بسم الله الرحمن الرحیم

جزوه انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مبانی اولیه خطوط انتقال	۲
فصل دوم: تعاریف و اصطلاحات	۱۱
فصل سوم: انتخاب سطح ولتاژ انتقال	۱۶
فصل چهارم: هادی‌های متداول در خطوط انتقال نیرو	۱۹
فصل پنجم: پارامترهای خطوط انتقال نیرو	۲۴
فصل ششم: جریان مجاز هادی‌های خطوط انتقال نیرو	۳۲
فصل هفتم: تلفات الکتریکی در خطوط انتقال نیرو	۳۷
فصل هشتم: پدیده کرونا در خطوط انتقال نیرو	۴۱
فصل نهم: مسیریابی خطوط انتقال نیرو	۴۷
فصل دهم: انتخاب سیم محافظ	۵۰
فصل یازدهم: انتخاب شرایط بارگذاری به کمک آمار هواشناسی منطقه	۵۲
فصل دوازدهم: برج‌های انتقال نیرو	۵۹
فصل سیزدهم: مقره‌های خطوط انتقال نیرو	۶۵

فصل اول: مبانی اولیه خطوط انتقال

☐ مقدمه:

- رشد روز افزون شهرها، مراکز صنعتی و کشاورزی و تجاری نیاز به انرژی الکتریکی را افزایش می دهد، که لازمه آن توسعه و گسترش نیروگاه ها و شبکه های انتقال و توزیع نیرو می باشد.

- علل ویژگی های متفاوت
  - ☐ وسعت بالای کشورها
  - ☐ دور بودن مراکز نیروگاهی از مناطق مصرف
  - ☐ پراکندگی شهرها و روستاها
  - ☐ عبور خطوط انتقال نیرو از مناطق مختلف

- ضرورت بکارگیری و انتخاب معیارهای مناسب برای طراحی خطوط انتقال نیرو
  - ☐ گوناگونی شرایط جوی و محیطی
  - ☐ امکانات و محدودیت های مسیر

- با توجه به اینکه خطوط انتقال و توزیع نیرو رابطه بین مراکز تولید و مصرف می باشد، لذا هر نوع بی دقتی در طراحی آنها عواقب سوء در برق رسانی را به همراه دارد.

☐ تولید مشترک

شاید مصلحت باشد به جای اینکه هر آپارتمان برای خود یک یا دوژنراتور کوچک تهیه نمایند، چند ژنراتور بزرگتر برای یک مجموعه آپارتمانی یا مجتمع مسکونی خریداری و مورد بهره برداری قرار گیرد. چون اجرای این اقدام سبب می شود تا:

- سرمایه گذاری اولیه کاهش یابد.
- متوسط هزینه ای بهره برداری و نگهداری کاهش می یابد.
- قیمت انرژی تولیدی کمتر گردد.

□ تولید مشترک

شاید مصلحت باشد به جای اینکه هر آپارتمان برای خود یک یا دوژنراتور کوچک تهیه نمایند، چند ژنراتور بزرگتر برای یک مجموعه آپارتمانی یا مجتمع مسکونی خریداری و مورد بهره برداری قرار گیرد. چون اجرای این اقدام سبب می شود تا:

- سرمایه گذاری اولیه کاهش یابد.
- متوسط هزینه ای بهره برداری و نگهداری کاهش می یابد.
- قیمت انرژی تولیدی کمتر گردد.

شاید مصلحت باشد به جای اینکه هر آپارتمان برای خود یک یا دوژنراتور کوچک تهیه نمایند، چند ژنراتور بزرگتر برای یک مجموعه آپارتمانی یا مجتمع مسکونی خریداری و مورد بهره برداری قرار گیرد. چون اجرای این اقدام سبب می شود تا:

- سرمایه گذاری اولیه کاهش یابد.
- متوسط هزینه ای بهره برداری و نگهداری کاهش می یابد.
- قیمت انرژی تولیدی کمتر گردد.
- سرو صدا تقلیل گردد.
- ظرفیت مجموع ژنراتورها کمتر شود.
- آلودگی ناشی از مصرف سوخت کاهش یابد.
- ضریب اطمینان برق رسانی بیشتر شود.
- مشکلات تعمیر و نگهداری کمتر شود.
- ایجاد رفاه بیشتر برای مصرف کننده.

■ دلائل نیاز به خطوط انتقال:

با توجه به مطالب فوق الذکر دیدگاههای فنی، اقتصادی،اجتماعی و محیطی سبب می شوند که همواره احدا ث نیروگاهها در نزدیکی مناطق مصرف عملی نگردند. لذا در انتخاب محل نیروگاهها نمی توان تنها به پارامتر نزدیک بودن به محل مصرف را مد نظر قرارداد، بلکه پارامتر های دیگری نیز جهت احداث خطوط انتقال یا توزیع نیرو وجود دارد.

- انتقال انرژی تولیدی نیروگاهها به مناطق مصرف.
- برقرسانی به مناطق دور دست و پراکنده.
- افزایش قابلیت اطمینان سیستم.
- ارتباط دو منطقه با پیک بار غیرهمزمان.
- ارتباط بین کشورها.
- تبدیل سایر انواع انرژی.

☐ **انتقال توان تولیدی نیروگاه: شرایط یا ویژگیهای یک منطقه برای احداث نیروگاه :**

- ■ **نزدیکی به ثقل مصرف.**
- ■ **دسترسی به سوخت مناسب .**
- ■ **دسترسی به آب کافی.**
- ■ **وجود جاده های ارتباطی.**
- ■ **وجود جاذبه های شهری و رفاهی.**
- ■ **امکان جذب نیروی انسانی و متخصص.**
- ■ **موقعیت مناسب از نظرحفاظت محیط زیست.**
- ■ **موقعیت مناسب از نظر حفاظت و حراست.**
- ■ **موقعیت مناسب از نظر دسترسی به شبکه ی برقرسانی.**
- ■ **وجود فضای کافی برای احداث نیروگاه.**
- ■ **دارا بودن زمین مناسب و مقاوم و ارزان.**
- ■ **داشتن فاصله کافی از مناطق زلزله خیز.**
- ■ **اقتصادی بودن سرمایه گذاری در منطقه.**

☐ **برق رسانی به مناطق دور دست:**

در برخی موارد حتی اگرسرمایه گذاری اولیه خطوط انتقال یا توزیع نیرو بیشتر از احداث نیروگاه مستقل باشد، باز هم نصب و اجرای آن توجیه پذیراست چون احداث نیروگاه مشکلاتی به همراه دارد:

- ■ **عدم وجود جاده های ارتباطی.**
- ■ **عدم امکان سوخت رسانی.**
- ■ **شرایط نامطلوب محیطی از دیدگاه ایمنی و حفاظت.**
- ■ **عدم امکان اعزام پرسنل بهره بردار و متخصص.**
- ■ **عدم وجود زمین برای احداث نیروگاهها .**
- ■ **پراکنده بودن مراکز مصرف.**
- ■ **پایین بودن میزان مصرف.**
- ■ **غیراقتصادی بودن احداث نیروگاه.**
- ■ **تأمین برق متقاضیان بزرگ.**

☐ **افزایش قابلیت اطمینان سیستم:**

در برخی موارد ممکن است دو منطقه از نظر تأمین انرژی الکتریکی خودکفا باشند، اما درجهت افزایش قابلیت اطمینان دو سیستم یک خط انتقال بین آن دو منطقه احداث گردد. این اقدام سبب می شود تا درصورت کمبود برق در هر منطقه امکان تأمین انرژی از طرف دیگر عملی گردد.

☐ **ارتباط دو منطقه با پیک مصرف غیرهمزمان:**

بدلیل اختلاف افق جغرافیایی پیک مصرف شبکه سراسری با استان خراسان همزمان نمی باشد. زمان پیک بار در استانهای خوزستان، بوشهر، هرمزگان و یا شبکه سراسری اشاره نمود، بدین ترتیب وجود ارتباط بین اینگونه مناطق می تواند باعث تقلیل ظرفیت نیروگاه گردد. ضمن اینکه باید به این نکته مهم توجه داشت که همواره این امتیاز نمی تواند اتصال این سری مناطق را از نظر اقتصادی توجیه نماید.

☐ **ارتباط بین کشورها:**

ارتباط بین کشورها ضمن اینکه می تواند باعث افزایش ضریب قابلیت اطمینان برق رسانی گردد. ممکن است خرید برق از کشورهای همجوار برای آبادی های مرزی ، اقتصادی تر از تأمین برق در داخل کشور باشد. خرید برق ترکیه، ارمنستان، آذربایجان و اکثر کشورهای اروپایی از طریق خطوط انتقال فشار قوی به هم مرتبط می باشند.

☐ **تبدیل انرژی:**

در برخی موارد هزینه های انتقال و حمل سوخت های فسیلی از جمله گازسوختهای مایع و ذغال سنگ ممکن است آنقدر زیاد باشد که تبدیل انرژی فسیلی به انرژی الکتریکی را از نظر اقتصادی توجیه نماید. در چنین حالت، نیاز به احداث خطوط انتقال نیرو ناخواسته موجه می گردد. سایر انواع انرژی ازجمله: استفاده از انرژی رودخانه ها به کمک نیروگاههای آبی استفاده از نیروگاههای تلمبه ذخیره ای استفاده از انرژی جزر و مد دریاها استفاده ازانرژی امواج دریا استفاده ازحرارت زمین (نیروگاههای ژئو ترمال) و احداث نیروگاههای خورشیدی استفاده از انرژی بادی.

☐ برنامه ریزی و مطالعات اولیه

مسلماً اجرای هر پروژه عمرانی از جمله احداث خطوط انتقال یا توزیع نیرو بر مبنای نیاز مشخصی برنامه ریزی می گردد، که در صنعت برق نیز از این شیوه استفاده می شود. مهندسین این بخش بررسی ها و مطالعات خود را در جهت تعیین مناسب ترین راه حل برای تأمین نیاز آغاز می نمایند که مراحل عمده کار به شرح زیر می باشد:

☐ تأمین نیاز:

لازم است که برآورد بار نیز برای یک مدت طولانی انجام گیرد. بطور معمول دوره برنامه ریزی حدود ده سال می باشد. بعنوان مثال: اگرفرض شود بار اولیه منطقه ای ۵۰ مگاوات و متوسط رشد بار آن ده درصد در سال باشد، اگر خط انتقال برای یک دوره ۵ یا ۱۰ و یا ۱۵ ساله طراحی گردد، حداقل ۸۰/۵، ۱۲۹/۷ و ۲۰۸/۹ مگاوات خواهد شد که مسلماً این ارقام ولتاژ مناسب ظرفیت خط انتقال برحسب مورد و سرمایه گذاری خط انتقال را در محدوده وسیعی تغییر می دهند.

☐ بررسی وضعیت شبکه های موجود:

بعد از تأمین نیاز مصرف، مبدأ تغذیه خط انتقال یا توزیع نیرو باید مشخص گردد. با توجه به گستردگی شبکه های برق رسانی ممکن است امکان برق رسانی از طرق مختلفی عملی باشد. لذا در این مرحله باید ظرفیت ترانسفورماتور ها و سایر تجهیزات پستها و همچنین امکان تأمین انرژی الکتریکی درخواستی خط انتقال جدید نیز مورد بررسی قرار گیرد.

☐ بازدید کلی از مسیر و پستها:

دراین مرحله لازم است امکانات پست از نظر وضعیت باند خروج خط انتقال، امکان توسعه پست برای اتصال خط انتقال جدید مورد توجه و بررسی قرار گیرد.

☐ انتخاب طرحها:

وقتی بازدید کلی انجام گرفت، لازم است چند طرح اولیه جهت انجام بررسی های فنی و اقتصادی انتخاب گردد که عبارتند از: مبدأ تغذیه خط انتقال، ولتاژ پست تغذیه، طول خط انتقال، شرایط مسیر، ضریب اطمینان برق رسانی پستهای مبدأ. سرمایه گذاری لازم جهت احداث خط انتقال: از میان آنها چند طرح که ویژگی بهتری دارا می باشد برای بررسی های بعدی تعیین شوند.

☐ **مطالعات سیستم:**

برای انجام بررسی های فنی در آغاز به کمک برنامه کامپیوتری پخش بار کلیه طرح هـای انتخابی از نظر افت ولتاژ مورد مطالعه قرار می گیرند. مطالعات پایداری و اتصال کوتـاه نیـز انجام می شود. دراین حالت برای مهندس طراح باید حداقل شـرایط مطلـوب از نظـر فنـی روشن گردد، تا امکان مقایسه و بررسی های اقتصادی عملی گردد.

☐ **انتخاب هادی:**

دراین قسمت باید سعی شود با انتخاب مقطع و تعداد هادی مناسب در هـر فـاز، مقـدار تلفات توان و انرژی خطوط انتقال در حالت مختلف را مورد بررسی و مطالعه قرار داد. مسلماً در نهایت انتخاب هادیها باید با توجه به دیدگاههای فنی و اقتصادی انجام گیرد.

☐ **بررسی های اقتصادی:**

از بررسی های اقتصادی عوامل زیر مورد مقایسه قرار می گیرند:

- **سرمایه گذاری اولیه خط انتقال**
- **سرمایه گذاری مربوط به احداث یا توسعه پست ها**
- **میزان تلفات قدرت و انرژی خط انتقال**
- **ارزش تلفات قدرت و انرژی در دوره مطالعه و ارزش هزینه های تعمیـرات و نگهداری.**

☐ **بررسی های اقتصادی:**

بعد از پایان مطالعات اقتصادی مشخصات عمده خط انتقال نیرو تعیـین مـی گـردد کـه عوامل مهم آن بشرح زیر می باشد:

- **مبدأ تغذیه خط انتقال**
- **ولتاژ خط انتقال**
- **تعداد مدارات خط انتقال**
- **انتخاب نوع خط (ساده یا باندل)**
- **تعیین تعداد هادیهای فرعی در هر فاز**
- **تعیین مقطع هادیها**
- **انتخاب سیم محافظ.**

☐ دسته بندی مصرف کنندگان برق از لحاظ ضریب اطمینان برق رسانی:

- گروه اول: این گروه به صنایع یا مشترکین بزرگی اطلاق می گردد که قطع برق در آنها باعث توقف تولیدات می شود. اما خساراتی به تجهیزات و همچنین تولیداتی که در چرخه تولید قرار دارند، وارد نمی گردد.

- گروه دوم: دراین گروه از مشترکین قطع برق ضمن اینکه باعث توقف تولید میگردد، سبب ضایع شدن یا از بین رفتن تمامی یا بخشی ازتولیداتی می گردد که در زمان قطع برق درچرخه تولید قرار دارند.

- گروه سوم: دراین گروه ضمن اینکه خسارات بخش های قبلی را به همراه دارد، در صورتی که زمان قطع برق طولانی گردد سبب خرابی بخشی از تأسیسات یا تجهیزات کارخانه نیز می گردد. از این گروه می توان به صنایع بزرگ ذوب فلزات اشاره نمود.

☐ خسارات ناشی از قطع برق:

که عبارتند از:

- تعداد دفعات قطع برق
- تداوم یا مدت قطع برق
- زمان یا موقع قطع برق
- توقف کارخانه یا صنعت مورد مطالعه
- توقف تولیدات
- زمان از دست رفته جهت عرضه تولید
- خسارات ناشی از تخریب تجهیزات
- خسارات ناشی از هدر رفتن مواد خام یا مواد موجود در چرخه تولید
- هزینه ها و زمان جهت راه اندازی مجدد
- عواقب ناشی از بیکاری کارگران در کارخانجات و آثار سوء سیاسی و اجتماعی.

☐ افزایش ضریب اطمینان

ضریب اطمینان در کلیه مراحل طراحی می تواند متناسب با نیاز مصرف اعمال گردد، اما توجه به آن در مرحله برنامه ریزی اولیه از اهمیت ویژه ای برخوردار است، که در این زمینه باید به نکات زیر توجه کرد:

☐ ۱- ضریب اطمینان پست مبدأ:

در مواردی که به ضریب اطمینان بالا برای برق رسانی نیاز است، در درجه اول پست مبدأ خط انتقال باید از قابلیت اطمینان کافی برخوردار باشد، که در این رابطه ویژگیهای زیر می تواند موثر باشد: پست نیروگاههای بزرگ، پست های دارای اتصال مستقیم به نیروگاه و تقاط مطمئن شبکه و پستهای دارای چندین اتصال به نقاط مختلف شبکه.

☐ ۲- تعداد مدارات:

در برخی موارد با وجودی که یک مدار از خط انتقال قادر است نیاز مصرف را تأمین و منتقل نماید، مدار دومی تنها برای افزایش قابلیت اطمینان برقرسانی نصب می نمایند، تا در صورت بروز حادثه یا اشکال در یکی ازمدارها، مدار دوم قادر باشد، نیاز مصرف را تأمین نماید که برحسب ضریب اطمینان مورد نیاز، هر دو مدار خط انتقال ممکن است روی یک برج یا دو برج جداگانه نصب شوند.

☐ ۳- نقاط تغذیه متعدد:

درچنین مواردی معمولاً طراحی خطوط انتقال نیرو ممکن است بر حسب تقاضای مشترک و با توجه به معیارهای زیر انجام گیرد:

- در صورت قطع یک خط ، خط دوم بتواند، صد درصد نیاز مصرف را منتقل کند.
- یکی از خطوط برمبنای صد درصد توان مورد نیاز و خط دیگر بر مبنای درصد پایین تری طراحی گردد.
- ظرفیت خط اول برای صد درصد توان مورد نیاز و ظرفیت خط دوم درصد نیازهای اضطراری طراحی گردد.
- ظرفیت هرخط بصورت برابر و برحسب اهمیت مصرف بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ درصد طراحی گردد.

☐ ۴- نیروگاههای کمکی:

بسیاری از کارخانجات بزرگ صنعتی ضمن اینکه از طریق یک خط انتقال به شبکه سراسری متصل می باشند ، خود نیز دارای نیروگاههای اضطراری یا کمکی می باشند.

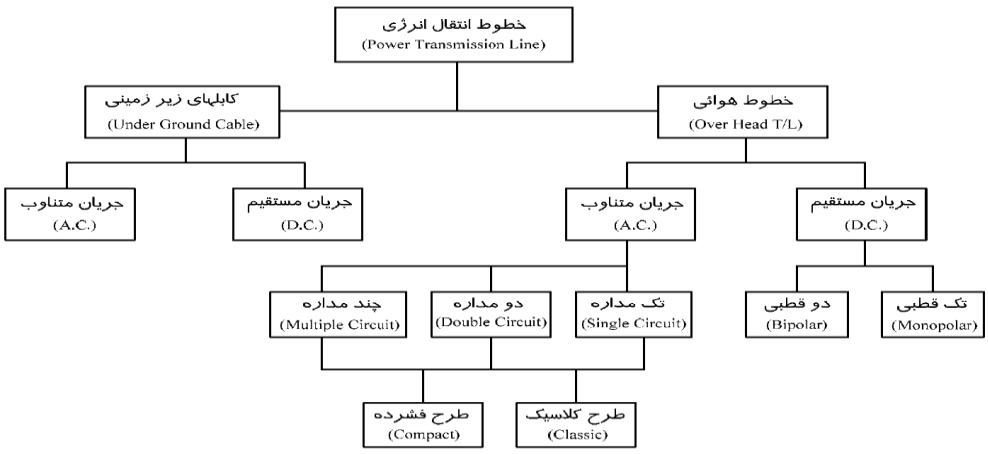
☐ ضریب اطمینان طراحی:

هر چه پست مبدأ دارای ضریب اطمینان بالا باشد، ممکن است حوادث و اتفاقات طول مسیر خطوط انتقال نیرو رابه مخاطره بیاندازد و آثار مثبت نکات رعایت شده در مرحله برنامه ریزی را از بین ببرد. برخی ازاین عوامل:

- ☐ شرایط مسیر: لازم است درانتخاب مسیر، مصرف کنندگان دقت بیشتری بعمل آید، تا حتی الامکان تعداد عوامل آسیب رسان کاهش یابد.
- ☐ طراحی اجزاء اصلی: که عبارتند از: برجها، فونداسیونها و سیم و یراق آلات
- ☐ دقت در محل نصب برجها: جلوگیری از حوادث و اتفاقات ناشی از سستی یا حرکت زمین مشکلاتی را برای خطوط انتقال نیرو به وجود نیاورد.

☐ جمع بندی: عواملی که در مرحله برنامه ریزی و طرحهای اولیه باید درنظر گرفت، عبارتند از:

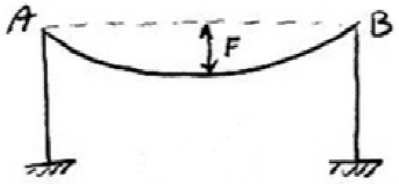
- ☐ ماهیت مصرف کننده و نقش آن در جامعه
- ☐ اهمیت مصرف کننده از نظرتداوم برقرسانی
- ☐ ضریب اطمینان پست
- ☐ مبدأ تغذیه خط انتقال
- ☐ وجود یا عدم وجود نیروگاه اضطراری
- ☐ وجود یا عدم وجود اتصال تقویتی با شبکه، نقش
- ☐ خط انتقال (انرژی رسان اصلی یا کمکی) .



فصل دوم: تعاریف و اصطلاحات

- **کشش (Tension):**
  - مقدار نیرویی که اگر سیم درنقطه ای پاره شود لازم است در همان نقطه اعمال گردد، تا سیم شکل سابق خود را حفظ کند. کشش را با حرف T نمایش می دهند و واحد آن kg است.

- **فلش (Sag):**
  - بزرگترین فاصله قائم بین منحنی سیم و خطی که از نقاط اتصال هادی به دو برج مجاور می گذرد را فلش گویند و با F نشان می دهند.



- **اسپن معمولی (Normal Span):**
  - فاصله بین دو پایه (برج) در محاسبات اولیه را اسپن معمولی نامیده و با S_n نمایش می دهند.

- **اسپن متوسط (Average Span):**
  - مقدار متوسط اسپن موجود در یک خط انتقال را اسپن متوسط گویند و با S_{av} نشان می دهند.

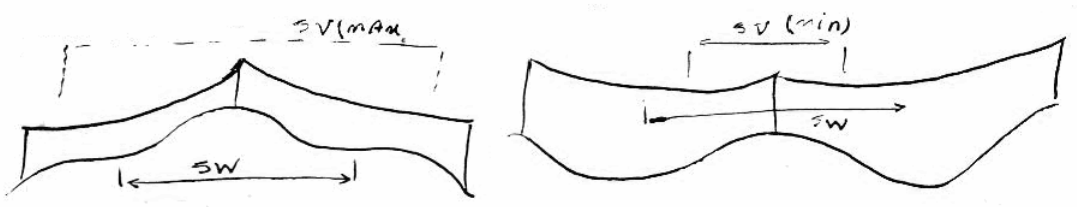
$$S_{av} = \sum_{1}^{n} \frac{S_n}{n}$$

n: تعداد اسپن ها

- **اسپن معادل طراحی بعد از پایه گذاری روی پروفیل (Ruling Span):**
  - اسپنی است که در یک سکشن با توجه به طول اسپنهای آن سکشن محاسبه می شود.

$$S_R = \sqrt{\sum_{1}^{n} S_n^3 \Big/ \sum_{1}^{n} S_n}$$

- **اسپن قائم یا اسپن وزن (Weight Span):**
  - **فاصله افقی بین دو نقطه مینیمم منحنی سیم دردو اسپن مجاور را اسپن وزن (S_v) گویند.**



- **اسپن افقی یا اسپن باد(Wind Span):**
  - **به فاصله افقی بین نقاط وسط دو اسپن مجاور اسپن باد یا افقی (S_w) گویند.**

$$S_w = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

- **اسپن بحرانی(Critical Span): :**
  - **اسپنی است که برای آن طوفان و زمستان هر دو سخت ترین شرایط بوده و حداکثر کشش سیم را بوجود می آورد. برای اسپن های کوتاهتر از اسپن بحرانی زمستان و برای اسپنهای بزرگتر از اسپن بحرانی طوفان سخت ترین شرایط است. این اسپن را با حرف S_c نمایش می دهند.**

- **اسپن الکتریکی (Single Span):**
  - **اسپنی است که با توجه به حداکثر فلش سیم و رعایت فاصله الکتریکی مجاز برج بدست می آید، که در هر صورت نبایستی هیچ یک ازاسپن های مورد استفاده ازاسپن الکتریکی موجود تجاوز نماید، وآن را با حرف S_e نمایش می دهند.**

- **سکشن(Section):**
  - **قسمتی ازمسیر خط که محدود به دو برج کششی بوده و مابین آنها تعدادی برج آویزی قرار گیرد را اصطلاحاً یک سکشن گویند.**

- **پارامتر(Parameter):**
  - **نسبت کششی افقی سیم به وزن واحد طول سیم را پارامتر گویند و با حرف a نمایش می دهند.**

$$a(m) = \frac{H(kg)}{W(kg/m)}$$

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

☐ **حداکثر مقاومت کششی** (Ultimate Tensile Strength):

■ **مقدار مقاومت کششی است که اگر به سیم وارد شود سیم شروع به پاره شدن خواهد نمود. حداکثر مقاومت کششی را با U.T.S نشان می دهند و واحد آن کیلوگرم است.**

☐ **مدول الاستیسیته** (Module of Elasticity):

■ **طبق قانون هوک نسبت تغییر تنش به تغییر ازدیاد طول نسبی سیم را مدول الاستیسیته گویند و با حرف E نمایش و واحد آن kg/mm^2 است.**

☐ **ضریب انبساط خطی** (Linear Expansion Coeff):

■ **نسبت تغییر طول نسبی ناشی از حرارت به تغییر درجه حرارت را ضریب انبساط خطی گویند و با حرف α نشان می دهند واحد آن $1/^{\circ}c$ است.**

☐ **منحنی سیم یا منحنی شنت** (Catenary):

■ **عبارتست از منحنی ریسمانی که کاملا قابل انعطاف بوده و از دو نقطه نگهدارنده آن آویزان شده و تحت بار گسترده و یکنواختی نظیر وزنش قرار گرفته باشد. منحنی سیم تحت درجه حرارت های مختلف شکلهای مختلفی خواهد داشت. عمده منحنی هایی که در طراحی بکار می روند عبارتنداز:**

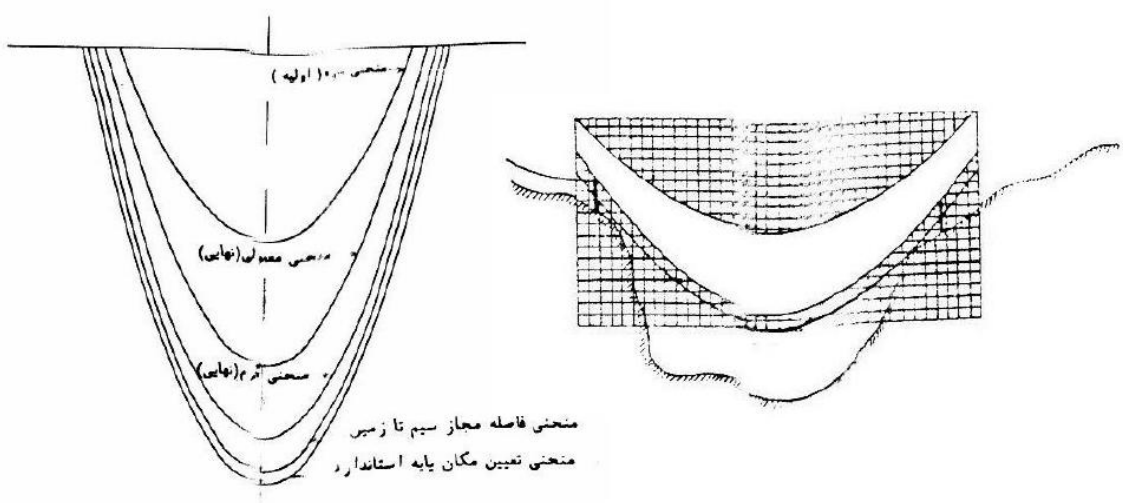
۹-۱) **منحنی گرم** (Hot Curve): به منظور رعایت فاصله مجاز هادی از زمین بایستی بیشترین افت سیم درنظر گرفته شود. بدین منظور منحنی گرم را با توجه به حداکثر درجه حرارت هادی رسم می کنیم. این درجه حرارت بستگی به دمای محیط، تابش خورشید روی هادی، تشعشع هادی توان انتقالی از هادی و جریان اتصال کوتاه دارد.

۹-۲) **منحنی سرد** (Cold Curve): این منحنی درحداقل درجه حرارت و بدون یخ و باد و با در نظر گرفتن مدول الاسیتیسیته اولیه ترسیم می گردد. بدیهی است دراین حالت هادی دارای کشش بیشتری می باشد. از این منحنی جهت کنترل نیروی بالا برنده و انحراف زنجیره مقره استفاده می شود. حداقل درجه حرارت محیط بسته به موقعیت جغرافیایی آن منطقه تعیین می شود.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

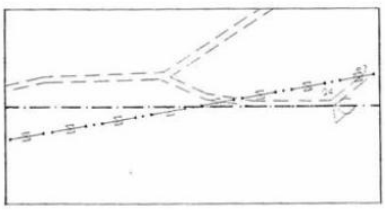
۹-۳) **منحنی فاصله مجاز هادی از زمین:** این منحنی بمنظور رعایت فاصله مجاز بین هادی و زمین در شرایط بیشترین فلش ممکن با فاصله ای ثابت در زیر منحنی گرم رسم می شود. طریقه ترسیم آن نیز بر این اساس استوار است که تمام خطوط قائم واقع بین منحنی گرم و منحنی مزبور مساوی و به اندازه فاصله مجاز بین هادی تا زمین باشد.

۹-٤) **منحنی معمولی:** درست است که بایستی منحنی سیم درگرمترین دما و سردترین شرایط مورد بررسی قرار گیرد، ولی شرایط فوق تنها درروزهای محدودی از طول سال وجود داشته و هادیهای خط در اغلب روزهای سال تحت شرایط عادی و معمولی قرار دارند. به منظوراطلاع از شرایط و کنترل موقعیت هادی درحالت معمولی ازاین منحنی استفاده می شود. شکل (۴) انواع منحنی های اشاره شده فوق را نشان میدهد.



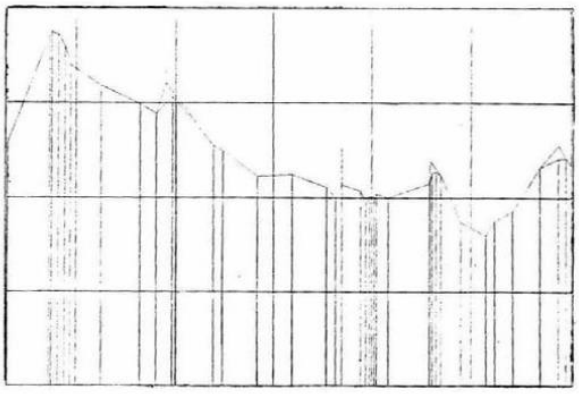
۱۰) **تمپلت** (Template): به وسیله ای که منحنی های مختلف سیم بر روی آن رسم گردیده و جهت برج گذاری مورد استفاده قرار می گیرد، اصطلاحاً تمپلت گویند.

۱۱) **پلان** (Plan): دید از بالای مسیر خط انتقال که نشان دهنده وضعیت زمین و عوارض موجود درحاشیه باند مسیر عبور خط می باشد را پلان گویند، شکل (۵) این مطلب را بهتر نشان می دهد. محور مرکزی باند مسیر محل عبور خط می باشد.



Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۱۲) **پروفیل** (Profile): دید از روبروی مسیر خط انتقال را که نشان دهنده پستی و بلندی های مسیر عبور خط بوده و برشی از محور مرکزی خط انتقال و زمین را نشان می دهد، اصطلاحاً پروفیل گویند. شکل (۶) نشان دهنده این مطلب می باشد.



۱۳) **برج** (Tower): وظیفه نگهداری هادی های خط انتقال را به عهده داشته و دارای انواع زیراست:

۱۳-۱) **برج آویزی** (suspension Tower)

۱۳-۲) **برج کششی** (Tension Tower)

۱۳-۳) **برج انتهایی** (Terminal Tower)

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

فصل سوم: انتخاب سطح ولتاژ انتقال

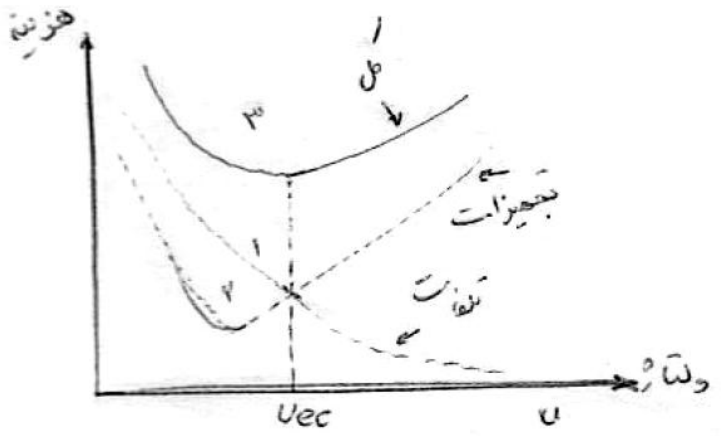
مقدمه: انتخاب ولتاژ انتقال، همواره یک مسئله مهم فنی و اقتصادی در طراحی خطوط انتقال نیرو به شمار می رود.

۱- انتخاب ولتاژ اقتصادی: ولتاژهای استاندارد شده انتقال نیرو در ایران ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت می باشد. ولتاژهای فوق توزیع ۱۳۲ و ۶۳ کیلوولت و ولتاژهای توزیع ۰٫۴و۲۰ کیلوولت تعیین شده اند. ۳۳ کیلوولت به جای ۲۰ کیلوولت در استان خوزستان ، ولتاژ ۱۱ کیلوولت دراستان های خوزستان و فارس، سیستان و بلوچستان و ۶۶ کیلوولت به جای ۶۳ در فارس استفاده می شود.

- تلفات توان رابطه مستقیم با جریان و امپدانس خط دارد.

$$P_{Loss} = R.I^2$$

دراین رابطه P برحسب کیلوولت آمپر، R مقاومت سیم برحسب اهم، I برحسب کیلوآمپر می باشد. این رابطه در مورد تلفات قدرت در شبکه تکفاز و خطوط کوتاه صادق است و در صورت افزایش ولتاژ تا دو برابر ولتاژ موجود، جریان به نصف کاهش یافته و در نتیجه تلفات انرژی به علت رابطه مستقیم آن با مجذور جریان به یک چهارم مقدار قبلی خواهد رسید. بنابراین می توان گفت قابلیت انتقال خط با توان دوم ولتاژ رابطه مستقیم دارد و لذا انتقال انرژی زیاد فقط با ولتاژهای بالا اقتصادی خواهد بود.



Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

☐ تعدادی از روابط تجربی مورد استفاده درانتخاب ولتاژ

الف) تعیین ولتاژ به کمک رابطه تجربی استیل: این رابطه با شناخت توان و طول خط امکان محاسبه ولتاژ انتقال را دراختیار ما قرار می دهد.

$$U = 5.5\sqrt{L + (\frac{S}{150})}$$

U: ولتاژ انتقال برحسب کیلو ولت.

L: مسافت برحسب مایل (1mile=1.609km).

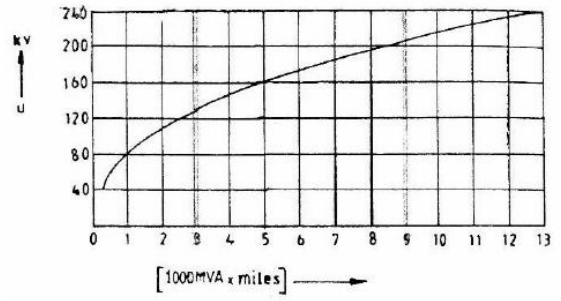
S: توان ظاهری مورد انتقال برحسب کیلو ولت آمپر.

ب) تعیین ولتاژ انتقال به کمک منحنی تغییرات ولتاژ نسبت به حاصلضرب مسافت در توان(رابطه کورتز): برای تعیین منحنی مورد نظر، رابطه زیر مورد استفاده قرار گرفته است.

$$U = 82(\frac{M}{1000})^{\frac{1}{2.4}}$$

U: ولتاژ انتقال برحسب کیلوولت،

M: معادل مایل درمگاولت آمپر (mile.MVA) می باشد.



ج) رابطه تجربی جهت تعیین ولتاژ انتقال درمسافات طولا نی:

$$U = 20\sqrt{P}$$

در این رابطه P برحسب مگا وات (MW) می باشد.

د) یک رابطه تجربی دقیق جهت تعیین ولتاژ انتقال:

$$U = 4 \times P^{0.45} \times \ln(L - 0.9)$$

دراین رابطه L (طول خط) برحسب کیلومتر میباشد.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

رابطه کلون

$$U_e = 150\sqrt{P}\sqrt[3]{L}$$

رابطه تجربی گشتاور بار

$$U_e = \frac{1}{700}\sqrt{PL}$$

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

فصل چهارم: هادی‌های متداول در خطوط انتقال نیرو

درخطوط انتقال نیرو، هادی ها عامل اصلی انتقال انرژی الکتریکی می باشند. این هادی ها را بصورت رشته ای می بافند و برحسب مورد ممکن است جنس رشته ها فلزی از فولاد، آلومینیوم خالص یا آلیاژ آلومینیوم و یا ترکیبی از انواع رشته ها باشند. گر چه هدف اصلی از رشته ای نمودن، انعطاف پذیرنمودن آن در جریان ساخت، حمل و نقل و نصب می باشد، اما این اقدام، مزایا و معایب دیگری را به همراه دارد:

مزایا: انعطاف پذیری درجریان نصب، امکان بافت هادیها با آلومینیم و فولاد، امکان ساخت هادیهایی با مقاطع متفاوت از یک اندازه رشته فلزی، امکان بافت هادی ها با ترکیب مختلفی از آلومینیوم و فولاد، تعادل حرارتی بهتر، افزایش جریان مجاز هادی برای وزن مشخصی از هادی، کاهش تلفات رشته های فولادی به دلیل متفاوت بودن جهت پیچش رشته ها در لایه های مختلف، کاهش تنوع اندازه هادیها، افزایش خاصیت خود مستهلک کنندگی هادیها، امکان ساخت هادیهایی با طول زیاد و امکان حمل و نقل بهتر.

معایب: امکان نفوذ مواد معلق و آلوده درجداره های مختلف هادیها، افزایش شدت خوردگی در هادی های رشته ای، امکان پاره شدن رشته ها در اثرخوردگی، امکان پاره شدن رشته های بیرونی در اثر انواع نوسانات، امکان افزایش فواصل رشته تحت تاثیر عوامل حرارتی یا مکانیکی، بروز هر نوع جرقه بین هادیها با یکدیگر با بدنه برجها یا سیم محافظ و پاره شدن رشته ها .

- در هادیهای رشته ای اگر قطر رشته ها با هم برابر باشند، تعداد کل رشته های یک هادی را می توان از رابطه زیر بدست آ ورد:

n: تعدادلایه ها

N: تعداد کل رشته ها

$$N = 3n^2 - 3n + 1$$

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

استاد: پزشکیان

۱) ا نواع هادیها:

۱-۱) هادیهای ACSR/ GS :

(Aluminum Conductor galvanized Steel Reinforced)

این هادی ها ترکیبی از بافت رشته های آلومینیوم با درجه خلوص بالا و رشته های فولاد گالوانیزه که رشته های فولادی در لایه های مرکزی و رشته های آلومینیومی در لایه های بیرونی مورد استفاده قرار می گیرند. شاید در بیش از ۹۰٪ خطوط انتقال جهان از این نوع هادی استفاده می گردد. برای افزایش طول عمر این نوع هادی ها در مناطق آلوده بر حسب مورد معمولاً از انواع گریس به عنوان محافظ سیم استفاده می گردد.

۱-۲) هادیهای ACSR / AS :

(Aluminum Conductor Aluminum Clad Steel Reinforced)

مشابه هادی های نوع اول می باشند با این تفاوت که مغزی آن از رشته های فولاد گالوانیزه به فولاد روکش آلومینیوم تغییر یافته است. در این روش، آلومینیوم جامد بدون اینکه ذوب شود بصورت روکشی روی سطح رشته های فولادی قرار می گیرد. ضخامت روکش آلومینیومی می تواند بر حسب مورد کم یا زیاد باشد. این هادیها در مناطقی با آ لودگی و خورندگی بالا مورد استفاده قرار می گیرند.

۱-۳) هادیهای ACSR / AW :

(Aluminum Conductor Aluminum Coated Steel Reinforced)

این هادی مشابه حالت قبل است، با این تفاوت که به جای رشته های فولادی روکش آلومینیوم AS از نوع AW استفاده می گردد. در این روش برای تهیه رشته های فولادی AW، پودر مخصوصی از آلومینیوم روی سطح رشته ها فشرده شده ، بدون اینکه آلومینیوم ذوب گردد، با روش مخصوصی حرارت داده می شود. این نوع هادیها نیز مخصوص استفاده در مناطق آلوده است.

۱-۴) هادیهای AAAC :

(All Aluminum Alloy Conductor)

این نوع هادی ها ازآلیاژهای مقاوم آلومینیوم ساخته می شوند و دارای مقاومت مکانیکی کمتری در مقایسه با انواع هادیهای ACSR می باشند، اما در مقابل این نقیصه مقاومت الکتریکی آن برای یک سطح مقطع معادل کمتر می باشد که در نتیجه تلفات الکتریکی آنها پایین تر می باشد. ضمناً این هادیها دارای مقاومت نسبی خوبی در مقابل خوردگی محیطی می باشند و در نتیجه در مناطقی با آلودگی بالا می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۱-۵) **هادیهای ACAR :**

(Aluminum Conductor Aluminum Alloy Reinforced)

این هادی ها ترکیبی است از رشته های آلیاژ مقاوم آلومینیوم در لایه های مرکزی و رشته های آلومینیوم با درجه خلوص بالا در لایه های بیرونی. مقاومت الکتریکی و مکانیکی این هادی ها ازحالت قبلی کمتر می باشد و این هادیها نیز در مناطق آلوده مورد استفاده قرار می گیرند. البته ذکر این نکته ضروری است که کاربرد آنها در مناطقی با بار مکانیکی بالا در مقایسه با هادیهای نوع ACSR/AS یا ACSR/AW موجه نمی باشد.

۱-۶) **هادیهای** AAC :

(All Aluminum Conductor)

این هادی ها که تنها از بافت رشته های آلومینیوم با درجه خلوص بالا ساخته می شوند، چون مقاومت مکانیکی آنها پایین است و درخطوط انتقال نیرو کاربرد موثری ندارد و عمدتاً در کابل های زیر زمینی و یا ممکن است در برخی از شبکه های توزیع مورد استفاده قرار گیرند. گر چه مقاومت الکتریکی آنها در مقایسه با سایر انواع هادی های ذکر شده در قبل (برای مقطع کل برابر) کمتر می باشد اما محدودیت مقاومت مکانیکی آنها ، کاربرد این نوع هادیها را در خطوط هوایی تقلیل می دهد.

۱-۷) **هادیهای مسی:** این هادیها در خطوط انتقال نیروی هوایی کاربرد چندانی ندارند، اما در کابل ها و خطوط توزیع کاربرد گسترده دارند.

۲) **مشخصات هادیها:**

۱-۲- **مقطع هادی:** مقطع هادیها از حاصل جمع مجموع مقاطع رشته های آلومینیوم بدست می آید و درحقیقت از مقیاس های متفاوتی استفاده می شود.

۱-۱-۲) **مقیاس میل دایره ای:** در این مقیاس مساحت هادی ها برحسب میل دایره ای یا circular mil یا به طور اختصار با cm نشان داده می شود. در صورتی که قطر یک سیم (0.001) اینچ باشد، مقطع آن یک cm می باشد و در صورتیکه قطر آن d باشد، مقطع سیم برابر است با:

$(1) A = d^2.10^6$

A : مقطع هررشته سیم برحسب cm .

$(2) S = n.d^2.10^6$

n: تعداد رشته ها.

d: قطر رشته بر حسب اینچ.

$$1cm = (\frac{1}{1000} \times 25.4)^2 \times \frac{\pi}{4} = 5.67 \times 10^{-4} mm^2$$

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۲-۱-۲)**مقیاس میلیمتر مربع:** در این استانداردها (BS جداول ۲و۳) و ژاپن و استرالیا (جداول ۶ و۷) مقاطع هادی ها ،مقادیر رند شده مجموع مقاطع رشته های آلومینیوم می باشد.

$$S = n.\pi.d^2/4$$

S : مقطع هادی.

d: قطر رشته های آلومینیومی.

۳-۱-۲) **مقیاس اینچ مربع:** دراین مقیاس مقطع مجموع رشته ها برحسب اینچ مربع بیان می شود.

۴-۱-۲) **مقیاس درجه:** دربرخی موارد به جای اینکه هادی ها یا سیم ها با اسم یا کد خاصی تعریف شوند، با شماره طبقه بندی می شوند. مانند، سیم نمره یک یا نمره دو و یا . . . ، که برخی از درجه گذارهای متداول به شرح زیر می باشند:

AWG = American Wire Gauge.
SWG = British Wire Gauge.
BWG = Birmingham iron Wire Gage.
MMG = Mili Meter Gauge.

۲-۲- قطرهادی

۲-۳- وزن هادی

۲-۴- مقاومت مکانیکی

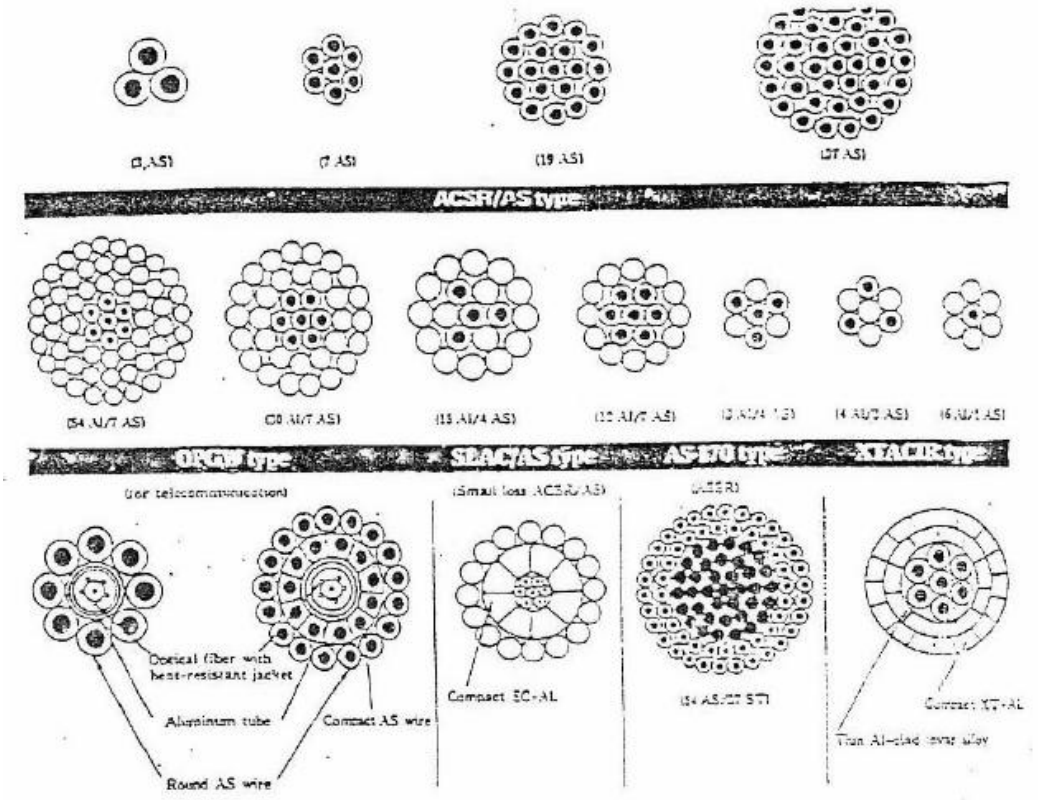
۲-۵- مقاومت الکتریکی

۳) **هادی های استاندارد وزارت نیرو:** به دلیل وجود تنوع بسیار زیاد در اندازه هادی های قابل استفاده در خطوط انتقال نیرو، هر کشور از تعداد محدودی هادی برای شبکه ملی خود استفاده می نماید، که در ایران نیز از این شیوه استفاده می گردد. گرچه در حال حاضر بازنگری در استاندارد هادی های در دست مطالعه می باشد، اما تا حصول نتایج مطالعات از استانداردهای قبلی استفاده می گردد، که برخی از مشخصات عمده آنها در جدول (۱۴) نشان داده شده است، اسامی این هادی ها به شرح زیر می باشد:

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

کد هادی	مقطع هادی
Fox	$35\,mm^2$
Mink	$60\,mm^2$
Dog	$100\,mm^2$
Partridge	266.8 KCM
Lynx	$175\,mm^2$
Oriole	336 KCM
Hawk	477 KCM
Drake	795 KCM
Canary	900 KCM
Cardinal	954 KCM
Curlew	1033 KCM
Martin	1351 KCM

معمولاً در اکثر کشورها هادی ها به طور جداگانه استاندارد نمی شوند، بلکه از بین استانداردهای معتبر جهانی چند هادی مناسب انتخاب می گردد که در وزارت نیرو نیز از این شیوه استفاده شده است. هادی های انتخابی خطوط انتقال و توزیع نیرو ایران عمدتاً از بین هادی های استاندارد ASTM و BS گرفته شده است.



فصل پنجم: پارامترهای خطوط انتقال نیرو

مقاومت هادی ها، راکتانس سلفی و خازنی سه پارامتر اساسی خطوط انتقال نیرو می باشند. که به طور مستقیم در انتخاب ولتاژ، ظرفیت، میزان قدرت طبیعی، حد قدرت انتقالی، افت ولتاژ، تلفات قدرت و انرژی و همچنین درحد پایداری خطوط انتقال نیرو دخالت دارند. این پارامترها ضمن اینکه به قطر هادیها و تعداد آنها در هر فاز وابسته می باشند به موقعیت مکانی هادی ها و شکل برج ها نیز بستگی دارند.

۱) **مقاومت هادیها:** به طور کلی عوامل زیر در تغییرات مقاومت هادی ها نقش دارند:

۱-۱- **عوامل محیطی:** عمدتاً بر درجه حرارت هادیها و در نتیجه در مقدار مقاومت آن موثر می باشند، که از جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱-۱-۱) **درجه حرارت محیط:** یکی از عوامل موثر در تغییرات مقاومت هادی ها، درجه حرارت آن می باشد، به طوریکه این عامل به تنهایی می تواند تا ۳۰٪ مقدار مقاومت را تغییر دهد. رابطه (۱)، تأثیر تغییرات درجه حرارت محیط را در مقدار مقاومت DC هادی ها نشان می دهد:

$$(1)\quad R_C = R_0 \frac{M + t_C}{M + t_0}$$

R_C: مقاومت هادی دردرجه حرارت t_C، به اهم.

R_0: مقاومت هادی در درجه حرارت t_0، به اهم.

t_C: درجه حرارت هادی برحسب سانتیگراد.

t_0: درجه حرارت اولیه بر حسب سانتیگراد.

M: ضریب ثابتی است که مقدار آن برای هادی های مختلف به شرح زیر می باشد:

هادی		هدایت نسبی	M
آلومینیوم سخت	Hard drown	٪۶۱	۲۲۸/۱
مس کوبیده	Annealed	٪۱۰۰	۲۳۴/۵
مس سخت	Hard drown	٪۹۷/۳	۲۴۱/۵
آهن		٪۱۷/۲	۱۸۰
نقره		٪۱۰۸	۲۴۳
فولاد		۲ تا ۱۴٪	۱۸۰ تا ۹۸۰
برنز		۲۰ تا ۲۷٪	۴۸۰

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۲-۱-۱) **تأثیر خورشید:** تابش خورشید بر سطح هادی ها باعث گرم شدن آن و در نتیجه افزایش مقاومت آن می شود. خورشید ممکن است با توجه به موقعیت جغرافیایی محل، زاویه تابش، قطر و شرایط سطح هادی، آنرا حدود ۷ تا ۱۵ درجه سانتیگراد گرمتر از محیط سازد. رابطه تقریبی زیر، افزایش درجه حرارت هادی را تحت تأثیر تابش مستقیم خورشید نشان می دهد.

$$t_S = 23E.Q_S.\sqrt{d} \quad (2)$$

t_S: افزایش درجه حرارت هادی تحت تابش خورشید بر حسب درجه سانتیگراد.

Q_S: توان تابشی خورشید بر حسب وات بر اینچ مربع.

E: ضریب سطحی هادی.

d: قطر هادی به اینچ

۳-۱-۱) **ارتفاع منطقه:** چون با تغییر ارتفاع محل، چگالی هوا نیز تغییر می کند، لذا ارتفاع منطقه در تعادل حرارتی هادی ها و در نتیجه در مقدار مقاومت آنها موثر می باشد، که البته تأثیر این عامل در مقایسه با سایر عوامل قابل صرفه نظر کردن می باشد.

٤-۱-۱) **سرعت باد:** درصورتی که باد به هادی ها بوزد، چون دفع انرژی گرمایی در هادی ها را تشدید می کند، باعث کاهش درجه حرارت آن و درنتیجه سبب تقلیل مقاومت هادی ها می گردد. گر چه این عامل تغییرات مقاومت رابه همراه دارد اما در مطالعات پایدار این تأثیر در محاسبات ملحوظ نمی گردد.

۵-۱-۱) **باران و برف:** درشرایط بارش باران دفع حرارت ازهادی ها راحت تر انجام می گیرد، لذا در روزهای بارانی مقاومت هادی ها بیشتر از حالت عادی تقلیل می یابد. این حالت در روزهای برفی نیز به وجود می آید.

۲-۱- **عوامل الکتریکی:** در بین عوامل الکتریکی بیشترین تأثیر را جریان عبوری ازهادی ها در مقاومت ایجاد می کند، ضمن اینکه فرکانس نیز به دلیل اثر پوستی در افزایش مقاومت هادی ها موثر می باشند.

۱-۲-۱) **تأثیر جریان الکتریکی:** عبورجریان الکتریکی از هادیها باعث افزایش درجه حرارت آن می گردد، مقدار این افزایش تابعی است از میزان بارگذاری الکتریکی خطوط انتقال نیرو. رابطه زیر مقاومت هادی های باردار را برحسب سایر پارامترهای موثر نشان می دهد:

$$R_C = R_a.(1 + x + x^2) \quad (3)$$

$$x = K.\frac{R_a.I^2}{d + 2\sqrt{d}} \quad (4)$$

$$K = (260 - 60E - t_a).10^4$$

R_C: مقاومت هادی باردار.

K: ضریبی است مشخص برای هادیها و مقدار آن در شرایط متعارف برابر است با: K=0.022

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۲-۲-۱) **تأثیر فرکانس:** به طورکلی هرچه فرکانس افزایش یابد، چون جریان بیشتری از سطوح نزدیکتر به پوسته هادی ها عبور می کند، در نتیجه مقاومت هادی افزایش می یابد چون سطح مقطع موثر آن در مقابل عبور جریان کم می شود. برای محاسبه مقدار مقاومت الکتریکی AC یک هادی در فرکانس f می توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$(6)\quad R_{ac} = K.R_{dc}$$

دراین رابطه K تابعی است از متغیر X که مقدار آن در جدول (۱) نشان داده شده است و پارامتر X نیز از رابطه زیر بدست می یاید:

$$(7)\quad x = 0.063598.\sqrt{\frac{\mu.f}{R_{dc}}}$$

μ، پرمابیلیته هادی می باشد که مقدار آن برای هادی های غیرمغناطیسی برابر است. لذا با جایگذاری مقادیر f, μ ($\mu = 1$, f=50)، x ، به صورت زیر ساده می شود:

$$x = \frac{0.4497}{\sqrt{R_{dc}}}$$

X	K	X	K	X	K	X	K
0.0	1.00000	1.0	1.00519	2.0	1.07816	3.0	1.31809
0.1	1.00000	1.1	1.00758	2.1	1.09375	3.1	1.35102
0.2	1.00001	1.2	1.01071	2.2	1.11126	3.2	1.38504
0.3	1.00004	1.3	1.01470	2.3	1.13069	3.3	1.41999
0.4	1.00013	1.4	1.01963	2.4	1.15207	3.4	1.45570
0.5	1.00032	1.5	1.02582	2.5	1.17538	3.5	1.49202
0.6	1.00067	1.6	1.03323	2.6	1.20056	3.6	1.52879
0.7	1.00121	1.7	1.04205	2.7	1.22753	3.7	1.56587
0.8	1.00212	1.8	1.05240	2.8	1.25620	3.8	1.60314
0.9	1.00340	1.9	1.06440	2.9	1.28644	3.9	1.64051

۳-۱- **مشخصه هادی:** ازمشخصه عمده هادی ها می توان جنس، مقطع، درصد ترکیب رشته های فولاد و آلومینیوم یا نظایر آن در بافت هادی و همچنین شرایط سطحی هادی ها را نام برد.

روش محاسبه مقاومت: لازم است در محاسبه و تعیین مقدار مقاومت هادی ها به نکات

زیر توجه گردد:

- مقاومت اولیه هادی ها و درجه حرارتی که مقدار مقاومت بر آن مبنا محاسبه گردیده است.
- درجه حرارت محیط در زمان مطالعه.
- وضعیت تابش خورشید در زمان مطالعه.
- جریان عبوری از هادی در شرایط مورد مطالعه.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

استاد: پزشکیان

۲) **راکتانس سلفی:** مقدار راکتانس به پارامترهای بسیار زیادی بستگی دارد، اما برحسب اینکه خطوط انتقال نیرو ساده (یک هادی در فاز) یا بندل (چندهادی درهر فاز) ، مقادیر راکتانس سلفی را می توان از روابط مختلفی به دست آورد، که ذیلاً به آنها اشاره می گردد:

۲-۱) **خطوط ساده:** برای محاسبه مقدار راکتانس سلفی در خطوط انتقال نیروی ساده از رابطه (۸) استفاده می کنیم.

$$(8)\quad X_1 = K.\log_{10}\frac{GMD}{GMR}$$

$$(9)\quad \mathrm{K} = 0.002894\mathrm{f}$$

X_1 : راکتانس خط برحسب اهم بر کیلومتر.

GMD: فاصله متوسط هندسی فازها بر حسب سانتیمتر.

GMR: متوسط شعاع هندسی هادی ها برحسب سانتیمتر.

f: فرکانس

برای فرکانس ۵۰ هرتز مقدار K را می توان به کمک رابطه (۹) به دست آورد که با جایگزینی آن در رابطه (۸) داریم:

$$(10)\quad X_1 = 0.1447\log_{10}\frac{GMD}{GMR}$$

$$(11)\quad GMR = r.e^{-\mu/4}$$

r : شعاع هادی و μ : پرمابیلیته نسبی هادی می باشد.

برای هادی های آلومینیوم و مس مقدار آن تقریباً برابر یک است که در این حالت مقدار GMR برابراست با:

$$\mathrm{GMR}=0.7788\mathrm{r}$$

۲-۲) **خطوط بندل:** در این حالت نیز برای محاسبه مقدار راکتانس سلفی خطوط انتقال هوایی می توان از رابطه (۱۰) استفاده نمود، اما برای تبدیل این رابطه برای استفاده در خطوط انتقال نیرو بندل لازم است در رابطه (۱۰) به جای GMR از $\mathrm{GMR_b}$ استفاده نمود. برای محاسبه مقدار $\mathrm{GMR_b}$ می توان از رابطه (۱۲) استفاده نمود.

$$(12)\quad \mathrm{GMR_b} = (n_S.GMR.A^{n_S-1})^{\frac{1}{n_S}}$$

برای خطوط بندل ($\mathrm{n_s} \geq 2$)،مقدار A را می توان از رابطه (۱۳) به دست آورد:

$$(13)\quad A = \frac{d_S}{2\sin\left(\frac{\pi}{n_S}\right)}$$

$\mathrm{n_s}$: تعداد هادی های فرعی در هر فاز.

d_S: فاصله هادی های فرعی از هم برحسب سانتیمتر.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

- پارامتر A درحقیقت شعاع دایره ای است که محیط بر هادی های فرعی باشد. مقدار A برای خطوط انتقال بندل دو، سه و چهارتایی به صورت زیر می باشد، برای سایر حالات نیز مقدار A را با توجه به رابطه (۱۳) می توان بدست آورد:

$$n_s = 2 \rightarrow A = \frac{d_s}{2}$$

$$n_s = 3 \rightarrow A = \frac{\sqrt{3}d_s}{2}$$

$$n_s = 4 \rightarrow A = \frac{\sqrt{2}d_s}{2}$$

۳) **راکتانس خازنی:** درطراحی خطوط انتقال نیرو همان طور که تلاش در کاهش راکتانس سلفی است، از جهت دیگر باید سعی شود در برخی موارد با تدابیر مناسبی بر مقدار کاپاسیتانس آنها افزوده گردد.

۳-۱) **خطوط ساده:**

$$(14)\quad X_C = K'.Log_{10}\frac{GMD}{r}$$

$$(15)\quad K' = \frac{6.586}{f}$$

X_C: راکتانس خازنی

K': ضریب ثابتی که تابعی است از فرکانس و به صورت رابطه فوق نشان داده می شود. با تعیین مقدار K' در فرکانس ۵۰ هرتز و قرار دادن آن در رابطه (۱۴) به رابطه زیر می رسیم:

$$(16)\quad X_C = 0.1318\log_{10}\frac{GMD}{r}$$

X_C: راکتانس خازنی برحسب مگا اهم بر کیلومتر.

GMD: فاصله متوسط هندسی فازها برحسب سانتیمتر.

R: شعاع هادی (سانتیمتر).

۳-۲) **خطوط بندل:** همانند راکتانس سلفی در این حالت نیز به جای شعاع هادی (r)، باید از مقدار r_b با شعاع معادل هادی های در خطوط انتقال نیرو بندل استفاده نمود. با افزایش تعداد هادی های فرعی در هر فاز مقدار راکتانس خازنی کاهش و مقدار کاپاسیتانس آن افزایش می یابد.

$$(17)\quad r_b = (n_S.r.A^{n_S-1})^{1/n_S}$$

در این حالت نیز برای محاسبه مقدار راکتانس خازنی می توان از رابطه (۱۴) استفاده نمود. با این تفاوت که به جای شعاع هادی ها باید ازمقدار r_b استفاده گردد. که نتیجه را می توان به صورت زیر نوشت:

$$(18)\quad X_C = 0.1318\log_{10}\frac{GMD}{r_b}\ (\text{mega ohm/km})$$

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۴) مشخصه های ارسالی خطوط انتقال نیرو:

۴-۱) سوسپتانس:

$$(19)\quad B=\frac{1}{X_C}$$

$$(20)\quad B=\frac{7.59}{\log_{10} GMD/r_b}\ \ (\mu mho/Km)$$

۴-۲) امپدانس طبیعی خط (امپدانس موجی)، (surge Impedance)**:** برابر با امپدانسی است که درآن حالت وار تولیدی خط برابر وار مصرفی آن باشد یا:

$$(21)\quad X_L.I^2=V^2.B$$

$$(22)\quad \left(\frac{V}{I}\right)^2=\frac{X_L}{B}$$

$$(23)\quad \Rightarrow ZI=\frac{V}{I}$$

- با جایگذاری مقادیر X_L ، X_C ($X_C=\frac{1}{C\omega}, X_L=L\omega$) در رابطه (۲۲) می توان مقدار ZI را بدست آورد:

$$(24)\quad ZI=\sqrt{L/C}$$

L: اندوکتانس، C: کاپاسیتانس، ZI: امپدانس طبیعی خط.

۴-۳) قدرت طبیعی خط (Surge Impedance Loading)،(SIL)**:** وقتی که خط انتقال با موج های فرکانس بالا یا جریان های صاعقه مواجه می شود، تلفات خط انتقال قابل صرفه نظر کردن می گردد و در چنین حالت اهمیت و کاربرد امپدانس موجی مشخص می گردد. قدرت طبیعی خط انتقال یا SIL در حقیقت معادل مقدار قدرتی است که به باری با ماهیت مقاومت خالص و معادل $\sqrt{L/C}$ تحویل گردد. درحالت کلی (در خطوط ساده یا بندل) قدرت طبیعی خط انتقال را می توان از روابط زیر بدست آورد:

$$(25)\quad SIL=\frac{U^2}{ZI}$$

$$(26)\quad SIL=\frac{U^2}{\sqrt{L/C}}$$

۴-۴) سایرعوامل: علاوه بر پارامترهای فوق الذکر در برخی از محاسبات پارامترهای مختلفی چون λ,β,ν مورد استفاده قرار می گیرند که به طور خلاصه به آنها اشاره می گردد:

$$(27)\quad \nu=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

استاد: پزشکیان

$$\lambda = \frac{\nu}{f} = \frac{1}{f.\sqrt{LC}} \quad (28)$$

$$\beta = \frac{\omega}{\nu} = \omega.\sqrt{LC} \quad (29)$$

ν: سرعت امواج الکترومغناطیسی که تقریباً معادل سرعت نور می باشد.

λ: طول موج

ω: بسامد نور ($\omega = 2\pi f$)

مقادیر ZI,SIL را می توان از روابط زیر بدست آورد:

$$ZI = \frac{1}{C.\nu} \qquad ZI = L.\nu$$

$$SIL = C.\nu.U^2 \qquad SIL = \frac{U^2}{L.\nu} \qquad SIL = \lambda.f.C.U^2 \qquad SIL = \frac{U^2}{\lambda.f.L}$$

۵) **مقادیر عددی پارامترهای خطوط انتقال نیرو :** برای آگاهی از مقادیر تقریبی راکتانس، سوسپتانس، امپدانس موجی و قدرت طبیعی در سه سطح ولتاژ (جداول ۲و۳و۴و۵) درج گردیده است.

- ولتاژ ۱۳۲ کیلو وات :

U=132kv GMD=700cm r=1.08cm d_s= 45cm

- ولتاژ ۲۳۰ کیلو ولت:

U= 230kv GMD=1000cm r=1.50cm d_s =45cm

- ولتاژ ۴۰۰ کیلو ولت:

U=400kv GMD=1400cm r=1.60cm d_s= 45cm

تعداد هادی های هر فاز				
۴	۳	۲	۱	
۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۴۰	۱۳۲
۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۴۲	۲۳۰
۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳۳	–	۴۰۰

جدول (۲) مقدار متوسط راکتانس خطوط انتقال در سه سطح مختلف ولتاژ (اهم بر کیلومتر)

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

	تعداد هادی های هر فاز			
	۱	۲	۳	۴
۱۳۲	۲/۲۶	۳/۷۸	۴/۳۶	۴/۸۵
۲۳۰	۲/۶۷	۲/۶۲	۴/۱۱	۴/۵۰
۴۰۰	–	۳/۴۰	۳/۸۲	۴/۱۵

جدول (۳) مقدار متوسط سوسپتانس خط انتقال
در سه سطح مختلف ولتاژ ($\mu mho / Km$)

	تعداد هادی های هر فاز			
	۱	۲	۳	۴
۱۳۲	۳۸۷	۲۷۶	۲۳۹	۲۱۵
۲۳۰	۳۹۹	۲۹۳	۲۵۷	۲۳۴
۴۰۰	–	۳۱۲	۲۷۷	۲۵۴

جدول (۴) مقدار امپدانس موجی خط
در سه سطح مختلف ولتاژ (اهم)

	تعداد هادی های هر فاز			
	۱	۲	۳	۴
۱۳۲	۴۵	۶۳	۷۳	۸۰
۲۳۰	۱۳۳	۱۸۱	۲۰۶	۲۲۶
۴۰۰	–	۵۱۳	۵۷۸	۶۳۰

جدول (۵) مقدار متوسط قدرت طبیعی خط انتقال (SIL)
در سه سطح مختلف ولتاژ (MVA)

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

فصل ششم: جریان مجاز هادی‌های خطوط انتقال نیرو

در اکثر منابع حد جریان عبوری ازهادی ها را جریان مجاز نام گذاری کردند و آنرا به این صورت تعریف نموده اند: جریان مجاز، به بالاترین جریان اطلاق می شود که عبور مداوم آن از هادی ها تغییری در مشخصات فنی آنها به وجود نیاورد.

- مهمترین عاملی که باعث تغییر در مشخصات فنی هادی ها می گردد، درجه حرارت مجاز هادی ها می باشد، به این ترتیب جریان مجاز هادی ها به درجه حرارت مجاز هادی ها وابسته می باشد، که درجه حرارت مجاز نیز، خود تابعی است از نوع و مشخصات متالوژیک رشته های فلزی تشکیل دهنده هادی ها.

۱) **تعادل حرارتی در هادی ها:** دراکثر مقالات منتشره معادلات مربوط به تعادل حرارتی درهادی ها به صورت رابطه (۱) تعریف گردیده است، گرچه دربرخی از مراجع رابطه (۲) را نیز پیشنهاد نموده اند:

(1) $W_j + W_s = W_c + W_r$

(2) $W_j + W_s + W_m = W_c + W_r + W_v$

W_j: حرارت تولیدی در اثر تلفات ژول.

W_s: حرارت تولیدی در اثر تابش خورشید.

W_c: حرارت دفع شده در اثر جابجایی.

W_r: حرارت دفع شده در اثر تشعشعی.

W_m: حرارت تولیدی در اثر تلفات فوکو و هیسترزیس در هسته فولادی هادی ها.

W_v: حرارت دفع شده در اثر تبخیر رطوبت سطح هادی.

با توجه به ناچیز بودن W_m و W_v، معمولاً می توان از آنها صرفنظر کرد مگر اینکه هدف محاسبه جریان مجاز در حالات وزمان های خاص از جمله روزهای بارانی و برفی باشد، به این ترتیب برای محاسبه جریان مجاز در حالات پایدار استفاده از رابطه (۱) مناسب می باشد.

۲) **محاسبه جریان مجاز هادی ها:** مقدار جریان هادی ها تابعی است از مقادیر W_s, W_r, W_c و مقاومت هادی ها که البته هر یک از عوامل فوق الذکر خود به پارامترهای مختلفی بستگی دارند که در ادامه به آنها اشاره می گردد.

۱-۲) **حرارت دفع شده از طریق جابجایی:** حرارت دفع شده از طریق W_c، به عوامل مختلفی چون فشار هوا (ارتفاع منطقه)، سرعت باد، قطرهادی و تفاضل درجه حرارت هادی و محیط اطراف و همچنین سرعت باد بستگی دارد و از رابطه (۳) بدست می آید:

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

$$3)\quad W_c = 0.4825(P.V.d)^{0.5}.T_r.T_f^{-0.123}$$

W_c: حرارت دفع شده در اثر جابجایی و برحسب وات برفوت طول.

P: فشارهوا برحسب اتمسفر.

V: سرعت باد برحسب فوت بر ثانیه.

T_r: افزایش درجه حرارت سیم نسبت به محیط ($T_r = T_c - T_a$) .

T_f: متوسط درجه حرارت محیط وهادی ($T_f = \frac{T_C + T_a}{2}$).

T_c: درجه حرارت هادی برحسب درجه کلوین.

T_a: درجه حرارت محیط برحسب درجه کلوین.

d: قطر سیم برحسب اینچ.

۲-۲) **حرارت دفع شده از طریق تشعشعی:** میزان حرارتی که از طریق تشعشعی (W_r) از سطح هادی دفع می گردد، تابعی است از ضریب سطحی، درجه حرارت هادی و محیط اطراف و همچنین قطر هادی که در مجموع مقدار حرارت دفع شده از این طریق را می توان از رابطه (۴) بدست آورد:

$$4)\quad W_r = 0.1387E.d.\left[(\frac{T_c}{100})^4 - (\frac{T_a}{100})^4\right]$$

W_r: حرارت دفع شده در اثر تشعشعی، وات بر فوت طول.

E: ضریب انتشار سطح هادی.

۲-۳) **حرارت تولیدی توسط تابش مستقیم خورشید:** مقدار حرارت دریافتی از خورشید بستگی به سطح آفتاب خورشید و ضریب جذب سطح هادی دارد که مقدار آنرا می توان از رابطه (۵) بدست آورد:

$$5)\quad W_s = 12 \times \alpha \times d \times Q_s$$

W_s: حرارت تولیدی در اثر تابش خورشید برحسب وات بر فوت طول.

α: ضریب جذب سطح هادی.

Q_s: توان تابشی خورشید برحسب وات بر اینچ مربع.

۲-۴) **حرارت تولیدی در اثر تلفات الکتریکی:** مقدار تلفات الکتریکی در هر فاز از رابطه (۶) بدست میاید:

$$6)\quad W_j = R.I^2$$

W_j: حرارت تولیدی در اثر تلفات ژول برحسب وات برفوت طول.

R: مقاومت هادی برحسب اهم برفوت طول.

I: جریان عبوری از هادی برحسب آمپر.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

استاد: پزشکیان

۵-۲) **جریان مجاز:** جریان مجاز هادی را می توان با جایگذاری مقدار W_j در رابطه (۱) که به صورت رابطه (۷) نشان داده شده است بدست آورد:

$$7)\ R.I^2 + W_s = W_c + W_r$$

با استفاده ازر وابط ۳.۴.۵.۶.۷ می توان مقدار جریان مجاز را بدست آورد که نتیجه در رابطه (۸) نشان داده شده است:

$$8)\ I = \sqrt{(W_c + W_r - W_s)/R}$$

همانطور که این رابطه نشان می دهد، مقدار جریان مجاز شدیداً تابعی است از وضعیت تبادل حرارتی هادی ها با محیط اطراف.

۳) عوامل مؤثر در جریان مجاز:

۳-۱) **قطرهادی:** وقتی قطر هادی اضافه می شود، جریان مجاز آن نیز افزایش می یابد. یا به عبارت دیگر جریان مجاز هادی های قطور به مراتب بیشتر از هادی های نازک می باشد، که همین عامل باعث می شود برای انتقال توان بالا از هادی های قطورتر استفاده گردد. به کمک جداول (۲ تا۷) می توان تأثیر تغییرات قطر هادی در مقدار جریان مجاز هادی ها رامطالعه نمود. همانطورکه ملاحظه می شود وقتی نوع هادی از Lynx به curlew تغییر می کند مقدار جریان مجاز تا دو برابر افزایش می یابد.

۳-۳) **درجه حرارت هادی:** جدول (۳) تأثیر تغییرات درجه حرارت هادی را در جریان مجاز پنج هادی استاندارد کشور نشان میدهد.

۳-۲) **درجه حرارت محیط:** بر مبنای اطلاعات جدول (۱) و با در نظر گرفتن درجه حرارت ماکزیمم محیط ۵۵و۳۵ درجه برای مناطق گرمسیر و سردسیر مقدار جریان مجاز برای هادی Curlew ، به ترتیب برابر ۱۰۴۴و۷۵۹ آمپر بدست می یاید که حدود ۴۰ درصد افزایش جریان مجاز در منطقه سردسیر رانشان می دهد. ضمناً جدول (۲) جریان مجاز پنج هادی استاندارد کشور را درشرایط مختلف نشان می دهد.

۳-۴) **شرایط سطحی هادی:** برحسب اینکه سطح هادی روشن یا کدر باشد، مقادیر آنها به صورت زیر تغییر می کنند:

- برای هادی نو(رنگ روشن) ۰.۲
- برای هادی اکسید نرمال (رنگ کدر) ۰.۵
- برای هادی اکسید کامل (رنگ سیاه) ۰.۹ می باشد.

جدول (۴) تأثیر تغییرات ضریب سطحی را در میزان جریان مجاز نشان می دهد، همانطور که از این جدول مشهود است تأثیر این فاکتور در مقدار جریان مجاز زیاد نمی باشد.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۳-۵) **توان تابشی خورشید:** جدول (۵) تأثیر تغییرات توان تابشی خورشید را در پنج هادی استاندارد کشور نشان می دهد همانطورکه از این جدول پیداست تابش خورشید ممکن است حدود ۲۰ درصد جریان مجاز هادی ها را تقلیل دهد.

۳-۶) **سرعت باد:** جدول (۶) تأثیر تغییرات سرعت باد را در جریان مجاز هادی ها نشان می دهد. اما در عمل برای محاسبه مقدار جریان ماکزیمم مجاز جریان سرعت باد دو فوت برثانیه منظور می گردد.

۳-۷) **فشار هوا:** با افزایش ارتفاع منطقه چون فشار هوا کاهش می یابد در نتیجه جریان مجاز هادی ها نیز تقلیل می یابد (صرفنظر می گردد). جدول (۷) تأثیر تغییرات فشار هوا را در مقدار جریان مجاز هادی ها نشان می دهد. برای محاسبه فشار هوا در مناطق مختلف می توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$9)\quad P_n = P_0\left(1-\frac{h}{44.3}\right)^{5.28}$$

P_n: فشار هوا در ارتفاع h برحسب اتمسفر.

P_0: فشار هوا در سطح دریا برحسب اتمسفر.

h: ارتفاع منطقه برحسب کیلومتر.

لازم است مقدار جریان مجاز هادی های خطوط انتقال نیرو برای بدترین شرایط مسیر محاسبه گردد تا در هیچ محل مقدار آ ن از حد تجاوز ننماید.

پارمتر مورد مطالعه	مقدار پیشنادی
قطر هادی	با توجه به نوع هادی انتخاب می گردد
درجه حرارت محیط	درجه حرارت ماکزیمم منطقه
حداکثر درجه حرارت هادی ACSR معمولی	۹۰ درجه سانتیگراد
ضریب انتشار یا جذب سطح هادی	٪۹۰
حداکثر توان تابش خورشید	٪۶۶ وات بر اینچ مربع
سرعت باد	۲ فوت بر ثانیه
فشار هوا	یک اتمسفر

جدول (۱) ارقام متداول برای پارمترهای مورد نیاز در محاسبه جریان مجاز هادی های ACSR

* در خطوط انتقال نیرو در بسیاری موارد به دلائل مختلف امکان عبور جریانی در حد مجاز هادی ها میسر نمی باشد، به همین دلیل از نظر اقتصادی سقف درجه حرارت هادی ها کمتر از درجه حرارت مجاز آن انتخاب می گردد. (حدود ۶۰ تا ۹۰)

درجه حرارت محیط °C	Lynx 362 KCM	Hawk 477 KCM	Drake 795 KCM	Canary 900 KCM	Curlew 1033 KCM
۳۰	۵۶۶	۶۷۱	۹۳۳	۱۰۰۸	۱۱۰۲
۳۵	۵۳۷	۶۳۶	۸۸۵	۹۵۵	۱۰۴۴
۴۰	۵۰۷	۶۰۰	۸۳۳	۸۹۹	۹۸۲
۴۵	۴۷۴	۵۶۰	۷۷۷	۸۳۸	۹۱۵
۵۰	۴۳۸	۵۱۷	۷۱۵	۷۷۱	۸۴۱
۵۵	۳۹۸	۴۶۹	۶۴۶	۶۹۶	۷۵۹

جدول (۲) تأثیر درجه حرارت محیط در جریان مجاز هادی ها

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

استاد: پزشکیان

Curlew 1033 KCM	Canary 900 KCM	Drake 795 KCM	Hawk 477 KCM	Lynx 362 KCM	درجه حرارت محیط °C
۵۱۸	۴۸۱	۴۵۰	۳۳۸	۲۹۰	۶۵
۶۴۲	۵۹۲	۵۵۱	۴۰۶	۳۴۶	۷۰
۷۴۳	۶۸۳	۶۳۵	۴۶۴	۳۹۴	۷۵
۸۳۲	۷۶۳	۷۰۸	۵۱۴	۴۳۵	۸۰
۹۱۰	۸۳۴	۷۷۴	۵۵۹	۴۷۳	۸۵
۹۸۲	۸۹۹	۸۳۳	۶۰۰	۵۰۷	۹۰

جدول (۳) تأثیر تغییرات درجه حرارت هادی در جریان مجاز هادی ها

Curlew 1033 KCM	Canary 900 KCM	Drake 795 KCM	Hawk 477 KCM	Lynx 362 KCM	ضریب سطحی هادی
۹۵۴	۸۷۵	۸۱۲	۵۸۸	۴۹۸	۰/۳۰
۹۶۳	۸۸۳	۸۱۹	۵۹۲	۵۰۱	۰/۴۰
۹۷۱	۸۹۰	۸۲۵	۵۹۷	۵۰۵	۰/۵۰
۹۸۰	۸۹۷	۸۳۲	۶۰۱	۵۰۸	۰/۶
۹۸۸	۹۰۵	۸۳۹	۶۰۵	۵۱۲	۰/۷۰
۹۹۶	۹۱۲	۸۴۵	۶۰۹	۵۱۵	۰/۸۰
۱۰۰۴	۹۱۹	۸۵۲	۶۱۴	۵۱۹	۰/۹۰

جدول (۴) تأثیر تغییرات شرایط سطحی هادی در جریان مجاز هادی ها

Curlew 1033 KCM	Canary 900 KCM	Drake 795 KCM	Hawk 477 KCM	Lynx 362 KCM	توان تابشی خورشید W/in
۱۱۹۲	۱۰۸۷	۱۰۰۵	۷۱۳	۵۹۹	۰/۰۰
۱۱۶۶	۱۰۶۳	۹۸۳	۶۹۹	۵۸۷	۰/۱۰
۱۱۳۹	۱۰۳۹	۹۶۱	۶۸۴	۵۷۶	۰/۲۰
۱۱۱۱	۱۰۱۴	۹۳۸	۶۷۰	۵۶۴	۰/۳۰
۱۰۸۲	۹۸۹	۹۱۵	۶۵۵	۵۵۱	۰/۴۰
۱۰۵۳	۹۶۳	۸۹۱	۶۳۹	۵۳۹	۰/۵۰
۱۰۲۳	۹۳۶	۸۶۷	۶۲۳	۵۲۶	۰/۶۰

جدول (۵) تأثیر تغییرات توان تابشی خورشید در جریان مجاز هادی ها

Curlew 1033 KCM	Canary 900 KCM	Drake 795 KCM	Hawk 477 KCM	Lynx 362 KCM	سرعت باد فوت بر ثانیه
۱۰۰۴	۹۱۹	۸۵۲	۶۱۴	۵۱۹	۲
۱۰۹۶	۱۰۰۴	۹۳۱	۶۷۱	۵۸۶	۳
۱۱۶۸	۱۰۷۰	۹۹۲	۷۱۶	۶۰۶	۴
۱۲۲۸	۱۱۲۵	۱۰۴۴	۷۵۴	۶۳۸	۵
۱۲۸۰	۱۱۷۳	۱۰۸۸	۷۸۶	۶۶۵	۶
۱۳۲۶	۱۲۱۵	۱۱۲۷	۸۱۵	۶۸۹	۷
۱۳۶۷	۱۲۵۳	۱۱۶۲	۸۴۰	۷۱۱	۸

جدول (۶) تأثیر تغییرات سرعت باد در جریان مجاز هادی ها

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

فصل هفتم: تلفات الکتریکی در خطوط انتقال نیرو

در خطوط انتقال و توزیع نیرو، تلفات الکتریکی تابعی است از میزان توان انتقالی، ضریب قدرت، مقاومت هادی، طول و ولتاژ خط انتقال.

۱) **تلفات توان:** به طور کلی تلفات توان یا قدرت در یک خط انتقال نیرو و سه فازه که مقاومت هادی های هر فاز آن R و جریان عبوری I باشد، به کمک رابطه (۱) محاسبه می گردد:

1) $P_L = 3R.I^2$

2) $I = \frac{P}{\sqrt{3}U.\cos\phi}$

3) $P_L = R.(\frac{P}{U.\cos\phi})^2$

رابطه (۳) برای خطوط یک مداره با یک هادی در هر فاز صادق است اما در صورتیکه تعداد مدارات و هادی ها در هر فاز بیش از یک عدد باشند، تلفات توان در خط انتقال نیرو را می توان از رابطه کلی (۴) به دست آورد.

4) $P_L = \frac{1000R}{N_C.N_S}.(\frac{P}{U.\cos\phi})^2$

P_L: تلفات قدرت در یک کیلومتر از طول خط برحسب کیلووات

R: مقاومت هر هادی برحسب اهم بر کیلومتر

$\cos\phi$: ضریب قدرت بار عبوری از خط

I: جریان عبوری از خط برحسب آمپر

N_C: تعداد مدارات خط انتقال

V: ولتاژ فاز با فاز خط انتقال برحسب کیلوولت

N_S: تعداد هادی های هر فاز

P: قدرت عبوری از خط انتقال برحسب مگاوات

۲) **محاسبه تلفات انرژی:** در صورتی که بار عبوری از خط انتقال و مقاومت هادی های ثابت باقی بماند، میزان تلفات در تمام ساعات مختلف بهره برداری یکسان می باشد و در چنین شرایط مقدار تلفات انرژی (E_L) دریک دوره T ساعته از رابطه زیر به دست می آید:

5) $E_L = T.P_L$

اما در عمل چون نیاز مصرف و درجه حرارت هادی ها دائماً درحال تغییر می باشند مقدار تلفات توان در ساعات مختلف شبانه روز متفاوت خواهد بود. در نتیجه نمی توان از رابطه قبل برای محاسبه تلفات استفاده نمود بلکه لازم است مقدار تلفات انرژی به صورت زیر تعریف گردد:

6) $E_L = T.L_{SF}.P_L$

T: دوره مطالعه به ساعت که برای یک دوره یک ساله برابر ۸۷۶۰ می باشد

P_L: تلفات خط در پیک بار

L_{SF}: ضریب تلفات در دوره مطالعه

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

$$\text{ضریب تلفات} = \frac{\text{تلفات انرژی در دوره مطالعه}}{\text{تلفات در بار پیک} * \text{ساعات بهره برداری}} \qquad 7)\ L_{SF} = \frac{E_L}{T.P_L}$$

$$\text{ضریب بار} = \frac{\text{انرژی انتقالی در دوره مطالعه}}{\text{پیک بار خط انتقال} * \text{ساعات بهره برداری T}} \qquad 8)\ L_F = \frac{E}{T.P}$$

ضریب تلفات معمولا به صورت تابعی از ضریب بار خط انتقال تعریف می شود که برحسب مورد به شکل های مختلفی نشان داده می شود که ذیلاً به چند مورد از آنها اشاره می گردد.

۳) **ضریب تلفات:** از آنجا که در تمامی مدل های محاسباتی مربوط به تلفات انرژی ضریب تلفات به صورت تابعی از ضریب بار تعریف شده است لذا قبل از ارائه این مدل ها، لازم است ضریب بار و تلفات معرفی شوند. در یک شبکه برقرسانی یا در یک خط انتقال یا توزیع نیرو، ضریب بار و ضریب تلفات به صورت زیر تعریف می شوند:

$$9)\ L_F = \frac{E}{T.P}$$

$$10)\ L_{SF} = \frac{E_L}{T.P_L}$$

L_F: ضریب بار در دوره T — P: ماکزیمم توان انتقالی (پیک مصرف)

L_{SF}: ضریب تلفات در دوره T — P_L: ماکزیمم تلفات توان (تلفات در بار پیک)

E: انرژی انتقالی در دوره T — T: دوره مطالعه، ساعت

E_L: انرژی تلف شده در دوره T

با توجه به اطلاعات اولیه خطوط انتقال نیرو می توان نسبت به محاسبه این دو ضریب اقدام نمود اما چون محاسبه مستقیم ضریب تلفات قدری پیچیدگی و وقتگیر می باشد لذا در محاسبات، این ضریب را به صورت تابعی از ضریب بار و به صورت زیر تعریف می کنند.

۳-۱) **روش اول:** این مدل برای مصارفی با ضریب بارهای بالا مناسب است اما برای ضریب بارهای پایین خطای محاسبه ممکن است به بیش از ده درصد برسد، به همین دلیل استفاده از این مدل در شبکه ایران مناسب نمی باشد.

$$11)\ L_{SF} = L_F^{\,2}$$

۳-۲) **روش دوم:**

$$12)\ L_{SF} = L_F^{\,x}$$

مقدار x، برای شبکه مورد مطالعه درمحدوده ۱/۹۱ تا ۱/۹۳ اعلام شد. در این مدل در صورتیکه ضریب بار از ۰/۴ تا ۰/۸ تغییر نماید (یعنی محدوده تغییرات ضریب بار در انواع مختلف مصارف کشور) مقدار ضریب تلفات برای بارهای نرمال تا ۱/۱ برابر نمونه اول، افزایش می یابد. بنابراین اگر قرار باشد از این مدل استفاده شود، باید مقدار x برای شرایط شبکه مورد مطالعه محاسبه گردد.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۳-۳) **روش سوم:** در اکثر کتاب های مرجع یا مقالات علمی منتشر شده در کنفرانس های برق، ضریب بار به صورت کلی زیر تعریف شده است:

13) $L_{SF} = a.L_F^{\,2} + (1-a).L_F$

ضریب ثابت مقدار a در مراجع مختلف و باتوجه به نوع مصرف بین ۰/۷ تا ۱ در نظر گرفته شده است، اما اگر قرار باشد از این مدل در شبکه استفاده گردد، این ضریب باید برای شبکه مورد مطالعه، محاسبه گردد. مطالعات انجام شده که با استفاده از مدل کلی فوق انجام گرفته است، مقدار a را با توجه به نوع مصرف به شرح زیر محاسبه نموده است:

مصارف صنعتی بزرگ	۰/۹۸
متوسط شبکه سراسری	۰/۹۵
مصارف مناطق گرمسیری	۰/۸۰

۴-۳) **روش چهارم:** برخلاف مدل های قبلی در این روش، ضریب تلفات به صورت تابعی از ضریب بار و منحنی تغییرات بار تعریف شده است و در نتیجه دارای دقت بیشتری برای محاسبه تلفات خطوط انتقال و توزیع نیرو می باشد، در این مدل رابطه ضریب تلفات و ضریب بار به صورت زیر بیان شده است:

14) $L_{SF} = K.L_F^{\,2}$

15) $K_{\max} = (0.96 + 0.04/x^2)$

16) $K_{av} = \dfrac{1+K_{\max}}{2}$

17) $x = \dfrac{P_{\min}}{P_{\max}}$

P_{max}: حداکثر بار یا پیک بار.

P_{min}: حداقل بار (منظور حداقل نرمال می باشد).

K_{av}: مقدار متوسط ضریب K .

مقدار K برای مصارف مشخص تقریباً مقدار ثابتی را دارا می باشد که ذیلاً به چند مورد آن اشاره می گردد:

منطقه	ضریب بار	K
مناطق صنعتی یا مناطقی با ضریب بار:	0.7 تا 0.8	1.03
شهرهای بزرگ یا مناطقی با ضریب بار:	0.6 تا 0.7	1.06
شهرهای متوسط یا مناطقی باضریب بار:	0.5 تا 0.6	1.09
مناطق کشاورزی یا مناطقی با ضریب بار:	0.4 تا 0.5	1.11
مناطق گرمسیری یا مناطقی با ضریب بار:	0.3 تا 0.4	1.12
متوسط بار شبکه سراسری یا مناطقی باضریب بار:	0.6	1.08

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

اگر اطلاعاتی از بار عبوری در دسترس نباشد، مقدار K را می توان با توجه به ماهیت مصرف انتخاب نمود و در صورتیکه ماهیت مصرف هم به روشنی مشخص نباشد می توان K را با توجه به مقدار متوسط شبکه سراسری در نظر گرفت یا:

18) $L_{SF} = 1.08 L_F^{\ 2}$

اما اگر اطلاعات کلی از نوع بار مصرفی که خطوط انتقال نیرو مورد مطالعه آنرا تغذیه می نمایند در دست باشد، می توان با توجه به نوع مصرف مقدار K را مطابق شرح قبلی با دقت بیشتری محاسبه نمود.

۵-۳) **انتخاب روش مناسب:** تلفات انرژی الکتریکی در دو خط انتقال یا توزیع نیرو مشخص، می توان به کمک هر یک ازمدل های ارائه شده در قبل محاسبه گردد، اما در تحت هر شرایطی لازم است ضرایب ثابت مدل ها برای شبکه یا خط انتقال، مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد، چون در غیر این صورت ممکن است خطای محاسبه در اثر عدم دقت در انتخاب مدل مناسب افزایش یابد.

برای تعیین ضرایب ثابت در یک شبکه مشخص، لازم است تلفات انرژی و تلفات در بار پیک در یک دوره مشخص محاسبه و با توجه به اطلاعات واقعی نسبت به تعیین ضرایب ثابت اقدام نمود. البته هر چه دوره مطالعه طولانی تر باشد به مدل های بهتری می توان دسترسی پیدا کرد.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

فصل هشتم: پدیده کرونا در خطوط انتقال نیرو

تلفات کرونا یکی از پارامترهای مهم و مؤثر در انتخاب قطر و تعداد هادی ها در هر فاز می باشد، که در ولتاژهای بالای ۲۳۰ کیلو ولت اهمیت آن بیشتر می گردد. در خطوط انتقال نیرو وقتی گرادیان ولتاژ در سطح هادی ها از حد شکست هوای اطراف تجاوز نماید باعث ایجاد حرارت و واکنش های شیمیایی می گردد (تولید اوزون). تولید نور و صدا که قابل رؤیت و شنیدن نیز می باشد، همراه با اغتشاشات مخابراتی از دیگر آثار سوء پدیده کرونا می باشند.

۱- گرادیان ولتاژ:

گرادیان ولتاژ که باعث یونیزاسیون و شکست هوا می گردد با توجه به ناخالصی هوا، درجه حرارت و فشار هوا ارقام مختلفی را به خود اختصاص می دهد که مقدار آن 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 برابر است با ۳۰ کیلو ولت بر سانتیمتر می باشد، که اگر برمبنای ولتاژ موثر محاسبه گردد مقدار آن برابر ۲۱/۲ کیلو ولت بر سانتیمتر خواهد شد. در دیگر شرایط آن را به صورت تابعی از دانسیته نسبی هوا نشان می دهند، یا مقدار گرادیان ولتاژ برابر است

$$1)\quad g_0 = \frac{30}{\sqrt{2}} = 21.2 \qquad\qquad g = \delta . g_0$$

در شرایط استاندارد $\delta = 1$ می باشد، اما در دیگر شرایط مقدار آن را می توان بصورت رابطه (۲) نشان داد:

$$2)\quad \delta = 3.92\, P/T$$

دراین رابطه P فشار هوا برحسب سانتیمتر جیوه می باشد، که با تغییر فشار هوا از سانتیمتر جیوه به اتمسفر رابطه (۲) به صورت رابطه (۳) درمی آید.

$$3)\quad \delta = 298\, P/T$$

g: گرادیان ولتاژ بر حسب کیلو ولت بر سانتیمتر

δ: دانسیته نسبی هوا

P: فشار هوا برحسب اتمسفر (درشرایط استاندارد مقدار آن برابر یک اتمسفر یا ۷۶ سانتیمتر جیوه می باشد.)

T: درجه حرارت هوا، درجه کلوین ($T = 273 + t_a$)، که دراین رابطه t_a درجه حرارت محیط برحسب درجه سانتیگراد می باشد و در شرایط استاندارد مقدار آن ۲۵ درجه سانتیگراد می باشد).

جدول (۱) فشار هوا را بصورت
تابعی از ارتفاع محل نشان می دهد، که به کمک ارقام این جدول و رابطه (۱) میتوان حد مجاز گرادیان ولتاژ را در مناطق مختلف بدست آورد. با توجه به اینکه دلیلی وجود ندارد که هوا همواره خالص باشد، لذا در محاسبات مهندسی مقدار گرادیان ولتاژ مجاز (g_p) حدود ۰/۸۵ تا ۰/۹۰ مقدار g در نظر گرفته می شود یا:

4) $g_p = 0.9\delta.g_0$

- جدول (۲) مقدارگرادیان مجاز را برای چند حالت مختلف برمبنای $g_p = 0.9g$ نشان می دهد. البته در عمل باید درجه حرارت محیط بر مبنای متوسط سال منظور گردد . برمبنای درجه حرارت متوسط ۲۰ درجه سانتیگراد و ارتفاع ۱۰۰۰ متر که شرایط غالبی است برای بسیاری از نقاط کشور ، مقدار گرادیان ولتاژ برابر ۱۷/۲ کیلوولت بر سانتیمتر بدست می آید.

۲- **گرادیان ولتاژ درسطح هادی:** برای محاسبه مقدار گرادیان ولتاژ در شرایط استاندارد و هوای تمیز در روی سطح یک هادی صاف و استوانه ای شکل می توان از رابطه زیر استفاده نمود:

5) $g_c = \frac{V}{r.\log_e(D/r)}$

با توجه به اینکه هادی های متداول در خطوط انتقال نیرو از نوع رشته ای می باشند، لازم است ضریب شرایط سطحی هادی ها نیز در محاسبه گرادیان ولتاژ دخالت داده شود، که در چنین حالتی رابطه فوق به صورت رابطه زیر در می آید:

6) $g_c = \frac{V}{r.m.\log_e(D/r)}$

با توجه به اینکه در عمل خطوط انتقال نیرو از مناطق مختلفی عبور می کند، لذا لازم است در رابطه بالا مقدار چگالی هوا یا δ نیز منظور گردد، که در چنین شرایط رابطه (۶) به صورت زیر در می آید:

7) $g_c = \frac{V}{\delta.r.m.\log_e(D/r)}$

چون آلودگی محیط نیز در مقدار گرادیان ولتاژ دخالت دارد، لذا برای دخالت دادن این عامل در محاسبات باید مقدار g_c بر ضریب ۰/۸۵ تا ۰/۹ تقسیم گردد. دراین روابط:

g_c: گرادیان ولتاژ درروی سطح هادی برحسب کیلو ولت بر سانتیمتر

V: ولتاژ فازی برحسب کیلو ولت

D: فاصله متوسط هندسی فازها برحسب سانتیمتر

r: شعاع هادی برحسب سانتیمتر

m: ضریبی است متناسب با سطح هادی، که برای هادیهای لوله ای صاف مقدار آن برابر یک و برای هادیهای رشته ای معمولی و سالم مقدار آن حدود ۰/۸ تا ۰/۸۵ می باشد.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۳- **ولتاژ بحرانی:** به کمک رابطه (۷) می توان با انتخاب قطر مناسب برای هادی گرادیان ولتاژ را درحد مطلوب کنترل نمود. اما برای محاسبه ولتاژ بحرانی در سطح هر هادی می توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$8)\quad V_e = g_p.m.\delta.r.\ln\frac{D}{r}$$

$$9)\quad V_e = g_p.m.\delta^{2/3}.r.\ln\frac{D}{r}$$

مقدار g_c حداکثر می تواند برابر ۲۱.۲ باشد اما در عمل مقدار آن کمتر از رقم فوق در نظر گرفته می شود. در صورتیکه ولتاژ مؤثر فازی خط انتقال به حد ولتاژ بحرانی برسد، یونیزاسیون هوای اطراف آن آغاز می گردد، اما این حد از ولتاژ نمی تواند هاله روشن بنفش رنگ را در طراف هادی پدیدار نماید، مگر آنکه گرادیان ولتاژ ازمقدار g_p تا حد مقدار g_v که از رابطه (۱۰) بدست می آید، افزایش یابد، در چنین حالتی مقدار ولتاژ بحرانی در سطح هادی از رابطه (۱۱) بدست می آید:

$$10)\quad g_v = g_p.(1+\frac{0.3}{\sqrt{\delta r}}) \qquad 11)\quad V_v = g_p.m.\delta.r.(1+\frac{0.3}{\sqrt{\delta r}})\ln\frac{D}{r}$$

۴- **گرادیان ولتاژ درخطوط بندل:** درصورت استفاده از خطوط بندل گرادیان ولتاژ درسطح هادی کاهش می آبد و هر چه برتعداد هادی های فرعی هر فاز افزوده گردد از مقدار گرادیان ولتاژ و در نتیجه تلفات کرونا و اغتشاشات مخابراتی و محیط زیستی خطوط انتقال کاسته می گردد. با بندل کردن هادی ها این امکان نیز به وجود می آید تا در خطوط انتقال ولتاژ بالا امکان استفاده از چند هادی نازک به جای یک هادی قطور میسر گردد، در چنین حالت مقدار ماکزیمم گرادیان ولتاژ در سطح هادی از رابطه زیر به دست می آید:

$$12)\quad g_{\max} = \frac{K.V}{\delta.m.r.\log_e(D/r)}$$

g_{max}: گرادیان ماکزیمم برحسب کیلو ولت برسانتیمتر.

n_S: تعداد هادی های فرعی در هر فاز.

d_S: فاصله هادی های فرعی ازیکدیگر برحسب سانتیمتر.

r_b: شعاع معادل هادی های بندل.

$$13)\quad K = 1+\frac{2r.(n-1).\sin(\pi/n_S)}{d_S}$$

$$14)\quad r_b = \left[n_S.r.\left(\frac{d_S}{2\sin(\pi/n)}\right)^{n_S-1}\right]^{1/n_S}$$

۵- **تلفات کرونا:** برای محاسبه تلفات کرونا درهوای خوب روش های مختلفی وجود دارد، که یکی از آنها رابطه (۱۵) می باشد که توسط پیک ارائه گردید:

$$15)\quad P_c = \frac{0.545(V-V_c)^2.\sqrt{r/D}}{\delta} \qquad V > V_c$$

بررسی های انجام شده نشان می دهد وقتی مقدار تلفات کرونا کم باشد این رابطه دارای دقت خوبی نیست و در چنین موارد استفاده از روش پیترسون که به صورت رابطه (۱۶) تعریف گردیده است دارای دقت بهتری است:

$$16)\quad P_c = 0.00314.F.\left(\frac{V}{\log_{10}(D/r)}\right)^2 \qquad V < 1.8V_c$$

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

P_c: تلفات کرونا در هر کیلومتر از خط سه فاز برحسب کیلو وات.

V: ولتاژ مؤثر فازی برحسب کیلو ولت.

D: فاصله متوسط هندسی فازها برحسب سانتیمتر.

r: شعاع هادی برحسب سانتیمتر.

F: ضریبی است مشخص و تابعی از مقادیر ولتاژ مؤثر و بحرانی خط انتقال که مقادیر آن در شرایط مختلف در جدول (۳) و(۴) و (۵)، نشان داده شده است.

۶- **تعیین حداقل مقطع مناسب:** تعیین حداقل سطح مقطع هادی ها با توجه به حد مجاز گرادیان ولتاژ محاسبه می گردد، که در طراحی خطوط انتقال نیرو ایران، این حد مجاز ۱۷ کیلو ولت بر سانتیمتر در نظر گرفته می شود. جدول (۶) حداقل مقطع مناسب برای سطوح ولتاژ استاندارد کشور یعنی ۶۳ و ۱۳۲ و ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلو ولت را نشان می دهد.

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

جدول (۱) فشار هوا برحسب ارتفاع منطقه

ارتفاع	درجه حرارت محیط (سانتیگراد)				
متر	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
۰	۲۰/۷	۱۹/۹	۱۹/۴	۱۸/۶	۱۸/۰
۵۰۰	۱۹/۵	۱۸/۷	۱۸/۲	۱۷/۵	۱۶/۹
۱۰۰۰	۱۸/۳	۱۷/۶	۱۷/۲	۱۶/۵	۱۵/۹
۱۵۰۰	۱۷/۲	۱۶/۶	۱۶/۲	۱۵/۵	۱۵/۰
۲۰۰۰	۱۶/۲	۱۵/۶	۱۵/۲	۱۴/۶	۱۴/۱

جدول (۲) مقدار گرادیان مجاز با توجه به تنوع ارتفاع و درجه حرارت محیط
(در این جدول ۹۰٪ گرادیان ولتاژ به عنوان گرادیان مجاز در نظر گرفته شده است)

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

V/V_c	F	V/V_c	F	V/V_c	F	V/V_c	F
۱/۰۰	۰/۰۳۷	۱/۲۶	۰/۱۲۰	۱/۵۲	۱/۱۰۰	۱/۷۸	۴/۷۲۰
۱/۰۲	۰/۰۳۹	۱/۲۸	۰/۱۳۶	۱/۵۴	۱/۳۳۰	۱/۸۰	۴/۹۵۰
۱/۰۴	۰/۰۴۲	۱/۳۰	۰/۱۵۴	۱/۵۶	۱/۵۴۰	۱/۸۲	۵/۱۷۰
۱/۰۶	۰/۰۴۵	۱/۳۲	۰/۱۷۶	۱/۵۸	۱/۸۸۰	۱/۸۴	۵/۳۹۰
۱/۰۸	۰/۰۴۸	۱/۳۴	۰/۲۰۰	۱/۶۰	۲/۲۰۰	۱/۸۶	۵/۶۰۰
۱/۱۰	۰/۰۵۲	۱/۳۶	۰/۲۲۸	۱/۶۲	۲/۵۲۰	۱/۸۸	۵/۸۱۰
۱/۱۲	۰/۰۵۷	۱/۳۸	۰/۲۶۰	۱/۶۴	۲/۸۳۰	۱/۹۰	۶/۰۱۰
۱/۱۴	۰/۰۶۳	۱/۴۰	۰/۳۰۰	۱/۶۶	۳/۱۳۰	۱/۹۲	۶/۲۱۰
۱/۱۶	۰/۰۶۹	۱/۴۲	۰/۳۸۰	۱/۶۸	۳/۴۲۰	۱/۹۴	۶/۴۱۰
۱/۱۸	۰/۰۷۵	۱/۴۴	۰/۴۸۰	۱/۷۰	۳/۷۰۰	۱/۹۶	۶/۶۱۰
۱/۲۰	۰/۰۸۲	۱/۴۶	۰/۶۰۰	۱/۷۲	۳/۹۷۰	۱/۹۸	۶/۸۱۰
۱/۲۲	۰/۰۹۲	۱/۴۸	۰/۷۴۰	۱/۷۴	۴/۲۳۰	۲/۰۰	۷/۰۰۰
۱/۲۴	۰/۱۰۵	۱/۵۰	۰/۹۰۰	۱/۷۶	۴/۴۸۰		

جدول (۳) مقدار F برحسب مقادیر مختلفی از V/V_c

ولتاژ خط	طول خط km	تلفات kw/km
۲۳۰	۴۰۰	۰/۲۵
۳۴۵	۵۰۰	۱/۲

جدول (۴) تلفات کرونا در دو خط مشخص

کد هادی	قطر هادی میلیمتر	رابطه پیک کیلووات بر کیلومتر- سه فاز		روش پیترسون کیلووات بر کیلومتر- سه فاز	
		g = 21.2	g = 17	g = 21.2	g = 17
Canary (900 KCM)	۲۹/۵۱	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز
Drake (795 KCM)	۲۸/۱۳	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز
Hawk (477 KCM)	۲۱/۷۸	ناچیز	۱۱/۶۵	ناچیز	۰/۵۹
Lynx (362 KCM)	۱۹/۵۳	۲/۰۷	۲۱/۰۱	۰/۳۲	۰/۹۴
Oriole (336 KCM)	۱۸/۸۳	۳/۵۹	۲۴/۲۱	۰/۳۶	۱/۱۰

جدول (۵) تلفات کرونا یک کیلومتر از خط انتقال نیرو ۲۳۰ کیلوولت در هوای خوب
(به کمک رابطه پیترسون و پیک) (D=100000cm, m=.85, $T_a = 25°C$, P=.885Atm)

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

برمبنای گرادیان ولتاژ g = 17KV/Cm				برمبنای گرادیان ولتاژ g = 21.2KV/Cm				ولتاژ خط کیلوولت
ns=4	ns=3	ns=2	ns=1	ns=4	ns=3	ns=2	ns=1	
Lynx	Drake	Martin	**	Partridge	Lynx	Drake	**	۴۰۰
Dog	Dog	Lynx	Drake	Mink	Dog	Dog	Hawk	۲۳۰
Fox	Fox	Dog	Partridge	Fox	Fox	Fox	Dog	۱۳۲
Fox	Fox	Fox	Fox	Fox	Fox	Fox	Fox	۲۳۰

جدول (۶) حداقل مقطع مناسب در سطوح مختلف ولتاژ برای خطوط انتقال نیرو ساده و بندل بر مبنای دو مقدار متفاوت گرادیان ولتاژ (در این جدول ns تعداد هادی های فرعی در هر فاز می باشد).

* در استاندارد کشور موجود نیست.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

فصل نهم: مسیریابی خطوط انتقال نیرو

درصد عمده ای از حوادث و قطعی های خطوط انتقال نیرو ناشی از آثار جوی و محیطی مسیر خطوط انتقال نیرو می باشد، بنابراین عدم رعایت نکات لازم در مسیریابی می تواند قابلیت اطمینان بهره برداری از خطوط خطوط انتقال نیرو را شدیداً کاهش دهد. لذا در این قسمت تلاش بر این است با توجه به تجارب موجود در سطح شبکه های برقرسانی ایران و سایر کشورهای جهان عوامل موثری که رعایت آنها در مسیریابی ضروری است به طور اختصار اشاره گردد.

۱) مشکلات مرتبط با زمین:

۱-۱) مقاومت زمین: یکی از نکات مهمی که در انتخاب مسیر باید به آن توجه گردد، نوع خاک و مقاومت زمین در مسیر خطوط انتقال نیرو می باشد. عدم رعایت این مطالب باعث می شود، تا سرمایه گذاری مربوط به نصب فونداسیون ها شدیداً افزایش یابند، در این راستا می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- شالیزارها
- زمین های باتلاقی
- زمین های شل و کم مقاومت
- زمین های با سطح آب زیر زمینی بالا
- زمین های ساحلی.

۱-۲) زمینهای صخره ای

۱-۳) زمینهای متحرک

۱-٤) زمینهای گران قیمت:

- منطق شهری
- مناطق پرتراکم
- زمین های کشاورزی
- مناطق صنعتی
- باغ ها و اراضی گران قیمت
- مناطق مسکونی

۲) **مسیل ها و مانداب ها:** حوادث به شرح زیر:

- سیل های اتفاقی یا فصلی
- سیل بی سابقه و گسترش مسیل آنها
- تغییر مسیر رودخانه
- پیش روی آب در برخی مناطق ساحلی
- زمین های پست و آبگیر.

۳) **پرندگان مهاجر:** تلاش می شود که حتی الامکان مسیر را دور از مناطقی با ویژگی های زیر انتخاب نمود:

- حاشیه ماناب ها
- حاشیه دریاچه ها
- نواحی ساحلی
- حاشیه برخی از رودخانه ها

۴) **مناطق حفاظت شده:** حتی الامکان خطوط انتقال را از چنین مناطقی که چند نمونه از آنها به شرح زیر می باشند، عبور نمی دهند:

- مناطق حفاظت شده سازمان حفاظت محیط زیست
- مناطق نظامی
- میادین تیر
- مناطق جنگلی
- پارک ها و مناظر طبیعی خاص
- مناطق تاریخی و آثار باستانی

۵) **باد و طوفان:** در برخی مناطق یا موقعیت های مسیر احتمال وزش باد بیشتر می باشد که از جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- خط رأس کوه ها
- مناطق بادگیر
- دالان های باد
- نواحل ساحلی

۶) **تداخل با سایر سازمان ها:** که باعث تأخیراتی در اجرای پروژه به همراه داشته باشد، دراین رابطه می توان به چند نمونه زیر اشاره نمود:

- حوالی ایستگاه های مخابراتی
- نزدیکی ایستگاه های رادیویی و تلویزیونی و رله های مخابراتی
- مسیرهای موازی با لوله های گاز
- مسیرهای پرواز هواپیما و هلیکوپتر
- مسیر موازی با سیستم های مخابراتی
- مسیر آینده جاده های کشور
- مناطق پیش بینی شده برای شهرک ها
- مناطق پیش بینی شده برای پروژه های صنعتی
- مناطق پیش بینی شده برای فعالیت های نظامی
- عدم تداخل با هر گونه پروژه عمرانی آینده

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۷) **مناطق آلوده:** نواحی ساحلی، مناطق صنعتی، نمکزارها، مناطق کویری و... از نقاط خاصی هستند که دارای آلودگی بالایی می باشند. گرچه تقسیم بندی مناطق آلوده به عوامل مختلفی بستگی دارد، اما به عنوان نمونه می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- مناطقی با آلودگی صنعتی
- سواحل دریاها و دریاچه ها
- مناطقی با طوفان خاک
- نمکزارها یا مناطقی با املاح خورنده
- کویر و بیابان ها

۸) **مناطق کوهستانی:** عواملی که در مناطق کوهستانی خطر آفرین می باشند دارای طیف گسترده ای می باشند و در نتیجه آثار سوء هر یک از آنها نیز متفاوت می باشند، که ذیلاً به چند مورد از آنها اشاره می گردد:

- مناطق بهمن گیر
- دامنه های شمالی کوه های برفگیر
- شیب های تند
- دامنه های کوه با احتمال ریزش سنگ و خاک
- مناطق صعب العبور
- دره های عمیق

۹) **مسائل اجرایی:** به طور کلی نکات مهم زیر در اجرای پروژه های خطوط انتقال نیرو از درجه اهمیت بالایی برخوردار می باشند که باید در هنگام انتخاب مسیر به آن توجه گردد:

- نزدیکی به جاده های دسترسی
- امکان ساخت جاده های فرعی و دسترسی ارزان قیمت
- سهولت رفت وآمد در فصول سرد
- سهولت حمل و نقل
- دسترسی به مصالح ساختمانی
- امکان تأمین و جذب نیروی کار
- امکان اقامت کارکنان درمنطقه

- با توجه به اینکه پس ازاحداث خطوط انتقال نیرو باید پرسنل بهره بردار از آن نگهداری نمایند، لذا لازم است در انتخاب مسیر نکات مهم دیگری که در بهره برداری، تغییرات وتوسعه شبکه نقش دارند، نیز مورد بررسی و توجه قرار گیرند.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

فصل دهم: انتخاب سیم محافظ

سیم محافظ یکی از اجزاء مهم سرمایه گذاری می باشد، به طوریکه سهم مستقیم آن در میزان سرمایه گذاری برحسب تعداد سیم محافظ به ۳ تا ۵ درصد می رسد و اگر تأثیر افزایش وزن برج ها، حجم فونداسیون ها و غیره نیز در محاسبات منظور گردد، این سهم ممکن است به حدود ۱۰٪ سرمایه گذاری کل خطوط انتقال نیرو افزایش یابد. به عبارت دیگر قریب به ۱۰٪ سرمایه گذاری صرف حفاظت آنها در مقابل برخورد صاعقه می گردد.

۱- **شیوه حفاظت:** تجارب بهره برداری از خطوط انتقال نیرو و بررسی های انجام شده نشان می دهد، در صورتیکه سیم محافظ مطابق شکل (۱) یعنی با زاویه ۳۰ درجه برج ها راحفاظت نماید، احتمال برخورد صاعقه به هادی ها تقلیل می یابد. برای ایجاد چنین زاویه حفاظتی، دو راه وجود دارد، نصب یک سیم محافظ مطابق شکل (۱) در ارتفاع بالا یا نصب دو سیم محافظ در ارتفاع پایین تر، اجرای روش اول سبب افزایش ارتفاع برج و در نتیجه وزن آن می گردد. در روش دوم گرچه ارتفاع برج کمتر می باشد، اما وجود دو سیم محافظ در ارتفاع پایین تر ضمن اینکه خود افزایش قیمت سیم محافظ را به همراه دارد، باعث افزایش قیمت برخی از اجزاء دیگر خط انتقال (برج ها و فونداسیون ها و غیره) نیز می گردد، که به هرحال لازم است مهندس طراح با توجه به شکل برج ها و انجام بررسی های فنی و اقتصادی و شرایط جوی منطقه تعداد سیم های محافظ را انتخاب نماید.

۲- **انواع سیم محافظ:** در انتخاب مقطع سیم محافظ لازم است به موارد زیر توجه گردد:

ـــ دارای تحمل در مقابل جریان های زیاد
ـــ داشتن مقاومت مکانیکی کافی
ـــ دارا بودن ضریب هدایت نسبی خوب
ـــ دارای مقاومت کافی در مقابل خوردگی
ـــ دارای قیمت نسبی مناسب.

سیم محافظ معمولاً از فولاد مقاوم (HS Steel) یا فولاد خیلی مقاوم (EHS Steel) یا فولاد روکش آلومینیوم، یا ازهادی هایACSR با مقاومت بالا ساخته می شوند،که در جداول ۱ تا ۵ مشخصا ت برخی از سیم های محافظ متداول درج گردیده است.

۳- **انتخاب سیم محافظ:** مقطع سیم محافظ باید طوری انتخاب گردد، تا ضمن تحمل نیروهای مکانیکی وارده، قادر باشد در مقابل جریان های بالای صاعقه و اتصال کوتاه نیز ازخود مقاومت نشان دهد. مقطع مناسب هر سیم در مقابل جریان های الکتریکی را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$1)\quad I = K.\frac{S}{\sqrt{t}} \Rightarrow S = I.\frac{\sqrt{t}}{K}$$

S: مقطع هادی، t: زمان تخلیه، I: جریان صاعقه، K: بستگی به جنس هادی دارد.

۳-۱) جریان اتصال کوتاه: لازم است در انتخاب مقطع سیم محافظ به این نکته توجه گردد، چون به هر حال میزان جریان عبوری در سیم محافظ در صورت بروز اتصال کوتاه بین فاز با سیم محافظ ممکن است تا ۵۰ درصد جریان اتصال کوتاه عبوری از فازها نیز برسد.

۳-۲) جنس سیم محافظ: ضریب K تابعی است از جنس هادی و تحمل حرارتی آنها در مقابل درجه حرارت های بالا، به طوریکه مقدارآن برای سیمه ای فولاد با روکش آ لومینیوم بین ۶۰ تا ۱۲۵ تغییر می کند.

۳-۳) جریان صاعقه: مقدار جریان صاعقه ممکن است به بیش از یکصد کیلوآمپر برسد.

۳-٤) مقاومت الکتریکی: میزان حرارت تولیدی در سیم محافظ تابعی است از مقاومت الکتریکی آن و هر چه مقدار آن کمتر باشد حرارت تولیدی نیز کمتر می شود.

۳-۵) تداوم جریان: جریان صاعقه در فاصله یک تا ده میکروثانیه به مقدار اوج خود می رسد و در مدت ۲۰ تا ۱۰۰ میکروثانیه تا مقدار ۵۰ درصد اولیه خود تنزل می کند که مسلماً هرچه تداوم جریان بیشتر باشد اثر سوء آن بیشتر می شود.

۳-٦) سیم زمین: مقاومت پایه برج ها تابعی است از شرایط و نوع خاک زمین و در برخی از مناطق یا شرایط خاصی ممکن است مقاومت زمین بسیار بالا باشد در چنین مواردی، لازم است با نصب سیم های فلزی در فونداسیون و توزیع آن در داخل خاک نسبت به تقلیل مقاومت برج ها اقدام نمود. البته مقاومت زمین به جنس خاک منطقه بستگی دارد که در جدول (۱) مقاومت زمین برحسب نوع و شرایط زمین برای چند منطقه خاص نشان داده شده است. کاهش مقاومت زمین باعث می شود تا زمان تخلیه جریان های ناشی از صاعقه تقلیل یابد. و در نتیجه عامل موثری است در کم شدن مقطع سیم محافظ. ضمناً با این اقدام می توان قطعی های ناشی از موج برگشتی در خطوط انتقال نیرو را نیز کاهش داد. چون اگر مقاومت زمین پای برج ها زیاد باشد، احتمال تخلیه موج از طریق مقره ها نیز وجود دارد (این نوع تخلیه را موج برگشتی {Back flashover} گویند) شکل (۳) مکانیسم یک موج برگشتی را در یک خط انتقال مشخص نشان می دهد.

۳-۷) مقاومت مکانیکی: از آنجا که فواصل برج ها با توجه به دیدگاه های فنی و اقتصادی تعیین می شود، در بسیاری موارد ممکن است مقطع سیم محافظ از دیدگاه عبور جریان های بالا مناسب باشد اما مقاومت مکانیکی آن کافی نباشد، به همین دلیل لازم است همانند انتخاب هادی ها در تعیین مشخصات سیم محافظ نیز به این مطلب مهم توجه گردد.

نوع زمین	مقاومت زمین
مناطق دریایی (آب دریا)	۰/۰۱ - ۱
زمین های باتلاقی	۱۰ – ۱۰۰
زمین خشک	۱۰۰۰
صخره	10^7
شن	10^8
شنگ	10^9

جدول (۱): متوسط مقاومت زمین درمناطق مختلف (اهم برمتر)

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

فصل یازدهم: انتخاب شرایط بارگذاری به کمک آمار هواشناسی منطقه

۱) **مقدمه:** بایستی متذکر شد که در اینجا فرض بر آن است که کارهای مقدماتی طرح از قبیل انتخاب سیم و زنجیره مقره و نیز طرح برج از لحاظ فواصل الکتریکی مورد نیاز هادی انجام گرفته و طرح مقدماتی برج در دست است و هدف محاسبه نیروهای وارد بر برج می باشد.

۲) **تعاریف:** شرایط عادی (EDS، شرایط استاندارد سبک، شرایط حد سبک، شرایط استاندارد متوسط، شرایط یخ متوسط، شرایط باد متوسط، شرایط استاندارد سنگین، شرایط یخ سنگین، شرایط باد شدید، شرایط فوق سنگین.

۳) **شرایط منطقه ای:** با توجه به وسعت کشور و تنوع آب و هوایی در قسمتهای مختلف، مناطق به سه حالت اصلی (سبک، متوسط، سنگین) و یک حالت فوق العاده (فوق سنگین) به ترتیب زیر تقسیم بندی گردیده اند:

۱-۳) **مناطق با شرایط سبک:** در این مناطق درجه حرارت حداقل به(۵-) درجه می رسد، و به علت بالا بودن درجه حرارت در اکثر نقاط و خشکی هوا، ایجاد یخ روی سیم احتمال بسیار ضعیفی داشته است. قسمت های جنوبی کشور یعنی دشت خوزستان، کرانه خلیج فارس و دریای عمان را می توان جزء مناطق دارای شرایط سبک در نظر گرفت. مشخصه این مناطق باد شدید است که حداکثر مقدار آن تا ارتفاع ۲۰ متری ۴۰ متر در ثانیه و بالاتر از آن ۴۵ متر در ثانیه بایستی منظور شود.

۲-۳) **مناطق با شرایط متوسط:** در این مناطق درجه حرارت حداقل به (۵-) درجه رسیده و اغلب به صورت مناطق کویری و خشک بوده و لذا سرعت باد شدید و ضخامت یخ روی سیم بسیار کم می باشد. به طورکلی قسمتهای کویری کشور جزو این مناطق بوده و همچنین جنوب استان خراسان، شمال استان سیستان و بلوچستان، استان یزد و کرمان، جنوب استان لرستان و مناطق غیرکوهستانی استان مازندران می تواند جزو مناطق با شرایط متوسط محسوب گردد. شرایط حد برای این منطقه تند باد با سرعت ۳۵ متر در ثانیه تا ارتفاع ۲۰ متری از سطح زمین و برای ارتفاع بالاتر از آن ۴۰ متر در ثانیه در نظرگرفته می شود. حداکثر ضخامت یخ روی سیم نیز بایستی ۱۵ میلیمتر منظور گردد.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۳-۳) **مناطق با شرایط سنگین:** درجه حرارت حداقل به (۲۵-) درجه می رسد، و به علت وجود رطوبت نسبتاً زیاد در این مناطق ضخامت یخ بالا می باشد. شرایط حد برای این مناطق باد تند با سرعت ۳۵ متر در ثانیه تا ارتفاع ۲۰ متری از زمین و ارتفاع بالاتر از آن ۴۰ متر در ثانیه در نظر گرفته می شود. ضخامت یخ حداکثر ۲۵ میلیمتر بایستی منظور شود. قسمتهای غربی و جنوب غربی کشور جزو این مناطق محسوب شده و اغلب شامل مناطق کوهستانی است.

۳-۴) **مناطق فوق سنگین:** علاوه بر شرایط فوق، تجربه نشان داده که در برخی مناطق سرعت باد و ضخامت یخ گاهی از مقادیر ذکرشده نیز فراتر می رود و بطور کلی برای مناطق با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا و همچنین کرانه باختری دریای مازندران تا رودسر، شرایط می بایستی یک درجه سنگین تر فرض شود. مثلاً اگر آن قسمت در منطقه ای با شرایط متوسط قرار دارد. شرایط مربوط به مناطق سنگین در مورد آن در نظرگرفته شود و برای قسمتهایی که در مناطق سنگین قرار دارند میزان ضخامت یخ حداکثر ۴۰ میلیمتر در نظرگرفته شود. معمولاً در این حا لت فاصله بین برجها را کمترمی گیرند و سیم کشی با کشش کمتر انجام می گیرد. به عبارت دیگر برجهایی که برای شرایط سنگین طراحی شده اند با شرایط فوق سنگین وفق داده می شوند.

۴) **تأثیر باد:** به طورکلی ویژگیهای باد را می توان به صورت زیر برشمرد:

۴-۱) **طبیعت باد:** در محاسبات خط انتقال در حالت تند باد، از ضریب تند باد استفاده نموده و سرعت باد روی برج را ۳۰ درصد بیشتر از سرعت باد در نظر می گیریم.

۴-۲) **نیروی باد:** عموماً باد را بوسیله سرعت یا فشار آن مشخص می نمایند. فشار باد عبارت است از فشاری که به واسطه انرژی جنبشی آن ایجاد می شود و می توان اثبات نمود که مقدار آن برابر است با:

$$P = \frac{1}{2}\rho V^2$$

P فشار باد ($\frac{N}{m^2}$)، V سرعت باد ($\frac{m}{s}$) و ρ جرم مخصوص (جرم حجمی) سیال می باشد.

- ازآنجا که سیال مورد نظر دراینجا هواست و یک مترمکعب هوا نیز در دمای ۱۵ درجه و فشار یک اتمسفر۱.۲۲ کیلوگرم جرم دارد می توان نوشت:

$$P = \frac{1.22}{2}V^2$$

اگر فشار را برحسب کیلوگرم نیرو بر مترمربع بخواهیم رابطه فوق به صورت زیر خواهد بود:

$$P = \frac{1.22}{2\times 9.81}V^2$$

و با تقریب خوبی داریم:

$$P = \frac{V^2}{16}$$

۴-۳) **باد روی برج:** به منظور محاسبه نیروی باد، برج را به قطعات مختلف تقسیم بندی نموده و ضریب شکل هر تکه به طور مجزا و با توجه به تجارب به دست آمده محاسبه می گردد. ضریب شکل برای سطح صاف ۱/۶ است. ضریب شکل برای قسمت پایین برج عبارتست از:

$$S = 1.6\times 2 = 3.2$$

برای قسمت بالای کمر برج که قطعات نسبتا فشرده ترند، اگر A سطح جلوی باد و A' سطح عقبی باشد داریم:

$$S = 1.6A + \frac{2}{3}\times 1.6A'$$

اگر $A = A'$ باشد، خواهیم داشت:

$$S = 2.7A$$

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

برای قسمت کراس آرم ها که سطح طولی به نسبت سطح عرضی زیاد است، معمولاً یک چهارم نسبت سطح طولی را به سطح عرضی می بایستی اضافه نمود:

$$S = 2.7 \times \frac{(1 + 0.25A_2)}{A_t}$$

A_2: مساحت طولی برج برحسب مترمربع.

A_t: مساحت عرضی برج برحسب مترمربع.

درحالتی که جهت وزش باد نسبت به برج دارای زاویه باشد، برای محاسبه فشار باد کافیست فشار محاسباتی را به دو مولفه عمود بر وجه های مجاور برج قسمت نمود و محاسبات را بر اساس آن فشار انجام داد. به طورکلی نیروی باد بر روی هر قطعه از برج به صورت زیر قابل محاسبه است:

F=K.P.S.A

F: نیروی باد.

K: ضریب اضافه بار.

P: فشار باد بر هر مترمربع.

S: ضریب شکل.

A: سطح قرار گرفته در مقابل باد می باشد.

همانطور که گفته شد، در تند باد، سرعت باد روی برج را ۳۰ درصد بیشتر در نظر می گیرند، ولی در بقیه حالت می بایستی همان سرعت باد منظور گردد.

۵) **تأثیر یخ:** یخ ممکن است به صورت برفک یا بلوری باشد. وزن مخصوص یخ نوع بلوری ۹۱۳ کیلوگرم برای هر متر مکعب محاسبه می گردد. وزن یخ روی سیم نیز عبارتست از وزن یخ استوانه مجوفی با قطر خارجی سیم با یخ و قطر داخلی سیم بدون یخ. در این صورت وزن هر متر سیم با یخ بر اساس فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$M = m + 913 \times \pi \times t(t + d)$$

m: وزن هرمترسیم با یخ برحسب کیلوگرم.

M: وزن هرمتر سیم بدون یخ برحسب کیلوگرم.

d: قطرسیم لخت برحسب متر.

t: ضخامت یخ برحسب متر.

۶) ضرایب مورد استفاده در طراحی:

۶-۱) **ضریب اضافه بار:** نسبت نیروی مجاز به نیروی وارد شده (که برای حالت کشش نیروهای مجاز حد جاری شدن است)، را گویند و با K نشان می دهند.

۶-۲) **ضریب اطمینان:** نسبت نیروی گسیختگی به نیروی وارد شده که با SF نشان می دهند.

۶-۳) **ضریب شکل:** ضریبی است که برای محاسبه نیروی باد روی اجسام بکار می رود و بستگی به شکل جسم دارد و با S نشان می دهند.

۶-۴) **ضریب تند باد:** نسبت سرعت لحظه ماکزیمم به سرعت باد اندازه گیری شده را گویند و با G نشان می دهند.

۶-۵) **ضریب تأثیر:** نسبت نیروی موثر باد به نیرویی که ازطریق محاسبه با سرعت بدست می آید را ضریب تاثیر گویند و با E نشان می دهند.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۶-۶) **ضریب پوشش:** در صورتی که باد قبل از برخورد با سطح مورد نظر با مانعی برخورد کند ازسرعت آن کاسته خواهد شد، که دراین صورت ازضریب فوق استفاده می گردد.

۶-۷) **ضریب تصحیح:** ضریبی است که برای تبدیل حالت مورد محاسبه بحالت استاندارد بکار می رود، و با حرف C نشان می دهند.

۷) **شرایط استاندارد بارگذاری:** شرایط را که درآن باد و یخ با سرعت و ضخامت حدود نصف حالت حد در نظرگرفته می شود را شرایط استاندارد گویند و برای مناطق مختلف بصورت زیر می باشد:

۷-۱) **شرایط استاندارد سبک:**

حرارت محیط: صفر درجه سانتیگراد.
سرعت باد: ۲۶ متردرثانیه درتمام نقاط.
ضخامت یخ: صفر میلیمتر.

۷-۲) **شرایط استاندارد متوسط:**

حرارت محیط: صفر تا منفی ده درجه سانتیگراد.
سرعت باد: ۱۸ متر در ثانیه درتمام نقاط.
ضخامت یخ: ۷ میلیمتر.

۷-۳) **شرایط استاندارد سنگین:**

حرارت محیط: صفر تا ۲۰- درجه سانتیگراد.
سرعت باد: ۱۸ متر در ثانیه درتمام نقاط.
ضخامت یخ: ۱۵ میلیمتر.

۸) **شرایط حد بارگذاری:** همانطورکه عنوان شد علاوه بر شرایط استاندارد برج ها می بایستی تحمل شرایط حد را که معمولاً در حالت تند باد یا یخ سنگین به وجود می آید را داشته باشند و این شرایط با توجه به مناطق مختلف بقرار زیرند:

۸-۱) **شرایط حد سبک:**

حرارت محیط: $15°C$.
سرعت باد: تا ارتفاع ۲۰ متری: ۴۰ متر در ثانیه
در ارتفاع بالای ۲۰ متر: ۴۵ متر در ثانیه.
ضخامت یخ: صفر سانتیگراد.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۲-۸) **شرایط حد متوسط:**

الف) حرارت محیط: $15°C$

سرعت باد: تا ارتفاع ۲۰ متری: ۳۵ متر در ثانیه

در ارتفاع بالای ۲۰ متر: ۴۰ متر در ثانیه.

ضخامت یخ: صفر میلیمتر.

ب) حرارت محیط: $-5°C$.

سرعت باد: صفر.

ضخامت یخ: ۱۵ میلیمتر.

۳-۸) **شرایط حد سنگین:**

الف) حرارت محیط: ۱۵ درجه سانتیگراد.

سرعت باد: تا ارتفاع ۲۰ متری: ۳۵ متردرثانیه

در ارتفاع بالاتر: ۴۰ متردرثانیه.

ضخامت یخ: صفر.

ب) حرارت محیط: (۵-) درجه سانتیگراد.

سرعت باد: صفر.

ضخامت یخ: ۲۵ میلیمتر.

۹) **شرایط عادی** (EDS=Every day stress): بیش از تمام شرایط ذکر شده تا اینجا، خطوط انتقال نیرو دراغلب روزهای سال تحت تأثیر شرایط عادی یا روزمره قرار دارند و آن شرایطی است بدون باد و یخ، درجه حرارت محیط نیز در این شرایط بستگی به محل عبور خط دارد. به طوری که برای مناطق با شرایط سنگین درجه حرارت را ۱۵ درجه، برای مناطق با شرایط متوسط ۱۸ درجه وبرای مناطق با شرایط سبک درجه حرارت روزمره را ۲۰ درجه می نمایند.

۱۰) **شرایط استثنایی:**

۱-۱۰) **شرایط پارگی:** این شرایط برای حا لت بالاترین کشش سیم که معمولاً درشرایط حد اتفاق می افتد، در نظر گرفته می شود.

۲-۱۰) **شرایط اختلاف کشش:** در این شرایط فرض می شود که در یک سمت برج سیم ها بدون یخ و در سمت دیگر دارای یخ باشند، این حالت برای شرایط استاندارد محاسبه می گردد. در شرایط استاندارد سبک بایستی اختلاف کشش ناشی از اختلاف دو اسپن مجاور نیز منظور می گردد.

۳-۱۰) **شرایط زلزله:** در این حالت که برای سنگین ترین حالت (بالاترین نیروی وزن) بایستی منظور گردد، ۲۰ درصد نیروهای وزن را به نیروهای عرضی اضافه می نمایند.

۴-۱۰) **شرایط تعمیرات و ساختمان خط:** این شرایط دردمای ۱۵ درجه و بدون باد در نظر می شود، که از برج های تک مدار، سیم کشی فازها و سیم محافظ به صورت تکی و برج بدون سیم و در برج های دو مدار، سیم کشی یک مدار و برج بدون سیم خواهد بود.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

استاد: پزشکیان

۱۱) ضرایب اضافه بار و ثابت بارها:

۱-۱۱) **شرایط استاندارد بارگذاری:** در این شرایط علاوه برضرایب اضافه بار می بایستی مقادیر ثابت زیر را به نیروهای وارد بر هر متر سیم اضافه نمود:

حالت سبک: ۷۰ گرم.

حالت متوسط: ۲۵۰ گرم.

حالت سنگین: ۴۵۰ گرم.

ضرایب اضافه بار بترتیب زیراست:

الف- خطوط درجه یک (خطوط ۲۳۰ کیلوولت و بالاتر):

ضریب اضافه بار برای نیروهای ناشی ازباد: ۲/۵

ضریب اضافه بار برای نیروهای قائم: ۱/۵

ضریب اضافه بار برای نیروهای طولی: ۱/۶۵

ب- خطوط درجه دو (خطوط کمتر از ۲۳۰ کیلوولت):

ضریب اضافه بار برای نیروهای ناشی از باد: ۲/۳

ضریب اضافه بار برای نیروهای قائم: ۱/۲

ضریب اضافه بار برای نیروهای طولی: ۱/۲

۲-۱۱) **شرایط حد بارگذاری:**

۱. خطوط درجه یک:

ضریب اضافه بار برای کلیه نیروها به جز نیروی وزن برج و زنجیره مقره درحالت یخ سنگین: ۱/۲

ضریب اضافه بار برای نیروی وزن برج و مقره درحالت یخ سنگین: ۱/۵

۲. خطوط درجه دو:

ضریب اضافه بار برای کلیه نیروها بجز نیروی وزن برج و زنجیره مقره درحالت یخ سنگین: ۱/۲

ضریب اضافه بار برای نیروی وزن برج و مقره درحالت یخ سنگین: ۱/۳

۳-۱۱) **شرایط استثنایی:** ضرایب اضافه بار تحت این شرایط ۹۰ درصد ضرایب اضافه بار مربوط به حالت اصلی خواهد بود. مثلا اگر پارگی سیم درحالت شرایط بارگذاری (خطوط درجه یک) باشد، ضریب اضافه بار آن ($1.2 \times 0.9 = 1.08$) و برای وزن برج ($1.5 \times 0.9 = 1.35$) می گردد.

	نوع بارگذاری	خطوط درجه یک	خطوط درجه دو
شرایط استاندارد	بار ناشی از باد	۲/۵	۲/۳
	بار قائم	۱/۵	۱/۲
	بار ناشی از کشش	۱/۶۵	۱/۲
شرایط حد	کلیه بارها	۱/۲	۱/۱
	وزن برج و مقره	۱/۵	۱/۳
شرایط فوق سنگین	-	۱/۱	۱/۰

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

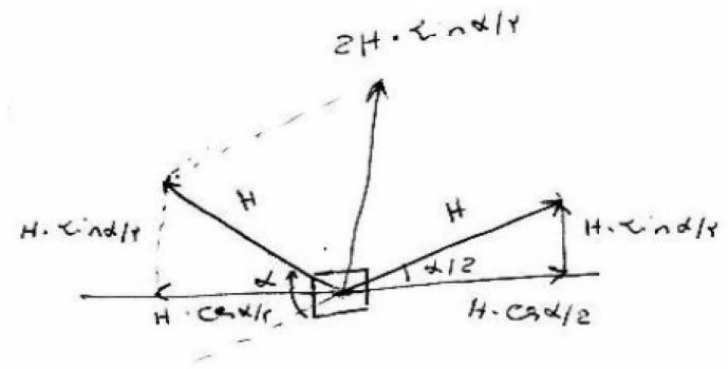
۱۲) محاسبه نیروهای روی برج:

$V = W_V.S_V +$ (وزن مقره و اتصالات)

V: نیروی عمودی (vertical) حاصل از وزن هادی که آنرا با V نشان می دهند، ازحاصلضرب برآیند وزن واحد طولهای (W_V) دراسپن وزن (S_V) بعلاوه وزن مقره واتصالات بدست می آید:

- نیروی افقی (Transversal) که حاصل از نیروی باد برروی هادیها ونیز زاویه داربودن برج می باشد وبا حرف T نشان می دهند، ازحاصلضرب وزن واحد طول هادی تحت شرایط باد (W_W) دراسپن باد (S_W) بعلاوه برآیند نیروی وارد بر برج در اثر زاویه دار بودن خط به دست می آید:

$$T = W_W.S_W + 2H.\sin\frac{\alpha}{2}$$



همانطورکه شکل فوق نشان می دهد، درصورتیکه برجی درمسیر خط تحت زاویه α قرارگیرد نیروهایی بصورت افقی ازهر طرف به آن وارد می شود. این نیروها عبارتنداز :

$H.\cos(\frac{\alpha}{2})$

$H.\sin(\frac{\alpha}{2})$

که درآن H، کشش افقی سیم میباشد.

همانطور که در شکل نیز مشخص است، نیروهای متقابل $H.\cos(\frac{\alpha}{2})$، یکدیگر را خنثی نموده و نیروی $H.\sin(\frac{\alpha}{2})$ ، با یکدیگر جمع می شوند و نهایتاً برآیند نیروهای حاصل از زاویه دار بودن برج که از طریق هادی ها بدان اعمال می گردد، برابر خواهد شد با:

$2H.\sin(\frac{\alpha}{2})$

- نیروی سومی ممکن است، در جهت طولی از طریق هادی ها به برج اعمال می شود که آن را نیروی طولی (Longitudinal) گویند و با حروف L نشان می دهند. این نیرو فقط در حالت پارگی تعدادی ازهادی ها به برج اعمال می گردد و برحسب شرایط موجود ممکن است فقط برای یک یا دو هادی (و نه تمام هادی ها) منظور شود. در اثر پارگی یکی از هادی ها روی برج، نیرویی درجهت طولی از طرف های طرف مقابل که هنوز به برج متصل است به آن نقطه اعمال می گردد. اکنون برج بایستی این نیروی جدید که قبلا توسط هادی مقابل خنثی می شد را تحمل نماید. مقدار نیروی L عبارتست از، کشش حالت پارگی مربوطه که می تواند در شرایط بارگذاری باد شدید، یخ شدید، حداقل دما و ... باشد.

L=(Tension of broken Wire)

لازم بذکر است که درشرایط بارگذاری مختلف ، وزن واحد طول هادی مربوط به همان شرایط (W) در روابط T , V قرار می گیرد.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

فصل دوازدهم: برج‌های انتقال نیرو

برج های خطوط انتقال و توزیع نیرو را می توان با شکل ها و جنس های مختلفی ساخت که نوع متداول آنها چوبی و فولادی می باشند، که ذیلاً به چند نمونه از آنها اشاره می گردد.

۱) **انواع پایه های خطوط انتقال نیرو:** ویژگی های انواع پایه ها:

- تحمل کافی در مقابل نیروهای مکانیکی داشته باشد
- شرایط مناسب از نظر فنی و اقتصادی داشته باشد
- باید دارای وزن مناسب باشند
- هزینه های تعمیرات آنها کم باشد
- باید دارای ظاهر مناسب با توجه به محل نصب باشند
- باید دارای عمر مناسب با توجه به شرایط محیطی منطقه باشند
- از نظر حمل و نقل مناسب و امکان نسبی تهیه، ساخت و نصب آنها در منطقه عملی باشند.

۱-۱) **تیرهای چوبی:** این نوع تیرها در مناطقی از جمله روسیه، سوئد، نروژ، فنلاند و ... که امکان تهیه چوب های بلند و مقاوم مسیر باشد، کاربرد بیشتری دارد.

مزایا: انعطاف پذیری در مقابل تغییرات درجه حرارت محیط، ارزانی و آماده بودن، پایین بودن وزن آنها در مقایسه با سایر انواع پایه ها، سهولت حمل و نقل و جابجایی، سهولت نصب و در نتیجه کاهش زمان احداث، نیاز به فونداسیون کمتر و ارزانتر، دارا بودن خاصیت عایقی.

معایب: عمر کمتر در مقایسه با سایر انواع تیرها و برج ها، تحمل کمتر در مقابل بار مکانیکی، ضعیف بودن در مقابل قارچ ها و سایر آفات، ضعیف بودن در مقابل آتش سوزی، دارای ضعف در مقابل تخریب عمدی، محدودیت ارتفاع تیر و در نتیجه عدم امکان به کارگیری آنها در اسپن های طویل.

۱-۲) **تیرهای بتونی:** این تیرها به صورت چهارگوش و گرد و همچنین به صورت H می باشند.

مزایا: دارای مقاومت مکانیکی نسبی بالا، دارای عمر بالا به خصوص در مناطقی که دارای آلودگی و رطوبت کم می باشند، امکان تهیه و ساخت آن در اکثر نقاط کشور، امکان استفاده آنها در اسپن های متوسط، دارا بودن قیمت مناسب در مقایسه با تیرهای چوبی (در بعضی مناطق ارزانتر از تیرهای فولادی).

معایب: وزن زیاد، هزینه حمل و نقل بیشتر، در مقایسه با پایه های چوبی هزینه های نصب بالاست، در مقایسه با نیرهای چوبی نیاز به فونداسیون بیشتر، در مناطق خورنده احتمال خوردگی و تخریب بتون و میله گرد داخل آن وجود دارد، محدودیت ارتفاع به دلیل محدود نگه داشتن وزن.

۳-۱) **تیرهای فولادی:** این نوع تیرها ممکن است به صورت لوله ای، تلسکوپی، نردبانی و به صورت شبکه ای ساخته شوند.

مزایا: پذیرش نیروهای کمکی بیشتر، دارا بودن عمر بیشتر، امکان حمل و نقل و نصب آسانتر، دارای زیبایی ظاهری بیشتر، دارای پهنای کمتر، نیاز به باند عبور کمتر، امکان استفاده آنها در سطوح مختلف ولتاژ، امکان بکارگیری آنها در اسپن های متوسط.

معایب: قیمت نسبی بیشتر، امکان خورده شدن و زنگ زدگی در محیط های آلوده، نیاز به تعمیرات نسبی بیشتر، هزینه های نصب بالاتر و غیر اقتصادی بودن بکارگیری آن در برخی نقاط.

۴-۱) **برج های فولا دی:**

مزایا: امکان استفاده آنها در اسپن های بلند و خیلی بلند، تقلیل آثار سوء، برخورد ساعقه با برج ها، انعطاف پذیری آنها در مقابل نیروهای مکانیکی، سهولت حمل و نقل، سهولت مونتاژ و نصب آن در شرایط منطقه، دارا بودن عمر طولانی، سهولت طراحی و ساخت آن برای شرایط متفاوت محیطی، سهولت تعمیرات و جایگزینی قطعات.

معایب: نیاز به فونداسیون بیشتر، نیاز به مواد و مصالح بیشتر، قیمت نسبی بیشتر، امکان جداکردن و جداشدن نبشی ها عملی است، امکان تقلیل مقاومت آن در اثر نادرست بستن پیچ و مهره ها، امکان خورده شدن یا زنگ زدگی آن در محیط های خورنده، نیاز به تعمیرات و سرویس بیشتر.

۲) **شکل برج ها:** جایگذاری فازهای خطوط انتقال نیرو در روی برج ها می تواند به صورت مختلفی انجام گیرد، که در مجموع در سه حالت کلی خلاصه می گردد:

- فازها در روی هم قرار گیرند (وضعیت عمودی فازها)
- فازها در مجاورت هم نصب شوند(وضعیت افقی فازها)
- فازها در سه راس مثلث قرار گیرند.

۱-۲) **جایگذاری افقی فازها:** این نوع برج ها که به کله گربه ای مشهورند (Waist type) دارای شکلها و فرمهای مختلفی می باشند که چند نمونه از آنها در شکل های ضمیمه نشان داده شده اند.

ویژگی این برج ها: پهنای برج ها تقلیل می یابد، نیاز به باند عبوری کمتر دارد، در یک شرایط مشخص حریم مجموع تقلیل می یابد.

با توجه به قرارگرفتن فازها در روی هم آثارسوء میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در مقایسه با حالت قبل کمتر می شود.

- در صورتیکه یکی از سیم ها دچار پارگی شود، باعث تخریب فازهای پایینی می گردد.
- تعمیرات خط گرم در مقایسه با حالت قبل مشکلتر است.
- در مناطق برفگیر یا بادگیر، وجود پدیده Galloping یا جهش هادیها به بالا (در اثر تخلیه یخ یا وزش بادهای تند) سبب می شود، تا فاصله عمودی فازها افزایش یابد.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۳-۲) **جایگذاری مثلثی فازها:** در این برج ها که به نوع دلتا (Delta type) نامگذاری شده اند ، هادی ها در سه راس مثلث جایگذاری می شود. یکی از کاربردهای مؤثر این نوع برج ها استفاده آنها در خطوط کمپاکت می باشد و دیگر ویژگی های آنها بشرح زیر می باشند:

باند عبور خط انتقال تقلیل می یابد، به دلیل نزدیک شدن فازها راکتانس خط تقلیل می یابد، کاهش فاصله هندسی فازها باعث افزایش سوسپتانس خط می گردد، بدلیل وجود تقارن در بین فازها، نامتعادلی ولتاژ تقلیل می یابد، قیمت نسبی برج بیشتر و سرویس تعمیرات این برج ها بیشتر می شود.

۳) **برج های کمپاکت:** در شکل (۶) چگونگی کمپاکت نمودن برج ها از طریق انتخاب طرح و شکل مناسب برای برج و جایگذاری هادی ها نشان داده شده است. همانطور که پیداست با این ارقام ، پهنای برج از رقم ۴۴ متر به عدد ۲۷/۲ متر تقلیل یافته است.

۴) **برج های مهاری:** استفاده از مهار در برج های فولادی سبب می شود تا وزن و در نتیجه قیمت آنها کاهش یابد. یکی از معایب عمده آنها وابسته بودن پایداری آنها به وجود مهار می باشد، به عبارت دیگر اگر به دلایل عمدی یا اتفاقی مهار برج بریده شود، ممکن است در شرایط بحرانی باعث سقوط برج گردد.

۵) **انواع برج های معمولی:** برج های مورد استفاده در خطوط انتقال نیرو ممکن است به صورت میانی، زاویه ای و انتهایی باشد.

۵-۱) **برج های میانی** (Tangent tower): زنجیره مقره به صورت suspension آویزی و v-type می باشد.

۵-۲) **برج های زاویه ای** (Angle tower): زنجیره مقره به صورت tension می باشد.

۵-۳) **برج های انتهایی** (Terminal tower): زنجیره مقره به صورت tension می باشد.

□ **تیر چوبی**

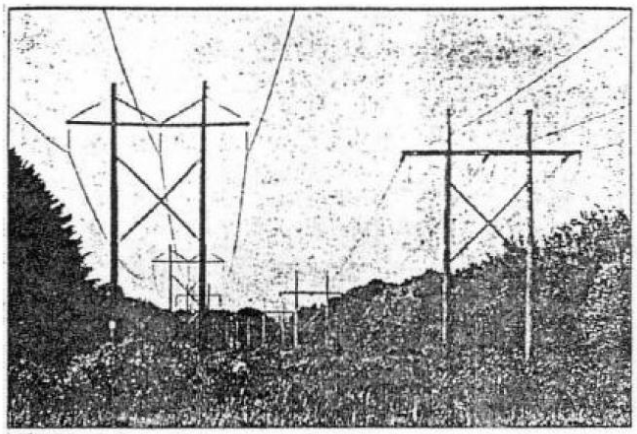
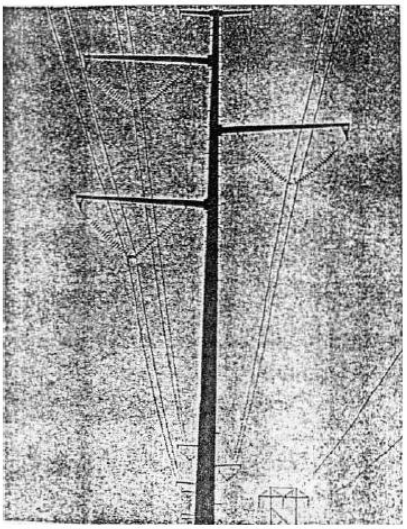


Figure 12 Higher wood structures, supporting heavier conductors, are built alongside existing line, which is later removed

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

☐ تیر فلزی



تیر بتونی

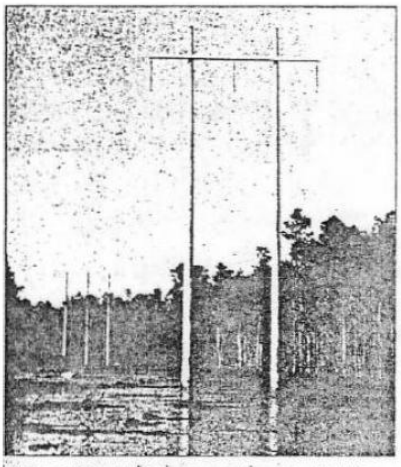
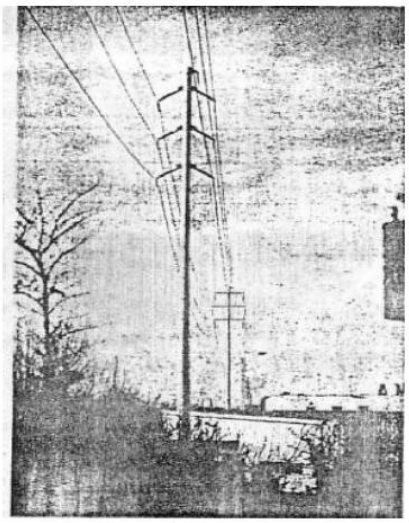
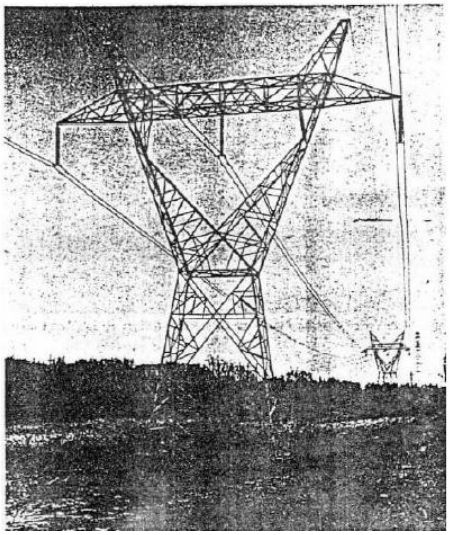


Figure 19 Concrete structures are chosen for 230-kV transmission line through swampland. Proximity of manufacturer helped keep cost down

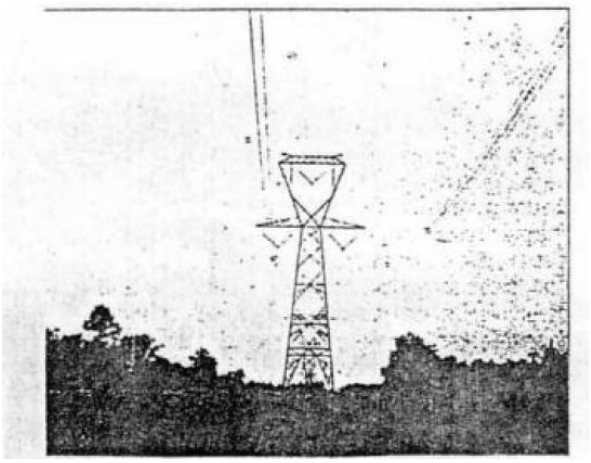
☐ تیر فولادی با جایگذاری عمودی



برج فلزی با جایگذاری افقی

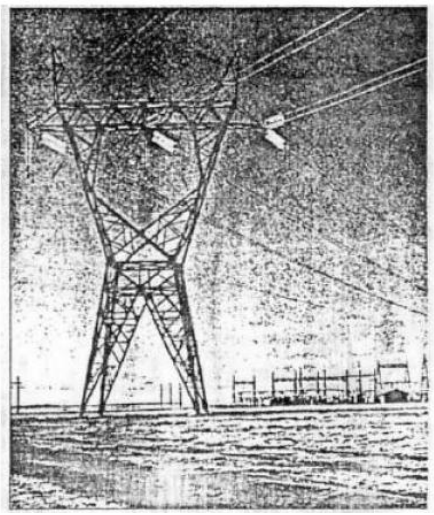


☐ برج فولادی میانی با جایگذاری مثلثی هادی ها

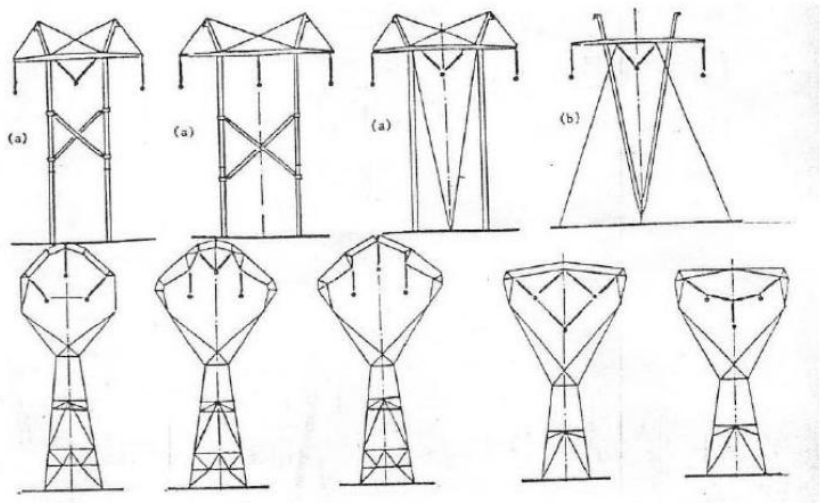


Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

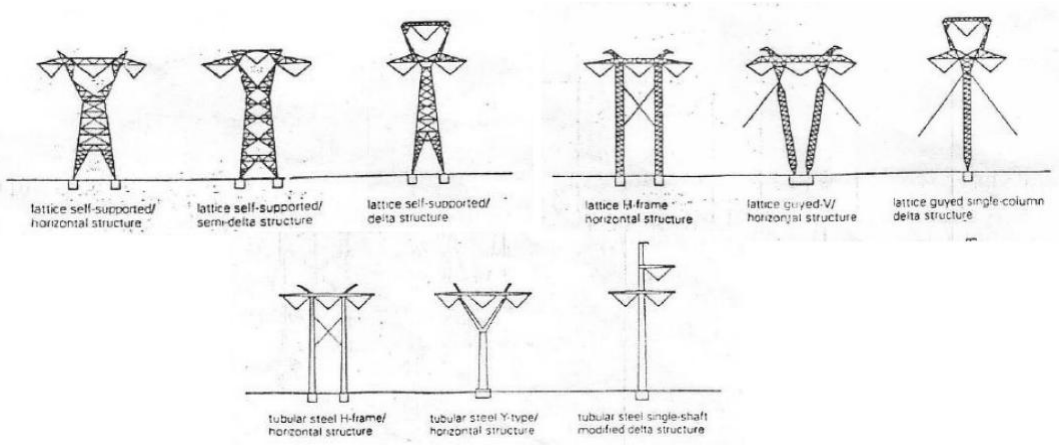
☐ برج زاویه ای با وضعیت جایگذاری افقی هادی ها



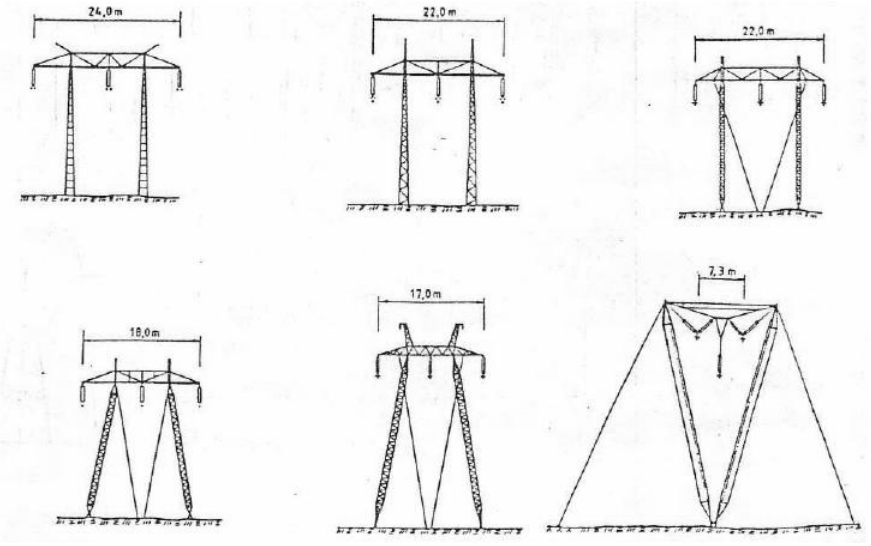
☐ چند نمونه از برجهای کمپکت و مهاری



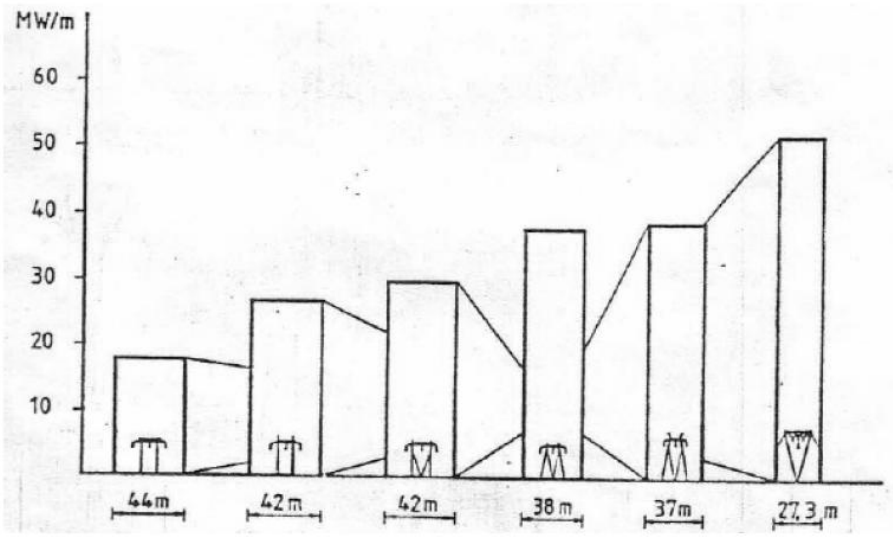
☐ چند نمونه از برجهای کمپکت و مهاری



☐ **شش نمونه برج کمپکت مورد استفاده در انتقال نیرو**



☐ **تاثیر نوع برج کامپکت (اسلاید قبل) در عرض باند عبور و توان انتقالی از خط**



Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

فصل سیزدهم: مقره‌های خطوط انتقال نیرو

مقره ها عامل اصلی جدا سازی هادی ها از زمین و بدنه برج ها می باشند. در نتیجه برای اینکه بتوانند وظیفه خود را به خوبی انجام دهند باید دارای خواص کلی زیر باشند:

خاصیت عایقی مناسب، توان مکانیکی کافی، تحمل مناسب در مقابل اضافه ولتاژها، مقاومت الکتریکی بالا در جهت کاهش نشت جریان الکتریکی.

۱) **جنس مقره ها:** مقره های مورد استفاده در اکثر خطوط انتقال نیرو از جنس چینی یا شیشه می باشند. برخی ویژگی های مهم آنها عبارتند از:

۱-۱) **مقره چینی** (porcelain insulator) : مقره های چینی یا پرسلینی، خود از انواع مختلفی تشکیل شده اند، این نوع مقره ها را با مخلوطی از رس، کائولین و فلداسپات می سازند.

مزایا: تحمل مقره ها در درجه حرارت بالا بیشتر است، احتمال ترک خوردن مقره ها در درجه حرارت های پایین کم است، در مواقع حمل و نقل و نصب بسادگی نمی شکنند، در مقایسه با مقره های شیشه ای ذرات آلوده با سرعت کمتری روی مقره ها جمع می شوند.

معایب: قیمت نسبی آن بیشتر است، برخلاف مقره های شیشه ای ترک خوردگی های داخلی معلوم نمی شود.

۱-۲) **مقره شیشه ای** (Glass insulator): از جنس شیشه می باشد که برای تهیه آن از مواد مختلفی چون سیلیس، اکسید سدیم، اکسید کلسیم و منیزیم استفاده می گردد.

مزایا: دارای مقاومت مکانیکی بیشتری نسبت به مقره های چینی است، دارای خاصیت عایقی بالا (۱۴۰ کیلو ولت بر سانتیمتر) می باشد، که در نتیجه امکان ساخت مقره های یکپارچه را میسرتر می سازد، افزایش حجم آن در مقابل درجه حرارت، کمتر می باشد، دارای مقاومت الکتریکی بالایی می باشد، شفافیت شیشه امکان کنترل خلل و فرج و ترک ها و خرابی مقره ها را به سهولت میسر می سازد، در مقایسه با مقره های چینی دارای قیمت کمتری است.

معایب: امکان تجمع مواد معلق و آلوده در روی مقره های شیشه ای بیشتر است، درمناطق آلوده تجمع سریع ذرات معلق در روی مقره ها احتمال افزایش نشتی جریان و بروز جرقه در روی مقره ها را به همراه دارد، در مناطق آلوده امکان خرابی مقره های شیشه ای بیش از چینی است.

۱-۳) **مقره های ترکیبی** (composite insulator): استفاده انحصاری در خطوط انتقال کمپاکت به عنوان فاصله نگهداری های فازها می باشد.

۲) **انواع مقره ها:**

- مقره های بشقابی معمولی (Disc insulator)
- مقره های بشقابی ضد مه (Aunty Fog insulator)
- مقره های وزنی (pin type insulator)
- مقره های قرقره ای
- مقره های نوع پست (post type insulator)
- مقره های میله ای بلند (long rod insulator).

استاد: پزشکیان

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

۳) معیارهای الکتریکی گزینش مقره ها:

۳-۱) **اضافه ولتاژهای داخلی:** این اضافه ولتاژها ممکن است در اثر افزایش ولتاژ فاز سالم در اثر اتصال کوتاه فاز دیگر به وجود آید. همچنین کلیدزنی یا عوامل مختلف دیگر نیز می توانند از دیگر عوامل به وجود آورنده این نوع اضافه ولتاژ در خطوط انتقال نیرو باشند.

۳-۲) **اضافه ولتاژهای خارجی:** این اضافه ولتاژ تحت تأثیر برخورد صاعقه بر خطوط انتقال نیرو به وجود می آیند.

۳-۳) **نسبت اضافه ولتاژ به ولتاژ مجاز:**

- ولتاژ باید طوری انتخاب گردد که احتمال بروز جرقه از بین برود.
- انتخاب ولتاژ مجاز طوری انجام گیرد که احتمال وقوع جرقه از یک عدد معینی بیشتر نباشد.

۳-۴) **شرایط محیطی:** شرایط استاندارد فشار ۷۶ سانتیمترجیوه، ۲۰ درجه سانتیگراد، درجه حرارت و رطوبت ۱۱ گرم برمتر مکعب.

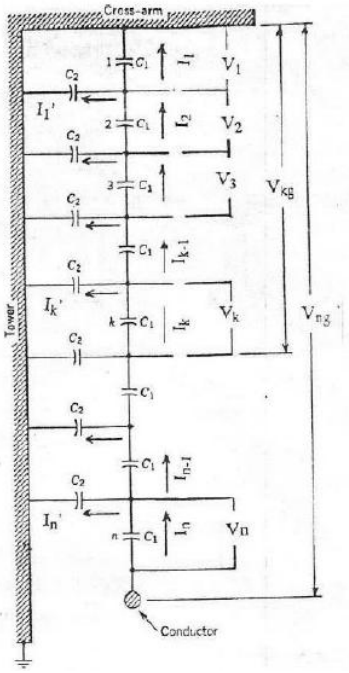
۳-۵) **آلودگی محیط:** باید با توجه به درجه آلودگی و شرایط محیط نسبت به انتخاب تعداد و نوع آنها اقدام نمود.

۳-۶) **کرونا:** اندازه گیری نویز ناشی از تلفات کرونا در زنجیره مقره ها در آزمایشگاه ها انجام می شود.

۴) **بارمکانیکی:** لازم است در انتخاب مقره ها بتوان مکانیکی آنها توجه گردد چون در غیر این صورت شکستن هر یک از مقره ها باعث جداً شدن هادیها از برج ها و در نتیجه آسیب رساندن به دیگر هادی ها و احتمالاً برج ها را به همراه دارد.

۵) **توزیع ولتاژ در زنجیره مقره ها:** انتظار این است که توزیع ولتاژ در درون کلیه مقره ها یکسان باشد، اما در عمل به دلیل وجود ظرفیت خازنی بین قسمت های فلزی زنجیره مقره ها با بدنه برج و زمین توزیع ولتاژ در دو سر مقره ها بطور یکنواخت انجام نمی شود و در عمل در یک زنجیره مقره بیشترین ولتاژ به مقره متصل به هادی و کمترین ولتاژ در دو سر مقره متصل به برج قرار می گیرد. شکل (۱) ظرفیت خازنی بین اجزاء زنجیره مقره ها بایکدیگر و بدنه برج رانشان می دهد.

☐ **شکل ۱**



Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

روش محاسبه:

۵-۱- **روش اول:** همانطور که درشکل نشان داده شده است، ولتاژ در دو سر مقره های اول تا n ام به ترتیب V_1 و V_2 و ... V_n و جریان عبوری از آنها به ترتیب I_1 و I_2 و ... I_n در نظر گرفته شده است. بر این مبنا ولتاژ در دو سر هر مقره را می توان به صورت زیر محاسبه نمود:

1) $I_2 = I_1 + I_1'$

با جایگذاری مقادیر I_1' و I_1 و I_2 در رابطه فوق می توان نتیجه گرفت:

2) $C_1.\omega.V_2 = C_1.\omega.V_{1g} + C_2.\omega.V_1$

V_1: ولتاژ دو سر مقره اول.

V_{1g}: ولتاژ مقره اول با زمین، ⟸ برای اولین مقره این دو با هم برابرند.

3) $V_2 = V_1.(1+\frac{C_2}{C_1})$

$m = \frac{C_1}{C_2} \Rightarrow$ 4) $V_2 = V_1.(1+\frac{1}{m})$

به همین ترتیب داریم:

5) $I_3 = I_2 + I_2'$

6) $C_1.\omega.V_3 = C_1.\omega.V_2 + C_2.\omega.V_{2g}$

با جایگزاری

7) $V_3 = V_2 + \frac{V_1 + V_2}{m}$

8) $V_3 = V_1.(1+\frac{3}{m}+\frac{1}{m^2})$

9) $V_4 = V_3 + \frac{V_{3g}}{m} = (1+\frac{6}{m}+\frac{5}{m^2}+\frac{1}{m^3}).V_1$

10) $V_n = V_{n-1} + \frac{V_{ng}}{m}$

۵-۲- **روش دوم:**

11) $V_{kg} = V_{ng}.\frac{\sinh(\alpha.k)}{\sinh(\alpha.n)}$

$\alpha = (\frac{C_2}{C_1})^{0.5}$

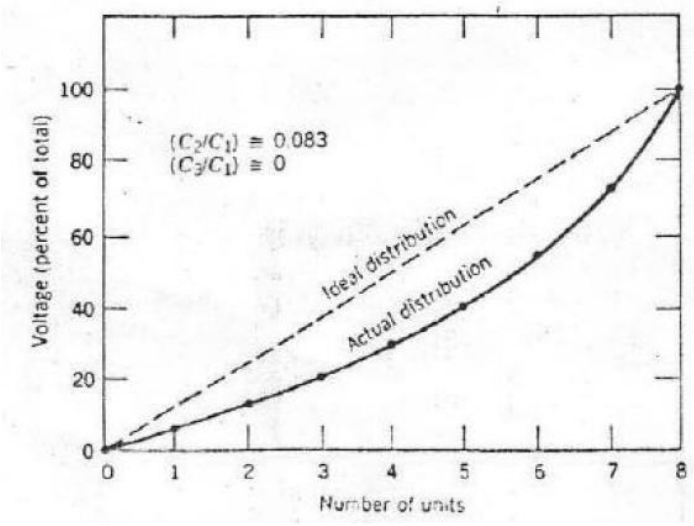
V_{kg}: ولتاژ دو سر مقره k ام تا زمین.

V_{ng}: ولتاژ دو سر مقره n ام تا زمین.

در صورتیکه تعداد مقره ها n عدد باشد، V_n همان ولتاژ فازی خط انتقال می باشد.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com

☐ توزیع ولتاژ در یک زنجیر مقره ۸ تایی



$$V_{kg} = V_{ng} \cdot \frac{\mathrm{Sinh}(\alpha.K)}{\mathrm{Sinh}(\alpha.n)}$$

$$\alpha = \left(\frac{C_2}{C_1}\right)^{0.5}$$

۶) مشخصات عمومی مقره ها (ویژگی ها):

۶-۱) **ابعاد مقره:** معمولاً ابعاد مقره ها را با ارتفاع و قطر موثر آن نشان می دهند. ارتفاع موثر مقره شامل ارتفاع مقره و اتصالات فلزی مربوط به آن می باشد، که با توجه به آنها می توان ارتفاع زنجیره مقره ها را محاسبه نمود.

۶-۲) **فاصله خزندگی** (creep age distance): برای اینکه جریان الکتریکی بین دو قسمت فلزی مقره ها جاری گردد، لازم است از روی عایق ها عبور کند، بطوریکه هرچه این فاصله بیشتر باشد، امکان نشت جریان کمتر می باشد. برای افزایش این فاصله معمولاً مقره ها را با شیارهای متعدد و مطابق شکل (۳) می سازند. و هر چه مقدار آن بیشتر باشد، چون امکان تجمع یکنواخت مواد آلوده در روی مقره ها کمتر می شود در نتیجه امکان بروز جرقه در سطح خارجی زنجیره مقره ها نیز کمتر می گردد.

۶-۳) **مقاومت مکانیکی مقره ها:** درجدول (۱) مشخصات عدد مقره داده شده است.

۶-۴) **حداقل ولتاژ جرقه در فرکانس طبیعی:** ولتاژ عامل جرقه در این حالت تابعی است از وضعیت خشک یا تر بودن سطح مقره ها که برای مقره های بشقابی نشان داده شده در ستون اول جدول (۱)، حداقل ولتاژ جرقه در شرایط خشک ۹۵ و در شرایط تر ۵۰ کیلو ولت می باشد.

۶-۵) **حداقل ولتاژ جرقه ضربه ۵۰٪** : در جدول (۱) مقدار آن برای موج مثبت ۱۳۵ و برای موج منفی ۱۴۵ کیلو ولت است ولتاژ تحمل آن در برابر ولتاژ جرقه ۵۰ درصد می باشد.

۶-۶) **ولتاژ مجاز در فرکانس طبیعی:** مسلماً درشرایط کار نرمال ولتاژ مجاز قدری کمتر از ولتاژ جرقه انتخاب می گردد تا بهره برداری با شرایط ایمن تری انجام شود که برای حالت قبل مقدار ولتاژ مجاز از مقادیر قبلی به مقادیر ۸۵ و ۴۵ کیلو ولت تقلیل می یابد.

۶-۷) **ولتاژ مجاز ضربه:** در جدول (۱) حدود ۱۲۵ کیلو ولت می باشد.

Mehdipezeshkian86.mihanblog.com