شرکت مدیریت تولید ، انتقال و توزیع نیروی برق ایران
توانیـــر

جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو

تاریخ : ۹۳/۸/۱۹
شماره : ۱۱/۴۰۴۳
پیوست : دارد

بسمه تعالی

سال ۱۳۹۳ سال اقتصاد و فرهنگ با عزم ملـی و مدیریت جهـادی
(مقام معظم رهبری)

مدیران عامل محترم شرکتهای توزیع نیروی برق استان خراسان رضوی

موضوع : ابلاغ دستورالعمل اجرایی سیستم اتصال زمین شبکه‌های توزیـع

با سلام،

با عنایت به اهمیت وجود و اجرای صحیح سیستم اتصال زمین شبکه‌های توزیع، و با ملاحظه شرایط و دغدغه‌های موجود خصوصاً در حوزه ایمنی کارکنان و جامعه نیاز به دستورالعمل اجرایی و کاربردی علاوه بر مقررات و استانداردهای جاری احساس می‌گردد، دستورالعمل اجرایی حاضر تحت عنوان « دستورالعمل اجرایی سیستم اتصال زمین شبکه‌های توزیـع » با همکاری جمع قابل توجهـی از متخصصان صنعت و مشاورین زبـده و با هدف ارتقاء کیفیت سیستم زمین و بهبود ایمنی کارکنان و جامعه تهیه و ابلاغ می‌گردد. مقتضی است ترتیبـی اتخاذ فرمائید که اجرای سیستم اتصال زمین بر مبنای دستورالعمل ابلاغی انجام شده و هرگونه نقطه نظر و پیشنهاد درخصوص مفاد آن را به معاونت هماهنگی توزیع این شرکت ارسال نمایند.

همایون حائری
رئیس هیئت مدیره و مدیرعامل

بسم تعالی
- معاونت برنامه ریزی و فنی
- معاونت بهره برداری
با سلام هماهنگی و اقدام لازم بفرمایید. البته با آقای مهندس صحبت کردیم
۹۳/۹/۱۱

بسم تعالی
آقای سرویس مهر مرقوم
با سلام بررسی و مذاکره شود
۹۳/۹/۹

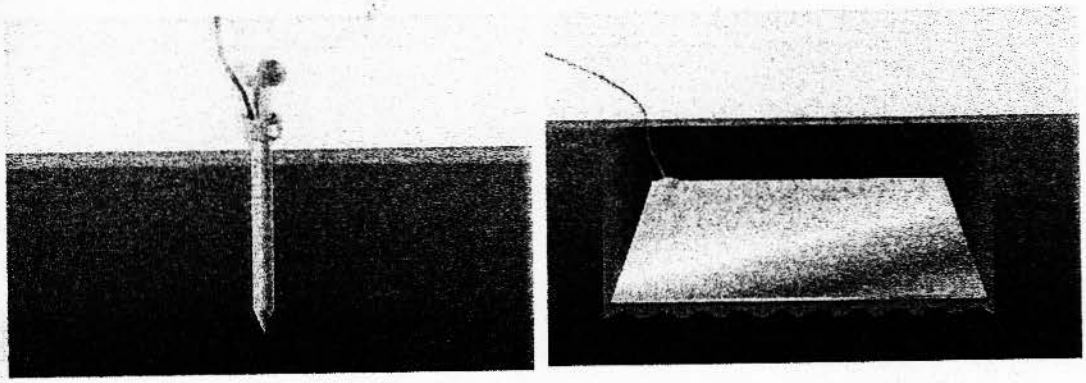
شرکت توانیر نیروی برق استان خراسان رضوی
دبیرخانه مرکزی
شماره : ۳۰۰۰۰/۱۸۷۷۰
تاریخ : ۱۳۹۳/۹/۰۶

93/8/18-NA21-K

تهران - میدان ونک - خیابان شهید عباسپور - ساختمان مرکزی شرکت توانیر صندوق پستی : ۶۴۶۷ - ۱۴۱۵۵ تلفن : ۸۴۷۷۱ نمابر: ۸۸۷۷۹۵۴۳
پست الکترونیکی : info @ Tavanir . org . ir پایگاه اینترنتی : www . Tavanir . org . ir

دستور العمل اجرایی سیستم اتصال زمین شبکه های توزیع

مجموعه دستورالعملهای اجرایی مرتبط با بهره برداری شبکه های توزیع نیروی برق



دریافت کنندگان سند جهت اجراء:

۱- کلیه شرکت های توزیع نیروی برق

۲- شرکت توانیر

- معاونت هماهنگی توزیع

تهیه کننده :

- دفتر نظارت بر توزیع معاونت هماهنگی توزیع توانیر -کمیته عالی ارتقاء قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع

تهیه کننده:	تایید کننده:	تصویب کننده:
سید اعتضاد مقیمی	غلامرضا خوش خلق	همایون حائری
امضاء	امضاء	امضاء

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۲

۱- تعاریف و واژگان: ۳

۲-لزوم ایجاد سیستم اتصال زمین ۵

۳-انواع سیستم اتصال زمین ۷

٤-طراحی سیستم اتصال زمین ۸

٤-۱- اجزای سیستم اتصال زمین ۹

۵- استانداردها و آزمونهای هادیها (تسمه ها)، صفحه و اتصالات سیستم زمین ۱٦

٦- تهیه مشخصات فنی هادیها (تسمه‌ها)، صفحه و اتصالات سیستم زمین از نظر متالورژیکی به منظور کاهش سرقت در پست ها و خطوط توزیع ۱۷

٦-۱- هادی زمین ۱۸

٦-۲- الکترود زمین ۱۹

٦-۳- اتصالات زمین ۲۰

۷- روشهای نصب و بهره برداری از هادیها (تسمه ها) ، صفحه و اتصالات زمین از نظر متالورژیکی ۲۲

۸- دستورالعمل نصب ۲٤

۸-۱- دستورالعمل ۱: کاربرد صفحه زمین و سیم زمین ۲۵

۸-۲- دستورالعمل۲: کابرد صفحه زمین و تسمه ۲٦

۸-۳- دستورالعمل ۳: کاربرد الکترود (میله زمین) و سیم زمین ۲۸

۸-٤- دستورالعمل ٤: کاربرد میله زمین(الکترود) و تسمه ۳۰

عنوان — صفحه

۹- مثال های موردی ۳۱

۹-۱- زمین کویری ۳۱

۹-۲- زمین اسیدی ۳۲

۹-۳- زمین مرطوب و نمکی (آلوده به کلر) ۳۲

۱۰- پیشنهادات ۳۳

۱۱- منابع ۳٤

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ٤-١- انواع الکترود زمین ١١

شکل ٤-٢- کلمپ موقت اتصال زمین مخصوص هادی های روکش دار ١٤

شکل ٤-٣- چند نمونه کلمپ موقت زمین برای خطوط لخت ١٤

شکل٤-٤- اتصالات جوشی در سیستم زمین ١٤

شکل ٤-٥- چند نوع کلمپ زمین پیچ و مهره ای ١٥

شکل ٤-٦- هادی زمین با مقطع تسمه ١٦

شکل ٤-٧- کوپلینگ مناسب برای ایجاد اتصال بین دو تسمه ١٦

شکل ٤-٨- روبنده مناسب برای نصب تسمه روی تیرها ١٦

شکل ٨-١- فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین ٢٩

شکل ٨-٢- شماتیک مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط صفحه و سیم ٢٩

شکل ٨-٣- فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط صفحه وتسمه ٣١

شکل ٨-٤- شماتیک مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط صفحه وتسمه ٣١

شکل ٨-٥- فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط الکترود و سیم زمین ٣٢

شکل ٨-٦- شماتیک مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط الکترود و سیم زمین ٣٢

شکل ٨-٧- فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط الکترود و تسمه ٣٤

شکل ٨-٨- شماتیک مربوط به مراحل نصب سیستم.زمین توسط الکترود و تسمه ٣٤

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ٤-١- سازگاری مواد مورد استفاده در سیستم زمین برای اتصال مستقیم به یکدیگر ۱۵

جدول۵-۱ – آزمونهای مربوط به هادی، الکترود و اتصالات زمین..... ۱۶

جدول ٦-١- مشخصات فنی لازم برای هادی زمین برای پست با ظرفیت حداکثر ۲۰KV..... ۱۸

جدول ٦-٢- مشخصات فنی لازم برای الکترود زمین برای پست با ظرفیت حداکثر ۲۰KV ۱۹

پیشگفتار :

با توجه به تغییرات ساختاری در شرکتهای توزیع نیروی برق و اتخاذ سیاستهای برنامه ریزی ، کنترل و بهره‌برداری از شبکه‌های تحت پوشش ، این دستورالعمل از تاریخ ابلاغ جایگزین کلیه دستورالعمل‌های قبلی می‌گردد.

از تاریخ صدور و ابلاغ این دستورالعمل ، کلیه واحدهای ذیربط در امور بهره برداری موظف به اجرای دقیق مفاد این دستورالعمل می‌باشند. در این ارتباط رعایت نکات ذیل حائز اهمیت می باشد:

۱- کلیه دستورالعمل هایی که تا قبل از تاریخ ابلاغ این دستورالعمل صادر شده‌اند از درجه اعتبار ساقط و رعایت این دستورالعمل لازم الاجرا می‌باشد . در این ارتباط مدیران عامل شرکتهای توزیع نیروی برق باید در اسرع وقت نسبت به جمع آوری دستورالعمل‌های قبلی و جایگزینی دستورالعمل جدید در کلیه مراکز و واحدهای بهره برداری تحت پوشش اقدام نمایند.

۲- یک نسخه از این دستورالعمل باید بعنوان نسخه مرجع درمکانی مناسب و قابل دسترسی کلیه کارکنان در واحدهای ذیربط امور/ منطقه/ شهرستان/ ناحیه/قسمت/ اداره و ... بهره برداری شرکتهای توزیع نیروی برق نگهداری شود.

۳- مدیران ذیربط در واحدهای بهره برداری باید این دستورالعمل را در اختیار کلیه پرسنل مرتبط قرارداده و هرگونه اصلاحات و یا تغییرات بعدی را به کلیه کارکنان ابلاغ نمایند.

٤- با توجه به اهمیت و لزوم آشنائی، ضروریست تمام کارکنان مربوط در زمینه شناخت کامل این دستورالعمل دوره آموزشی لازم را طی نمایند .

٥- کلیه دستورالعمل های داخلی شرکتهای توزیع نیروی برق که توسط واحدهای ذیربط تهیه و ابلاغ می‌گردد نباید در هیچ شرایطی ناقض مفاد این دستورالعمل یا مانع از اجرای سریع و بدون قید و شرط این دستورالعمل گردد.

٦- مرجع رفع هر گونه ابهام در تعریف و تفسیر مفاد این دستورالعمل دفتر نظارت بر توزیع توانیر است و درصورت عدم رفع ابهام، کمیته‌ای خواهد بود که بنا به دستور شرکت توانیر تشکیل خواهد شد.

۱-۷- امپدانس حلقه اتصال به زمین: امپدانس حلقه جریان اتصالی زمین است که شروع و پایان آن نقطه اتصالی است و با ZS نشان داده می‌شود.

حلقه اتصالی زمین در سیستمهای مختلف به شرح ذیل است:

۱-۷-۱- سیستمهای TN: نقطه شروع (محل اتصالی) از بدنه دستگاه به ترتیب به سیم ارت، شینه نول، نقطه ترانس، سیم پیچ ترانس، سیم فاز اتصالی و نقطه اتصال به بدنه.

۱-۷-۲- سیستمهای TT , IT: نقطه شروع (محل اتصالی)، سیم اتصال به زمین، الکترود زمین، زمین، الکترود سیستم، شینه نول، نقطه صفر ترانس، سیم فاز اتصالی و نقطه اتصالی.

۱-۸- اتصالی: حالتی از مدار است که جریان در مسیری غیر عادی بدون اینکه پیش بینی شده باشد یا در نظر گرفته شود جاری می‌شود. این جریان امکان دارد از نقص در عایق بندی یا از بستهای به کار رفته بر روی عایق رساناها ناشی شود.

۱-۹- جریان اتصال به زمین (جریان اتصال کوتاه): اضافه جریانی است که در نتیجه بروز اتصالی با امپدانس قابل چشم پوشی بین هادیهای با پتاسیلهای مختلف در شرایط عادی کار برقرار شود.

۱-۱۰- جریان نشتی زمین: جریان جاری به زمین با رساناهای دیگری را که مدار الکتریکی آنها به زمین راه دارد جریان نشتی زمین می نامند. در صورت استفاده از خازن در مدارها امکان دارد جریان مذکور دارای مقدار جزء خازنی هم باشد.

۱-۱۱- سیم اتصال به زمین (سیم ارت): سیم حفاظتی را گویند که ترمینالی اصلی ارت تاسیسات را به الکترود ارت یا سایر قسمتهای اتصال به زمین وصل می‌کند.

۱-۱۲- سیم خنثی (نول): سیمی متصل به نقطه خنثی در سیستم (صفر زمین) که قادر است انرژی الکتریکی را انتقال دهد.

۱-۱۳- هادی حفاظتی (PE): در بعضی از اقدامات حفاظتی برای تامین ایمنی در برابر برق‌گرفتگی لازم است با استفاده از هادی حفاظتی قسمتهای زیر به همدیگر وصل شوند :

- بدنه های هادی

- قسمتهای هادی بیگانه
- ترمینال اصلی زمین
- الکترود زمین
- نقطه صفر ترانس

۱-۱٤- سیم مشترک ارت – نول (PEN): سیمی را که به طور مشترک هم کار سیم اتصال به زمین و هم کار سیم نول را انجام دهد، سیم PEN می نامند.

۱-۱۵- ترمینال اصلی اتصال به زمین (ارتینگ): ترمینال یا شینه‌ای را گویند که برای اتصال به سیمهای محافظ تهیه شده و سیمهای اتصال به زمین (ارت) یا هر وسیله‌ای که به عنوان اتصال به زمین (ارتینگ) به کار می رود به آن وصل می شوند.

۱-۱٦- قسمتهای برقدار: سیم یا قسمتهایی از رسانا را که برای استفاده‌های معمولی برقدار شده‌اند قسمتهای برقدار می‌نامند. سیم نول نیز شامل این قسمت‌ها است اما طبق قرارداد سیم PEN (سیم مشترک ارت – نول) به عنوان قسمت برقدار محسوب نمی‌شوند.

۲-لزوم ایجاد سیستم اتصال زمین

کاربرد سیستم‌های زمین دارای قدمتی برابر با کاربرد شبکه‌های برق است و همراه با آن توسعه یافته است. در متون علمی برای اتصال زمین از عبارات earth و ground استفاده می‌شود که همگی به یک معنا است. 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 می‌شود. 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 می‌مانند 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 صاعقه‌های ناشی از پدیده‌های طبیعی فراهم می‌کند و بنابراین تجهیزات حساس و پرسنل در مقابل آن‌ها دچار آسیب نخواهند شد [۱].

بجز موارد استثناء، تمامی شبکه‌ها و سیستم های برقی نیازمند اتصال زمین هستند و به نوعی اتصال زمین می‌شوند.

از آنجایی که لایه عایق هادی‌های حامل جریان در اثر پیرشدگی، متغیرهای خارجی یا بواسطه تنش‌های حرارتی یا الکتریکی دچار تخریب می‌شوند، باید محل تخریب شناسایی شده و در صورت امکان تعمیر شود. در صورتی که 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 S اتصال زمین شود. معمولاً قطبی که به زمین متصل می شود، خنثی یا خط[1] نامیده می شود. در این شرایط هنگامی که در عایق‌ها تخریب اتفاق افتد، جریانی که از این طریق ایجاد می‌شود توسط مسیر اتصال زمین به منبع باز می‌گردد و با استفاده از تجهیزات حفاظتی شناسایی می‌شود.

بنابراین یکی از اهداف مهم اتصال زمین این است که سبب ساده شدن شناسایی شکست در سیستم الکتریکی می‌شود. 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 شبکه‌های بزرگ مانند شبکه‌های برق منطقه، باید زمین مرجع در محل مصرف کننده نیز وجود داشته باشد. در این شبکه‌ها، در صورت تخریب شدن عایق‌ها، اتصال زمین به صورت اتوماتیک ایجاد

---

1 - Line

نمی‌شود 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 می‌گردد.

۳-انواع سیستم اتصال زمین

طبق استاندارد BS 7671 ، پنج نوع سیستم اتصال به زمین وجود دارد که عبارتند از: TN-S، TT، TN-C-S، TN-C و IT. هریک از حروف مخفف کلمه‌ای است و معنی مشخصی دارد. در خصوص این حروف داریم [۲]:

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 سیستم‌های TN-S, TN-C-S یا TT برای یک شبکه ولتاژ پایین بکار می‌رود، اهمیت ندارد؛ ولی همه آنها باید با قوانین و مقررات رایج و نکات ایمنی مطابقت داشته باشد. در سیستم TN-C برای کاربرد در ولتاژ پایین باید تمهیداتی اضافی در نظر گرفته شود ، همچنین سیستم IT نیز برای شبکه‌های ولتاژ پایین برخی غیرمجاز است.. در ادامه به بررسی اجمالی هریک از این سیستم‌ها می‌پردازیم.

در سیستم اتصال به زمین TN-S، نول منبع انرژی در یک نقطه در نزدیکی منبع به زمین متصل می‌شود و ترمینال اتصال زمین مشتری به غلاف فلزی یا آرموراد کابل سرویس توزیع وصل می‌شود.

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 چندگانه (PME) نامیده می‌شود. در این‌آرایش، همچنین از هادی نول توزیع‌کننده برای بازگرداندن جریان‌های نقصانی زمین به اتصالات ایمنی مشتری استفاده می‌شود. به این منظور، توزیع‌کننده یک ترمینال اتصال به زمین برای مشتری در نظر می‌گیرد که هادی نول ورودی به آن متصل می‌شود.

در سیستم TT برخلاف نمونه قبلی، وسیله‌ای توسط توزیع‌کننده برای اتصال به زمین مشتری فراهم نشده است و اتصال به زمین باید توسط مشتری با نصب یک الکترود زمین در محدوده تجهیزات ایجاد گردد.

هریک از انواع شبکه‌های زمین دارای مزایا و معایبی هستند که با توجه به شرایط و خواسته‌ها 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 می‌شود، اما در سازه، نول و زمین از هم مجزا می‌شود (مطابق سیستم TN-C-S). درآرژانتین و فرانسه از سیستم TT و در استرالیا از سیستم TN-C-S استفاده می‌شود و قانوناً تمامی مشتریان باید در خانه خود اتصال زمین داشته باشند. در ژاپن در اغلب تجهیزات خود از سیستم TT استفاده می کنند. در بیشتر شبکه های مدرن اروپایی از سیستم TN-C-S استفاده می‌شود و به این صورت است که تا نزدیک‌ترین 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 می‌شوند[۳].

٤-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 خورندگی و هدایت الکتریکی
- انتخاب جنس الکترود زمین با توجه به مشخصات خاک منطقه

- تعیین جنس سیم زمین و سایر اتصالات با توجه به جنس الکترود زمین

در خصوص سیستم‌های اتصال زمین، دو دسته استاندارد موجود است. دسته اول، استانداردهایی که به طراحی ملزومات یک سیستم اتصال زمین می پردازد و دسته دوم استانداردهایی است که به کنترل کیفیت سیستم‌های زمین و انجام آزمایش‌های تضمین کیفیت می‌پردازد.

یکی از مهمترین استانداردهایی‌که در خصوص سیستم های اتصال زمین وجود دارد، استاندارد BS7430 است که به بررسی کیفیت و همچنین تعیین مشخصات فنی لازم برای سیستم‌های اتصال زمین می‌پردازد. در این استاندارد جنس پیشنهادی برای هریک از اجزای شبکه و همچنین سطح مقطع پیشنهادی آنها ذکر شده است. علاوه براین نکاتی در خصوص نوع خاک، جنس مجاز برای الکترود زمین و همچنین سایر متغیرهای مربوط به جنس ذکر شده است.

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

در ادامه، ابتدا اجزای سیستم اتصال زمین و عملکرد آن ذکر شده و سپس به بررسی نحوه محاسبات و تعیین مشخصات مورد نیاز پرداخته می‌شود و در آخر آزمون های استاندارد ذکر می‌گردد.

٤-١- اجزای سیستم اتصال زمین

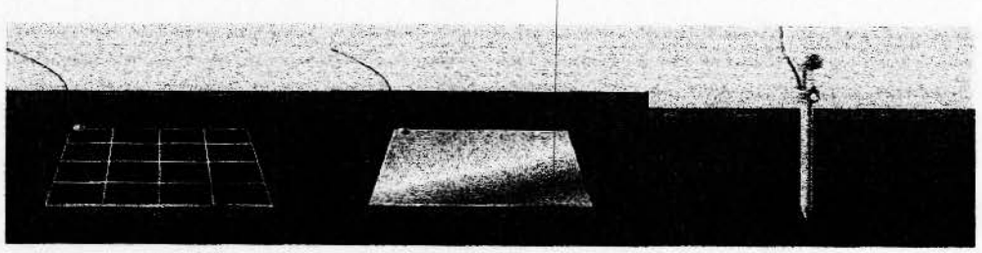
به طور کلی، مهمترین اجزای سیستم زمین عبارتند از:

- هادی زمین،
- کلمپ اتصال بین هادی زمین و الکترود زمین
- الکترود زمین

نوع الکترود زمین با توجه به طراحی و خواسته‌های شبکه تعیین می‌شود. الکترودها انواع مختلفی دارند که عبارتست از: میله‌ای، صفحه‌ای و شبکه‌ای (شکل ۱). در نوع میله‌ای از یک مقطع معمولاً گرد

استفاده می‌شود، ولی سایر مقاطع نیز قابل کاربرد است که از آن جمله می‌توان به چهارگوش، لوله‌ای، شش گوش و ... اشاره کرد.

در نوع صفحه‌ای، از یک صفحه با ضخامت مشخص استفاده می‌شود و هادی زمین توسط کلمپ مناسب به آن متصل می‌گردد. در این روش سطح زیادی با خاک در تماس است، که در نتیجه عملکرد مناسبی وجود دارد. در نوع شبکه‌ای نیز معمولاً هادی‌هایی با مشخصات معین به صورت شبکه‌ای به هم متصل شده و در زیر خاک دفن می‌شوند. انتخاب نوع با توجه به طراحی و شرایط عملکردی است.



شکل ٤-١- انواع الکترود زمین: (a) میله‌ای، (b) صفحه‌ای، (c) شبکه‌ای

جنس الکترودها می‌تواند از فولاد زنگ نزن آستنیتی، مس، فولاد با غلاف مسی و یا فولاد گالوانیزه باشد. انتخاب جنس با توجه به ترکیب خاک و شرایط طراحی انجام می‌شود.

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 می‌بایست 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 الکترود زمین و ... موثر هستند، در نظر گرفته شوند. عمده ترین متغیرهای این سیستم شامل اندازه و هندسه هادی زمین، مقاومت خاکی که الکترود در آن دفن شده و اتصالات

شبکه به سیستم زمین است. علاوه بر این‌ها، باید چگالی جریان در سطح الکترود زمین و همچنین پتانسیل زمین در مجاورت الکترود در نظر گرفته شود [٤].

در سیستم زمین، مقاومت کل شامل موارد زیر است:

- مقاومت هادی زمین
- مقاومت بین الکترود زمین و اتصالات
- مقاومت الکترود زمین
- مقاومت بین الکترود و زمین
- مقاومت زمین

مقاومت هادی، الکترود و اتصال بین هادی و الکترود بسیار ناچیز است، زیرا معمولاً از جنس مواد با رسانایی بالا مانند مس و فولاد استفاده می‌شود. مقاومت فصل مشترک الکترود با زمین نیز طبق تحقیقات، قابل چشم پوشی است؛ ولی در صورتی که عواملی مانند گریس، رنگ، خوردگی و ... وجود داشته باشد، در میزان این مقاومت تأثیرگذار است. در صورت وقوع خوردگی، مقاومت بین الکترود و زمین افزایش یافته و عملکرد آن دچار مشکل می‌شود، 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 می‌گیرد. اگرچه 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 تأثیر چشمگیری دارد.

مقاومت خاک به متغیرهای زیادی بستگی دارد که مهمترین آنها عبارتند از [۱] :

- غلظت نمک های موجود در خاک
- میزان رطوبت
- دما

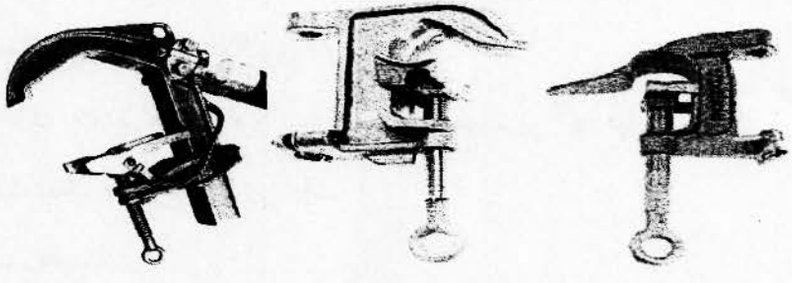
- میزان فشردگی

مقالات زیادی در این خصوص نوشته شده است که با استفاده از آنها می توان به محاسبه مقاومت خاک پرداخت. برای محاسبه مقاومت، در IEEE 142 اطلاعات مناسبی ارائه شده است که ابزار مناسبی برای طراحی سیستم زمین می‌باشد. علاوه بر این، تجهیزات فراوانی برای اندازه‌گیری مستقیم مقاومت خاک وجود دارد که در مراکز تجاری موجود است.

کلمپ زمین، یراقی است که از آن برای اتصال هادی زمین به الکترود، اتصال هادی‌های زمین به یکدیگر و یا اتصال هادی به بدنه ترانس بکار می رود؛ ولی عمده‌ترین کاربرد آن، اتصال هادی به الکترود زمین است. به طورکلی، کلمپ های زمین به دو دسته موقت و دائمی تقسیم می‌شود.

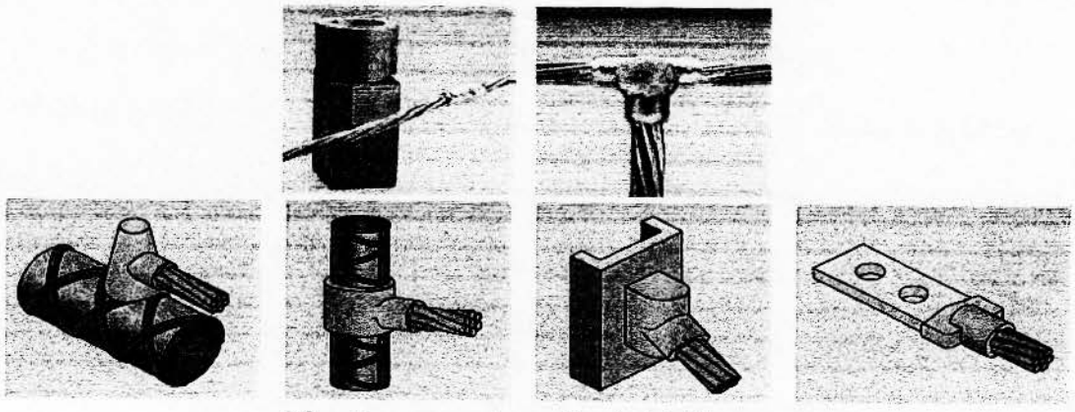
کلمپ نوع موقت در شرایطی به کار می‌رود که عملیات روی شبکه انجام شود. در این حالت برای حفاظت پرسنل در مقابل بروز خطرات احتمالی، کلمپ های اتصال زمین موقت بکار می‌رود. نمونه‌هایی از این مورد در شکل ۲ و ۳ قابل مشاهده است.

شکل٤- ۲- کلیپ موقت اتصال زمین مخصوص هادی های روکش دار [٥]

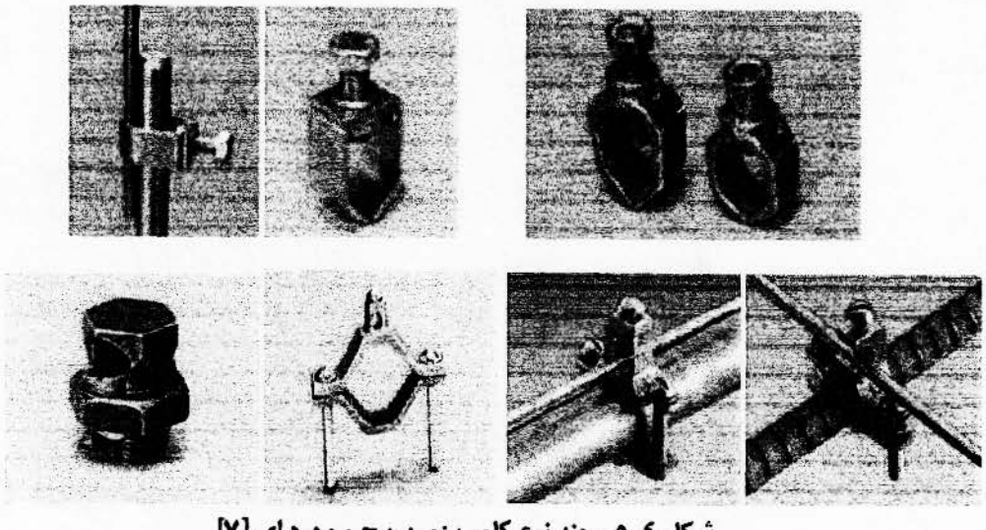


شکل٤- ۳- چند نمونه کلمپ موقت زمین برای خطوط لخت [٦]

کلمپ های اتصال زمین دائمی نیز به دو دسته جوشی و پیچ و مهره‌ای تقسیم می‌شوند که نوع جوشی دارای کیفیت و شرایط عملکرد مناسب‌تری است (شکل ٤ و ٥). در نوع جوشی، از یک قالب و مقداری پودر جوش ترمیت استفاده می‌شود و تنها با مشتعل کردن پودر جوش، عملیات آغاز می‌شود.



شکل٤-٤- اتصالات جوشی در سیستم زمین [۷]

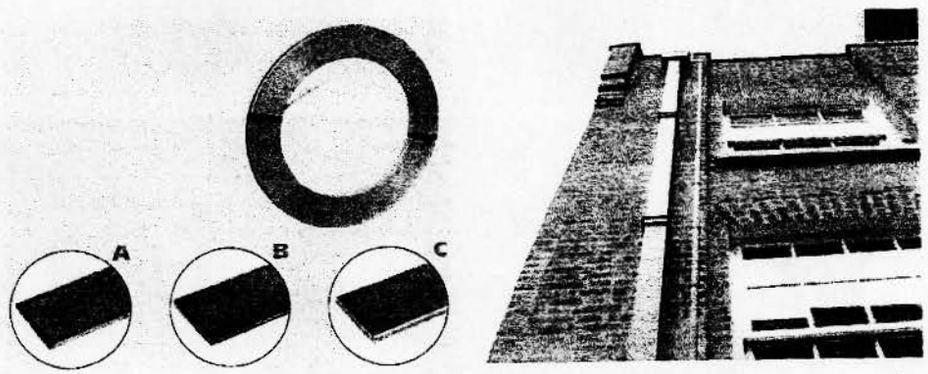


شکل ٤-٥- چند نوع کلمپ زمین پیچ و مهره ای [۷]

کلمپ‌های زمین پیچو مهره‌ای، به دلیل کم هزینه بودن دارای کاربرد بیشتری است. این کلمپ دارای اشکال مختلفی است که با توجه به شرایط عملکردی انتخاب می‌شود و رایج ترین نوع آن در پایین شکل ٥ 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 نیز باید بالا باشد تا در مقابل عبور جریان شکست، تحمل داشته و مانع از عبور مناسب جریان نشود. از آنجایی که در اغلب موارد، کلمپ زمین با خاک در تماس است، باید مقاومت به خوردگی مناسبی نیز داشته باشد. با توجه به این موارد، جنس کلمپ زمین، برنزی ویا فولاد زنگ نزن انتخاب می‌شود.

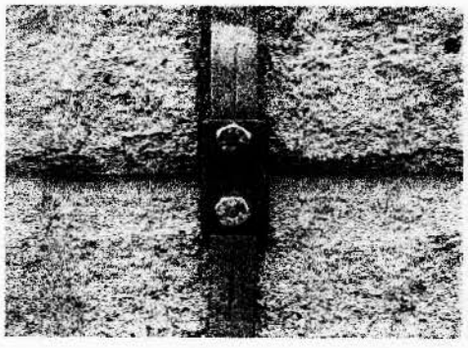
هادی زمین، یکی دیگر از سیستم زمین است که وظیفه آن انتقال جریان شکست تا الکترود است. هادی های زمین دارای انواع متنوعی بوده و از جنس های مختلف ساخته می‌شوند. هادی های زمین معمولاً به صورت کابل، تسمه، لوله، میلگرد و ... هستند ولی رایج‌ترین نوع آن به دلیل سادگی عملکرد و شرایط نصب، نوع تسمه‌ای (شکل ٤-٦) و کابلی است. جنس هادی نیز با توجه به شرایط محیطی و جنس الکترود انتخاب می‌شود و می‌تواند از آلومینیوم، مس، فولاد، فولاد زنگ نزن و یا گالوانیزه انتخاب شود. جنس و ابعاد هادی باید به گونه‌ای باشد که تحمل انتقال جریان شکست به الکترود را داشته باشد و از طرفی مقاومت به خوردگی مناسبی در مقابل عوامل محیطی منطقه داشته باشد.

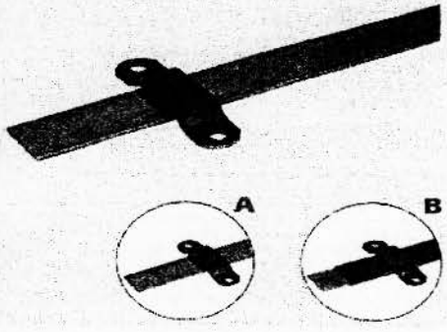


شکل٤- ٦- هادی زمین با مقطع تسمه و با جنس (A) گالوانیزه، (B)مس و (C) فولادزنگ نزن [٨]

جنس کوپلینگ و روبنده برای تسمه‌ها با توجه به جنس تسمه انتخاب می‌شود. برای تسمه‌های مسی، معمولاً از روبنده وکوپلینگ برنزی استفاده می‌شود. یکی از اشتباهاتی که در سیستم زمین‌های جدید که به تازگی در ایران به کار می‌رود، نصب تسمه‌های گالوانیزه روی تیر با میخ های فولادی

است. در این شرایط میخ‌های فولادی به شدت خورده شده و تسمه از تیر جدا می‌شود و در نهایت اتصال زمین قطع می‌شود. جهت نصب تسمه های گالوانیزه روی تیر و یا کوپلینگ دو تسمه باید مطابق شکلهای ٤-٧ و ٤-٨ اقدام گردد. لازم بذکر است که جنس روبنده و کوپلینگ باید با جنس تسمه متناسب باشد.





شکل٤- ٧- کوپلینگ مناسب برای ایجاد اتصال بین دو تسمه شکل ٤-٨- روبنده مناسب برای نصب تسمه روی تیرها

برای هادی زمین بکار بردن مس، مس با پوشش قلع، آلومینیوم و آلیاژهای آن، فولاد گالوانیزه و فولاد زنگ نزن مجاز است. برای این قطعه، ابعاد باید به گونه‌ای 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 ٤-١ دارای سازگاری باشند.

جدول٤- ١- سازگاری مواد مورد استفاده در سیستم زمین برای اتصال مستقیم به یکدیگر

جنس	الکترود یا سایر اجزای سیستم با مساحت کوچکتر			
	فولاد	فولاد گالوانیزه	مس	مس با روکش قلع
فولاد گالوانیزه	√	√	√	√
فولاد در بتن	×	×	√	√
فولاد گالوانیزه دربتن	√	√	√	√
سرب	√	√	√	√

۵- استانداردها و آزمونهای هادیها (تسمه ها)، صفحه و اتصالات سیستم زمین

از جمله استانداردهای موجود در زمینه یراق‌آلات زمین می‌توان به استانداردهای NEMA GR1، BS 7430، BS 62561، ANSI C135.30 و IEEE 837 اشاره کرد. در جدول ۵-۱ به طور خلاصه اطلاعاتی در رابطه با استانداردهای مرتبط با اجزای سیستم زمین (هادی، الکترود و اتصالات)، آزمونها و خواسته های استاندارد از هریک از این اجزا آورده شده است.

جدول۵-۱ – آزمونهای مربوط به هادی، الکترود و اتصالات زمین

	اجزای سیستم زمین		استاندارد	آزمون ها	خواسته ها
۱	هادی	کابل	BS62651-2	۱- بررسی ظاهری	مشخصات ابعادی، ظاهری، جنس، نشانه گذاری و ... باید با بندهای۴- ۳ و ۵-۵ استاندارد مطابقت داشته باشد.
				۲- ضخامت پوشش	پوشش گالوانیزه باید یکنواخت، پیوسته و فاقد هرگونه عیب باشدو در مقاطع گرد باید حداقل ضخامت $350 g/m^2$ و برای تسمه‌ها $500 g/m^2$ باشد و باید با بند۱-۲-۵ استاندارد مطابقت داشته‌باشد.
		تسمه		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 بند۲-۲-۵ استاندارد مطابقت داشته باشد.
				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 بند۳-۲-۵ استاندارد مطابقت داشته باشد.
		میله		۵- کشش	نمونه باید مطابق شرایط استاندارد تحت آزمون کشش قرار گیرد و خواسته‌های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۵-۲-۴ را برآورده کند.
				۶- مقاومت الکتریکی	مقاومت الکتریکی ویژه نمونه باید مطابق با جداول بند ۵-۲-۵ استاندارد باشد.
۲	الکترود	کابل	BS62651-2 & NEMAGR1	۱- بررسی ظاهری	مشخصات ابعادی، ظاهری، جنس، نشانه گذاری و ... باید با خواسته‌های ذکر شده در استاندارد مطابق بخش ۴-۴ ، جدول ۳ باشد.
				۲- ضخامت پوشش	پوشش گالوانیزه باید یکنواخت، پیوسته و فاقد هرگونه عیب و حداقل $350 g/m2$ باشد و خواسته‌های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۵-۲-۲ را برآورده کند.
				۳- چسبندگی و خمش	نمونه تا زاویه مشخص و با شعاع معین خم می شود. پوشش نباید

	اجزای سیستم زمین		استاندارد	آزمون ها	خواسته ها
		تسمه		پوشش	دچار شکست، ترک، بریدگی و ... شود و خواسته‌های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۵-۲-۳ 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 خواسته‌های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۵-۲-۴ را برآورده کند.
				۵- استحکام کششی	نمونه باید مطابق شرایط استاندارد تحت آزمون کشش قرار گیرد و خواسته‌های ذکر شده در استاندارد مطابق با جدول ۴ بخش ۴-۴ را برآورده کند.
		صفحه		۶-نسبت تسلیم/کشش	نسبت تسلیم/کشش نمونه باید مطابق شرایط استاندارد انجام شده و خواسته‌های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۵-۲-۵ را برآورده کند.
				۷- مقاومت ویژه	مقاومت الکتریکی ویژه نمونه باید مطابق با استاندارد باشد و خواسته‌های ذکر شده در استاندارد مطابق با جدول ۴ بخش ۴-۴ را برآورده کند.
				۸- راستی	میزان تابیدگی میله‌های زمین باید محاسبه شده و حداکثر ۰/۰۱in/ft باشد و خواسته‌های ذکر شده در استاندارد NEMA GR1 بند ۲- ۱۰ را برآورده کند.
۳	اتصالات		BS62651-1 & NEMAGR1	۱- بررسی ظاهری	مشخصات ابعادی، ظاهری، جنس، نشانه گذاری و ... باید با استاندارد مطابقت داشته باشد و خواسته‌های ذکر شده در استاندارد مطابق بند ۵-۶ و ۶-۲ را برآورده کند.
				۲-مکانیک استاتیک	نمونه باید تحت نیروی ۹۰۰N به مدت یک دقیقه قرار گرفته و حداکثر ۱mm لغزش کند و به هادی و اتصال آسیب وارد نشود و خواسته‌های ذکر شده در استانداردمطابق 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.

٦- تهیه مشخصات فنی هادیها (تسمه‌ها)، صفحه و اتصالات سیستم زمین از نظر متالورژیکی به منظور کاهش سرقت در پست ها و خطوط توزیع

مشخصات فنی مورد نیاز برای هریک از اجزای سیستم زمین، در استانداردهای ذکرشده در بخش قبل، آمده است. با این حال در این بخش به مهم‌ترین خواسته‌های هریک از این استانداردها اشاره

می‌گردد. اجزای انتخاب شده و مشخصات ذکر شده، برای ترانسی با ظرفیت حداکثر ۲۰KV محاسبه شده است. در این سیستم، جریان شکست عبوری در حدود ۱۰KA محاسبه شده است.

٦-۱- هادی زمین**

طبق استاندارد، هادی زمین می‌تواند از جنس فولاد، مس، آلومینیوم و یا آلیاژهای آنها باشد. مشخصات ابعادی و جنس مجاز، خواص الکتریکی و مکانیکی برای این قطعه در جدول ٦-۱ ذکر شده است. این قطعات باید کلیه خواسته های استاندارد BS 62651-2 را برآورده کند. در مواردی که از تسمه‌های گالوانیزه استفاده می‌شود، ضخامت پوشش روی باید حداقل ۵۰۰g/cm^2 باشد و در صورت کاربرد کابل فولادی، ۳۵۰g/cm^2 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 ۲۰KV، هادی زمین با مشخصات جدول ٦-۱- پیشنهاد می‌شود:

جدول ٦-۱- مشخصات فنی لازم برای هادی زمین برای پست با سطح ولتاژ حداکثر ۲۰KV

جنس	هندسه	مساحت (mm^2)	مقاومت الکتریکی (μΩ.m)	استحکام کششی (N/mm^2)	ضخامت پوشش (μm)	توضیحات
مس خالص	کابل	≥ ۵۰	≤ ۰/۰۱۹	۲۰۰ تا ۴۵۰	-	قطر هر رشته حداقل ۱/۷ mm
	تسمه				-	ضخامت حداقل ۲ mm
	میله				-	قطر حداقل ۸ mm
فولاد با روکش مس	تسمه	≥ ۱۵۰	≤ ۰/۱۵	۲۹۰ تا ۵۱۰	≤ ۷۰	ضخامت حداقل ۲/۵ mm
	میله				≤ ۷۰	قطر حداقل ۸ mm
فولاد گالوانیزه	کابل	≥ ۱۵۰	≤ ۰/۱۵	۲۹۰ تا ۵۱۰	≤ ۴۵	قطر هر رشته حداقل ۱/۷mm
	تسمه				≤ ۶۵	ضخامت حداقل ۲/۵ mm
	میله				≤ ۴۵	قطر حداقل ۱۵ mm
آلومینیوم	کابل	≥ ۷۰	≤ ۰/۰۳۶	۱۲۰ تا ۲۸۰	-	قطر هر رشته حداقل ۱/۶۳mm
	تسمه				-	ضخامت حداقل ۳mm
	میله				-	قطر حداقل ۱۵mm
فولاد زنگ نزن	کابل	≥ ۱۵۰	≤ ۰/۸	۴۰۰ تا ۷۷۰	-	قطر هر رشته حداقل ۱/۷mm
	تسمه				-	ضخامت حداقل ۲mm
	میله				-	قطر حداقل ۱۵mm

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

٦-٢- الکترود زمین

الکترود زمین دارای انواع مختلفی است که با توجه به شرایط خاک و امکانات موجود انتخاب می‌شود. انواع مقاطع و جنس‌های مجاز برای الکترود زمین، خواص الکتریکی و مکانیکی در جدول ٦-٢ 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 می‌شود. در الکترودهای گالوانیزه، ضخامت پوشش باید حداقل $350 g/cm^2$ باشد و در مواردی که از پوشش مس استفاده می‌شود، ضخامت پوشش باید با جدول ٦-٢ مطابقت داشته باشد.

جدول ٦-٢- مشخصات فنی لازم برای الکترود زمین برای پست با سطح ولتاژ حداکثر ۲۰KV

جنس	هندسه	مساحت (mm^2)	مقاومت الکتریکی ($\mu\Omega.m$)	استحکام کششی (N/mm^2)	ضخامت پوشش (μm)	توضیحات
مس خالص	کابل	≥۵۰	≤۰/۰۱۹	۲۰۰ تا ٤۵۰	-	قطر هر رشته حداقل ۱/۷ mm
	تسمه				-	ضخامت حداقل ۲ mm
	میله	≥۵۰			-	قطر ۸ یا ۱۵mm بسته به خاک
	صفحه	≥۲۵۰۰			-	ابعاد ۵۰۰mm×۵۰۰mm وضخامت ۱/۵mm
فولاد با روکش مس	تسمه	≥۷۸	≤۰/۲۵	۲۹۰ تا ۵۱۰	≤۲۵۰	ضخامت حداقل ۲/۵m
	میله				≤۲۵۰	قطر حداقل ۸m
فولادگالوانیزه	کابل	≥۱۵۰	≤۰/۲۵	۲۹۰ تا ۵۱۰	≤٤۵	قطر هر رشته حداقل ۱/۷m
	تسمه				≤٤۵	ضخامت حداقل ۲/۵m
	میله				≤٤۵	قطر حداقل ۱۵m
	صفحه	≥۲۵۰۰	≤۰/۲۵	۲۹۰ تا ۵۱۰	≤٤۵	ابعاد ۵۰۰mm×۵۰۰mm وضخامت ۳mm
فولاد زنگ نزن	تسمه	≥۷۸	≤۰/۸	٤۰۰ تا ۷۷۰	-	ضخامت حداقل ۲m
	میله				-	قطر ۱۰ یا ۱۵mبسته به خاک

طراحی های مختلفی برای الکترودهای زمین وجود دارد که از آن جمله در استاندارد ASTM 153-82 آمده است. دراین طراحی دیگر نیازی به کلمپ زمین نبوده و هادی به صورت مستقیم به سیم زمین متصل می‌گردد.

یکی دیگر از روش های مناسب برای اجرای سیستم زمین، کاربرد کابل فولادی لخت، بعنوان الکترود زمین است. در این شرایط باید چاه زمین حفر شده و کابل حلقه شده در آن دفن شود.

٦-٣- اتصالات زمین

اتصالات سیستم زمین، به دلیل کوچکی نسبت به سایر اجزا، محل‌های تمرکز جریان و دما هستندو 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 می‌شوند. در خصوص این اتصالات، استانداردهای سختگیرانه‌ای وجود دارد که در بخش قبلی به تعدادی از آنها اشاره شد. اتصالات سیستم زمین باید کلیه خواسته‌های استاندارد BS 62651-1 را برآورده کند.

به طور کلی، معمولاً برای ساخت کلمپ‌های زمین از فولادهای زنگ نزن و یا برنزها استفاده می‌شود زیرا علاوه بر مقاومت به خوردگی بالا، دارای استحکام مکانیکی مناسبی می‌باشند. بعنوان مثال، در کلمپ های زمین، کلمپ باید تا گشتاور ۲۰۰N.m محکم شده و دچار هیچ تخریبی نشود.

اتصالاتی که در دستورالعمل‌های نصب پیشنهادی این پژوهش پیشنهاد شده، کابلشو و کانکتور زمین (شکافدار و پیچی) است. این قطعات باید تحمل جریانی تا حدود ۱۰kA 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 زیر خاک اتصال داشته باشند، باید پوشش قلع داده شوند. به طور کلی مهمترین مشخصات فنی کلمپ زمین عبارتند از:

۱- در صورت استفاده از آلیاژهای مس، کلمپ باید حداقل محتوی ۸۰٪ مس باشد. پیچ و مهره‌ها نیز باید از جنس فولاد زنگ نزن یا برنز باشد. کاربرد فولاد زنگ نزن آستنیتی نیز برای ساخت کلمپ مجاز است.

۲- کلمپ باید قابلیت محکم شدن تا گشتاور ٤۰N.m را داشته باشد و در این گشتاور دچار هیچ گونه تخریبی نشود.

۳- مقاومت الکتریکی کلمپ در اتصال به میله زمین نباید از ۰/۳mΩ بیشتر باشد و یا حداقل ۹۵٪ هدایت میله زمین باشد.

٤- استحکام مکانیکی کلمپ باید حداقل $۳۸۰N/mm^2$ 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 وآلیاژهای نیز مجاز است. در صورتی که از آلومینیوم استفاده شود، کاربرد پوشش قلع الزامی است. کابلشوهای بکار رفته در سیستم زمین باید با استاندارد IEC 61238-1 و IEC 61238-2 یا ANSI C 119.4 مطابقت داشته باشد. به طور کلی مهمترین مشخصات فنی کابلشوهای بکار رفته عبارتند از:

۱- بدنه کابلشو باید حداقل محتوی ۸۵٪ مس باشد و حداکثر مقدار مجاز برای روی ۱۰٪ است.

۲- 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.

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

٤- در صورت دفن شدن کابلشو در زیر خاک، پیچ و مهره‌ها باید از جنس فولاد آستنیتی با حداقل ۱۸٪ کروم یا ازجنس برنز باشد. کاربرد واشرهای فنری در نصب لازم است.

۷- روشهای نصب و بهره برداری از هادیها (تسمه ها) ، صفحه و اتصالات زمین از نظر متالورژیکی

پست های الکتریکی یکی از نقاط بحرانی در شبکه‌های توزیع هستند. عملکرد ایمن یک پست الکتریکی وابسته به طراحی مناسب و نصب صحیح سیستم زمین است. سیستم زمین مناسب، مسیری با مقاومت کافی برای تخلیه جریان شکست تأمین می‌کند. در صورت باقی ماندن جریان شکست در سیستم به مدت طولانی، مشکلات زیادی از جمله ناپایداری سیستم ایجاد می‌شود. بنابراین تخلیه سریع منجر به افزایش قابلیت اطمینان شبکه می‌شود و ایمنی افزایش می‌یابد. عدم تخلیه جریان شکست در شبکه منجر به بالاتررفتن پتانسیل اجزای فلزی در مقایسه با پتانسیل زمین می‌شود و در نتیجه احتمال بروز خطر برای انسان و سایر جانوران وجود دارد [۱].

در قدم اول، ابعاد هادی‌های سیستم زمین باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا در صورت عبور جریان شکست، ذوب و یا گداخته نشود. ابعاد هادی‌ها از دوجنبه باید محاسبه شود: اول میزان جریانی که از سیستم زمین عبور می‌کند و دوم مدت زمان استمرار جریان در مدتی که شکست اتفاق می‌افتد. میزان جریان شکست وابسته به مقاومت شبکه زمین است و زمان استمرار آن نیز با توجه به طراحی رله‌ها و مدار قطع کن شبکه حفاظتی تعیین می‌شود. طبق پیشنهاد IEEE 80، معمولاً زمان ۳ ثانیه برای طراحی پست‌های کوچک انتخاب می‌شود.

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 هادی‌ها باشند تا در هنگام عبور جریان شکست، بیش از حد گرم نشوند. مهمترین مواردی که در طراحی اتصالات باید مدنظر 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 هریک 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 می‌یابد که منجر به گرم شدن بیش از حد می‌گردد و در نهایت به طور کامل تخریب شده و از بین می‌رود.

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 منبع 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 تأثیرگذار است. دو برابر کردن طول میله زمین سبب کاهش ٤٥٪ مقاومت، در خاک‌های یکنواخت می‌شود. معمولاً، شرایط خاک یکنواخت نیست و اندازه‌گیری دقیق مقاومت خاک با ابزارهای مناسب ضروری است.

الکترودهایی مناسب هستند که به میزان حداقل ۲m از یکدیگر فاصله داشته باشند. هر الکترود زمین در اطراف خود یک میدان الکترومغناطیسی ایجاد می‌کند و در صورت نزدیک بودن بیش از حد دو الکترود به یکدیگر، این میدانها با یکدیگر تداخل می‌کند. علاوه بر این باید توجه شود که با افزایش تعداد میله‌ها، کاهش مقاومت به همان نسبت نخواهد بود؛ بعنوان مثال، مقاومت ۲۰ میله زمین، یک بیستم یک میله زمین نیست و فقط یک دهم آن است. بنابر دلایل اقتصادی، معمولاً فاصله بین میله‌ها حداکثر ٦m درنظر گرفته می‌شود. 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 پایین تر باشد، اتصال زمین مناسب‌تری فراهم می‌شود. 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 می‌یابد. یکی از روش‌های کاهش تأثیرات آب و هوایی، عمیق کردن چاه میله زمین است. در این صورت اثرات محیطی کاهش می‌یابد. روش دیگر که بسیار مورد توجه قرار گرفته، اضافه کردن مواد شیمیایی جاذب الرطوبه به خاک است [۱]. در ادامه این بخش، ابتدا مشخصات فنی مناسب برای یراق‌آلات موجود در این زمینه ذکر شده و سپس چند نمونه دستورالعمل رایج در سایر کشورها بیان می‌شود. در پایان، دستورالعمل پیشنهادی برای سیستم برق ایران ذکر خواهد شد.

۸- دستورالعمل نصب

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

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

- اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی ویژه خاک منطقه: در این مرحله با توجه به استاندارد BS 7430، مقاومت الکتریکی ویژه خاک تعیین شده و ثبت می‌گردد.
- حفر چاه زمین: در صورتی که مقاومت ویژه خاک از ۳۰Ωm بیشتر باشد، باید چاهی به عمق حداقل ۳/۵m حفر شده تا به خاک مرطوب برسیم.
- انتخاب الکترود زمین: ابعاد و تعداد میله‌های 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 روش‌ها، باید در ابتدا مقاومت الکتریکی ویژه خاک منطقه و تعداد الکترودهای لازم تعیین شود تا مقاومت الکتریکی مجموع الکترودها ۲Ω شود. در موارد مشخص و با موافقت مهندس ناظر، مقاومت مجموع الکترودها تا ۷Ω نیز مجاز است.

۸-۱- دستورالعمل ۱: کاربرد صفحه زمین و سیم زمین

۱- به تعداد الکترودهای لازم چاه هایی حفر شده تا به خاک مرطوب دسترسی حاصل شود. در اغلب موارد، تنها با حفر یک چاه، شرایط مدنظر فراهم می‌شود.

۲- طول مناسب از سیم زمین بریده شده و محل‌های 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.

۳- سیم زمین در زیر برق‌گیرها و سایر محل‌های مورد نیاز نصب شده و تا پایین تیر و محل نصب الکترودها کشیده شود. سیم زمین باید با استفاده از تجهیزات مناسبی، مانند بست‌های کمربندی به تیر متصل شود. نباید بین سیم زمین و تجهیزات نصب روی تیر اتصال الکتریکی برقرار شود.

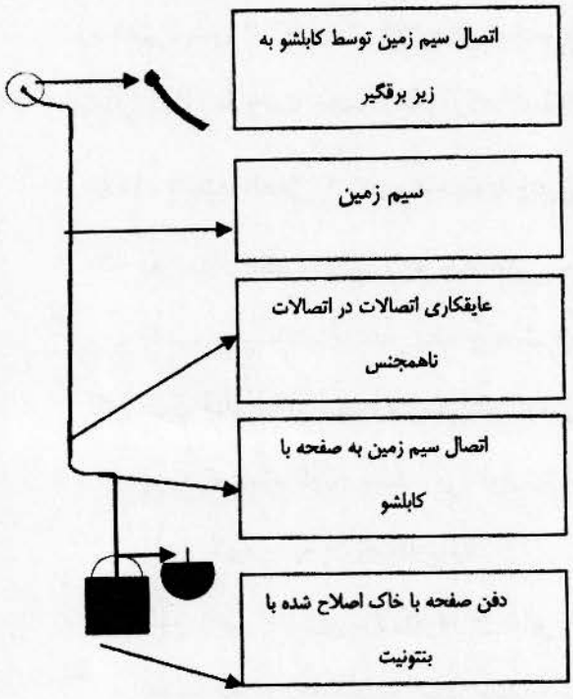
۴- صفحه زمین با استفاده از یک کابلشو به سیم زمین متصل شده و به صورت عمودی در چاه قرار گیرد.

۵- در صورت استفاده از بنتونیت، خاک چاه آماده سازی شود. به این منظور برای مخلوط کردن خاک در یک متر اول چاه از ۵ کیسه بنتونیت و برای هر متر بعد از ۲ کیسه بنتونیت استفاده می‌شود (هرکیسه بنتونیت ۳۰kg است).

۶- در صورتی که جنس الکترود از مس یا روکش مس بوده و سیم زمین از جنس فولاد باشد، باید بخشهایی از سیم زمین که در زیر خاک قرار می‌گیرد، توسط عایق مناسبی مانند قیر،

عایقکاری شود تا از خوردگی گالوانیک جلوگیری بعمل آید. در مواردی که محل اتصال در بتن دفن می‌شود و یا در صورتی‌که اجزای مسی دارای پوشش قلع باشند، نیازی به عایقکاری نیست. در شکل ۸-۱ فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط صفحه و سیم و در شکل ۸-۲ شماتیک آن آورده شده است.

شکل ۸-۱- فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط صفحه و سیم



شکل ۸-۲- شماتیک مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط صفحه و سیم

۸-۲- دستورالعمل۲: کابرد صفحه زمین و تسمه

۱- به تعداد الکترودهای لازم چاه هایی حفر شده تا به خاک مرطوب دسترسی حاصل شود. در اغلب موارد، تنها با حفر یک چاه، شرایط مدنظر فراهم می‌شود.

۲- طول مناسب از تسمه بریده شده و محل‌های مورد نیاز آن در صورت روکش داشتن، لخت شود. در صورت کوتاه بودن تسمه می‌توان با استفاده‌از پیچ و مهره مقدار لازم را به آن اضافه نمود. در این موارد کاربرد جوشکاری به هیچ وجهی مجاز نیست.

۳- تسمه با استفاده از تجهیزات مناسب، مانند بست های کمربندی به تیر متصل شود. نباید بین تسمه و تجهیزات نصب روی تیر اتصال الکتریکی برقرار شود.

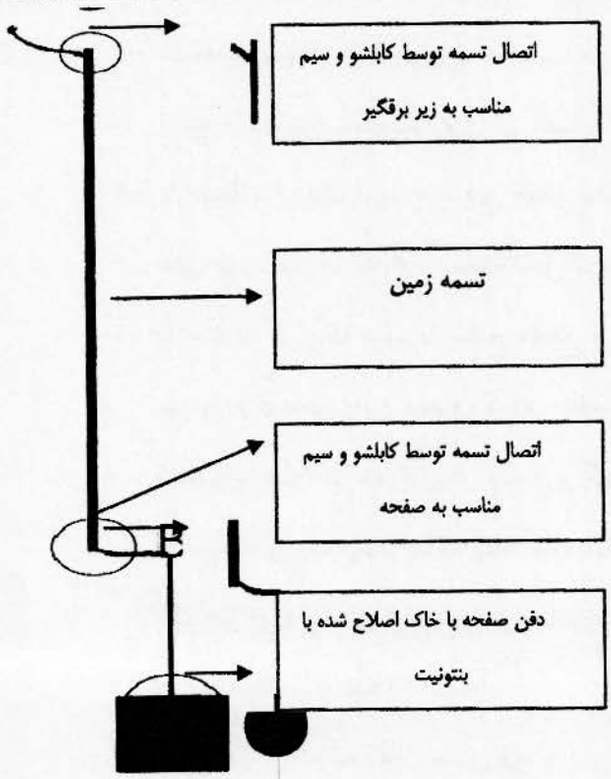
٤- با استفاده از یک سیم با سطح مقطع مناسب و کابلشوی استاندارد، برق گیرها و سایر محل های مورد نیاز به ابتدای تسمه متصل گردد.

٥- 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 کابلشو به سیم زمین متصل شده و به صورت عمودی در چاه قرار گیرد.

٦- با استفاده از بنتونیت، خاک چاه آماده سازی شود. به این منظور برای مخلوط کردن خاک در یک متر اول چاه از ٥ کیسه بنتونیت و برای هر متر بعد از ۲ کیسه بنتونیت استفاده می‌شود (هرکیسه بنتونیت ۳۰kg است).

۷- در صورتی که تسمه از جنس فولاد گالوانیزه بوده و اجزای دفن شده در زیر خاک از جنس مس یا روکش مس باشد، باید بخش‌هایی از تسمه که در زیر زمین قرار می‌گیرد توسط عایق مناسبی مانند قیر، عایقکاری شود تا از خوردگی گالوانیک جلوگیری بعمل آید. در مواردی که محل اتصال در بتن دفن می‌شود و یا در صورتی که اجزای مسی دارای پوشش قلع باشند، نیازی به عایقکاری نیست. در شکل ۸-۳ و ۸-٤ به‌ترتیب فلوچارت و شکل مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط صفحه و تسمه به همراه شماتیک ان آورده‌شده‌است.

شکل ۸-۳- فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط صفحه وتسمه



شکل ۸-٤- شماتیک مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط صفحه و تسمه

۸-۳- دستورالعمل ۳: کاربرد الکترود (میله زمین) و سیم زمین

۱- با توجه به نتیجه محاسبات، تعداد الکترودهای با قطر مناسب تهیه شود.

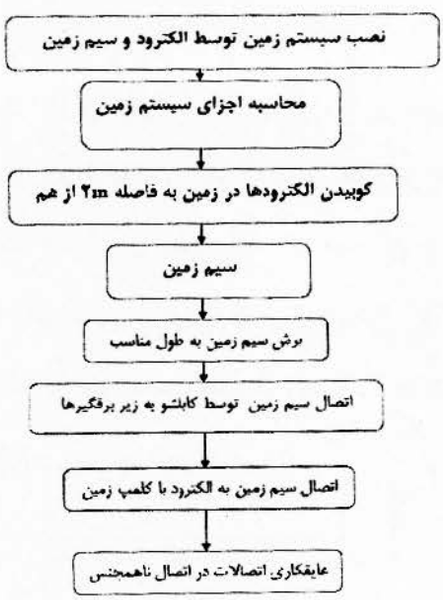
۲- الکترودها به فاصله حداقل ۲m از یکدیگر در زمین کوبیده شود.

۳- طول مناسب از سیم زمین بریده شده و محل‌های مورد نیاز آن لخت شود.

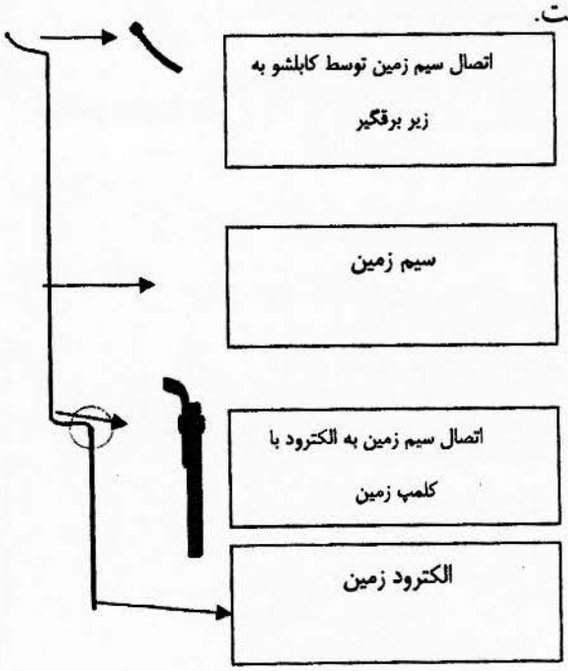
٤- سیم زمین در زیر برق گیرها و سایر محل‌های مورد نیاز نصب شده و تا پایین تیر و محل نصب الکترودها کشیده شود. سیم زمین باید با استفاده از تجهیزات مناسبی، مانند بست های کمربندی به تیر متصل شود. نباید بین سیم زمین و تجهیزات نصب روی تیر اتصال الکتریکی برقرار شود.

۵- سیم زمین توسط کانکتور اتصال زمین (ترجیحا برنزی) به میله متصل گردد و تا گشتاور تعیین شده توسط سازنده محکم شود.

۷- در صورتی که جنس الکترود از مس یا روکش مس بوده و سیم زمین از جنس فولاد باشد، باید بخشهایی از سیم زمین که در زیر خاک قرار می‌گیرد، توسط عایق مناسبی مانند قیر، عایقکاری شود تا از خوردگی گالوانیک جلوگیری بعمل آید. در مواردی که محل اتصال در بتن دفن می‌شود و یا در صورتی که اجزای مسی دارای پوشش قلع باشند، نیازی به عایقکاری نیست. در شکل ۸-۵ فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط الکترود و سیم زمین و در شکل ۸-٦ شماتیک آن آورده شده است.



شکل ۸-۵- فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط الکترود و سیم زمین



شکل ۸-٦- شماتیک مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط الکترود و سیم زمین

۸-٤- دستورالعمل ٤: کاربرد میله زمین(الکترود) و تسمه

۱- با توجه به نتیجه محاسبات، تعداد الکترودهای با قطر مناسب تهیه شود.

۲- الکترودها به فاصله حداقل ۲m از یکدیگر در زمین کوبیده شود.

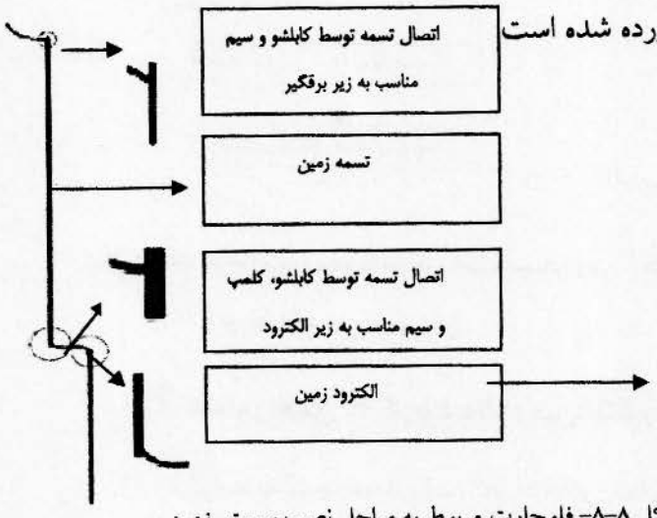
۳- طول مناسب از تسمه بریده شده و محل های مورد نیاز آن در صورت روکش داشتن، لخت شود. در صورت کوتاه بودن تسمه می‌توان با استفاده از پیچ و مهره مقدار لازم را به آن اضافه نمود. در این موارد کاربرد جوشکاری به هیچ وجهی مجاز نیست.

٤- تسمه با استفاده از تجهیزات مناسب، مانند بست های کمربندی به تیر متصل شود. نباید بین تسمه و تجهیزات نصب روی تیر اتصال الکتریکی برقرار شود.

۵- 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.

٦- 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.

۷- 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 می‌گیرد توسط عایق مناسبی مانند قیر، عایقکاری شود تا از خوردگی گالوانیک جلوگیری بعمل آید. در مواردی که محل اتصال در بتن دفن می‌شود و یا در صورتی که اجزای مسی دارای پوشش قلع باشند، نیازی به عایقکاری نیست. در شکل ۸-۷ فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط الکترود و تسمه و در شکل ۸-۸ شماتیک آن آورده شده است



شکل ۸-۷- فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط الکترود و تسمه

شکل ۸-۸- فلوچارت مربوط به مراحل نصب سیستم زمین توسط الکترود و تسمه

۹- مثال های موردی

کشور پهناور ایران، دارای مناطق آب و هوایی مختلفی است که هریک دارای ویژگی‌ها 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 کاربرد پشت بند امکان پذیر است، در حالی که در مناطق گرم و مرطوب مانند خوزستان که خاکی اسیدی دارد، میله زمین گالوانیزه به شدت خورده شده و تخریب می‌شود و پس از مدت کوتاهی اتصال زمین قطع می‌گردد. 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، عبارتنداز: مقاومت ویژه، رطوبت، PH و میزان کلر و نمک حل شده . با این حال از آنجایی که بخش وسیعی از ایران در بخش های مرکزی را کویر و زمین‌های خشک تشکیل می‌دهد، استفاده از الکترود میله‌ای یا صفحه‌ای گالوانیزه به همراه تسمه یا کابل گالوانیزه بعنوان هادی، نتایج رضایت بخشی در بردارد. در این بخش به چند مثال موردی و یک روش اجرای مناسب اشاره می‌شود.

۹-۱- زمین کویری

برای سیستم زمین یک ترانس ۲۰kV در یک زمین کویری با مقاومت ویژه ۵۰Ω.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 می‌کند. بنابراین، در این نوع خاک، استفاده از پشت بند دارای صرف اقتصادی است، زیرا تعداد الکترود زمین کمتری نیاز می‌شود. در این شرایط، یکی از حالت های ممکن کاربرد صفحه و کابل است. از آنجایی که خورندگی 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 وهوایی این منطقه، کابل نیز مناسب است که فولاد گالوانیزه انتخاب شود. برای اصلاح خاک نیز بنتونیت بکار رود.

۹-۲- زمین اسیدی

برای اجرای سیستم یک ترانس ۲۰kV در خاکی اسیدی با مقاومت ویژه در حدود ۱۵Ω.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 میله‌ای یا صفحه‌ای، مقاومت الکتریکی سیستم کمتر از ۵Ω می‌شود، اما این خاک به شدت خورنده است و کاربرد الکترود گالوانیزه، بدون استفاده از پشت بندهای مخصوص، مجاز نیست. در این خاک، الکترود فولادی بدون روکش و یا با روکش مسی و یا الکترود مسی دچار خوردگی متوسط می‌شود، اما الکترود فولاد زنگ نزن، مقاومت به خوردگی خوبی دارد. با توجه به این شرایط مناسب است که از میله فولاد زنگ نزن آستنیتی و تسمه گالوانیزه، استفاده شود. برای اتصال تسمه به میله باید از سیم مسی یا فولاد زنگ نزن استفاده شود، زیرا سیم گالوانیزه در خاک‌های اسیدی به شدت خورده می‌شود. در صورت استفاده از سیم گالوانیزه، باید تمامی بخشهایی که در زیر خاک دفن می‌شود، عایقکاری شود. در صورتی که زمین، آلوده به اسیدهای 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 الکترود فولاد گالوانیزه در بتن دفن می‌شود، توصیه می‌گردد. در این روش، یک میله گالوانیزه با قطر ۱٤mm در بتن با قطر ۵۰mm دفن می‌گردد.

۹-۳- زمین مرطوب و نمکی (آلوده به کلر)

برای اجرای سیستم زمین ۲۰kV در خاک یک منطقه مرطوب و نمکی با مقاومت ویژه در حدود ۲۵ Ω.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 می‌شود. در این شرایط

نیز، مشابه قبل، استفاده از میله فولاد زنگ نزن و یا میله گالوانیزه دفن شده در بتن توصیه می‌شود. 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 ۳۰Ω.m است که در مقایسه با بسیاری از خاک ها مقاومت پایین تری است. از میله های تقویت کننده بتن می توان به عنوان الکترود استفاده کرد. الکترودهای بتنی به اصطلاح Ufer نامیده می‌شوند که برگرفته از نام آقای Ufer است که تحقیقات زیادی در خصوص الکترودهای زمین بتنی انجام داده است. میله‌های بکار رفته در این سیستم می‌تواند به صورت لخت و یا گالوانیزه باشد. این میله ها معمولاً دارای حداقل طول ٦m و قطر ۱۳mm هستند و در بتنی با حداقل قطر ۵۰mm قرار داده می‌شود.

۱۰- پیشنهادات

با بررسی منابع و شرایط موجود در جهان، جدیدترین سیستم های موجود و رایج مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به این نتایج پیشنهادات زیر ارائه می‌شود.

۱- یکی از سیستم‌های رایج در جهان که به خصوص‌در کشور چین رایج است، کاربرد الکترود گالوانیزه در بتن است. پیشنهاد می‌شود که جهت سیستم زمین ترانس‌های توزیع از میله‌های زمین دفن شده در زمین، مطابق با روش Ufer استفاده شود.

۲- امروزه کاربرد تیرهایی که هادی زمین در داخل آن کارگذاشته شده، توسعه یافته است. در صورت استفاده از این تیرها، بسیاری از مشکلات موجود با هزینه بسیار پایین‌تری مرتفع خواهد شد، فلذا استفاده از این روش توصیه می‌شود.

۳- از آنجایی که تعیین مقاومت خاک در مناطق مختلف نیازمند صرف هزینه و پرسنل مجرب است، پیشنهاد می‌گردد که خاک مناطق مختلف کشور، دسته‌بندی کلی شده و دستورالعمل‌های منطقه‌ای با توجه به آنها تهیه شود.

۱۱- منابع

1- G.Vijayaraghavan,"Practical Grounding, Bonding, Shielding and Surge Protection", Consulting Engineer, Alliance Automation, Perth, Western Australia, 2004.
2- G. Cronshaw,"Earthing", IEEE Wiring, 2005.
3- Steve Molli," Grounding Basics", New York, 2008.
4- BS 7430, "Code of practice for protective earthing of electrical installations", 2011.
5- "Accessories for Medium voltage distribution networks", Ensto Overhead, 2011.
6- "Grounding Equipment", Chance catalog, 2008.
7- "Earthing", ERICO catalog, 2009.
8- "Lighting Protection", DENH catalog, 2010.

۹-"مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال روش های جلوگیری از خوردگی در پست های فشار قوی" ، گزارش توانیر، اردیبهشت ۸۸

10-F. D'Alessandro,"Experimental Evaluation of the Corrosion Performance of Copper-Bonded and Galvanized Grounding Electrodes", September 1, 2008.

11-J.H. Weimin Sun,"Novel Method of Corrosion Diagnosis for Grounding Grid", Australia, IEEE 2000.

12-Y. Liu, L. Xiao and J. Tian,"Optimized Corrosion Diagnosis of Large-Scale", Grounding Grid, IEEE 2010.

13-M. Ostendorp,"ground line corrosion damage activity and damage assessment for direct embedded steel and guy anchors", EPRIsoiutions, Inc., USA, IEEE 2003.

14-J. HE,"The Theory and Implementation of Corrosion Diagnosis for Grounding System", Jun HU, IEEE 2002.

15-Z. Mi, et all,"Causes, Forms and Remedies of Substation Grounding Grid Corrosion", School of Electrical Engineering, IEEE 2008.
16- P. X. Sen,"Design of steel grounding system in a heavy industrial plant", Copyright Material IEEE, 1991.
17- X. Fan, J. Wang, Mi Zhou,"Laboratory Soil Corrosion Test of Steel Grounding", IEEE 2011.
18-www.wikipedia.com

۱۹-محسن ابوترابی زارچی سید هادی هاشمی حیدر حیدری، "جایگزینی سیم اتصال زمین در شبکه های توزیع نیروی برق و ارائه راهکارهای اجرایی جهت جلوگیری از معضلات فنی ناشی از سرقت سیمهای اتصال زمین"، شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد.

20-"Earthing", Schneider Electric - Electrical installation guide 2010.

21-Roy B. Carpenter Jr., Mark M. Drabkin & Joseph A. Lanzoni ,"Better grounding", Lightning Eliminators & Consultants, Inc., USA May 1997

22-www.multishrink.com

۲۳-استاندارد صنعت برق ایران، شماره ۱۰۱، تیر ۸۲

24-Yexu Li, Jinxi Ma, and Farid Paul Dawalibi,"Power Grounding Safety: Copper Grounding Systems vs. Steel Grounding Systems", 2006.

25-F. Mahtar, A.Ramli, W.R.Wan Abdullah,"Comparison Study of Usage as Grounding Electrode between Galvanized Iron and Copper with and without Earth Additive Filler", M.N. Isa, IEEE 2007.

26-Park Ostendorp,"Line corrosion damage", USA, IEEE 2003.

27-Robert Marciniak, Marek Lobodl, Radoslaw Nowak,"Influence of Climatic Conditions in China on Reliability of Power Earthing System" IEEE 2010.

28-J.Fagan,"The Use of Concrete-Enclosed Reinforcing Rods as CvGrounding Electrodes", IEEE 1970.

29-B.Thapar, V.Gerez, A.Balakriehnan,"Foundations in power system act as grounding elemnts", 1998.

30-S. Ibrahim,"Corrosion control in electric power systems" ,Faculty of Engineering, Helwan University, Egypt,accepted 8 September 1998.

31-W.Zastrow,"Underground Corrosion and Electrical Grounding", IEEE 1967.

32-C. J. Blattner,"Perdiction of soil resistivity and ground rod resistance for deep ground electrodes", Senior Member IEEE Niagara Mohawk Power Corporation Syracuse, New York, 1998.

33-H. Liu,"Thermal sizing and electric shock calculation for equipment grounding conducors", IEEE 2012.

34-"Sizing equipment Grounding conductors based on Thermal damage curves", IEEE 2000.

۳۵-"استاندارد سیستم اتصال زمین شبکه های توزیع"، مرکز تحقیقات نیرو، دیماه ۷٤.

36-"NEMA GR 1: grounding rod electrods and grounding rod electrod coupling",2001.

37-"ANSI 135.30: Zince coated ferrous ground rods", 1988.

38-"BS 62561-2: Lighting protection system: Conductors and earth electrods", 2011.

39-"BS 951: Clamps for earthing and bounding purposes", 1986.

40-"BS 62561-1: Lighting protection system: connection compund", 2011.

41-"IEEE 837: qualifying permanent connection used in substation grounding", 1989.

۱۲-اعضا کارگروه تدوین کننده دستورالعمل اجرایی سیستم زمین سیستم اتصال زمین شبکه‌های توزیع

ردیف	نام و نام خانوادگی	سازمان متبوع
۱	اعظم باجقلی	پژوهشگاه نیرو
۲	علی اکبر فلاح	پژوهشگاه نیرو
۳	سید اعتضاد مقیمی	توانیر
۴	مسعود صادقی خمامی	توانیر
۵	جمشید ارقامی	توانیر
۶	مجید برنگی	توانیر
۷	مهیار قلی‌زاده	توانیر
۸	الناز شهرابی	توانیر
۹	اسدالله اسدیان	شرکت توزیع استان خوزستان
۱۰	سیاوش قربانی زاده	شرکت توزیع استان خوزستان
۱۱	محمدرضا نیکنام	شرکت توزیع استان خوزستان
۱۲	حسام ثابتی	شرکت توزیع استان خوزستان
۱۳	امین مشرفی	شرکت توزیع استان خوزستان
۱۴	پیام جوادی	شرکت توزیع استان زنجان
۱۵	محمد اله داد	شرکت توزیع شمال استان کرمان
۱۶	بروجنی	بهین تجربه
۱۷	برزین	آذین فرج
۱۸	بیدی	شرکت توزیع استان گیلان
۱۹	دوستی	شرکت توزیع استان گیلان
۲۰	بهنام بیات	شرکت توزیع استان تهران
	فرهاد کاتبی	شرکت توزیع تهران بزرگ