فصل ۱۵
سیستم اتصال زمین

۱۵ - ۱ کلیات و تعاریف

۱۵ - ۱ - ۱ تعاریف

۱۵ - ۱ - ۱ - ۱ الکترود زمین

یک یا چند قطعه هادی است که به‌منظور برقراری ارتباط الکتریکی با جرم کلی زمین در خاک مدفون شود. الکترودهای زمین مستقل از نظر الکتریکی، الکترودهایی است که فواصل آن از یکدیگر به‌قدری است که در صورت عبور حداکثر جریان ممکن از یکی، ولتاژ الکترودهای دیگر به‌مقدار قابل ملاحظه تحت تأثیر قرار نگیرد.

۱۵ - ۱ - ۱ - ۲ جرم کلی زمین

مفهومی است که ویژگیهای آن با عبارات زیر قابل توجیه است:

- جرم کلی زمین را می‌توان مشابه شینه‌ای با سطح مقطع بزرگ فرض کرد، که مقاومت بین هر دو نقطه آن عملاً نزدیک صفر است؛
- اتصال به‌جرم کلی زمین تنها از راه نوعی الکترود زمین امکان‌پذیر است؛
- اتصال الکترود زمین به‌جرم کلی زمین همواره با مقاومتی همراه است که همان مقاومت اتصال زمین یا مقاومت الکترود زمین است.

۱۵ - ۱ - ۱ - ۳ مقاومت اتصال زمین یا مقاومت زمین

مقاومت الکتریکی بین سرآزاد الکترود زمین مستقل از نظر الکتریکی و جرم کلی زمین است.

۱۵ - ۱ - ۱ - ۴ تأسیسات الکتریکی

هر نوع ترکیبی از وسایل و مصالح به‌هم پیوسته الکتریکی در یک محل یا فضای معین.

۱۵ - ۱ - ۱ - ۵ تجهیزات الکتریکی

مصالح و تجهیزاتی است که برای تولید، تبدیل یا مصرف انرژی الکتریکی به‌کار رود، مانند مولدها، موتورهای برق، ترانسفورماتورها، دستگاههای برقی، دستگاههای اندازه‌گیری، وسایل حفاظتی و امثال آن.

۱۵ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۶ بدنه هادی

بدنه یا اسکلت هادی دردسترس مربوط به‌تجهیزات الکتریکی که در وضعیت عادی برقدار نمی‌باشد ولی ممکن است در اثر بروز نقص در دستگاه یا ایجاد اتصالی داخلی در آن، برقدار شود.

۱۵ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۷ هادی بیگانه

قسمتی است هادی که جزیی از تأسیسات الکتریکی نباشد. (مانند اسکلت و قسمتهای فلزی ساختمانها، لوله‌کشیهای آب وگاز و وسایل متصل به‌آن، بدنه‌های هادی سیستمهای غیربرقی و غیره) و می‌تواند ولتاژی راکه معمولاً ولتاژ زمین است دارا باشد.

۱۵ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۸ برقدار

هر سیم یا هادی دیگری است که در شرایط عادی تحت ولتاژ الکتریکی باشد.

۱۵ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۹ هادی خنثی (نول)

هادیی است که به‌نقطه خنثی وصل باشد و به‌منظور انتقال انرژی الکتریکی از آن استفاده شود.

یادآوری:

در پاره‌ای موارد و در شرایطی معین، یک هادی واحد می‌تواند وظایف هادی خنثی و هادی حفاظتی را توأماً انجام دهد.

۱۵ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۱۰ هادی حفاظتی (هادی اتصال زمین)

هادیی است که در اقدامات حفاظتی در برابر برقگرفتگی، هنگام بروز اتصالی، از آن استفاده می‌شود و بدنه‌های هادی را به‌قسمتهای زیر وصل می‌کند:

ـ بدنه‌های هادی دیگر؛

ـ قسمتهای هادی بیگانه؛

ـ الکترود زمین، هادی زمین‌شده یا قسمت برقدار زمین شده.

۱۵ ـ ۱ ـ ۲ کلیات

۱۵ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ سیستم توزیع نیرو و اتصال زمین مورد استفاده عموماً سیستم TN از نوع TN–C–S و یا در صورت لزوم TN–S خواهد بود[1]. (بند ۲ ـ ۵ ـ ۱ نیز ملاحظه شود)

۱۵ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۲ به‌منظور ایجاد ایمنی و حفاظت لازم در برابر برقگرفتگی برای افراد و کارکنانی که از وسایل، ابزارها و دستگاههای برقی استفاده می‌کنند و همچنین کار صحیح سیستم تأسیسات برقی، اقدامات زیر باید انجام شود:

الف: نقطهٔ نول سیم پیچ مولدهای برق در نیروگاههای برق و همچنین نقطه نول سیم‌پیچ

---

۱ ـ برای شرح انواع سیستمهای توزیع نیرو و اتصال زمین به‌استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۳۷ یا استاندارد IEC 364–3 رجوع شود.

ترانسفورماتور در پستهای برق و سیم نول شبکه خطوط هوایی در ابتدا و انتهای خطوط به‌طول تا ۲۰۰ متر و در خطوطی به‌طول بیش از ۲۰۰ متر علاوه بر ابتدا، و انتهای خط در هر فاصله ۲۰۰ متری، نول خطوط مذکور باید به‌الکترود سیستم اتصال زمین مربوط متصل شود. این سیستم به‌طور کلی اتصال زمین سیستم[1] نامیده می‌شود.

ب: بدنه یا محفظه فلزی کلیه وسایل، ابزارها، دستگاهها، ماشین‌آلات و تابلوهای برقی و همچنین اسکلت و اجزای فلزی داخلی هر یک، که حامل جریان برق نمی‌باشد، باید به‌سیستم اتصال زمین ساختمان مربوط متصل شود. این سیستم به‌طور کلی اتصال زمین وسایل[2] (حفاظتی) نامیده می‌شود.

۱۵ ـ ۱ـ۲ـ۲ در نیروگاهها و پستهای برق سیستم اتصال زمین سیستم و سیستم اتصال زمین وسایل و همچنین سیستم اتصال زمین بدنه تابلوهای فشار قوی باید کلاً از یکدیگر جدا بوده و استفاده از یک سیستم اتصال زمین با الکترود مشترک مجاز نمی‌باشد.

(برای شرایط و موارد استفاده از یک یا دو الکترود زمین برای حفاظت سیستم و ایمنی در یک پست ترانسفورماتور به‌بند پ ۱ـ۹ـ۷ از مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمانی ایران رجوع شود).

۱۵ ـ ۱ـ۲ـ۳ در نیروگاهها و پستهای برق سیستم اتصال زمین‌سیستم و سیستم اتصال زمین‌وسایل و همچنین سیستم اتصال زمین بدنه تابلوهای فشار متوسط، در صورتی که حائز شرایط استفاده از یک الکترود اتصال زمین نباشد باید دارای هادیها و الکترود جداگانه باشد. در این‌گونه موارد الکترودهای زمین باید به‌گونه‌ای استقرار یابد که در حوزه اثر ولتاژ یکدیگر واقع نشود. (برای شرایط و موارد استفاده از یک یا دو الکترود زمین برای حفاظت سیستم و ایمنی در یک پست ترانسفورماتور به‌بند پ ۱ ـ ۹ ـ ۷ از مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمانی ایران رجوع شود).

۱۵ ـ ۱ـ۲ـ۴ در ساختمانهایی که مجهز به‌سیستم حفاظت در برابر آذرخش (قفس فاراده یا الکترونیک) می‌باشد و ساختمان فاقد یک شبکه اتصال زمین عمومی باشد (بند ۱۴ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۹، فصل ۱۴، دیده شود)، سیستم اتصال زمین حفاظت در برابر آذرخش باید از سیستمهای اتصال زمین تأسیسات برقی فشار ضعیف یا فشار متوسط ساختمان کاملاً جدا باشد. در این‌گونه موارد چنانچه امکان انتقال ولتاژ فشار قوی (به‌ویژه ناشی از آذرخش) به‌تجهیزات فشار ضعیف وجود داشته باشد فاصله الکترودها از یکدیگر، در نزدیکترین فاصله نباید از ۲۰ متر کمتر باشد و در مورد الکترودهای قائم این فاصله نباید از ۲۰ متر یا دو برابر عمق الکترودها ـ هر کدام که بیشتر باشد ـ نزدیکتر باشد.

۱۵ ـ ۱ـ۲ـ۵ هادیهای اتصال بین الکترودها و یا شبکه اصلی سیستم اتصال زمین باید در صورت امکان از تسمه مسی حلقه‌ای با ابعاد لازم باشد ولی در صورت عدم امکان تهیه آن استفاده از سیم مسی لخت نیز بلامانع است.

۱۵ ـ ۱ـ۲ـ۶ در صورتی که سیم اتصال زمین (هادی حفاظتی) با سیمهای فاز و نول کلاً در یک لوله کشیده شود مانند سیمکشی سیستم روشنایی و یا پریزهای برق یک فاز و نول یا سه‌فاز و نول و مانند آن، سطح مقطع سیم اتصال زمین باید مساوی با سطح مقطع سیمهای فاز و نول باشد.

۱۵ ـ ۱ـ۲ـ۷ در صورتی که سیم اتصال زمین با سیمهای فاز و نول کلاً در یک پوشش قرار گرفته باشد مانند کابلهای

1– System grounding 2– Equipment grounding

معمولی و یا سیمهای چند رشته قابل انعطاف ارتباطی مانند سیم اطوی برقی، کتری برقی، سماور برقی، توستر برقی، یخچال، ماشین لباسشویی و مانند آن، سطح مقطع سیم اتصال زمین باید مساوی با سطح مقطع سیمهای فاز و نول باشد.

۱۵ ـ ۱ـ۲ـ۸ درکابلهایی که سطح مقطع سیم نول نصف سطح مقطع هر سیم فاز می‌باشد، سطح مقطع سیم اتصال زمین و سیم نول باید یکسان باشد.

۱۵ ـ ۱ـ۲ـ۹ درصورتی‌که برای اتصال زمین وسایل و ماشین‌آلات برقی و همچنین تابلوهای فرعی و اصلی و غیره از سیم یا شینه جداگانه‌ای استفاده شود، سطح مقطع آن باید با سطح مقطع نول کابل اصلی دستگاههای مربوط یکسان باشد، مشروط بر این‌که سطح مقطع سیم نول از ۱۶ میلیمتر مربع کمتر نباشد.

۱۵ ـ ۱ـ۲ـ۱۰ برای کابلهایی با سیم نول به‌مقطع کمتر از ۱۶ میلیمتر مربع باید سطح مقطع سیم اتصال زمین ۱۶ میلیمترمربع منظور شود.

۱۵ ـ ۱ـ۲ـ۱۱ سیستم اتصال زمین شامل چاه اتصال زمین با الکترودهای مختلف و جعبه اتصال آزمون، و سیم یا تسمه رابط بین شبکه اتصال زمین و چاه اتصال زمین می‌باشد.

۱۵ ـ ۲ استانداردها و مشخصات فنی سیستم اتصال زمین

۱۵ ـ ۲ـ۱ سیستم اتصال زمین شبکه‌های تأسیسات توزیع نیروی برق و خطوط مخابرات باید برابر مشخصات و ضوابط مندرج در نشریه «استاندارد سیستم زمین شبکه‌های توزیع»، که به‌وسیله وزارت نیرو ـ امور برق تهیه شده است، طراحی و اجرا شود.

۱۵ ـ ۲ـ۲ استاندارد ساخت و کاربرد انواع مختلف الکترودهای سیستم اتصال زمین باید براساس یکی از استانداردهای شناخته شده بین‌المللی همچون IEC 60364-5-54، BS 1013، NEC و VDE، یا مشابه آن باشد.

۱۵ ـ ۲ـ۳ در طراحی و اجرای سیستم اتصال زمین تأسیسات برقی ساختمانها علاوه بر ضوابط تصریح شده در این فصل سایر مقررات مندرج در مبحث ۱۳ از مقررات ملی ساختمانی ایران نیز باید رعایت شود.

۱۵ ـ ۲ـ۴ مشخصات انواع الکترودهای اتصال زمین

۱۵ ـ ۲ـ۴ـ۱ الکترود اتصال زمین نوع میله مسی مغز فولادی، به‌قطرهای ۱۶، ۲۰ و ۲۵ میلیمتر و به‌طول ۱/۲۰ متر، قابل کوبیدن مستقیم در زمین به‌کمک کلاهک مخصوص و قابل امتداد به‌وسیله سرهم کردن دو، سه و چهار میله با استفاده از بوشن مخصوص. شکل ۱۵ ـ ۱ چند نوع الکترود اتصال زمین همراه با بستهای مربوط، و شکل ۱۵ ـ ۲ جزییات نصب الکترود میله مسی مغز فولادی را نشان می‌دهد.

۱۵ ـ ۲ـ۴ـ۲ الکترود اتصال زمین نوع لوله‌ای با لوله فولادی گالوانیزه یا سیاه، با قطر داخلی حدود ده سانتیمتر و به‌طولهای ۲، ۳، ۴ و یا ۶ متر مجهز به‌محل اتصال تسمه یا سیم مسی ساخته شده به‌شکل (U) از تسمه فولادی ۵×۴۰ میلیمتر، جوش داده شده در بالای الکترود روی بدنه لوله، با پیش‌بینی سوراخ لازم برای نصب تسمه و یا کابلشو یا پیچ و مهره حداقل شماره ۱۲. جزییات نصب سیستم اتصال زمین با الکترود لوله‌ای در شکل ۱۵ ـ ۳ نشان داده شده است.

۱۵ ـ ۲ـ۴ـ۳ الکترود اتصال زمین نوع صفحه مسی تخت از ورق مسی با ابعاد ۳×۷۰۰×۷۰۰ میلیمتر و یا مشبک با ابعاد ۷۰۰×۷۰۰ میلیمتر ساخته شده از تسمه مسی ۳×۲۵ میلیمتر (شکلهای ۱۵ ـ ۱ و ۱۵ ـ ۴).

۱۵ ـ ۲ـ۴ـ۴ الکترود اتصال زمین نوع لوله‌ای پرسی با لوله مخصوص پرس‌شده[1] به‌قطر ۳۸ میلیمتر و به‌طول ۲/۵متر به‌انضمام لوله امتداد و کلیه اتصالات مربوط (شکل ۱۵ ـ ۵).

۱۵ ـ ۲ـ۴ـ۵ الکترود اتصال زمین نوع لوله‌ای با قطرهای ۳ و ۴ و یا ۵ سانتیمتر و به‌طول تقریبی ۱/۵ متر، قابل کوبیدن مستقیم در زمین به‌کمک کلاهک مخصوص و قابل امتداد به‌وسیله لوله‌های مخصوص امتداد با ابعاد فوق به‌انضمام کلیه اتصالات و ملحقات مربوط. شکل ۱۵ ـ ۶ این نوع الکترود اتصال زمین را نشان می‌دهد.

۱۵ ـ ۲ـ۴ـ۶ میلگردهای فولادی بتن مسلح در پی‌ها و شالوده‌هایی که نسبت به‌زمین عایقبندی نشده و حداقل عمق آن از سطح زمین یک متر باشد، ممکن است به‌عنوان الکترود زمین مورد استفاده قرار گیرد. در این‌گونه موارد سازه‌های فولادی سوار بر این نوع پی‌ها باید از طریق اتصال بولتهای نگهدارسازه یا با استفاده از کابل به‌میلگردهای بتن همبندی شود. استفاده از سازه‌های فولادی ساختمانها به‌عنوان هادی اتصال زمین باید برنامه‌ریزی شده بوده و اتصالات مربوط با هم‌آهنگی و نظارت مجریان تأسیسات برقی پروژه صورت گیرد.

۱۵ ـ ۲ـ۵ مشخصات جعبه اتصال آزمون

جعبه اتصال آزمون متشکل از جعبه فلزی با درب به‌ابعاد ۱۶۰×۱۰۰×۷۰ میلیمتر به‌انضمام صفحه فیبری با دو عدد پیچ و مهره خروسکی مسی یا برنجی و تیغه اتصال مسی خواهد بود. شکل ۱۵ ـ ۷ جزییات یک جعبه اتصال آزمون را نشان می‌دهد.

۱۵ ـ ۲ـ۶ مشخصات هادیهای سیستم اتصال زمین

۱۵ ـ ۲ـ۶ـ۱ کلیهٔ هادیهای مورد مصرف در سیستم اتصال زمین و همچنین تمامی اتصالات و ملحقات مربوط به‌آن، باید از آلیاژ مسی، ویژه کاربرد در تأسیسات برق ساخته شده باشد.

۱۵ ـ ۲ـ۶ـ۲ هادیهای خطوط و شبکه اصلی سیستم اتصال زمین و همچنین خطوط انشعابات اصلی ممکن است از نوع تسمه مسی حلقه‌ای و یا سیم مسی لخت باشد.

۱۵ ـ ۲ـ۶ـ۳ هادیهای انشعابی فرعی از خطوط اصلی، که برای اتصال به‌دستگاهها به‌کار می‌رود، باید از نوع سیم مسی لخت باشد.

۱۵ ـ ۲ـ۶ـ۴ در مواردی که در سیستم اتصال زمین از سیم مسی لخت به‌طور جداگانه استفاده شده و با سایر هادیهای الکتریکی در یک پوشش یا حفاظ قرار نمی‌گیرد، به‌منظور ازدیاد مقاومت مکانیکی، حداقل سطح مقطع آن باید ۱۶ میلیمتر مربع باشد.

۱۵ ـ ۲ـ۶ـ۵ استفاده از سیم مسی روپوش‌دار به‌عنوان هادی اتصال زمین و عبور آن از لوله فلزی به‌صورت منفرد (در صورتی که با هادیهای فاز و نول در یک پوشش یا در یک حفاظ قرار نگرفته باشد) مجاز نمی‌باشد.

۱۵ ـ ۲ـ۶ـ۶ حداکثر مقاومت مجاز اتصال زمین سیستمهای مختلف باید به‌شرح زیر باشد:

1– GI pipe

الف ـ سیستم حفاظت در برابر آذرخش: پنج اهم

ب ـ نقطه نول مولد برق، ترانسفورماتور قدرت و سیم نول شبکه فشار ضعیف: در سیستم TN کل مقاومت الکتریکی مجاز نسبت به‌جرم کلی زمین نباید از دو (۲) اهم متجاوز باشد، که ممکن است علاوه بر اتصال زمین پست یا نیروگاه، با احداث اتصال زمینهای مکرر در طول خطوط توزیع یا تقسیم یک سیستم، و وصل هادی نول خطوط یادشده به‌زمین، تأمین شود. در مواردی که امکان اتصال زمینهای مکرر وجود ندارد مانند ساختمانهای بلند باید از روش همبندی اضافی برای هم‌ولتاژ کردن کلیهٔ بدنه‌های هادی، قسمتهای هادی بیگانه و هادیهای حفاظتی تجهیزاتی که به‌طور همزمان در دسترس قرار می‌گیرد، استفاده شود. در مناطق خشک، صخره‌ای و سنگلاخی که مقاومت اتصال اتفاقی بین یک هادی فاز و جرم کلی زمین (یا هادیهای بیگانه که به‌هادی خنثی یا حفاظتی متصل نمی‌باشد) از ۷ اهم بیشتر است، حداکثر کل مقاومت مجاز نسبت به‌جرم کلی زمین در آن منطقه از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$R_B \le R_E \frac{۵۰}{U_o - ۵۰}$$

R_B= مقاومت کل مجاز جدید (به‌جای دو اهم) برحسب اهم

R_E= مقاومت اتفاقی اتصال فاز به‌زمین (مقدار تجربی آماری)، برحسب اهم

U_0= ولتاژ اسمی بین فاز و خنثای سیستم (۲۲۰ ولت در موارد عادی)، برحسب ولت

۵۰= ولتاژ مجاز تماس، برحسب ولت

پ ـ بدنه تابلوها و وسایل و ابزار برقی فشار ضعیف:

I– در صورتی‌که نول شبکه و بدنه هر کدام از وسایل و دستگاههای برقی به‌طور مستقل و جداگانه زمین شده باشد مقاومت مجاز اتصال زمین (R_S) باید از $\frac{۶۵}{I_A}$ کوچکتر یا مساوی باشد:

$$R_s(\Omega) \le \frac{۶۵(V)}{I_A(A)}$$

به‌طوری که I_A جریان عملکرد دستگاه حفاظت اضافه جریان برای تأسیسات زمین شده می‌باشد.

II– در صورتی‌که نول شبکه و سیم هادی بدنه هر کدام از وسایل و دستگاهها از طریق شبکه (LOOP) اتصال زمین به‌یکدیگر مرتبط باشد مقاومت مجاز اتصال زمین (R_L) باید از $\frac{U_E}{I_A}$ کوچکتر یا مساوی باشد.

$$R_L(\Omega) \le \frac{U_E(V)}{I_A(A)}$$

به‌طوری‌که U_E ولتاژ بین فاز و نول و جریان I_A همان جریان تعریف‌شده در بند قبلی می‌باشد.

ت ـ بدنه وسایل و دستگاههای فشار متوسط

روشهای اتصال زمین وسایل و دستگاههای فشار متوسط در شکل ۱۵ ـ ۸ ارائه شده است.

روش I- مقاومت اتصال زمین در این حالت باید از رابطهٔ زیر تعیین شود.

$$R_S(\Omega) \leq \frac{۱۲۵(V)}{(A)\text{ (جریان باقیمانده نشت زمین + جریان سیم‌پیچ)}}$$

روش II- مقاومت اتصال زمین در این حالت باید از رابطهٔ زیر تعیین شود.

$$R_S(\Omega) \leq \frac{۱۲۵(V)}{(A)\text{ جریان باقیمانده نشت زمین}}$$

روش III- مقاومت اتصال زمین در این حالت باید از رابطهٔ زیر تعیین شود.

$$R_S(\Omega) \leq \frac{۱۲۵(V)}{(A)\text{ جریان نشت زمین}}$$

۱۵-۳ محاسبهٔ تعداد چاه اتصال زمین لازم

۱۵-۳-۱ برای محاسبهٔ تعداد چاههای اتصال زمین لازم به‌منظور به‌دست آوردن مقاومت حداکثر مجاز سیستم اتصال زمین با الکترود مشخص ممکن است از رابطهٔ زیر استفاده شود.

$$R = \frac{۰/۳۶۷\rho}{L} \times \log_{۱۰} \frac{۴L}{D}$$

R= مقاومت هر چاه اتصال زمین بر حسب اهم

ρ= مقاومت مخصوص الکتریکی زمین برحسب اهم سانتیمتر

D= قطر الکترود موردنظر برحسب سانتیمتر

L= طول الکترود موردنظر برحسب سانتیمتر

مثال:

در صورتی که: اهم ـ سانتیمتر ρ=۲۵۰

سانتیمتر D=۱/۶

و سانتیمتر L=۲۴۴ باشد

$$R = \frac{۰/۳۶۷\times۲۵۰}{۲۴۴} \times \text{Log}_{۱۰} \frac{۴\times۲۴۴}{۱/۶}$$

$$= \frac{۹۱/۷۵}{۲۴۴} \times \text{Log}_{۱۰} \frac{۹۷۶}{۱/۶}$$

$$= ۰/۳۷۶ \times \text{Log}_{۱۰} ۶۱۰$$

$$= ۰/۳۷۶ \times ۲/۷۸۵۳ = ۱/۰۴۷ \quad \text{اهم}$$

در صورتی‌که مقاومت مجاز سیستم اتصال زمین موردنظر ۰/۱ اهم باشد با نصب تعداد ۱۰ عدد الکترود به‌فواصل ۲/۵ متر از یکدیگر و اتصال الکترودها به‌هم مقاومت موردنظر به‌دست خواهد آمد:

$$\frac{۱}{R} = \frac{۱}{۱/۰۴۷} \times ۱۰ = \frac{۱۰}{۱/۰۴۷}$$

$$\frac{R}{۱} = \frac{۱/۰۴۷}{۱۰} = ۰/۱۰۴۷ \quad \text{اهم}$$

۱۵ ـ ۳ ـ ۲ برای محاسبهٔ ابعاد و تعداد الکترودهای اتصال زمین مختلف به‌جدول ۱۵ ـ ۳ مراجعه شود.

۱۵ ـ ۳ ـ ۳ برای محاسبهٔ تعداد چاههای اتصال زمین لازم به‌منظور به‌دست آوردن مقاومت حداکثر مجاز سیستم اتصال زمین با الکترود مشخص ممکن است علاوه بر استفاده از روش مندرج در بند ۱۵ ـ ۳ـ۱ ، از منحنیهای ترسیم شده در شکلهای ۱۵ ـ ۹ ، ۱۵ ـ ۱۰ و ۱۵ ـ ۱۱ نیز استفاده شود.

۱۵ ـ ۴ اصول و روشهای نصب سیستم اتصال زمین

۱۵ ـ ۴ ـ ۱ نصب الکترودهای اتصال زمین

۱۵ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۱ الکترودهای اتصال زمین باید در زمین بکر کوبیده یا دفن شود و عمق آن به‌قدری باشد که خشک‌شدن یا یخ‌زدگی در فصلهای مختلف سال اثر قابل ملاحظه‌ای بر میزان مقاومت آن نداشته باشد.

۱۵ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۲ حداقل عمق کوبیدن یا دفن الکترود اتصال زمین نباید از مقادیر زیر کمتر باشد:

ـ الکترودهایی که به‌صورت عمودی دفن یا کوبیده می‌شود: ۲ متر

ـ الکترودهای تسمه‌ای یا هادی مسی که به‌صورت افقی نصب می‌شود: ۰/۸ متر

۱۵ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۳ الکترودهای نوع میله مسی مغز فولادی و یا لوله‌ای قابل کوبیدن، به‌طوری که در شکل ۱۵ ـ ۲ جزییات آن نشان داده شده است، باید به‌کمک کلاهک مخصوص مستقیماً در زمین کوبیده شود.

۱۵ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۴ در صورت نیاز به‌ازدیاد طول الکترود باید پس از کوبیدن طول کامل میله یا لوله اولیه، که دارای نوک فولادی تیز است، در زمین، یک سر میله یا لوله دوم به‌وسیله بوشن مخصوص به‌انتهای میله یا لوله اول متصل و سپس با کمک کلاهک مخصوص کوبیدن، که به‌سر دیگر میله یا لوله دوم وصل می‌شود، بقیه طول الکترود نیز در زمین کوبیده شود.

۱۵ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۵ برای نصب الکترودهای نوع لوله‌ای ساده، لوله‌ای پرسی، و یا صفحه مسی تخت و مشبک باید، چاهی با عمق لازم تا رسیدن به‌رطوبت طبیعی زمین حفر و سپس تـه آن تـا ارتـفاع ۱۵ الی ۲۰ سـانتیمتر بـا مخلوطی از نمک سنگ خرد و سرند شده و خاکه زغال انباشته و تسطیح شود، آنگاه الکترود در داخل چاه قرار داده شده و در اطراف و روی آن تا ارتفاع حدود دو متر بالایه‌هایی از نمک مزبور و خاکه زغال هر یک به‌ضخامت ۱۵ سانتیمتر انباشته و فشرده گردد و سپس ارتـفاع بـاقیمانده چـاه نـیز بـا خـاک سرندشده لایه به‌لایه خاکریزی، فشرده و پر شود.

۱۵ ـ ۴ ـ ۱ ـ ٦ چاه حفرشده برای سیستم اتصال زمین باید ویژه نصب الکترود اتصال زمین بوده و برای هیچ منظور دیگری مورد استفاده قرار نگیرد و به‌همین ترتیب نیز استفاده از دیگر چاهها (مانند آب، فاضلاب و غیره) برای نصب الکترود اتصال زمین مجاز نخواهد بود.

۱۵ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۷ جزییات نصب الکترودهای لوله‌ای ساده، لوله‌ای پرسی، و صفحه‌ای در شکلهای ۱۵ ـ ۳ و ۱۵ ـ ۴ و ۱۵ ـ ۵ نشان داده شده است.

در مواردی که برای اتصال هادی زمین به‌صفحه مسی از کابلشو مسی پرسی (با پرس هیدرولیک)

استفاده می‌شود، کابلشو باید به‌وسیله دو عدد پیچ مسی همراه بامهره‌های اصلی و قفل‌کننده به‌صفحه مسی محکم شود و در صورتی‌که اتصالات به‌وسیله جوش اکسیژن (لحیم سخت) صورت می‌گیرد باید دقت لازم مبذول گردد تا هادی به‌کابلشو و نیز کابلشو به‌صفحهٔ مسی در تمامی سطح تماس به‌یکدیگر جوشکاری شود و صرفاً به‌جوشکاری پیرامون کابلشو اکتفا نشود.

۱۵ ـ ۴ـ ۱ـ ۸ در مواردی که با نصب یک الکترود مقاومت موردنظر حاصل نشده و احتیاج به‌نصب چندین الکترود باشد اولاً فاصله نصب بین هر دو الکترود نباید کمتر از دو برابر طول الکترود (میله‌ای یا لوله‌ای) ، یا عمق چاه باشد و ثانیاً کلیه الکترودها باید با تسمه مسی ۳×۲۵ میلیمتر به‌یکدیگر متصل شود.

۱۵ ـ ۴ـ ۱ـ ۹ برای سهولت در امر نگهداری و بازرسی سیستم اتصال زمین بعد از نصب و جلوگیری از پوشیده و مفقود شدن محل نصب الکترود، باید در بالای هر الکترود حوضچه‌ای با درپوش مناسب مطابق شکلهای ۱۵ ـ ۲ ، ۱۵ ـ ۳ ، ۱۵ ـ ۴ و ۱۵ ـ ۵ ساخته و نصب شود.

۱۵ ـ ۴ـ ۲ نصب جعبه اتصال آزمون

۱۵ ـ ۴ـ ۲ـ ۱ برای تسهیل در امر آزمون اندازه‌گیری میزان مقاومت الکتریکی هر الکترود اتصال زمین به‌طور جداگانه، باید یک جعبه اتصال آزمون برای هر الکترود اتصال زمین پیش‌بینی و نصب شود تا پس از نصب سیستم یا در زمان بهره‌برداری میزان مقاومت آن نسبت به‌جرم کلی زمین اندازه‌گیری و کنترل شود. (شکلهای ۱۵ ـ ۲ ، ۱۵ ـ ۳ ، ۱۵ ـ ۴ ، ۱۵ ـ ۵ و ۱۵ ـ ۷)

۱۵ ـ ۴ـ ۲ـ ۲ جعبه اتصال آزمون باید در روی سطح نزدیکترین دیوار به‌الکترود مربوط و در ارتفاع حداقل ۱/۵ متر از کف تمام شده زمین نصب و عبارت «هادی برقگیر» همراه با نشانه ⏚ به‌صورت دایمی بر روی آن حک شود.

۱۵ ـ ۴ـ ۲ـ ۳ گرفتن هرگونه انشعاب از هادیهای اتصالی بین الکترود و جعبه اتصال آزمون به‌هیچ وجه جایز نبوده و کلیهٔ انشعابات و تشکیل حلقه شبکه سیستم اتصال زمین[1] و مانند آن باید پس از جعبه اتصال آزمون انجام شود.

۱۵ ـ ۴ـ ۳ نصب هادیهای اتصال زمین

۱۵ ـ ۴ـ ۳ـ ۱ برای اتصال تسمه مسی و یا سیم مسی لخت به‌الکترود اتصال زمین باید از بستها و کابلشوهای متناسب با نوع الکترود مطابق شکل ۱۵ ـ ۱ استفاده شود.

۱۵ ـ ۴ـ ۳ـ ۲ هادیهای شبکه سیستم اتصال زمین اعم از تسمه مسی یا سیم مسی لخت باید حتی‌المقدور به‌صورت روکار و قابل رویت و دسترسی نصب شود.

۱۵ ـ ۴ـ ۳ـ ۳ برای نصب هادیهای شبکه سیستم اتصال زمین به‌دیوار، سقف و کف ساختمان و یا در کانال، باید از بستهای مخصوص از جنس مس یا برنج، که در شکل ۱۴ ـ ۱۲ نشان داده شده است، استفاده شود.

۱۵ ـ ۴ـ ۳ـ ۴ در مواردی که به‌علت سنگلاخی بودن زمین کوبیدن الکترود یا حفر چاه امکانپذیر نمی‌باشد، ممکن است با نصب تسمه مسی ۳×۲۵ میلیمتر در عمق ۶۰ تا ۸۰ سانتیمتری زمین به‌صورت حلقه یا شبکه و به‌طول لازم تا حد حصول به‌حداکثر مقاومت مجاز موردنظر، سیستم اتصال زمین لازم ایجاد شود.

1– Grounding loop

۱۵ ـ ۴ـ۴ آزمون سیستم اتصال زمین

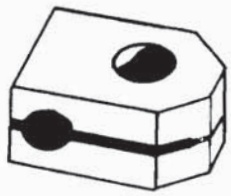
۱۵ ـ ۴ـ۴ـ۱ برای حصول اطمینان از عدم تجاوز میزان مقاومت الکترودها نسبت به‌جرم کلی زمین از حداکثر مجاز، مقاومت الکتریکی تمامی الکترودها باید پس از نصب با دستگاههای اندازه‌گیری مخصوص و به‌وسیلهٔ افراد کارآزموده دقیقاً اندازه‌گیری شود.

۱۵ ـ ۴ـ۴ـ۲ به‌منظور حصول اطمینان از ممتد و متصل بودن کابلهای شبکهٔ سیستم اتصال زمین و نیز کنترل میزان مقاومت مجاز کل آن، تمامی شبکه سیستم مزبور باید پس از اتمام عملیات نصب به‌وسیله دستگاههای ویژه به‌دقت مورد آزمون و اندازه‌گیری مقاومت قرار گیرد.

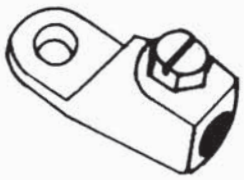
۱۵ ـ ۴ـ۴ـ۳ هر الکترود یا سیستم اتصال زمین باید دارای شناسنامه‌ای حاوی مشخصات کامل آن شامل نوع و جنس الکترود یا الکترودها و ابعاد لازم، تاریخ احداث، محل استقرار، جنس خاک، مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده اولیه و دوره‌های متعاقب، و دیگر اطلاعات ضروری باشد. در اندازه‌گیریهای دوره‌ای علاوه بر میزان مقاومت و تاریخ باید ساعت اندازه‌گیری، دمای هوا (درجه سلسیوس)، رطوبت نسبی، مقدار بارندگی ۴۸ ساعت گذشته به‌میلیمتر نیز ثبت شود. این شناسنامه باید در اختیار فرد یا افراد و یا تشکیلات بهره‌بردار از سیستم بوده و برای بازرسی در دسترس باشد.

۱۵ ـ ۵ نشانه‌های ترسیمی الکتریکی برای سیستمهای برقگیر و اتصال زمین در جدول ۱۵ ـ ۲ ارائه شده است.

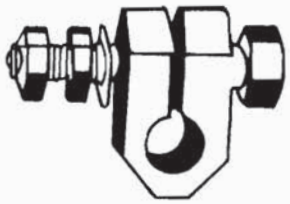
۱ و ۲ و ۳ ـ بست‌های مختلف تسمه به‌الکترود



۴ ـ بست فشاری



۵ ـ کابلشو پیچی



۶ ـ بست تسمه به‌الکترود

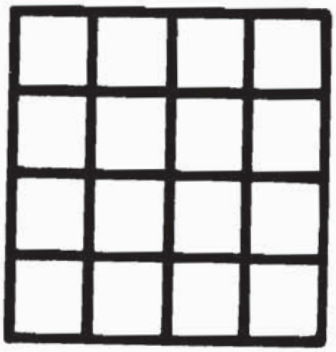
۸ ـ الکترود اتصال زمین
میلهٔ مسی مغز فولادی

۷ ـ کابلشو فشاری

۹ ـ الکترود اتصال زمین از ورق مس
۳×۷۰۰×۷۰۰ میلیمتر

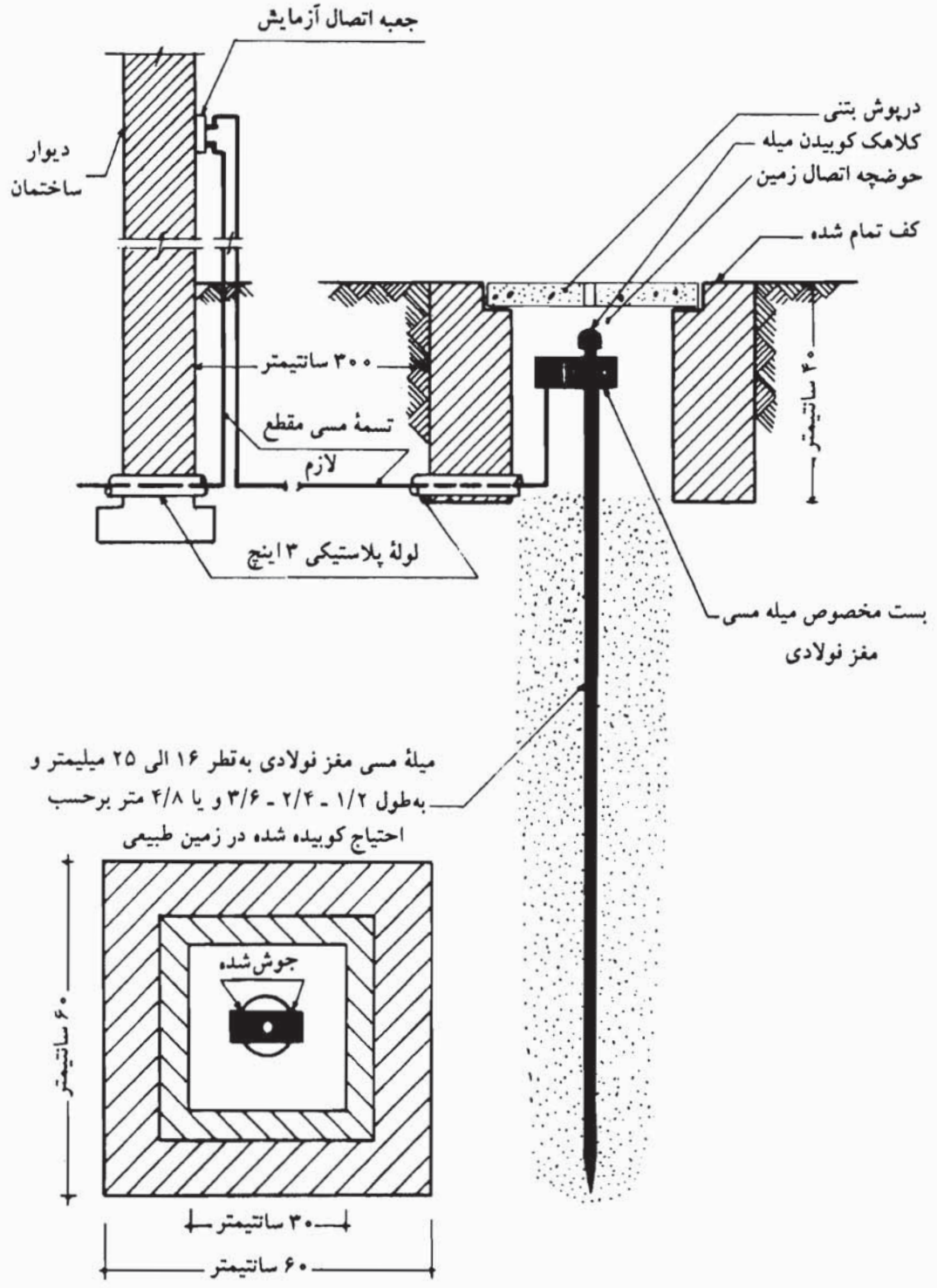
۱۱ ـ اتصال صفحهٔ الکترود
به‌سیم لخت مسی

۱۲ ـ اتصال صفحهٔ الکترود
به‌تسمهٔ مسی

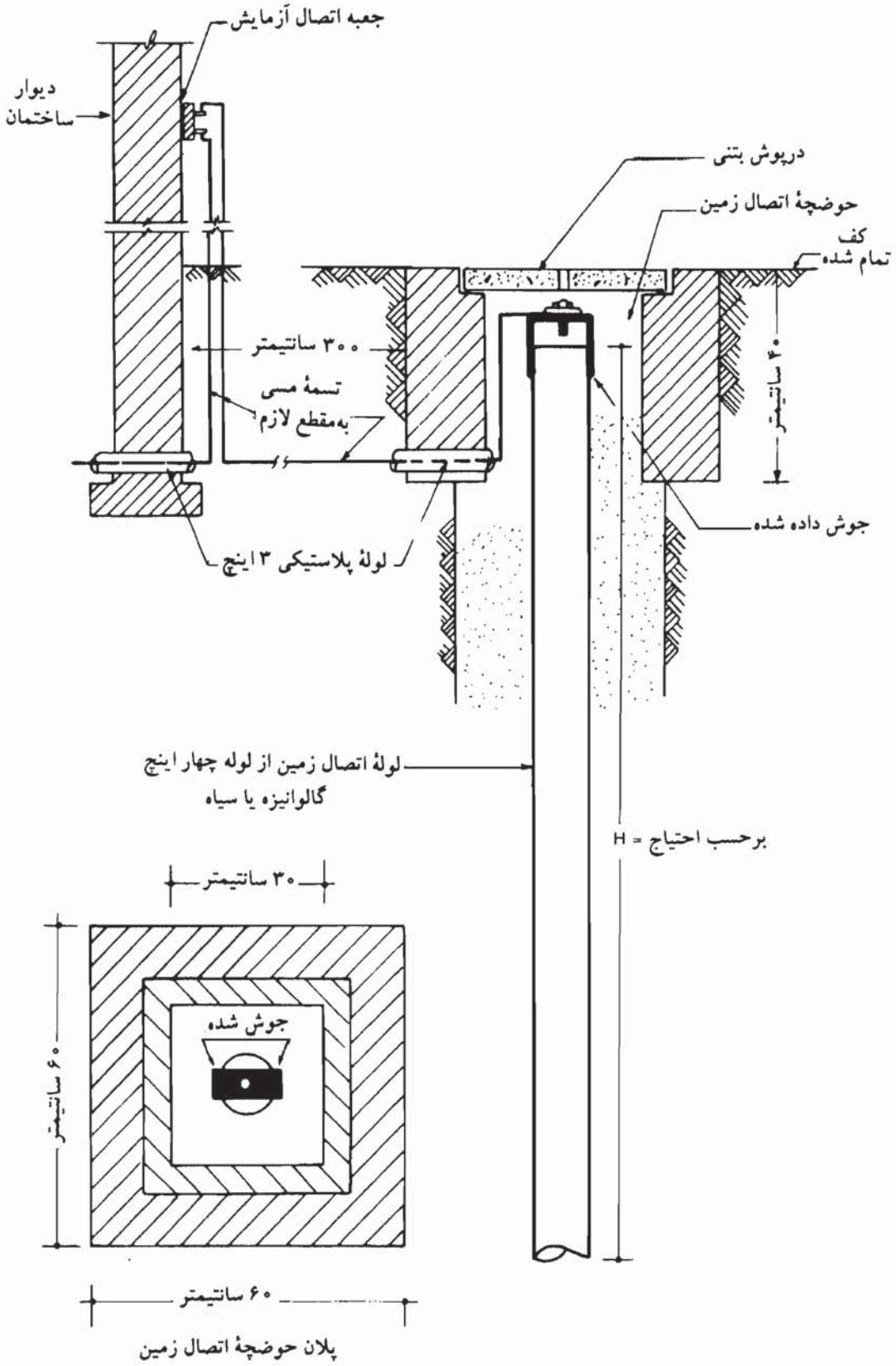


۱۰ ـ الکترود اتصال زمین مشبک
۷۰۰×۷۰۰ میلیمتر از تسمهٔ مسی
۲۵×۳ میلیمتر

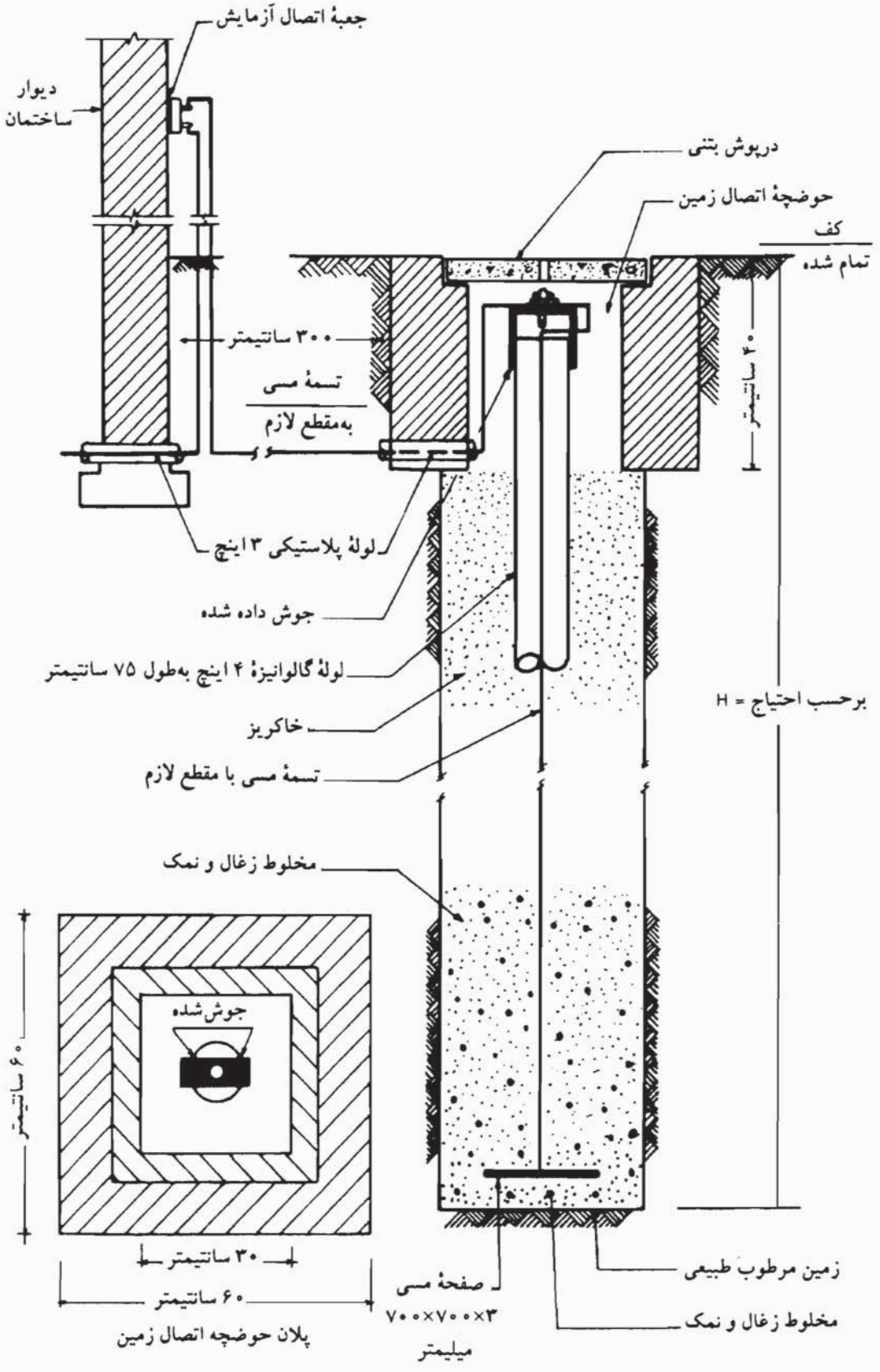
شکل ۱۵ ـ ۱ انواع الکترودهای اتصال زمین و بستهای مربوطه.



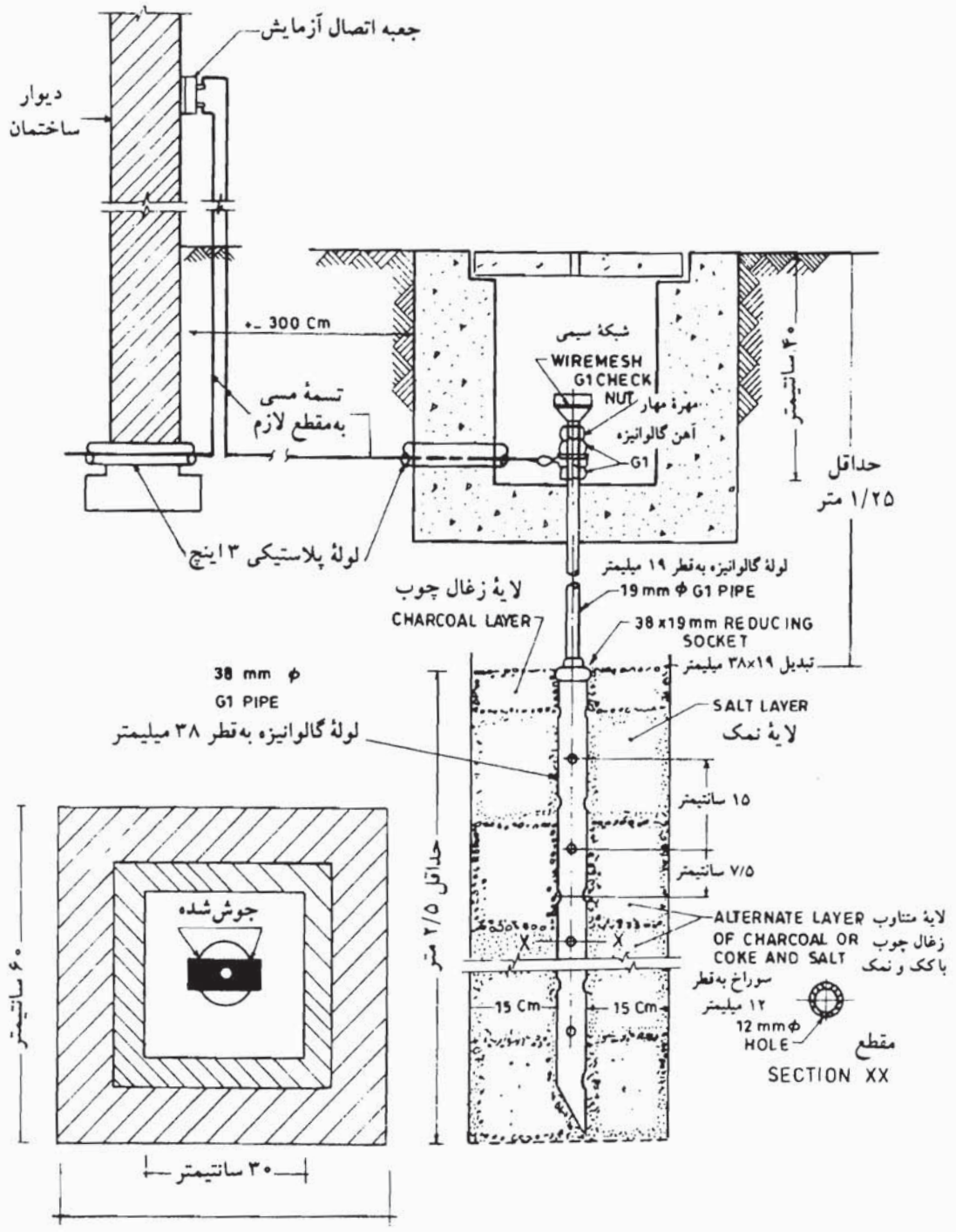
شکل ۱۵ ـ ۲ جزییات نصب سیستم اتصال زمین با الکترود میله مسی مغز فولادی.



شکل ۱۵ ـ ۳ جزییات نصب سیستم اتصال زمین با الکترود لوله‌ای.

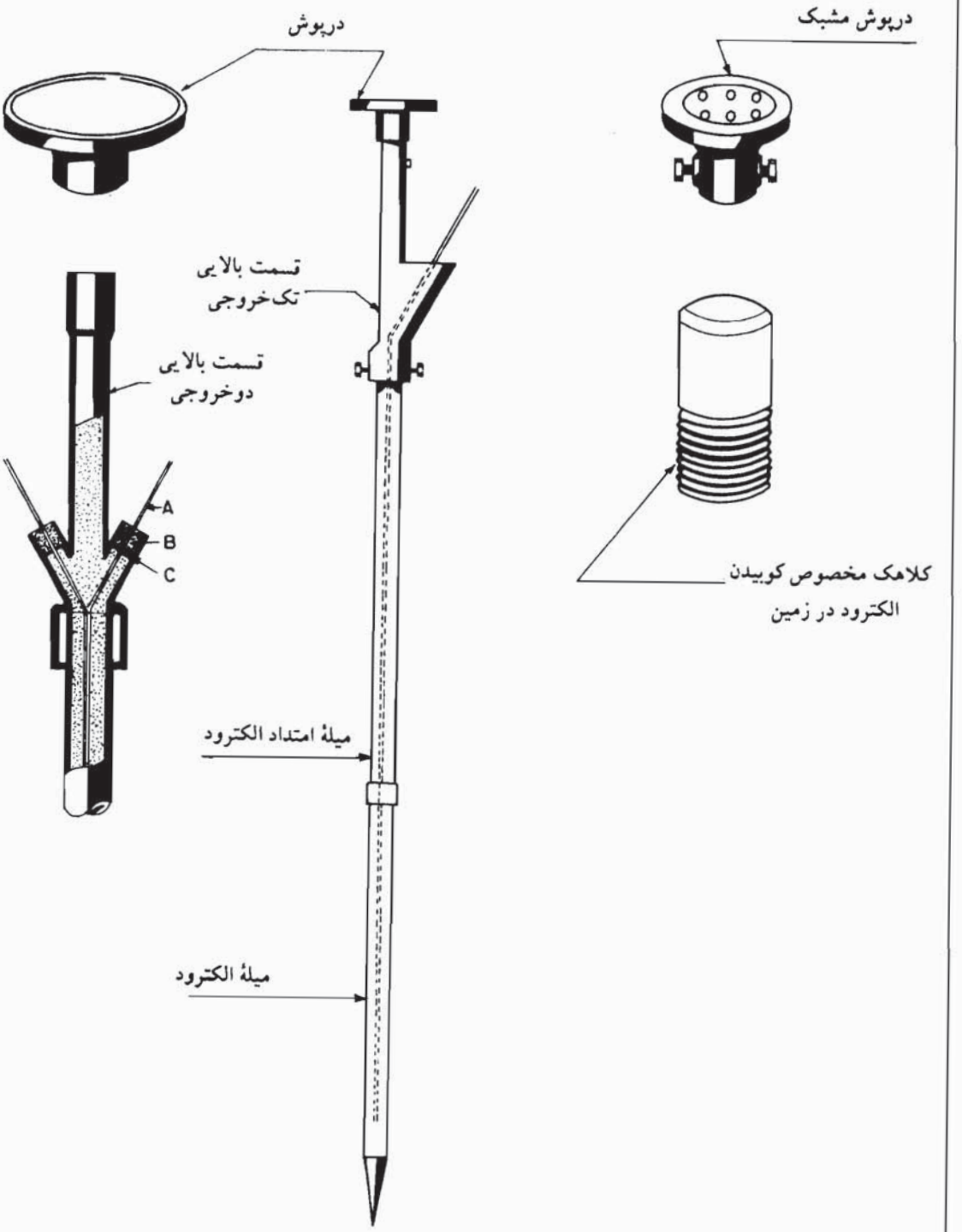


شکل ۱۵ ـ ۴ جزییات نصب سیستم اتصال زمین با الکترود صفحه مسی تخت یا مشبک.

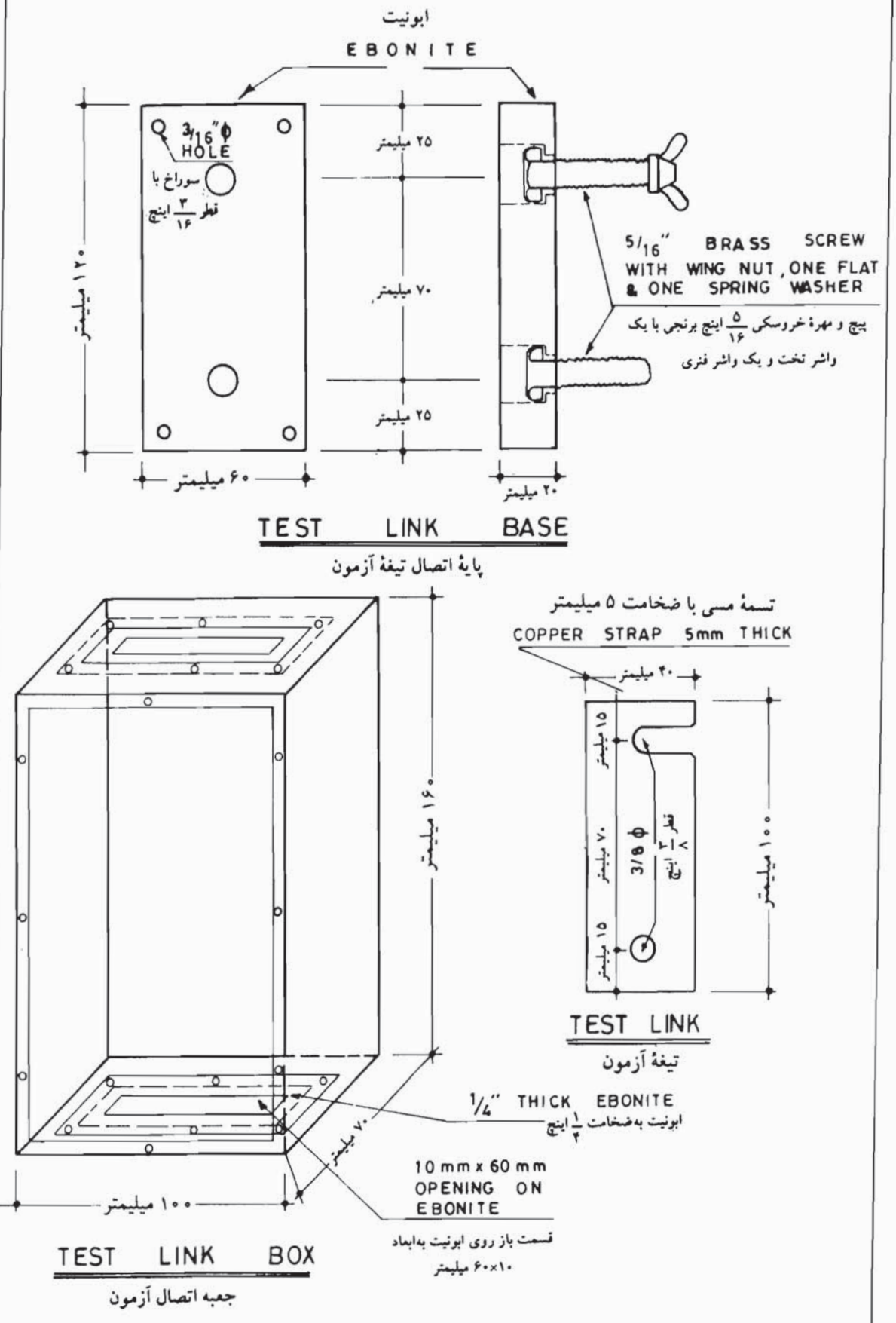


پلان حوضچهٔ اتصال زمین

شکل ۱۵ ـ ۵ جزییات نصب سیستم اتصال زمین با الکترود نوع لوله‌ای پرسی.

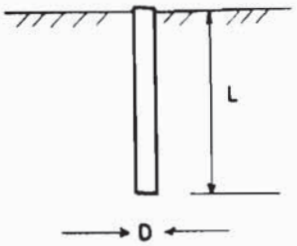
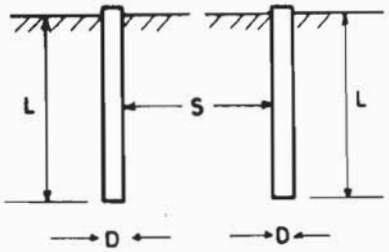
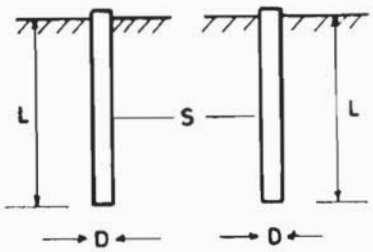
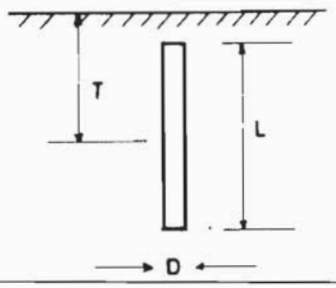
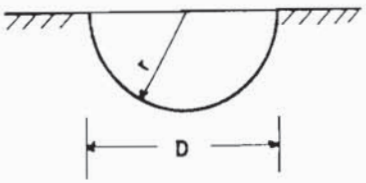
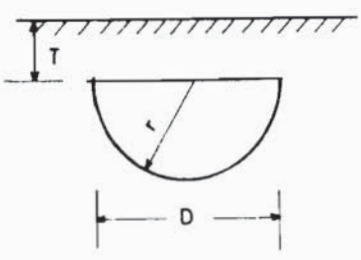


شکل ۱۵ ـ ٦ الکترود اتصال زمین ـ نوع لوله‌ای قابل کوبیدن در زمین.

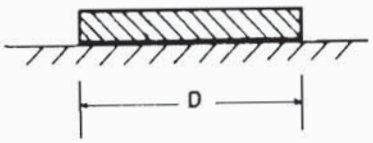
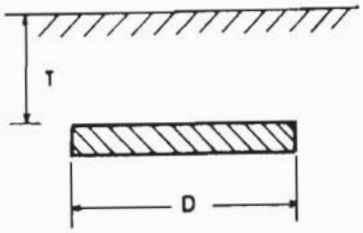
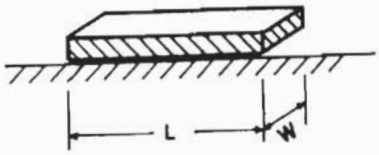
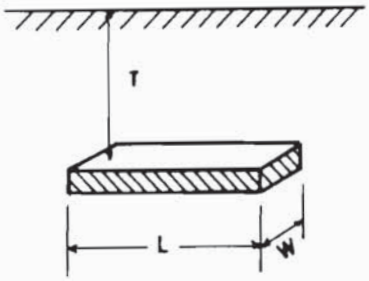
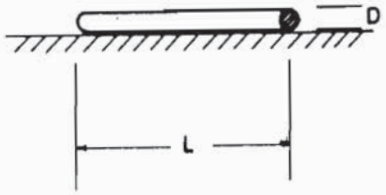
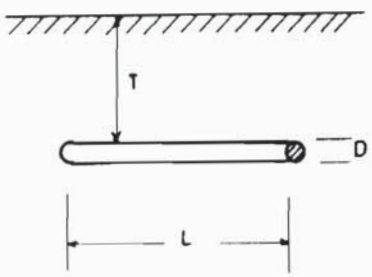


شکل ۱۵ ـ ۷ جزییات جعبه آزمون سیستم اتصال زمین.

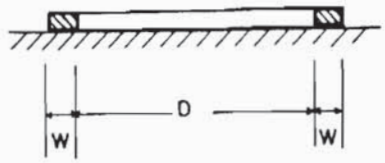
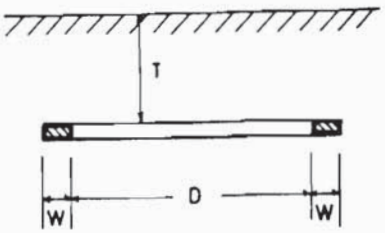
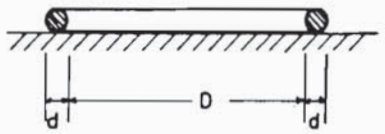
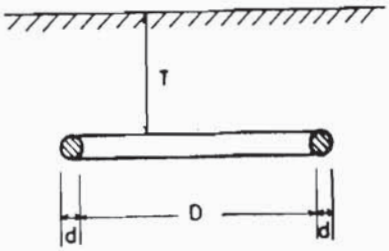
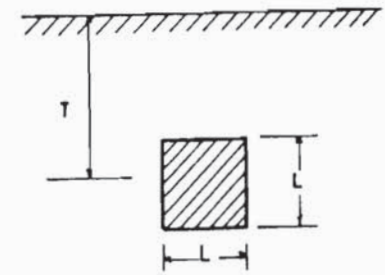
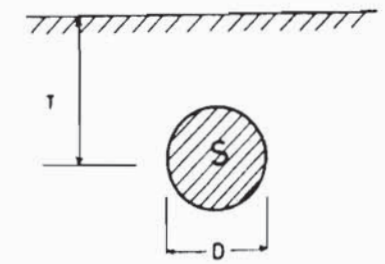
جدول ۱۵ ـ ۱ ـ الف فرمول محاسبهٔ مقاومت الکترودهای مختلف زمینی

الکترود تک‌میله‌ای یا تک‌لوله‌ای که انتهای آن در سطح زمین قرار گرفته باشد $R=\frac{\rho}{2\pi L}\ln\frac{4L}{D}\qquad L>>\frac{D}{2}$	
الکترود دومیله‌ای یا دو لوله‌ای که انتهای آن در سطح زمین قرار گرفته و فاصلهٔ بین آن دو بیشتر از طول الکترود باشد $S>L$ $R=\frac{\rho}{4\pi L}\left[\ln\left(\frac{8L}{D}\right)-1\right]+\frac{\rho}{4\pi S}\left(1-\frac{L^2}{3S^2}+\frac{2L^4}{5S^4}+\ldots\right)$	
الکترود دومیله‌ای یا دو لوله‌ای که انتهای آن در سطح زمین قرار گرفته و فاصلهٔ بین آن دو بیشتر از طول الکترود باشد $S<L$ $R=\frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{8L}{D}+\ln\frac{4L}{S}-2+\frac{S}{2L}-\frac{S^2}{16L^2}+\frac{S^4}{512L^4}+\ldots\right)$	
الکترود تک‌میله‌ای یا یک لوله‌ای که انتهای آن از سطح زمین پایین‌تر قرار گرفته باشد $L>>\frac{D}{2}\qquad T<<\frac{L}{4}$ $R=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{2L}{D}+\frac{1}{2}\ln\frac{4T+L}{4T-L}\right)$	
الکترود نیم‌کره، نصب شده همسطح با زمین $R=\frac{\rho}{\pi D}\qquad R=\frac{\rho}{2\pi r}$	
الکترود نیم‌کره، نصب شده پایین‌تر از سطح زمین $T>>r$ $R=\frac{\rho}{2\pi D}\left(1+\frac{D}{4T}\right)\qquad R=\frac{\rho}{4\pi r}\left(1+\frac{D}{4T}\right)$	

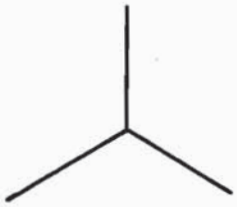
جدول ۱۵ ـ ۱ ـ ب فرمول محاسبهٔ مقاومت الکترودهای مختلف زمین

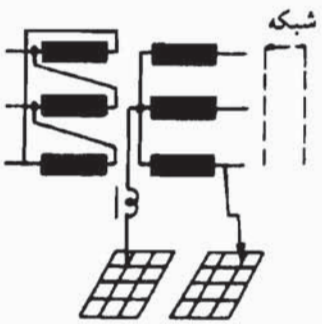
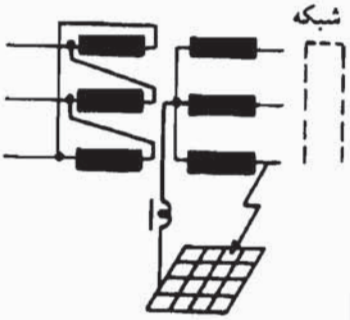
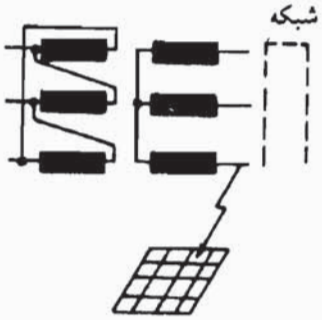
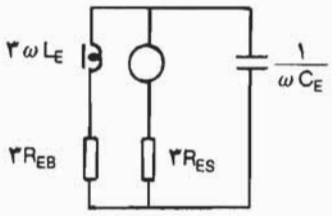
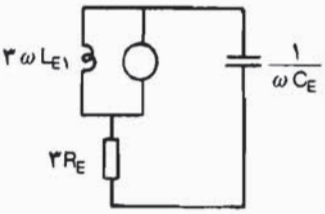
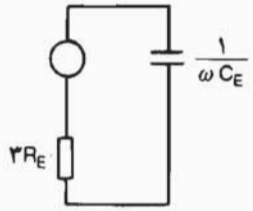
الکترود صفحه دایره‌ای نصب شده در سطح خاک $R=\frac{\rho}{2D}$	
الکترود صفحه دایره‌ای، نصب شده در زیر خاک $T>>D/2$ $R=\frac{\rho}{4D}\left(1+\frac{2}{\pi}\arcsin\frac{D}{\sqrt{16T^2+D^2}}\right)$	
الکترود تسمه‌ای، نصب شده در سطح خاک در خط مستقیم $L>>W$ $R=\frac{\rho}{\pi L}\left(\ln\frac{4L}{W}\right)$	
الکترود تسمه‌ای، نصب شده در زیر خاک در خط مستقیم $L>>W$ $R=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{2L^2}{WT}\right)$ $T>>\frac{L}{4}$	
الکترود سیم مسی، نصب شده در سطح خاک در خط مستقیم $L>>D$ $R=\frac{\rho}{\pi L}\left(\ln\frac{2L}{D}\right)$	
الکترود سیم مسی، نصب شده در زیر خاک در خط مستقیم $L>>D$ $T<<\frac{L}{4}$ $R=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{L^2}{DT}\right)$	

جدول ۱۵ ـ ۱ ـ پ فرمول محاسبهٔ مقاومت الکترودهای مختلف زمین

الکترود تسمه‌ای به‌شکل حلقه، نصب شده در سطح خاک $D>>W$ $R=\frac{\rho}{\pi^{2}D}\left(\ln\frac{16D}{W}\right)$	
الکترود تسمه‌ای به‌شکل حلقه، نصب شده در زیر خاک $D>>W$ $R=\frac{\rho}{2\pi^{2}D}\left(\ln\frac{8\pi D^{2}}{WT}\right)$ $T<<\frac{D}{2}$	
الکترود سیم مسی به‌شکل حلقه، نصب شده در سطح خاک $D>>d$ $R=\frac{\rho}{\pi^{2}D}\left(\ln\frac{8D}{d}\right)$	
الکترود سیم مسی به‌شکل حلقه، نصب شده در زیر خاک $D>>d$ $R=\frac{\rho}{2\pi^{2}D}\left(\ln\frac{4\pi D^{2}}{dT}\right)$ $T<<\frac{D}{2}$	
الکترود صفحه مربعی، نصب شده به‌حالت عمودی در زیر خاک $T>\sqrt{L^{2}/\pi}$ $R=\frac{\rho}{4\sqrt{\pi L^{2}}}\left(\frac{\pi}{2}+\sin^{-1}\sqrt{\frac{L^{2}}{4T^{2}\pi+L^{2}}}\right)$	
الکترود صفحه دایره‌ای، نصب‌شده به‌حالت عمودی در زیر خاک $S=\frac{D^{2}\pi}{4}$ $T>\sqrt{S/\pi}$ $\frac{\rho}{4\sqrt{\pi S}}\left(\frac{\pi}{2}+\sin^{-1}\sqrt{\frac{S}{4T^{2}\pi+S}}\right)$	

جدول ۱۵ ـ ۱ ـ ت فرمول محاسبهٔ مقاومت الکترودهای مختلف زمین

الکترود میله‌ای، به‌شکل راست‌گوشه، به‌طول بازوی L و شعاع r، نصب شده در زیر خاک به‌عمق T $R=\frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{2L}{r}+\ln\frac{2L}{2T}-0/2373+0/2146\frac{2T}{L}+\right.$ $\left.0/1035\frac{(2T)^2}{L^2}+\ldots\right)$	
الکترود به شکل ستاره با سه بازو و به طول بازوی L و شعاع r، نصب شده در زیر خاک به‌عمق T $R=\frac{\rho}{6\pi L}\left(\ln\frac{2L}{r}+\ln\frac{2L}{2T}+1/071-0/209\frac{2T}{L}+\right.$ $\left.0/237\frac{(2T)^2}{L^2}-0/054\frac{(2T)^4}{L^4}+\ldots\right)$	
الکترود به شکل ستاره با چهار بازو و به طول بازوی L و شعاع r، نصب شده در زیر خاک به‌عمق T $R=\frac{\rho}{8\pi L}\left(\ln\frac{2L}{r}+\ln\frac{2L}{2T}+2/912-1/071\frac{2T}{L}+\right.$ $\left.0/645\frac{(2T)^2}{L^2}-0/145\frac{(2T)^4}{L^4}+\ldots\right)$	
الکترود به شکل ستاره با شش بازو و به طول بازوی L و شعاع r، نصب شده در زیر خاک به‌عمق T $R=\frac{\rho}{12\pi L}\left(\ln\frac{2L}{r}+\ln\frac{2L}{2T}+6/351-3/123\frac{2T}{L}+\right.$ $\left.1/758\frac{(2T)^2}{L^2}-0/49\frac{(2T)^4}{L^4}+\ldots\right)$	
الکترود به شکل ستاره با هشت بازو و به طول بازوی L و شعاع r، نصب شده در زیر خاک به‌عمق T $R=\frac{\rho}{16\pi L}\left(\ln\frac{2L}{r}+\ln\frac{2L}{2T}+10/98-8/51\frac{2T}{L}+\right.$ $\left.3/26\frac{(2T)^2}{L^2}-1/17\frac{(2T)^4}{L^4}+\ldots\right)$	

با اتصال زمین تشدیدی (RESONANCE)		با نقطه نول ایزوله شده
سیستم اتصال زمین مجزا	سیستم اتصال زمین مشترک	
۱	۲	۳
		
		
مدار معادل ساده شده		

R_E= مقاومت الکترود اتصال زمین پست

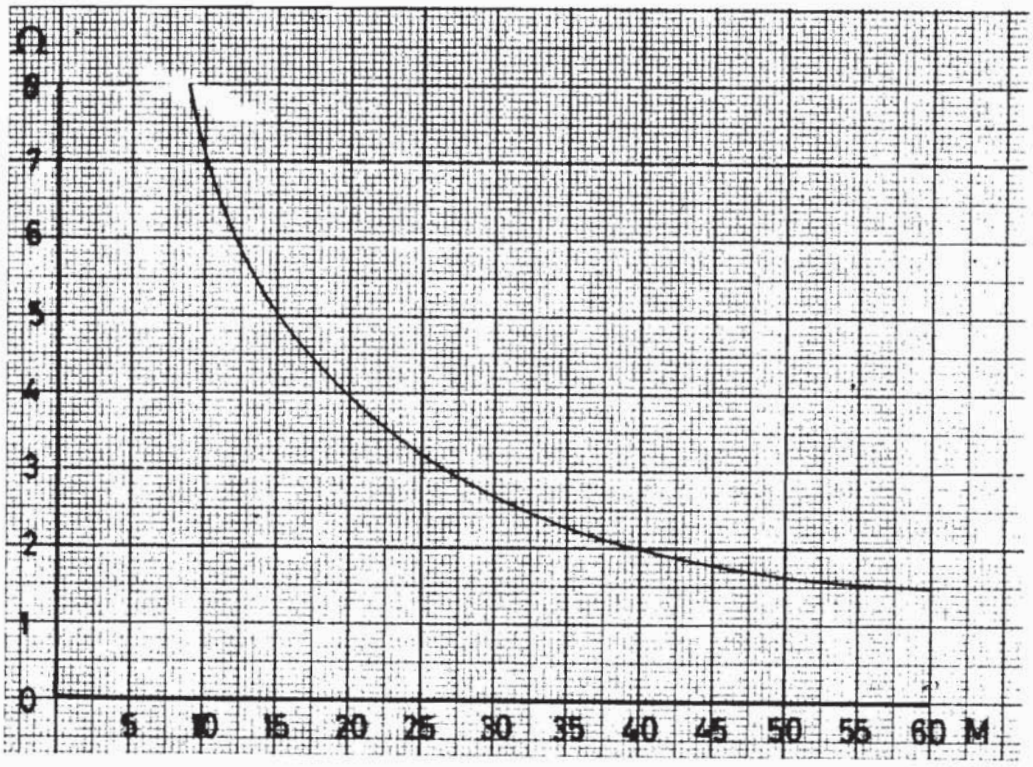
R_{ES}= مقاومت الکترود اتصال زمین حفاظتی پست (PROTECTIVE EARTHING)

R_{EB}= مقاومت الکترود اتصال زمین سیستم (SYSTEM EARTHING)

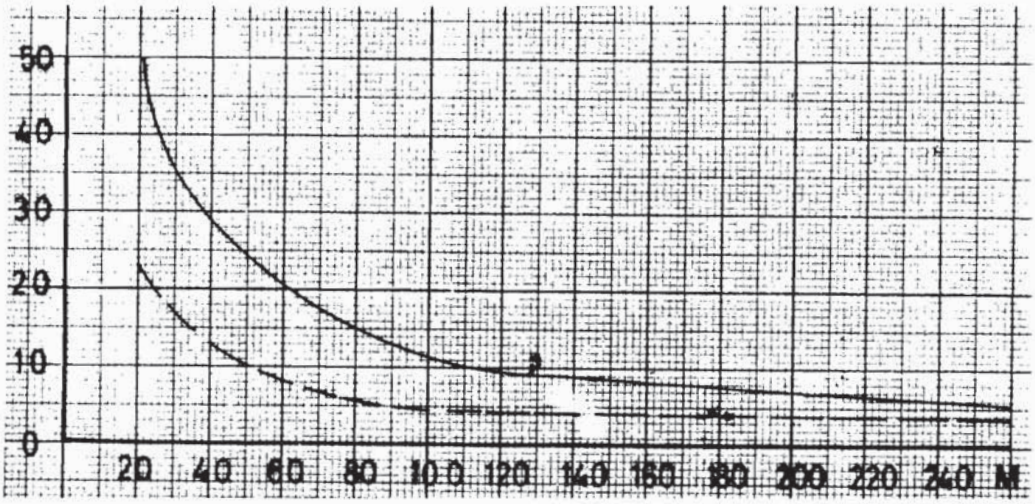
L_E= اندوکتانس سیم‌پیچ دستگاه نشت زمین (EARTH LEAKAGE COIL)

C_E= ظرفیت خازنی نسبت به‌زمین شبکه

شکل ۱۵ ـ ۸ روشهای اتصال زمین وسایل و دستگاههای فشار متوسط.

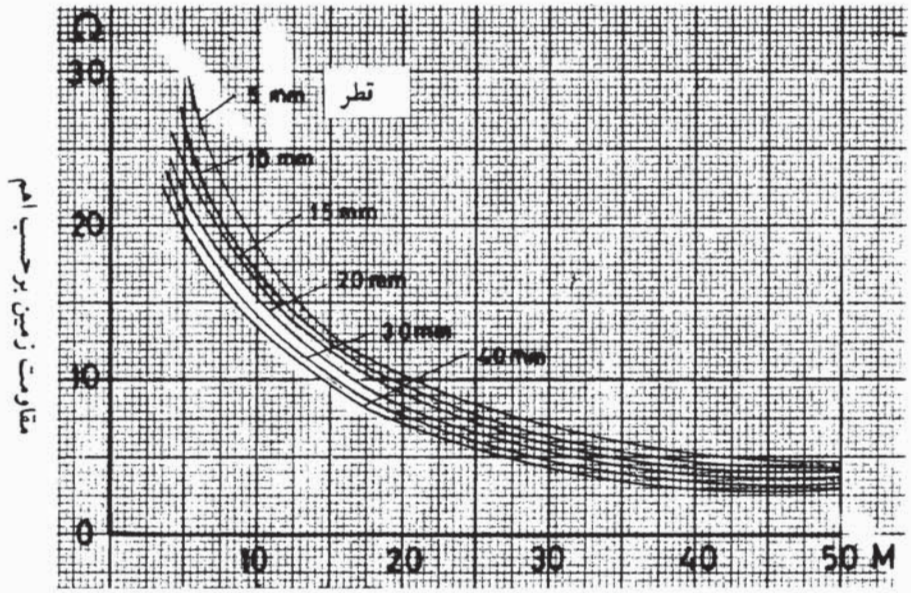


منحنی مقاومت زمین با چهارعدد الکترود به‌قطر ۲ سانتیمتر نصب شده به‌حالت ستاره در زمینی با مقاومت مخصوص ۱۰۰ اهم‌متر

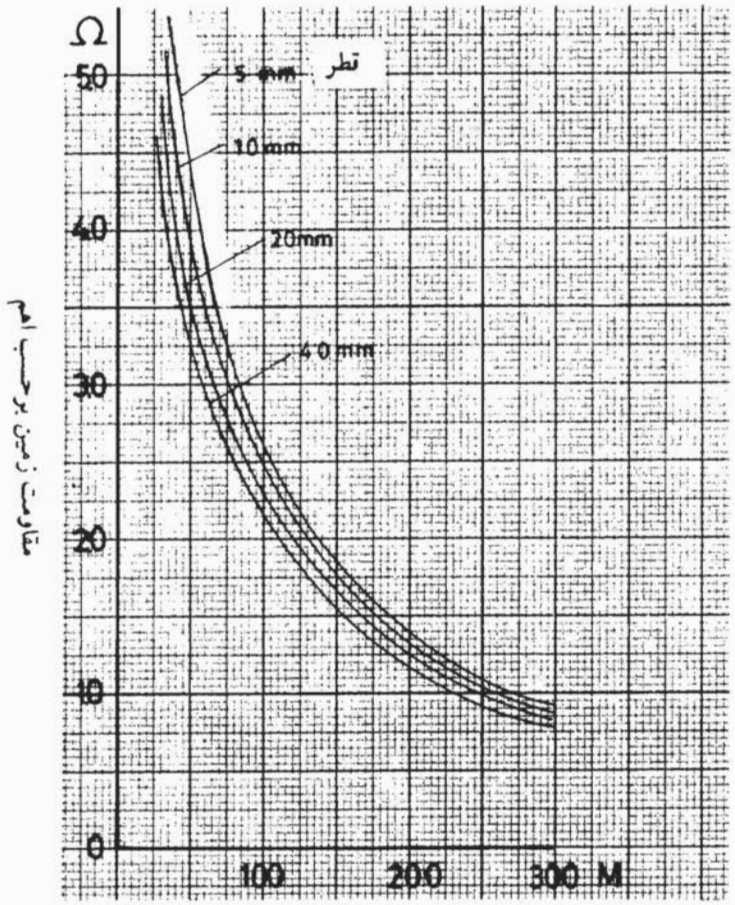


منحنی مقاومت زمین با الکترودی از تسمه مسی لخت به‌مقطع ۵۰ میلیمتر مربع نصب شده به‌شکل دایره در زمینی با مقاومت مخصوص ۱۰۰ اهم‌متر

شکل ۱۵ ـ ۹



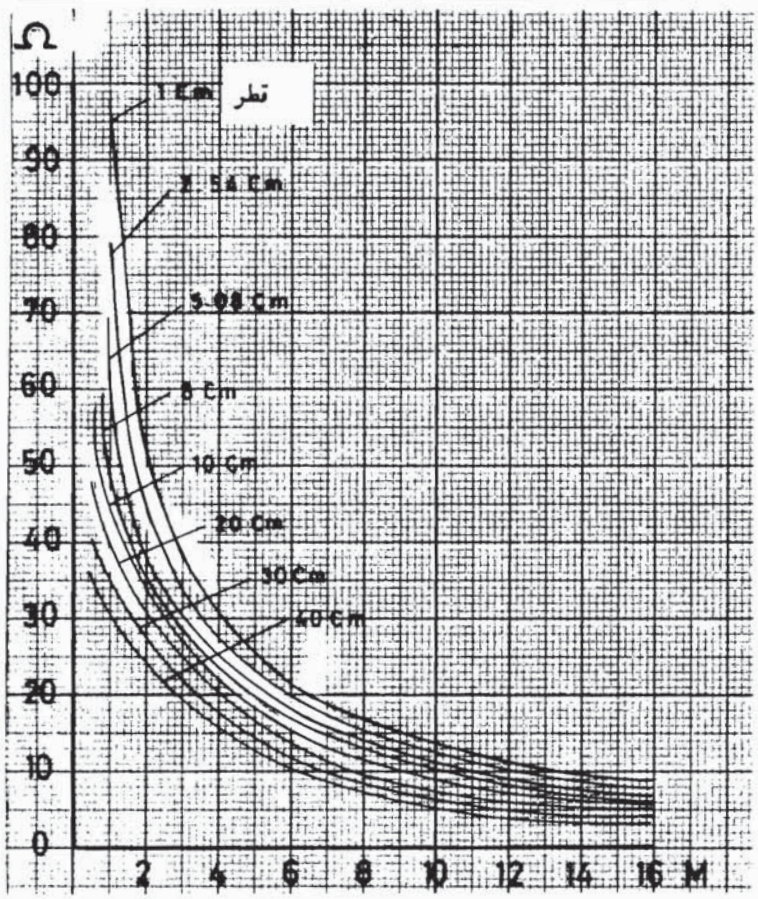
منحنی مقاومت زمین با الکترودی از میله گرد مسی لخت با قطرهای مختلف نصب شده در عمق ۵۰ سانتیمتری زمینی با مقاومت مخصوص ۱۰۰ اهم‌متر



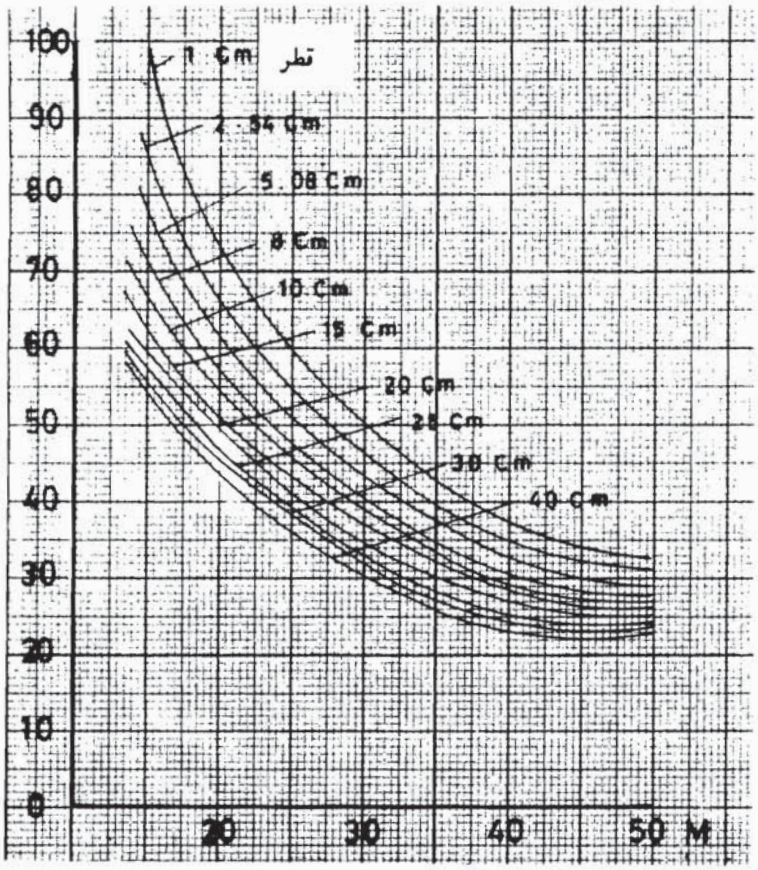
توجه:
به‌جای میله‌گرد مسی لخت می‌توان از تسمه مسی لخت با همان سطح مقطع نیز استفاده نمود.

منحنی مقاومت زمین با الکترودی از میله‌گرد مسی لخت با قطرهای مختلف نصب شده در عمق ۵۰ سانتیمتری زمینی با مقاومت مخصوص ۱۰۰ اهم‌متر

شکل ۱۵ ـ ۱۰



منحنی‌های مقاومت زمین با الکترودی از میله‌مسی مغز فولادی و یا لوله با قطرهای مختلف کوبیده‌شده درزمینی با مقاومت مخصوص ۱۰۰ اهم متر



شکل ۱۵ ـ ۱۱

جدول ۱۵ ـ ۲ نشانه‌های ترسیمی الکتریکی برای سیستمهای برقگیر و اتصال زمین

شـــرح	نشانه
برقگیر، نوع فرانکلین	
برقگیر، نوع الکترونیک	
اتصال زمین	