

مقدمه

صنعت برق، یکی از صناعیهی است که امروزه با حیات بشری عجین شده و در تمامی بخش های آن نفوذ کرده است. تأثیرات این نوع منبع انرژی تاحدی است که تداعی زندگی بدون آن غیر ممکن به نظر می رسد. یکی از مسائل مهمی که در کاربرد برق مورد توجه است، حفظ ایمنی و پایداری شبکه است. انتقال برق از محل نیروگاه تا مصرف کننده با مسائل فراوانی همراه است که یکی از موارد با اهمیت، سیستم اتصال زمین است. درخصوص شبکه های اتصال زمین در سطح دنیا، تحقیقات زیادی انجام شده است و مسائلی از قبیل محاسبه سیستم مناسب برای شبکه، انتخاب جنس، فرایند اجرا و... بررسی شده است. یکی از اجزای حیاتی شبکه های توزیع، پست های برق محلی و یا ترانس ها است. سیستم زمین، شرط لازم برای عملکرد ایمن و پایداری پست های برق است، لذا از اهمیت فراوانی برخوردار است. در صورت عدم وجود چاه ارت مناسب برای ترانس، که هزینه قابل توجهی ندارد، علاوه بر از بین رفتن ترانس، تجهیزات برقی مشترک نیز تخریب شده و خساراتی سنگین به بار می آورد و همچنین خسارات جانی نیز محتمل می باشد.

با توجه به این موارد، اهمیت وجود سیستم زمین مناسب مشخص است. در این فصل ابتدا به لزوم کاربرد سیستم اتصال زمین و اهداف آن پرداخته شده است و سپس مروری بر انواع سیستم اتصال زمین می گردد. سپس اصول سیستم زمین ترانس های موجود ذکر می شود. همچنین چندین مثال کاربردی برای اجرای یک سیستم اتصال زمین اشاره می گردد.

تعاریف و واژگان

- زمین (ارت): رسانندگی جرم زمین را در صورتیکه پتانسیل الکتریکی در هر نقطه از زمین به صورت قراردادی برابر صفر در نظر گرفته شود، زمین (ارت) می نامند.
- پتانسیل زمین (ارت): پتانسیل الکتریکی ایجاد شده نسبت به جرم موجود زمین یا نسبت به سطح زمین اطراف الکتروود ارت را هنگامی که جریان الکتریکی از الکتروود به زمین جاری شود، پتانسیل زمین می نامند.
- سیستم اتصال به زمین (ارتینگ): یک یا چند الکتروود همراه با سیم های ارت را که قابلیت اتصال به ترمینال اصلی داشته باشند سیستم اتصال به زمین (ارتینگ) می نامند.
- الکتروود ارت (زمین): رسانا یا گروهی از رساناهای متصل به هم است که اتصال الکتریکی به زمین را فراهم می کنند.



فصل پنجم

سیستم های اتصال زمین

- مقاومت زمین : مقاومت الکتریکی موجود بین ترمینال الکتروود زمین و جرم کلی زمین است .
- مقاومت الکتروود ارت : مقاومت بین ترمینال اصلی زمین و کره زمین است .
- امپدانس حلقه اتصال به زمین : امپدانس حلقه جریان اتصالی زمین است که شروع و پایان آن نقطه اتصالی است و با ZS نشان داده می شود.
- حلقه اتصالی زمین در سیستم های مختلف به شرح ذیل است :
- سیستم های TN : نقطه شروع (محل اتصالی) از بدنه دستگاه به ترتیب به سیم ارت ، شینه نول ، نقطه ترانس ، سیستم پیچ ترانس ، سیم فاز اتصالی و نقطه اتصال به بدنه .
- سیستم های TT و IT : نقطه شروع (محل اتصالی) ، سیم اتصال به زمین ، الکتروود زمین ، زمین ، الکتروود سیستم ، شینه نول ، نقطه صفر ترانس ، سیم فاز اتصالی و نقطه اتصالی .
- اتصالی : حالتی از مدار است که جریان در مسیری غیر عادی بدون اینکه پیش بینی شده باشد یا در نظر گرفته شود جاری می شود. این جریان امکان دارد از نقص در عایق بندی یا از بست های به کار رفته بر روی عایق رساناها ناشی شود.
- جریان اتصال به زمین (جریان اتصال کوتاه) : اضافه جریانی است که در نتیجه بروز اتصالی با امپدانس قابل چشم پوشی بین هادی های با پتانسیل های مختلف در شرایط عادی کار برقرار شود.
- جریان جاری به زمین با رساناهای دیگری را که مدار الکتریکی آنها به زمین راه دارد جریان نشی زمین می نامند و در صورت استفاده از خازن در مدارها امکان دارد جریان مذکور دارای مقدار جزء خازنی هم باشد.
- سیم اتصال به زمین (سیم ارت) : سیم حفاظتی را گویند که ترمینالی اصلی ارت تاسیسات را به الکتروود ارت یا سایر قسمت های اتصال به زمین وصل می کند .
- سیم خنثی (نول) : سیمی متصل به نقطه خنثی در سیستم (صفر زمین) که قادر است انرژی الکتریکی را انتقال دهد.
- هادی حفاظتی (PE) : در بعضی از اقدامات حفاظتی برای تامین ایمنی در برابر برق گرفتگی لازم است با استفاده از هادی حفاظتی قسمت های زیر به همدیگر وصل شوند :
- بدنه هادی
- قسمت های هادی بیگانه
- ترمینال اصلی زمین
- الکتروود زمین
- نقطه صفر ترانس
- سیم مشترک ارت - نول (PEN) : سیمی را که به طور مشترک هم کارسیم اتصال به زمین وهم

کارسیم نول را انجام دهد، سیم PEN می نامند.

■ ترمینال اصلی اتصال به زمین (ارتینگ) : ترمینال یا شینهایی را گویند که برای اتصال به سیمهای محافظ تهیه شده و سیمهای اتصال به زمین (ارت) یا هروسیله ای که به عنوان اتصال به زمین (ارتینگ) به کار می رود به آن وصل می شوند.

■ قسمت های برقدار : سیم یا قسمت هایی از رسانا را که برای استفاده های معمولی برقدار شده اند قسمت های برقدار می نامند . سیم نول نیز شامل این قسمت ها است اما طبق قرارداد سیم PEN (سیم مشترک ارت - نول) به عنوان قسمت برقدار محسوب نمی شوند.

لزوم ایجاد سیستم اتصال زمین

کاربرد سیستم های زمین دارای قدمتی برابر با کاربرد شبکه های برق است و همراه با آن توسعه یافته است . در متون علمی برای اتصال زمین از عبارات Earth و Ground استفاده می شود که همگی به یک معناست . اتصال زمین نباید لزوماً در نزدیکی زمین بکار رود؛ فردی که روی سقف یک خانه در حال کار است ، اتصال به زمین آن بسیار بالاتر از سطح زمین است .

به طور خلاصه ، عمده دلایل نیاز شبکه به سیستم اتصال زمین عبارتند از :

- با اتصال شبکه به زمین ، یک منبع الکتریکی با یک مرجع الکتریکی که زمین است ، فراهم می شود . با اتصال یک نقطه مشخص از یک مجموعه به منبع برق دارای اتصال زمین ، اطمینان حاصل می شود که سایر نقاط مجموعه نیز اختلاف پتانسیل مشخصی با زمین مرجع دارند.
- سطوح فلزی تجهیزات الکتریکی دارای اتصال زمین ، همواره در پتانسیل زمین باقی می مانند و در نتیجه در صورت اتصال با افراد ، ایمن هستند.
- سیستم اتصال زمین مسیری با مقاومت الکتریکی پایین برای تخلیه بارهای استاتیکی و جرقه ها و صاعقه های ناشی از پدیده های طبیعی فراهم می کند و بنابراین تجهیزات حساس و پرسنل در مقابل آن ها دچار آسیب نخواهند شد.

بجز موارد استثناء ، تمامی شبکه ها و سیستم های برقی نیازمند اتصال زمین هستند و به نوعی اتصال زمین می شوند.

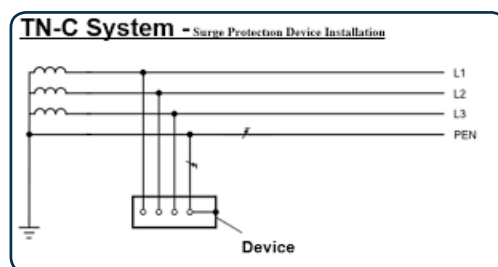
از آنجایی که لایه عایق هادی های حامل جریان در اثر پیرشدگی ، متغیر های خارجی یا بواسطه تنش های حرارتی یا الکتریکی دچار تخریب می شوند ، باید محل تخریب شناسایی شده و در صورت امکان تعمیر شود. در صورتیکه سیستم زمین مرجع نداشته باشد ، شناسایی صحیح و دقیق این نقطه مشکل خواهد شد. برای شناسایی اولین نقطه شکست ، به محض وقوع ، باید یکی از قطب های منبع

شبکه های TN

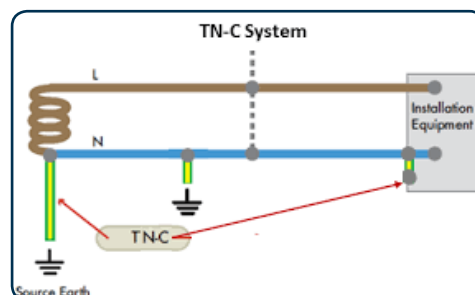
در سیستم های زمین TN، یکی از نقاط ژنراتور یا ترانسفورماتور به زمین متصل شده، که در سیستم های سه فاز معمولاً مرکز ستاره ترانسفورماتور یا ژنراتور به زمین متصل می شود. بدنه تجهیزات الکتریکی توسط اتصال زمین ترانسفورماتور، به زمین متصل می شوند. هادی که بدنه فلزی تجهیزات مصرف کننده را به زمین متصل می کند، "حفاظت زمین" نامیده می شود که با PE نشان داده می شود. هادی که مرکز ستاره سیستم های سه فاز را به زمین متصل می کند و یا جریان برگشتی در سیستم های تک فاز را انتقال می دهد، نول نامیده می شود که با N مخفف (Neutral) نمایش داده می شود. سه سیستم مختلف از شبکه TN وجود دارد: 1) TN-C، 2) TN-S، 3) TN-C-S

شبکه TN-C

در شبکه TN-C، مرکز ستاره ترانسفورماتور بصورت مستقیم به زمین متصل شده و در محل مصرف کننده یک سیم مشترک (Common) به عنوان حفاظت و خنثی در نظر گرفته شده است. در این سیستم ها سیم نول N و سیم خنثی PE با در نظر گرفتن شرایطی بطور مشترک استفاده می شود. در شکل های (1-5) و (2-5) انشعاب صحیح ارت و نول در شبکه TN-C نشان داده شده است :



شکل (۱-۵)



شکل (۲-۵)

اتصال زمین شود. معمولاً قطبی که به زمین متصل می شود، خنثی یا خط نامیده می شود. در این شرایط هنگامی که در عایق ها تخریب اتفاق افتد، جریانی که از این طریق ایجاد می شود توسط مسیر اتصال زمین به منبع بازمی گردد. وبا استفاده از تجهیزات حفاظتی شناسایی می شود. بنابراین یکی از اهداف مهم اتصال زمین این است که سبب ساده شدن شناسایی شکست در سیستم الکتریکی می شود. اتصال زمین با ایجاد مسیری برای شارش جریان از نقطه شکست به زمین و بازگرداندن آن به منبع، شناسایی شکست را ممکن می سازد.

در شبکه های بزرگ مانند شبکه های برق منطقه، باید زمین مرجع در محل مصرف کننده نیز وجود داشته باشد. در این شبکه ها، در صورت تخریب شدن عایق ها، اتصال زمین به صورت اتوماتیک ایجاد نمی شود و در این شرایط باید محل شکست از طریق مسیری با مقاومت پایین به زمین متصل شود. در این موارد از یک ترمینال مرجع زمین در محل مشتری استفاده شده و بدنه فلزی تجهیزات الکتریکی مشتری به آن متصل می گردد.

انواع سیستم اتصال زمین

طبق استاندارد BS7671، پنج نوع سیستم اتصال به زمین وجود دارد که عبارتند از: TN-S, TT, TN-C-S, TN-C, IT. هر یک از حروف مخفف کلمه ای است و معنی مشخصی دارد. درخصوص این حروف داریم :

T : زمین (از کلمه فرانسوی Terre)

N : نول

S : مجزا

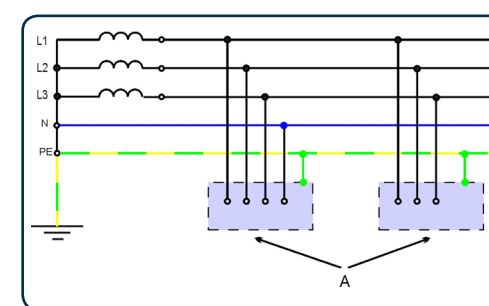
C : ترکیبی

I : ایزوله

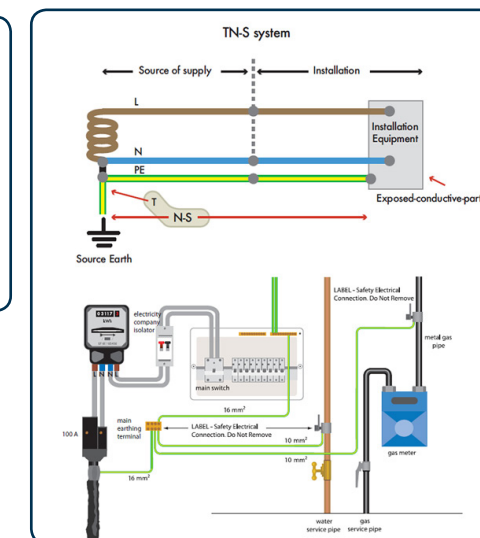
در هنگام طراحی یک سازه برقی، یکی از اولین مسائلی که مطرح است، سیستم اتصال به زمین می باشد. مسئول شبکه توزیع برق باید این مسئله را روشن کند که از چه سیستمی برای اتصال به زمین استفاده شود. اینکه کدامیک از سیستم های TN-S، TN-C-S یا TT برای یک شبکه ولتاژ پایین بکار می رود، اهمیت ندارد؛ ولی همه آنها باید با قوانین و مقررات رایج و نکات ایمنی مطابقت داشته باشد. در سیستم TN-C برای کاربرد ولتاژ پایین باید تمهیداتی اضافی در نظر گرفته شود، همچنین سیستم IT نیز برای شبکه های ولتاژ پایین برخی غیر مجاز است. در ادامه به بررسی اجمالی هر یک از این سیستم ها می پردازیم.

شبکه TN-S

در شبکه TN-S، مرکز ستاره ترانسفورماتور بصورت مستقیم به زمین متصل شده و در محل مصرف کننده سیم های حفاظتی و خنثی جدا و نسبت به هم عایق (Separate) می باشند. در سیستم اتصال به زمین TN-S، نول منبع انرژی در یک نقطه در نزدیکی منبع به زمین متصل می شود و ترمینال اتصال زمین مشتری به غلاف فلزی یا آرموراد کابل سرویس توزیع وصل می شود. این نوع سیستم زمین برای اکثر سیستم های الکتریکی مسکونی و صنعتی دارای جریان استاندارد می باشد که به ویژه در اروپا کاربرد زیادی دارد.



شکل (۳-۵)

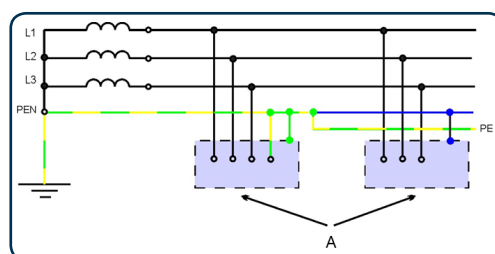


شکل (۴-۵)

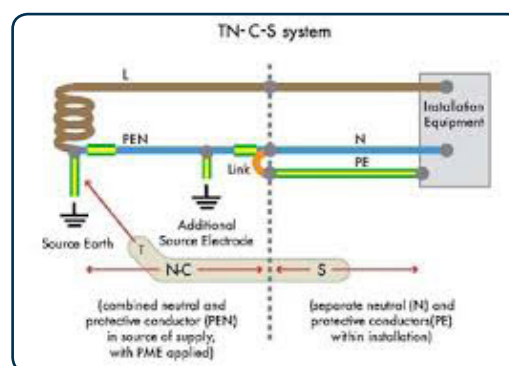
شبکه TN-C-S

در شبکه TN-C-S، مرکز ستاره ترانسفورماتور بصورت مستقیم به زمین متصل شده و در محل مصرف کننده از زیر تابلوی اصلی ژنراتور یا ترانسفورماتور تا تابلوی زیر کنترلر یک سیم مشترک به عنوان خنثی و حفاظت امتداد دارد و در تابلوی مصرف کننده به دو سیم حفاظتی و خنثی تقسیم می شود. در سیستم TN-C-S نیز هادی نول اصلی منبع اول در محل منبع و سپس در طول مسیرش اتصال به زمین دارد. این سیستم معمولاً سیستم اتصال به زمین چند گانه (PEM) نامیده می شود. در این آرایش، همچنین از هادی نول توزیع کننده برای بازگرداندن جریان های نقصانی زمین به

اتصالات ایمنی مشتری استفاده می شود. به این منظور، توزیع کننده یک ترمینال اتصال به زمین برای مشتری در نظر می گیرد که هادی نول ورودی به آن متصل می شود. در حقیقت این سیستم، ترکیب دو سیستم TN-S و TN-C می باشد و از پرکاربردترین سیستم های حفاظتی می باشد.



شکل (۵-۵)

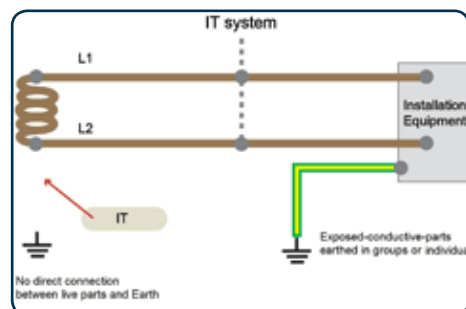


شکل (۶-۵)

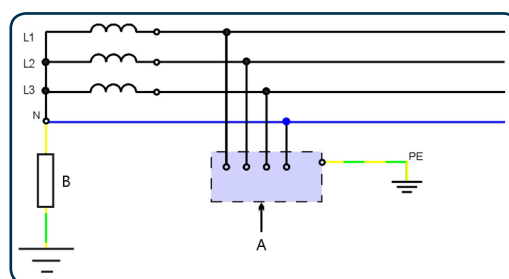
شبکه های TT

در شبکه های TT یا (Terra-Terra)، مرکز ستاره ترانسفورماتور بصورت مستقیم به زمین متصل شده و در محل مصرف کننده، تجهیزات توسط الکترود زمین بطور مستقیم زمین شده اند. بین این دو هیچ سیم زمینی وجود ندارد. در سیستم TT امپدانس فالت بزرگتر بوده (با فرض صفر بودن امپدانس الکترود زمین) و همواره باید از RCD یا Residual Current Device به عنوان اولین ایزولاتور استفاده نمود. بزرگترین مزیت سیستم زمین TT عدم وجود نویزهای فرکانس پایین و بالا می باشد که از طریق سیم نول متصل به تجهیزات وارد می شود. شبکه های TT همواره برای کاربردهای خاص مانند سایت های مخابراتی که از مزیت بدون ارت بهره می برند استفاده می شوند. همچنین شبکه های TT مشکل قطعی نول را ندارند. در زمان نبود محافظ RCD، شبکه TT بدلیل قابلیت بد وجود جریان اتصال کوتاه بسیار زیاد در اتصال با PE جهت مصارف عمومی جذابی

در آرژانتین و فرانسه از سیستم TT و در استرالیا از سیستم TN-C-S استفاده می شود و قانوناً تمامی مشتریان باید در خانه خود اتصال زمین داشته باشند. در این در اغلب تجهیزات خود از سیستم TT استفاده می کنند. در بیشتر شبکه های مدرن اروپایی از سیستم TN-C-S استفاده می شود و به این صورت است که تا نزدیک ترین ایستگاه ترانس توزیع، نول و زمین با هم ترکیب شده و بعد از آن در تمامی سیم کشی های داخلی، نول و زمین از هم مجزا می شوند.



شکل (۹-۵)

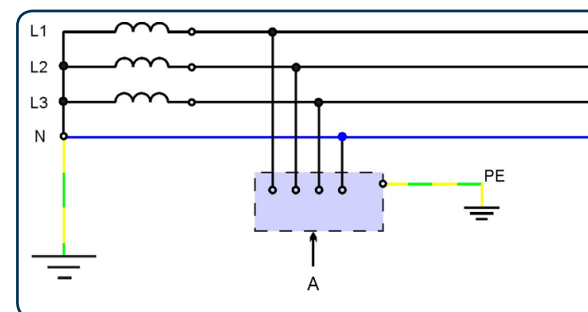


شکل (۱۰-۵)

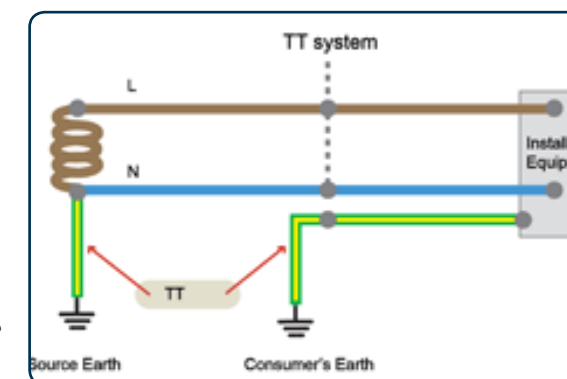
چند نکته تکمیلی

چند نکته که باید در نظر داشت: 1) در سیستم TN-C نباید کلید برق، هادی نول را هم قطع کند زیرا ارت هم قطع می شود و در نتیجه حفاظت از بین می رود. پس کلیدهای تک فاز به هیچ وجه نباید دو پل و سه فازها چهار پل باشد. 2) اما در سیستم TN-S این امکان وجود دارد. به خصوص اگر به دلیل نوع مصرف کننده ها امکان وجود جریانهای هارمونیک سوم در نول باشد، انتخاب کلیدهایی با قابلیت قطع نول توصیه می شود. 3) استاندارد مخالف توزیع نول در سیستمهای IT است. اگر نول توزیع شود باید برای هر یک از مدارها، نول را مستقیم حفاظت کرد و در صورت بروز عیب کلیه هادیها را در آن قسمت (هم فاز و هم نول) قطع کرد. 4) در سیستمهای TN-C ولتاژ هادی نول می تواند خطرات جانی ایجاد کند. زیرا هادی نول و ارت یکی است و هر ولتاژی روی نول ایجاد شود به بدنه های هادی هم انتقال پیدا می کند. لذا استاندارد یک سطح مقطع مینیمم را برای نول سیستم TN-C توصیه کرده که از احتمال قطع ناخواسته آن بکاهد. 5) در مجموع لزوم حفاظت یا قطع نول ارتباط مستقیمی با ساختار توزیع نول و ارت دارد. اگر سطح مقطع نول بزرگتر یا مساوی

نداشت (در مقایسه با شبکه TN) ولی با وجود تجهیزات جریان نشستی، این عیب تا حد زیادی کاهش پیدا کرد و سیستم زمین شبکه TT در محل هایی که مدارهای AC توسط RCD محافظت می شوند جذابیت دارد. در سیستم TT بر خلاف نمونه قبلی، وسیله ای توسط توزیع کننده برای اتصال به زمین مشتری فراهم نشده است و اتصال به زمین باید توسط مشتری با نصب یک الکتروود زمین در محدوده تجهیزات ایجاد گردد.



شکل (۷-۵)



شکل (۸-۵)

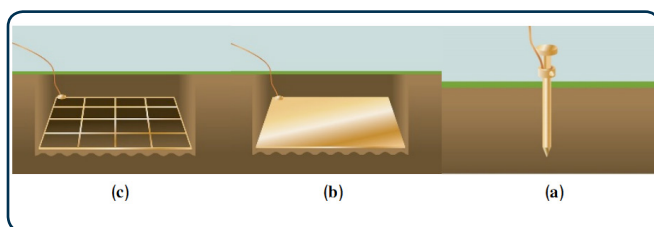
شبکه های IT

در شبکه های IT یا (Isolated-Terra)، مرکز ستاره ترانسفورماتور بصورت ایزوله می باشد و در محل مصرف کننده، تجهیزات توسط الکتروود زمین بطور مستقیم زمین شده اند. در این سیستم ها، جهت نظارت امپدانس از یک مانیتور عایقی استفاده می شود. هر یک از انواع شبکه های زمین دارای مزایا و معایبی هستند که با توجه به شرایط و خواسته ها انتخاب و در آئین نامه و دستورالعمل های هر کشور ثبت شده است. در آمریکای شمالی، برای تغذیه ترانس های توزیع از ترکیب هادی زمین و نول استفاده می شود، اما در سازه، نول و زمین از هم مجزا می شود (مطابق سیستم TN-C-S).

■ الکتروود زمین

نوع الکتروود زمین با توجه به طراحی و خواسته های شبکه تعیین می شود. الکتروود ها انواع مختلفی دارند که عبارتند از: میله ای، صفحه ای و شبکه ای. درنوع میله ای از یک مقطع معمولاً گرد استفاده می شود، ولی سایر مقاطع نیز قابل کاربرد است که از آن جمله می توان به چهار گوش، لوله ای، شش گوش و... اشاره کرد.

درنوع صفحه ای، از یک صفحه با ضخامت مشخص استفاده می شود و هادی زمین توسط کلمپ مناسب به آن متصل می گردد. در این روش سطح زیادی با خاک در تماس است، که در نتیجه عملکرد مناسبی وجود دارد.



شکل (۵-۱۱)

درنوع شبکه ای نیز معمولاً هادی هایی با مشخصات معین به صورت شبکه ای به هم متصل شده و در زیر خاک دفن می شوند و انتخاب نوع با توجه به طراحی و شرایط عملکردی است.

جنس الکتروود ها می تواند از فولاد زنگ نزن آستیتی، مس، فولاد با غلاف مسی و یا فولاد گالوانیزه باشد. انتخاب جنس با توجه به ترکیب خاک و شرایط طراحی انجام می شود.

در سیستم اتصال زمین باید اتصال مناسبی با توده زمین ایجاد شود؛ مقاومت این اتصال باید آنقدر پایین باشد که دیگر نیازی به حفاظت شبکه در مقابل جریان شکست زمین نباشد و می بایست قابلیت تحمل حداکثر جریان شکست مورد انتظار در شبکه را داشته باشد. میزان مقاومت مورد نیاز همواره عدد مشخص و ثابتی نیست.

با توجه به این موارد باید تمامی متغیرهایی که بر مقاومت زمین، ظرفیت جریان شکست عبوری از هادی دفن شده، طراحی الکتروود زمین و... مؤثر هستند، در نظر گرفته شوند. عمده ترین متغیرهای این سیستم شامل اندازه و هندسه هادی زمین، مقاومت خاکی که الکتروود در آن دفع شده و اتصالات شبکه به سیستم زمین است. علاوه بر این ها، باید چگالی جریان در سطح الکتروود زمین و همچنین پتانسیل زمین در مجاورت الکتروود در نظر گرفته شود.

در سیستم زمین، مقاومت کل شامل موارد زیر است:

- مقاومت هادی زمین
- مقاومت الکتروود زمین و اتصالات
- مقاومت الکتروود زمین

فاز باشد هیچ نیازی به تشخیص اضافه جریان در نول و نصب کلید در آن نیست. این کار فقط زمانی صورت می گیرد که امکان تولید جریان های هارمونیک و برق در نول را بدهیم.

طراحی سیستم اتصال زمین

به طور کلی مهمترین بخش اجرای سیستم اتصال به زمین برای یک ترانس شبکه عبارتند از:

- محاسبه دقیق میزان جریان شکست محتمل در سیستم و ابعاد لازم برای سیستم اتصال به زمین
- تعیین مشخصات خاک منطقه از قبیل میزان و نوع خوردگی و هدایت الکتریکی
- انتخاب جنس الکتروود زمین با توجه به مشخصات خاک منطقه
- تعیین جنس سیم زمین و سایر اتصالات با توجه به جنس الکتروود زمین

در خصوص سیستم های اتصال زمین، دودسته استاندارد موجود است. دسته اول، استاندارد هایی که به طراحی ملزومات یک سیستم اتصال زمین و انجام آزمایش های تضمین کیفیت می پردازد. یکی از مهمترین استانداردها، BS7430 است که به بررسی کیفیت و همچنین تعیین مشخصات فنی لازم برای سیستم های اتصال زمین می پردازد. در این استاندارد جنس پیشنهادی برای هر یک از اجزای شبکه و همچنین سطح مقطع پیشنهادی آنها ذکر شده است. علاوه بر این نکاتی در خصوص نوع خاک، جنس مجاز برای الکتروود زمین و همچنین سایر متغیر های مربوط به جنس ذکر شده است.

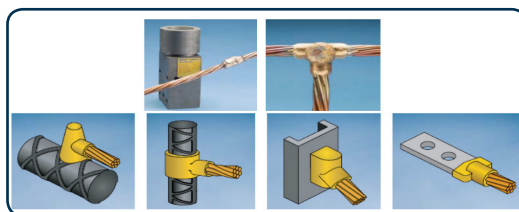
در خصوص کنترل کیفی سیستم های زمین نیز استاندارد های فراوانی وجود دارد که از جمله آنها، استاندارد IEEE 837 و BS62561 است که جهت ارزیابی اتصالات الکتریکی در اتصال زمین به کار می رود. در این استانداردها، تعدادی آزمون جهت ارزیابی کیفیت ذکر شده که خواص فیزیکی، مکانیکی و محیطی را آزمایش می کند.

در ادامه، ابتدا اجزای سیستم اتصال زمین و عملکرد آن ذکر شده و سپس به بررسی نحوه محاسبات و تعیین مشخصات مورد نیاز پرداخته می شود و در آخر آزمونهای استاندارد ذکر می گردد.

اجزای سیستم اتصال زمین

به طور کلی، مهمترین اجزای سیستم زمین عبارتند از:

- هادی زمین
- کلمپ اتصال بین هادی زمین و الکتروود زمین



شکل (۵-۱۴)



شکل (۵-۱۵)

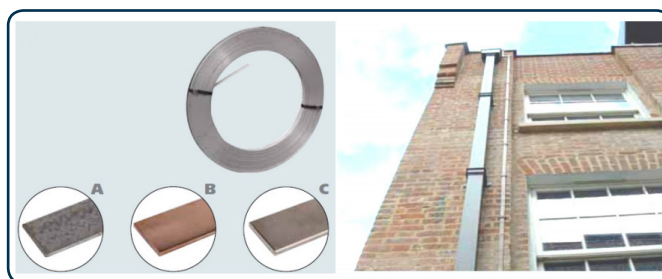
کلمپ نوع موقت درشرایطی به کار می رود که عملیات روی شبکه انجام شود. دراین حالت برای حفاظت پرسنل درمقابل بروزخطرات احتمالی، کلمپ های اتصال زمین موقت بکار می رود. نمونه هایی از این مورد قابل مشاهده است.

کلمپ های اتصال زمین دائمی نیز به دودسته جوشی و پیچ و مهره ای تقسیم می شوند که نوع جوشی دارای کیفیت و شرایط عملکرد مناسب تری است. درنوع جوشی، ازیک قالب و مقداری پودرجوش ترمیت استفاده می شود و تنها با مشتعل کردن پودرجوش، عملیات آغاز می شود.

کلمپ های زمین پیچ و مهره ای، به دلیل کم هزینه بودن دارای کاربرد بیشتری است. این کلمپ دارای اشکال مختلفی است که با توجه به شرایط عملکردی انتخاب می شود و رایج ترین نوع آن درپایین شکل (5-15) نمایش داده شده است.

کلمپ زمین به دلیل کوچکی ابعاد باید استحکام بالایی داشته باشد تا امکان اعمال نیروی مناسب برای نصب آن وجود داشته و تخریب نشود. از طرفی، هدایت الکتریکی کلمپ باید بالا باشد تا درمقابل عبور جریان شکست، تحمل داشته و مانع از عبور مناسب جریان نشود. ازاین رو در اغلب موارد، کلمپ زمین، برنزی و یا فولادزننگ نزن انتخاب می شود.

هادی زمین، یکی دیگر از سیستم زمین است که وظیفه آن انتقال جریان شکست تا الکترود است. هادی های زمین دارای انواع متنوعی بوده و ازجنس های مختلف ساخته می شوند. هادی های



شکل (۵-۱۶)

زمین معمولاً به صورت کابل، تسمه، لوله، میلگرد و... هستند ولی رایج ترین نوع آن به دلیل سادگی عملکرد و شرایط نصب، نوع تسمه ای و کابلی است. جنس هادی نیز با توجه به شرایط محیطی و جنس

■ مقاومت بین الکترود و زمین

■ مقاومت زمین

مقاومت هادی، الکترود و اتصال بین هادی و الکترود بسیار ناچیز است، زیرا معمولاً ازجنس مواد با رسانایی بالا مانند مس و فولاد استفاده می شود. مقاومت فصل مشترک الکترود با زمین نیز طبق تحقیقات، قابل چشم پوشی است؛ ولی در صورتی که عواملی مانند گریس، رنک، خوردگی و... وجود داشته باشد، درمیزان این مقاومت تاثیر گذار است. در صورت وقوع خوردگی، مقاومت بین الکترود ها و زمین افزایش یافته و عملکرد آن دچار مشکل می شود، در نتیجه باید همواره سازگاری الکترود با خاک محل نصب مورد توجه قرار گیرد.

در تعیین مقاومت کلی، مقدار چهار مورد اول در مقایسه با مورد آخر، بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی است، در نتیجه در طراحی معمولاً تنها مقاومت خاک مد نظر قرار می گیرد. اگر چه زمین بسیار بزرگ بوده و می تواند مثل یک سینک جریان در نظر گرفته شود، اما مقاومت لایه خاک مجاور با الکترود در عملکرد آن تاثیر چشمگیری دارد.

مقاومت خاک به متغیر های زیادی بستگی دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

■ غلظت نمک های موجود در خاک

■ میزان رطوبت

■ دما

■ میزان فشردگی



شکل (۵-۱۲)

برای محاسبه مقاومت، در IEEE 142 اطلاعات مناسبی ارائه شده است که ابزار مناسبی برای طراحی سیستم زمین می باشد. علاوه بر این، تجهیزات فراوانی برای اندازه گیری مستقیم مقاومت خاک وجود دارد که در مراکز تجاری موجود است.



شکل (۵-۱۳)

کلمپ زمین، یراقی است که از آن برای اتصال هادی زمین به الکترود، اتصال هادی های زمین به یکدیگر و یا اتصال هادی به بدنه ترانس بکار می رود؛ ولی عمده ترین کاربرد آن، اتصال هادی به الکترود زمین است. به طور کلی، کلمپ های زمین به دو دسته موقت و دائمی تقسیم می شود.

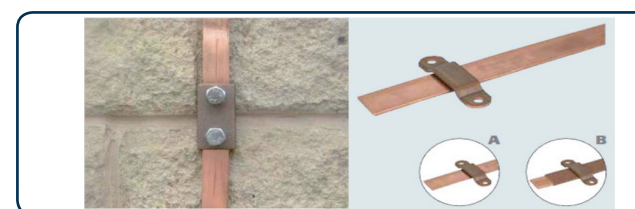
استانداردها و آزمونهای هادی ها (تسمه ها)، صفحه و اتصالات سیستم زمین

از جمله استانداردهای موجود در زمینه یراق آلات زمین می توان به استانداردهای IEEE 837, ANSI C135.30, BS62561, BS7430, NEMA GR1 اشاره کرد. در جدول به طور خلاصه اطلاعاتی در رابطه با استانداردهای مرتبط با اجزای سیستم زمین (هادی، الکترو و اتصالات)، آزمونها و خواسته های استاندارد از هر یک از این اجزا آورده شده است.

جدول (۵-۲): جدول آزمونهای مربوط به هادی، الکترو و اتصالات زمین

اجزای سیستم زمین	استاندارد	آزمون ها	خواسته ها
۱	BS62651-2	کابل	(۱) بررسی ظاهری مشخصات ابعادی، ظاهری، جنس، نشانه گذاری و... باید و بند های ۳-۴ و ۵-۵ استاندارد مطابقت داشته باشد.
			(۲) ضخامت پوشش پوشش گالوانیزه باید یکنواخت، پیوسته و فاقد هر گونه عیب باشد و در مقاطع گرد باید حداقل ضخامت ۳۵۰ g/m ² و برای تسمه های ۵۰۰ g/m ² باشد و باید با بند ۱-۲-۵ استاندارد مطابقت داشته باشد.
			(۳) خمش و چسبندگی پوشش نمونه تا زاویه ۹۰ و با شعاع معین خم می شود. پوشش نباید دچار شکست، ترک، بریدگی و... شود. و باید با بند ۲-۵ استاندارد مطابقت داشته باشد.
		تسمه	(۴) شرایط محیطی نمونه باید مطابق استاندارد تحت آزمون شرایط محیطی و آزمون اتمسفر مرطوب گوگردی قرار گرفته و دچار هیچ تخریبی نشود و باید با بند ۲-۳-۵ استاندارد مطابقت داشته باشد.
			(۵) کشش نمونه باید مطابق شرایط استاندارد تحت آزمون کشش قرار گرفته و خواسته های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۵-۴-۴ را برآورده کند.
			(۶) مقاومت الکتریکی مقاومت الکتریکی ویژه نمونه باید مطابق با جدول بند ۵-۲-۵ استاندارد باشد.
۲	BS62651-2 & NEMAGRI	کابل	(۱) بررسی ظاهری مشخصات ابعادی، ظاهری، جنس، نشانه گذاری و... باید با خواسته های ذکر شده در استاندارد مطابق بخش ۴-۴ جدول ۳ باشد.
			(۲) ضخامت پوشش پوشش گالوانیزه باید یکنواخت پیوسته و فاقد هر گونه عیب و حداقل ۳۵۰ g/m ² باشد و خواسته های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۲-۲-۵ را برآورده کند.
			(۳) چسبندگی و خمش نمونه تا زاویه مشخص و با شعاع معین خم می شود. پوشش نباید دچار شکست، ترک، بریدگی و... شود و خواسته های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۲-۳-۵ را برآورده کند.
		میله	(۴) شرایط محیطی نمونه باید مطابق استاندارد تحت آزمون شرایط محیطی و آزمون اتمسفر مرطوب گوگردی قرار گرفته و دچار هیچ تخریبی نشود و خواسته های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۴-۲-۵ را برآورده کند.
			(۵) استحکام کششی نمونه باید مطابق شرایط استاندارد تحت آزمون کشش قرار گیرد و خواسته های ذکر شده در استاندارد مطابق با جدول ۴ بخش ۴-۴ را برآورده کند.
			(۶) نسبت تسلیم / کشش نسبت تسلیم / کشش نمونه باید مطابق شرایط استاندارد انجام شده و خواسته های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۵-۲-۵ را برآورده کند.

الکترو و انتخاب می شود می تواند از آلومینیوم، مس، فولاد، فولاد زنگ نزن و یا گالوانیزه انتخاب شود. جنس و ابعاد هادی باید به گونه ای باشد که تحمل انتقال جریان شکست به الکترو را داشته باشد و از طرفی مقاومت به خوردگی مناسبی در مقابل عوامل محیطی منطقه داشته باشد. جنس کوپلینگ و روپنده برای تسمه ها با توجه به جنس تسمه انتخاب می شود. برای تسمه های مسی، معمولاً از روپنده و کوپلینگ برنزی استفاده می شود. یکی از اشتباهاتی که در سیستم زمین های جدید که به تازگی در ایران به کار می رود، نصب تسمه های گالوانیزه روی تیر با میخ های فولادی است.



شکل (۵-۱۷)

در این شرایط میخ های فولادی به شدت خورده شده و تسمه از تیر جدا می شود و در نهایت اتصال زمین قطع می شود. جهت نصب تسمه های گالوانیزه روی تیر و یا کوپلینگ دو تسمه باید مطابق شکل های (۵-۱۷) و (۵-۱۸) اقدام گردد. لازم به ذکر است که جنس روپنده و کوپلینگ باید با جنس تسمه متناسب باشد. برای هادی های زمین بکاربردن مس، مس با پوشش قلع، آلومینیوم و آلایزهای آن، فولاد گالوانیزه و فولاد زنگ نزن مجاز است. برای این قطعه، ابعاد باید به گونه ای انتخاب شود که تحمل تنش های مکانیکی را داشته باشد و از طرفی خواسته های الکتریکی مورد نیاز سیستم زمین را فراهم نماید. از طرفی مواد مورد استفاده در سیستم زمین برای اتصال مستقیم به یکدیگر باید مطابق جدول (۵-۱) دارای سازگاری باشند.

جدول (۵-۱): جدول سازگاری مواد مورد استفاده در سیستم زمین برای اتصال مستقیم به یکدیگر

جنس	ال ترو و یا سایر اجزای سیستم با محاسبات کوچکتر			
	فولاد	فولاد گالوانیزه	مس	مس با روکش قلع
فولاد گالوانیزه	✓	✓	✓	✓
فولاد در بتن	×	×	✓	✓
فولاد گالوانیزه در بتن	✓	✓	✓	✓
سرب	✓	✓	✓	✓

جدول (۳-۵): جدول مشخصات فنی لازم برای هادی زمین برای پست با سطح ولتاژ حداکثر 20KV

جنس	هندسه	مساحت (mm ²)	مقاومت الکتریکی (μΩ.m)	استحکام کششی (N/mm ²)	ضخامت پوشش (μm)	توضیحات
مس خالص	کابل	≥ ۵۰	≤ ۰/۰۱۹	۴۵۰ تا ۲۰۰	-	قطر هر رشته حداقل ۱/۷ mm
	تسمه				-	ضخامت حداقل ۲ mm
	میله				-	قطر ۸ mm
فولاد با روکش مس	تسمه	≥ ۱۵۰	≤ ۰/۱۵	۵۱۰ تا ۲۹۰	≤ ۷۰	ضخامت حداقل ۲/۵ mm
	میله				≤ ۷۰	قطر حداقل ۸ mm
فولاد گالوانیزه	کابل	≥ ۱۵۰	≤ ۰/۱۵	۵۱۰ تا ۲۹۰	≤ ۴۵	قطر هر رشته حداقل ۱/۷ mm
	تسمه				≤ ۴۵	ضخامت حداقل ۲/۵ mm
	میله				≤ ۴۵	قطر حداقل ۱۵ mm
آلمینیوم	کابل	≥ ۷۰	≤ ۰/۰۳۶	۲۸۰ تا ۱۲۰	-	قطر هر رشته حداقل ۱/۶۳ mm
	تسمه				-	ضخامت حداقل ۳ mm
	میله				-	قطر حداقل ۱۵ mm
فولاد زنگ زن	کابل	≥ ۱۵۰	≤ ۰/۸	۷۷۰ تا ۴۰۰	-	قطر هر رشته حداقل ۱/۷ mm
	تسمه				-	ضخامت حداقل ۲ mm
	میله				-	قطر حداقل ۱۵ mm

علاوه بر موارد ذکر شده در جدول بالا، استفاده از حالت های دیگر در صورتی که خواسته های آزمون های استاندارد را برآورده سازد، مجاز خواهد بود.

الکترو د زمین

الکترو د زمین دارای انواع مختلفی است که با توجه به شرایط خاک و امکانات موجود انتخاب می شود. انواع مقاطع و جنس های مجاز برای الکترو د زمین، خواص الکتریکی و مکانیکی در جدول (4-5) آمده است. این قطعات باید کلیه خواسته های استاندارد BS 62651-2 را برآورده کند. در مواردی که از صفحه استفاده می شود، تنها آزمون های ابعادی و محیطی روی آن انجام می شود. در الکترو د های گالوانیزه، ضخامت پوشش باید با جدول (4-5) مطابقت داشته باشد. طراحی های مختلفی برای الکترو د های زمین وجود دارد که از آن جمله در استاندارد ASTM 153-82 آمده است. در این طراحی دیگر نیازی به کلمپ زمین نبوده و هادی به صورت مستقیم به سیم زمین متصل می گردد. یکی دیگر از روش های مناسب برای اجرای سیستم زمین، کاربرد کابل فولادی لخت، بعنوان الکترو د زمین است. در این شرایط باید چاه زمین حفر شده و کابل حلقه شده در آن دفن شود.

۳	اتصالات	BS62651-1 & NEMAGRI	(۷) مقاومت ویژه ذکر شده در استاندارد مطابق با جدول ۴ بخش ۴-۴ را برآورده کند.	مقاومت الکتریکی ویژه نمونه باید مطابق با استاندارد باشد و خواسته های ذکر شده در استاندارد مطابق با جدول ۴ بخش ۴-۴ را برآورده کند.
			(۸) راستی میزان تاییدگی میله هلی زمین باید محاسبه شده و حداکثر ۰/۰۱ in/ft و خواسته های ذکر شده در استاندارد NEMAGRI بند ۲-۱۰ را برآورده کند.	
			(۱) بررسی ظاهری مشخصات ابعادی، ظاهری، جنس، نشانه گذاری و ... باید با استاندارد مطابقت داشته باشد و خواسته های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۵-۶ و ۲-۱۰ را برآورده کند.	
			(۲) مکانیک استاتیک نمونه باید تحت نیروی ۹۰۰ N به مدت یک دقیقه قرار گرفته و حداکثر ۱ mm لغزش کند و به هادی و اتصال آسیب وارد نشود و خوابته های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۶-۴ را برآورده کند.	
			(۳) الکتریکی مداری مطابق با استاندارد تهیه می شود و سه دفعه تحت جریانی معین قرار می گیرد و در نهایت مقاومت الکتریکی آن اندازه گیری می شود. مقاومت محاسبه شده با توجه به جنس باید مطابق بند ۳-۶ استاندارد BS 62651-1 باشد.	

تهیه مشخصات فنی هادیها (تسمه ها)، صفحه و اتصالات سیستم زمین از نظر متالوژیکی به منظور کاهش سرقت در پست ها و خطوط توزیع

در این بخش به مهمترین خواسته ها و مشخصات فنی مورد نیاز برای هریک از اجزای سیستم زمین، اشاره می گردد. اجرای انتخاب شده و مشخصات ذکر شده، برای ترانسی با ظرفیت حداکثر 20KV محاسبه شده است. در این سیستم، جریان شکست عبوری در حدود 10KV محاسبه شده است.

هادی زمین

طبق استاندارد، هادی زمین می تواند از جنس فولاد، مس، آلومینیوم و یا آلیاژهای آنها باشد. مشخصات ابعادی و جنس مجاز، خواص الکتریکی و مکانیکی برای این قطعه در جدول (3-5) ذکر شده است. این قطعات باید کلیه خواسته های استاندارد BS 62651-2 را برآورده کند. در مواردی که از تسمه های گالوانیزه استفاده می شود، ضخامت پوشش روی باید حداقل ۲ cm²/500g باشد و در صورت کاربرد کابل فولادی، ۲ cm²/350g باشد. سایر پوشش ها نیز در صورتی که خواسته های مورد نیاز برای آزمون خوردگی را برآورده کند، مجاز است. با توجه به این موارد، برای پست های با ظرفیت حداکثر 20KV، هادی زمین با مشخصات جدول (3-5) پیشنهاد می گردد.

جدول (۴-۵): جدول مشخصات فنی لازم برای الکترود زمین برای پست با سطح ولتاژ حداکثر 20KV

جنس	هندسه	مساحت (mm ²)	مقاومت الکتریکی (μΩ.m)	استحکام کششی (N/mm ²)	ضخامت پوشش (μm)	توضیحات
مس خالص	کابل	≤ ۵۰	≤ ۰/۰/۱۹	۴۵۰ تا ۲۰۰	-	قطر هر رشته حداقل ۱/۷ mm
	تسمه				-	ضخامت حداقل ۲ mm
	میله	≥ ۵۰			-	قطر ۸ یا ۱۵ mm بسته به خاک
	صفحه	≥ ۲۵۰۰			-	ابعاد ۵۰۰ mm × ۵۰۰ mm و ضخامت ۱/۵ mm
فولاد با روکش مس	تسمه	≥ ۷۸	≤ ۰/۲۵	۵۱۰ تا ۲۹۰	≤ ۲۵۰	ضخامت حداقل ۲/۵ m
	میله				≤ ۲۵۰	قطر حداقل ۸ m
فولاد گالوانیزه	کابل	≥ ۱۵۰	≤ ۰/۲۵	۵۱۰ تا ۲۹۰	≤ ۴۵	قطر هر رشته حداقل ۱/۷ m
	تسمه				≤ ۴۵	ضخامت حداقل ۲/۵ m
	میله				≤ ۴۵	قطر حداقل ۱۵ m
	صفحه	≥ ۲۵۰۰			≤ ۴۵	ابعاد ۵۰۰ mm × ۵۰۰ mm و ضخامت ۳ mm
فولاد زنگ زن	تسمه	≥ ۷۸	≤ ۰/۸	۷۷۰ تا ۴۰۰	-	ضخامت حداقل ۲ m
	میله				-	قطر ۱۰ یا ۱۵ mm بسته به خاک

در زیر خاک اتصال داشته باشند. باید پوشش قلع داده شوند. به طور کلی مهمترین مشخصات فنی کلمپ زمین عبارتند از:

■ در صورت استفاده از آلیاژهای مس، کلمپ باید حداقل محتوای ۸۰٪ مس باشند. پیچ و مهره ها نیز باید از جنس فولاد زنگ نزن یا برنز باشند. کاربرد فولاد زنگ نزن آستینیتی نیز برای ساخت کلمپ مجاز است.

■ کلمپ باید قابلیت محکم شدن تا گشتاور 40N.m را داشته باشد و در این گشتاور دچار هیچ گونه تخریبی نشود.

■ مقاومت الکتریکی کلمپ در اتصال به میله زمین نباید از 0.3 mΩ بیشتر باشند و یا حداقل ۹۵٪ هدایت میله زمین باشد.

■ استحکام مکانیکی کلمپ باید حداقل 380N/mm² باشد.

■ برای ساخت کابلشو، در صورتی که در زیر خاک دفن شود، باید از مس با پوشش قلع استفاده شود، ولی در صورتی که در خاک دفن نشود، کاربرد آلومینیوم و آلیاژهای نیز مجاز است. در صورتی که از آلومینیوم استفاده شود، کاربرد پوشش قلع الزامی است. کابلشوها بکاررفته در سیستم زمین باید با استاندارد ANSI C 119.4 یا IEC 61238-2 و IEC 61238-1 مطابقت داشته باشد.

به طور کلی مهمترین مشخصات فنی کابلشوها بکاررفته عبارتند از:

■ بدنه کابلشو باید حداقل محتوای ۸۵٪ مس باشد و حداکثر مقدار مجاز برای روی ۱۰٪ است.

■ در صورت کاربرد نمونه آلومینیومی که تنها در بالای خاک مجاز است، باید از آلیاژهای سری ۱۰۰۰ استفاده شود و حداکثر مقدار مس در ترکیب شیمیایی آن ۲٪ است.

■ کابلشوها باید در آزمون سیکل حرارتی و اتصال کوتاه قبول شوند.

■ در صورت دفن شدن کابلشو در زیر خاک، پیچ و مهره ها باید از جنس فولاد آستینیتی با حداقل ۱۸٪ کروم یا از جنس برنز باشد. کاربرد واشرهای فنی در نصب لازم است.

روش های نصب و بهره برداری از هادیها (تسمه ها)، صفحه و اتصالات زمین از نظر متالورژیکی

پست های الکتریکی یکی از نقاط بحرانی در شبکه های توزیع هستند. عملکرد ایمن یک پست الکتریکی وابسته به طراحی مناسب و نصب صحیح سیستم زمین است. سیستم زمین مناسب، مسیری با مقاومت الکتریکی برای تخلیه جریان شکست تامین می کند. در صورت باقی ماندن جریان شکست

اتصالات زمین

اتصالات سیستم زمین، به دلیل کوچکی نسبت به سایر اجزاء، محل های تمرکز جریان و دما هستند و در صورتی که طراحی مناسبی نداشته باشند و تمهیدات لازم برای آنها در نظر گرفته نشده باشد، به سرعت تخریب شده و منجر به از بین رفتن سیستم زمین می شوند. در خصوص این اتصالات استانداردهای سختگیرانه ای وجود دارد که در بخش قبلی به تعدادی از آنها اشاره شد. اتصالات سیستم زمین باید کلیه خواسته های استاندارد BS 62651-2 را برآورده کند.

به طور کلی، معمولاً برای ساخت کلمپ های زمین از فولادهای زنگ نزن و یا برنرها استفاده می شود زیرا علاوه بر مقاومت به خوردگی بالا، دارای استحکام مکانیکی مناسب می باشند. بعنوان مثال، در کلمپ های زمین، کلمپ باید تا گشتاور 200N.m محکم شده و دچار هیچ تخریبی نشود. اتصالاتی که در دستور العمل های نصب پیشنهادی، پیشنهاد شده، کابلشو و کانکتور زمین (شکافدار و پیچی) است.

این قطعات باید تحمل جریانی تا حدود 10KA را داشته باشند. همچنین در صورت دفن شدن در زیر خاک، مقاومت به خوردگی مناسب داشته باشند. در مواردی که این قطعات با فولاد گالوانیزه

در سیستم به مدت طولانی، مشکلات زیادی از جمله ناپایداری سیستم ایجاد می شود. بنابراین تخلیه سریع منجر به افزایش قابلیت اطمینان شبکه می شود و ایمنی افزایش می یابد. عدم تخلیه جریان شکست در شبکه منجر به بالاتر رفتن پتانسیل اجزای فلزی در مقایسه با پتانسیل زمین می شود و در نتیجه احتمال بروز خطر برای انسان و سایر جانوران وجود دارد.

در قدم اول، ابعاد هادی های سیستم زمین باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا در صورت عبور جریان شکست، ذوب و یا گداخته نشود. ابعاد هادی ها از دو جنبه باید محاسبه شود: اول میزان جریانی که از سیستم زمین عبور می کند و دوم مدت زمان استمرار جریان در مدتی که شکست اتفاق می افتد. میزان جریان شکست وابسته به مقاومت شبکه زمین است و زمان استمرار آن نیز با توجه به طراحی رله ها و مدار قطع کن شبکه حفاظتی تعیین می شود. طبق پیشنهاد IEEE 80 معمولاً زمان 3 ثانیه برای طراحی پست های کوچک انتخاب می شود.

قدم دوم، ایجاد اتصال مناسب بین هادی ها و هادی زمین و همچنین بین هادی زمین و میله زمین است. اتصالات باید مقاومتی پایین در مقایسه با هادی ها باشند تا در هنگام عبور جریان شکست، بیش از حد گرم نشوند. مهمترین مواردی که در طراحی اتصالات باید مد نظر قرار گیرد، عبارتند از:

■ نوع اتصال مورد استفاده برای متصل کردن هادی ها به شبکه و میله زمین

■ حداکثر دمای قابل تحمل برای اتصال

رایج ترین اتصالات برای سیستم های زمین، اتصالات مکانیکی (شامل پیچی، پرسی و گوه ای) و جوشی است. دمای مجاز برای هر یک از این اتصالات در IEEE 80 و IEEE 837 آمده است. در صورتی که دمای اتصال از دمای مجاز تعیین شده بالاتر رود، تخریب شده و مقاومت آن افزایش می یابد که منجر به گرم شدن بیش از حد می گردد و در نهایت به طور کامل تخریب شده و از بین می رود. قدم سوم، طراحی صحیح الکترود زمین است. در ایستگاه های MV و HV، جایی که منبع انرژی و مصرف کننده از طریق یک مسیر طولانی به یکدیگر متصل هستند، در صورت وقوع جریان شکست نباید جریان به داخل اجزای فلزی هدایت شود و تنها باید به سوی زمین جریان یابد. این جمله به آن معنا است که میله زمین و مصرف کننده باید ظرفیت انتقال تمامی جریان را به زمین داشته باشد و هیچ اختلاف پتانسیل بین این دو ایجاد نگردد.

طول، تعداد و مکان میله های زمین بر مقاومت مسیر اتصال به زمین تاثیر گذار است. دو برابر کردن طول میله زمین سبب کاهش 45% مقاومت در خاک های یکنواخت می شود. معمولاً شرایط خاک یکنواخت نیست و اندازه گیری دقیق مقاومت خاک با ابزارهای مناسب ضروری است. الکترودهایی مناسب هستند که به میزان حداقل 2m از یکدیگر فاصله داشته باشند. هر الکترود زمین در اطراف خود یک میدان الکترومغناطیسی ایجاد می کند و در صورت نزدیک بودن بیش

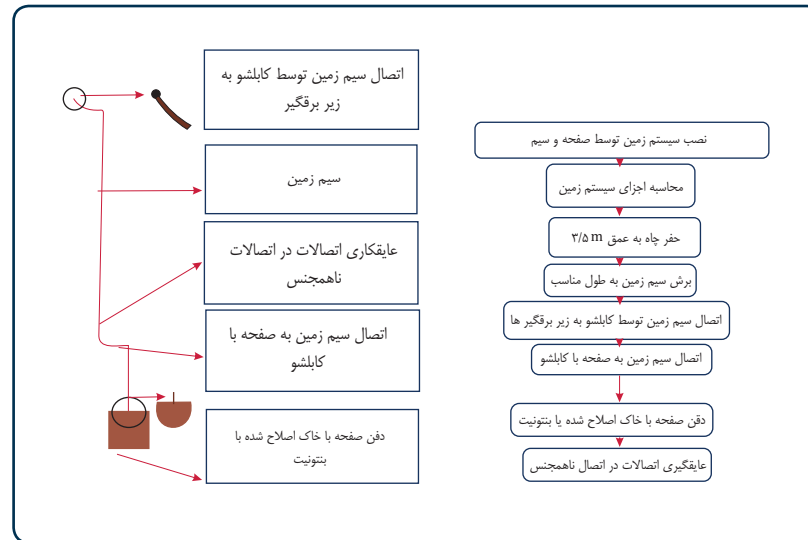
از حد دو الکترود به یکدیگر، این میدانها با یکدیگر تداخل می کند. علاوه بر این باید توجه شود که با افزایش تعداد میله ها، کاهش مقاومت به همان نسبت نخواهد بود، به عنوان مثال، مقاومت 20 میله زمین، یک بیستم یک میله زمین نیست و فقط 0.1 آن است. بنابر دلایل اقتصادی، معمولاً فاصله بین میله ها حداکثر 6m در نظر گرفته می شود. زیرا با افزایش فاصله و تعداد میله ها، میزان هادی بیشتری برای اتصال آنها مورد نیاز است. در آخر، باید مقاومت ویژه خاک در اتصال زمین پست ها در نظر گرفته شود. هر چه مقاومت ویژه خاک ژائین تر باشد، اتصال زمین مناسب تری فراهم می شود. مناطق با خاک مقاومت بالا و زمین های شبنم زده، نیازمند تمهیدات خاصی است. در طراحی سیستم زمین باید بالاترین مقاومت ویژه خاک در طول فصول مختلف آب و هوایی در نظر گرفته شود، زیرا در فصول خشک، خاک منطقه نیز رطوبت خود را از دست داده و مقاومت ویژه آن افزایش می یابد. یکی از روش های کاهش تاثیرات آب و هوایی، عمیق کردن چاه میله زمین است. در این صورت اثرات محیطی کاهش می یابد. روش دیگری که بسیار مورد توجه قرار گرفته، اضافه کردن مواد شیمیایی جاذب الرطوبه به خاک است. در ادامه این بخش، ابتدا مشخصات فنی مناسب برای یراق آلات موجود در این زمینه ذکر شده و سپس چند نمونه دستورالعمل رایج در سایر کشورها بیان می شود. در پایان، دستورالعمل پیشنهادی برای سیستم برق ایران ذکر خواهد شد.

دستورالعمل نصب

روش های زیادی برای اجرای سیستم زمین وجود دارد که با توجه به شرایط و امکانات موجود اجرا می شود. از آنجایی که در شرایط کنونی کاربرد تسمه و کابل به عنوان هادی و کاربرد میله و صفحه به عنوان الکترود در پستهای زمین رایج شده است، در این بخش حالات ممکن برای اجرای سیستم ارائه می شود. کلیه اجزای مورد استفاده مطابق با این دستورالعمل، باید با مشخصات فنی ارائه شده مطابقت داشته باشد.

اجزای مناسب با توجه به شرایط موجود تعیین می شود. به طور کلی مراحل نصب یک سیستم زمین عبارتند از:

- اندازه گیری مقاومت الکتریکی ویژه خاک منطقه: در این مرحله با توجه به استاندارد BS 7430 مقاومت الکتریکی ویژه خاک تعیین شده و ثبت می گردد.
- حفر چاه زمین: در صورتی که مقاومت ویژه خاک از $30 \text{ m}\Omega$ بیشتر باشد، باید چاهی به عمق حداقل 3.5 m حفر شده تا به خاک مرطوب برسیم.



شکل (۵-۱۸)

دستورالعمل ۲: کاربرد صفحه زمین و تسمه

- به تعداد الکترودهای لازم چاه هایی حفر شده تا به خاک مرطوب دسترسی حاصل شود. در اغلب موارد، تنها با حفریک چاه، شرایط مدنظر فراهم می شود.
- طول مناسب از تسمه بریده شده و محل های مورد نیاز آن لخت شود. در مواردی که سیم مورد استفاده کوتاه باشد، می توان با استفاده از پیچ و مهره مقدار لازم را به آن اضافه نمود. در این موارد کاربرد جوشکاری به هیچ وجهی مجاز نیست.
- تسمه با استفاده از تجهیزات مناسب، مانند بست های کمر بندی به تیر متصل شود. نباید بین تسمه و تجهیزات نصب روی تیر اتصال الکتریکی برقرار شود.
- با استفاده از یک سیم با سطح مقطع مناسب و کابلشوی استاندارد، برق گیرها و سایر محل های مورد نیاز به ابتدای تسمه متصل گردد.
- با استفاده از یک سیم با سطح مقطع و طول مناسب و دو عدد کابلشوی استاندارد، انتهای تسمه به صفحه زمین متصل گردد. صفحه زمین با استفاده از یک کابلشوی به سیم زمین متصل شده و به صورت عمودی در چاه قرار گیرد.
- با استفاده از بتونیت، خاک چاه آماده سازی شود. به این منظور برای مخلوط کردن خاک در یک متر اول چاه از ۵ کیسه بتونیت و برای هر متر بعد از ۲ کیسه بتونیت استفاده می شود (هر کیسه بتونیت

■ انتخاب الکترود زمین: ابعاد و تعداد میله های زمین محاسبه شود. تفاوتی بین میله و صفحه وجود ندارد.

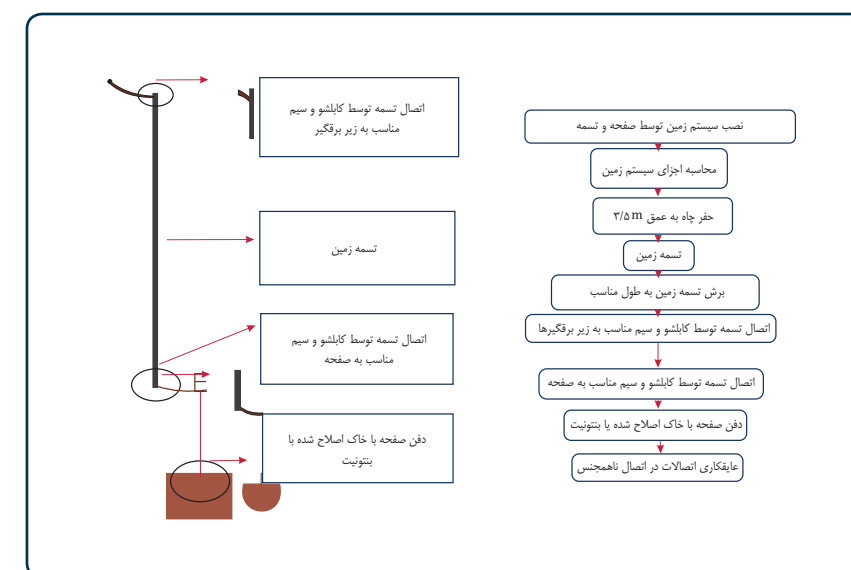
- انتخاب هادی زمین: با توجه به جریان عبوری، ابعاد هادی زمین محاسبه شود.
- انتخاب اتصالات: با توجه به سطح مقطع هادی زمین و الکترود، اتصالات مناسب انتخاب می شود. در تمام حالات و روش ها، باید در ابتدا مقاومت الکتریکی ویژه خاک منطقه و تعداد الکترودهای لازم تعیین شود تا مقاومت الکتریکی مجموع الکترودها 2Ω شود. در موارد مشخص و با موافقت مهندس ناظر، مقاومت الکترودها تا 7Ω نیز مجاز است.

دستورالعمل ۱: کاربرد صفحه زمین و سیم زمین

- به تعداد الکترودهای لازم چاه هایی حفر شده تا به خاک مرطوب دسترسی حاصل شود. در اغلب موارد، تنها با حفریک چاه، شرایط مدنظر فراهم می شود.
- طول مناسب از سیم زمین بریده شود و محل های مورد نیاز آن لخت شود. در مواردی که سیم مورد استفاده کوتاه باشد، می توان با استفاده از یک مفصل و یا هر کانکتور استاندارد دیگر، مقدار لازم را به آن اضافه نمود.
- سیم زمین در زیر برق گیرها و سایر محل های مورد نیاز نصب شده و تا پایین تیر و محل نصب الکترودها کشیده شود. سیم زمین باید با استفاده از تجهیزات مناسبی، مانند بست های کمر بندی به تیر متصل شود. نباید بین سیم زمین و تجهیزات نصب روی تیر اتصال الکتریکی برقرار شود.
- صفحه زمین با استفاده از یک کابلشوی به سیم زمین متصل شده و به صورت عمودی در چاه قرار گیرد.
- در صورت استفاده از بتونیت، خاک چاه آماده سازی شود. به این منظور برای مخلوط کردن خاک در یک متر اول چاه از ۵ کیسه بتونیت و برای هر متر از ۲ کیسه بتونیت استفاده می شود (هر کیسه بتونیت ۳۰ kg است).
- در صورتی که جنس الکترود از مس یا روکش مس بوده و سیم زمین از جنس فولاد باشد، باید بخش هایی از سیم زمین که در زیر خاک قرار می گیرد، توسط عایق مناسبی مانند قیر، عایقکاری شود تا از خوردگی گالوانیک جلوگیری بعمل آید. در مواردی که محل اتصال در بتن دفن می شود و یا در صورتی که اجزای مسی دارای پوشش قلع باشند، نیازی به عایقکاری نیست. در شکل (۵-۱۸) فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط صفحه و سیم و در شکل شماتیک آن آورده شده است.

30kg است.)

■ در صورتی که تسمه از جنس فولاد گالوانیزه بوده و اجزای دفن شده در زیر خاک از جنس مس یا روکش مس باشد، باید بخش هایی از تسمه که در زیر زمین قرار می گیرد توسط عایق مناسبی مانند قیر، عایقکاری شود تا از خوردگی گالوانیک جلوگیری بعمل آید. در مواردی که محل اتصال در بتن دفن می شود و یا در صورتی که اجزای مسی دارای پوشش قلع باشند، نیازی به عایقکاری نیست. در شکل (19-5) و (5-19) به ترتیب فلوچارت و شکل مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط صفحه تسمه و تسمه به همراه شماتیک آن آورده شده است.

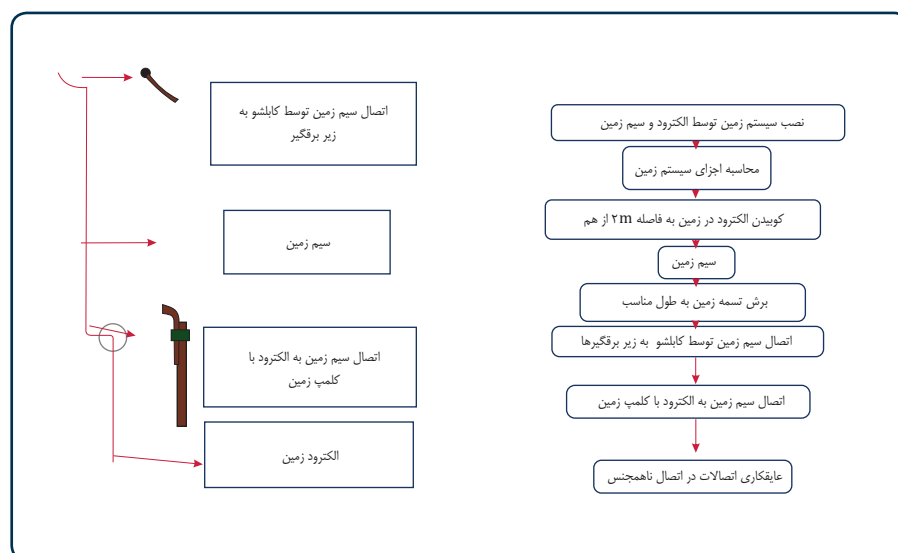


شکل (۵-۱۹)

دستورالعمل 3: کاربرد الکترود (میله زمین) و سیم زمین

- با توجه به نتیجه محاسبات، تعداد الکترودهای با قطر مناسب تهیه شود.
- الکترودها به فاصله حداقل 2m از یکدیگر در زمین کوبیده شود.
- طول مناسب از سیم زمین بریده شده و محل های مورد نیاز آن لخت شود.
- سیم زمین در زیر برق گیرها و سایر محل های مورد نیاز نصب شده و تا پایین تیر و محل نصب الکترودها کشیده شود. سیم زمین باید با استفاده از تجهیزات مناسبی، مانند بست های کمر بندی به تیر متصل شود. نباید سیم زمین و تجهیزات نصب روی تیر اتصال الکتریکی برقرار شود.
- سیم زمین توسط کانکتور اتصال زمین (ترجیحاً برنزی) به میله متصل گردد و تا گشتاور تعیین شده

توسط سازنده محکم شود.



شکل (۵-۲۰)

■ در صورتی که جنس الکترود از مس یا روکش مس بوده و سیم زمین از جنس فولاد باشد، باید بخش هایی از سیم زمین که در زیر خاک قرار می گیرد، توسط عایق مناسبی مانند قیر، عایقکاری شود تا از خوردگی گالوانیک جلوگیری بعمل آید. در مواردی که محل اتصال در بتن دفن می شود و یا در صورتی که اجزای مسی دارای پوشش قلع باشند، نیازی به عایقکاری نیست. در شکل (5-20) فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط الکترود و سیم زمین و در شکل (5-20) شماتیک آن آورده شده است.

دستورالعمل 4: کاربرد میله زمین (الکترود) و تسمه

- با توجه به نتیجه محاسبات، تعداد الکترودهای با قطر مناسب تهیه شود.
- الکترودها به فاصله حداقل 2m از یکدیگر در زمین کوبیده شود.
- طول مناسب از تسمه بریده شده و محل های مورد نیاز آن در صورت روکش داشتن، لخت شود.
- در صورت کوتاه بودن تسمه می توان با استفاده از پیچ و مهره مقدار لازم رابه آن اضافه نمود. در این موارد کاربرد جوشکاری به هیچ وجهی مجاز نیست.

کاربرد پشت بند امکان پذیر است، درحالی که در مناطق گرم و مرطوب مانند خوزستان که خاکی اسیدی دارد، میله زمین گالوانیزه به شدت خورده شده و تخریب می شود و پس از مدت کوتاهی اتصال زمین قطع می گردد. فلذا، در اجرای سیستم زمین باید انتخاب جنس و روش اجرا متناسب با خاک و شرایط آب و هوایی منطقه باشد. مهمترین متغیرهایی از خاک که در طراحی سیستم زمین و انتخاب جنس الکترود دخیل هستند عبارتند از: مقاومت ویژه، رطوبت، PH و میزان کلرو نمک حل شده. با این حال از آنجایی که بخش وسیعی از ایران در بخش های مرکزی و از کویر و زمین های خشک تشکیل می دهد، استفاده از الکترود میله ای یا صفحه ای گالوانیزه به همراه تسمه یا کابل گالوانیزه بعنوان هادی، نتایج رضایت بخشی در بر دارد. در این بخش به چند مثال موردی و یک روش اجرای مناسب اشاره می شود.

زمین کویری

برای سیستم زمین یک ترانس 20KV در یک زمین کویری با مقاومت ویژه $50 \Omega.m$ ، روش های مختلفی وجود دارد. در این شرایط هم کاربرد صفحه و هم میله امکان پذیر است. به دلیل مقاومت ویژه بالای این زمین، نیاز به نصب بیش از یک میله زمین است، ولی در صورت اصلاح خاک با پشت بندهای مناسب، یک میله زمین نیز کفایت می کند. بنابراین، در این نوع خاک، استفاده از پشت بند دارای صرف اقتصادی است، زیرا تعداد الکترود زمین کمتری نیاز می شود. در این شرایط، یکی از حالت های ممکن کاربرد صفحه و کابل است. از آنجایی که خوردگی خاک کویر به دلیل پایین بودن نمک و رطوبت، پایین است، کاربرد صفحه گالوانیزه به جای صفحه مسی، قابل قبول است. همچنین، در شرایط آب و هوایی این منطقه، کابل نیز مناسب است که فولاد گالوانیزه انتخاب شود. برای اصلاح خاک نیز بتنیت بکار رود.

زمین اسیدی

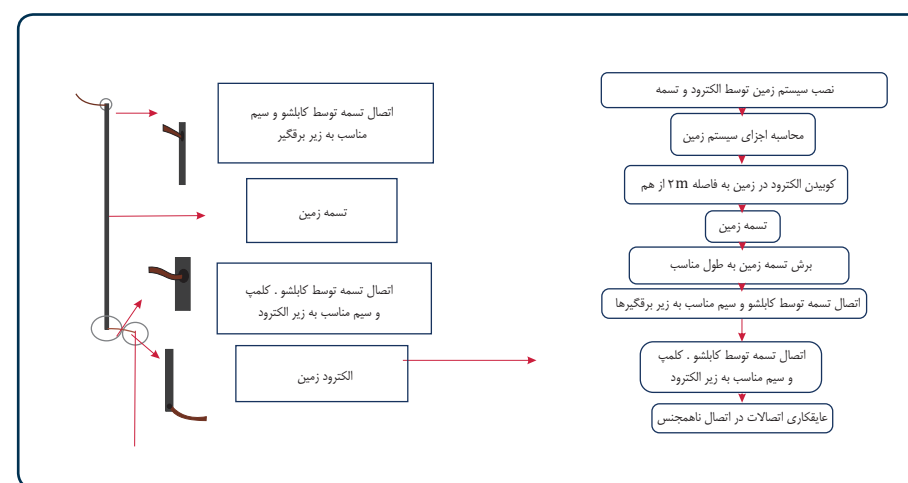
برای اجرای سیستم یک ترانس 20KV در خاکی اسیدی با مقاومت ویژه در حدود $15 \Omega.m$ ، کاربرد همه روش ها، در صورت انتخاب جنس صحیح، مناسب است. از آنجایی که در این مورد، مقاومت ویژه پایین است، تنها با استفاده از یک الکترود میله ای یا صفحه ای، مقاومت الکتریکی سیستم کمتر از 5Ω می شود، اما این خاک به شدت خورنده است و کاربرد الکترود گالوانیزه، بدون استفاده از پشت بند های مخصوص، مجاز نیست. در این خاک، الکترود فولادی بدون روکش و یا

■ تسمه با استفاده از تجهیزات مناسب، مانند بست های کمر بندی به تیر متصل شود. نبایدین تسمه و تجهیزات نصب روی تیر اتصال الکتریکی برقرار شود.

■ با استفاده از یک سیم با سطح مقطع مناسب و کابلشوی استاندارد، برق گیر ها و سایر محل های مورد نیاز به ابتدای تسمه متصل گردد.

■ با استفاده از یک سیم با سطح مقطع و طول مناسب، یک عدد کابلشو و یک عدد کلمپ زمین استاندارد، انتهای تسمه به میله زمین متصل گردد.

■ در صورتی که تسمه از جنس فولاد گالوانیزه بوده و اجزای دفن شده در زیر خاک از جنس مس یا روکش مس می باشد، باید بخش هایی از تسمه که در زیر زمین قرار می گیرد توسط عایق مناسبی مانند قیر، عایقکاری شود تا از خوردگی گالوانیک جلوگیری بعمل آید. در مواردی که محل اتصال در بتن دفن می شود و یا در صورتی که اجزای مسی دارای پوشش قلع باشند، نیازی به عایقکاری نیست. در شکل (5-21) فلو چارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط الکترود و تسمه و در شکل شماتیک آن آورده شده است.



شکل (۵-۲۱)

مثال های موردی

کشور پهناور ایران، دارای مناطق آب و هوایی مختلفی است که هر یک دارای ویژگی ها و شرایطی منحصر به فرد است. با توجه به این شرایط، تهیه دستورالعمل جامع برای همه مناطق آن امکان پذیر نیست، بعنوان مثال، در خاک مناطق کویری، کاربرد میله زمین فولاد گالوانیزه، بدون استفاده نیاز به

با روکش مسی و یا الکتروود مسی دچار خوردگی متوسط می شود، اما الکتروود فولاد زنگ نزن، مقاومت به خوردگی خوبی دارد. با توجه به این شرایط مناسب است که از میله فولاد زنگ نزن آستنتیتی و تسمه گالوانیزه، استفاده شود. برای اتصال تسمه به میله باید از سیم مسی یا فولاد زنگ نزن استفاده شود، زیرا سیم گالوانیزه در خاک های اسیدی به شدت خورده می شود. در صورت استفاده از سیم گالوانیزه، باید تمامی بخشهایی که در زیر خاک دفن می شود، عایقکاری شود. در صورتی که زمین، آلوده به اسید های آلی (مواد نفتی) باشد، کاربرد مس و روکش مس مجاز نیست، زیرا مس در مقایسه با فولاد گالوانیزه و یا فولاد بدون روکش، مقاومت به خوردگی کمتری در این خاک ها دارد. در این شرایط باید برای اتصال تسمه به میله زمین از سیم فولاد زنگ نزن استفاده شود. از آنجایی که فولاد زنگ نزن دارای قیمت بالایی است، برای کاهش هزینه، کاربرد روش Ufer که در آن الکتروود فولاد گالوانیزه در بتن دفن می شود، توصیه می گردد. در این روش یک میله گالوانیزه با قطر 14mm در بتن با قطر 50mm دفن می گردد.

زمین مرطوب و نمکی (آلوده به کلر)

برای اجرای سیستم زمین 20KV در خاک یک منطقه مرطوب و نمکی با مقاومت ویژه در حدود $25 \Omega.m$ ، استفاده از مس، فولاد بدون روکش یا با روکش مس و فولاد گالوانیزه دارای نتایج مشابهی است، زیرا همگی این موارد، در این نوع خاک دچار خوردگی تا حد متوسط می شود. در این شرایط نیز، مشابه قبل، استفاده از میله فولاد زنگ نزن و یا میله گالوانیزه دفن شده در بتن توصیه می شود. فونداسیون های فولادی در زیر زمین، ابزار مناسبی برای ایجاد سیستم زمین با مقاومت پایین است. زیرا، بتون در دمای محیط دارای مقاومت ویژه ای در حدود $30 \Omega.m$ است که در مقایسه با بسیاری از خاک ها مقاومت پایین تری است. از میله های تقویت کننده بتن می توان به عنوان الکتروود استفاده کرد. الکتروود های بتونی به اصطلاح Ufer نامیده می شوند که برگرفته از نام آقای Ufer است که تحقیقات زیادی در خصوص الکتروود های زمین بتنی انجام داده است. میله های بکاررفته در این سیستم میتواند به صورت لخت و یا گالوانیزه باشد. این میله ها معمولاً دارای حداقل طول 6m و قطر 13mm هستند و در بتنی با حداقل قطر 50mm قرار داده می شود.

پیشنهادهای

با بررسی منابع و شرایط موجود در جهان، جدید ترین سیستم های موجود و رایج مورد مطالعه قرار

گرفت. با توجه به این نتایج پیشنهادات زیر ارائه می شود.

- یکی از سیستم های رایج در جهان که به خصوص در کشور چین رایج است، کاربرد الکتروود گالوانیزه در بتن است. پیشنهاد می شود که جهت سیستم زمین ترانسهای توزیع از میله های زمین دفن شده در زمین، مطابق با روش Ufer استفاده شود.
- امروزه کاربرد تیرهایی که هادی زمین در داخل آن کار گذاشته شده، توسعه یافته است. در صورت استفاده از این تیرها، بسیاری از مشکلات موجود با هزینه بسیار پایین تری مرتفع خواهد شد، فلذا، استفاده از این روش توصیه می شود.
- از آنجایی که تعیین مقاومت خاک در مناطق مختلف نیازمند صرف هزینه و پرسنل مجرب است، پیشنهاد می گردد که خاک مناطق مختلف کشور، دسته بندی کلی شده و دستورالعمل های منطقه ای با توجه به آنها تهیه شود.

