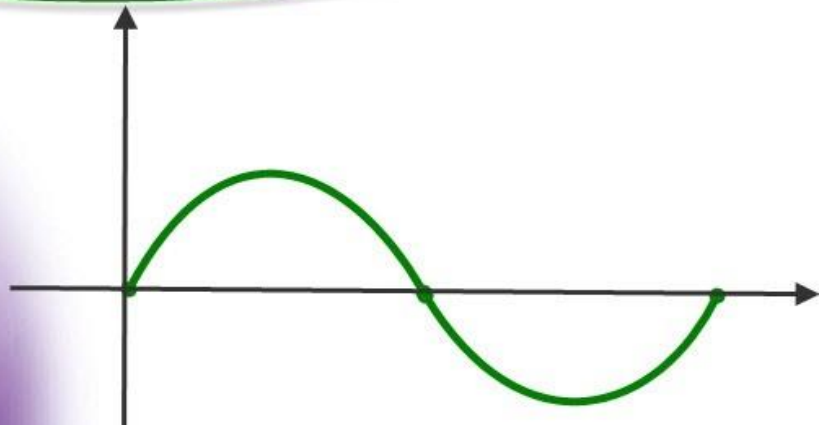


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موضوع پروژه:

# بررسی عملکرد سیستم زمین برجهای خطوط انتقال



در برابر صاعقه

WikiPower.ir

برای خرید فایل word این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

( شماره پروژه = ۴۷۲ )

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
------	-------

---

## فصل اول

### مقدمه

۸.....	۱-۱ کلیات.....
۹.....	۲-۱ اهداف.....
۹.....	۱-۲-۱ فصل دوم.....
۹.....	۲-۲-۱ فصل سوم.....
۹.....	۳-۲-۱ فصل چهارم.....
۱۰.....	۴-۲-۱ فصل پنجم.....
۱۰.....	۵-۲-۱ فصل ششم.....
۱۰.....	۶-۲-۱ فصل هفتم.....
۱۱.....	۷-۲-۱ فصل هشتم.....

## فصل دوم

### فیزیک صاعقه و پارامترهای جریان ناشی از آن

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- ۱-۲ فیزیک صاعقه..... ۱۳
- ۲-۲ شاخه های پیشرونده مرحله ای صاعقه..... ۱۳
- ۱-۲-۲ مسیر برگشتی..... ۱۴
- ۲-۲-۲ شاخه پیشرونده تیری شکل..... ۱۵
- ۳-۲-۲ تخلیه بین ابر..... ۱۶
- ۴-۲-۲ تخلیه ای که بار مثبت به زمین می آورد..... ۱۷
- ۵-۲-۲ تخلیه ای با جریان پیشرونده بسوی بالا..... ۱۷
- ۳-۲ اختلاف پتانسیل بین ابر و زمین و انرژی موجود در صاعقه..... ۱۸
- ۴-۲ رعد..... ۱۸
- ۵-۲ جریان ناشی از اصابت صاعقه..... ۲۰
- ۱-۵-۲ اثر ارتفاع جسم در دامنه جریان..... ۲۰
- ۲-۵-۲ اثر مناطق جغرافیایی..... ۲۱
- ۳-۵-۲ شکل موج جریان..... ۲۲
- ۴-۵-۲ معادله ریاضی شکل موج ناشی از صاعقه..... ۲۴

## فصل سوم

### هدایت الکتریکی خاک

- ۱-۳ قابلیت هدایت الکتریکی خاک..... ۲۶
- ۱-۱-۳ اثر نوع خاک..... ۲۶
- ۲-۱-۳ اثر رطوبت موجود در خاک و نمکهای محلول در آن..... ۲۸

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳-۱-۳ اثر درجه حرارت..... ۳۰

۳-۱-۴ اثر دانه بندی و توزیع آن..... ۳۲

۳-۱-۵ اثر عمق..... ۳۲

۳-۱-۶ اثر قطر میله..... ۳۳

۳-۱-۷ اثر جریانهای پراکنده در زمین..... ۳۴

## فصل چهارم

### طرح سیستم زمین برجهای خطوط انتقال

۴-۱ مقدمه..... ۳۷

۴-۲ مقاومت پای برج..... ۳۷

۴-۲-۱ رفتار مقاومت زمین بر اثر موج گذرا..... ۳۹

۴-۳ کم کردن مقاوت پایه برجها بوسیله اتصالات اضافی..... ۳۹

۴-۳-۱ نصب میله قائم در زمین..... ۴۰

۴-۳-۱-۱ استفاده از میله های طویل..... ۴۱

۴-۳-۱-۲ اتصال زمین چند میله ای (میله های موازی)..... ۴۲

۴-۳-۲ نصب میله افقی در زمین..... ۴۴

۴-۳-۳ زمین کردن بصورت کانترپوز..... ۴۶

۴-۴ نتایج آزمایشها و تجربیات عملی اتصال زمین..... ۴۹

۴-۵ طرح سیستم زمین برجهای خطوط انتقال انرژی..... ۵۱

۴-۵-۱ زمین کردن برجهای خطوط انتقال انرژی..... ۵۳

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## فصل پنجم

### تخلیه جوی الکتریکی بر خطوط انتقال

- ۱-۵ تخلیه جوی الکتریکی بر هادیهای فاز..... ۵۹
- ۲-۵ تخلیه جوی بر سیمهای محافظ..... ۶۴
- ۳-۵ تخلیه جوی مستقیم بر بدنه برجها..... ۶۷
- ۴-۵ تخلیه جوی مستقیم در مجاور پستهای فشار قوی..... ۷۱
- ۵-۵ انتشار موج در طول خطوط انتقال انرژی..... ۷۳

## فصل ششم

### محاسبات اضافه ولتاژها در خطوط انتقال در اثر اصابت صاعقه

- ۱-۶ مقدمه..... ۷۶
- ۲-۶ محاسبات اضافه ولتاژ در برج در اثر برخورد مستقیم صاعقه..... ۷۶
- ۱-۲-۶ محاسبه ولتاژ در نقطه رأس برج..... ۷۶
- ۲-۲-۶ محاسبه ولتاژ روی کراس آرم..... ۷۹
- ۳-۲-۶ محاسبه ولتاژ روی زنجیر مفره..... ۸۰
- ۳-۶ محاسبه ولتاژ القایی در اثر برخورد صاعقه به اطراف خطوط انتقال..... ۸۲

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱-۳-۶ محاسبات بر روی خط زمین شده..... ۸۳

۲-۳-۶ اثر زمین شدن یکی از هادیهای خط انتقال..... ۸۴

## فصل هفتم

### بررسی حادثه خط منتظر قائم - قزوین

۱-۷ شرح حادثه..... ۸۷

۲-۷ علت حادثه..... ۸۸

۱-۲-۷ برخورد صاعقه با فاز..... ۸۸

۲-۲-۷ برخورد مستقیم صاعقه با برج..... ۹۰

۳-۷ پیشنهادات..... ۹۰

۱-۳-۷ تقویت اتصال زمین پایه برجها..... ۹۱

۲-۳-۷ نصب برقگیر..... ۹۱

۳-۳-۷ نصب سیم محافظ هوایی..... ۹۲

۴-۳-۷ نصب شاخکهای برقگیر در طول زنجیر مفره..... ۹۲

۴-۷ گزارشی از پست منتظر قائم..... ۹۳

## فصل هشتم

### شبه سازی

۱-۸ مدل زنجیر مفره..... ۹۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۸-۲ شبیه سازی برج ..... ۹۶

۸-۲-۱ مشخصات برجهای شبکه مورد نظر ..... ۹۶

۸-۲-۲ مدل سازی برج در حالتی که شبکه دارای سیم محافظ نباشد ..... ۹۷

۸-۲-۳ شبیه سازی برج در حالتی که شبکه دارای سیم محافظ باشد ..... ۹۷

۸-۳ مدل سازی خط انتقال و پستهای فشار قوی ..... ۹۸

۸-۴ شبیه سازی موج صاعقه ..... ۹۸

۸-۵ شبیه سازی حادثه ..... ۹۹

۸-۶ شبیه سازی شبکه با وجود سیم محافظ در مقابل برخورد صاعقه ..... ۱۰۲

۸-۶-۱ بررسی رفتار شبکه در حالت بدون برقگیر در پست منتظر قائم در مقابل برخورد صاعقه

سیم محافظ ..... ۱۰۲

۸-۶-۲ بررسی رفتار شبکه در حالت وجود برقگیر در پست منتظر قائم در مقابل برخورد صاعقه

سیم محافظ ..... ۱۰۴

## فصل نهم

### نتیجه گیری و پیشنهادات

۹-۱ نتایج ..... ۱۰۶

۹-۲ ارائه پیشنهادات ..... ۱۰۷

### پیوستها

تئوری ویلسون ..... ۱۱۰



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

تئوری سیمپسون.....۱۱۱

تئوری ورکمن.....۱۱۳

مراجع و مآخذ.....۱۱۵



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل اول



# مقدمه



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۱-۱ کلیات

با توجه به ماهیت و نقش شبکه‌های سراسری انتقال انرژی در زندگی امروزی و پیشرفتهای صنعتی کشورها، خطوط انتقال انرژی و ایستگاه‌های فشار قوی در این شبکه‌ها آسیب‌پذیرترین و حساس‌ترین قسمت‌های شبکه را در قبال پدیده‌های طبیعی منجمده رعد و برق یا تخلیه جوی الکتریکی تشکیل می‌دهند. شبکه‌های سراسری انتقال انرژی به صورت خطوط هوایی با هادیهای تحت ولتاژ در ارتفاع کافی از زمین در معرض برخورد مستقیم رعد و برق و تخلیه جوی الکتریکی واقع می‌باشند.

تأثیر تخلیه جوی الکتریکی بر این خطوط از نظر صدمه موضعی و خسارات ناشی از آن مورد نظر نبوده، اهمیت عمده آن ایجاد اختلال در برق رسانی و قطع سراسری شبکه و انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان می‌باشد. هر گونه تخلیه جوی بر هر نقطه از خطوط انتقال انرژی به صورت قوس الکتریکی در فواصل هوایی ایزولاسیون خطوط ظاهر گردیده، ایزولاسیون پیش‌بینی شده خطوط را مختل و شبکه را با خاموشی کامل مواجه می‌سازد. صاعقه یکی از عوامل مهم قطع برق در خطوط انتقال و توزیع نیرو می‌باشد، بررسیهای انجام شده در کشور آمریکا و کانادا در طول ۱۴ سال بهره‌برداری از حدود ۲۵۰۰۰ مایل خطوط انتقال نیرو نشان می‌دهد که ۲۶ درصد قطعی‌های برق خطوط انتقال ۳۴۵ کیلو ولت در اثر برخورد صاعقه به وجود آمده است و برر سیهای مشابه در کشور انگلستان که آنهم در یک دوره ۱۴ ساله انجام گرفته نشان می‌دهد که از حدود ۵۰۰۰ قطعی در خطوط توزیع نیرو تا ولتاژ ۳۳ کیلو ولت، ۴۷ درصد آنها در اثر صاعقه به وجود آمده‌اند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۲-۱ اهداف

### ۱-۲-۱ فصل دوم

با توجه به اینکه امواج گذرای صاعقه باعث پدید آمدن مشکلات عدیده‌ای در خطوط انتقال و پست‌های فشار قوی شده‌اند، لذا می‌بایست حفاظت مناسبی از خطوط و پستهای فشارقوی در برابر این پدیده طبیعی صورت گیرد. لزوم حفاظت صحیح از سیستمهای قدرت، مستلزم شناخت کافی از مکانیزم، ماهیت و عملکرد صاعقه بر روی خطوط انتقال انرژی می‌باشد. به همین منظور در این فصل به بررسی مکانیزم صاعقه، شکل موج، رابطه ریاضی و انرژی موجود در صاعقه می‌پردازیم، به طوری که در فصلهای بعدی از این شکل موجها و معادلات استفاده خواهیم کرد.

### ۲-۲-۱ فصل سوم

بررسی خواص الکتریکی خاک، بسیار مهم و قابل توجه است. تعیین مقاومت مخصوص خاک در تعیین مقاومت زمینی که مورد بررسی مسائل مربوط به ایمنی الکتریکی قرار می‌گیرد، مورد استفاده واقع می‌شود. در این فصل به بررسی عوامل موثر بر هدایت الکتریکی خاک می‌پردازیم.

### ۳-۲-۱ فصل چهارم

با توجه به اهمیت امپدانس موجی برجها در کاهش در صد بروز قوسهای برگشتی، همچنین تأثیر مقاومت زمین طبیعی برجها در ولتاژ تماس بدنه، لازم است مقاومت طبیعی و امپدانس موجی موجها از مقدار مجاز و قابل قبول تجاوز ننماید، مقاومت اهمی طبیعی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برجها تابع مقاومت مخصوص خاک بوده و برحسب نوع زمین و موقعیت برج در رنج و سיעی تغییر می نماید. به منظور کاهش مقاومت زمین طبیعی برجها در زمینهای با مقاومت مخصوص بالا، سیستم زمین مناسب جهت برج پیش بینی شده، مقاومت زمین طبیعی برج کاهش می یابد. در فصل چهارم ضمن آشنایی با مقاومت پای برج و رفتار آن در برخورد با امواج گذرا، روشهای مختلف کم کردن این مقاومت مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت طرح سیستم زمین برجها در خطوط انتقال انرژی ارائه می شود.

### ۴-۲-۱ فصل پنجم

خطوط انتقال انرژی الکتریکی، متشکل از برجهای فولادی، سیمهای زمین، هادیهای فاز واقع در دشتها، مناطق کوهستانی، بیابانها، مزارع کشاورزی و غیره مناسبترین و کوتاهترین وسیله را جهت تخلیه جوی بارهای الکتریکی به زمین تشکیل می دهند. به طوری که تخلیه جوی در مناطق کوهستانی و دشتها به سمت این خطوط منحرف گشته، از طریق آنها به زمین تخلیه می گردد. تخلیه در کلیه قسمتها و اجزای خطوط انتقال انرژی امکان پذیر بوده، در هر قسمت با پدیدهها و عکس العملهای متفاوت همراه می باشد. در این فصل نحوه تخلیه جوی الکتریکی بر اجزای خطوط انتقال انرژی مورد مطالعه قرار می گیرد.

### ۵-۲-۱ فصل ششم

در اثر برخورد صاعقه به خطوط انتقال یا نزدیکی آنها، ولتاژهای موجی با دامنههای مختلف در نقاط مختلف برجها، سیمهای فاز، سیمهای زمین و... به وجود می آید که محاسبه آنها حائز اهمیت می باشد. یکی از کاربردهای مهم این محاسبات به دست آوردن ولتاژ دو سر زنجیرمقره و مقایسه آن با BIL خط می باشد. بنابر این در این فصل ولتاژهای

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

القا شده بر روی خطوط انتقال در اثر برخورد مستقیم و غیرمستقیم صاعقه مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۱-۲-۶ فصل هفتم

از آنجایی که ایده اصلی انجام این پروژه از حادثه‌ای که در سال ۷۲ در حوالی پست منتظر قائم اتفاق افتاده، گرفته شده است، لذا در این فصل در ابتدا گزارش مشروح حادثه آورده شده است، سپس به بررسی علل مختلف حادثه پرداخته و در نهایت پیشنهادات و گزارشی از این پست و خط مزبور ارائه شده است.

### ۱-۲-۷ فصل هشتم

با توجه به قابلیت بالای نرم افزار ATP، جهت شبیه سازی حالات گذرا از این نرم افزار استفاده شده است. در ابتدا المانهایی از ATP که جهت شبیه سازی به کار رفته اند تشریح شده است. در ادامه حادثه سال ۷۲ خط منتظر قائم - قزوین شبیه سازی شده و تأثیر مقاومتهای پای برج مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت تأثیر موج صاعقه بر روی سیم محافظ با وجود برقگیر و بدون وجود برقگیر همچنین تأثیر مقاومتهای مختلف پای برج بررسی شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل دوم

## فیزیک صاعقه

ویپارامترهای جریان ناشی

از آن

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## ۱-۲ فیزیک صاعقه ( Physics of lightning )

صاعقه را می توان یک تخلیه گذرای الکتریکی با جریان بالا که طول مسیر آن به کیلومترها می رسد ، تعریف کرد. صدای ناشی از این عمل رعد ( thunder ) نامیده می شود . این تخلیه الکتریکی هنگامی رخ می دهد که ناحیه ای از اتمسفر دارای آنچنان بار الکتریکی شود که میدان ناشی از آن باعث شکست الکتریکی هوا گردد. این عمل به خصوص در ابر های جوشان ( thunder cloud ) اتفاق می افتد. این ابر ها را کومولونیمبوس ( cumulonimbus ) می نامند. گر چه در جریان ریزش برف و تگرگ و ابر های روی کوه های آتشفشان هم زدن صاعقه گزارش شده است ، در این بحث منظور ما از صاعقه بیشتر، برق ناشی از ابر های جوشان است. این چنین تخلیه ای می تواند در درون ابر ( intra cloud ) ، پایین دو ابر ( cloud to cloud ) یا بین ابر و زمین ( cloud to earth ) ، پایین ابر و هوای اطراف اتفاق افتد. قبل از بررسی مسأله تخلیه به مسأله بارداری ابر های جوشان پرداخته می شود. تئوریهای مختلفی در این زمینه وجود دارد که در فصل پیوستها به آنها اشاره می گردد.

## ۲-۲ شاخه های پیشرونده مرحله ای صاعقه ( Stepped leader ) [12]

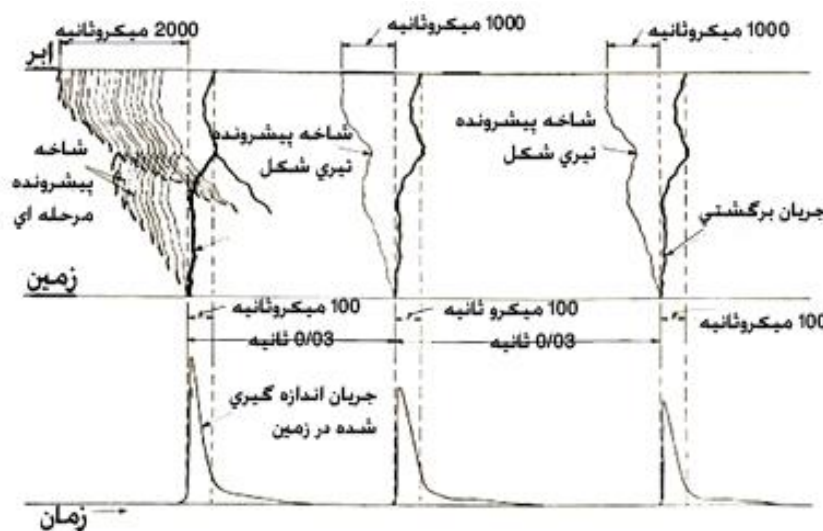
در سال ۱۹۳۰ مالان ، ( Malan ) ، کولنز ( Collens ) و هاگز ( Hodges ) در آفریقای جنوبی به طور گسترده ای از دوربین بویز ( Boys ) استفاده کردند. این دوربین حرکت نسبی بین فیلم و لنز ایجاد می کند تا مکانیسم صاعقه را نشان دهد. با استفاده از لنز ثابت و فیلم نواری متحرک، تصویری شماتیک شبیه شکل ( ۱-۲ ) حاصل می شود.

هر صاعقه که به زمین اصابت می کند با یک تخلیه ابتدایی ضعیف شروع شده که شاخه پیشرونده است و از ابر به سوی زمین گسترش می یابد و به دنبال آن مسیر برگشتی



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

که با شدت زیاد همراه است، از زمین به سوی ابر گسترش می یابد. در حقیقت تخلیه ابتدایی از ابر به سوی زمین که قبل از مسیر برگشتی رخ می دهد، شاخه پیشرونده مرحله ای نامیده می شود. به عقیده خیلی از محققین شاخه پیشرونده مرحله ای با شکست الکتریکی بین بارهای N و P در ابر جو شان رخ می دهد و این شکست بارهای الکتریکی که قبلاً به یخ و ذرات کوچک آب چسبیده بودند را به حرکت در می آورد. در این هنگام با جمع شدن بارهای منفی در ابر، میدان الکتریکی ایجاد می شود که به صورت ستونی به سمت زمین حرکت می کند و همین ستون شاخه پیشرونده است.



شکل (۱-۲): شماتیک اصابت یک صاعقه به زمین (با استفاده از دوربین ذکر شده)، زمان از چپ به راست افزایش می یابد.

## ۱-۲-۲ مسیر برگشتی ( Return stroke )

وقتی که شاخه پیشرونده مرحله ای، ستونی از بار منفی را به نزدیک زمین می آورد، میدان الکتریکی قوی حاصل در زمین به قدری است که باعث حرکت بارها به سمت بالا

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

می شود تا به شاخه پیشرونده برسد. وقتی یکی از این تخلیه ها به شاخه پیشرونده می رسد از این لحظه مسیر برگشتی شروع می شود.

با اتصال شاخه پیشرونده به زمین، بار مثبت از زمین به سوی ابرها جاری می گردد و با اندازه گیری از روش اسپکتروسکوپی ( spectroscopy ) درجه حرارت مسیر به حدود  $30000^{\circ}\text{K}$  می رسد.

### ۲-۲-۲ شاخه پیشرونده تیری شکل ( Dart leader ) [ ۱۶ ]

بعد از اینکه جریان کانال قطع شد ، صاعقه پایان می یابد. اگر بار اضافی در بالای کانال باشد ، شاخه های جدیدی از برق ایجاد می گردد که در این حالت صاعقه چند شاخه ای ( multiple stroke ) حاصل می گردد . بار مورد لزوم برای شاخه های ایجاد شده از قسمتهای بالای ناحیه N تامین می گردد. شاخه های پیشرونده بعد از اولین مسیر برگشتی ( مطابق شکل ۱-۲ ) را شاخه پیشرونده تیری شکل می نامند. مشخصه های شاخه پیشرونده مرحله ای ، مسیر برگشتی و شاخه پیشرونده تیری شکل ( مشخصه های صاعقه ) در جدول (۱-۲) آمده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل ۱ - شاخه پیشرونده مرحله‌ای			
ماکزیمم	مقدار معمول	مینیمم	
۲۰۰	۵۰	۳	طول مرحله‌ها m
۱۲۵	۵۰	۳۰	فاصله زمانی بین مراحل $\mu s$
$2/6 \times 10^6$	$1/5 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	سرعت متوسط انتشار شاخه پیشرونده مرحله‌ای m/sec*
۲۰	۵	۳	بار موجود در کانال شاخه پیشرونده مرحله‌ای coul
ماکزیمم	مقدار معمول	مینیمم	شاخه پیشرونده تیری شکل
$2/1 \times 10^7$	$2 \times 10^6$	$1 \times 10^6$	سرعت انتشار m/sec
۵	۱	۰/۲	بار موجود در کانال شاخه پیشرونده تیری شکل coul
ماکزیمم	مقدار معمول	مینیمم	مسیر برگشت **
$1/4 \times 10^8$	$5 \times 10^7$	$2 \times 10^7$	سرعت انتشار m/sec
> ۸۰	۱۰	< ۱	سرعت افزایش جریان sec $\mu$ KA/
۳۰	۲	< ۱	زمان رسیدن به جریان ماکزیمم $\mu s$
۲۰۰	۱۰-۲۰	--	جریان ماکزیمم KA ***
۱۵۰	۴۰	۱۰	زمان رسیدن به ۵۰٪ مقدار ماکزیمم جریان $\mu s$
۲۰	۲/۵	۰/۲	بار انتقالی ناشی از جریان مداوم Coul
۱۴	۵	۲	طول کانال km
ماکزیمم	مقدار معمول	مینیمم	قوس صاعقه lightning flash
۲۶	۳-۴	۱	تعداد اصابتها در یک قوس
۱۰۰	۴۰	۳	فاصله زمانی بین اصابتها در حالتی که جریان مداوم نیست msec
**** ۲	۰/۲	$10^{-2}$	طول زمانی یک قوس sec

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۹۰	۲۵	۳	بار انتقالی در ضمن یک قوس در حالت جریان مداوم coul
----	----	---	---

جدول (۱-۲): مشخصه‌های شاخه پیشرونده مرحله‌ای و تیری شکل و مسیر برگشتی

\* سرعت انتشار از روش عکسبرداری به دست می آید و در نتیجه سرعت حاصل دوبعدی است، ولی چون قوس ناشی از صاعقه که به زمین اصابت می کند در اکثر اوقات عمودی نیست (سه بعدی است) پس مقادیر ذکر شده کمی کمتر از مقادیر واقعی است.

\*\* نخستین مسیر برگشت کمترین سرعت انتشار، کمترین سرعت افزایش جریان، بیشترین زمان رسیدن به ماکزیمم و بیشترین بار انتقالی را نسبت به مسیر برگشتهای بعدی داراست.

\*\*\* جریان ماکزیمم بیش از ۲۰۰ KA به ندرت توسط محققین گزارش شده است.

\*\*\*\* قوس ناشی از صاعقه که ۱۵ تا ۲۰ ثانیه طول کشیده توسط گادلوتن (Godloton) در سال ۱۸۹۶ گزارش شده است.

مقادیر این جدول از تحقیقات آقایان برگر (Berger)، ووگل زانگر (Vogel Sanger)، بروک (Brook)، کیتاگوا (Kitagawa) و... گرفته شده است.

### ۳-۲-۲ تخلیه بین ابر ( Intra Cloud discharge )

تخلیه بین ابرها معمولاً بین بار مثبت بالایی و بار منفی پائینی اتفاق می افتند. تخلیه کامل حدود ۰/۲ ثانیه طول می کشد. در ضمن، نور ناشی از تخلیه، ضعیف خواهد بود و در ضمن این عمل شاخه پیشرونده مرکزی دو بار را به هم وصل می کند که باعث نور شدیدی خواهد شد که شامل چند پالس شدید نور است که مدت هر کدام حدود 1 msec است. کل بار خنثی شده در تخلیه بین دو ابر احتمالاً معادل همان بار خنثی شده در حالت تخلیه ابر با زمین است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## ۲-۲-۴ تخلیه‌ای که بار مثبت به زمین می آورد

شاخه پیشرونده مرحله‌ای معمولاً بار منفی از ابر به زمین می آورد، ولی گاهی دیده شده است که بار مثبت به زمین آورده است. جریان ناشی از تخلیه این بار مثبت مستقیماً در ضمن تخلیه بر روی دکلهایی که به وسیله دستگاههای سنجش مجهز شده‌اند، اندازه‌گیری شده است. جریان ناشی از این گونه تخلیه دارای سرعت افزایش جریان کمتر نسبت به جریان ناشی از بار منفی است (۵ بار کند تر) و بار بیشتری انتقال می‌یابد (حدود سه برابر حالت تخلیه بار منفی). تخلیه مثبت معمولاً به ندرت بیش از یک اصابت (Stroke) دارد.

## ۲-۲-۵ تخلیه با جریان پیشرونده به سوی بالا

شاخه پیشرونده مرحله‌ای به سمت ابر معمولاً از ساختمانهای بزرگ مانند دکلهایی که روی کوهها نصب شده‌اند، آغاز می‌گردد و می‌تواند دارای بار مثبت یا منفی باشد و هر دو نوع دیده شده است، برای شاخه پیشرونده به سمت بالا که بار مثبت دارد، جریان ناشی از تخلیه، شبیه به شاخه پیشرونده به سمت پائین با بار منفی است (شاخه پیشرونده متداول). وقتی که یک شاخه پیشرونده به سمت بالا با بار مثبت به ابر می‌رسد، مسیر برگشتی رخ نمی‌دهد. جریان پیشرونده به تدریج افزایش یافته و به جریان چند صدآمپری تبدیل می‌شود که به دنبال آن به تخلیه کامل مبدل می‌گردد. یعنی بار منفی از ابر به زمین می‌آورد و جریان زیادی جاری می‌گردد. از گزارشات چنین بر می‌آید که به ندرت شاخه پیشرونده به سمت بالا با بار منفی به شاخه پیشرونده از سوی ابر متصل می‌شود و نیز تخلیه‌ای با چند اصابت که بار مثبت از ابر به زمین بیاورد به ندرت دیده شده است.

## ۲-۳ اختلاف پتانسیل بین ابر و زمین و انرژی موجود در صاعقه [ ۱۰ ]

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

علائم زیر را در نظر می گیریم :

$U_L =$  اختلاف پتانسیل بین ابر ( قسمت بالایی شاخه پیشرونده ) و زمین.

$U_1 =$  افت ولتاژ در طول شاخه پیشرونده

$U_T =$  ولتاژ در ابتدای شاخه پیشرونده ( در سطح کانال )

پس :

$$U_L = U_1 + U_T \quad (1-2)$$

گرادیان ولتاژ در طول یک قوس حدود  $20-60 \text{ v/cm}$  است. اگر ما  $60 \text{ v/cm}$  را

در نظر بگیریم ، برای یک کانال تخلیه به طول  $5$  کیلومتر داریم:

$$U_1 = 30MV$$

اگر شعاع شاخه پیشرونده را  $6 \text{ m}$  در نظر بگیریم، با توجه به اینکه شدت میدان در سطح

خارجی کانال را  $3 \times 10^6 \text{ v/m}$  در نظر گرفتیم ، لذا داریم:

$$U_T = 3 \times 10^6 \times 6 = 18MV$$

پس:

$$U_L = 30MV + 18MV = 48MV \cong 50MV$$

اگر باری که انتقال می یابد را  $40 \text{ C}$  بگیریم، در این صورت انرژی موجود به قرار زیر است

:

$$W = Q.V = 50 \times 10^6 \times 40 = 2 \times 10^9 \text{ J}$$

## ۲-۴ رعد ( Thunder )

انرژی واحد طول کانال تخلیه صاعقه در حدود  $10^5 \text{ j/m}$  است. این انرژی صرف

یونیزاسیون ، تحریک و انرژی دار کردن ذرات کانال و توسعه کانال می شود. سریع گرم

کردن کانال باعث تولید فشار زیاد می گردد. این فشار باعث موج ضربه ای می شود که به

صورت شعاعی انتشار می یابد و محققین زیادی از قبیل لین

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

( Lin ) ساکورای ، ( Sekurai ) ، سویگارت ( Swigart ) و راوز ( Rouse ) در مورد خواص این موج ضربه‌ای که به صورت استوانه‌ای منتشر می شود بررسی ها و محاسباتی انجام داده‌اند و به نتایج یکسانی رسیده‌اند. شعاع این استوانه از رابطه زیر به دست می آید :

$$r = S \left( \frac{W}{p_0} \right)^{1/4} t^{1/2} \quad (2-2)$$

$S =$  فاکتوری است که به خواص گاز بستگی دارد و برای هوا  $S=1$  است.

$W =$  انرژی بر واحد طول

$t =$  زمان

$p_0 =$  دانسیته اتمسفر

فشار این موج ضربه‌ای به قرار زیر است :

$$P = 0.2 \frac{W}{r^2} N/m^2 \quad (3-2)$$

روابط (۲-۲) و (۳-۲) به شرطی معتبر هستند که فشار موج ضربه‌ای از فشار محیط اطراف کانال بیشتر باشد. در ضمن انرژی به طور سریع وارد کانال می شود. چون فشار ضربه‌ای تولید شده متناسب با مربع شعاع استوانه پخش موج ضربه‌ای کاهش می یابد، در این صورت موج ضربه‌ای در فاصله‌ای به موج ضربه‌ای ضعیف تبدیل می گردد و این موج تضعیف شده به موجی صوتی مبدل می شود. فاصله‌ای که در آن موج ضربه‌ای به موج صوتی مبدل می گردد، به طور تقریبی از رابطه تجربی زیر حاصل می شود:

$$l = 1.47 \left( \frac{W}{p} \right)^{1/2} \quad (4-2)$$

$p =$  فشار محیط  $N/m^2$

$w =$  انرژی ورودی بر واحد طول  $J/m$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

چنانچه دیده می شود موج ضربه ای که به طور استوانه ای منتشر می شود در فاصله چند متر کانال به موج صوتی مبدل می شود و این موج صوتی به نام رعد به گوش ما می رسد.

## ۲-۵ جریان ناشی از اصابت صاعقه

مهمترین پارامتر صاعقه جریان ناشی از تخلیه بار ابر است که با دانستن شکل موج و دامنه آن مسایل الکتریکی حفاظت در برابر صاعقه قابل حل است. با دانستن مشخصه های جریان می توان اطلاعات مربوط به بار، انرژی و ممان الکتریکی را به دست آورد. از دید فیزیکدانان اطلاعات موجود در مورد صاعقه کامل نیست، زیرا آنها احتیاج به دانستن اطلاعات در مورد صاعقه در تمام طول کانال دارند و اطلاعات کاملی در مورد تغییرات جریان در طول این فاصله در دست نمی باشد.

مهندسين حفاظت احتیاج به دانستن جریان در نقطه اصابت دارند که اطلاعات کاملی در این مورد در دسترس می باشد. در آنالیز دامنه جریان صاعقه، مسئله نوع اصابت که ناشی از شاخه پیشرونده به سمت پائین یا بالاست و همچنین مسئله تک اصابتی یا چند اصابتی (multi-stroke) بودن را باید در نظر داشت.

صاعقه های برخورد کننده به زمین صاف و یا اجسام با ارتفاع کم دارای شاخه پیشرونده به سمت پایین است ولی برای اجسام با ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر با افزایش ارتفاع در صد صاعقه های ناشی از شاخه پیشرونده به سمت بالا افزایش می یابد. اما باید گفت که اکثر صاعقه ها دارای بار منفی و چند اصابتی هستند. معمولاً دامنه جریان ناشی از اولین



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اصابت بیشترین مقدار را دارد و دامنه جریان با توجه به ارتفاع جسم، ارتفاع محل و مقاومت خاک متغیر است.

## ۲-۵-۱ اثر ارتفاع جسم در دامنه جریان [ ۱۳ ]

اکثر مقادیر به دست آمده توسط محققین در این مورد هم برای اجسام مرتفع است. این مسئله که برای اجسام با ارتفاع کمتر چه تغییراتی حاصل می شود، با توجه به تحقیقات آقای گولد (Golde) به این نتیجه می توان رسید که اجسام با ارتفاع کمتر دارای دامنه جریان کوچکتری هستند.

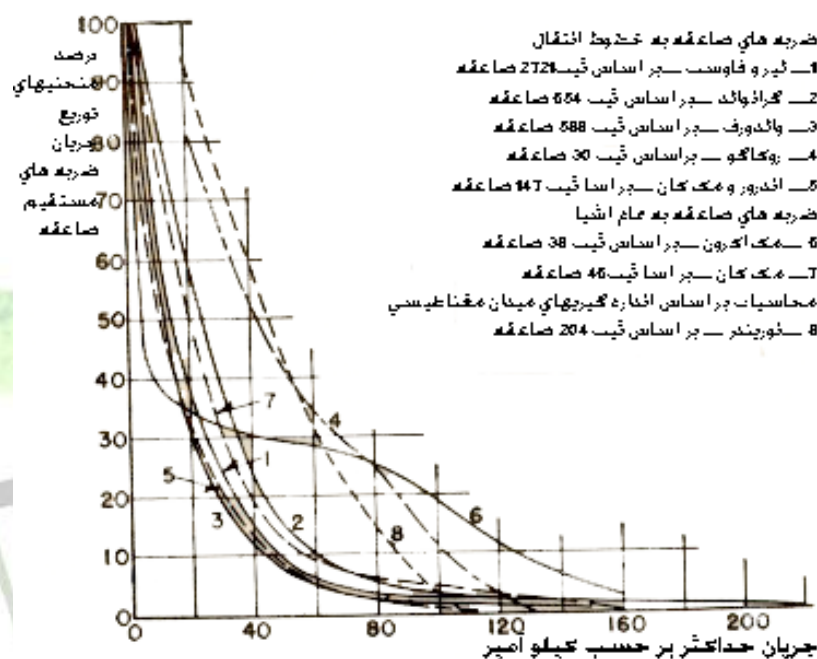
## ۲-۵-۲ اثر مناطق جغرافیایی [ ۱۲ ]

با بررسیهای انجام شده دیده می شود که نوع منطقه جغرافیایی و ارتفاع منطقه از سطح دریا بر دامنه جریان تأثیر دارد. هر چند نتیجه گیری کلی وجود ندارد ولی طبق نتایج به دست آمده می توان گفت مناطق گرمسیری دارای جریان با دامنه بیشتر و مناطق با ارتفاع بیشتر از سطح دریا دارای جریان با دامنه کمتر هستند. البته در مناطق کوهستانی دامنه جریان کمتر است و از نظر تئوری می توان این مسئله را چنین توجیه کرد، که در مناطق کوهستانی فاصله ابرها تا زمین در مقایسه با نقاط مسطح کمتر است.

بنابر این در نقاط کوهستانی اختلاف پتانسیل ابر نسبت به زمین قبل از اینکه بار زیادی ( در مقایسه با مناطق مسطح) در ابر جمع شود به اختلاف پتانسیل مورد لزوم برای شکست در هوا می رسد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فوت های لازم

لذا دامنه جریان کمتر است. در برر سیهای انجام شده نیز می توان به این نکته اشاره کرد که جریانهای ناشی از صاعقه در مناطق با ارتفاع کم اکثراً دارای پلاریته منفی و با افزایش ارتفاع، درصدی از جریانها که دارای پلاریته مثبت است افزایش می یابد. منحنی توزیع دامنه جریان که توسط محققان مختلف به دست آمده در شکل (۲-۲) آمده است.



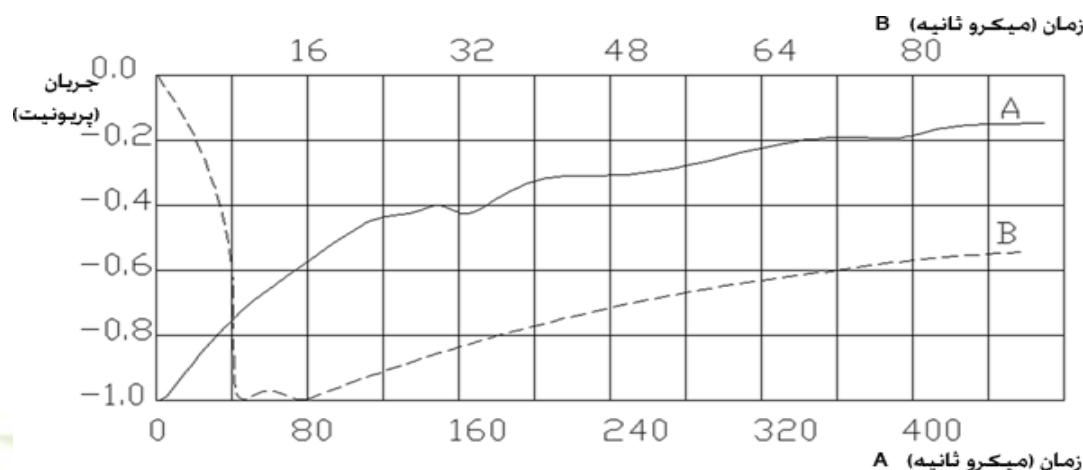
شکل (۲-۲): درصد توزیع دامنه جریان ناشی از صاعقه های مستقیم به خطوط انتقال

## ۲-۵-۳ شکل موج جریان [۱۳و۱۲]

تعداد زیاد اسیلوگرامهای به دست آمده از جریان ناشی از صاعقه در مناطق مختلف نشان دهنده اختلاف در شکل جریان ناشی از نخستین اصابت و جریان اصابت های بعدی است. همچنین تفاوت بین شکل جریانهای با پلاریته مثبت و منفی وجود دارد. به خاطر تفاوت هایی که حتی در اسیلوگرامهای گرفته شده از جریانهای با یک نوع پلاریته وجود دارد،

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرمان سایت و به همراه فونت های لازمه

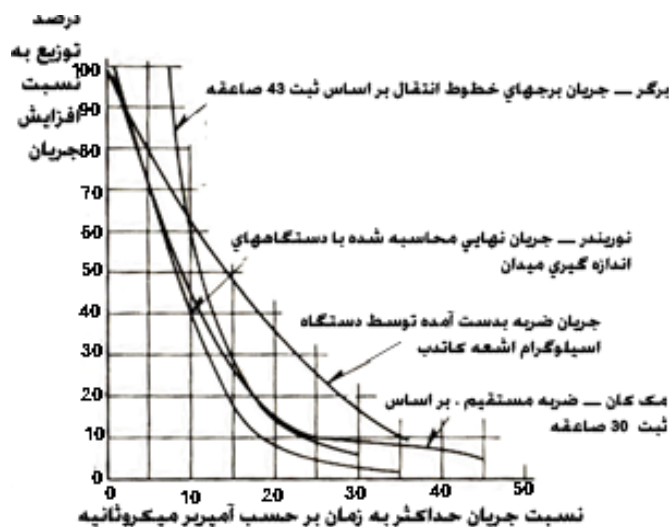
زمان رسیدن به ۵۰٪ ماکزیمم ملاک قرار گرفته و شکل موج متوسطی به دست آورده شده است. شکل (۳-۲) موج متوسط معادل را نشان می دهد. در منحنی B، موج متوسط حاصل بر اساس ۸۸ اسیلوگرام و منحنی A بر مبنای ۱۰ اسیلوگرام است. اکثر این اسیلوگرامها شکلی شبیه شکل متوسط به دست آمده دارند.



شکل (۳-۲): متوسط موج جریان برای پلاریته منفی

مقادیر سرعت افزایش جریان ناشی از صاعقه ( $\mu S KA/$ ) حاصل بر روی مقادیر آماری است و در شکل (۴-۲) نشان داده شده است. مقادیر برای صاعقه‌هایی است که ناشی از شاخه پیشرونده به سمت پائین و دارای بار منفی است. چنانچه در شکل (۴-۲) دیده می شود، مقادیر مربوط به برگ و ووگل زانگر (Berger and Vogel Sanger) ماکزیمم سرعت افزایش را نشان می دهد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۲-۴): منحنی های درصد توزیع به نسبت افزایش جریان ناشی از صاعقه با شاخه پیشرونده به

سمت پائین با بار منفی

## ۲-۵-۴ معادله ریاضی شکل موج ناشی از صاعقه [ ۱۰ ]

برای محاسباتی که در مورد جریان ناشی از صاعقه انجام می شود، عبارتی ریاضی

برای شکل موج جریان کمک زیادی خواهد کرد. تقریباً به طور همزمان در سال ۱۹۴۱

آقای استکولنیکف ( stekolinkov ) و آقایان بروس و گولد ( Bruce & Gold ) فرم

معادله (۲-۵) را که شامل دو تابع نمایی است پیشنهاد کردند.

$$I = I_0 [\exp(-at) - \exp(-bt)] \quad (۲-۵)$$

که مقادیر  $b, a, I_0$  با توجه مقدار Rise Time مناسب، ماکزیمم جریان و زمان

رسیدن به ۵۰٪ محاسبه می شود. رابطه (۲-۵) که به معادله بروس - گولد معروف است

ناکافی به نظر می رسد. در سال ۱۹۵۴ آقای بارلو ( Barlow ) و همکارانش با توجه به

بررسی اثرات نویز رادیویی ناشی از صاعقه فرم زیر را برای جریان در نظر گرفتند.

$$I = I_0 [k \exp(-at) - m \exp(-bt) + n \exp(-ct)] \quad (۲-۶)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بعد از آن فرم کاملتر زیر توسط محققین مختلف پیشنهاد شد:

$$I = I_1[\exp(-at) - \exp(-\beta t)] + I_2[\exp(-\delta t) - \exp(-\varepsilon t)] \quad (7-2)$$

مقادیر پیشنهادی برای پارامترها به قرار زیر است:

$$\begin{array}{lll} I_1 = 20 \text{ KA} & \beta = 2 \times 10^6 \text{ S}^{-1} & a = 2 \times 10^4 \text{ S}^{-1} \\ I_2 = 2 \text{ KA} & \varepsilon = 10^4 \text{ S}^{-1} & \delta = 10^3 \text{ S}^{-1} \end{array}$$



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل سوم

# هدایت الکتریکی



## خاک

WikiPower.ir

### ۱-۳ قابلیت هدایت الکتریکی خاک

بررسی خواص الکتریکی خاک بسیار مهم و قابل توجه است. تعیین مقاومت مخصوص خاک نه تنها در تعیین مقاومت زمینی که مورد بررسی مسائل مربوط به ایمنی الکتریکی و مسائل مربوط به تداخل الکتریکی در خطوط انتقال و مدارهای مخابراتی مورد استفاده قرار می گیرد، بلکه با ثبت تغییرات مقاومت مخصوص خاک می توان از آنچه در دل

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

زمین وجود دارد با خبر شد، خاک به طور کلی وقتی خشک باشد قابلیت هدایت الکتریکی آن اندک است. البته به جز مواد معدنی که فلزات به همراه دارند. شن و صخره‌ها چنان مقاومت بالایی دارند که می‌توان گفت قابلیت هدایت الکتریکی آن بسیار کم است. وقتی خاک مرطوب می‌شود قابلیت هدایت الکتریکی آن به سرعت افزایش می‌یابد و می‌توان آن را از نظر الکتریکی هادی دانست. گو اینکه مقاومت مخصوص آن نسبت به فلزات بسیار بیشتر است. قابلیت هدایت خاک با مقدار آبی که در آن وجود دارد و همچنین قابلیت هدایت آب که بستگی به نمکهای معدنی محلول در آن دارد مشخص می‌شود. در واقع هدایت الکتریکی خاک از طریق آبی که در آن وجود دارد انجام می‌پذیرد و بنابراین یک هدایت الکترولیتی است.

عوامل موثر بر هدایت الکتریکی خاک عبارتند از:

نوع خاک، ترکیب شیمیایی نمکهای محلول در آب موجود در خاک، مقدار رطوبت، حرارت، دانه بندی خاک، کیفیت توزیع آن و میزان فشردگی خاک.

WikiPower.ir

### ۳-۱-۱ اثر نوع خاک [ ۶ ]

مقاومت زمین به جنس خاک منطقه بستگی دارد که در جدول ( ۳-۱ ) مقاومت زمین بر حسب نوع و شرایط زمین برای چند منطقه خاص نشان داده شده است. کاهش مقاومت زمین باعث می‌شود. تا زمان تخلیه جریانهای ناشی از صاعقه تقلیل یابد و در نتیجه، عمل موثری است در تعیین فواصل فازی و کم شدن مقطع سیم محافظ، ضمناً با این اقدام می‌توان قطعی‌های ناشی از قوس برگشتی ( Flashover Back ) در خطوط انتقال نیرو را نیز تقلیل داد، چون اگر مقاومت زمین پای برجاها زیاد باشد، احتمال تخلیه موج از طریق مقره‌ها نیز وجود دارد ( این نوع تخلیه را قوس برگشتی گویند). در این حالت به جای اینکه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جریان صاعقه از مسیر برجها به زمین منتقل گردد، از طریق زنجیره مقره‌ها در هادیها تخلیه می‌گردد، که در نتیجه قطعی خط انتقال نیرو را به همراه دارد.

نوع خاک نقش مهمی را در میزان مقاومت مخصوص آن بازی می‌کند. اگر چه نوع خاک را دقیقاً نمی‌توان تعریف نمود. بطور مثال، خاک رس اشاره بر انواع متفاوتی از خاک دارد. همچنین یک نوع مشخصی از خاک وقتی در جاهای مختلف مورد آزمایش قرار می‌گیرد. مقاومت الکتریکی متفاوتی از خود بروز میدهد.

شکل (۱-۳) اثر نوع خاک موجود دور میله اتصال زمین روی مقاومت زمین را نشان می‌دهد. در این شکل پوسته‌های استوانه‌ای با ضخامت مساوی از زمین مجاور میله نشان داده شده است. فرض کنیم که خاک دارای مقاومت یکسان باشد، بیشترین مقاومت در پوسته‌های استوانه‌ای است که دور میله اتصال زمین قرار دارد و دارای حداقل سطح مقطع در جهت عبور جریان برق در خاک است. پوسته‌های استوانه‌ای بعدی دارای سطح مقطع بیشتری می‌باشند بنابراین مقاومت آنها کمتر است.

WikiPower.ir

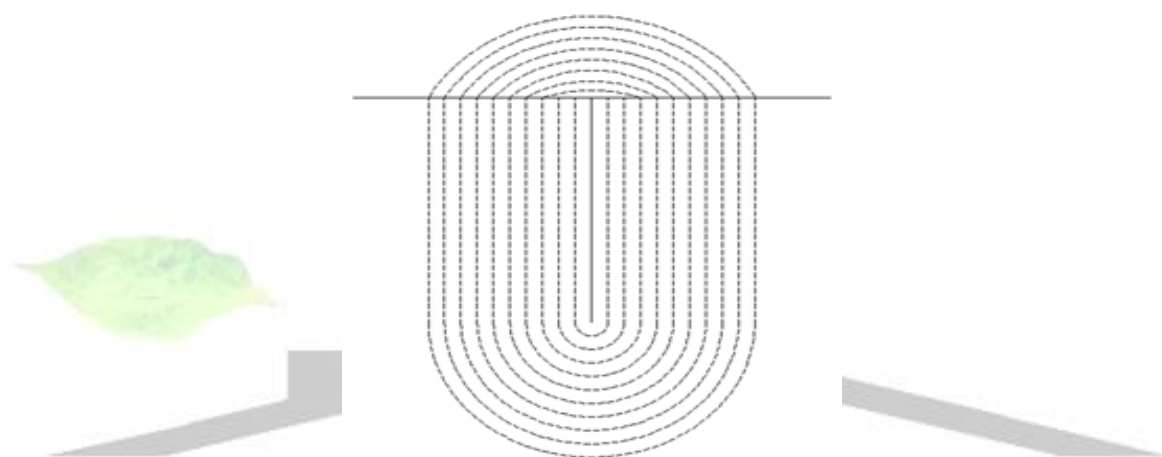
نوع زمین	مقاومت زمین
مناطق دریایی	۰/۰۱ تا ۱
زمین‌های باطلاقی	۱۰ تا ۱۰۰
زمین خشک	$10^3$
صخره	$10^7$
شن	$10^8$
سنگ	$10^9$

جدول (۱-۳): متوسط مقاومت زمین در مناطق مختلف برحسب اهم متر



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در فاصله ۰/۵ تا ۳ متری میله مساحت مسیر جریان به قدری زیاد است که مقاومت پوسته‌های استوانه‌ای بعدی خیلی کم است و نسبت به مقاومت پوسته استوانه‌ای مجاور میله قابل اغماض است مقاومت نسبت معکوس با سطح مقطع دارد و در فاصله چندمتری میله که مسیر جریان کوتاه است مقاومت مخصوص خاک اثر بسیار زیادی روی مقاومت اتصال زمین می‌گذارد.



شکل (۳-۱): نمایش شماتیک میله اتصال زمین و پوسته‌های استوانه‌ای خاک مجاور میله

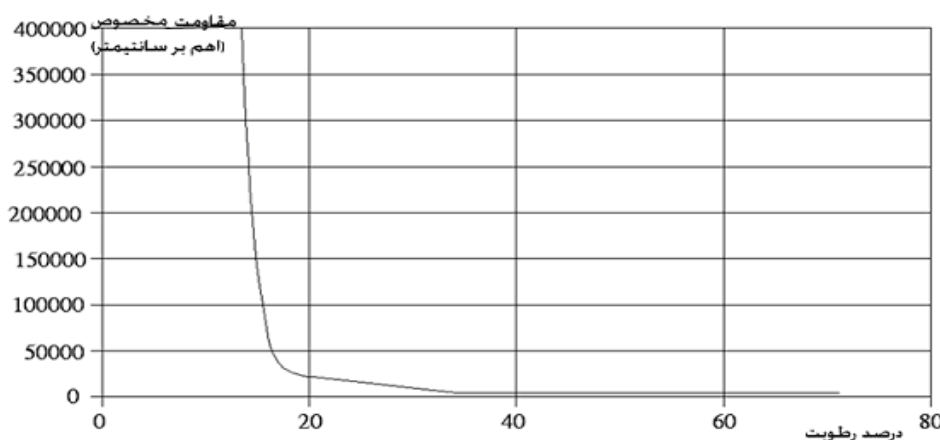
آزمایش‌ها نشان می‌دهند که ۹۰ درصد مقاومت الکتریکی محلی یک میله اتصال زمین معمولاً در شعاع ۱/۸ تا ۳ متری میله ایجاد می‌شوند. به طوری که در شکل (۳-۱) زمین اطراف میله به چندین پوسته استوانه‌ای تشبیه شده که ضخامت پوسته‌ها یکسان است و هر چه فاصله استوانه‌ها از میله بیشتر شود مسافت آنها بیشتر می‌شود و در نتیجه مقاومت آنها کمتر است.

### ۳-۱-۲ اثر رطوبت موجود در خاک و نمک‌های محلول در آن

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

از آنجا که هدایت جریان الکتریکی در خاک به صورت الکترولیتی انجام می شود، میزان آب و نمکهای محلول در آن اثر مهمی بر روی مقاومت مخصوص خاک دارد. مقدار آب به عوامل چندی که خود نیز متغیرند مربوط می شود. این عوامل عبارتند از: کیفیت آب و هوا، فصلهای سال، وضعیت طبیعی طبقات زیرین زمین و سطح آب، سفره های زیرزمینی و غیره، امکان اینکه خاک کاملاً خشک و بدون رطوبت باشد بسیار به ندرت وجود دارد، جز در مورد شن های کویری. از طرفی دیگر خاکهایی که دارای بیش از ۴۰ درصد رطوبت باشند به ندرت می توان یافت. چگونگی تغییرات مقاومت مخصوص خاکهای مختلف با رطوبت در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۲-۳) ملاحظه می شود که اگر رطوبت خاک از حدود ۱۰ به ۱۵ درصد برسد مقاومت مخصوص خاک به شدت کاهش می یابد اما از رطوبت بین ۱۸ تا ۱۹ درصد به بالا در صد کاهش مقاومت مخصوص خاک کمتر می شود. این امکان وجود دارد که وقتی خاک از آب اشباع شود افزایش مقاومت مخصوص بسیار اندک گردد. معمولاً رطوبت حدود ۱۰ درصد در فصلهای خشک و تا ۳۵ درصد در فصلهای بارانی است. بنابراین متوسط رطوبت ۱۶ تا ۱۸ درصد است.

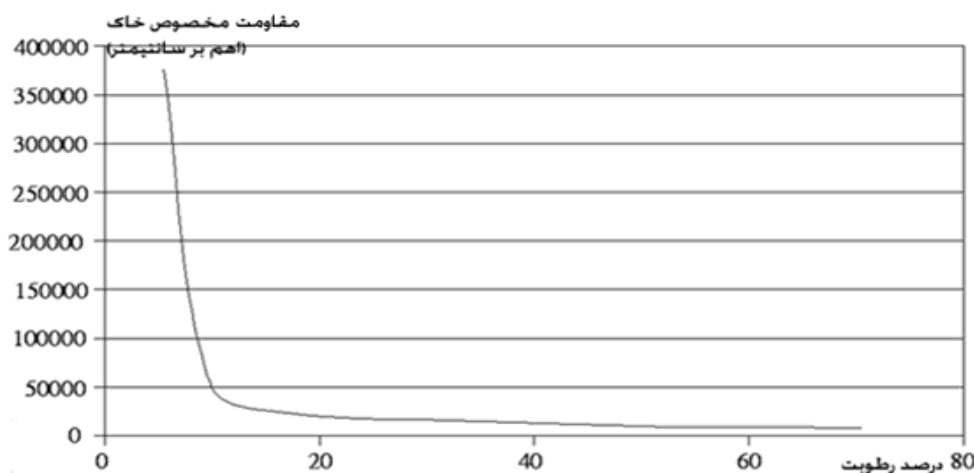


شکل (۲-۳): چگونگی تغییرات مقاومت مخصوص خاک با رطوبت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

از آنجا که میزان رطوبت موجود در خاک عامل مهمی در تعیین مقاومت مخصوص خاک است، می توان نتیجه گرفت مقاومت مخصوص خاک بستگی به مقاومت مخصوص آب داشته که آن هم بستگی به مقدار املاح موجود در آن دارد. مقدار کمی تغییر در رطوبت اثر بسیار زیادی روی مقاومت اتصال زمین با میله های معین می گذارد. این امر به خصوص در مورد مقادیر رطوبت تقریباً کمتر از ۲۰ درصد مشاهده می شود.

به عنوان مثال آزمایش هایی که روی گل قرمز به عمل آمده نشان می دهد که اگر رطوبت ۱۰ درصد باشد مقاومت مخصوص ۳۰ درصد بیشتر از حالتی است که رطوبت خاک ۲۰ درصد باشد. دیاگرام شکل (۳-۳) این موضوع را به خوبی نشان می دهد. اگر نسبت رطوبت خاک بیش از ۲۰ درصد باشد مقاومت مخصوص تغییر زیادی نمی کند اما چنانچه نسبت رطوبت کمتر از ۲۰ درصد باشد مقاومت مخصوص با کاهش رطوبت به شدت افزایش می یابد. رطوبت خاک در مناطق مختلف متغیر است اما معمولاً در فصول خشک نسبت رطوبت ۱۰ درصد است و در فصول مرطوب به حدود ۳۵ درصد می رسد.



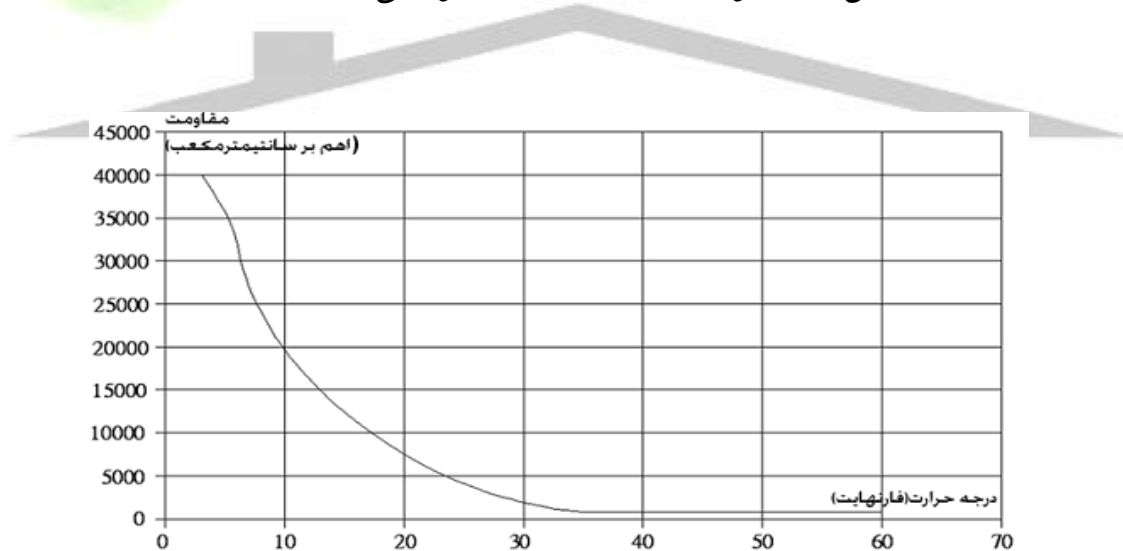
شکل (۳-۳): چگونگی تغییرات مقاومت مخصوص گل قرمز مورد آزمایش با رطوبت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

### ۳-۱-۳ اثر درجه حرارت

شکل (۳-۴) نحوه تغییرات مقاومت مخصوص زمین با تغییرات درجه حرارت برای گل قرمز با ۱۸/۶ درصد رطوبت را نشان می دهد.

حرارت عامل بسیار مهمی است، برای مناطقی که زمستان سردی دارند و زمین در آن فصل تا عمق زیادی منجمد می شود (درجه حرارت زیر صفر می رود). آب در خاک منجمد شده و این امر باعث می شود که ضریب حرارتی مقاومت مخصوص به مقدار خیلی زیادی افزایش یابد. این ضریب منفی است به عبارت دیگر با کاهش درجه حرارت مقاومت مخصوص افزایش می یابد و در نتیجه مقاومت اتصال زمین نیز افزایش می یابد. چنانچه میله برای اتصال زمین در چنین زمین هایی پایین تر از نقطه منجمد فرو برده نشوند تغییرات زیادی در مقاومت زمین در فصول مختلف سال به وجود می آید.



شکل (۳-۴): تغییرات مقاومت خاک با دما در مقدار رطوبت ثابت

حتی اگر میله ها پایین تر از منطقه منجمد فرو برده شوند، باز هم تغییرات مقاومت زمین محسوس است چون قسمتهای بالایی خاک (زمین) منجمد است و طول موثر میله اتصال زمین کمتر می شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بنابراین برای داشتن اتصال زمین خوب در طول سال به عمق میله باید توجه کرد تا اینکه مسئله حفاظت توسط میله اتصال زمین برای تمام طول سال موثر باشد. آزمایش های کمی برای تعیین اثر عوامل حرارت و فشار بر روی مقاومت خاک صورت گرفته است ولی از آنجایی که مقاومت خاک با درصد رطوبت موجود در آن مرتبط است و از طرفی مقاومت آب دارای ضریب حرارتی بالایی است، می توان گفت که مقاومت مخصوص خاک با افزایش درجه حرارت کاهش می یابد. از طرفی ضریب حرارتی مقاومت خاک منفی است و هر چه درجه حرارت پایین رود مقاومت مخصوص افزایش می یابد. فشار بالاتر موجب ایجاد توده فشرده تر خاک می شود که خود موجب کاهش مقاومت می گردد. نتایج تجربیاتی که در این زمینه وجود دارد، این تئوری را بطور کامل تایید نمی کند ولی عملاً می توان از اثر فشار روی مقاومت مخصوص صرف نظر نمود.

### ۳-۱-۴ اثر دانه بندی و توزیع آن

اندازه دانه ها و کیفیت پخش آنها در خاک روی مقاومت اثر مهمی دارد. این دانه بندی روی میزان جذب رطوبت خاک موثر است. برای دانه بندی در شت رطوبت در نقاط اتصال با دانه ها موجود می باشد ولی اگر دانه بندی با اندازه های متفاوتی باشد و فاصله بین آنها با دانه های کوچک پر شود مقاومت مخصوص کاهش می یابد.

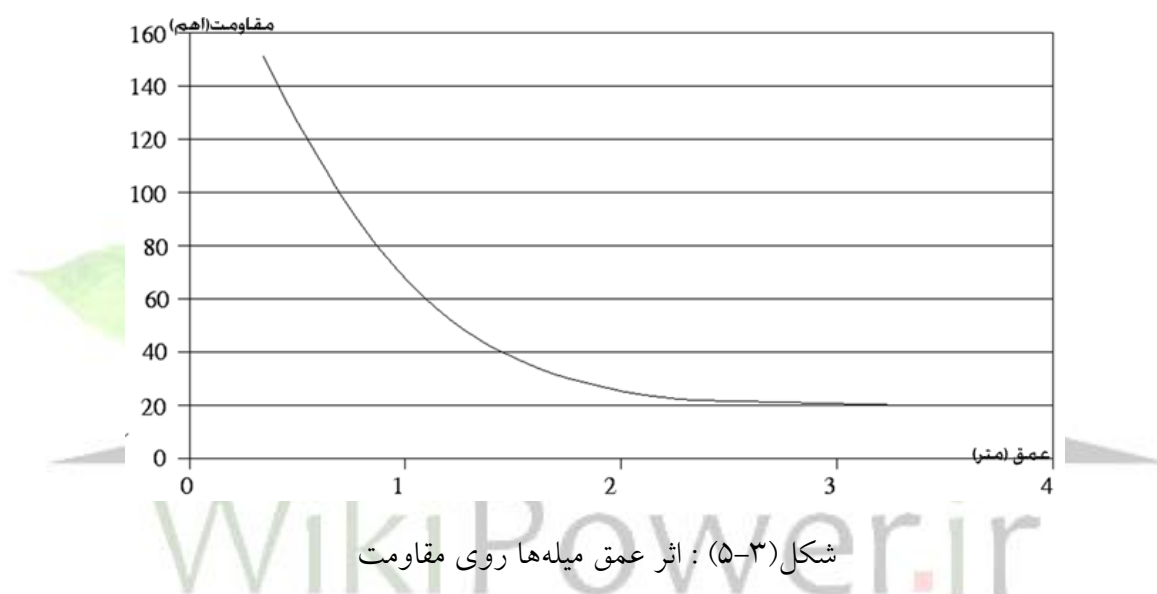
### ۳-۱-۵ اثر عمق

عمق الکترود زمین عامل مهمی در کاربرد الکتریکی آن دارد. الکترودها باید به چنان عمقی رانده شوند که به یک سطح خاک با رطوبت دائمی برسند. نرسیدن به این رطوبت نه تنها باعث حصول مقاومت بالایی می شود بلکه باعث تغییرات زیاد بر حسب

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

تغییر فصول سال می شود. خاک به ندرت مقاومت مخصوص یکسان در عمق های مختلف دارد معمولاً در سطوح بالایی دارای مقاومت نسبتاً زیاد بوده و متناوباً در اثر بارش و باران، تر و یا خشک می شود. عمق بیشتر در خاک پایداری بیشتر را باعث شده و کمتر تغییرات فصلی در آن مشاهده می شود.

شکل (۳-۵) اثر عمق میله ها روی مقاومت را که با محاسبه به دست آمده است را نشان می دهد.

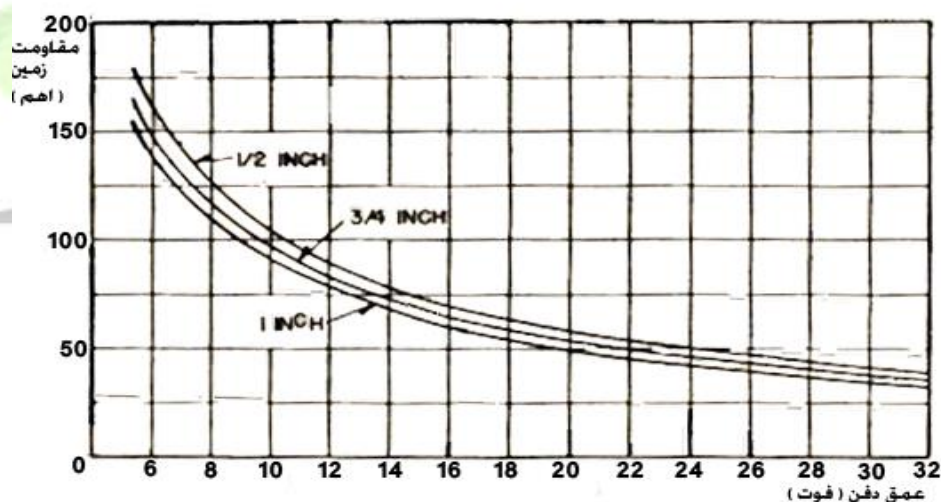


این محاسبه بر این مبناست که خاک یکسان در عمق‌های مختلف وجود دارد. در اولین ۱/۸ متر عمق، بیشترین کاهش مقاومت به دست می آید با این که مقاومت اتصال زمین میله ۲۴۰ سانتی متری باز هم بیشتر کاهش یافته است. اما کاهش مقاومت زیاد نبوده و تقریباً به اندازه کاهش مقاومت میله ۱۸۰ سانتی متری می باشد. اغلب میله‌هایی که داخل زمین قرار می گیرند دارای طولی برابر ۲۴۰ سانتی متر می باشند. در بعضی موارد میله‌های طولی تری مورد نیاز است. اما در اغلب زمین‌ها میله‌های دویست و چهل سانتی متری مناسب هستند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

### ۳-۱-۶ اثر قطر میله [ ۱۲ ]

افزایش قطر میله‌ها اثر بسیار کمی روی مقاومت خواهد داشت. نوع خاکی که دور میله اتصال زمین وجود دارد، روی مقاومت آن اثر می‌گذارد نه قطر میله، یعنی اختلاف مقاومت ناشی از استفاده از میله‌ها با قطرهای مختلف به قدری ناچیز است که مسئله قطر میله را می‌توان به طور کلی نادیده گرفت. شکل (۳-۶) نشان می‌دهد که ابعاد زمین (قطر و ضخامت) اثر ناچیزی در تغییر مقاومت زمین دارد و اثر عمده را طول میله دارا می‌باشد. به این دلیل استفاده از میله‌های طویل و باریک مناسب می‌باشد.



شکل (۳-۶): اثر ابعاد میله زمین (قطر و ضخامت) در مقاومت زمین

با در نظر گرفتن تغییرات مقاومت که ممکن است در طول مدت زمانی معین در نتیجه عوامل طبیعی غیرقابل کنترل مانند آب و هوا و حالت‌های مختلف خاک به وجود آید ملاحظه می‌شود که تغییر دادن قطر میله، مقاومت آن را چندان تغییر نمی‌دهد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

به طور کلی قطر میله اتصال زمین باید به اندازه کافی زیاد باشد تا بتوان آن را بدون خم و خراب شدن در زمین قرار داد.

### ۳-۱-۷ اثر جریانهای پراکنده در زمین

وجود جریانهای الکتریکی در خاک در بیشتر نقاط دنیا مشاهده شده است. علت وجودی این جریانها تا حدی مربوط به کنشهای الکترولیتی بوده که روی مقاومت زمین اثری ندارند ولی در موقع اندازه گیری مقاومت مخصوص باید آنها را در نظر گرفت. در کشورهای صنعتی جریانهای پراکنده ای در خاک وجود دارند که معمولاً از خطوط انتقال و با سیستم برقی و سایط نقلیه و یا از طریق القاء از سیستمهای جریان متناوب حاصل شده اند.

مسئله دیگر تغییر مقاومت لایه های زمین در اثر تغییر جهت جریان است. به طور کلی مشخص شده که مقاومت مخصوص خاک یک کمیت متغیر است و برای دانستن آن تنها راه قابل اطمینان، آزمایش در محل می باشد. نتیجه آزمایش میزان مقاومت مخصوص را در آن زمان تحت شرایط موجود زمان آزمایش مشخص می کند.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل چهارم

## طرح سیستم زمین

## برجهای خطوط

## انتقال

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

## ۴-۱ مقدمه

با توجه به اهمیت امپدانس موجی برجها در کاهش در صد بروز قوسهای برگشتی، همچنین تأثیر مقاومت زمین طبیعی برجها در ولتاژ تماس بدنه، لازم است مقاومت طبیعی و امپدانس موجی برجها از مقدار مجاز و قابل قبول تجاوز ننماید، مقاومت اهمی طبیعی برجها تابع مقاومت مخصوص خاک بوده و برحسب نوع زمین و موقعیت برج در رنج وسیعی تغییر می نماید. به منظور کاهش مقاومت زمین طبیعی برجها در زمینهای با مقاومت مخصوص بالا، سیستم زمین مناسب جهت برج پیش بینی شده که مقاومت زمین طبیعی برج کاهش می یابد.

به منظور کاهش مقاومت زمین برجها لازم است، سطح تماس بدنه فلزی برج از طریق نبشی ها، آرماتورها و فونداسیونها با خاک افزایش یافته و مسیر جریان از برج به داخل زمین گسترش یابد. افزایش مسیر جریان، کاهش مقاومت زمین طبیعی برج را موجب می گردد. چنانچه با انجام پیش بینی های فوق و آنچه که در قسمت قبل بیان گردید، مقاومت زمین طبیعی برج تا حد قابل قبول کاهش نیابد، با نصب هادیها در داخل خاک به ابعاد و اندازه مناسب مسیر اضافی جهت زمین تامین گردیده، مقاومت طبیعی برج تا حد قابل قبول کاهش می یابد.

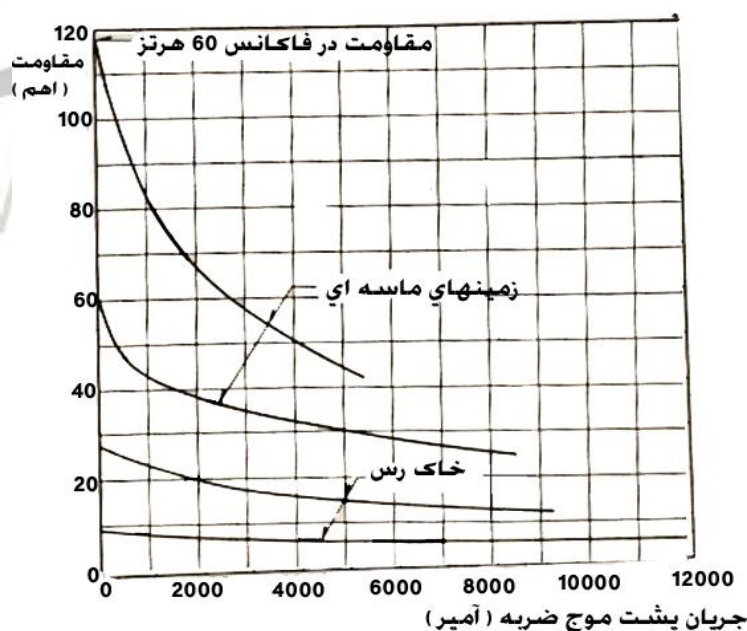
هادیها به صورت قائم، افقی و یا هر دو نصب می گردند. ترتیب اتصال هادیها به یکدیگر و وضعیت نصب آنها، خصوصیات گوناگون مقاومتهای زمین را عرضه می سازد. در این فصل ابتدا خصوصیات نصب هادیها و مقاومت زمین ارائه شده که آنها را به صورتهای افقی، قائم و کانترپوز بررسی نموده، سپس طرح سیستم زمین برجها و شکل مناسب آن را بررسی می نماییم.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۲-۴ مقاومت پای برج [ ۱۲ ]

یکی از عوامل موثر در ایجاد قوس برگشتی، مقاومت پای برج است. هرچه مقاومت پای برج در خطوط انتقال پایینتر باشد، امکان وقوع قوس برگشتی کمتر خواهد بود. لذا در مکانهایی که مقاومت پای برج بالا است، با انتخاب تدابیر ویژه در زمین کردن برج، مقاومت پای برج را کم می کنند. منظور از زمین کردن ایجاد مسیری برای تخلیه جریان به زمین از الکتروود است.

مقاومت پایه برج معمولاً در فرکانس قدرت اندازه گیری می شود. اما آنچه مهم است مقدار این مقاومت در فرکانس های بالا بخصوص فرکانس صاعقه می باشد. مقدار مقاومت موجی (Impulse Resistance) یا همان مقاومت در فرکانس ضربه صاعقه به عوامل چندی از جمله: هدایت الکتریکی خاک (مقاومت مخصوص خاک)، گرادیان ولتاژ بحرانی شکست دانه های خاک، دامنه جریان موجی، طول و نوع میله های زمین (افقی، عمودی و کانتریوز) و سیمهای محافظ وابسته می باشد. در خاکهای با مقاومت مخصوص پایین و متوسط، مقاومت مناسب پایه برجها بوسیله میله هایی که در زمین فرو می روند، بدست می آید. برای این نوع زمینها مقاومت ضربه معمولاً کمتر از مقاومت آنها در فرکانس قدرت می باشد.



شکل (۴-۱): تغییرات مقاومت موجی نسبت به مقاومت در فرکانس قدرت

مقدار اختلاف این مقاومت از فرکانس ضربه تا فرکانس قدرت بطور عمده به مشخصات زمین مزبور (مقاومت مخصوص خاک، گرادیان ولتاژ بحرانی شکست دانه های خاک) بستگی دارد. در شکل (۴-۱) مقاومت موجی زمینهای مختلف برای جریان های ضربه تا ۱۲۰۰۰ آمپر نشان داده شده است. با توجه به شکل (۴-۱) در

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مقاومتهای زمین پایین در حدود ۱۰ اهم یا کمتر، مقاومت موجی اختلاف کمی با مقدار مقاومت در فرکانس قدرت دارد، اما در زمینهای با مقاومت مخصوص بالاتر، مقاومت موجی به طور قابل ملاحظه‌ای از مقاومت در فرکانس قدرت، پایین تر می‌باشد. بنابراین در مقاومتهای حدود ۱۰ اهم و کمتر می‌توان به جای مقاومت موجی از همان مقاومت در فرکانس قدرت استفاده کرد.

### ۴-۲-۱ رفتار مقاومت زمین بر اثر موج گذرا

اگر یک میله کوتاه عمودی به عنوان الکتروود زمین بکار رود، اگر جریان ضربه وارد آن شود، گرادیان ولتاژ در سطح رویی (خارجی) میله متمرکز شده و خاک اطراف میله را یونیزه می‌کند، این اتفاق بیشتر در زمینهای ماسه‌ای و ریگزارها دیده می‌شود. وقتی در زمین اطراف الکتروود شکست دانه‌های خاک اتفاق بیفتد در این حالت مقاومت موثر زمین به زیر مقدار پایدار آن نزول می‌کند. از آنجا که منظور حفاظت در برابر صاعقه است در نظر گرفتن مقدار پایدار مقاومت زمین از نظر حفاظتی معقول تر می‌باشد. برای زمین کردن برجها در خطوط فشار قوی برای مقاومت خاک تا ۱۰۰ اهم بر متر از الکتروود میله‌ای یا نوار کوتاه استفاده می‌شود. برای مقاومت خاک بالاتر از ۱۰۰۰ اهم بر متر از سیمهای به صورت کانترپوز استفاده می‌شود.

### ۴-۳ کم کردن مقاومت پایه برجها به وسیله اتصالات اضافی

برجهای فولادی به طور طبیعی دارای سطح تماس زیادی با خاک می‌باشند. اگر این اتصال، مقاومت زمین مناسب را حاصل نکند برای بهبود مقاومت پایه برج از میله‌های افقی یا عمودی در زیر یا اطراف پایه‌های برج و یا هادیهای کانترپوز استفاده می‌شود. یکی دیگر از راههای کاهش مقاومت خاک، استفاده از مواد شیمیایی است که بدین وسیله مسیری با مقاومت کم برای جریان الکتروسیسته ایجاد می‌نمایند. با توجه به طول زیاد خط انتقال، از این روش فقط در پستهای فشار قوی استفاده می‌گردد. بنابراین از پرداختن به این موضوع صرف نظر می‌کنیم.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

### ۱-۳-۴ نصب میله قائم در زمین [ ۳ ]

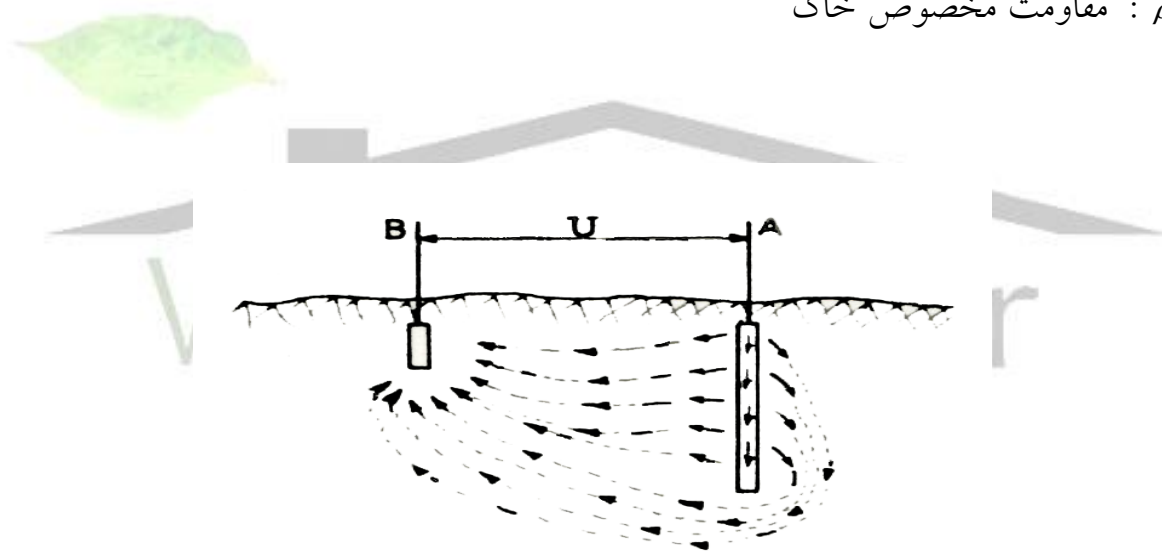
میله هادی می تواند به طور قائم در زمین نصب گردد. مسیر جریان برقرار شده در داخل خاک بر طبق شکل (۳-۴) خواهد بود. مقاومت مسیر جریان با مقاومت زمین الکتروود قائم از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$R_C = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Log} \frac{2L}{a} \quad (۱-۴)$$

$L$  : طول میله

$a$  : شعاع آن

$\rho$  : مقاومت مخصوص خاک



شکل (۲-۴) : شماتیک مسیر جریان برقرار شده در داخل خاک پس از نصب میله قائم

کمیت قابل توجه در رابطه فوق مقاومت مخصوص خاک می باشد. بر طبق آن ، میله با طول و مشخصات معین ، در زمینهای با مقاومتهای مخصوص متفاوت ، مقاومت های زمین گوناگون را بروز می دهد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

### ۴-۳-۱-۱ استفاده از میله‌های طویل

امروزه به علل اقتصادی اغلب از میله‌های طویل برای کاهش مقاومت زمین استفاده می‌شود. میله‌های طویل به لایه مرطوب زمینی که در عمق زیادی قرار دارد می‌رسد. میله‌های طویل را در مناطقی بکار می‌برند که با استفاده از میله‌های معمولی به طول ۲/۴ تا ۳ متر نیز می‌توان به مقاومت اتصال زمین مناسب دست یافت.

برای اتصال زمین که میله‌های ۴/۵ تا ۶ متری لازم دارند ممکن است از میله یک تکه (یک قسمتی) استفاده شود اما نصب چنین میله‌های طولی مشکل است و میله‌های چند قسمتی را به جای آنها به کار می‌برند. نصب میله‌های اتصال زمین چند قسمتی بسیار ساده است. دو طرف هر کدام از قسمت‌ها رزوه دارد، قسمت اول را با استفاده از کویلاژ رزوه‌ای و چرخاندن پیچ در زمین قرار می‌دهند، پس از فرو بردن آن در داخل زمین، قسمت دوم به تکه اولی بسته می‌شود و کار فرو بردن میل را ادامه می‌دهند. با استفاده از این روش می‌توان قسمت‌های اضافی را آنقدر به میله متصل نمود تا مقاومت مورد نظر به دست آید.

لازم به توضیح است که میله‌های زمین معمولاً در طولهای ۲ تا ۴ متری تهیه می‌شوند که با استفاده از بست، طول آنها قابل افزایش است. قطر میله‌ها عموماً کمتر از ۲۵ سانتیمتر می‌باشد و فرمول تجربی زیر برای تعیین مقاومت میله زمین بکار می‌رود.

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{a} - 1 \right) \quad l \gg a \quad (2-4)$$

$\rho$ : مقاومت خاک بر حسب  $\Omega m$

$l$ : طول میله بر حسب متر

$a$ : شعاع میله بر حسب متر

این رابطه عدم تأثیر زیاد قطر میله زمین در مقاومت را نشان می‌دهد و مشخص است که طول تأثیر زیادی دارد.

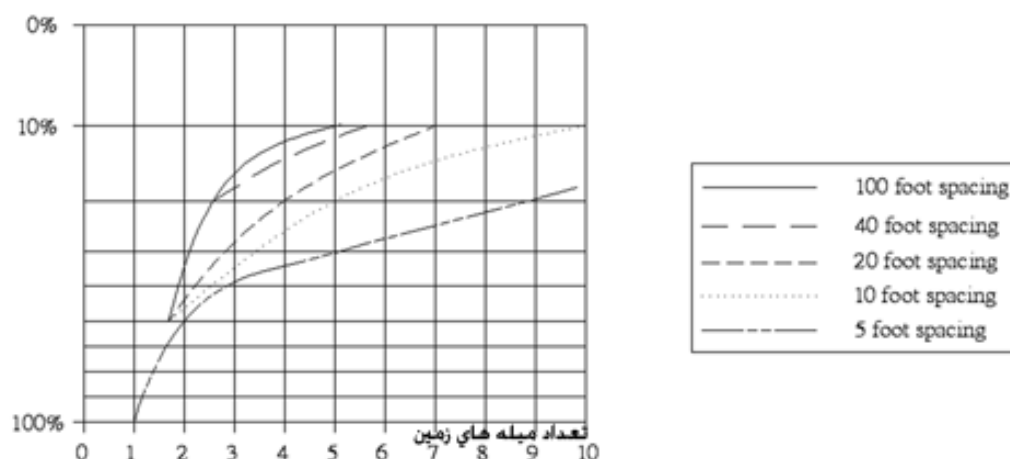
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در زمین انواع مختلف خاک وجود دارد و پیش بینی طول میله مورد لزوم برای به دست آوردن مقاومت معین مقدور نیست. هر یک از اتصال زمینها را باید جداگانه تجزیه و تحلیل کرد. چنانچه نوع خاک یکسان باشد و مقاومت آن در عمقهای مختلف ثابت باشد ممکن است طول میله مورد لزوم برای به دست آوردن مقاومت معین را با دقت قابل قبولی پیش بینی کرد.

#### ۴-۳-۱-۲ اتصال زمین چندمیله‌ای ( میله‌های موازی )

روش دیگری که برای بهبود کاهش مقاومت زمین مورد استفاده قرار می گیرد استفاده از چندین میله است. اگر دو یا چند میله نسبت به یکدیگر فاصله مناسب داشته باشند مسیرهای موازی برای عبور جریان برق را تشکیل می دهند. میله‌های اتصال زمین در ست مانند مدار موازی عمل می کنند و مقاومت معادل آنها را می توان از همان قانون مقاومت‌های موازی به دست آورد. البته این نسبت معکوس که در مقاومت های موازی وجود دارد در اینجا صادق نیست چون محدودیتی برای فاصله بین میله‌ها وجود دارد و این محدودیت باعث می شود که مسیرهای موازی جریان یا استوانه‌ای خاک در نزدیکی میله‌ها با یکدیگر تداخل پیدا کنند. به عنوان مثال همان گونه که در شکل زیر نشان داده شده است دو میله اتصال زمین با فاصله ۳۰ متر نسبت به یکدیگر دارای مقاومتی برابر با پنجاه درصد مقاومت یک میله است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۳-۴): نیز افزایش تعداد میله های زمین بر روی مقاومت

واضح است که داشتن فاصله هایی به اندازه ۳۰ متر از یکدیگر عملی و امکان پذیر نیست، همچنین مقاومت و خاصیت القایی سیم رابط طول زیاد است و باعث کاهش مقاومت معادل میله های چندتایی اتصال زمین می گردد. برای فاصله های عادی بین میله های اتصال زمین متوسط مقادیر مقاومت به دست آمده در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. مقاومت معادل دو میله موازی تقریباً برابر است با ۶۰ درصد مقاومت یک میله، و مقاومت معادل سه میله موازی برابر است با چهل درصد مقاومت یک میله، و مقاومت چهار میله موازی برابر است با سی و سه درصد مقاومت یک میله زمین.

استفاده از چندین میله اتصال زمین روش بسیار مناسبی برای کم کردن مقاومت اتصال زمین میله های نصب شده می باشد.

لازم به توضیح است علت اینکه مقاومت میله ها به نسبت تعداد آنها کم نمی شود اینست که در صورتیکه میله ها نزدیک به هم باشند هر میله در حوزه الکتریکی میله مجاور قرار می گیرد، در این صورت مقاومت معادل به صورت رابطه های (۳-۴) و (۴-۴) محاسبه خواهد شد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر اسایت و به همراه فونت های لازم

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{A} \quad (3-4)$$

که در آن  $A$  شعاع معادل یک گروه میله زمین است که بسته به تعداد آن در گروه به

صورت زیر تعیین می شود:

$$A = \sqrt{as} \quad \text{O} \longleftarrow s \longrightarrow \text{O} \quad (4-4)$$

$$A = \sqrt[3]{as^2} \quad \begin{array}{c} \text{O} \longleftarrow s \longrightarrow \text{O} \\ \diagdown \quad \diagup \\ s \quad s \\ \text{O} \end{array} \quad (5-4)$$

$$A = \sqrt[3]{2as^2} \quad \begin{array}{c} \text{O} \longleftarrow s \longrightarrow \text{O} \\ \uparrow \quad \downarrow \\ s \quad s \\ \text{O} \longleftarrow s \longrightarrow \text{O} \end{array} \quad (6-4)$$

$a$  = شعاع هر میله

جدول (۴-۱) مقاومت زمین برای تعداد مختلف میله زمین را که موازی شده اند نشان می دهد.

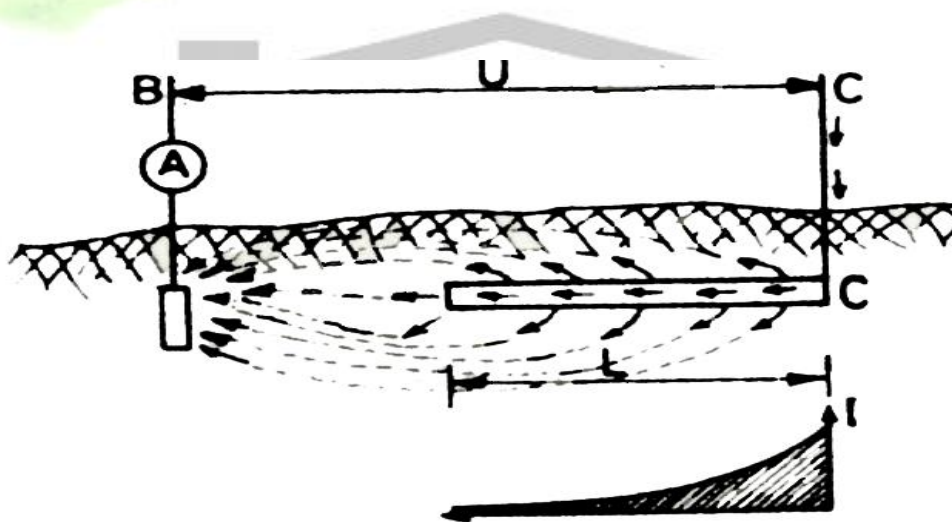
نسبت مقاومت زمین	تعداد میله (قطر ۲۰ سانتیمتر و طول ۳ متر)
۱	۱
۰/۲	۵
۰/۱۱	۱۰
۰/۰۷	۲۰
۰/۰۴۲	۵۰

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

جدول (۴-۱)

### ۴-۳-۲ نصب میله افقی در زمین [۳ و ۱۸]

هنگامیکه میله افقی در زمین نصب می شود و تحت ولتاژ واقع می گردد، جریان از میله به داخل خاک مطابق فلشهای نشان داده شده شکل (۴-۵) برقرار می گردد. سطح میله در سرتاسر طول خود با خاک تماس داشته، جریان از ابتدای میله C به تدریج به داخل زمین وارد گردیده، از دانسیته جریان میله به سمت نقطه انتهای آن کاسته می شود. منحنی تغییرات جریان میله برحسب طول آن L در شکل (۴-۵) نشان داده شده است. بر طبق شکل (۴-۵) این تغییرات خطی نبوده، شکل هیپرپولیک را دارا می باشند.



شکل (۴-۵): شماتیک تغییرات جریان میله برحسب طول آن

شکل هیپرپولیک جریان از هدایت مخصوص خاک و تماس میله با آن نتیجه می گردد. با وارد شدن جریان از میله به داخل خاک، مسیر جریان بین میله افقی و الکتروود B در خاک برقرار می گردد، به همین علت مقاومت مخصوص خاک، مقاومت اهمی مسیر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

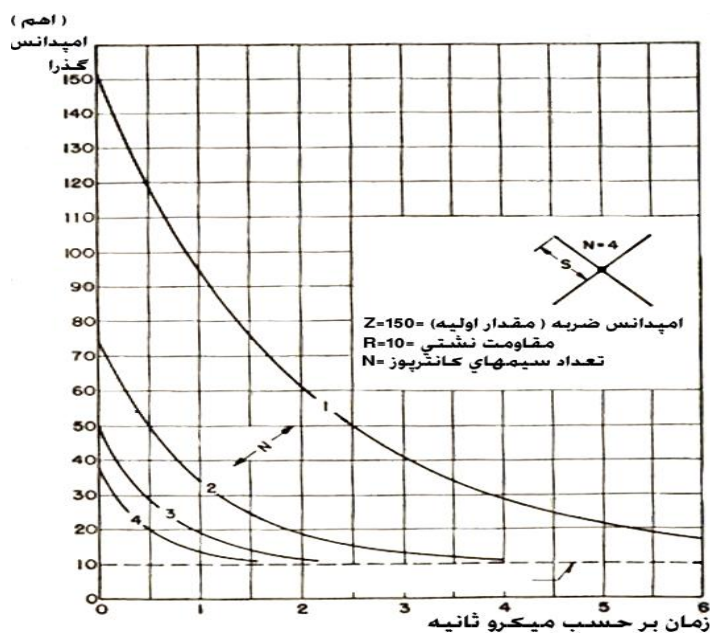
جریان را تشکیل داده ، با توجه به کیفیت خاک و مقاومت مخصوص آن، مقدار جریان کم و زیاد می گردد. برای اندازه گیری مقاومت مسیر جریان ، نسبت ولتاژ تغذیه  $U$  و جریان برقرار شده بین میله افقی  $C$  و الکتروود قائم  $B$  تعیین می گردد. این نسبت مقاومت مسیر جریان تخلیه  $R_0$  را تشکیل می دهد. با افزایش طول میله و یا سطح تماس میله با خاک جریان بیشتری به داخل زمین راه یافته ، بر مقدار جریان برقرار شده بین میله افقی و الکتروود  $B$  افزوده می گردد.

افزایش جریان نشان دهنده کاهش مقاومت اهمی مسیر جریان، یا مقاومت میله نسبت به زمین می باشد. بدین ترتیب مقاومت زمین میله، مستلزم گسترش سطح تماس آن با خاک جهت برقراری جریان بیشتر از میله به داخل خاک می باشد. گسترش سطح تماس میله با افزایش طول و ابعاد آن امکان پذیر می گردد.

#### ۳-۳-۴ زمین کردن به صورت کانتربوز [ ۱۲ ]

منظور از کانتربوز کردن کم کردن مقاومت بوسیله افزایش سطح تماس با زمین می باشد که این افزایش سطح توسط هادیهایی که در زیر زمین به طور افقی خوابانیده می شوند بدست می آید. این هادیها یا به موازات سیمهای فاز و یا با زاویه ای نسبت به سیمهای فاز در زیر زمین کار گذاشته می شوند. سیمهایی که به موازات هادیهای فاز کشیده می شوند ( در مقایسه با نوع دیگر ) با هادیها خط ، القاء متقابل خواهند داشت که این خود باعث افزایش سطح موثر هادی می شود. هر چند این تأثیر به مقدار کمی در حدود ۵ تا ۱۰ درصد کل مقاومت را کم می کند ولی به هر حال یک عامل موثر می باشد. بنابراین، این نوع کانتربوز کردن مفید خواهد بود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۶): تأثیر تعداد سیمها در امپدانس کانتریوز

عوامل اصلی در انتخاب یک کانتریوز مناسب، امپدانس موجی خودی و مقاومت نشتی می باشد. یک سیم یا کانتریوز دفن شده دارای امپدانس موجی خودی ای می باشد که بسته به شرایط خاک بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ اهم می باشد. هنگامیکه جریان موجی در طول این کانتریوز سیر می کند این امپدانس موجی کاهش می یابد و به مقدار مقاومت نشتی می رسد. البته زمان رسیدن به این مقدار بسیار کم می باشد و آن مدت زمان وابسته به طول هادی و سرعت انتشار موج می باشد، معمولاً سرعت سیر موج به طور متوسط در حدود یک سوم سرعت نور در نظر گرفته میشود بطوریکه با توجه به این مقدار در یک کانتریوز با طول ۱۰۰۰ فوت دارای مقاومت ۱۵۰ اهم می باشد و در حدود ۶ میکروثانیه طول می کشد تا امپدانس خودی هادی به مقاومت نشتی برسد.

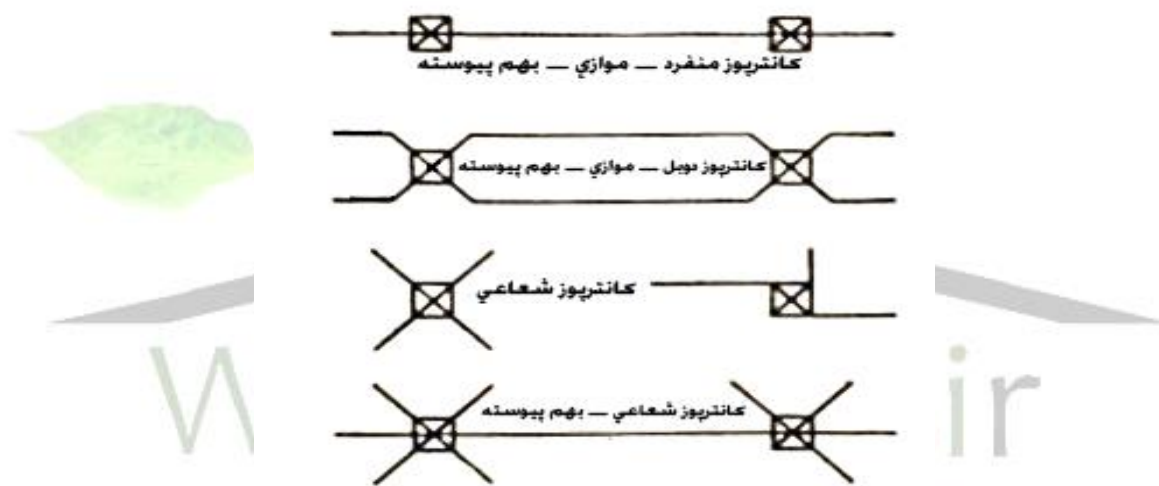
به همین ترتیب یک کانتریوز با طول ۲۵۰ فوت نیز در حدود ۱۵۰ اهم مقاومت دارد، اما زمان رسیدن به مقاومت نشتی آن در حدود ۱/۵ میکروثانیه می باشد. این موضوع نشان

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

میدهد که چهار هادی ۲۵۰ فوتی که دارای امپدانس موجی معادل  $37/5$  اهم هستند پس از مدت زمان  $1/5$  ثانیه به مقاومت نشتی می رسد در حالیکه یک کانترپوز  $1000$  فوتی دارای امپدانس موجی  $150$  اهم می باشد که پس از  $6$  میکروثانیه به مقدار مقاومت نشتی می رسد. نکته مهمی که باید توجه کرد این است که مقاومت نشتی کانترپوز از امپدانس موجی خودی آن کمتر می باشد. شکل (۴-۶) موارد فوق را به طور واضح نشان میدهد.

تعدادی از آرایش های مختلف کانترپوزها که در برجهای واقعی استفاده می شوند در

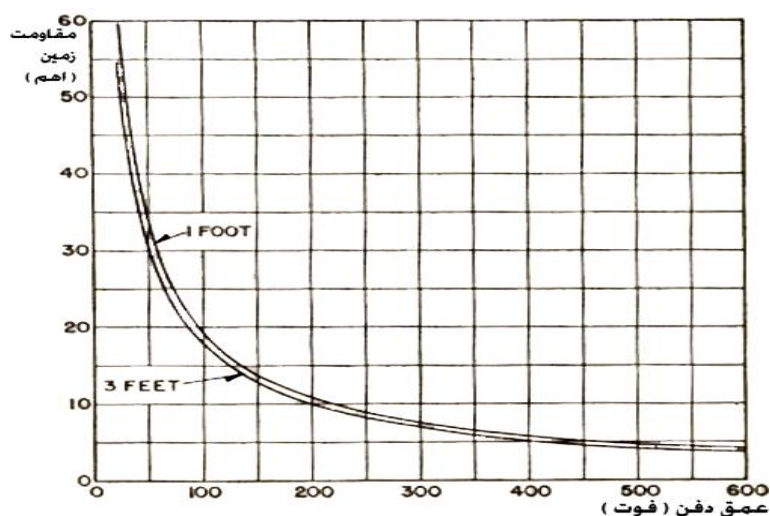
شکل (۴-۷) نشان داده شده اند



شکل (۴-۷): آرایشهای مختلف کانترپوزها

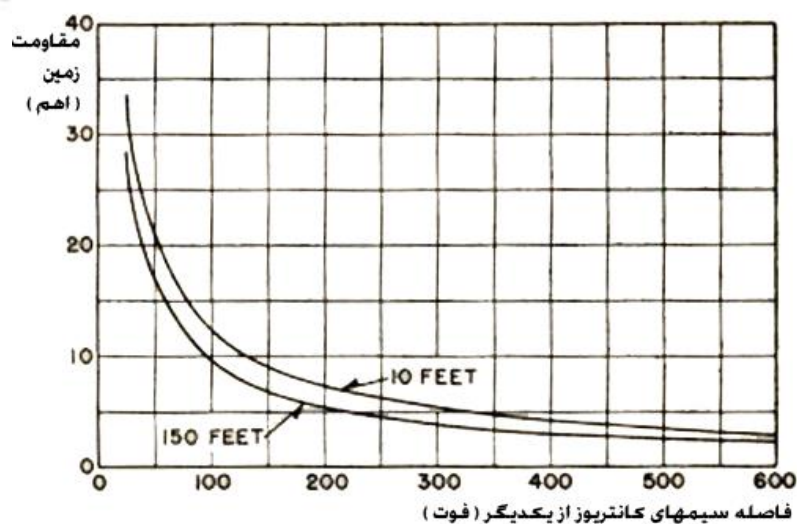
همانطور که نمودار شکل (۴-۸) نشان می دهد عمق دفن هادیهای کانترپوز تأثیر چندانی در تغییر مقاومت پایه دکل ندارد و فقط به مقداری که از سرقت در امان باشد دفن گردد، کافی می باشد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرمان سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۸): مقاومت زمین یک کانترپوز  $\frac{3}{8}$  اینچی برای دو فاصله عمقی

هنگامی که لازم باشد بیش از یک کانترپوز استفاده کنیم و مجبور باشیم آنها را به صورت موازی بکار ببریم این سوال مطرح می شود که فاصله آنها از یکدیگر چقدر باید باشد. با توجه به نمودار شکل (۴-۹) درمی یابیم که تغییرات این فاصله تأثیر چندانی روی تغییر مقاومت ندارد.



شکل (۴-۹): مقاومت زمین دو کانترپوز  $\frac{3}{8}$  اینچی موازی برای دو فاصله متفاوت سیمها از یکدیگر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۴-۴ نتایج آزمایشها و تجربیات عملی اتصال زمین

اغلب، مقاومت زمین در امتداد مسیر شبکه‌های انتقال زیاد است و برای کاهش مقاومت زمین در نزدیکی پایه‌های برجهای ممکن است روشهای مختلفی را به کار ببریم. در این مورد اطلاعاتی کسب شده و این اطلاعات نشان میدهند که استفاده از میله‌های اتصال زمین طویل بهترین روش برای شبکه‌های یکصد و سی و دو هزار ولتی و بیشتر می‌باشد. معمولاً مقاومت اتصال زمین پایه برج‌های فولادی بین ۴۰۰ تا ۱۴۰۰ اهم می‌باشد. بستن پایه برج به میله‌های اتصال زمین طویل که در عمق نسبتاً زیادی قرار می‌گیرند باعث می‌شود که مقاومت اتصال زمین کاهش یابد و به مقادیری در حدود ۵ الی ۱۵ اهم برای هر برج برسد.

در بعضی مناطق برای کاهش مقاومت پایه برج میله‌هایی به طول ۱۲ تا ۴۸ متر به کار رفته و در بعضی موارد حتی دو میله طویل، موازی بسته می‌شود. تجربه نشان داده است که میله‌های اتصال زمین طویل بسیار مؤثرتر از سیمهای زمین است و جریان اضافی ناشی از رعد و برق را به سادگی عبور می‌دهند. در یکی از مواردی که مورد بررسی قرار گرفته سطح زمین شنی بوده و مقاومت آن زیاد بوده است، چون سیمهای اتصال زمین در مسافت کوتاهی زیرزمین قرار می‌گیرند مقاومت آنها زیاد است. اما چون میله‌های طویل اتصال زمین به طبقات زیرین زمین می‌رسد، جریانهای گذرا را به سادگی عبور می‌دهند و از ایجاد جرقه و خاموشی جلوگیری می‌شود. یک نمونه دیگر در مورد اتصال زمین عمیق، استفاده از آن برای شبکه‌های ۶۳ کیلو ولتی است. با نصب میله‌های تکی ۳۰ متری یا موازی بستن میله‌های دوتایی یا ۴ تایی، مقاومت اتصال زمین حدود ۲۵۰ عدد برج را به حدود ۵ اهم کاهش داده‌اند. با کاهش

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مقاومت اتصال زمین، میزان خاموشی از ۱۲ تا ۱۵ بار برای ۱۶۰ کیلومتر در سال، به حدود یکبار کاهش یافته است. برای شبکه‌های توزیع اتصال زمین عمیق بسیار مؤثر است.

به عنوان مثال در یک مورد بررسی ها نشان می‌دهد که سالها پس از نصب میله‌های عمیق، کار ترانسفورماتور بهتر شده، در حالیکه قبل از نصب میله‌های عمیق، دیژنکتور، در سال ۱۰ الی ۱۱ بار مدار را در اثر رعد و برق قطع می‌کرد و پس از نصب میله‌های عمیق، تعداد قطعی‌ها در سال به یکبار رسیده است.

همچنین ضرر و زیان به وسایل مصرف کننده تا حد زیادی کاهش یافته است دستگاههای مخابراتی، راه آهن‌های برقی یا شرکتهای نفت و گاز و دیگران همه مقاومت اتصال زمین کم را لازم دارند. اتصال زمین خوب برای کار کردن برق گیرها، رله‌های اتصال زمین و دیگر وسایل حفاظتی ضروری است و اتصال زمین عمیق روشی است بسیار مؤثر برای به دست آوردن مقاومت کم.



#### ۴-۵ طرح سیستم زمین برجها در خطوط انتقال انرژی [۳ و ۹ و ۲۱]

مسیر جریان موجی تخلیه جوی بر برجهای فشار قوی از طریق بدنه برجها، آرماتورها و فوندا سیون بتنی به داخل زمین هدایت می‌گردد. بر حسب نوع خاک، کیفیت بتن و نحوه تماس بتن و خاک، مسیر فوق ممکن است از آمادگی لازم جهت تخلیه جریان موجی برخوردار نبوده، مانع از تخلیه سریع و کامل بارهای الکتریکی گردد. هادیهای افقی و یا قائم و یا کانترپوز که به ترتیبی که شرح آن گذشت نصب می‌گردند، سیستم زمین برج را تشکیل می‌دهند. سیستم زمین برجها با توجه به مشخصات



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برجها و لزوم ایجاد مسیره‌های بیشتر جهت بارهای الکتریکی تخلیه جوی (جریانهای موجی) و جریانهای خطا طرح ریزی می‌گردند. با احداث سیستم زمین مناسب و اتصال بدنه برج به آن، مقاومت زمین برجها کاهش یافته، از ظهور ولتاژ موجی در بدنه موج در هنگام تخلیه جوی بر خط و ظهور ولتاژ تماسی در هنگام بروز خطا جلوگیری می‌گردد. بنابراین طرح سیستم زمین برجها به منظور اتصال مناسب و مطمئن برجها به زمین با توجه به خصوصیات زیر صورت می‌پذیرد:

- ۱- مقاومت موجی اتصال زمین برج حداقل مقدار را دارا گردیده، درصد بروز قوس‌های برگشتی در طول زنجیر مقره برج تا حد قابل قبولی کاهش یابد.
- ۲- مقاومت زمین برجها به ازای جریانهای خطا با فرکانس ۵۰ مقدار مورد نظر را تامین ساخته ولتاژ تماس ظاهر شده بر بدنه برج از نظر ایمنی کاملاً مطمئن بوده و فاقد هر گونه خطر بروز شوک و یا ضربه باشد.
- ۳- سیستم زمین مورد نظر برج ساده بوده، نصب آن با حداقل هزینه در فاصله زمانی کوتاه صورت پذیرد.

احداث سیستم زمین برج به صورت افقی به مراتب ساده‌تر از احداث سیستم زمین آن به صورت قائم می‌باشد. نصب تعداد قابل توجه، ۲۰-۳۰ عدد، الکتروود قائم با ارتفاع بالا معادل ۱۰-۵ متر با قطر ۱-۲ سانتیمتر به صورت عمودی در عمق زمین، به تجهیزات و ابزار مخصوص نیاز داشته، ممکن است با برخورد به صخره‌ها و لایه‌های سنگی و سخت با عدم موفقیت رو به رو گردد. در حالی که نصب سیستم زمین افقی مقابل آن که بتواند مقاومت زمین برابر را ایجاد نماید، توسط هادیهای افقی با طول کلی ۱۵۰-۵۰ متر در عمق ۱۰۰-۸۰ سانتیمتری به سهولت امکان پذیر بوده، هادیها همزمان با خاک برداری‌های لازم جهت آماده نمودن فونداسیون‌ها در زمین قرار داده می‌شوند.

به همین علت در هنگام طرح سیستم زمین برجها، در بدو امر محاسبات لازم بر اساس احداث سیستم زمین افقی صورت پذیرفته، کاهش بیشتر مقاومت زمین با گسترش شبکه زمین افقی امکان پذیر می‌گردد. در صورتی که گسترش شبکه زمین افقی مقاومت مورد نظر را تامین نسازد، میله‌ها یا الکتروودهای قائم در نقاط مختلف مسیر سیمهای زمین افقی نصب گردیده، توسط سیستمهای زمین افقی به یکدیگر متصل می‌گردند، بدین ترتیب شبکه زمین برجها به صورت سیستم زمین افقی و یا افقی

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

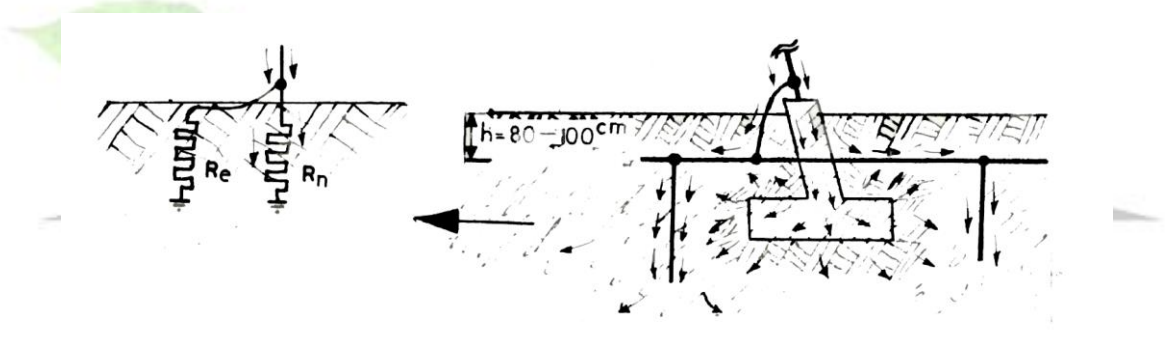
همراه با الکترودهای قائم طرح ریزی می گردد. در هنگام طرح سیستم زمین برجها لازم است ابتدا مقاومت زمین موردنظر آنان با توجه به مقاومت زمین پیش بینی شده برجها تعیین گردد. چنانچه مقاومت زمین طبیعی برج قبل از نصب سیستم زمین  $R_n$  فرض گردد. و مقاومت ارائه شده سیستم زمین معادل  $R_c$  فرض گردد و مقاومت ارائه شده سیستم زمین معادل  $R_e$  باشد، در این صورت با توجه به اینکه دو مقاومت فوق به طور موازی با یکدیگر واقع می گردند. مقاومت معادل کلی برج از رابطه زیر به دست می آید ( شکل ۴-۱۰ )

$$R_o = \frac{R_e R_n}{R_e - R_n} \quad (۷-۴)$$

مقاومت زمین معادل  $R_o$  مقاومت زمین کلی برج را تشکیل داده ، لازم است مقدار پیش بینی شده و موردنظر را دارا باشد. بدین ترتیب مقدار آن مشخص بوده، با توجه به مقاومت زمین طبیعی برج  $R_n$  مقاومت سیستم زمین طرح شده برج  $R_e$  از رابطه (۴-۸) یافت می شود:

$$R_e = \frac{R_o R_n}{R_o - R_n} \quad (۸-۴)$$

با تعیین مقاومت سیستم زمین برج و مقاومت مخصوص معادل دو لایه خاک  $\rho_e$  می توان طول موردنظر سیستم زمین افقی را محاسبه نمود. همچنین در صورت لزوم تعداد و طول الکترودهای قائم را نیز می توان یافت.



شکل (۴-۱۰) : شماتیک طرح سیستم زمین

## ۴-۵-۱ زمین کردن برجهای خطوط انتقال انرژی [ ۷ ]

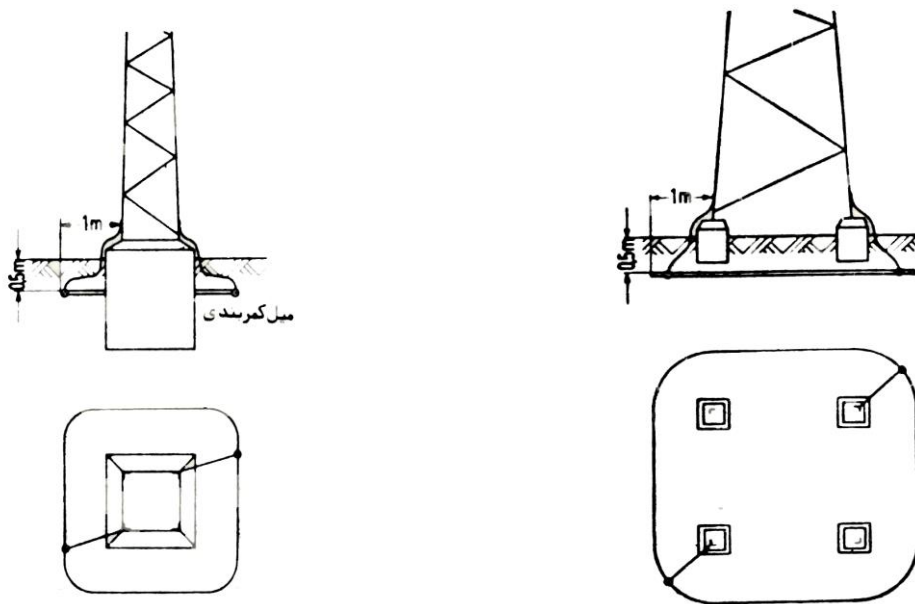
تمامی انواع و اقسام برجهای آهنی یا بتون آرمه و حتی نوارهای فلزی و سیمهای نگهدارنده تیرهای چوبی به خاطر اینکه در موقع برخورد صاعقه آسیب نبینند باید زمین شوند و در ضمن باید سعی کرد که مقاومت گسترده زمین لازم و مجاز توسط خود پایه و یا فونداسیون برج تامین گردد.

تیرهای چوبی که فاقد قطعات بستهای فلزی بین مقره و زمین می باشند، احتیاج به زمین کردن ندارند. زمین حفاظتی برجها باید حتی المقدور برای مقاومت

گسترده زمین  $R \leq \frac{125V}{IE}$  حساب شود. در این رابطه  $IE$  یکی از انواع جریان اتصال زمین ممکن در این شبکه است.

برجهای فشار قوی ۱۱۰ kv و بالاتر که در زمینهای مزروعی و یا محلهایی که در مسیر رفت و آمد مردم است نصب می شوند، باید به خاطر کوچک کردن ولتاژ قدم در اطراف نزدیک برج با یک میل فرمان کمربندی که با برج در ارتباط می باشد محصور گردد. این میل در فاصله ۱ متری از برج و به عمق ۰/۲ تا حداکثر ۰/۵ متر در زمین دفن شده و دور تا دور برج را احاطه می کند.

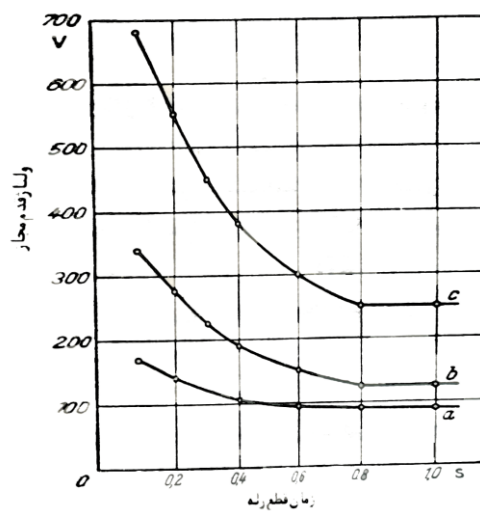
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرمان سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۱۱): نصب میل فرمان کمر بندی جهت کم کردن ولتاژ قدم در اطراف برج

در صورتی که فاصله برجها از خیابان پر رفت و آمد کمتر از ۱۵ متر باشد باید علاوه بر نصب میل فرمان سعی شود که در داخل خیابان اختلاف سطح

قدم از مقادیری که در شکل (۴-۱۲) برای خارج از محدوده تأسیسات داده شده است (منحنی **a**) تجاوز نکند.



شکل (۴-۱۲): ولتاژ قدم در محوطه خارج پست (**a**) - ولتاژ قدم در محوطه خارج از تأسیسات پست خارجی اما در داخل محوطه متعلق به تأسیسات محوطه سازی

(**b**) - ولتاژ قدم مربوط به محوطه داخلی پست (**c**)

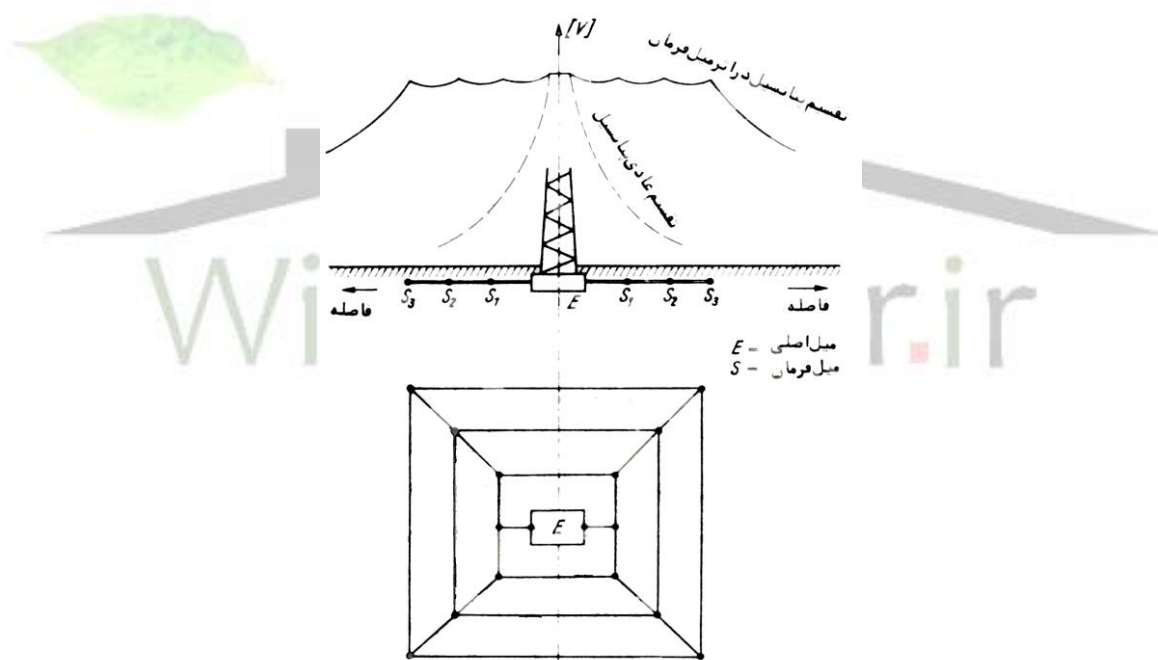
و در برجهایی که در داخل مناطق مسکونی نصب میشوند باید ولتاژ تماسی از مقادیر شکل (۴-۱۳) منحنی **a** برای خارج از محدوده تأسیسات تجاوز

نکند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل (۴-۱۳): اختلاف سطح تماس مجاز در خارج تأسیسات پست (a) داخل تأسیسات پست (b)

این شرایط را می توان با استفاده از میله های فرمان یا عایق کردن اطراف نزدیک برج بدست آورد شکلهای (۴-۱۴) و (۴-۱۵) طرق مختلف قرار دادن میله های فرمان را نشان میدهد.



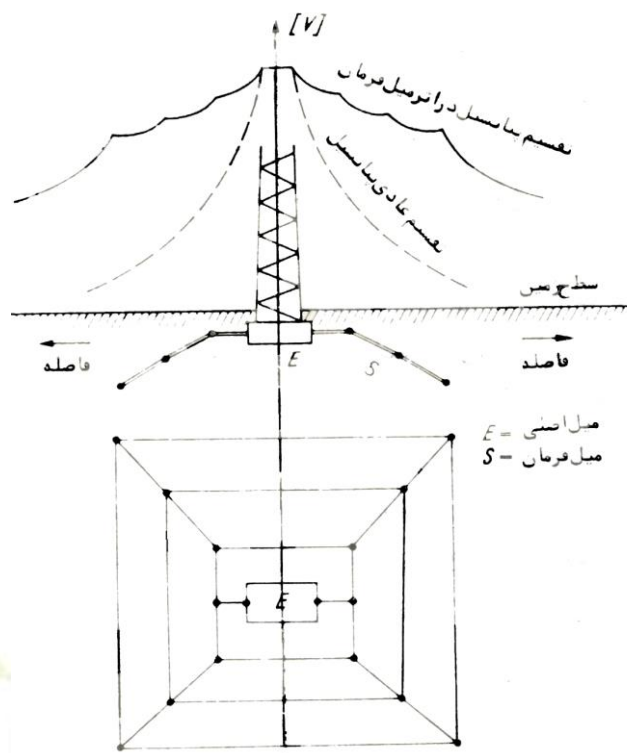
شکل (۴-۱۴): نحوه قرار گرفتن میله های فرمان

در شکل (۴-۱۴) میله های فرمان به صورت حلقه یا چهارگوش دور تا دور پایه فونداسیون را احاطه کرده است. حلقه ها همه در یک سطح و در عمق کم در حدود ۰/۵ متر و به فاصله ۱ متر از یکدیگر قرار گرفته اند و با یکدیگر و با میل زمین (فونداسیون) به طور هادی متصل هستند.

هر چه تعداد این حلقه ها بیشتر باشد به همان مقدار نیز ولتاژ قدم و ولتاژ تماس در محوطه فرمان داده شده کم می شود. معمولاً برای فرمان پتانسیل سه حلقه یا سه ردیف میل فرمان کافی است. به خاطر اثر متقابل میله های فرمان شدت جریانی که از میل فرمان انتهایی خارج می شود از همه بزرگتر است و به همین جهت تقسیم پتانسیل نیز در آخرین میل فرمان نامناسب تر از میل های دیگر انجام می گیرد. لذا همیشه ولتاژ قدم بزرگی در حد فاصل بین قسمت فرمان گرفته و فرمان نگرفته ایجاد می شود که به

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فوت های لازمه

خصوص برای چهار پایان ممکن است خطراتی به وجود آورد. برای رفع این عیب اغلب میلههای فرمان در يك سطح در زمین دفن نمی شوند، بلکه مانند شکل (۴-۱۵) در اعماق مختلف زمین قرار می گیرند.



شکل (۴-۱۵): نحوه قرار گرفتن میلههای فرمان

در چنین حالتی پتانسیل قدم و تماس از قسمتهای فرمان گرفته و حد فاصل بین آخرین میل با زمین نیز کوچک می شود. به طوریکه ولتاژ قدم از ۹۰ ولت و ولتاژ تماس از ۶۵ ولت تجاوز نخواهد کرد.

در صورتی که در اطراف برجهایی که در مناطق پر جمعیت و پر رفت و آمد و خیابانهای اتومبیل رو نصب می شوند، نتوان اختلاف سطح مجاز قدم و تماس را طبق شکل (۴-۱۲) و (۴-۱۳) تامین کرد، باید مراقبتهای زیر انجام گیرد:

۱- بازدید و مراقبت کامل از ایزولاتورها، حداکثر هر ۶ ماه یکبار و همبندطور سنحش مقاومت گسترده زمین با برقرار کردن يك جريان گذراري قوي در

حدود  $60 \text{ kA}$  در برج .

۲- انتخاب ایزولاتورهای مناسب با در نظر گرفتن شرایط جوي و اتمسفر منقطه، برای اطمینان بیشتر در اتصال زمین نشدن مقرهها.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل پنجم

## تخلیه جوی الکتریکی بر

## خطوط انتقال انرژی



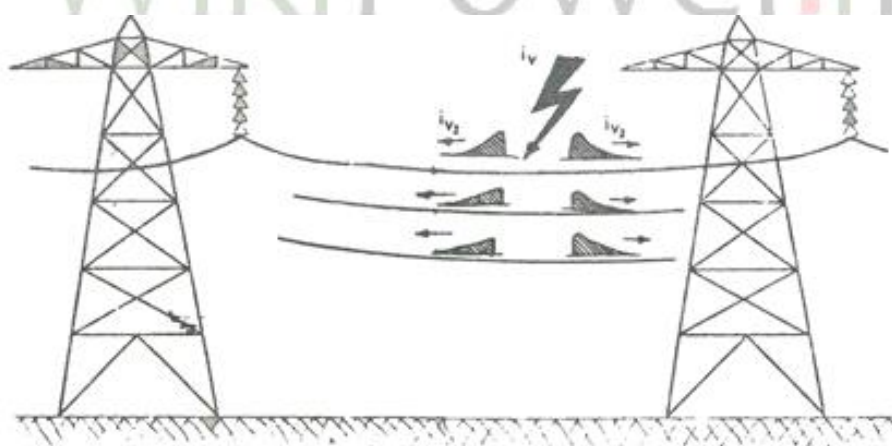
### ۱-۵ تخلیه جوی الکتریکی بر هادیهای فاز [ ۳ ]

تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای فاز به منزله تزریق قابل توجه بارهای الکتریکی با سرعت چندین کیلو آمپر بر میکرو ثانیه می باشد. سرعت قابل توجه تغییرات جریان و افزایش بارها ، فرکانس موج را تا حدود چندین مگا هرتز افزایش می دهد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

به علت فرکانس بسیار بالای موج ، تخلیه در هر فاز بلافاصله به طور همزمان ولتاژهای مشابه را در دو فاز دیگر القاء می کند. القاء ولتاژ در دو فاز دیگر با توجه به شرایط خازنی فازها صورت می پذیرد. در خطوط انتقال به علت خاصیت خازنی قابل توجه بین فازها و فرکانس بالای موج ، ولتاژهای موجی مشابه در دو فاز دیگر القاء می گردند. (شکل ۱-۵).

تخلیه جوی بر سیمهای فاز عکس العمل مشابه را در هر سه فاز موجب گردیده ، موج حاصل از تخلیه جوی از محل تخلیه به سوی دو انتهای خط منتشر می گردد. چون فاصله ایزولاسیون بین فاز و زمین در محل زنجیر مقره حداقل می باشد، لذا ولتاژ دی الکتریک هادیهای فاز در محل زنجیر مقره حداقل بوده ، قوس اتصالی را در طول زنجیره مقره سبب می گردد. به علت ولتاژهای موجی مشابه در هر سه فاز، قوس اتصالی فاز به زمین به طور همزمان در سه فاز روی می دهد، لذا در صد قابل توجه از اتصالیهای ناشی از تخلیه جوی را اتصالی با زمین تشکیل می دهند.



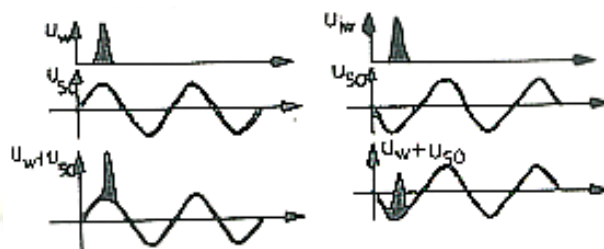
شکل (۱-۵): تخلیه جوی بر هادی فاز و القاء ولتاژ بر فازهای دیگر

با بروز قوس و اتصالی در فاصله ایزولاسیون بین فازها و یا فازها با زمین، بارهای الکتریکی تخلیه جوی به بدنه برج و سپس به زمین منتقل می گردند. در شکل

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

(۲-۵) موج حاصل از تخلیه جوی بر سیمهای فاز تحت ولتاژ با فرکانس ۵۰ هرتز نشان داده شده است. با توجه به فاصله زمانی - موج معادل چند میکروثانیه - و فاصله زمانی نیم پریود ولتاژ با فرکانس ۵۰ هرتز معادل ۱۰ میلی ثانیه ، موج اضافه ولتاژ به صورت خط مستقیم به نظر خواهد رسید. چنانکه ملاحظه می گردد با توجه به وجود ولتاژ اصلی دامنه ولتاژ موجی به لحظه تخلیه موج نسبت به ولتاژ سینوسی اصلی بستگی خواهد داشت. دامنه ولتاژ موجی با توجه به مقدار لحظه ای ولتاژ اصلی از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$U_A = U_W \pm U_{50} \quad (۱-۵)$$



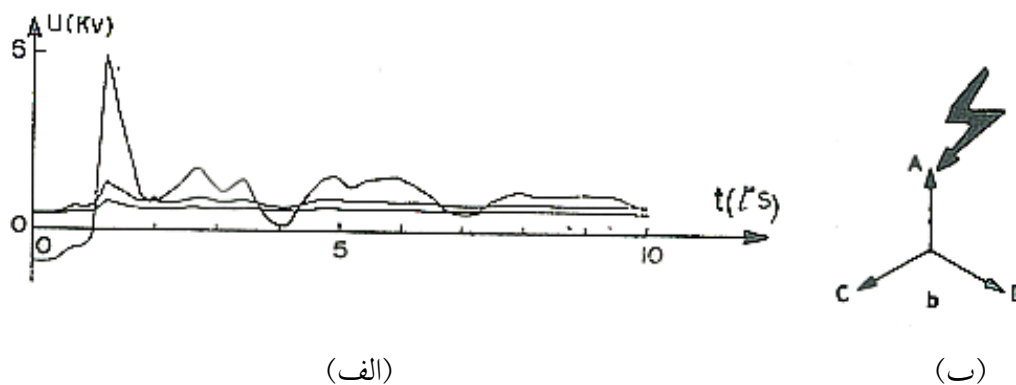
شکل (۲-۵): نمایش موج حاصل از تخلیه جوی بر سیمهای فاز

موج ولتاژ تخلیه جوی ممکن است با ولتاژ اصلی هم جهت بوده ، یا با آن در خلاف جهت باشد. در صورت هم جهت بودن ، یا هر دو مثبت و یا هر دو منفی ، مقدار لحظه ای ولتاژ اصلی به دامنه ولتاژ موجی تخلیه افزوده گشته، دامنه کلی موج  $U_A$  را به مقدار قابل توجه افزایش می دهد. در شکل (۳-۵ - الف) یک نمونه از منحنی های ولتاژهای موجی ظاهر شده در سه فاز خط ، تحت ولتاژ فرکانس ۵۰ با منحنیهای A و B و C نشان داده شده اند. تخلیه جوی بر فاز A در لحظه حداکثر ولتاژ سینوسی هم جهت با آن صورت گرفته است. لذا دامنه ولتاژ موجی در این فاز حداکثر مقدار را دارا می باشد. ولتاژهای موجی القاء شده در دو فاز دیگر B و C محدود بوده ، در لحظه ظهور با ولتاژهای اصلی این دو فاز در خلاف جهت واقع می باشد. لذا دامنه ولتاژهای موجی در این دو فاز حداقل مقدار را دارا می باشد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در شکل (۵-۳-ب) لحظه تخلیه و لتاژ موجی نسبت به وضعیت بردارهای سه فاز C و B و A داده شده است.



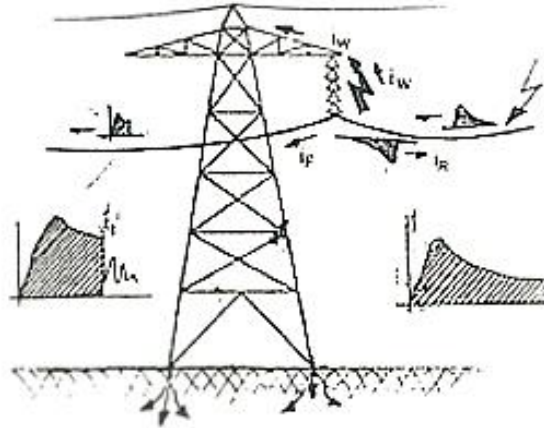
شکل (۵-۳): منحنی ولتاژهای موجی ظاهر شده در سه فاز خط

با افزایش ولتاژ اسمی، این ولتاژ در صد بیشتری از دامنه ولتاژ حاصل  $U_A$  را تشکیل می دهد. در شبکه های توزیع با ولتاژ ۱۵ تا ۲۰ کیلوولت، تاثیر ولتاژ اسمی خط در دامنه ولتاژ کلی ناچیز بوده و فواصل ایزولاسیون خط صرفاً بر اساس دامنه ولتاژهای موجی پیش بینی و طرح می گردند. در خطوط با ولتاژهای اسمی ۴۰۰ تا ۷۶۵ کیلو ولت، تاثیر ولتاژ اسمی قابل توجه بوده، دامنه ولتاژ موجی کلی  $U_A$  در حدود ۱/۲-۱/۶ برابر ولتاژ اسمی تغییر می نماید.

تأثیر ولتاژ موجی با دامنه  $U_A$ ، حاصل از تخلیه جوی الکتریکی بر سیمهای فاز در فاصله ایزولا سیون فاز به زمین، با توجه به سطح ایزولا سیون پیش بینی شده جهت طول زنجیر مقرر تعیین می گردد. همچنانکه بررسی نمودیم، چنانچه دامنه ولتاژ موجی از سطح ایزولا سیون پیش بینی شده خط  $U_{BIL}$  تجاوز نماید، قوس و اتصالی در فاصله ایزولا سیون خط روی داده قسمتی از موج به بدنه برج و زمین منتقل گشته و قسمت دیگر به صورت

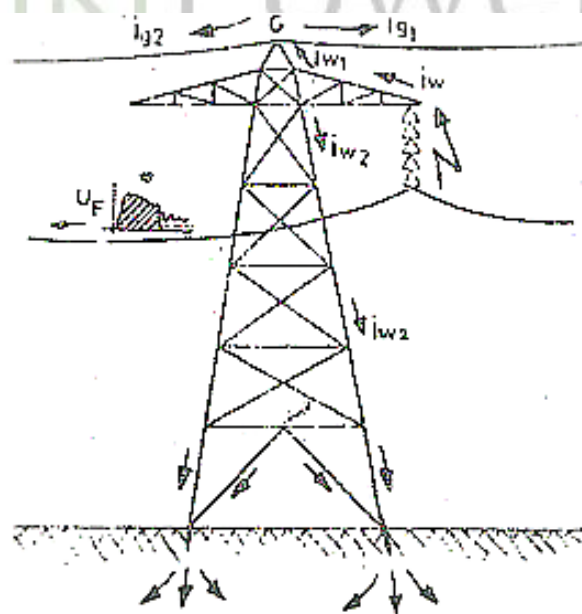
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موج بریده شده (یا Chopped Wave) در طول خط منتشر می گردد. بریده گشتن موج در لحظه  $t_1$  در پی بروز قوس در این لحظه روی می دهد (شکل ۴-۵).



شکل (۴-۵): قوس برگشتی و بریده شدن شکل موج

بروز قوس در طول زنجیر مقرر شرایط انتشار، انعکاس و تخلیه موج را به شرح زیر ، بر طبق شکل (۵-۵) فراهم می سازد.



شکل (۵-۵): بروز قوس در طول زنجیر مقرر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

درصد قابل توجهی از موج به صورت جریان تخلیه موجی از طریق قوس به بدنه فولادی برج منتقل گشته ، با توجه به اتصال الکتریکی مطمئن برج به زمین تخلیه می گردد. در شکل (۵-۵) این موج با  $I_W$  نشان داده شده است.

درصد محدودی از موج با جریان  $I_F$  به حرکت خود در سیمهای فاز ادامه داده، ولتاژ موجی بریده شده  $U_F$  را به وجود می آورد که تا رسیدن به برج بعدی مستهلک می گردد، در صورتی که این موج با طی مسافت فاصله بین دو برج مستهلک نشود و دامنه آن تا سطح ایزولاسیون  $U_{BL}$  حفظ گردد، قوس در طول زنجیره مقرر برج بعدی را سبب می گردد. فاصله زمانی بین دو قوس حاصل در دو برج متوالی معادل زمان لازم جهت انتشار موج از برج اول به برج دوم بوده که در حدود ۱ الی ۲ میکروثانیه تغییر می نماید.

درصد محدودی از موج به صورت جریان برگشتی  $I_r$  و ولتاژ موجی  $U_r$  با علامت منفی منعکس گردیده موج انعکاسی را پدید می آورد و دامنه این موج محدود بوده، انتشار و انعکاس متوالی برج، آن را به سرعت مستهلک می سازد.

انتشار و انعکاس موج در پی بروز قوس در طول زنجیره مقرر بر اساس قوانین موجهای حرکتی متناسب با امپدانسهای موجی مسیر انتشار آن صورت می پذیرد. بر اساس این قوانین انتشار و انعکاس متوالی موج در فواصل محدود در پاره‌ای موارد ممکن است موجب تقویت موج و افزایش دامنه آن گردد. جریان موجی  $i_w$  در روی برج به جریانهای موجی  $i_{w_1}$ ،  $i_{w_2}$  تقسیم گشته بر طبق شکل (۵-۵) جریان  $i_{w_2}$  به سمت زمین و جریان  $i_{w_1}$  به سمت سیم زمین نقطه  $G$  منتشر می گردد. در این نقطه جریان  $i_{w_1}$  خود به جریان موجی  $i_{g_1}$ ،  $i_{g_r}$  تقسیم گشته، در دو جهت به سمت دو انتهای سیم زمین منتشر می گردد. این جریانها از طریق برجهای بعدی به زمین تخلیه می گردند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در نقطه G جریانهای انعکاسی نیز وجود خواهند داشت. به طور کلی در پی بروز قوس در طول زنجیر مقره، قسمت عظم موج در دو مسیر به شرح زیر منتشر می گردد:

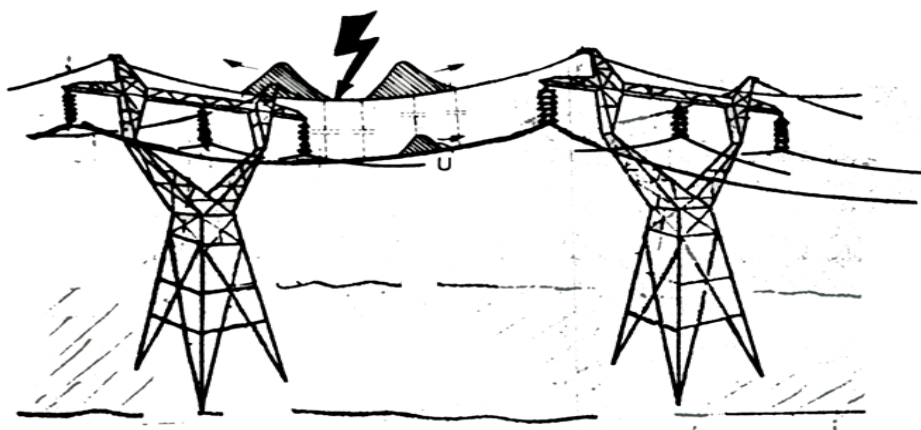
مسیر انتشار موج در سیمهای فاز و مسیر انتشار موج در بدنه برج به سمت زمین.

## ۲-۵ تخلیه جوی بر سیمهای محافظ [ ۳ و ۱۵ ]

سیمهای محافظ از جنس فولاد بوده، مستقیماً به بدنه فلزی برجها متصل می باشند. این سیمها از طریق بدنه برجها دارای اتصال الکتریکی کامل به زمین می باشند. تخلیه جوی بر سیمهای زمین خط، در طول فاصله بین برجها و یا در محل برجها روی می دهد. خصوصیات تخلیه بر سیمهای زمین مشابه تخلیه بر سیمهای فاز می باشد. بارهای الکتریکی ناشی از تخلیه جوی در طول سیمهای زمین منتشر گردیده، با رسیدن به محل برجها از طریق بدنه فولادی آنها و سیستم زمین برجها به زمین منتقل می گردند (شکل ۵-۶).

بدون اینکه فواصل ایزولاسیون خط و شرایط بهره برداری را مختل سازند. به همین علت تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای زمین و سپس انتقال بارهای الکتریکی به بدنه برج از هر حیث مناسب، و ایده آل بوده، سیمهای زمین به منظور امکان تخلیه جوی بر آنها، در سر تا سر طول خطوط انتقال انرژی نصب می گردند. تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای زمین با پدیده و خصوصیات کاملاً متفاوت از تخلیه بر سیمهای فاز روی می دهد. این خصوصیات به شرح زیر شرایط بروز قوس را در فواصل ایزولاسیون خط موجب می گردند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۵-۶): تخلیه جوی مستقیم بر سیمهای زمین

انتشار موج در سیمهای زمین با توجه به شرایط خازنی این سیمها و فاصله ناچیز آنها از سیمهای فاز ولتاژ مشابه با دامنه محدود را در این سیمها القاء می‌سازد. در شکل (۵-۶) تخلیه جوی مستقیم بر سیم زمین و ولتاژ خروجی موجی ظاهر شده در سیم فاز نشان داده شده است. ولتاژ موجی القاء شده  $U$  در طی انتشار خود در طول سیمهای فاز، خصوصیات و پدیده‌های کاملاً مشابه موجهای حاصل از تخلیه جوی مستقیم را بر این سیمها دارا می‌باشد. ولتاژهای موجی القاء شده در سیمهای فاز می‌توانند بروز قوس را در طول زنجیره مقرر، با توجه به سطح ایزولاسیون خط  $UBIL$  موجب گردند.

با انتشار موج در طول سیم زمین و رسیدن به محل اتصال سیم به برج، با توجه به قوانین موجهای حرکتی، قسمتی از موج عبور نموده، قسمتی از آن منعکس گردیده، قسمت دیگر در برج وارد می‌گردد. درصد موجهای منتشر و منعکس شده با توجه به تغییر امپدانس مسیر موج تعیین می‌گردند. در شکل (۵-۷) موج  $U_w$  در محل اولین برج و نقطه  $G$  به دو قسمت تقسیم شده قسمت  $U_r$  در بدنه برج و قسمت  $U_f$  از نقطه  $G$  عبور نموده و در امتداد سیم زمین به انتشار خود ادامه می‌دهد، قسمتی از موج نیز به صورت ولتاژ انعکاسی  $U_r$  از نقطه  $G$  منعکس می‌گردد. موج وارد گشته به بدنه برج  $U_r$ ، بدنه فولادی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

آن را به سمت زمین طی نموده ، از محل اتصال الکتریکی برج به زمین، به آن وارد و تخلیه می گردد. موج  $U_i$  در حدود ۸۰٪ موج اصلی  $U_w$  را تشکیل می دهد. لذا تخلیه آن به زمین حائز اهمیت فراوان می باشد. تخلیه سریع و کامل این موج با توجه به نحوه اتصال الکتریکی برج به زمین و امپدانس موجی آن صورت می پذیرد. چنانچه اتصال برج به زمین به طور کامل صورت نگرفته و مقاومت محل اتصال بالا باشد، امکان تخلیه سریع و لحظه ای بارها به زمین میسر نگشته، ولتاژ موجی قابل توجه در محل اتصال سیم زمین به برج ظاهر می گردد. این ولتاژ در طرف زمین زنجیر مقره خط، ولتاژ موجی با دامنه بالا را ظاهر می سازد. در صورتی که دامنه این ولتاژ از سطح ایزولاسیون زنجیر مقره یا  $U_{BL}$  تجاوز نماید، بروز قوس را در طول زنجیر مقره سبب می گردد. همچنانکه قبلاً بررسی نمودیم ، بروز این قوس به منظور انتقال بارهای تخلیه جوی از بدنه برج به سیمهای فاز صورت می پذیرد. لذا به قوس برگشتی معروف می باشد.



شکل (۷-۵): نمایش موجهای منتشر و منعکس شده در اثر برخورد صاعقه به سیم زمین

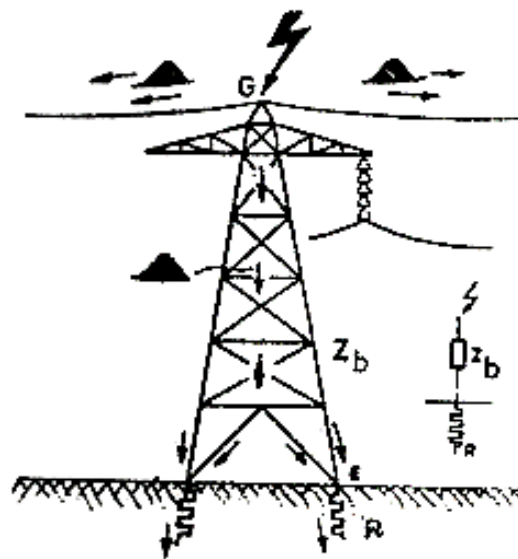
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ولتاژ موجی  $U_r$  در طول بدنه فولادی برج به سمت زمین منتشر شده ، در محل اتصال برج به زمین ، محل اتصال امپدانس موجی برج  $Z_b$  به مقاومت سیستم زمین برج  $Z_0$  ، نقطه E قسمتی از آن منتشر و قسمت دیگر آن  $V_{RI}$  منعکس می گردد، موج منعکس شده  $V_{RI}$  بر طبق پیکان در طول برج به سمت نقطه رأس آن منتشر شده ، در نقطه G مجدداً قسمتی از آن منعکس و قسمت دیگر منتقل می گردد. ادامه انتشار و انعکاس متوالی موج در نقاط E و G به تدریج از دامنه موج کاسته ، موج مستهلک می گردد. هنگامی که امپدانس موجی برج و یا مقاومت اهمی محل اتصال برج به زمین، بالا باشد، استهلاک موج به طول انجامیده ، ولتاژ موجی قابل ملاحظه را برای مدت طولانی در نقطه A (انتهای زنجیره مفره) ظاهر می سازد. ولتاژ ظاهر شده در نقطه A بروز قوس برگشتی را موجب می گردد.

### ۳-۵ تخلیه جوی مستقیم بر بدنه برجها [ ۲۰ ]

تخلیه جوی مستقیم بر بدنه برجها معمولاً بر نقطه رأس برج صورت می پذیرد. با توجه به اتصال الکتریکی مستقیم برج به زمین ، موج حاصل از تخلیه جوی به سهولت به زمین منتقل می گردد، موج حاصل از تخلیه جوی بر برج به سه قسمت تقسیم شده، قسمت اعظم آن با دامنه معادل ۹۰٪ دامنه موج اصلی در طول بدنه برج منتشر گردیده به زمین منتقل می گردد. ۱۰٪ دیگر آن در دو جهت در طول سیمهای زمین منتشر گردیده، از طریق بدنه برجهای بعدی به زمین منتقل می گردد. در شکل (۵-۸) نقطه تخلیه جوی و موجهای منتشر شده در طول بدنه برج و سیمهای زمین نشان داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

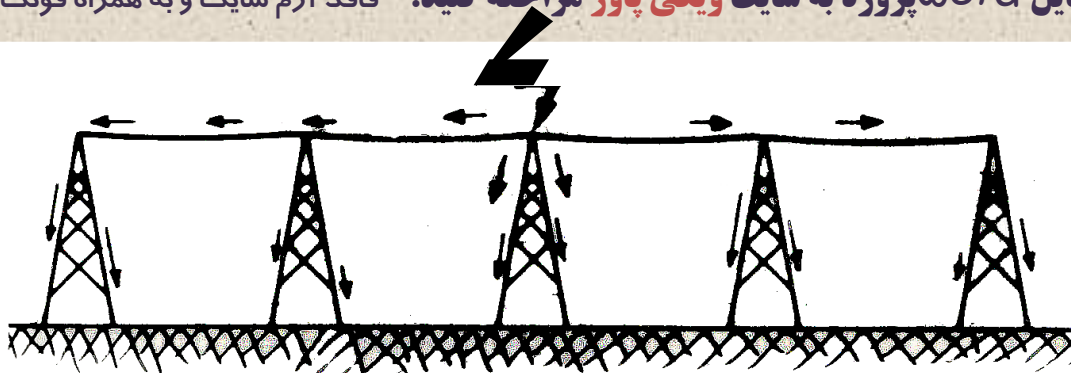


شکل (۸-۵): انتشار موج در بدنه موج و سیمهای زمین

موجهای منتشر شده در طول سیمهای زمین به تدریج مستهلک گشته، از طریق بدنه سایر برجها به زمین منتقل می گردند، در شکل (۹-۵) تخلیه بر بدنه برج، انتشار موج در طول سیمهای زمین و انتقال بارها به زمین از طریق سایر برجها نشان داده شده است. ارتباط الکتریکی کلیه برجها از طریق سیمهای زمین به یکدیگر مقاومت مسیر تخلیه بارها را کاهش داده انتقال آنها را به زمین در فاصله زمانی بسیار کوتاه امکان پذیر می سازد. موج وارد گشته در بدنه برج، ارتفاع محدود برج را طی نموده، به زمین تخلیه می گردد. این موج حداقل طول را جهت انتقال به زمین می پیماید. با توجه به مراتب فوق، تخلیه جوی مستقیم بر برجها، مطلوبترین و مناسبترین حالت تخلیه جوی بر خط را تشکیل می دهد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۵-۹): انتقال بارها به زمین از طریق سایر برجها

تخلیه جوی بر برج ، مشابه شرایط حاصل از تخلیه جوی بر سیم زمین می باشد. در هنگام تخلیه جوی بر سیم زمین نیز ، موج در طول آن منتشر گشته ، با رسیدن به محل برج از طریق آن به زمین تخلیه می گردد. شکل (۵-۷) . درصد معینی از تعداد کل تخلیه های جوی بر خط را ، تخلیه مستقیم بر برجها تشکیل می دهد. درصد آن به ابعاد و اندازه برجها ، شکل ظاهری برجها ، فاصله آنها از یکدیگر ، تعداد آنها در خط و موقعیت برجها بستگی دارد. با افزایش ابعاد و اندازه برجها ، بر حجم تغییرات فلزی برج و بارهای الکتریکی انباشته در آن افزوده گردیده ، شدت میدان را در حول آن بیش از پیش متراکم ساخته ، تراکم شدت میدان ، درصد تخلیه بر برج را افزایش خواهد داد. به همین ترتیب افزایش فاصله برجها از یکدیگر تعداد آنان را کاهش داده ، درصد تخلیه بر برج را تقلیل می دهد.

به طور کلی درصد تخلیه معمول بر برجها ، در فاصله بین آنها بر سیمهای زمین ، با توجه به تعداد سیمهای زمین به شرح جدول ۵-۱ می باشد.

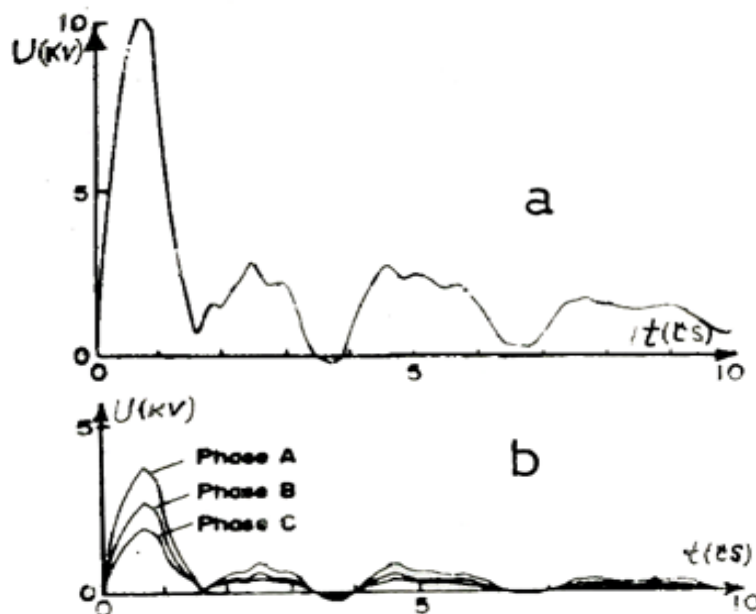
۳	۲	۱	۰	تعداد سیم زمین
۱۰	۲۰	۳۵	۵۵	درصد تخلیه بر برج
۹۰	۸۰	۶۵	۴۵	درصد تخلیه بر فواصل برجها

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول ( ۵-۱ )

چنانچه انتقال بارها از بدنه برج به زمین به سهولت امکان پذیر نگردد، پدیده بروز قوس برگشتی یا قوس در طول زنجیرمقره را سبب می گردد. بروز قوس برگشتی و ظهور ولتاژ موجی قابل ملاحظه در طرف زمین زنجیر مقره، از مقاومت بالای بدنه برج و سیستم زمین آن ناشی می گردد.

تخلیه جوی مستقیم بر بدنه برج، ولتاژهای موجی مشابه را در سه فاز خط القاء می سازد. این ولتاژها مشابه موجهای حاصل از تخلیه جوی بر فازها، می تواند شرایط بروز قوس و اتصالی را فراهم سازند. در شکل (۵-۱۰) یک نمونه از ولتاژهای موجی القاء شده در سه فاز در پی تخلیه جوی مستقیم بر برج نشان داده شده اند.

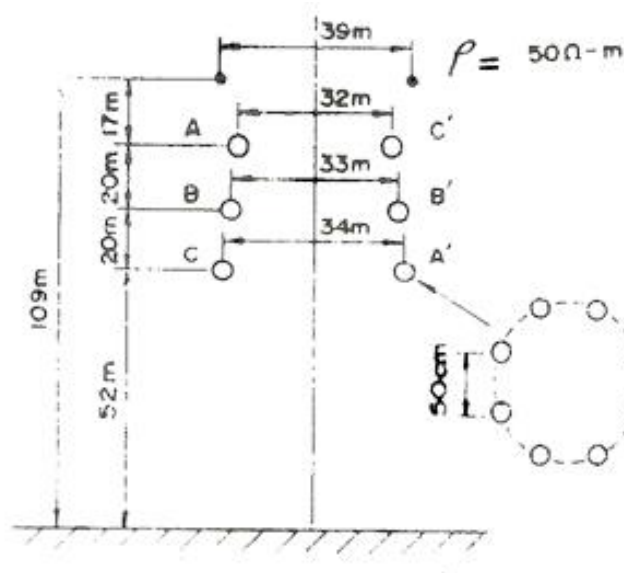


شکل (۵-۱۰): الف - ولتاژ موجی حاصل از تخلیه جوی بر نقطه راس برج

ب - ولتاژهای موجی القاء شده در سه فاز

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

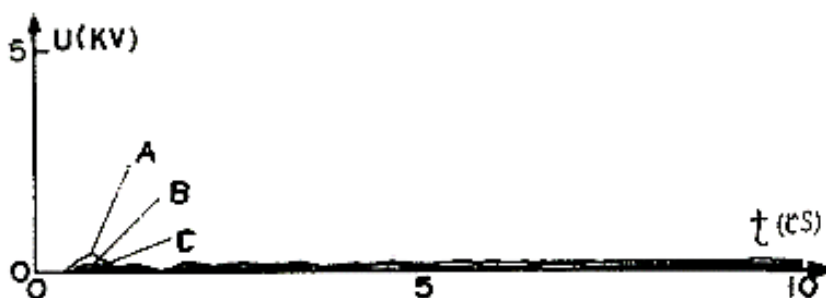
برج مورد تخلیه، برج انتهائی خط یا اولین برج خط از نوع دو مداره یا نصب قائم فازها بوده است. (شکل ۵-۱۱)



شکل (۵-۱۱): برج دو مداره با نصب قائم فازها مورد تخلیه

تخلیه بر نقطه رأس برج صورت گرفته، ولتاژهای موجی را در سه فاز القاء نموده است. ولتاژ موجی حاصل از تخلیه جوی بر نقطه رأس برج در شکل (۵-۱۰-الف) و ولتاژهای موجی القاء شده در سه فاز در شکل (۵-۱۰-ب) نشان داده شده‌اند.

در شکل (۵-۱۲) ولتاژهای موجی پس از انتشار در طول خط در محل پست رسم گردیده‌اند. چنانچه ملاحظه می‌گردد. دامنه ولتاژهای موجی در محل ورود به پست به طور قابل ملاحظه کاهش یافته‌اند.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۵-۱۲)؛ دامنه ولتاژهای موجی در محل ورود به پست

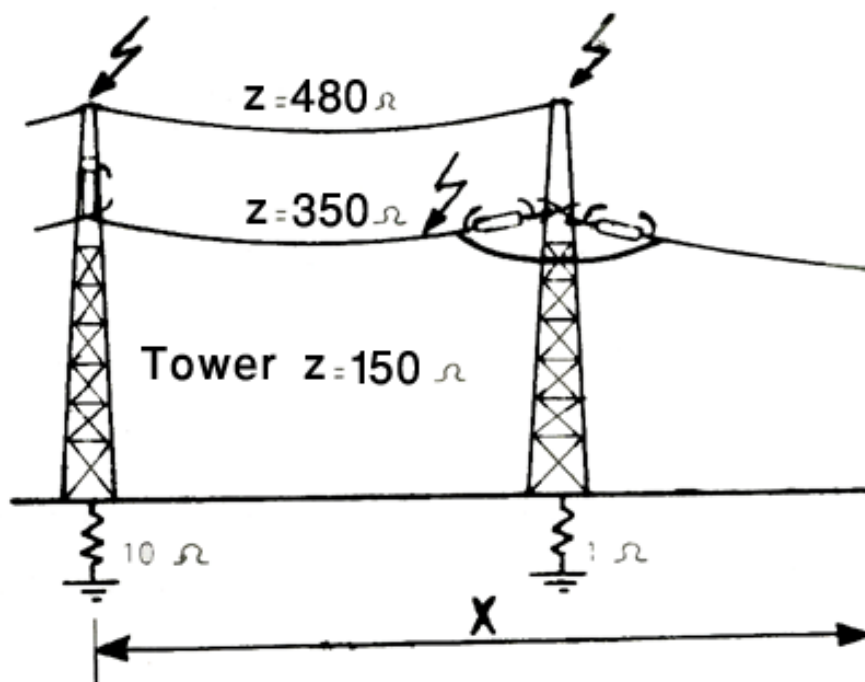
#### ۴-۵ تخلیه جوی مستقیم در مجاور پستهای فشارقوی

شرایط تخلیه جوی بر سیمهای فاز و بروز قوس برگشتی در صورت تخلیه جوی در اواسط خطوط در فاصله مکانی از پستهای دو انتهای خط قابل قبول بوده، موج منتشر شده در طول خط قبل از ورود به پستهای انتقال انرژی به طور کامل مستهلک میگردد. هنگامی که تخلیه در مجاور پستها و دو انتهای خطوط روی دهد، موج با دامنه و شیب قابل توجه قبل از استهلاک کامل وارد پست گردیده و ایزولاسیون تجهیزات موجود در آن را تهدید می نماید. لذا در این فواصل لازم است حتی الامکان از تخلیه جوی بر سیمهای فاز جلوگیری شده پیش بینی های کافی جهت انتقال بارهای تخلیه جوی با بروز قوس در طول زنجیر مقره به صورت عیوب گذرا فراهم گردد.

طریق مناسب جهت کاهش سطح ایزولاسیون خط در مجاور پستها نصب شاخکهای برقگیر در طول زنجیر مقره در پایه انتهایی و پایه های دوم و سوم قبل از ورود خط به پست می باشد. همچنین به منظور جلوگیری از بروز قوس برگشتی و وارد گشتن ولتاژ موجی حاصل از آن به پستها مقاومت زمین برجاها در مجاور پستها به طور قابل توجه کاهش داده شده معمولاً ۲-۳ برج واقع در دو انتهای خطوط به سیستم زمین پست متصل می گردند. بدین ترتیب از بروز قوس برگشتی و وارد گشتن موج حاصل از آن به پست به طور کامل جلوگیری می گردد.

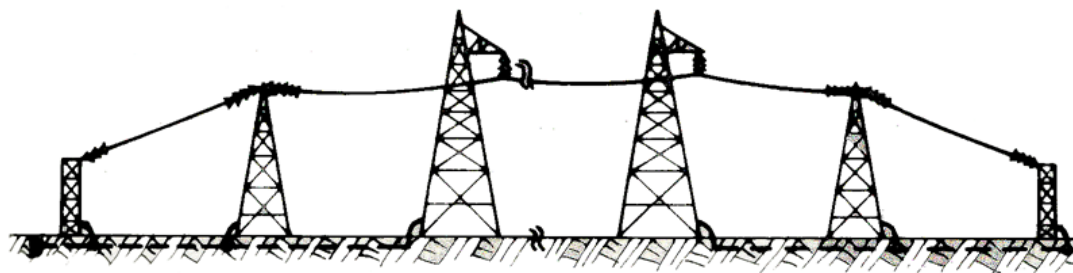
در شکل (۵-۱۳) نصب شاخکهای برقگیر در برجهای انتهایی خط و تخلیه جوی بر آنها نشان داده شده اند. شاخکها با G مشخص گردیده اند در شکل (۵-۱۴) سیستم زمین برجاها در دو انتهای خطوط و اتصال آنها به سیستم زمین پست نشان داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۵-۱۳): نصب شاخکهای برقگیر در برجهای انتهایی

در شکل (۵-۱۵) منحنی ۱، منحنی ولت ثانیه بروز قوس را در طول زنجیر مقرر یا منحنی ایزولا سیون خط را نشان می دهد. منحنی خط چین، منحنی بروز قوس را در فاصله هوایی شاخکهای برقگیر مشخص می سازد. منحنی ۲، موج حاصل از تخلیه جوی را در فاصله بین دو پایه نشان می دهد چنانکه دیده می شود، ظهور قوس تخلیه جوی بر طبق منحنی ۲، بروز قوس را در شاخکها قبل از طول زنجیر مقرره موجب می گردد. قوس در فاصله زمانی پیشانی موج در لحظه  $t_i$  روی می دهد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل (۵-۱۴): سیستم زمین برجهای در دو انتهای خط و اتصال آنها به سیستم زمین پست حداقل دامنه جریان موجی به منظور بروز قوس در طول زنجیر مفره با توجه به سطح اصلی ایزولاسیون خط  $U_{BIL}$  و امپدانس موجی آن  $Z_0$  قابل برآورد می باشد. قوس هنگامی در طول زنجیر مفره روی خواهد داد که رابطه زیر برقرار باشد:

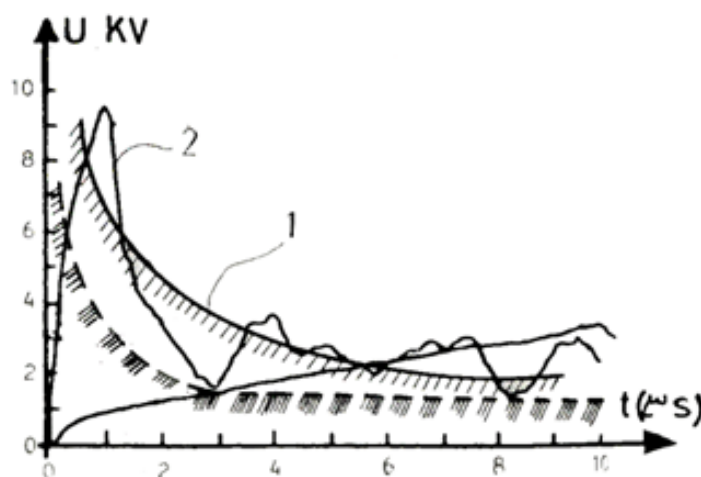
$$\frac{1}{2} I Z_0 \geq U_{BIL} \quad (۲-۵)$$

لذا:

$$I = \frac{2U_{BIL}}{Z_0} \quad (۳-۵)$$

به عنوان مثال حداقل جریان موجی جهت بروز قوس در طول زنجیر مفره خط ۴۰۰ کیلوولت با امپدانس موجی ۳۵۰ اهم و سطح اصلی ایزولاسیون معادل  $U_{BIL} = 1400kV$  عبارت است از:

$$\frac{2 \times 1400}{350} = 8000A = 8KA$$



شکل (۵-۱۵): منحنی ولت ثانیه بروز قوس در طول زنجیر مفره و شاخکهای برقگیر


## ۵-۵ انتشار موج در طول خطوط انتقال انرژی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

موج حاصل از تخلیه جوی بر خطوط انتقال انرژی بلافاصله پس از تخلیه در طول خطوط منتقل گشته، وارد به پستهای دو انتها می‌گردد، این موج تجهیزات فشارقوی پستها با ایزولا سیون ضعیفتر را مورد تهدید قرار داده شرایط بروز قوس اتصالی و انهدام آنها را فراهم می‌سازد. به همین علت پیش‌بینی‌های کافی به منظور جلوگیری از ورود موج از طریق سیمهای فاز خطوط انتقال انرژی، به پستهای فشار قوی صورت می‌پذیرد. این پیش‌بینی‌ها شامل نصب شاخکهای برقگیر در ورود به پست، نصب برقگیرهای فشار قوی و غیره می‌باشند. هنگامی که شیب موج از حدود مجاز و پیش‌بینی شده تجاوز نماید و زمان پیشانی موج کمتر از ۱ میکروثانیه باشد، تجهیزات مورد اشاره قادر به تخلیه موج و جلوگیری از ورود آن به پست نخواهند بود.

در صورتی که تخلیه جوی در فاصله کافی از پست روی دهد انتشار موج در طول خط تحت تاثیر پدیده‌های گوناگون واقع گردیده، از شیب و دامنه موج کاسته می‌گردد. استهلاک موج به مسافت طی شده توسط موج بستگی داشته، خصوصیات و شیب موج در ورود به پست با توجه به فاصله محل تخلیه از پست تعیین می‌گردد. به منظور استهلاک موج تا حد قابل قبول انتشار آن در فاصله ۳-۵ کیلومتری طول خط کافی خواهد بود. به همین علت موجهای حاصل از تخلیه جوی در فاصله بیش از ۳-۵ کیلومتر از انتهای خط به طور کامل مستهلک گشته در ورود به پست دامنه و شیب قابل قبول را دارا خواهند بود. تنها تخلیه‌های جوی در فاصله فوق، موجهای با دامنه بالا و خطرناک را در ورود به پستهای فشارقوی موجب می‌گردد. برای جلوگیری از ورود این موجها به پست، با انجام پیش‌بینی‌های مخصوص از احتمال تخلیه جوی بر خط در فاصله ۳-۵ کیلومتر از انتهای آن حتی الامکان کاسته می‌گردد. این پیش‌بینی‌ها شامل نصب سیم زمین، نصب شاخکهای برقگیر در طول زنجیر مقرر و تقویت سیستم زمین برجاها در فاصله فوق می‌باشد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



# فصل ششم

## محاسبات اضافه ولتاژها در خطوط انتقال در اثر اصابت صاعقه



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۱-۶ مقدمه

در اثر برخورد صاعقه به خطوط انتقال یا نزدیکی آنها ولتاژهای موجی با دامنه‌های مختلف در نقاط مختلف برج‌ها، سیمهای فاز و سیمهای زمین و ... به وجود می‌آید که محاسبه آنها حائز اهمیت می‌باشد. یکی از کاربردهای مهم این محاسبات به دست آوردن ولتاژ دو سر زنجیر مقرر و مقایسه آن با BIL خط می‌باشد. بنابراین در این فصل ولتاژ القا شده بر روی خطوط انتقال در اثر برخورد مستقیم و غیرمستقیم صاعقه مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش ۲-۶ محاسبات مربوط به برخورد مستقیم صاعقه به دکل آورده شده است و در بخش ۳-۶ اثر برخورد صاعقه به اطراف خط مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲-۶ محاسبات اضافه ولتاژ در برج بر اثر برخورد مستقیم صاعقه [۱۳]

### ۱-۲-۶ محاسبه ولتاژ در نقطه رأس برج

به وسیله تحلیل تو سط امواج سیار ولتاژ در نقطه رأس برج به وسیله رابطه زیر به

دست می‌آید:

$$V_T(t) = Z_I \cdot I(t) - Z_w \sum_{n=1}^N [I(t - 2n\tau_T) \psi^{n-1}] \quad (1-6)$$

که در آن :

$V_T(t)$  : ولتاژ رأس برج بر حسب kV برای زمان t ( بر حسب میکروثانیه )

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

$I(t)$  : جریان ضربه صاعقه بر حسب  $kA$  در زمان  $t$  ( بر حسب میکروثانیه )

$Z_I$  : امپدانس موجی ای که جریان ضربه با آن مواجه می شود.

$$Z_I = \frac{Z_S Z_T}{Z_S + 2Z_T} \quad (۲-۶)$$

$Z_W$  : ثابت امپدانس موجی در هر مولفه جریان موجی سیار است که از رابطه زیر به دست

می آید :

$$Z_W = \left[ \frac{2Z_S^2 Z_T}{(Z_S + 2Z_T)} \right] \left[ \frac{Z_T - R}{Z_T + R} \right] \quad (۳-۶)$$

$Z_T$  : امپدانس موجی موج

$Z_S$  : امپدانس موجی سیم محافظ

$I(t - 2n\tau_T)$  : جریان موجی که به مدار وارد می شود در زمان گذشته  $t - 2n\tau_T$  که در آن

$n$  را عدد موج می نامند.

$\psi$  : ثابت میرایی که سهم بازتاب های امواج را کاهش می دهد.

$$\psi = \left( \frac{2Z_T - Z_S}{2Z_T + Z_S} \right) \left( \frac{Z_T - R}{Z_T + R} \right) \quad (۴-۶)$$

$N$  : بزرگترین عدد موج  $( N = \frac{t}{2\tau_T} )$

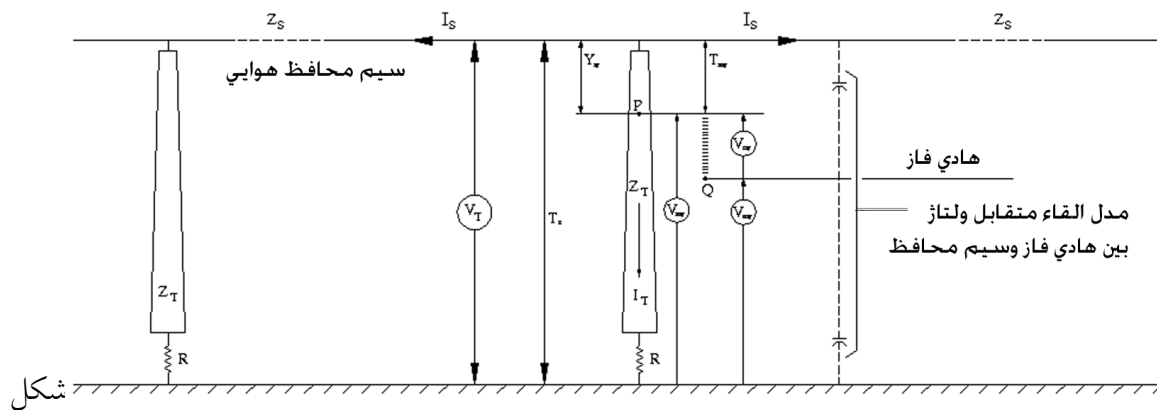
$R$  : مقاومت پای برج

$\tau_t$  : زمان سیر موج از سر برج تا پایه برج

$\tau_{PN}$  : زمان سیر موج از سر برج به بازوها

$V_{PN}$  : ولتاژ بازو نسبت به زمین

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

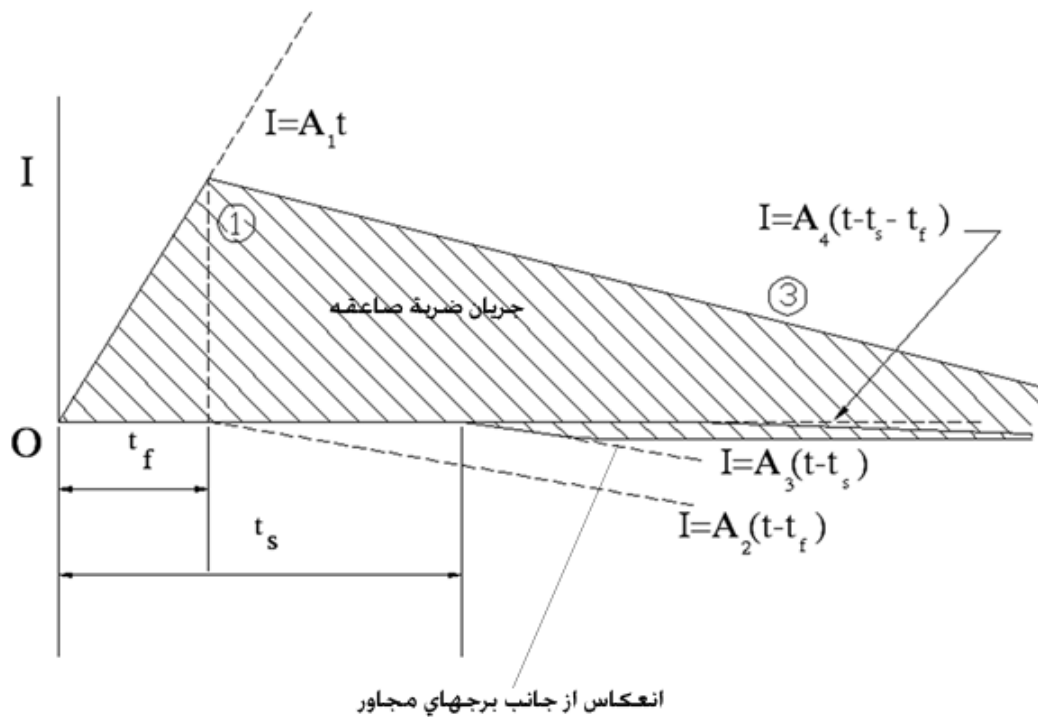


شکل

(۱-۶): المانهای اساسی در محاسبه ولتاژ زنجیر مفره

برای به کار بردن معادله فوق ابتدا زمانی که صاعقه به برج برخورد می کند را معین می کنیم ،  $t$  ، سپس مولفه های جریانی محاسبه شده را با هم جمع می کنیم تا هنگامیکه  $N \leq Nn$  باشد. البته لازم نیست که تمام شکل موج جریانی را محاسبه کنیم زیرا ولتاژ رأس برج در هنگامیکه موج جریانی به مقدار قله خود می رسد بیشترین مقدار را دارد. بنابراین تنها کفایت محاسبات فوق را در نزدیکی قله موج انجام دهیم. در اینجا شکل موج صاعقه توسط چند تابع شیب مانند آنچه در شکل (۲-۶) می بینیم شبیه سازی شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۶-۲): جریان ضربه نهایی صاعقه که می توان آن را از مجموع چهار تابع شیب استخراج کرد.

زمان پیشانی موج  $1/8$  میکروثانیه و زمان پشت موج  $50$  میکروثانیه در نظر گرفته می شود. حال اگر شکل جریان ضربه از شکل تابع شیب تبعیت کند یعنی  $I = At$ . ولتاژ رأس برج در زمان پیشانی موج یا پشت موج از رابطه زیر بدست می آید:

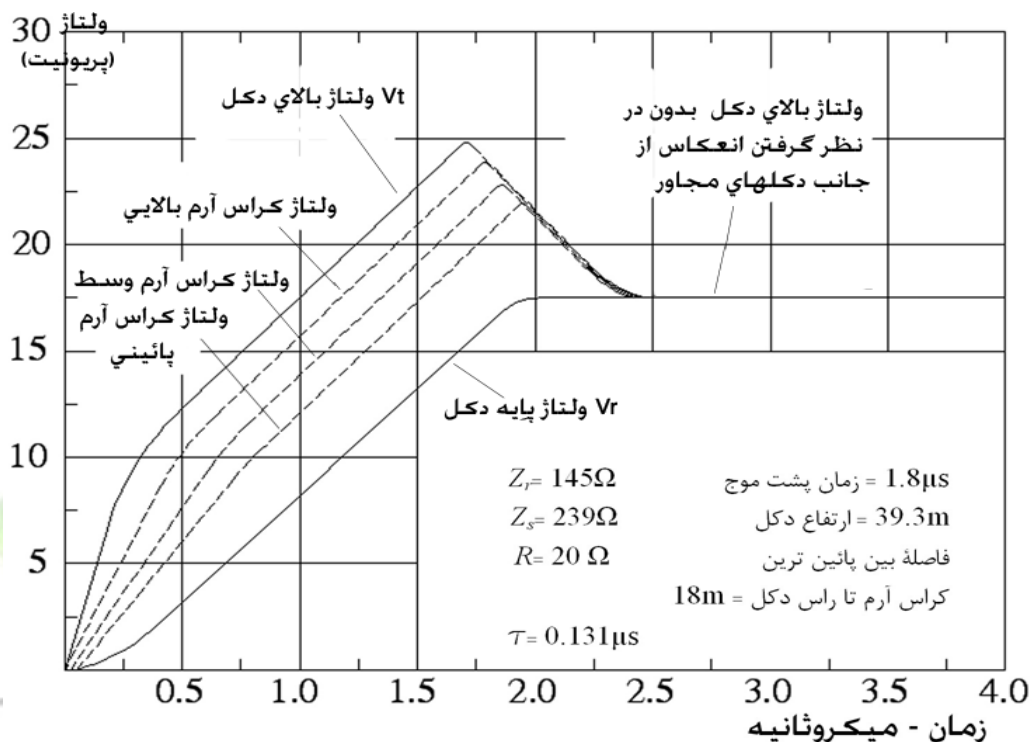
$$V_T(t) = A.t \left[ Z_1 - Z_w \left( \frac{1 - \psi^N}{1 - \psi} \right) \right] + 2A\psi_T Z_w \left[ \frac{1 - \psi^N}{(1 - \psi)^2} - \frac{N\psi^N}{1 - \psi} \right] \quad (5-6)$$

با استفاده از فرمول (۵-۶) همانطور که در شکل (۶-۳) دیده می شود ولتاژ نقطه رأس

برج برای مقادیر نمونه ای به دست می آید.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر اس سایت و به همراه فونت های لازمه

همانطور که از رابطه (۵-۶) بر می آید هنگامی که موج صاعقه را با توابع شیب مدل می کنیم اثر هر تابع را در ابتدا به دست آورده و در نهایت ولتاژ نقطه رأس برج از مجموع ولتاژهای هر تابع در نقطه مورد نظر به دست می آید.



شکل (۳-۶): اضافه ولتاژ کراس آرم، بدنه و رأس برج در اثر اصابت مستقیم صاعقه به برج

## ۲-۲-۶ محاسبه ولتاژ روی کراس آرم

برای به دست آوردن ولتاژ دو سر زنجیره مقرر لازم است که ولتاژ کراس آرم معلوم شود. در قسمت قبل ولتاژ نقطه رأس برج محاسبه شد. حال اگر با استفاده از یک ضریب کوپلینگ مناسب ولتاژ القایی روی فازها را حساب کنیم و سپس ولتاژ کراس آرم را محاسبه کنیم، ولتاژ دو سر زنجیره مقرر، که اختلاف بین دو ولتاژ ذکر شده می باشد بدست می آید. ساده ترین راه محاسبه ولتاژ پایه برج و سپس به کار بردن همین ولتاژ به جای ولتاژ

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

کراس آرم البته با در نظر گرفتن این فرض که تغییرات ولتاژ در طول برج زیاد نیست، نشان داده می شود که ولتاژ پایه برج از رابطه زیر به دست می آید:

$$V_R(t + \tau_T) = \bar{a}_R Z_I \sum_{n=0}^N I(t - 2n\tau_T) \psi^n \quad (5-6)$$

که  $V_R(t + \tau_T)$  ولتاژ مقاومت پایه دکل R، در زمان  $t + \tau_T$  می باشد و داریم:

$$\bar{a}_R = \frac{2R}{Z_T + R} \quad (7-6)$$

ولتاژ پایه برج نسبت به ولتاژ رأس برج پس فاز می باشد. حال اگر دوباره شکل موج صاعقه را به صورت تابع شیب در نظر بگیریم یعنی  $I=At$  ولتاژ پایه برج در پیشانی یا پشت موج جریان عبارت است از:

$$V_R(t + \tau_T) = \bar{a}_R Z_I A \left[ \left( \frac{1 - \psi^{N+1}}{1 - \psi} \right) t - 2\psi \left( \frac{1 - \psi^N}{(1 - \psi)^2} - \frac{N\psi^N}{1 - \psi} \right) \tau_T \right] \quad (8-6)$$

پس از آنکه ولتاژ پایه برج معلوم شد ولتاژ جایگزین برای هر کراس آرم عبارت است از:

$$V_{Pn}(t + \tau_{pn}) = V_R(t + \tau_T) + \frac{h - Y_n}{h} [V_T(t) - V_R(t - \tau_T)] \quad (9-6)$$

که در آن  $h$  ارتفاع برج بر حسب متر و  $Y_n$  فاصله کراس آرم از رأس برج بر حسب متر می باشد.

همانطور که در شکل (۳-۶) ملاحظه می کنیم ولتاژ کراس آرم برای خط نمونه ای محاسبه شده است.

### ۳-۲-۶ محاسبه ولتاژ روی زنجیر مفره

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

از بحث‌های انجام شده به وضوح در می‌یابیم که اگر دامنه ضربه صاعقه در نقطه رأس برج تغییر کند، چون سرعت موج محدود است، این تغییرات به طور آنی به کراس آرم‌ها و پایه دکل نمی‌رسد و برای کراس آرم تا زمان  $\tau_{Pn}$  و برای پایه برج تا  $\tau_T$  به طول می‌انجامد. این پدیده باعث به وجود آمدن سه ولتاژ غیر همزمان در نقاط مختلف برج می‌شود که در زمانهای  $t$  (زمان برخورد صاعقه به رأس برج)  $t + \tau_{Pn}$  و  $t + \tau_T$  می‌باشد. با توجه به این موضوع و همچنین با توجه به شکل (۳-۶) در می‌یابیم که ولتاژ موجی ظاهر شده در دو سر زنجیر مقرر مقدار زیادی نیست، زیرا این مقدار اختلاف میان ولتاژ کراس آرم،  $V_{Pn}$  و ولتاژ القاء شده به هادی فازها از نقطه رأس برج می‌باشد. مقدار این ولتاژ از رابطه زیر قابل حصول است:

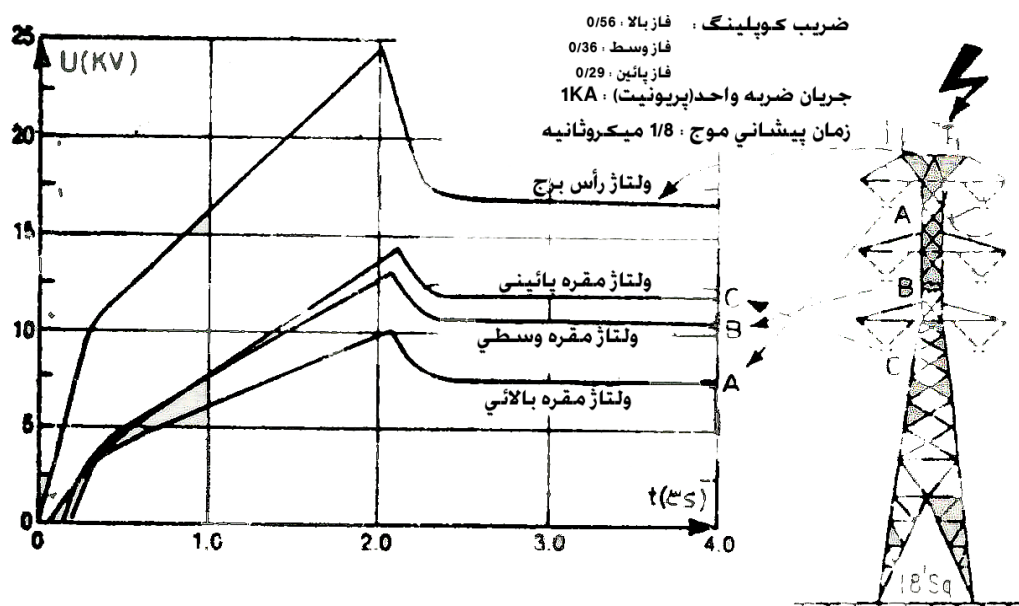
$$V_{Sn}(t + \tau_{Pn}) = V_{Pn}(t + \tau_{Pn}) - K_n V_T(t + \tau_{Pn}) \quad (10-6)$$

که در آن  $K_n$  ضریب مقدار کوپلینگ می‌باشد و  $\tau_{Pn}$  زمان انتشار موج از رأس تا کراس آرم می‌باشد. ترکیب معادلات اخیر با هم به معادله زیر می‌انجامد:

$$V_{Sn}(t + \tau_{Pn}) = V_R(t + \tau_T) + \frac{\tau_T - \tau_{Pn}}{\tau_T} [V_T(t) - V_R(t + \tau_T)] - K_n V(t) \quad (11-6)$$

شکل زیر نتایج به دست آمده از معادلات بالا را نشان می‌دهد، همانطور که از شکل پیداست مقدره فاز پائین ولتاژ بیشتری نسبت به مقدره فازهای بالاتر از خود را داراست زیرا هادی پائینی چون از نقطه رأس برج دورتر است، پس ولتاژ کمتری به روی آن القا می‌شود، یعنی اختلاف ولتاژ دو سر زنجیر مقرر زیادتر است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۶) : نمونه‌هایی از اضافه ولتاژ زنجیر مقره در اثر اصابت صاعقه برای درج دو مداره

تا به حال در مورد برخورد مستقیم صاعقه به برج بحث شد و همچنین ولتاژهای القاء شده به نقاط مختلف برج مورد بررسی قرار گرفت حال در قسمت بعد اثر برخورد صاعقه به اطراف خط مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### ۳-۶ محاسبه ولتاژ القایی در اثر برخورد صاعقه به اطراف خطوط انتقال

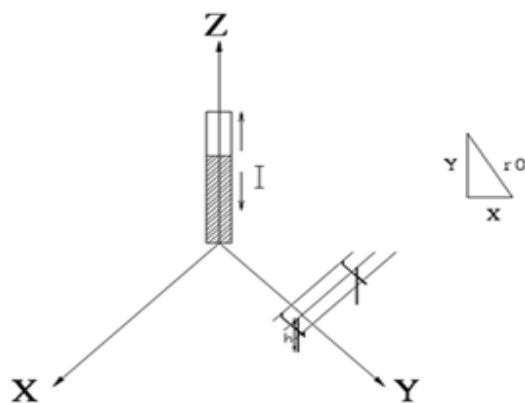
[۱۰ و ۱۷]

یک صاعقه باعث ایجاد چنان میدان الکترومغناطیسی می‌گردد که با سرعت نور از کانال صاعقه منتشر می‌شود و همین میدان است که باعث القاء ولتاژ در خطوط انتقال می‌گردد. ارتفاع ابر حدود ۲ کیلومتر می‌باشد حال آنکه ارتفاع خط از چند ده متر تجاوز نمی‌کند لذا می‌توان گفت تغییرات میدان بین خط و زمین بر اثر تغییر ارتفاع ناچیز بوده و میدان در این فاصله ثابت است و لذا میدان در روی زمین و خط یکی است. اگر زمین را



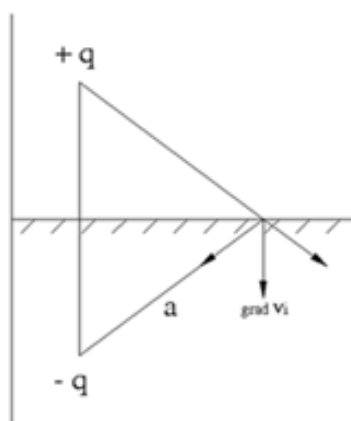
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کاملاً هادی فرض کنیم میدان از طریق روش تصویر بار و جریان نسبت به زمین محاسبه می شود.

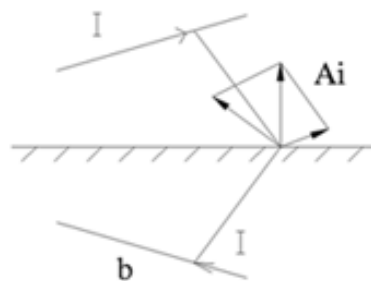


شکل (۵-۶): سیستم کارتیزین برای محاسبه ولتاژ

مسئله بی نهایت گرفتن هدایت زمین یک تقریب می باشد زیرا این مسئله عملاً وجود ندارد و تلفات در زمین باعث کاهش قدرت میدان می گردد.



b: پتانسیل برداری



a: پتانسیل اسکالر

شکل (۶-۶): جهت میدان الکتریکی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مطابق شکل (۶-۶) می توان میدان الکترومغناطیسی را به وسیله پتانسیل اسکالر  $V_i$  و پتانسیل برداری  $A$  نشان داد. پس میدان الکتریکی به قرار زیر است:

$$E_i = -\nabla V_i - \frac{\partial A_i}{\partial t} \quad (12-6)$$

به خاطر فرض هادی بودن زمین و روش تساوی  $\nabla V_i$  و  $A_i$  بر سطح زمین عمودند. محاسبات مربوط به این روش بسیار طولانی بوده و در اینجا از ذکر آن خودداری می گردد و فقط به عنوان نمونه، محاسبات بر روی خط زمین شده انجام گرفته است.

### ۶-۳-۱ محاسبات بر روی خط زمین شده

اگر خط طولانی ایزوله شده به وسیله مقاومت های  $R_a, R_b, R_c$  و ... زمین شود ماتریس مقاومتها به صورت زیر خواهد بود:

$$[R] = \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{bmatrix} \quad (13-6)$$

اگر ولتاژ خط در حالتی که زمین نشده است  $U$  باشد، جریان در امپدانس ها به قرار زیر است:

$$[I] = [U] \left( \frac{1}{2} [Z] + [R] \right)^{-1} \quad (14-6)$$

این جریانهها باعث افزایش ولتاژ  $\Delta U$  روی خط می شود به طوری که:

$$[\Delta U] = -[Z][U]([Z] + 2[R])^{-1} \quad (15-6)$$

با توجه به معادله (۱۵-۶) دیده می شود که  $\Delta U$  ولتاژ روی خط به  $[Z]$  و  $[R]$  بستگی دارد.

وقتی که  $R=0$  (خط مستقیم به زمین وصل شود)، فقط به  $(Z)$  بستگی دارد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

### ۶-۳-۲ اثر زمین شدن یکی از هادیهای خط انتقال

اگر هادی a خط انتقال توسط مقاومت  $R_a$  زمین شود جریان  $I_a$  از رابطه زیر به دست می آید:

$$I_a = \frac{U}{\frac{1}{2}Z_{aa} + R_c} \quad (۱۶-۶)$$

با جایگزینی در رابطه (۱۵-۶) داریم:

$$\Delta U_a = -\frac{Z}{Z_{aa} + 2R_a} U_a$$

$$\Delta U_b = -\frac{Z_{ab}}{Z_{aa} + 2R_a} U_a \quad (۱۷-۶)$$

$$\Delta U_c = -\frac{Z_{ac}}{Z_{aa} + 2R_a} U_a$$

ولتاژ هادی  $\mu$  پس از زمین شدن به قرار زیر است:

$$U'_\mu = U_\mu + \Delta U_\mu = U_\mu - \frac{Z_{a\mu}}{Z_{aa} + 2R_a} U_a \quad (۱۹-۶)$$

از رابطه (۱۹-۶) داریم:

$$\frac{U'_\mu}{U_\mu} = 1 - \frac{Z_{a\mu} U_a}{(Z_{aa} + 2R_a) U_\mu} \quad (۲۰-۵)$$

چون نسبت ولتاژهای متناسب با نسبت ارتفاع است پس:

$$\frac{U_a}{U_\mu} = \frac{h_a}{h_\mu} \quad (۲۱-۵)$$

$$\frac{U'_\mu}{U_\mu} = 1 - \frac{h_a}{h_\mu} \frac{Z_{a\mu}}{Z_{aa} + 2R_a} = \eta_s \quad (۲۲-۵)$$

$\eta_s$  را فاکتور حفاظت Shielding Factor می نامند.

به این طریق می بینیم که سیم زمین باعث کاهش ولتاژ روی سیم فاز می گردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

# فصل هفتم

## بررسی حادثه خط

### منتظر قائم - قزوین

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۱-۷ شرح حادثه [ ۱۳ ]

در ساعت ۲۰ : ۱۶ دقیقه رو پنجشنبه ۱۳۷۲/۸/۶ همزمان هر دو دستگاہ ترانسفورماتور ۲۳۰/۶۳ کیلو ولت T7 و T8 پست منتظر قائم با بار ۲۲۰ مگاوات و با عملکرد رله های جریان زیاد (O/C) و اتصال زمین (E/F) از مدار خارج گردیدند. ( ترانسفورماتور T7 با عملکرد رله های O/C و E/F طرف ۲۳۰ کیلو ولت و ترانسفورماتور T8 با عملکرد رله E/F قطع گردید). همچنین همزمان خط ۲۳۰ کیلوولت GR ۸۱۴ ( منتظر قائم — قزوین ) با عملکرد رله دیسانس، فاز S زون ۲ و ۳ فقط در پست قزوین قطع گردید و واحدگازی شماره ۵ سیکل ترکیبی منتظر قائم با عملکرد رله Lock Out و جریان زیاد ژنراتور تریپ داد.

مسئول پست منتظر قائم اظهار می دارد که همزمان با قطع ترانسفورماتورهای T7 و T8 ( در ساعت ۲۰ : ۱۶ مورخ ۱۳۷۲/۸/۶ ) صدای آرک بسیار شدیدی را در بیرون از محوطه نیروگاه منتظر قائم شنیده است که پس از برقرار کردن ترانسفورماتور T7 موضوع را پیگیری می کند و متوجه می شود که در محل برج شماره ۱۱۶ خط منتظر قائم - قزوین ( اولین برج بعد از محوطه نیروگاه و در حاشیه شهرک فردیس کرج ) زمین شکافته و تمام خانه هائی که در نزدیکی این برج قرار دارند دچار خسارات ناشی از برق گرفتگی شده اند. در زمان بازدید از محل، مشاهده شده که تعداد ۹ باب خانه مسکونی که در حریم خط و در نزدیکی برج مذکور ساخته شده است به علت اصابت صاعقه بر روی خط و عبور جریان از برج ۱۱۶ متحمل خساراتی شده اند که ذیلاً به مواردی از آن اشاره شده است :

اولین خانه که درست در کنار برج قرار دارد ( درب ورودی این خانه تا پای برج حدود ۴ تا ۵ متر فاصله دارد )، خسارت زیادی دیده و کابل های برق و سیم کشی های داخلی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

آن سوخته و منفجر شده و در محل جعبه های تقسیم و پریزها آتش سوزی اتفاق افتاده است. زمین بین پایه برج و درب ورودی خانه شکاف برداشته و گویی زمین را شخم زده اند. همچنین خانمی که در این خانه مشغول صحبت کردن با تلفن بوده است دچار برق گرفتگی شدید شده و او را به بیمارستان منتقل کرده بودند.

کابل کشی داخل ساختمان بقیه منازل نیز کم و بیش شبیه خانه اول، تماماً سوخته و منفجر شده و در اثر اعمال نیرو و حرارت حاصله گچها و قسمتی از سقف منازل فرو ریخته بود.

خانه ای که فاصله اش بیش از سایر منازل تا برج بوده است علاوه بر سوختن کابل های داخلی کنتور برق آن از جای خود درآمده و حدود چند متر پرتاب شده بود، حتی تلویزیون این خانه منفجر و به دو نیم شده بود که بیانگر ایجاد ولتاژی بالا در مدار برق آن و آتش سوزی متعاقب آن می باشد.

## ۷-۲ علت حادثه

طبق اطلاعاتی که از گزارشات سازمان توانیر استخراج شده است در زمان بروز حادثه متاسفانه خط ۲۳۰ کیلو ولت منتظر قائم — قزوین (GR ۸۱۴) فاقد سیم محافظ هوایی بوده و در پست منتظر قائم و قزوین نیز برقگیر وجود نداشته و در خصوص محل برخورد صاعقه می توان گفت که با توجه به نبود سیم گارد، صاعقه یا به بدنه برج برخورد کرده و یا به یکی از فازها که با توجه به مطالب فصل چهارم به بررسی حالتهای فوق می پردازیم:

## ۷-۲-۱ برخورد صاعقه به فاز

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

با توجه به اینکه در روز حادثه (۷۲/۸/۶) رسیدن موج ولتاژ به پست منتظر قائم و عبور جریان زیاد (حاصل از صاعقه) از فاز S (سمت ۲۳۰ کیلوولت) ترانسفورماتورها، باعث عملکرد رله های جریان زیاد (O/C) و اتصال زمین (E/F) ترانسفورماتورها گردیده و در نتیجه بریکر هر دو دستگاه ترانسفورماتور T7 و T8 مدار را قطع کرده است و حرکت موج ولتاژ به طرف پست فزوین و زمین شدن فاز S از طریق برقراری آرک در دو سر زنجیر مفره نیز سبب عملکرد رله دیستانس و قطع کلید این خط در پست فزوین گردیده است.

لازم به ذکر می باشد که طبق اظهار مسئول پست منتظر قائم، در سال ۷۱ نیز نظیر همین حادثه پیش آمده و رسیدن موج ولتاژ به پست سبب سوختن موج گیر (Wave Trap) که در ابتدای ورود به این خط به پست قرار داشته، شده است. همچنین در خانه های اطراف همین برج (شماره ۱۱۶) صدماتی مشابه آنچه که شرح آن گذشت وارد شده بود.

روی این خط موج ولتاژ با دامنه زیاد ایجاد و بر روی سیم فاز به هر دو سمت خط (به طرف پست منتظر قائم و به طرف پست فزوین) حرکت می نماید. رسیدن این موج ولتاژ به هر برج سبب برقراری آرک بین دو شاخکی که در دو سر زنجیر مفره قرار دارد، شده و در نتیجه مقداری از انرژی حاصله از طریق پایه برج تخلیه می گردد و بالاخره رسیدن این ولتاژ به پست می تواند سبب صدمه خوردن به تجهیزات و نهایتاً عملکرد رله های حفاظتی گردد.

بنابراین بی برق شدن ترانسفورماتورهای T7, T8 و قطع بریکر خط (بریکر خط منتظر قائم و خط فزوین) مشخص و اما علت صدمه دیدن وسایل و سیم کشی داخلی خانه های مسکونی را می توان به صورت ذیل اظهار داشت :

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

همانطوریکه قبلاً اشاره شد، خانه‌های مسکونی مذکور در حریم خط انتقال قرار دارند که بیش از حد نیز به پایه‌های برج نزدیک می‌باشند. به علت نداشتن سیم محافظ هوایی و برخورد صاعقه به فاز و تخلیه قسمتی از انرژی صاعقه (از طریق آرک در دو سر زنجیره مقرر و سپس بدنه برج) در داخل سیم زمین و همچنین مقاومت بالای پایه‌های برج و به وجود آمدن ولتاژ زیاد در سیم زمین، کابل‌های برق و تلفن که در نزدیکی برج و نهایتاً در میدان الکتریکی و مغناطیسی حاصل از موج ولتاژ مزبور قرار گرفته‌اند تحت تاثیر این میدان قرار گرفته که این ولتاژ باعث از بین رفتن ایزولاسیون سیم‌ها و سپس اتصالی آنها گردیده است و حرارت حاصل از اتصال سیم و ولتاژ القایی در آن، صدمات ذکر شده را باعث گردیده است.

### ۲-۲-۷ برخورد مستقیم صاعقه به برج

با توجه به شرح حادثه (که در بخش ۷-۱ آورده شده است) این احتمال نیز وجود دارد که صاعقه مستقیماً به برج شماره ۱۱۶ برخورد کرده باشد و به دلیل مقاومت زیاد پای برج، انتقال بارها از بدنه برج به زمین به سهولت امکان پذیر نشده، پدیده بروز قوس برگشتی یا قوس در طول زنجیر مقرر را موجب شده است. بروز قوس برگشتی و ظهور ولتاژ موجی قابل ملاحظه در طرف زمین زنجیر مقرر، از مقاومت بالای بدنه برج و سیستم زمین آن ناشی می‌گردد.

تخلیه جوی مستقیم بر بدنه برج ولتاژهای موجی مشابه را در سه فاز خط القاء می‌سازد که این ولتاژهای مشابه موجهای حاصل از تخلیه جوی بر فازها، می‌توانند شرایط بروز قوس و اتصالی را فراهم سازد.

### ۳-۷ پیشنهادات



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

به واسطه القاء و به وجود آمدن همین ولتاژهای خطرناک است که خانه های مسکونی در حریم خطوط انتقال انرژی را ممنوع و ضمناً تأکید می گردد خطوط انتقال انرژی بایستی حداقل در فواصل ۱/۵ کیلومتری نیروگاهها یا پستها مجهز به سیم محافظ هوایی باشند و سیستم زمین پایه های این خطوط نیز در همین فاصله به یکدیگر وصل و سپس به شبکه زمین پست متصل گردد.

با توجه به آنچه گفته شد و نتایج حاصل از شبیه سازی و اینکه خطرات بسیار جدی تجهیزات پست نیروگاه منتظر قائم و پست قزوین و زندگی مردمی که در نزدیکی این خط سکونت دارند را تهدید می کند، پیشنهادات زیر جهت جلوگیری از موارد مشابه ارائه می گردد:

### ۱-۳-۷ تقویت اتصال زمین پایه برجها

مقاومت پایه برجهای خط منتظر قائم — قزوین حداقل تا شعاع ۱/۵ کیلومتری از پست منتظر قائم و قزوین به وسیله نصب هادیهای کانتریوز و یا میله های افقی یا عمودی کاهش داده شود. کاهش مقاومت زمین باعث می شود، تا زمان تخلیه جریانهای ناشی از صاعقه، تقلیل یابد و در نتیجه عامل موثری است در تعیین فواصل فازی و کم شدن مقطع سیم محافظ، ضمناً با این اقدام می توان قطعی های ناشی از موج برگشتی ( Back Flashover ) در خطوط انتقال نیرو را نیز تقلیل داد. چون اگر مقاومت زمین پای برجها زیاد باشد، احتمال تخلیه موج از طریق مقرها نیز وجود خواهد داشت.

### ۲-۳-۷ نصب برقگیر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

زمانی که صاعقه به خطوط انتقال برخورد می کند، اضافه ولتاژهای به وجود آمده به صورت امواج سیار انتشار می یابند و باعث اضافه ولتاژهای گذرا در شبکه و تجهیزات سیستم می شود که باید با نصب برقگیرها در محل های مناسب آنها را حفاظت نمود. استفاده از برقگیرهای با کیفیت مناسب و محل نصب صحیح، کلیدی جهت رعایت مفاهیم حفاظت موثر در مقابل اضافه ولتاژها می باشد. حال جدی ترین پرسشی که پیش می آید این است که برقگیرها را باید در چه مکانی نصب نمود؟

امواج سیار به وجود آمده در اثر برخورد صاعقه دارای پیشانی موج تیزی هستند و اغلب موجب به وجود آمدن نوسانهای ولتاژ شدیدی بین اجزاء سیستم می شوند، به این دلیل برقگیرها دارای محدوده حفاظتی محدودی هستند و برای استفاده از برقگیرها در محدوده حفاظتی شان باید آنها را در محل هایی که با انتخاب صحیح به دست آمده اند نصب نمود.

تا جایی که مقدور باشد باید برقگیر در نزدیکی تجهیزات قرار گیرد، به ویژه وقتی که تاسیسات دارای حفاظت مؤثر سیم گارد نیستند و پست در انتهای خط قرار گرفته باشد که در این شرایط علاوه بر اینکه احتمال برخورد مستقیم صاعقه به پست (یا در نزدیکی آن) بالاست، هیچ خط دیگری نیز وجود ندارد که ولتاژ موج سیار بتواند بین خطوط تقسیم شود.

هر چه شیب پیشانی موج کمتر باشد فاصله مجاز برقگیر از تجهیزات بیشتر خواهد شد، مگر اینکه محل برخورد صاعقه بسیار به پست نزدیک باشد (مثلاً یک اسپن مانده به پست) و احتمال چنین واقعه ای بسیار نادر است.

با توجه به مسائل فوق به خصوص در پستهایی که احتمال برخورد مستقیم صاعقه در نزدیکی پست وجود دارد باید تا آنجا که مقدور است برقگیر را در نزدیکی وسیله مورد

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

حفاظت قرار داد و هادیهای ارتباط دهنده را تا آنجا که ممکن است کوتاه و مستقیم انتخاب کرد و نیز زمین برقیگیر و تجهیزات، با کمترین مقاومت ممکنه، ترجیحاً یک اهم یا کمتر، به یکدیگر متصل شوند.

### ۳-۳-۷ نصب سیم محافظ هوایی

تجارب موجود نشان می دهد که در صد عمده ای از صاعقه هایی که به خطوط انتقال نیرو برخورد می نمایند، مستقیماً به برجهای و مابقی به سیم محافظتی یا حتی فازهای خطوط انتقال اصابت می کنند. در مجموع وقتی بر تعداد سیم محافظ افزوده می گردد، امپدانس موجی کاهش و ضریب کوپلینگ بین هادیها و سیم محافظ افزایش می یابد که این دو عامل باعث تقلیل اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه می شوند که از نظر الکتریکی مطلوب می باشند. کاهش امپدانس موجی و در نتیجه کاهش ولتاژی که بر روی پایه برج می افتد را می توان از مقایسه نمودارهایی که از نتایج شبیه سازی استخراج شده مشاهده کنیم. شکل های (۸-۹) و (۸-۱۴).

### ۴-۳-۷ نصب شاخکهای برقیگیر در طول زنجیر مقره [ ۵ ]

با نصب شاخکهای برقیگیر در دو انتهای زنجیر مقره در پایه انتهایی و پایه های دوم و سوم قبل از ورود خط به پستها می توان شرایط بروز قوس و تخلیه موج را به زمین تسهیل نمود. بار الکتریکی منتقل شده به برج قسمتی از طریق برج و قسمت دیگر از طریق سیم زمین به برجهای دیگر منتقل شده و به زمین تخلیه می شود.

در صورتی که صاعقه در نزدیکی پست بر خطوط انتقال انرژی وارد شود، موج اضافه ولتاژ فرصت استهلاک نداشته و با همان دامنه وارد پست می گردد که در این حالت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

پیش بینی کافی برای جلوگیری از ورود موج به تجهیزات فشار قوی نظیر ترانسفورماتورها و کلیدها و غیره در محوطه پست به عمل می آید، منجمله نصب برقگیرهای فشار قوی در پست، شاخکهای برقگیر و ...

قوس حاصل بین فاز و برج در شاخکهای برقگیر با استهلاك موج و انتقال آن به زمین و رسیدن ولتاژ فازها به مقدار عادی خود خفه نمی گردد بلکه هوای یونیزه شده بین شاخکها، برقراری قوس در ولتاژ عادی خط را موجب می گردد که تنها راه خفه نمودن قوس، برداشتن ولتاژ از خط یعنی قطع کلید می باشد.

با توجه به سرعت انتقال موج که نزدیک به سرعت نور می باشد، فاصله زمانی بروز قوس بین دو برج در حدود میکروثانیه بوده، لذا از نظر کار رله، بروز قوس تقریباً همزمان روی داده و به نظر می رسد که در کلیه برجها در یک لحظه اتصالی فاز به زمین روی داده است. هر قدر برخورد صاعقه شدیدتر و بارالکتریکی تخلیه شده بیشتر باشد، استهلاك موج اضافه ولتاژ کمتر بوده و برجهای بیشتری را در بر می گیرد.

WikiPower.ir

#### ۴-۷ گزارشی از پست منتظر قائم

پس از تحقیقاتی که از پست منتظر قائم و برج ۱۱۶ از خط منتظر قائم — قزوین (GR 814) به عمل آمد، موارد زیر در خصوص تغییرات و اصلاح وضعیت پست برای جلوگیری از بروز حادثه های مشابه مشاهده شد:

— در حال حاضر خط نامبرده مجهز به ۲ سیم گارد می باشد که در طول خط کشیده شده است.

- تعداد ۳ عدد برقگیر در ابتدای ورودی خط به پست نصب شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

— سیمهای گارد خط به گتری خروجی پست وصل شده در ضمن شبکه زمین پست به علت توسعه پست و بالا رفتن سطح اتصال کوتاه آن تقویت شده است.

— طبق اظهارات مسوول پست مدتی بعد از بروز حادثه سال ۷۲، سیستم زمین ۲-۳ برج مجاور پست به صورت کانترپوز به یکدیگر متصل و به شبکه زمین پست وصل شده است.

- شاخکهای برقگیری که در قسمت پیشنهادات ارائه شد، در دو سر زنجیر مفره نصب نشده

بود.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل هشتم

## شبیه سازی



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۱-۸ مدل زنجیر مفره

جهت مدل سازی زنجیر مفره ها از کلیدهای کنترل شونده با ولتاژ، استفاده میشود، به گونه ای که ولتاژ جرقه این کلیدها همان ولتاژ شکست عایقی زنجیر مفره انتخاب می گردد.



شکل (۱-۸): کلید کنترل شونده به ولتاژ در محیط ATPDRAW

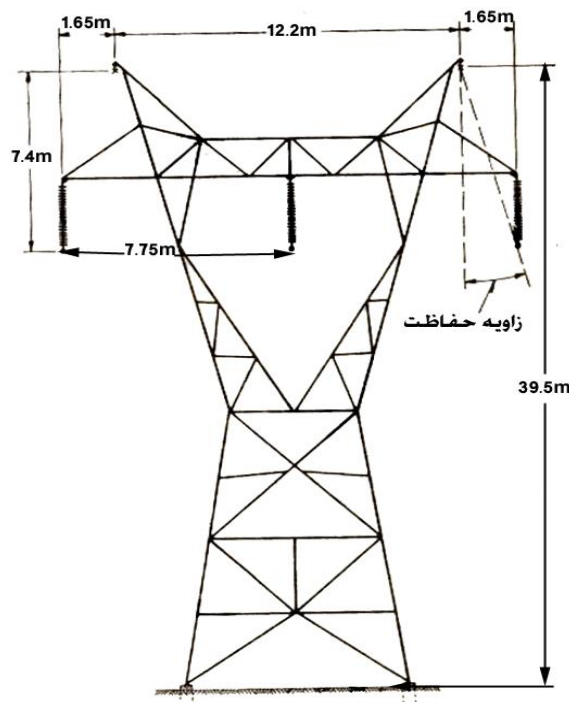
و نیز جهت مدل سازی مقاومت پای برج از مقاومت خطی استفاده می شود.

## ۲-۸ شبیه سازی برج

### ۱-۲-۸ مشخصات برجهای شبکه مورد نظر

شکل (۲-۸) شمای برج خط منتظر قائم - قزوین که در شبیه سازی بکار رفته است را، نشان می دهد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۸-۲): شمای برج خط منتظر قائم \_ قزوین

## ۲-۲-۸ مدل سازی برج در حالتی که شبکه دارای سیم محافظ نباشد

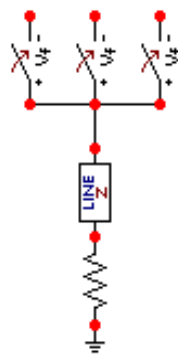
در صورتیکه شبکه، دارای سیم محافظ نباشد، پس از برخورد موج صاعقه به هر یک از فازها، چنانچه ولتاژ القاء شده بیشتر از ولتاژ قابل تحمل زنجیر مقره باشد، بخشی از این ولتاژ از طریق برج به زمین منتقل می شود. با توجه به موجی بودن امپدانس برج در مقابل موج صاعقه، برای شبیه سازی آن از مدل گسترده خط تکفاز (LINE ZT \_ Distributed Parameters single phase) استفاده می شود.

در شکل (۸-۳) مدل برج در این حالت همراه با زنجیر مقره ها و مقاومت پای آن نشان داده شده است. مقره ها بوسیله کلید ولتاژی سه فاز، شبیه سازی شده اند که ولتاژ قابل تحمل هر کدام از آنها ۹۰۰ کیلو ولت در نظر گرفته شده است. یعنی اگر اختلاف ولتاژ دو سر کلید از ۹۰۰ کیلو ولت بیشتر شود، کلیدها بسته می شوند (یعنی back flashover اتفاق افتاده است).



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

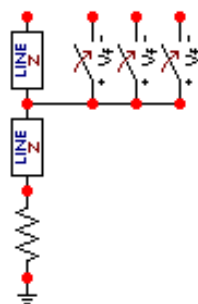
بدنهٔ برج بوسیله مدل گسترده خط تکفاز و مقاومت پای برج نیز توسط یک مقاومت اهمی نمایش داده شده است.



شکل ۸-۳: مدل برج همراه با مقاومت پای آن و زنجیر مفره ها در شبکهٔ بدون سیم محافظ

### ۸-۲-۲ شبیه‌سازی برج در حالتی که شبکه دارای سیم محافظ باشد

چنانچه خط انتقال دارای سیم محافظ باشد، در برخورد صاعقه با سیم محافظ علاوه بر اینکه بخشی از ولتاژ ظاهر شده بر روی سیم محافظ به زمین منتقل می‌شود، چنانچه این ولتاژ بیشتر از ولتاژ قابل تحمل زنجیر مفره باشد، بخشی از این ولتاژ نیز به فازها انتقال می‌یابد. در شکل (۸-۴) سیم محافظ هوایی با مدل گسترده خط تکفاز شبیه‌سازی می‌شود:



شکل (۸-۴): مدل برج همراه با مقاومت پای آن و زنجیر مفره‌ها در شبکه با سیم محافظ

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

### ۳-۸ مدل سازی خط انتقال و پستهای فشارقوی

جهت مدل سازی خط انتقال، خط انتقال به دو بخش تقسیم می شود: قسمت اول از پست قزوین تا یک اسپن مانده به محل برخورد صاعقه و قسمت دوم دو اسپن اطراف محل برخورد صاعقه .

برای شبیه سازی قسمت اول از مدل گسترده خط انتقال سه فاز و جهت بالا بردن دقت محاسبات برای شبیه سازی قسمت دوم از برنامه کمکی JMARTI استفاده می شود. جهت شبیه سازی پستهای قزوین و منتظر قائم از منابع ولتاژ ایده آل همراه با امیدانسهای سری استفاده می شود.

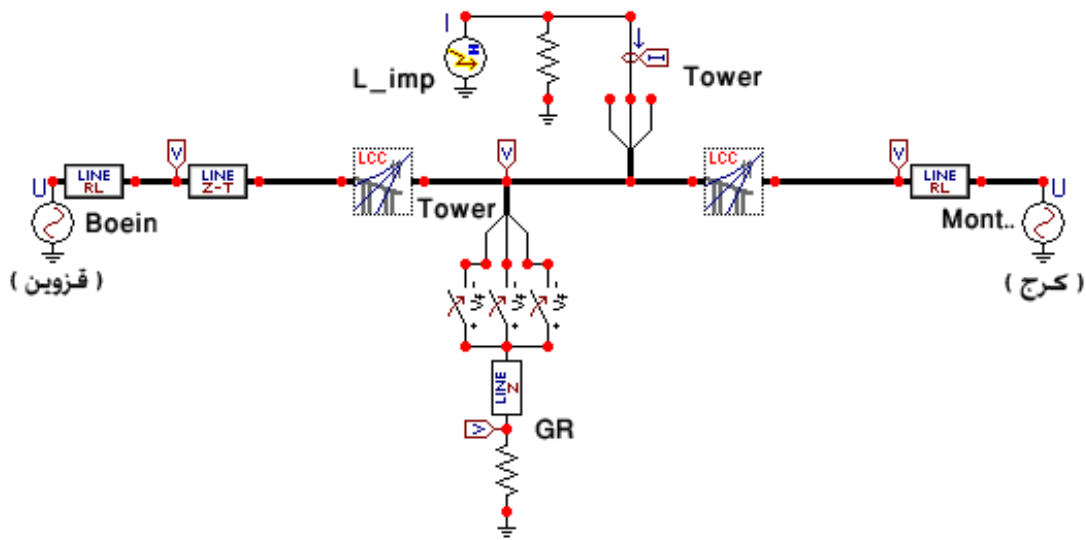
### ۴-۸ شبیه سازی موج صاعقه

از موج جریانی تابع ضربه با دامنه ۲۰ KA همراه با یک مقاومت موازی برای شبیه سازی موج صاعقه استفاده می گردد.

### ۵-۸ شبیه سازی حادثه

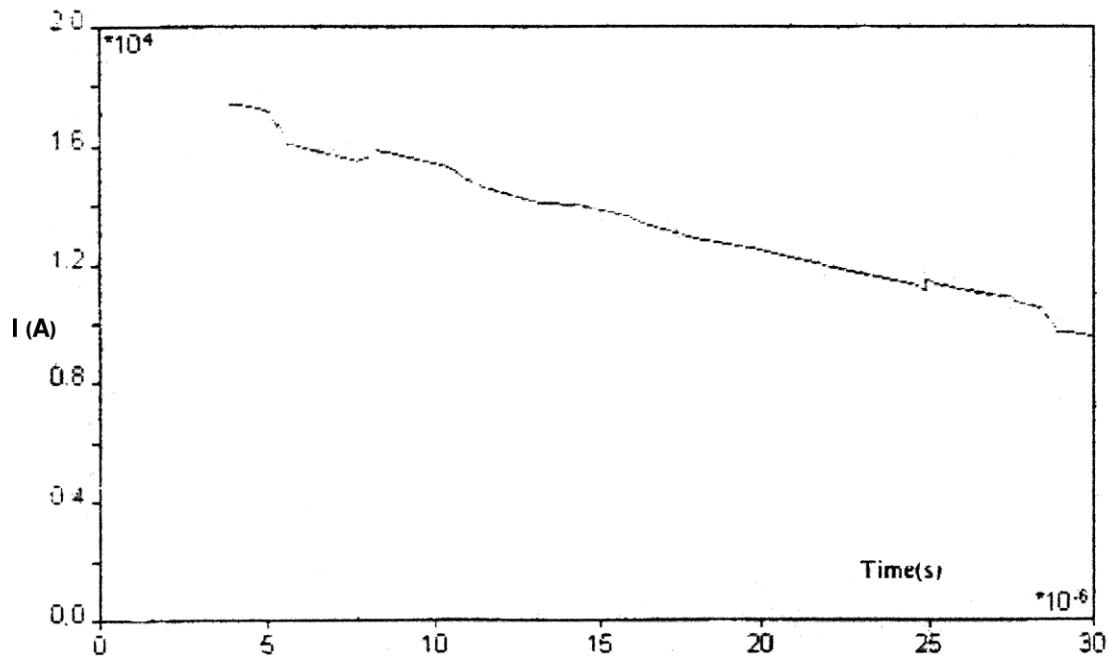
مدار معادل این حالت در محیط ATPDRAW در شکل زیر نشان داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



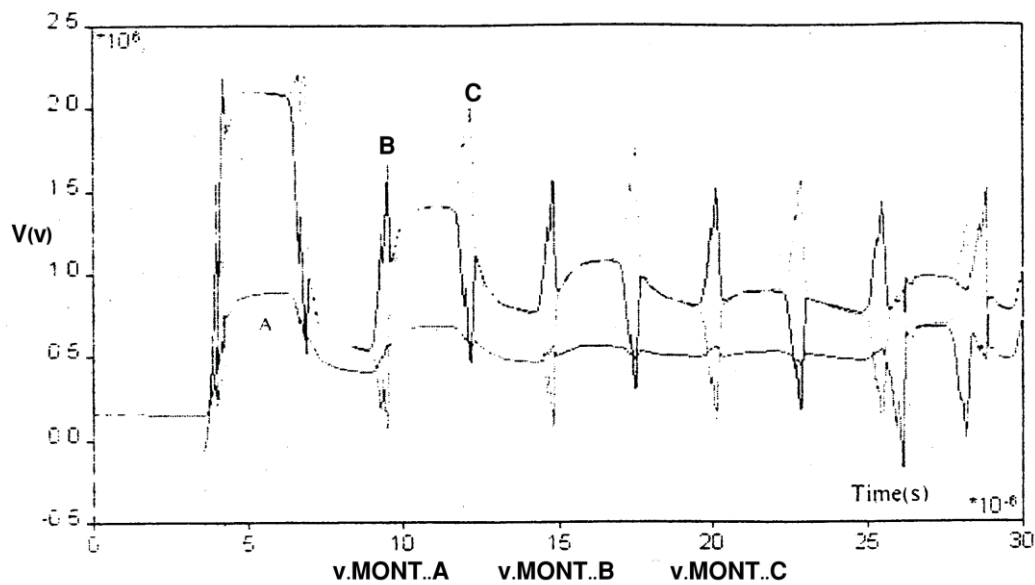
شکل (۵-۸): مدار معادل شبکه حادثه در محیط ATPDRAW

شکل موجهای جریان صاعقه ، ولتاژ فازهای مختلف پست منتظر قائم و ولتاژ پای برج در شکلهای ( ۶-۸ ) تا ( ۸-۸ ) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که مقاومت پای دکل ۱۰۰ اهم در نظر گرفته شده است.



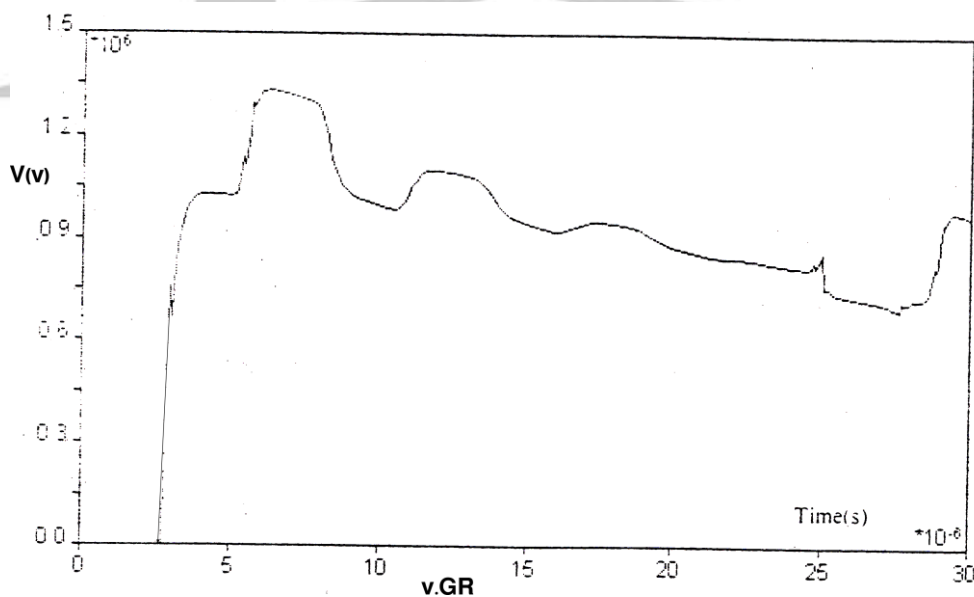
شکل (۶-۸): شکل موج جریان صاعقه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۷-۱): ولتاژ فازهای مختلف پست منتظر قائم در حالت برخورد صاعقه به سیم فاز بدون سیم

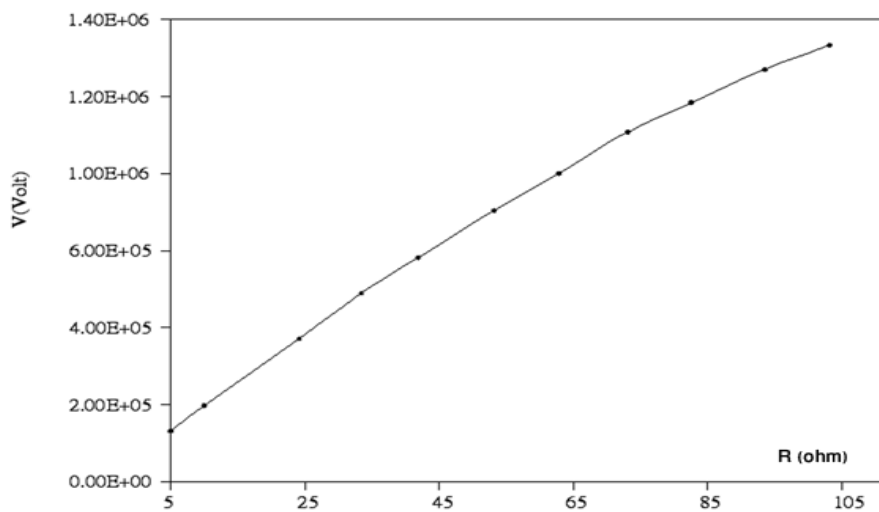
محافظ



شکل (۸-۱): شکل موج ولتاژ پای برج

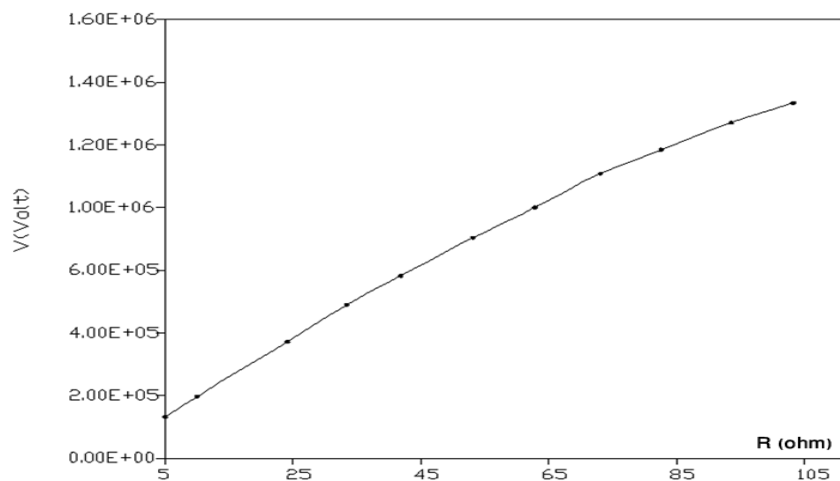
در شکل زیر حداکثر ولتاژ پای برج به ازای مقاومتهای مختلف (از ۵ تا ۱۰۰ اهم) نشان داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۸-۹): حداکثر ولتاژ پای برج به ازای مقاومت‌های مختلف

در شکل (۸-۱۰) حداکثر ولتاژ پای برج در حالت برخورد صاعقه به برج به ازای مقاومت‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل

(۸-۱۰): حداکثر ولتاژ پای برج به ازای مقاومت‌های مختلف در حالت برخورد صاعقه به برج

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

همان گونه که از شکل‌های (۸-۹) و (۸-۱۰) پیداست، ملاحظه می‌گردد که حداکثر ولتاژ پای برج در دو حالت گفته شده تفاوت چندانی با هم ندارند.

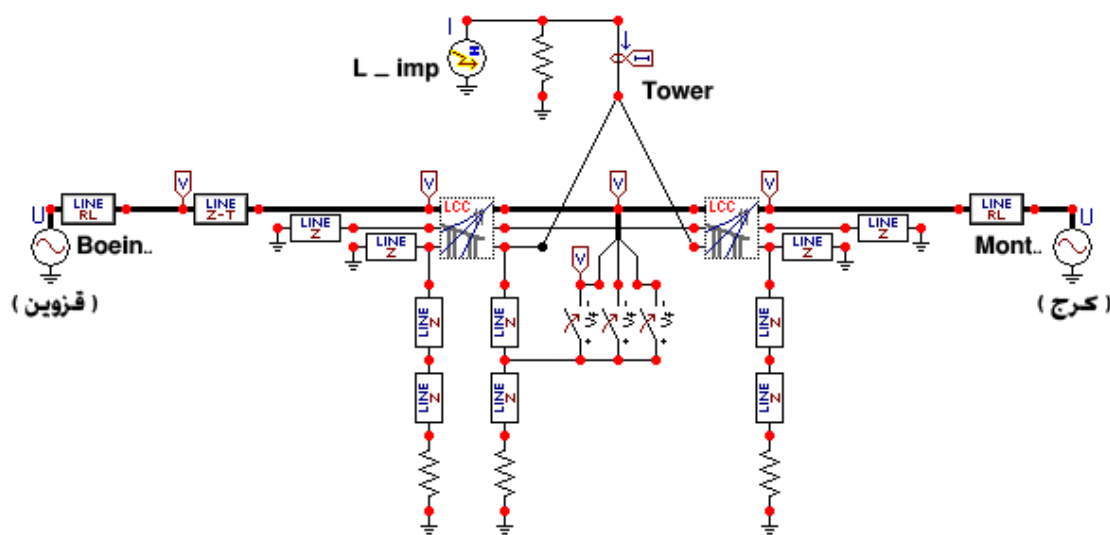
### ۸-۶ شبیه سازی شبکه، با وجود سیم محافظ در مقابل برخورد صاعقه

در این بخش در دو حالت با وجود برقیگیر و بدون وجود برقیگیر در پست منتظر قائم رفتار شبکه در مقابل برخورد موج صاعقه به سیم محافظ شبیه سازی و شکل موجهای لازم استخراج گردیده است.

### ۸-۶-۱ بررسی رفتار شبکه در حالت بدون برقیگیر در پست منتظر قائم در مقابل

#### برخورد صاعقه به سیم محافظ

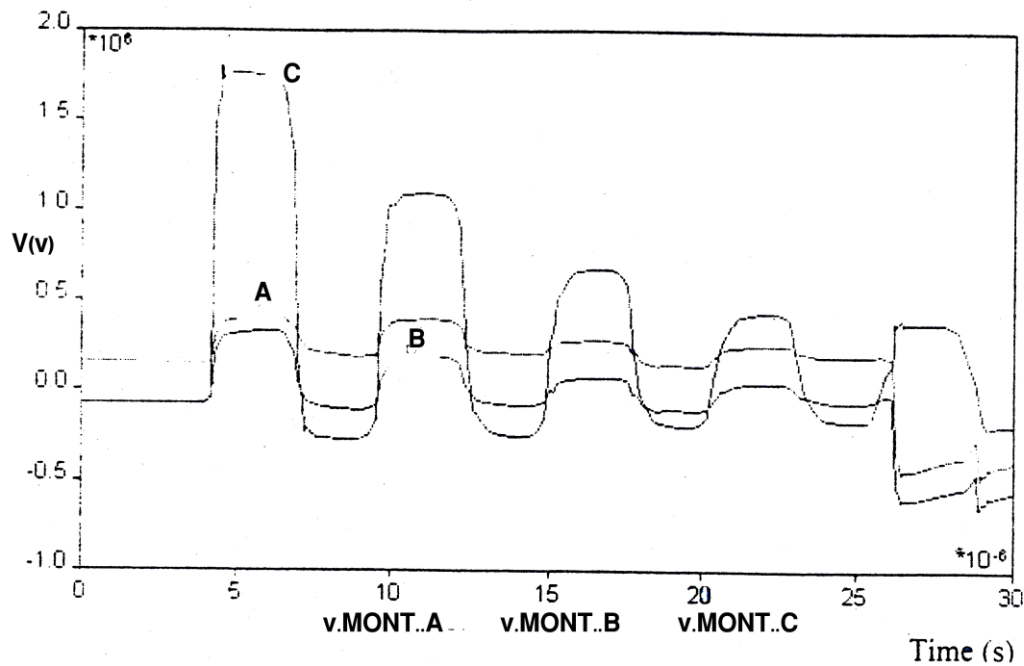
شکل (۸-۱۱) مدار معادل این حالت را در محیط ATPDRAW نشان می‌دهد.



شکل (۸-۱۱): مدار معادل شبکه با وجود سیم محافظ در محیط ATPDRAW

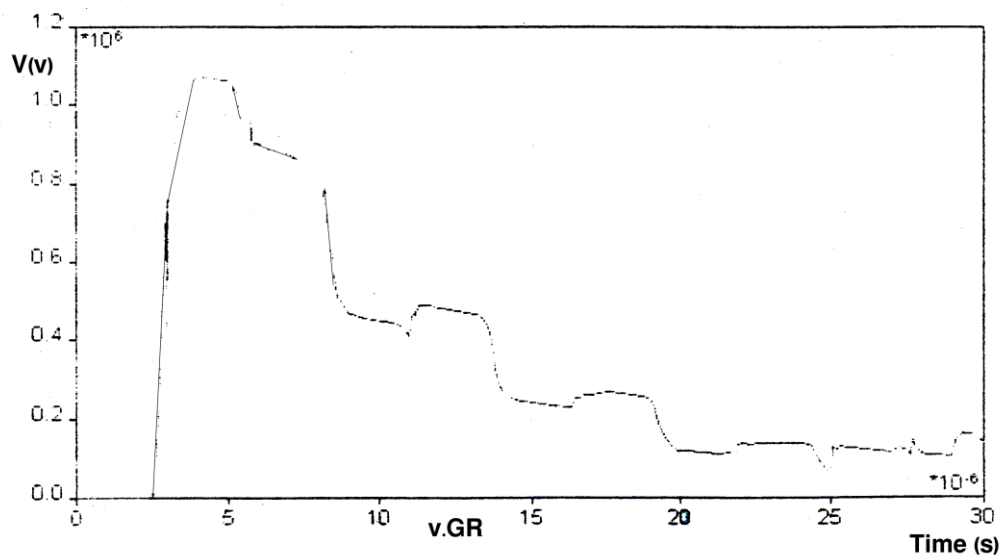
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل موجهای ولتاژ فازهای مختلف پست منتظر قائم و ولتاژ پای برج در شکلهای (۱۲-۸) و (۱۳-۸) نشان داده شده است. در این حالت نیز مقاومت پای برج ۱۰۰ اهم در نظر گرفته شده است.



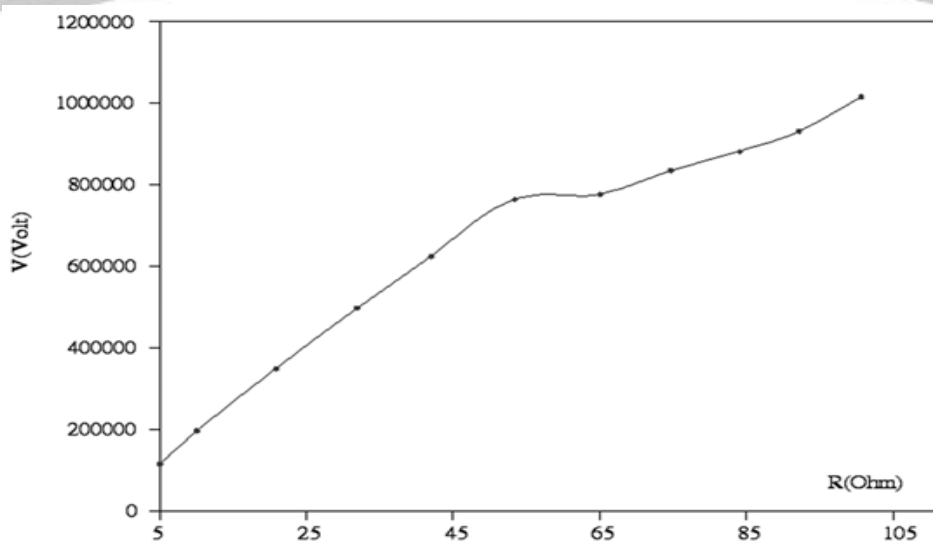
شکل (۱۲-۸): ولتاژ فازهای مختلف پست منتظر قائم در حالت برخورد صاعقه به سیم محافظ

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۸-۱۳): شکل موج ولتاژ پای برج

در شکل (۸-۱۴) حداکثر ولتاژ پای برج در این حالت به ازای مقاومتهای مختلف نشان داده شده است.



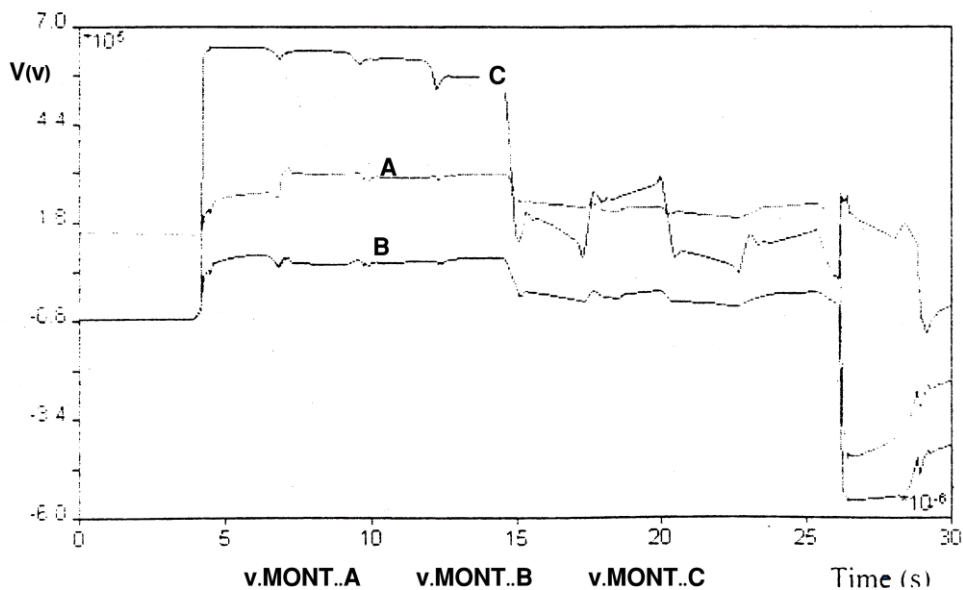
شکل (۸-۱۴): حداکثر ولتاژ پای برج به ازای مقاومتهای مختلف با وجود برقگیر در پست منتظر قائم



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## ۸-۶-۲ بررسی رفتار شبکه در حالت وجود برقگیر در پست منتظر قائم در مقابل برخورد صاعقه به سیم محافظ

در این حالت شکل موج ولتاژ پای برج مانند حالت قبل می باشد. تنها تفاوت این حالت با حالت قبل ولتاژ فازهای پست منتظر قائم می باشد که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (۸-۱۵): ولتاژ فازهای مختلف پست منتظر قائم با وجود برقگیر در این پست

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل نهم



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۹-۱ نتایج

به واسطه القاء ولتاژهای بسیار بالا توسط صاعقه روی خطوط انتقال، مشکلات عدیده‌ای برای این خطوط، پستهای انتقال و مناطق مسکونی نزدیک به این تجهیزات به وجود می‌آید و از آنجایی که مرتفع‌ترین نقاط خطوط انتقال انرژی، برجهای انتقال می‌باشند، برخورد صاعقه به آنها از همه نقاط خط متحمل‌تر می‌باشد. برای جلوگیری از بروز آثار مخرب امواج گذرای ناشی از برخورد صاعقه راههای گوناگونی وجود دارد که عبارتند از:

- ۱- زمین کردن پایه دکلها و تقویت اتصالات آنها با زمین جهت هدایت امواج گذرا به زمین
  - ۲- نصب برقگیر در ورودی پستها
  - ۳- نصب سیمهای محافظ هوایی بر فراز سیمهای فاز اصلی جهت جذب ضربات صاعقه و هدایت آنها به نقاط رأس برج
  - ۴- نصب شاخکهای برقگیر در طول زنجیر مقرر در برجهای انتهایی خط انتقال
  - ۵- رعایت حریم خطوط انتقال در مناطق مسکونی و یا ایجاد زمینهای حفاظتی مناسب برای مناطق مسکونی‌ای که در نزدیکی این خطوط قرار دارند.
- برای رسیدن به اهداف فوق مراحل از قبیل شناخت دقیق مکانیزم صاعقه، شناخت رفتار زمین در برابر صاعقه و راههای کم کردن مقاومت پایه برجهای، محاسبه اضافه ولتاژهای ناشی از برخورد صاعقه و در برخی موارد، شبیه‌سازی اثر صاعقه توسط نرم‌افزارهای موجود را می‌بایستی طی کرد.
- از میان تمامی عوامل فوق در این پروژه کم کردن مقاومت پایه دکلها و عوامل مرتبط با آن مورد توجه ویژه قرار گرفته است.
- وظیفه عمده زمین کردن برجهای خط انتقال نیرو برای هدایت جریان رعد و برق به زمین با کاهش امپدانس مسیر جریان و تأمین ایمنی کافی در برابر آن است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

سیستم زمین و مقدار مقاومت آن یکی از پارامترهای مؤثر در عملکرد خط در برابر صاعقه بوده و مقدار آن در تعداد قطعی خط ناشی از اصابت صاعقه نقش مؤثر دارد، بطوریکه جهت بهبود عملکرد خط در برابر احتمال قطعی ناشی از اصابت صاعقه می توان به جای بالا بردن سطح ایزولاسیون خط با افزایش تعداد مقره که چندان اقتصادی نیز نمی باشد، مقاومت پای برج را با افزایش تعداد میله زمین و یا افزودن به طول سیم زمین کاهش داد لذا می توان گفت علیرغم آنکه هزینه اجرای سیستم زمین برای برجهای خط انتقال بیش از ۱٪ هزینه کل خط نمی باشد، ولی اجرای این سیستم در افزایش قابلیت اعتماد خط انتقال مؤثر می باشد.

با بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی، مشاهده شد که هر چه مقاومت پای برج کمتر باشد ولتاژهای صاعقه خطر کمتری را به همراه خواهد داشت.

#### ۹-۲/ارائه پیشنهادها

در بخش فیزیک صاعقه به بحث کلی در مورد مکانیسم رعد برق و پارامترهای جریان صاعقه پرداخته شد، در اینجا توصیه می شود که با نصب دستگاههای اندازه گیری بر روی خطوط انتقال ایران به ثبت دامنه جریان صاعقه پرداخته شود و همچنین اطلاعات در مورد مشخصه های موج جریان ناشی از صاعقه در ایران به دست آید. این موضوع حتی الامکان بدست آوردن منحنی احتمال دامنه جریان صاعقه برای ایران را ایجاد می کند و از نظر آزمایشگاهی با تجهیزات آمایشگاه فشار قوی امکان شبیه سازی و بررسی آزمایشگاهی فیزیک صاعقه نیز امکان پذیر می گردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

پیشنهاد می شود که قطعی خطوط انتقال ایران ناشی از برخورد صاعقه به خطوط ثبت شود تا بتوان آنالیز بهتری از قطعی های خطوط ایران انجام داد و با تجزیه و تحلیل این نتایج، به بهبود عملکرد خطوط ایران در برابر صاعقه کمک شود.

در بخش هدایت الکتریکی خاک مشخص شد که به طور کلی مقاومت مخصوص خاک یک کمیت متغیر است و برای دانستن آن تنها راه قابل اطمینان، آزمایش در محل می باشد. نتیجه آزمایش، میزان مقاومت مخصوص را در آن زمان در تحت شرایط موجود زمان آزمایش مشخص می کند. لذا پیشنهاد می گردد که مقاومت پای برجهای خطوط انتقال (حتی الامکان برجهای انتهایی خط انتقال) در بازه های زمانی مختلف مورد آزمایش قرار گیرند و قرار گرفتن مقدار این مقاومتها در رنج استاندارد کنترل و بررسی شود.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

# پیوستها



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## تئوری ویلسون ( C. T. R. Wilson )

این تئوری بر مبنای وجود تعداد زیادی از یونهای مثبت و منفی در اتمسفر قرار دارد که به ذرات معلق در هوا و به طور گسترده ای به قطرات کوچک آب موجود در هوا می چسبند. تعداد یونهای کوچک آزاد در حدود  $10000/CC$  الی  $3000$  و تعداد یونهای بزرگ آزاد در حدود  $10000/CC$  الی  $8000$  می باشد.

دومین فرضیه مهم تئوری ویلسون بر اساس وجود میدان در جهت پایین می باشد. مقدار این میدان در نزدیکی زمین  $1\text{ v/cm}$  و در ارتفاع  $3000\text{ ft}$  به  $0.02\text{ v/cm}$  می رسد. در این میدان قطرات بزرگ آب ( شعاع  $1$  میلیمتر ) پلاریزه شده و قسمت بالایی آن دارای بار منفی و قسمت پائین آن دارای بار مثبت می گردد. تحت تاثیر جاذبه، این قطره پلاریزه شده و با سرعت  $590\text{ cm/s}$  سقوط می کند. (حال آنکه سرعت  $3\text{ cm/s}$  برای یونهای بزرگ تحت میدان  $10^4\text{ v/cm}$  می تواند حاصل شود.) هنگام سقوط قطرات بزرگ آب سطح پائین آن یونهای منفی را جذب می کنند و یون مثبت آزاد می نمایند، ولی در سطح بالای قطره عملی انجام نمی شود.

بنابراین قطره های بزرگ بار منفی جمع می کنند و محیطی که قطره از آن عبور می کند، بار منفی از دست می دهند و دارای بار مثبت می گردند. قطره های کوچکتر در اثر برخورد با یونهای مثبت، دارای بار مثبت شده و لذا قطرات بزرگ بار منفی را به سمت پائین ابر و قطرات کوچک بار مثبت را به قسمت بالای ابر هدایت می کنند. این بارها در دو قسمت بالا و پائین جدا از هم قرار می گیرند و دو قسمت ابر دارای تفاوت بار می شود که این روش به طور تجربی توسط گات ( Gott ) در آزمایشگاه انجام گرفته است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

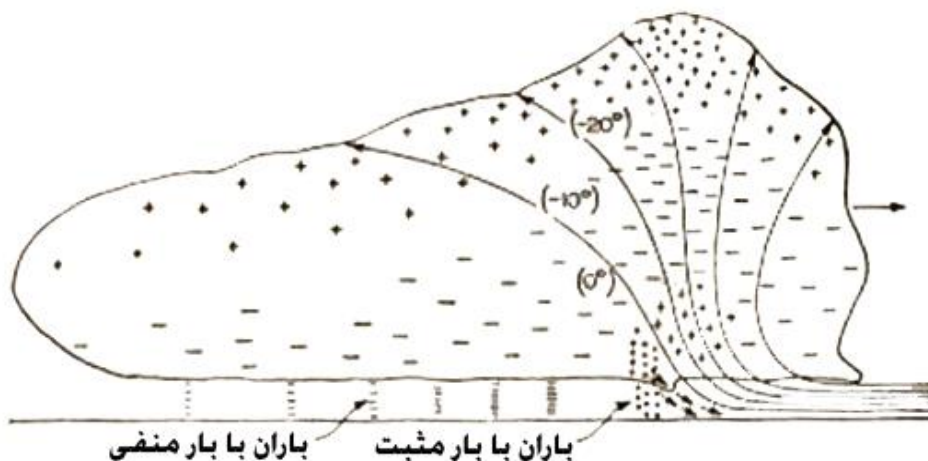
### تئوری سیمپسون (G. C. Simpson)

سیمپسون نظریه و یلسون را در مورد تمرکز بار مثبت در بالا و بار منفی در پائین ابر را رد می کند و عقیده دارد که بار مثبت در بالا و بار منفی در مابقی ابر پخش می شود. برای اثبات نفی تئوری و یلسون آقای سیمپسون و آقای اسکریس ( Scrase ) به بررسی پخش بار در ابرها با استفاده از بالون پرداختند و دریافتند که به طور عمومی بدنه اصلی ابرهای جوشان دارای بار منفی و قسمت بالای ابرها دارای بار مثبت است و گاهی تمرکزی از بارهای مثبت در پائین ابر قرار دارد.

آنها نتیجه گرفتند که دو عامل مختلف در ابرهای جوشان رخ می دهد، یکی در قسمت بالای ابر که درجه حرارت زیر درجه انجماد است، و دیگری در قسمت پایین ابر که درجه حرارت بالای درجه انجماد است، در قسمتی که درجه حرارت زیر انجماد است (۱۰-) قطره باران وجود نداشته و کریستال یخ شکل می گیرد و در اثر برخورد، این کریستالها دارای بار منفی می شوند و هوا دارای بار مثبت می گردد. هنگامی که کریستالهای یخ با بار منفی نسبت به هوای با بار مثبت سقوط می کنند، جداسازی بارها انجام می گیرد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱-۱): شرایط جوی و الکتریکی در ابرهای جوشان

طبق شکل (۱-۱) در ناحیه بالای نقطه انجماد، پروسه‌ای که انجام می‌گیرد با تئوری اصلی سیمپسون قابل تشریح است. قطرات آب با شعاع بزرگتر از  $2/5 \text{ mm}$  در ضمن سقوط به قطرات کوچکتر تقسیم می‌شوند و قطرات حاصل دارای بار مثبت و هوا دارای بار منفی می‌گردد و سرعت قطرات آب با قطر  $0/25 \text{ cm}$  در حدود  $8 \text{ m/s}$  است. اگر سرعت هوای بالا رونده بیش از  $8 \text{ m/s}$  باشد، هیچکدام از قطرات به زمین نمی‌رسند. در شکل (۱-۱) هوا از سمت راست وارد ابرهای جوششی شده و قبل از اینکه با سرعت بیش از  $8 \text{ m/s}$  به طرف بالا حرکت کند به صورت مایل پیش می‌رود و فقط قطرات بزرگتر قادرند به قسمت پائین ابر بیایند. این قطرات به قسمتهای کوچکتر تقسیم می‌شوند. قطرات حاصل که دارای بار مثبت شده اند توسط جریان هوا به طرف بالای ابر رانده می‌شوند و هوای دارای بار منفی در مابقی ابر گسترده می‌گردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## تئوری ورکمن ( L . J. Workman )

این تئوری با تئوری سیمپسون کمی تفاوت دارد و بر این مبنا قرار دارد که بارهای الکتریکی بر اثر انجماد قطرات از یکدیگر جدا شده و ابرهای جوشان از اجتماع محفظه‌هایی ( cell ) ایجاد شده است. یک محفظه کوچکترین قسمت عملی یک ابرجوشان به صورت دایره‌ای شکل به قطر ۱ km یا کمتر است. هر محفظه برای خود جریان بالا رونده مجزایی دارد که باعث جداسازی بارهای الکتریکی می شود. ابرهای جوششی بزرگ دارای تعدادی محفظه هستند که متوالیاً توسعه می یابند.

در صاعقه‌هایی که بیش از یک تخلیه انجام می شود دارای بیش از یک محفظه در ابر هستند و در هر محفظه شکل گیری بارها به طور مجزا برای همان محفظه انجام می گیرد . ساختمان محفظه ای ابر بر روی پروسه شکل گیری بارها تاثیر ندارد.

ورکمن به طور تجربی نشان داد که وقتی یک قطره فوق‌العاده سرد آب با سرعت کافی به یک تگرگ برخورد می کند، قطره متلاشی و تگرگ باردار می شود. بر اساس تئوری

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ورکمن قطعات یخ که در درون ابر سقوط می کنند با قطرات آب فوق العاده سرد برخورد کرده و باعث افزایش اندازه ذرات یخ می شوند. با افزایش ابعاد یخ میزان سقوط نسبت به قطرات آب سرد شده افزایش می یابد. ذرات یخ با قطرات آب برخورد کرده و باردار می شوند ( همانگونه که در بالا ذکر شد ) ، قسمتی از آب روی قطعات یخ منجمد می شود و به آن بار منفی می دهد. بر اثر برخورد مابقی قطره های آب به قطره های ریزتر با بار مثبت تقسیم می شوند.

این بار مثبت در قسمت بالای ابر باقی می ماند در حالی که ذرات یخ و تگرگ که سنگین تر هستند با سرعت بیشتر پائین می آیند و به ناحیه گرمتر ابر می رسند و ذوب می شوند و بار خود را به قطرات آبی که با آنها برخورد می کنند، می دهند و باقیمانده تگرگ که خنثی می باشد، ابر را ترک کرده و بار منفی خود را در قسمت پائین ابر باقی می گذارد.

ارتفاع یک ابر جوششی نمونه معمولی در حدود ۸-۱۲ km بوده، گرچه می توان گفت که ابعاد نمونه فقط برای یک منطقه جغرافیایی خاص صادق است. در یک ابر جوششی آمیزه ای از باد، آب و یخ وجود دارد که با میدان جاذبه و گرادیان حرارت توأم است، که بر اثر عمل متقابل آنها — که علیرغم تئوریهای گوناگون هنوز کاملاً شناخته شده نیست — ناحیه های باردار در ابر جوششی تولید می شود.

به طور معمول قسمت بالای ابر دارای بار مثبت و قسمت پائین آن دارای بار منفی است. لذا قسمت اصلی ساختمان باری ابر جوششی مشابه یک دو قطبی الکتریکی است . ناحیه باردار آن دو قطبی دارای قطر چند کیلومتری است. علاوه بر بار اصلی ابر امکان وجود مقدار کمی بار مثبت در پائین ابر وجود دارد. نمونه ای از این ابر توسط ملان (Malan) در آفریقای جنوبی ثبت شد که در پائین ابر قرار دارد و می تواند بر اثر جذب بار

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مثبت توسط بار منفی پائین ابر از زمین بر اثر تخلیه موضعی حاصل شود که برای ابری که توسط مالان شناسایی شد مقدار تقریبی بارها به شرح زیر است:

$$P = 40^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = 40^{\circ}\text{C}$$

$$N = - 40^{\circ}\text{C}$$

که در آن P بار مثبت قسمت بالای ابر، N بار منفی بدنه ابر و  $\rho$  بار کوچک قسمت پائین ابر می باشد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

# منابع و مآخذ



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## مآخذ و منابع :

۱. استیونسون، و - مبانی بررسی سیستمهای قدرت، پروین، پ. شاعری، ع. چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۱۳۷۲.
۲. قره تپیان، گ. علیپور، ه. بررسی حالات گذرا توسط EMTP، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، زمستان ۱۳۷۸.
۳. شاهرخشاهی، ط - رعد و برق و خطوط انتقال انرژی، چاپ اول، انتشارات رشیدی، ۱۳۶۶.
۴. شاهرخشاهی، ط - قطع و وصل جریان متناوب در شبکه های فشار قوی، چاپ اول، انتشارات علوم روز، ۱۳۸۱.
۵. شاهرخشاهی، ط. الکساندر، گ. ن. طرح ایزولا سیون خطوط انتقال انرژی و محیط زیست. چاپ اول، نشر دانش امروز. تهران، ایران ۱۳۷۲.
۶. حیدری، ق - طراحی الکتریکی خطوط انتقال نیرو، چاپ اول، انتشارات تابش برق، زمستان ۱۳۷۹.
۷. سلطانی، م. تجهیزات نیروگاه، چاپ سوم، انتشارات جعفری، ۱۳۶۶.
۸. محمدی، م - اصول مهندسی فشار قوی الکتریکی، چاپ اول، انتشارات دهخدا، تهران ۱۳۷۲.
۹. معاونت تحقیقات و تکنولوژی. دفتر استانداردها "طراحی و مهندسی فونداسیون برجهای انتقال نیرو نوع گسترده منفرد و سیلندری" مرکز تحقیقات نیرو. تهران. ایران. شهریور ۱۳۷۶.
۱۰. وحیدی، ب. "بررسی حالات گذرای ناشی از صاعقه بر روی خطوط ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت ایران" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران ۱۳۶۸.
۱۱. گزارشات سازمان توانیر در خصوص حادثه ۱۳۷۲/۸/۶ پست منتظر قائم.
12. Central Station Engineers. : "Electrical Transmission and Distribution Reference Book ", Westinghouse Electric Corporation. Pt .c, No.8, January 1964.
13. Electric Power Research Institute: " Transmission Line Reference Book ", 1982.
14. H.W.Dommler, EMTP Theory Book, BPA, Portland, 1986.
15. Marcolo Polo Pereira: "The Calculation of Short Circuit Current in Overhead Ground Wires Using the EMTP/ATP " Transmission Planning Department. July 1999.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

16. Carpenter. Roy, yinggang, "The Secondary Effect of Lightning Activity " Colorado, 1997.
17. Tevan .G, "Calculation of Caused by Lightning Strokes in the Tower of an Overhead Line " Budapest University of Technology and Economics, Febr. 2001.
18. Duckworth.m, "solving High Voltage Problems in Wireless/Utility Collection " Darnell Group Inc, 2001.
19. Tavares.M.c, Pissolato.J, Portela .C.M, "Guideline for Transmission Line Modeling " Ieee.1999.
20. Franco.J.L, Amilton .S.J "Studies for the Improvement of Transmission Lines Performance " International Conference on Grounding and Earthing, November 2002.
21. Almedia.M.E, Correira de Barros.M.T, "Critical Length of Long Horizontal Ground Electrodes " International Conference on Grounding and Earthing, November 2002.

