰/۰۲ اینچ	۰/۰۰۰۱ اینچ
در صورت امکان نمونه‌هایی که ابعاد مقطع آنها کوچکتر از ۰/۰۲ اینچ است با حداقل دقت حدود یک درصد که نباید از ۰/۰۰۱ اینچ بزرگتر باشد، می‌بایستی اندازه‌گیری و ثبت شوند.	

در هنگام اندازه‌گیری ابعاد مقطع نمونه‌های آزمون باید دقت نمود که سطح آنها فاقد هرگونه ناهمواری و برجستگی ناشی از برش، عملیات ماشین کاری و عوامل از این دست باشد. وجود عوامل مذکور باعث بروز خطا در هنگام اندازه‌گیری ابعاد مقطع نمونه شده و سطح مقطع استخراج شده از طریق این اندازه‌گیری‌ها بزرگتر از سطح مقطع واقعی خواهد بود. بنابراین ابعاد مقطع نمونه‌هایی

که به جهت عملیات ماشین کاری و تهیه نمونه، سطح آنها دارای ناهمواری شده است را می توان اندازه گیری نمود و سپس به نزدیکترین ۰/۰۰۱ اینچ تقلیل داد.

پس از اندازه گیری ابعاد مقطع نمونه های آزمون، سطح مقطع آنها تعیین می گردد. در مورد نمونه هایی که به شکل لوله هستند، سطح مقطع نمونه به راحتی قابل محاسبه می باشد. اما هنگام استفاده از نمونه های آزمون مطابق شکل (۳-۴) که از جداره لوله واقعی برش داده شده اند، سطح مقطع نمونه ها باید بصورت زیر تعیین گردد:

اگر نسبت  $\frac{D}{W}$  کوچکتر مساوی ۶ باشد:

$$A = \left[ (W/4) \times (D^2 - W^2)^{1/2} \right] + \left[ \left( \frac{D^2}{4} \right) \times \arcsin\left(\frac{W}{D}\right) \right] - \left[ \left( \frac{W}{4} \right) \times ((D - 2T)^2 - W^2)^{1/2} \right] \quad (۱۶-۳)$$

$$- \left[ ((D - 2T)/2)^2 \times \arcsin(W/(D - 2T)) \right]$$

که در آن:

$A$  = سطح مقطع واقعی نمونه، برحسب اینچ مربع.

$W$  = پهنای بخش باریک شده نمونه، برحسب اینچ.

$D$  = قطر خارجی اندازه گیری شده لوله، برحسب اینچ.

$T$  = ضخامت جداره اندازه گیری شده نمونه، برحسب اینچ.

توجه:

- مقادیر  $\arcsin$  برحسب رادیان می باشند.

اگر نسبت  $\frac{D}{W}$  بزرگتر از ۶ باشد، معادله دقیق فوق یا معادله تقریبی زیر را می توان استفاده نمود:

$$A = W \times T \quad (۱۷-۳)$$

که در آن  $A$  سطح مقطع تقریبی نمونه برحسب اینچ بوده و سایر کمیتها مشابه قبل تعریف می گردند.

#### مرحله دوم: تنظیم ماشین آزمون

ماشین آزمون باید به گونه ای تنظیم شود که شاخص نشان دهنده نیرو، میزان نیروی اعمالی به نمونه آزمون را برابر با صفر نشان دهد. هرگونه نیرو یا بار که به جهت قرارگیری نمونه در میان گیره های ماشین آزمون ممکن است به آن وارد شود، باید بوسیله سیستم اندازه گیری نیرو مشخص گردد، مگر اینکه بار اولیه قبل از آزمون به طور فیزیکی برداشته شود. این بارهای اولیه می توانند دارای طبیعت کششی یا فشاری باشند. عواملی نظیر طراحی گیره ها، عملکرد نامناسب گیره ها، نیروی فشاری بیش از حد و حساسیت حلقه کنترلی دستگاه آزمون از علل ایجاد این بارها می باشند. استفاده از روشهایی همچون کسر کشش اولیه با استفاده از محاسبات انجام گرفته بوسیله نرم افزار، به جهت کاهش دقت نتایج آزمون ممنوع می باشد.

#### مرحله سوم: سرعت انجام آزمون

سرعت انجام آزمون می تواند برحسب یکی از موارد زیر تعریف گردد:

- نرخ جابجائی فک های<sup>۱</sup> ماشین آزمون هنگامی که تحت بار نمی باشد.

- نرخ جدا شدن دو فک ماشین آزمون در هنگام اجرای آزمون.

- زمان مقتضی برای کامل شدن کل یا قسمتی از آزمون.

- نرخ تحت تنش قرار گرفتن نمونه.

- نرخ کشیدگی نمونه.

برای برخی مواد، اولین تعریف فوق که دارای حداقل دقت می‌باشد، ممکن است کافی باشد، در حالیکه برای برخی دیگر از مواد، برای بدست آوردن مقادیر آزمون در محدوده‌های قابل قبول، ممکن است لازم باشد تا از یکی دیگر از تعاریف فوق (که برحسب دقت لیست شده‌اند) استفاده گردد.

حدود مجاز سرعت انجام آزمون می‌بایستی مشخص باشد، چراکه اختلاف بوجود آمده به جهت استفاده از سرعتهای متفاوت، می‌تواند دارای چنان دامنه‌ای باشد که امکان تعیین قابل قبول بودن ماده مورد نظر را دچار مشکل می‌نماید. تحت چنین شرایطی، برای مشخص نمودن سرعت انجام آزمون بسته به جنس ماده و استفاده‌ای که برای آن در نظر گرفته شده است یک یا تعدادی از روشهای ارائه شده زیر پیشنهاد می‌شود:

- نرخ جابجائی فک‌های ماشین آزمون در هنگام بی‌باری

می‌بایستی محدوده مجازی برای نرخ جابجایی فک‌های ماشین آزمون، وقتی که تحت بار نمی‌باشد، برحسب اینچ بر دقیقه بر طول بخش باریک شده (یا برحسب اینچ بر دقیقه بر طول فاصله مابین گیره‌ها برای نمونه‌هایی که فاقد بخش باریک شده هستند) مشخص گردد. با مشخص کردن محدوده‌های متفاوتی برای انواع و سایزهای مختلفی از نمونه‌ها می‌توان کیفیت کار آزمون را بالاتر برد. سرعت متوسط جدا شدن فک‌های ماشین را می‌توان با آزمایش و با استفاده از یک وسیله اندازه‌گیری مناسب و یک وسیله سنجش زمان تعیین نمود.

- نرخ جابجائی فک‌های ماشین آزمون در هنگام انجام آزمونها

می‌بایستی محدوده‌های مجازی برای نرخ جابجائی فک‌های ماشین آزمون در حین انجام آزمون، برحسب اینچ بر دقیقه بر اینچ طول بخش باریک شده (یا برحسب اینچ بر دقیقه بر اینچ طول فاصله مابین گیره‌ها برای نمونه‌هایی که فاقد بخش باریک شده هستند) مشخص گردد. با مشخص کردن محدوده‌های متفاوت برای انواع و سایزهای مختلفی از نمونه‌ها، می‌توان کیفیت کار آزمون را بالاتر برد.

بسیاری از ماشین‌های آزمون به وسایلی برای اندازه‌گیری و کنترل نرخ جابجائی فک‌های ماشین، در حین انجام آزمون مجهز می‌باشد. اما در صورت عدم وجود چنین وسایلی، نرخ متوسط جابجائی فک‌های ماشین را می‌توان با آزمایش و با استفاده از یک وسیله اندازه‌گیری طول و یک زمان سنج تعیین نمود.

- زمان مقتضی برای کامل شدن کل یا قسمتی از آزمون

محدوده‌های مجازی می‌بایستی برای زمان مقتضی از آغاز بار گذاری (یا از یک تنش مشخص شده) تا لحظه گسیختگی، یا حداکثر بارگذاری و یا تا تنش مشخص شده دیگری برحسب دقیقه یا ثانیه مشخص گردد. زمان مقتضی برای کامل شدن کل یا قسمتی از آزمون را می‌توان با استفاده از یک وسیله سنجش زمان تعیین نمود.

- نرخ تحت تنش قراردادن نمونه:

می‌بایستی محدوده‌های مجازی برای نرخ تحت تنش قراردادن نمونه برحسب پوند بر اینچ مربع بر دقیقه مشخص گردد. بسیاری از ماشین‌های آزمون به وسایلی برای اندازه‌گیری و کنترل نرخ تحت تنش قراردادن نمونه مجهز هستند، اما در صورت عدم وجود



چنین وسایلی متوسط این پارامترها را می‌توان با استفاده از یک وسیله زمان سنج با دانستن مدت زمان لازم برای اعمال یک نمو مشخص از تنش تعیین نمود.

#### - نرخ کشیدگی نمونه

می‌بایستی محدوده‌های مجازی برای نرخ کشیدگی برحسب اینچ بر دقیقه بر اینچ مشخص گردد. برخی از ماشین‌های آزمون مجهز به وسایلی برای اندازه‌گیری و کنترل نرخ کشیدگی نمونه هستند، اما در صورت عدم وجود چنین وسایلی، نرخ متوسط کشیدگی نمونه را می‌توان با یک وسیله زمان سنج با مشاهده مدت زمان لازم برای حصول به میزان کشیدگی مشخصی، تعیین نمود. جز در مواردیکه مشخص شده است، تا قبل از رسیدن به نصف مقدار استقامت تسلیم مشخص شده یا ربع استقامت کششی مشخص شده (هرکدام که کوچکتر هستند)، می‌توان هر سرعت آزمونی را که مناسبتر است به کاربرد. سرعت بالاتر از این حد باید در محدوده‌های مشخص شده قرار گیرد. اگر محدوده‌های سرعتی مختلفی برای تعیین استقامت تسلیم، استقامت کششی و کشیدگی مورد نیاز باشد، می‌بایستی این محدوده‌های مختلف در مشخصات ارائه شده از سوی سازنده ذکر گردد. در صورت عدم وجود محدوده‌های مختلف جهت سرعت انجام آزمونها، قواعد کلی زیر می‌بایستی بکار گرفته شوند:

- سرعت انجام آزمون باید به گونه باشد که بارها و کشیدگی‌های استفاده شده در یافتن نتایج آزمون بر صحت نتایج دلالت نمایند.

- در حین انجام آزمون جهت تعیین استقامت تسلیم نمونه، نرخ اعمال تنش به نمونه آزمون نبایستی بیش از  $\text{Psi}/\text{min}$  ۱۰۰۰۰۰ باشد. سرعت ممکن است پس از برداشته شدن کرنش سنج<sup>۲</sup> افزایش داده شود، اما نبایستی بیش از ۰/۵ اینچ بر اینچ طول شاخص G (یا اینچ فاصله بین گیره‌ها برای نمونه‌هایی که فاقد بخش‌های باریک شده هستند) بر دقیقه باشد.

#### مرحله چهارم: معیار گرد کردن<sup>۳</sup>:

مقادیر استقامت می‌بایستی به نزدیکترین  $\text{ksi}$  ۰/۱ گرد شود. جز در مواردی که مشخص شده است، میزان کشیدگی تعیین شده نیز باید به نزدیکترین ۰/۵ درصد گرد شود. برای آشنایی با روشهای گرد کردن می‌توان به استاندارد ASTM شماره E۲۹ مراجعه نمود (هر  $\text{ksi}$  معادل با ۶۸۹۴۷۵۷ پاسکال می‌باشد).

#### مرحله پنجم: تعیین استقامت تسلیم نمونه

استقامت تسلیم نمونه با استفاه از روش افسست<sup>۴</sup> در میزان انحراف ۰/۲ درصد تعیین می‌گردد. پذیرش یا عدم پذیرش مواد می‌تواند براساس روش انبساط تحت بار<sup>۵</sup> تعیین گردد. برای قضاوت کردن در مورد آزمون باید از روش افسست استفاده گردد.

#### • روش افسست

برای تعیین استقامت تسلیم نمونه از روش افسست، با استفاده از اطلاعات دقیق بدست آمده از طریق مقادیر عددی یا نمودارهای حاصل از انجام آزمونهای کششی نمونه، منحنی تنش - کرنش نمونه رسم می‌گردد. سپس برروی نمودار تنش - کرنش مطابق شکل (۳-۷) موازی با خط OA، خط mn با میزان انحراف مشخص شده Om رسم می‌گردد تا منحنی تنش - کرنش را در نقطه r

۱. Psi . مخفف پوند بر اینچ مربع می‌باشد.

2. Extensometer

3. Rounding

4. Offset method

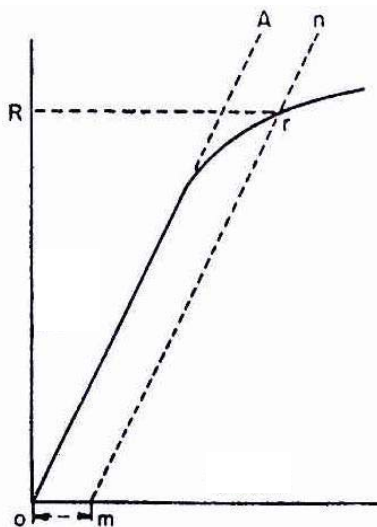
5. Extention – under – load method

قطع نماید. تنش متناظر با این نقطه استقامت تسلیم نمونه خواهد بود (نقطه R در شکل ۳-۷). در هنگام گزارش مقادیر استقامت تسلیم بدست آمده از این روش، مقدار انحراف در نظر گرفته شده برای استخراج این مقادیر باید در داخل پرانتز بعد از مقدار تنش تسلیم ذکر گردد.

در هنگام استفاده از این روش می‌توان از دستگاه کرنش سنج کلاس B2 مطابق استاندارد ASTM شماره E۸۳، که برای اغلب مواد دارای حساسیت مناسبی است استفاده نمود [۳۱]. نکاتی که می‌بایستی در این روش در نظر گرفته شود:

– تجهیزات خودکاری وجود دارند که بدون اینکه نیازی به رسم منحنی تنش \_ کرنش داشته باشند قادر به تعیین استقامت تسلیم نمونه به روش افسست می‌باشند. در صورتی که دقت این قبیل دستگاهها اثبات شده باشد، جهت تعیین استقامت تسلیم نمونه می‌توان از این قبیل تجهیزات استفاده نمود.

– چنانچه قبل از رسیدن به میزان انحراف مشخص شده بار اعمال شده به نمونه افت پیدا کند، از لحاظ فنی، ماده مورد نظر برای آن میزان انحراف مشخص شده فاقد استقامت تسلیم می‌باشد. در این حالت می‌توان حداکثر باری را که قبل از رسیدن به انحراف مشخص شده بدست آمده است به جای استقامت تسلیم گزارش نمود.

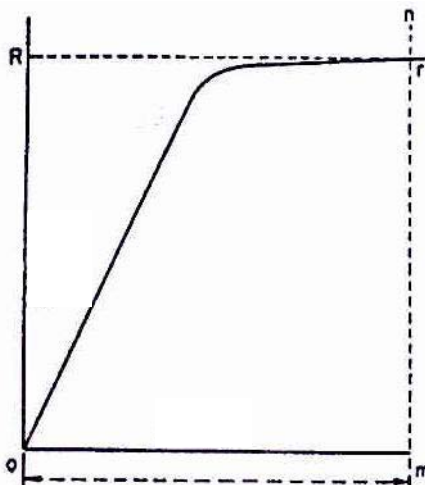


شکل ۳-۷: نمودار تنش \_ کرنش برای تعیین استقامت تسلیم نمونه با استفاده از روش افسست

#### • روش انبساط تحت بار

جهت پذیرش یا عدم پذیرش مواد تشکیل دهنده هادی از این روش استفاده می‌شود. در این روش با اطلاع از منحنی‌های تنش - کرنش مواد به کار رفته در ساخت هادی که از طریق آزمونهای قبلی تهیه شده‌اند، کشش کل متناظر با تنش که در آن، انحراف مشخصی اتفاق می‌افتد، می‌بایستی در داخل محدوده رضایت بخشی قرار گیرد. بنابراین در این قبیل آزمونها از کشش کل مشخص شده می‌توان استفاده نمود و تنش اعمال شده به نمونه برای حصول به این مقدار را بعنوان مقدار استقامت تسلیم نمونه در نظر گرفت (به شکل ۳-۸ رجوع کنید). کشش کل را می‌توان با استفاده از کرنش سنج کلاس B2 به طور مناسبی به دست آورد. پیشنهاد

می‌شود که این روش تقریبی، تنها پس از موافقت خریدار و سازنده انجام گیرد. در این حالت جهت رفع هرگونه ابهامی می‌توان از آزمونهای کنترلی نیز برای بدست آوردن منحنی‌های تنش- کرنش (جهت استفاده از روش افست) استفاده نمود.



شکل ۳-۸: نمودار تنش - کرنش برای تعیین استقامت تسلیم نمونه با روش انبساط تحت بار

#### مرحله ششم: تعیین استقامت کششی

استقامت کششی نمونه با تقسیم حداکثر بار تحمل شده بوسیله نمونه در حین آزمون کششی به سطح مقطع اولیه نمونه بدست می‌آید.

#### مرحله هفتم: تعیین میزان کشیدگی

برای اینکار دو انتهای گسیخته شده نمونه با دقت برهم منطبق شده و سپس طول مابین علامتهای قرارداده شده برای شاخص (G)، با دقت حداقل ۰/۰۱ اینچ اندازه‌گیری می‌شود. دستگاه اندازه‌گیری که درصد مقیاس قرائت<sup>۱</sup> آن تا ۰/۵ درصد طول شاخص است، می‌تواند استفاده گردد. میزان افزایش طول برحسب درصدی از طول اولیه G را کشیدگی می‌نامند. در گزارش مقادیر کشیدگی، هم مقدار درصد افزایش و هم مقدار طول اولیه می‌بایستی آورده شوند.

اگر گسیختگی خارج از نیمه میانی طول شاخص G یا در قسمت نشان گذاری شده داخل بخش باریک شده اتفاق بیفتد، مقدار کشیدگی بدست آمده، ممکن است معرف مناسبی از خواص کششی ماده مذکور نباشد. اگر مقدار اندازه‌گیری شده کشیدگی که به این طریق بدست آمده است، حداقل نیازمندیهای مشخص شده را برآورده سازد، آزمون اضافی دیگری لازم نخواهد بود، اما در هنگام ارائه مقدار کشیدگی محل گسیختگی نیز باید ذکر گردد. اگر میزان کشیدگی از حداقل نیازمندیها کوچکتر باشد، نتایج این آزمون صحیح تلقی نمی‌گردد و آزمون باید بار دیگر بر روی یک نمونه جایگزین (مطابق بند ۳-۲-۱-۵)، صورت گیرد. هنگام تعیین انبساط نمونه در زمان گسیختگی (انبساط الاستیک بعلاوه انبساط پلاستیک)، روشهای خودکار رسم نمودار<sup>۲</sup> یا دستگاه‌های کرنش سنج را می‌توان بکار برد.

1. Percentage scale reading  
2. Autographic

در هنگام تعیین درصد کشیدگی نمونه از طریق انبساط ثبت شده در هنگام گسیختگی، تنها انبساط پلاستیک باید استفاده گردد. بخش الاستیک را می‌توان از طریق نمودارهای بدست آمده یا بوسیله محاسبه تخمین زد و از کل انبساط ایجاد شده در هنگام گسیختگی کم نمود تا انبساط پلاستیک در هنگام گسیختگی بدست آید. کشش الاستیک (برحسب درصد) در گسیختگی را می‌توان با استفاده از رابطه زیر تعیین نمود:

$$(۱۸-۳) \quad ۱۰۰ \times \text{میزان تنش هنگام گسیختگی} = \frac{\text{کشش الاستیک برحسب درصد}}{\text{مدول الاستیسیته نمونه}}$$

### ۳-۲-۱-۵- موارد جایگزینی نمونه

در موارد زیر، آزمون نمونه ممکن است رد شود و یک نمونه جایگزین از طریق مواد مشابه انتخاب گردد:

- نمونه دارای سطح ماشین کاری شده نامناسب باشد، یا دارای ابعاد صحیح نباشد و یا خواص آن بعلت عملیات ماشین کاری نامناسب دستخوش تغییر شده باشد.
- رویه آزمون غلط باشد یا تجهیزات آزمون به درستی عمل نکنند.
- گسیختگی خارج از نیمه میانی طول شاخص G اتفاق بیفتد و کشیدگی کمتر از مقدار مشخص شده باشد.

### ۳-۲-۱-۶- آزمونهای مجدد

اگر یک یا تعداد بیشتری از نمونه‌های آزمون با نیازمندی‌های مشخصات تولید تطابق ننمایند، مجموعه‌ای<sup>۱</sup> که این نمونه یا نمونه‌ها معرف آن می‌باشند جز در موارد مشخص شده زیر، مردود تلقی می‌گردند.

اگر مجموعه‌ای از هادیهای لوله‌ای در معرض عدم پذیرش قرار گیرند، تحت شرایط زیر اجازه آزمون مجدد به آنها داده می‌شود:

- برای هر قطعه که در آزمایش مردود شده است، حداقل دو قطعه اضافی از نمونه اصلی و در مجاورت با ناحیه معرف قطعه مردود شده مجدداً آزمایش گردد.
- از هر نمونه که در آزمایش مردود شده است، حداقل دو نمونه دیگر انتخاب شده و از همان ناحیه قطعه مردود شده برش خورده و مورد آزمایش مجدد قرار گیرند.
- اگر در آزمون مجدد، نمونه دچار خطا شود، مجموعه می‌بایستی مورد عدم پذیرش قرار گیرد، مگر اینکه مجموعه مجدداً با عملیاتی که توسط سازنده بر روی آن انجام می‌دهد و در صورت نیاز با اصلاح کمبودها و یا برداشتن مواد نامناسب جهت آزمون دیگر آماده شود.

### ۳-۲-۱-۷- شرایط پذیرش نمونه

هادی‌های لوله‌ای در صورتی آزمون خواص کششی را با موفقیت پشت سر می‌گذارند که منطبق بر خواص کششی ارائه شده در جدول (۲۶-۳) باشند.

جدول ۳-۲۶: محدوده‌های خواص کششی مورد نیاز جهت پذیرش نمونه‌ها در آزمون خواص کششی

استقامت تسلیم برحسب مگاپاسکال در انحراف $\pm 2\%$ درصد		استقامت کششی برحسب مگاپاسکال		ضخامت مشخص شده برحسب اینچ	نوع عملیات حرارتی انجام گرفته بر روی هادی
حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل		
---	۱۷۲	---	۲۰۰	۰/۱۲۵-۰/۵	T ۶
---	۱۰۳	---	۱۳۸	۰/۱۲۵-۰/۷۴۹	T ۶۱
---	۷۶	---	۱۲۴	۰/۷۵-۱/۴۹۹	
---	۵۵	---	۱۰۳	۱/۵-۲	
---	۱۵۲	---	۱۸۶	۰/۱۲۵-۰/۵	T ۶۳
---	۵۵	---	۱۰۳	۰/۱۲۵-۱	T ۶۴
۱۸۶	۱۳۸	۲۲۱	۱۷۲	۰/۱۲۵-۰/۷۴۹	T ۶۵
---	۵۵	---	۸۳	۰/۲۵-۲	H۱۱۱

– برای تطبیق نتایج آزمون خواص کششی با مقادیر ارائه شده در جدول (۳-۲۶)، مقادیر استقامت کششی باید به نزدیک یک مگاپاسکال گرد شوند.

### ۳-۲-۲- آزمون مقاومت الکتریکی

آزمون مقاومت الکتریکی هادی‌های لوله‌ای به روشهای مختلفی قابل حصول است. روش آزمون مقاومت الکتریکی مفتولهای آلومینیومی که در بند (۳-۱-۲-۳) مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۴۶۸ ارائه گردید، برای هادی‌های لوله‌ای نیز قابل اجرا می‌باشد. علاوه بر روش مذکور، هر یک از روشهای ارائه شده در استاندارد ASTM شماره‌های B۱۹۳ و E۱۰۰۴ نیز قابل اجرا خواهند بود [۲۳، ۲۶ و ۲۷].

تعداد نمونه‌های آزمون (در صورت تکرار آزمون) مشابه تعداد نمونه‌های مورد نیاز در آزمون خواص کششی (بند ۳-۱-۲-۳) می‌باشد.

نمونه‌های مورد استفاده در آزمون مقاومت الکتریکی، در صورت امکان باید دارای همان مقطع واقعی (لوله‌ای شکل) باشند، در غیر اینصورت می‌بایستی از نمونه‌هایی متناسب با سایز و شکل دستگاه اندازه‌گیری استفاده نمود. در صورت بروز اختلاف بر روی نتایج بدست آمده از روشهای انجام گرفته به طریق استاندارد ASTM شماره‌های B۱۹۳ و E۱۰۰۴ مبنای پذیرش، نتایج بدست آمده از روش استاندارد ASTM شماره B۱۹۳ می‌باشد.

هادی‌ها در صورتی آزمون را با موفقیت پشت سر می‌گذارند که منطبق بر نیازمندیهای حداکثر مقاومت الکتریکی مشخص شده در جدول (۳-۲۷) باشند.

جدول ۳-۲۷: محدوده‌های مجاز مورد نیاز جهت پذیرش نمونه‌ها در آزمون مقاومت الکتریکی

حداکثر مقاومت وزنی در ۲۰ درجه سانتیگراد برحسب $(\Omega.g/m^2)$	حداکثر مقاومت حجمی در ۲۰ درجه سانتیگراد برحسب $(\mu\Omega.cm)$	نوع عملیات حرارتی انجام گرفته بر روی هادی
۰/۰۸۴۶	۳/۱۳۴۸	T ۶
۰/۰۸۱۷	۳/۰۲۴۸	T ۶۱
۰/۰۸۳۱	۳/۰۷۸۸	T ۶۳
۰/۰۷۸۲	۲/۸۹۷۷	T ۶۴
۰/۰۸۲۴	۳/۰۵۱۶	T ۶۵
۰/۰۷۸۹	۲/۹۲۲۳	H۱۱۱

## ۳-۲-۳- آزمونهای ابعادی

برای انجام آزمونهای ابعادی هادی‌های لوله‌ای، ضخامت جداره، قطر، وزن، طول و در یک راستا بودن امتداد لوله می‌بایستی به روشهای مناسبی اندازه‌گیری شوند. مقادیر بدست آمده برای کمیتهای فوق می‌بایستی در محدوده تلورانسهای مشخص شده زیر و جداول (۲۸-۳) و (۲۹-۳) قرار گیرند.

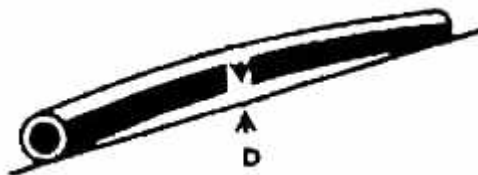
جدول ۳-۲۸: تلورانس مجاز در قطر بیرونی هادی‌های لوله‌ای با اسکچول ۴۰ یا ۸۰

قطر یا سایز لوله برحسب اینچ	میزان انحراف مجاز از قطر نامی در هر نقطه از لوله برحسب اینچ یا درصد نامی	
<۲	+۰/۰۱۵ اینچ	-۰/۰۳۱ اینچ
۲-۴	+۱ درصد	-۱ درصد
۵-۷	+۱ درصد	-۱ درصد
۸-۱۲	+۱ درصد	-۱ درصد

- میزان انحراف مجاز از ضخامت جداره نامی در هر نقطه از لوله ۱۲/۵- درصد ضخامت جداره نامی می‌باشد (حداکثر ضخامت جداره بوسیله تلورانس وزن لوله کنترل می‌شود).
- میزان انحراف مجاز از طول مشخص شده لوله ۰/۲۵ اینچ است و تنها به طولهای کوچکتر یا مساوی ۲۰ فوت قابل اعمال است.
- میزان انحراف مجاز از وزن لوله ۸ درصد وزن محاسبه شده می‌باشد، (حداقل وزن بوسیله تلورانس قطر خارجی و ضخامت جداره لوله کنترل می‌گردد).
- مطابق شکل (۳-۹)، حداکثر انحراف مجاز لوله از خط مستقیم (D)، هنگامی که لوله به گونه‌ای برروی یک سطح تخت قرار گرفته است که در اثر وزن خود انحراف آن کاهش یافته، باید از حداکثر مقادیر ارائه شده در جدول (۳-۲۹) کمتر باشد.

جدول ۳-۲۹: تلورانس مجاز در میزان انحراف لوله از خط مستقیم

قطر یا سایز لوله برحسب اینچ	حداکثر انحراف مجاز از خط مستقیم مطابق شکل ۳-۹ برحسب اینچ
<۶	طول اندازه‌گیری شده برحسب فوت $\times ۰/۰۱$
۶-۱۲	طول اندازه‌گیری شده برحسب فوت $\times ۰/۰۲$



شکل ۳-۹: نحوه اندازه‌گیری میزان انحراف لوله از خط مستقیم

## فهرست منابع و مراجع

- [1] IEEE Std. 605, "IEEE Guide for Design of Substation Rigid-Bus Structures"
- [2] IEC 60865-1, "Short Circuit Currents-Calculation of Effects, Part 1: Definitions and Calculation Methods".
- [3] IEC 60865-2, "Short Circuit Currents-Calculation of Effects, Part 2: Examples of Calculation".
- [4] ASTM B236M, "Standard Specification for Aluminum Bars for Electrical Purposes (BusBars)- (Metric)".
- [5] IEC/TR3 61059, "Overhead Electrical Conductors-Calculation Methods for Stranded Bare Conductors".
- [6] ABB Switchgear Manual, 10th Edition, 1999/2001.
- [7] VDE 0103, "Mechanical and Thermal Short Circuit Protection of Electrical Power Installations (Apr)".
- [8] DIN 43670, "Aluminum Busbars; Design for Continuous Current".
- [9] DIN 43671, "Copper BusBars; Design for Continuous Current".
- [10] DIN 48201, "Stranded Conductors-Part: 1 to 8".
- [11] IEC 60114, "Recommendation for Heat-Treated Aluminum Alloy Busbar Material of the Aluminum-Magnesium-Silicon Type".
- [12] NEMA CC1, "Electric Power Connection for Substations".
- [13] IEC 60694, "Common Clauses for High Voltage Switchgear".
- [14] CIGRE, "The Mechanical Effects of Short Circuit Currents in Open Air Substation", Paris: CIGRE SC 23, WG 02, 1987.
- [15] SSPB, "400kV Substation in Iran Vol. 3(4), Design Standard Appendices".
- [16] IEC 60071-1, "Insulation Coordination – Part 1: Definitions, Principles and Rules".
- [17] IEC 61089, "Round Wire Concentric Lay Overhead Electrical Stranded Conductors".
- [18] IEC 60889, "Hard-Drawn Aluminum Wire for Overhead Line Conductors".
- [19] IEC 60888, "Zinc-Coated Steel Weirs for Stranded Conductors".
- [20] IEC 60104, "Aluminum-Magnesium-Silicon Alloy Wire for Overhead Line Conductors".
- [21] ISO 6892, "Metallic Materials-Tensile Testing at Ambient Temperature".
- [22] ISO 7802, "Metallic Materials-Wire-Wrapping Test", First Edition.
- [23] IEC 60468, "Method of Measurement of Resistivity of Metallic Materials".
- [24] ASTM B317, "Standard Specification for Aluminum-Alloy Extruded Bar, Rod, Tube, Pipe and Structural Profiles for Electrical Purposes (Bus Conductor)".
- [25] ASTM B557, "Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium Alloy Products".
- [26] ASTM B193, "Standard Test Methods for Resistivity of Electrical Conductor Materials".
- [27] ASTM E1004, "Standard Practice for Determining Electrical Conductivity Using the Electromagnetic (Eddy Current) Method".
- [28] ANSI H35.1, "Alloy and Temper Designation Systems for Aluminum", 1997.
- [29] ASTM E4, "Standard Practices for Force Verification of Testing Machines AASHTO No.T67".
- [30] ASTM E29, "Standard Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance With Specification R(1999)".
- [31] ASTM E83, "Standard Practice for Verification and Classification of Extensometers System E(2001)".

## 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، فطوط فوق توزیع و انتقال - شینه و هادی ها در پست های فشار قوی»، جلد دوم از مجموعه ی دو جلدی است. در این مجلد مباحث مربوط به مشخصات فنی انواع شینه ها و هادیها، معیارهای طراحی و مهندسی انتساب شینه ها، و شرح آزمون های استاندارد ( نوعی و جاری)، ارائه شده است.