

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

I.P.I.S 101 1 St. edition JULY2003	جمهوری اسلامی ایران Islamic Republic of Iran وزارت نیرو Ministry Of Energy سازمان مدیریت تولید و انتقال نیروی برق ایران (توانیر) Iran Power Generation & Transmission Management Organization – Head Office (Tavanir) استاندارد صنعت برق ایران-سیستم زمین برای ساختمانهای مسکونی و تجاری قسمت سوم : روشهای اجرا و اندازه گیری مقاومت سیستم زمین Iran Power Industry Standards- Earthing for Residential and Commercial Buildings Part Three : Installation and Measurment Methods of Earthing System کارفرما: معاونت توسعه و امور اقتصادی شرکت توانیر تدوین کننده: شرکت پژوهنده نیرو	۱۰۱ چاپ اول تیر ۱۳۸۲
---	--	--

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

استاندارد سیستم زمین تاسیسات الکتریکی در ساختمانهای
مسکونی، تجاری و عمومی
۱۰۱

شماره شناسایی	اجرا و اندازه گیری
۱۰۱-۱۰۳	روشهای اجرا و اندازه گیری مقاومت سیستم زمین

شماره شناسایی	کالا
۱۰۱-۱۰۲	مشخصات فنی تجهیزات سیستم زمین

شماره شناسایی	مهندسی
۱۰۱-۱۰۱	معیارهای طراحی ومحاسبه مقاومت سیستم زمین

نشریه شناخت : ۱۰۱/۱۰۱

- ۱- شناخت سیستم زمین و تجهیزات و تعاریف مربوط به آنها
- ۲- عبور جریان از بدن انسان و خطرات ناشی از آن

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

کمیسیون استاندارد سیستم زمین ساختمانهای مسکونی، اداری و تجاری

رئیس

ابراهیم نمازی صالح
(فوق لیسانس مدیریت)

اعضاء

شرکت توزیع برق استان آذربایجان غربی	رحمان آبادکن (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان آذربایجان غربی	حبیب خیرخواهی (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان آذربایجان شرقی	محمود اصغری فرد (فوق لیسانس صنایع)
شرکت توزیع برق استان اردبیل	هوشنگ داداش زاده (لیسانس برق)
شرکت برق منطقه ای اصفهان	رضا پورآقابابا (فوق لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق استان اصفهان	مهدی ثقفی (فوق لیسانس قدرت)
شرکت برق منطقه ای اصفهان	احمد جمال پور (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق اصفهان	مسعود جمشیدیان (لیسانس قدرت)
دفتر تحقیقات شرکت برق منطقه ای اصفهان	کمال حسینی (فوق لیسانس قدرت)

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

شرکت برق منطقه ای اصفهان	محبوبه مدنی (لیسانس قدرت)
شرکت برق منطقه ای اصفهان	مجتبی مرتضوی (لیسانس الکترونیک - فوق لیسانس مدیریت)
شرکت توزیع برق شهرستان اصفهان	عباس رفیعی (لیسانس قدرت)
شرکت مهندسين دانشمند	مهرداد ملانوروزی (فوق لیسانس قدرت)
شرکت مهندسين دانشمند	امیرمهدی کارشناس (لیسانس قدرت)
شرکت پژوهنده نیرو	بهزاد میرزائیان (دکترای قدرت)
شرکت پژوهنده نیرو	ندا بکتاش (لیسانس مخابرات)
شرکت توزیع برق استان ایلام	عبدالجبار چراغی (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان ایلام	غضبان نظری (لیسانس برق)
شرکت توانیر- معاونت پژوهشی دفتر استانداردها	محمدحسن بهشتی (لیسانس برق)
دفتر امور فنی و تدوین معیارها- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	پرویز سیداحمدی (لیسانس قدرت)
دفتر استانداردها و کنترل کیفی- مسؤول گروه تدوین استانداردها	محمدعلی معتمدی (لیسانس برق)
دفتر امور فنی و تدوین معیارها- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	مصطفی مهدوی (فوق لیسانس الکترونیک)

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

دستر برنامه ریزی فنی برق تهران	حجت اله ایزدی
	(فوق لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق غرب تهران (کرج)	حافظ علی افزار
	(لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق مرکز تهران	امید قربانی
	(لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق جنوب شرق تهران	اعتضاد مقیمی
	(لیسانس قدرت - فوق لیسانس الکترونیک)
شرکت توزیع برق شمالشرق تهران	غلامرضا ریاضت
	(لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق شمالشرق تهران	تورج سروش
	(لیسانس برق)
شرکت متن	داریوش حکمت شعار
	(لیسانس برق)
شرکت متن	محسن عابدی
	(لیسانس کنترل و ابزار)
دفتر تحقیقات و آموزش توزیع چهارمحال	جعفر محمدزاده
بختیاری	(لیسانس قدرت)
شرکت برق منطقه ای خراسان	محسن اصیلی
	(فوق لیسانس قدرت)
شرکت برق منطقه ای خراسان	مهدی حسین زاده
	(لیسانس قدرت)
شرکت برق منطقه ای خراسان	محمد دانائی
	(لیسانس قدرت)
شرکت برق منطقه ای خراسان	مهدی مسعودی
	(فوق لیسانس کنترل)

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

شرکت برق منطقه ای خراسان	علی یکتا (فوق لیسانس برق)
شرکت برق منطقه ای خوزستان	اسداله امیدواری نیا (لیسانس قدرت)
سازمان آب و برق خوزستان	فرهاد کیانی نسب (لیسانس الکترونیک)
شرکت برق منطقه ای خوزستان	ولی اله رضوی (لیسانس قدرت)
سازمان آب و برق خوزستان - معاونت توزیع	سید مجید شیرازی بهشتی (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق استان قزوین	حسین امیریان (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان قزوین	علیرضا زین العابدینی (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق استان قزوین	اکبر قره داغی (لیسانس الکترونیک)
شرکت توزیع برق استان قزوین	محمدرضانجفی (کارشناس طراحی پست)
شرکت توزیع برق استان قزوین	محمد ایرج مرادی (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق استان قزوین	حبیب اله طاهری (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان سمنان	علی پورحیدریان (لیسانس فیزیک)
شرکت توزیع برق استان سمنان	رحمت اله همتی (لیسانس ایمنی و بهداشت صنعتی)

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

شرکت توزیع برق استان کرمانشاه	پیمان اکبری (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق استان کرمانشاه	ایرج بلندبخت (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق استان کرمانشاه	منصور بنوشی (کارشناس استانداردها)
شرکت توزیع برق استان کرمانشاه	مسعود پروانه وار (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان کرمانشاه	امین حسینی (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق استان کرمانشاه	حسین خیام (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق استان کرمانشاه	فریبرز گلبار (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان کرمانشاه	احمد ویسی فر (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق کرمانشاه - دفتر تحقیقات	فرزاد شاطرآبادی (لیسانس قدرت)
برق منطقه‌ای استان کرمانشاه	مجتبی داوود آبادی (لیسانس قدرت)
شرکت برق منطقه‌ای استان کرمانشاه	تورج ملکی (لیسانس فیزیک)
شرکت برق منطقه‌ای استان کرمانشاه	بیژن ملک پور (لیسانس برق)
شرکت برق منطقه‌ای استان کرمانشاه	محمد مهدی قربی (لیسانس قدرت)

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

شرکت برق منطقه‌ای استان کرمانشاه	فرزاد ناصح نیا (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان کردستان	فرهاد خردمند (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق استان فارس	مهدی فرشچی (لیسانس مکانیک)
شرکت توزیع برق استان فارس	خلیل فخارزادگان (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان فارس	سیدمحمد حسن صحرائیان (لیسانس الکترونیک)
شرکت توزیع برق استان قم	داوود سلیمانیان (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان کرمان	حمید اسماعیل پور (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق جنوب استان کرمان	رضا سالاری خو (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق استان کهگیلویه و بویراحمد	سعید حسینی (لیسانس کامپیوتر)
شرکت توزیع برق استان کهگیلویه و بویراحمد	حسن کریمی (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان کهگیلویه و بویراحمد	محمدعلی زاده شش بلوکی (لیسانس قدرت)
شرکت توزیع برق استان گیلان	عادل سلیمانی (لیسانس برق)
شرکت توزیع برق استان مازندران	فردین عنایتی (لیسانس قدرت)

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

شرکت توزیع برق استان مازندران

سید سعید سیدخندان

(لیسانس قدرت)

شرکت توزیع برق استان مازندران

عبدالرضا فتوی

(فوق لیسانس برق)

شرکت توزیع برق بوشهر

حسن آشوری

(لیسانس قدرت)

شرکت توزیع برق استان هرمزگان

اسداله رئیسی جاسکی

(کارشناس برق)

شرکت توزیع برق استان هرمزگان

سعید قاسمی کپورچالی

(کارشناس برق)

شرکت توزیع برق استان یزد

محمد صالح دشتی

(لیسانس برق)

شرکت توزیع برق استان یزد

محمد حسین میرزاده

(لیسانس برق)

شرکت توزیع برق استان یزد

رضا گلفام

(لیسانس قدرت)

دبیر

دانشگاه صنعتی اصفهان

مهدی معلم

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

فهرست مندرجات	صفحه
پیش گفتار	ب
مقدمه	ج
۱ هدف	۱
۲ دامنه کاربرد	۱
۳ مراجع الزامی	۱
۴ مراحل کلی طراحی سیستم زمین	۳
۵ مقررات عمومی سیم کشی سیستم زمین برای ساختمانهای مسکونی و تجاری	۳
۶ سیستم های اتصال زمین در تأسیسات الکتریکی ساختمانها	۵
۷ روابط و جداول مهم مورد نیاز برای محاسبه مقاومت زمین	۱۰
۸ روشهای اندازه گیری و محاسبه مقاومت سیستم زمین	۱۳
۹ جزئیات نصب الکترودهای مختلف زمین	۳۱
پیوست الف - طراحی سیستم زمین براساس مقاومت مخصوص خاک	۴۰
الف- ۱ خاک ماسه ای در شرایط آب و هوایی خشک با رطوبت پنج درصد	۴۰
الف- ۲ خاک ماسه ای در شرایط آب و هوایی مرطوب با رطوبت سی درصد	۴۱
پیوست ب - منحنی های کاربردی برای نصب الکترودها	۴۳
ب-۱ تغییرات مقاومت اتصال به زمین برای الکترودهای میله ای تکی نسبت به عمق دفن و تغییر شعاع	۴۳
ب-۲ تغییرات مقاومت اتصال به زمین برای دو الکترودهای میله ای نسبت به عمق دفن و تغییر شعاع	۴۷
ب-۳ تغییرات مقاومت اتصال زمین الکترودهای صفحه ای دوار دفن شده به صورت افقی از عمق دفن ۱/۵ تا ۲/۵ متر با سطح مقطع های مختلف	۵۱
ب-۴ تغییرات مقاومت اتصال زمین الکترودهای صفحه ای دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۴ متر با سطح مقطع های مختلف	۵۶
ب-۵ تغییرات مقاومت اتصال زمین الکترودهای صفحه ای دوار دفن شده به صورت عمودی از عمق دفن ۱/۵ تا ۲/۵ متر با سطح مقطع های مختلف	۵۷
ب-۶ تغییرات مقاومت اتصال زمین الکترودهای صفحه ای دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۴ متر با سطح مقطع های مختلف	۶۲

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

پیش گفتار

استاندارد "سیستم زمین برای ساختمانهای مسکونی و تجاری" قسمت سوم روشهای اجرا و اندازه گیری مقاومت سیستم زمین که پیش نویس آن بوسیله وزارت نیرو شرکت توانیر معاونت توسعه و امور اقتصادی - دفتر استانداردها و کنترل کیفی و در کمیسیون مربوط تهیه و تدوین شده و مورد تصویب مقام محترم وزارت طی بخشنامه شماره مورخ قرار گرفته است. اینک به استناد بند ((ز)) ماده یک قانون تاسیس وزارت نیرو مصوب ۵۳/۱۱/۲۸ و ماده ۷ قانون سازمان برق ایران مصوبه ۱۳۴۶/۴/۱۹ و ماده ۳ آئین نامه اجرائی بند ((ج)) ماده ۱۲۲ قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی و اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران به عنوان استاندارد صنعت برق ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات ، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هرگونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در تجدید نظر بعدی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ایران باید همواره از آخرین تجدید نظر آنها استفاده کرد.

در تهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجود و نیازهای جامعه ، درحد امکان بین این استاندارد و استاندارد ملی کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود.

منابع و مأخذی که در تدوین این استاندارد به کار رفته به شرح زیر است:

- [1] IEC 60364-4-41(1996):Electrical Installations of Buildings Part 4:
Protection for Safety Chapter 41: Protection Against Electric Shock Third
Edition8 Amendment 1
- [2] IEC60364-4-47(1993):Electrical Installations of Buildings Part4: Protection
for Safety Chapter47: Application of Protective Measures for Safety
Section 470: General Section 471:Measures of Protection Against
Electric Shook First Edition:Amendment 1
- [3] IEC60364-4-473(1977): Electrical Installation of Building Part4:
Protection for Safety Chapter 473 Application of Protection Measures for
Safety Section 473-Measure of Protection Against OverCurrent First Edition

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

- [4] IEC 60364-5-51(1997):Electrical Installations of Buildings – Part5:Selection and Erection of Electrical Equipment-Chapter 51:Common Rules Third Edition
- [5] IEC60364-5-54(1982) :Electrical Installations of Buildings Part 5: Selection and Erection of Electrical Equipment Chapter54:Earthing Arrangements and Protective Conductors First Edition :Amendment 1
- [6] IEC 60364-7-706(1983): Electrical Installations of Buildings Part7: Requirements for Special Installations or Locations Section706- Restrictive Conductin Locations First Edition
- [7] IEEE green book (1982) Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System ,
- [8] IEEE gray book (1983) Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings ,
- [9] IEE Proc. Generation ,Transmission , Distribution, Vol.146,No.1, (1999),Improvement of Electrical Properties of Grounding Loops by Using Bentonite and Waste Drilling Mud, M.B.Kostic, Z.R.Radakovic, N.S. Radovonic.M.R.Tomasevic-Canovic.
- [10] IEEE Transactions on Power Delivery ,Vol.11,No.3,(July1996,pp1337) J.M. Nahman ,V.B. Djordjevic ,”Resistance to Ground of Combined Grid-Multiple Rods Electrodes “,
- [11] IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103,No.2,(February1984),pp374 F.Dawalibi,C.J.Blattner,” Earth Resistivity Measurment Interpretation Techniques “,
- [12] British Standard (B.S.) Code of Practice Cp 1013 (1965) :EARTHING.
- [13] Siemens (1987), Electrical Installations Hand book, Book1 , Power Supply and Distribution System,
- [14] Siemens(1987), Electrical Installations Hand book, Book3, Large Buildings and Outdoor Areas Special Installation Specifications and Safety Measures ,
- [15] Regulations for the Electrical Equipment of Buildings Fourteenth Editions 1966, RE PRINTEND In 1970, 1974, 1976.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

[16] ELECTRICAL ENGINEERS, McGRAW-HILL Book Company ,1907.

[17] Electrical Power System Quality , Roger C. Dugan(2000)

[18]VDE 0470,IP_{xx} Standards

[۱۹] مرکز تحقیقات نیرو(متن)، اسفندماه ۱۳۷۵ استاندارد و آیین نامه سیم‌کشی ساختمانهای مسکونی،

تجاری، صنعتی

[۲۰] مقررات ملی ساختمانی ایران، مبحث ۱۳: سال ۱۳۷۹ طرح و اجرای تأسیسات برقی ساختمانها،

دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان وزارت مسکن

و شهرسازی،

[۲۱] استاندارد ملی ایران ۵: (سال ۱۳۷۸ تجدید نظر دوم) استاندارد ملی ایران- مقررات مربوط به

ساختار و شیوه نگارش

[۲۲] نشریه ۱۱۰ سازمان برنامه و بودجه کشور

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

مقدمه

با توجه به اهمیت ایمنی و سلامت شهروندان در مقابل برق گرفتگی و آمار بالای حوادث و تلفات ناشی از برق گرفتگی ، تدوین و اجرای معیارها و قوانین حفاظتی قابل انجام برای بخش عمومی ، ساختمانهای مسکونی و تجاری ضروری است و بویژه مهمترین روش حفاظتی که زمین کردن تجهیزات الکتریکی در بخش عمومی ساختمانهای مسکونی و تجاری می باشد تا بحال جز در موارد خاص الزامی نبوده است.

استاندارد سیستم زمین در ساختمانهای مسکونی و تجاری از قسمت های مختلفی بشرح زیر تشکیل شده است که می بایستی به همراه مراجع الزامی آنها مورد استفاده قرار گیرند.

نشریه شامل :

قسمت اول - معیارهای طراحی و محاسبه مقاومت سیستم زمین

قسمت دوم - مشخصات فنی تجهیزات سیستم زمین

قسمت سوم - روشهای اجرا و اندازه گیری مقاومت سیستم زمین

برای آشنایی بیشتر کاربران این استاندارد علاوه بر قسمتهای فوق گزارش فنی شناخت سیستم زمین در ساختمانهای مسکونی و تجاری که جنبه اطلاعاتی و آموزش دارد تهیه شده است که شامل شناخت سیستم زمین، اصول برق گرفتگی و ایمنی و انواع سیستمهای زمین در ساختمانهای مسکونی و تجاری می باشد.

این گزارش شامل دستورالعملهایی برای اجرا و اندازه گیری مقاومت سیستم زمین در ساختمانهای مسکونی و تجاری با توجه به شرایط مختلف نظیر وسعت ساختمان، سطح ولتاژ و شرایط آب و هوایی می باشد.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

سیستم زمین برای ساختمانهای مسکونی و تجاری

قسمت سوم - روشهای اجرا و اندازه گیری مقاومت سیستم زمین

۱ هدف

در این قسمت دستورالعملهای اجرای سیستم زمین برای ساختمانهای مسکونی و تجاری با توجه به شرایط مختلف از قبیل وسعت ساختمان، سطح ولتاژ، شرایط آب و هوایی و نوع خاک ارائه شده است.

۲ دامنه کاربرد

دامنه کاربرد این دستورالعمل در مورد سیستم زمین ساختمانهای مسکونی و تجاری با وسعت های مختلف و ولتاژ تغذیه ۲۳۰ ولت تکفاز و ۴۰۰ ولت سه فاز و اندازه گیری مقاومت زمین برای تأسیسات الکتریکی می باشد.

۳ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می شود. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و/یا تجدیدنظر، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نیست. معهذا بهتر است کاربران ذینفع این استاندارد، امکان کاربرد آخرین اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و/یا تجدیدنظر، آخرین چاپ و/یا تجدیدنظر آن مدارک الزامی ارجاع داده شده مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است :

- [1] IEC 60364-4-41 (1996) ,Electrical Installations of Buildings Part 4: Protection for Safety Chapter 41: Protection Against Electric Shock Third Edition 8 Amendment 1
- [2] IEC 60364-4-473 (1977) : Electrical Installation of Buildings Part 4: Protection for Safety Chapter 473 Application of Protection Measures for Safety Section 473: Measure of Protection Against OverCurrent First Edition

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

- [3] IEC 60364-7-706(1983) : Electrical Installations of Buildings Part7: Requirements for Special Installations or Locations Section706- Restrictive Conductin Locations First Edition
- [4] IEEE green book(1982) Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System ,
- [5] IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-103, No.2, (February 1984), pp374, F.Dawalibi, C.J.Blattner, "Earth Resistivity Measurment Interpretation Techniques",
- [6] IEEE Transactions on Power Delivery , Vol.11, No.3, (July 1996, pp1337) J.M. Nahman , V.B. Djordjevic , "Resistance to Ground of Combined Grid-Multiple Rods Electrodes",
- [7] IEE Proc. Generation , Transmission , Distribution, Vol.146, No.1, (1999), "Improvement of Electrical Properties of Grounding Loops by Using Bentonite and Waste Drilling Mud", M.B.Kostic, Z.R.Radakovic, N.S. Radovonic. M.R. Tomasevic-Canovic.
- [8] British Standard (B.S.) Code of Practice Cp 1013 (1965) , EARTHING.
- [9] Siemens (1987), Electrical Installations Hand book, Book1 , Power Supply and Distribution System,
- [10] Siemens(1987), Electrical Installations Hand book, Book3, Large Buildings and Outdoor Areas Special Installation Specifications and Safety Measures ,
- [11] Electrical Power System Quality , Roger C. Dugan(2000)
- [۱۲] مرکز تحقیقات نیرو(متن)، اسفندماه ۱۳۷۵، استاندارد و آیین نامه سیم‌کشی ساختمانهای مسکونی، تجاری، صنعتی.
- [۱۳] مقررات ملی ساختمانی ایران، مبحث ۱۳، سال ۱۳۷۹، طرح و اجرای تأسیسات برقی ساختمانها، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان وزارت مسکن و شهرسازی.
- [۱۴] نشریه ۱۱۰ سازمان برنامه و بودجه کشور

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

۴ مراحل کلی طراحی سیستم زمین

برای طراحی سیستم زمین انجام مراحل زیر الزامی است:

- ۱-۴ اطلاعات خاک محل جهت احداث سیستم زمین از نظر مقاومت مخصوص، درجه حرارت محیط و رطوبت در فصول مختلف سال تهیه گردد. (دوره ده ساله)
- ۲-۴ بدترین شرایط آب و هوایی که باعث بیشترین مقاومت مخصوص خاک می‌گردد، باید در نظر گرفته شوند.
- تبصره: مقاومت مخصوص خاک را با استفاده از روش اندازه‌گیری وئر می‌توان بدست آورد.
- ۳-۴ مقاومت پنج اهم برای سیستم زمین در محاسبه الکترودها در نظر گرفته شود.
- ۴-۴ از روابط محاسبه مقاومت الکتروود زمین برای رسیدن به مقاومت فوق با توجه به شرایط خاک و مقاومت مخصوص آن استفاده شود.
- ۵-۴ مقاومت الکتروود زمین به یکی از روشهای آزمون پس از احداث سیستم زمین به صورت دوره‌ای اندازه‌گیری شود. (دوره شش ماهه و یا بهتر است بصورت فصلی اندازه‌گیری انجام شود)
- ۶-۴ خطای اندازه‌گیری و طراحی بر اساس استاندارد IEC ۲۵٪ $\pm$ است.
- ۷-۴ بازدید از سیستم زمین شامل اتصالات، قسمتهای در دسترس الکتروود، مقاومت خاک و... باید به صورت دوره‌ای انجام شود. دوره‌های بازدید بصورت شش ماهه و یا بهتر است به صورت فصلی انجام گردند.
- تبصره: جزئیات مربوط به هر قسمت در بخش‌های مختلف استاندارد سیستم زمین ساختمانهای مسکونی و تجاری آورده شده‌اند.

۵ مقررات عمومی سیم‌کشی سیستم زمین برای ساختمانهای مسکونی و تجاری

- ۱-۵ با رعایت حریم ایمنی محل نصب انشعاب باید فضای کافی برای نصب ترمینال اتصال زمین و انجام سیم‌کشیهای مربوط به آن را داشته باشد.
- ۲-۵ مسیر عبور و نحوه اتصال زمین باید به نحوی انتخاب و اجرا شود که هادی اتصال زمین از هرگونه صدمات احتمالی مکانیکی، شیمیایی، خوردگی و غیره محفوظ بماند. اگر مسیر عبور سیم زمین بدون حفاظ مکانیکی است باید خارج از دسترس بوده ولی بگونه‌ای باشد که بتوان براحتی آنرا بازرسی نمود.
- ۳-۵ حفاظ مکانیکی بکار رفته برای سیم اتصال زمین باید از جنس عایق باشد.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

۴-۵ مسیرهای انشعاب به مصرف کننده‌ها و نحوه نصب آنها باید بگونه‌ای انتخاب و اجرا شود که ردگیری و تعویض مدارها در آینده بدون اشکال انجام پذیر باشد. به این منظور می‌توان از انواع کانال و یا راهرو قابل بازدید استفاده کرد.

۵-۵ مسیرهای انشعاب به مصرف کننده باید طوری انتخاب شود که حرارت تأسیسات دیگر مانند لوله‌های آب گرم، بخار یا دودکشها و همچنین مواد خورنده بر روی انشعابها اعم از سیم و عایقهای حفاظتی آنها اثر سوء نداشته باشد.

۶-۵ همه واحدهای مسکونی، بدون درنظر گرفتن سطح زیربنای آنها باید حداقل دودمدار مستقل شامل

- مدار مختص روشنایی

- مدار مختص پریزها

داشته باشند و هر یک از مدارها کلیه شرایط ذکر شده در بندهای ۲-۵، ۳-۵، ۴-۵، ۵-۵ را داشته باشند.

تبصره: در واحدهای بزرگ تعداد مدارهای روشنایی و پریزها بیش از دو مدار است.

۷-۵ در ساختمانهای مسکونی و تجاری برای ایجاد یک سطح هم پتانسیل باید همبندی اضافی انجام پذیرد. این همبندی باید موارد زیر را شامل شود:

ظرفشویی، کابینت های فلزی موجود در آشپزخانه

هرنوع وسیله برقی مانند یخچال، ماشین لباسشویی، ماشین ظرفشویی، اجاق گاز، ...

لوله‌های آب سرد و گرم، آب گرم‌کن (در صورت فلزی بودن)

لوله‌های فاضلاب (در صورت فلزی بودن)

لوله‌های حرارت مرکزی

اجزای فلزی ساختار ساختمانها از جمله ستونها

هادیهای حفاظتی مدارهای پریز و روشنایی

۸-۵ کلیه پریزهای موجود در ساختمانها باید مجهز به هادی حفاظتی زمین باشند.

تبصره: برای پریزهای مخصوصی که مجهز به ترانسفورماتور ایمنی دارای دو سیم‌پیچ جدای اولیه و ثانویه هستند، نیاز به هادی حفاظتی نیست.

۹-۵ در محیط های نمناک که ممکن است وجود نم، شبنم، آثار مواد شیمیایی و غیره مانع از کار صحیح وسایل الکتریکی شود (مانند: قصابی، نانوائی، سردخانه، گلخانه، زیرزمین‌های نمناک، آشپزخانه‌های بزرگ و محیط‌هایی که برای نظافت از آب تحت فشار استفاده می شود)، انجام

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

سیم‌کشی باید با استفاده از لوله‌های محافظ پلاستیکی مقاوم انجام شود. در این نوع محیط‌ها تجهیزات باید با درجه حفاظتی IP44 (محیط نمناک) و IP45 (محیط مرطوب) باشند. ۵-۱۰ محیط‌های گرم، محیط‌هایی هستند که دمای آنها بیش از ۳۵ درجه سلسیوس باشد، این گونه محیط‌ها معمولاً جزو محیط‌های نمناک یا مرطوب نیز هستند. (مانند کارخانجات فولاد، شیشه، گاز، ذغال کک، دیگخانه، محیط‌های همجوار کوره‌های آب دادن و فلزات، ذوب‌کاری، کوره‌های خشک کن و ...). در این محیط‌ها باید کلیه مقررات بند ۵-۹ را رعایت نمود.

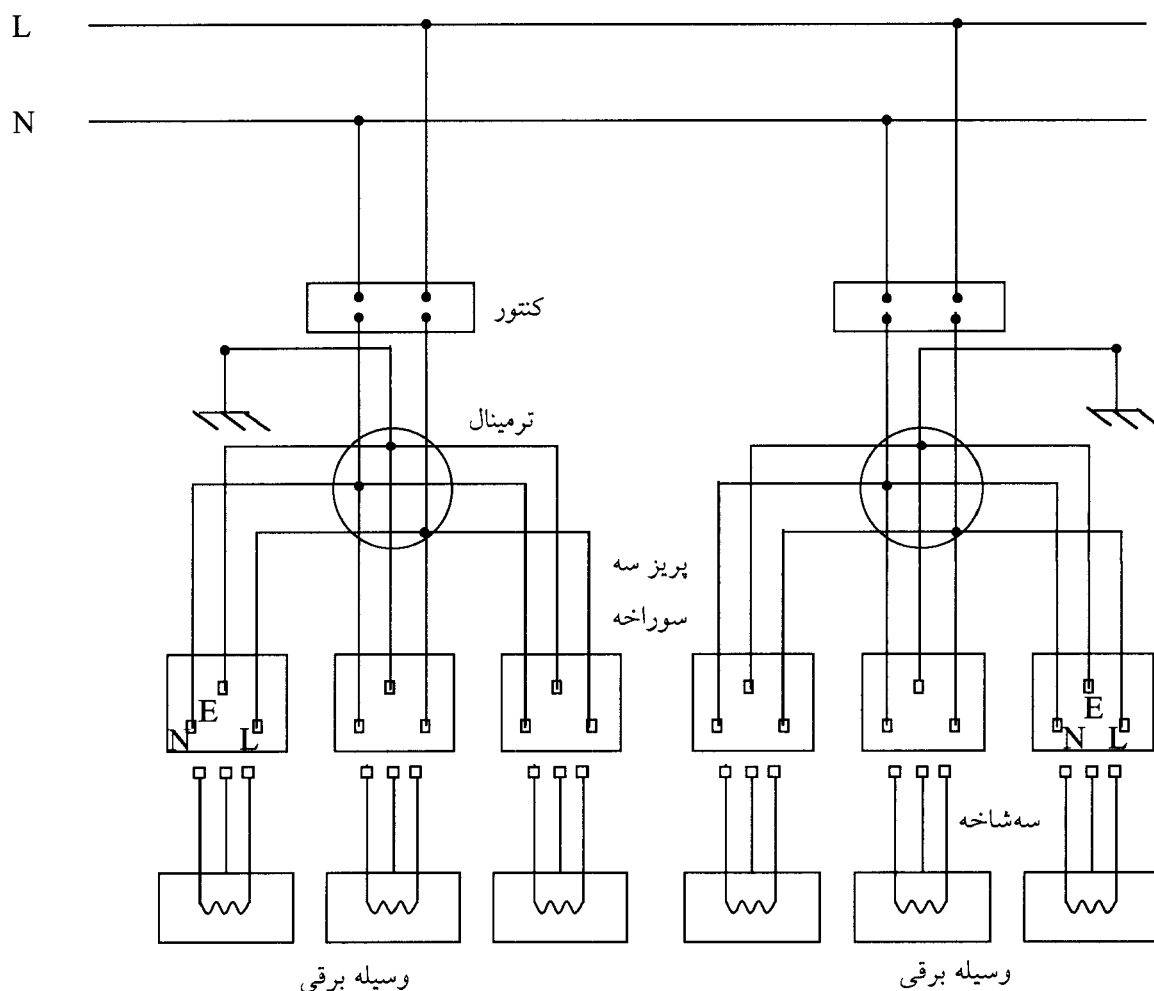
۶ سیستم‌های اتصال زمین در تأسیسات الکتریکی ساختمانها

۶-۱ اتصال زمین در شبکه داخلی ساختمانهای جدید

در سیم‌کشی داخلی ساختمانهای جدید از سیستم سه سیمه (فاز، نول و زمین) باید استفاده شود که این سیستم شامل مراحل زیر بوده و در شکل (۱) نشان داده شده است. در این سیستم نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

- سیم‌کشی پرریز داخل ساختمانها بایستی سه سیمه گردد.
- از پرریزهای دارای اتصال زمین و چند شاخه‌های متناسب استفاده شود.
- سیمهای فاز و نول مطابق معمول به فاز و نول شبکه اصلی متصل گردد.
- سیم سوم (سیم زمین) به زمین اصلی اتصال داده شود.

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.



شکل ۱- سیم حفاظت پیشنهادی برای مشترکین جدید (سیستم TT) [۹]

۲-۶ اتصال زمین در شبکه داخلی ساختمانهای موجود

روشهای زیر برای ایجاد سیستم زمین در ساختمانهای موجود پیشنهاد شده است:

۱-۲-۶ استفاده از سیستمهای حفاظتی مشابه سیستم سه سیمه

اصول چنین سیستمهایی که در شکل (۲) نشان داده شده‌اند عبارتند از:

الف) تمام پریزها و دوشاخه‌های موجود باید با پریزهای دارای اتصال زمین و همچنین سه شاخه تعویض شوند.

ب) دو اتصال مربوط به نول و زمین، در پشت هر پریز به یکدیگر متصل گردند (این اتصال می‌تواند توسط کارخانه سازنده انجام شود).

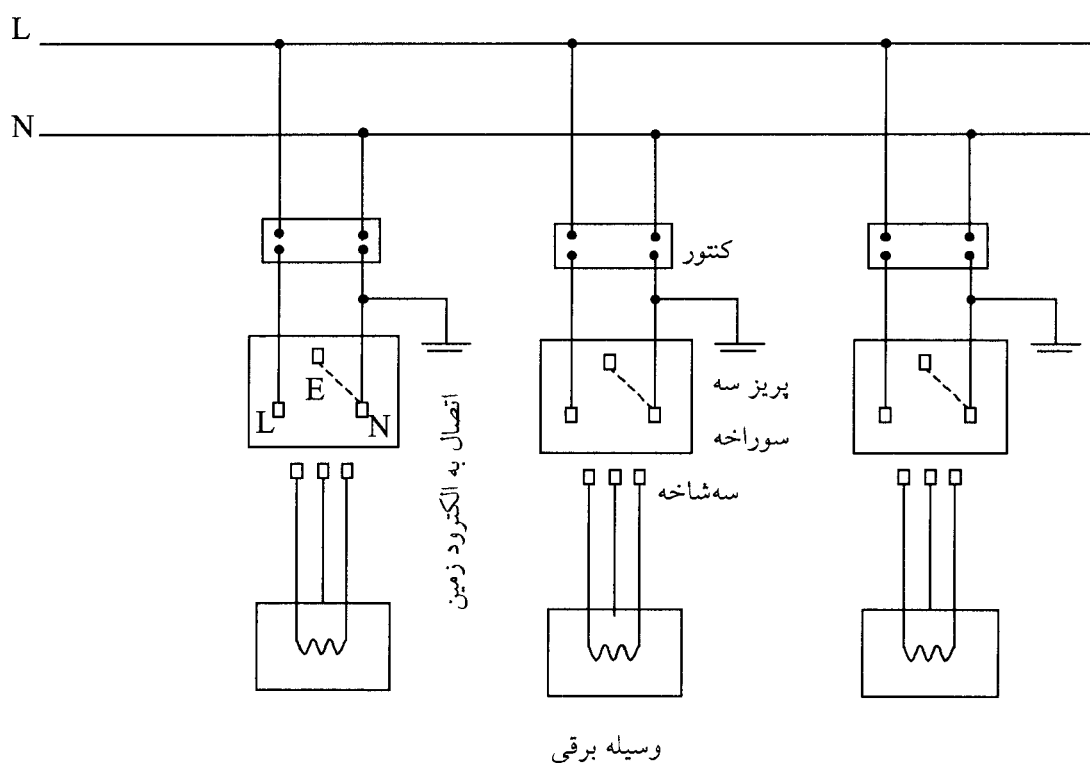
پ) نول در ورودی ساختمان به زمین متصل شود.

در سیستم حفاظتی شکل (۲) نول در محل کنتور به زمین متصل می‌شود. در این سیستم چنانچه در سیم نول داخل ساختمان بریدگی ایجاد شود و یا اتصال آن در جعبه تقسیم بازگردد، در صورت

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

اتصال بدنه یک وسیله الکتریکی به فاز، بدنه کلیه وسایل الکتریکی موجود در ساختمان دارای ولتاژ سیم فاز می‌شود. لیکن با توجه به اینکه سیم‌کشی در لوله داخل دیواره انجام می‌گیرد، دسترسی به سیم فراهم نبوده و امکان پاره شدن و باز شدن خودبخود سیم نول بسیار کم است. سیستم نشان داده شده در شکل (۳)، مشکل پارگی سیم نول در داخل ساختمانها را حل کرده است. در این مرحله اتصال مربوطه به نول کلیه پریزها بطور مجزا به سیم زمینی که در کف اتاقها و آشپزخانه‌ها کشیده شده و در آخر به الکتروود زمین، وصل می‌شوند. واضح است که نمی‌توان هزینه مربوط به احداث چنین سیستمی را تعیین نمود زیرا به پارامترهای زیادی نظیر نوع ساختمان (ویلائی، آپارتمانی و تعداد آپارتمانها) تعداد و اندازه اتاقها، نوع تزیینات (کفپوش - دیوار) بستگی دارد.

با توجه به مراتب فوق می‌توان نتیجه گرفت که یک روش بهتر برای زمین کردن در ساختمانهای موجود استفاده از سیستم زمین نشان داده شده در شکل (۳) می‌باشد. در صورتی که لازم باشد حفاظت فقط به وسایل ثابت یخچال و ماشین لباسشویی محدود شود، یک روش عملی آن است که بدنه این وسایل را مستقیماً بوسیله الکتروودهای فولادی (حدود دو متر طول و ۱/۵ سانتیمتر قطر که بطور عمودی در زمین کوبیده شده‌اند) زمین کرد.



شکل ۲- سیستم حفاظت پیشنهادی برای مشترکین موجود (سیستم TN-C) [۹]

$\wedge$

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

جدول ۲- سطح مقطع سیم فاز [۱۰ و ۹]

IEC, VDE
سطح مقطع سیم فاز به میلیمتر مربع
۰/۷۵
۱/۵
۲/۵
۴
۶
۱۰
۱۶
۲۵
۳۵
۵۰
۷۰
۹۵
۱۲۰
۱۵۰
۱۸۵
۲۴۰
۳۰۰
۴۰۰

اگر هادی‌های زمین در زیر خاک مدفون شوند سطح مقطع آنها باید مطابق جدول (۳) باشد.

جدول ۳- سطح مقطع هادی زمین مدفون شده در زیر خاک [۱۳]

حفاظت نشده مکانیکی	حفاظت شده مکانیکی	
مس حداقل ۱۶ میلیمتر مربع آهن حداقل ۱۶ میلیمتر مربع	مطابق جدول (۱)	حفاظت شده در برابر خوردگی
مس حداقل ۲۵ میلیمتر مربع آهن حداقل ۵۰ میلیمتر مربع		حفاظت نشده در برابر خوردگی

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

۷ روابط و جداول مهم مورد نیاز برای محاسبه مقاومت زمین

در این قسمت روابط و جداول مورد نیاز برای محاسبه مقاومت انواع الکترودهای زمین ارائه شده است. در این روابط باید مقاومت مخصوص خاک مورد نظر در دسترس باشد. جدول (۵) مقاومت مخصوص برخی از انواع خاک‌ها را در یک رطوبت و دما مشخص ارائه کرده است، اما در عمل باید براساس روش آزمون و نر، مقاومت مخصوص خاک را در محل نصب الکترود بدست آورد. برای تجهیزات فشارضعیف که در دامنه کاربرد استاندارد زمین مناطق مسکونی و تجاری هستند، مقاومت اتصال زمین باید کمتر از پنج اهم باشد.

جدول ۴- روابط محاسبه مقاومت زمین [۴]

● میله‌ای بطول L و شعاع a

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

● ● دو میله بطوریکه $L < s$ (فاصله بین دو میله)

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \right)$$

● ● دو میله بطوریکه $s < L$ (فاصله بین دو میله)

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$$

صفحه دوار دفن شده افقی به شعاع a و عمق $s/2$

$$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \dots \right)$$

صفحه دوار دفن شده عمودی به شعاع a و عمق $s/2$ از لبه بالای صفحه

$$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7}{24} \frac{a^2}{s^2} + \frac{99a^4}{320s^4} \dots \right)$$

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

جدول ۵- مقاومت مخصوص زمین با ترکیبات مختلف ($\Omega - cm$) [۸]

نوع خاک	شرایط آب و هوایی			
	A		B	C
	نرمال و بارانی شدید (برای مثال بیشتر از ۵۰۰ میلیمتر در سال)		شرایط بارندگی کم و کویری (برای مثال، کمتر از ۲۵۰ میلیمتر در سال)	آبهای زیرزمینی (شور)
	مقادیر قابل اندازه گیری	محدوده مقادیر محاسبه شده	محدوده مقادیر محاسبه شده	محدوده مقادیر محاسبه شده
	Ohm-cm	Ohm-cm	Ohm-cm	Ohm-cm
ماسه‌ای ریز و آبرفتی	۵۰۰	*	*	۵۰۰ تا ۱۰۰
ماسه (شامل آبرفت)	۱۰۰۰	۵۰۰ تا ۲۰۰۰	۱۰۰۰ تا	۱۰۰۰ تا ۳۰۰
خاک آهک دار (برای مثال خاک رنگی)	۲۰۰۰	۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰	۱۰۰۰۰	
سنگ آهک متخلخل (برای مثال گچ)	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰	۳۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰	
ماسه سنگ متخلخل (برای مثال ماسه سنگ رنگی و شیل ماسه‌ای)	۱۰۰۰۰	۳۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰	بالاتر از ۱۰۰۰۰۰	۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰
کوارتز و سنگ آهک فشرده و کریستالی (مثل سنگ مرمر)	۳۰۰۰۰	تا ۱۰۰۰۰ ۱۰۰۰۰۰		
سنگ ماسه‌ای و شیل سنگی	۱۰۰۰۰۰	تا ۳۰۰۰۰		۱۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰
گرانیت	۱۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰		
سنگ شکاف دار، گنیس شیس۱ و سنگهای آتشفشانی	۲۰۰۰۰۰	بالاتر از ۱۰۰۰۰۰		

* به سطح آب محل بستگی دارد.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

جدول ۶- مقاومت مخصوص خاک و مقاومت میله‌های تکی [۴]

نوع خاک	مقاومت مخصوص (اهم سانتیمتر)			مقاومت تماس میله (اهم) $3 \times 16 \text{ متر} = 10 \text{ فوت} \times \frac{5}{8} \text{ اینچ}$		
	متوسط	مینیم	ماکزیمم	متوسط	مینیم	ماکزیمم
خاکستر خاک ، کم نمک، شوره‌زار	۲۳۷۰	۵۹۰	۷۰۰۰	۸	۲	۲۳
خاک رس ، شیل ^۱ ، خاک رس و شن که با گیاه پوشیده آمیخته باشد	۴۰۶۰	۳۴۰	۱۶۳۰۰	۱۳	۱/۱	۵۴
خاک مخلوط با شن و ماسه	۱۵۸۰۰	۱۰۲۰	۱۳۵۰۰۰	۵۲	۴	۴۴۷
ماسه، شن ، سنگ با کمی خاک رس یا خاک رسی که با گیاه پوشیده آمیخته شده	۹۴۰۰۰	۵۹۰۰۰	۴۵۸۰۰۰	۳۱۱	۱۹۵	۱۵۱۶

جدول ۷- تأثیر سرما بر مقاومت خاک [۴]

دما °C F		مقاومت مخصوص (اهم سانتیمتر)
۲۰	۶۸	۷۲۰۰
۱۰	۵۰	۹۹۰۰
۰ (آب)	۳۲	۱۳۸۰۰
۰ (یخ)	۳۲	۳۰۰۰۰
-۵	۲۳	۷۹۰۰۰
-۱۵	۱۴	۳۳۰۰۰۰

خاک ماسه‌ای در ۱۵/۲٪ رطوبت

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

جدول ۸- تأثیر رطوبت بر مقاومت خاک [۴]

درصد رطوبت براساس وزن	مقاومت مخصوص (اهم سانتیمتر) خاک رس مخلوط با شن خاک سطحی	
	$>1000 \times 10^6$	$>1000 \times 10^6$
۰		
۲/۵	۲۵۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰
۵	۱۶۵۰۰۰	۴۳۰۰۰
۱۰	۵۳۰۰۰	۱۸۵۰۰
۱۵	۱۹۰۰۰	۱۰۵۰۰
۲۰	۱۲۰۰۰	۶۳۰۰
۳۰	۶۴۰۰	۴۲۰۰

در بخش انتهایی این گزارش روابط کامل برای محاسبه مقاومت سیستم زمین برای انواع الکترودها ارائه شده‌اند.

۸ روشهای اندازه گیری و محاسبه مقاومت سیستم زمین

۸-۱ اندازه گیری و محاسبه مقاومت سیستم زمین

۸-۱-۱ نیاز برای اندازه گیری

در فرمولهای مورد استفاده برای تعیین مقاومت زمین فاکتورهای ناشناخته زیادی وجود دارد و نتایج محاسبات بدست آمده کاملاً قابل اعتماد نیستند. برای مثال مقاومت خاک در درجه حرارت زیر صفر با کاهش دما افزایش می یابد و در درجه حرارت بالاتر از صفر با افزایش دما تا حدود ۲۰ درجه سلسیوس کاهش و سپس با افزایش بیشتر دما به علت کاهش رطوبت افزایش می یابد. بنابراین برای تأیید نتایج محاسبات تعیین مقاومت زمین لازم است که بعد از تکمیل سیستم زمین، اندازه گیریها انجام شود.

۸-۱-۲ روش های اندازه گیری

اصول به کار رفته در اندازه گیری مقاومت اتصال به زمین در اصل همان اصول اندازه گیری دیگر انواع مقاومت های الکتریکی هستند. در تمام روش های مختلف معمول از دو الکتروود کمکی همراه با الکتروود مورد آزمایش استفاده می شود. این روشها در بخش ۸-۲ بطور کامل شرح داده شده‌اند.

وسایل آزمایش قابل حمل مناسبترین و رضایتبخشترین وسایل اندازه گیری مقاومت اتصالات به زمین هستند. وسایل مورد استفاده برای اندازه گیری مقاومت ایزولاسیون بعلت اینکه نمی‌توانند

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

مقادیر پائین مقاومت را اندازه‌گیری کنند، مناسب نیستند. همچنین، اهم مترهای معمولی با مقاومت پائین ولتاژ کافی برای این منظور ندارند و همچنین هیچ وسیله‌ای برای جداکردن مقاومت الکتروود اتصال به زمین از مقاومت الکتروودهای کمکی لازم برای آزمایش، در آنها وجود ندارد. اندازه‌گیری دقیق مقاومت اتصال به زمین مشکل است و معمولاً امکانپذیر نیست. یک دقت ± 25 درصد برای بیشتر حالت‌ها کافی است.

در اندازه‌گیری مقاومت سیستم تکمیل شده بهتر است قبل از انجام اندازه‌گیریها کمی زمان بگذرد تا زمین اطراف الکتروودها سخت شده باشد. این مسأله را می‌توان با آبیاری الکتروودهای اندازه‌گیری تسریع نمود.

۸-۱-۳ اندازه‌گیری دوره‌ای

برای تصمیم‌گیری در این مورد که آیا مقاومت ثابت مانده یا در حال افزایش است، بعد از نصب و آزمایش اولیه باید اندازه‌گیری دوره‌ای معمولاً در هر فصل یک بار انجام شوند. اگر براساس آزمایشات بعدی مقاومت در حد مقادیر غیرمجاز افزایش یابد بوسیله افزودن الکتروودها یا با افزایش مقدار رطوبت یا بوسیله افزودن مواد شیمیایی (الکتروولیت) مقاومت را می‌توان کاهش داد. زمان اندازه‌گیری مقاومت خاک با توجه به شرایط آب و هوایی و منطقه‌ای متغیر است در مناطقی که تغییرات آب و هوایی و رطوبت خاک در فصول مختلف سال زیاد است مناسبترین زمان اندازه‌گیری مقاومت زمین در بدترین شرایط مقاومت مخصوص خاک می باشد به این مفهوم که در بدترین حالت که بیشترین مقاومت برای زمین حاصل می شود ملاکی برای طراحی سیستم زمین باشد (معمولاً بدترین شرایط در بیشتر مناطق، در فصول خشک سال یعنی فصل تابستان می‌باشد).

۸-۱-۴ اندازه‌گیری‌های مقاومت زمین

وسایل قابل حمل برای اندازه‌گیری مقاومت الکتروود زمین بطور عادی می توانند برای اندازه‌گیری مقاومت خاک هم استفاده شوند برای این منظور وسایل فوق به دو الکتروود از چهار الکتروود کوتاه یکسان که در یک خط قرار گرفته‌اند متصل هستند. فاصله بین دو الکتروود مرکزی مساوی با عمق مؤثر مناسب برای مقاومت است.

مقدار مقاومت مشخص شده برحسب اهم ضربدر دو برابر فاصله بین الکتروودها برحسب سانتیمتر مساوی با مقاومت مخصوص خاک برحسب اهم سانتیمتر است، با هر وسیله آزمایش دستورات کامل برای این آزمون تهیه شده است.

اگر مقاومت بدست آمده زیاد باشد ممکن است ناشی از موارد زیر باشد:

۱- فصل اندازه‌گیری (دما در رطوبت، خشکی، یخ زدگی و..)

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

۲- عدم برقراری صحیح اتصالات

۳- ارتباط نداشتن کامل الکترودها با خاک

۴- کالیبره نبودن دستگاه

۵- جنس خاک

۲-۸ روشهای عملی اندازه گیری مقاومت زمین

۱-۲-۸ اندازه گیری مقاومت زمین به روش سه نقطه

برای اندازه گیری مقاومت زمین به روش سه نقطه از مدار شکل (۴) استفاده می شود.

با بکارگیری منابع ولتاژ مستقیم (باتری) به ترتیب بگونه ای که در هر بار اندازه گیری توسط کلید یکی از باتریها در مدار قرار گیرد و اندازه گیری ولتاژهای V_1 و V_2 و V_3 بطور جداگانه و جریان های I_1 و I_2 و I_3 می توان مقاومت های R_1 و R_2 و R_3 را بصورت زیر محاسبه نمود:

$$R_1 = \frac{V_1}{I_1} \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{V_2}{I_2} \quad (2)$$

$$R_3 = \frac{V_3}{I_3} \quad (3)$$

با توجه به شکل و تعریف R_X ، R_Y و R_Z داریم:

$$R_1 = R_X + R_Y \quad (4)$$

$$R_2 = R_X + R_Z \quad (5)$$

$$R_3 = R_Y + R_Z \quad (6)$$

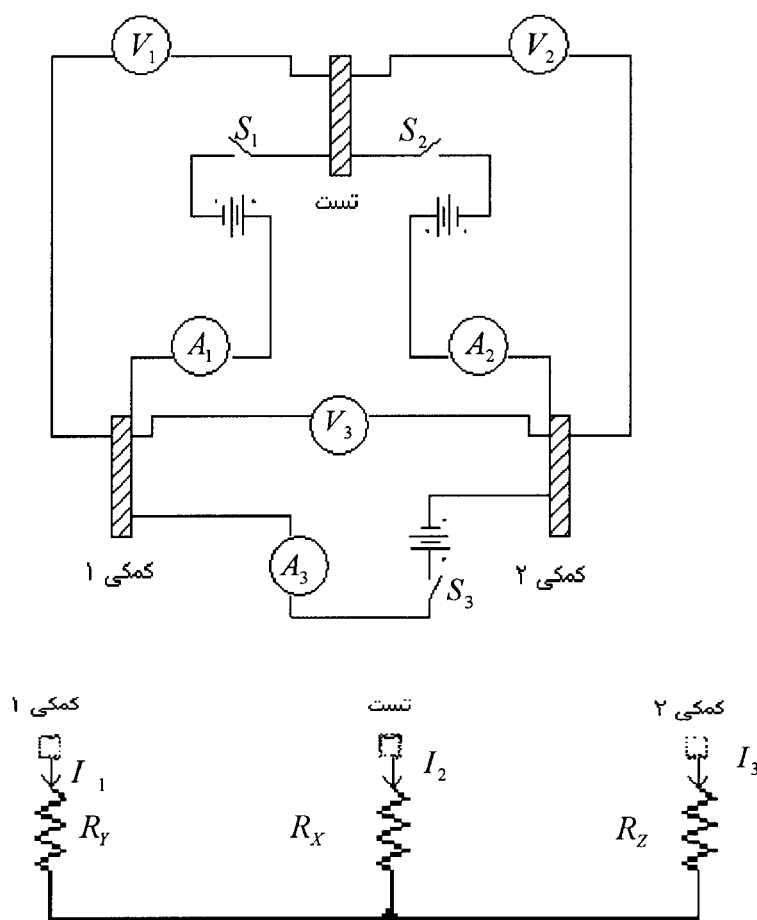
با استفاده از روابط (۴) الی (۶) R_X که مقاومت الکتروود مورد نظر زمین است بصورت زیر بدست می آید:

$$R_X = \frac{R_1 + R_2 - R_3}{2} \quad (7)$$

میزان دقت اندازه گیری های فوق زمانی قابل قبول است که اندازه مقاومت های R_X ، R_Y و R_Z تقریباً مساوی باشند، یعنی تا حد امکان الکترودها یک جنس و یک اندازه انتخاب شده باشند. همچنین برای دقت بیشتر بهتر است که الکترودهای کمکی ۶۰ تا ۹۰ روز پیش از شروع آزمایش در مکانهای مورد نظر نصب شده باشند. برای تثبیت شرایط خاک و ایجاد حالت موازنه با الکتروود اصلی هنگام استفاده از منبع تغذیه اصلی و برای حذف اثرات ناشی از تشکیل گاز در اطراف الکترودها لازم است میانگین دو مقدار قرائت شده (با تغییر پلاریته) مورد استفاده و محاسبه قرار گیرد.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

فاصله الکترودهای اصلی و کمکی در شکل (۴) باید به اندازه‌ای انتخاب شوند که سطح مقاومت الکترودها با یکدیگر همپوشانی نداشته باشند،



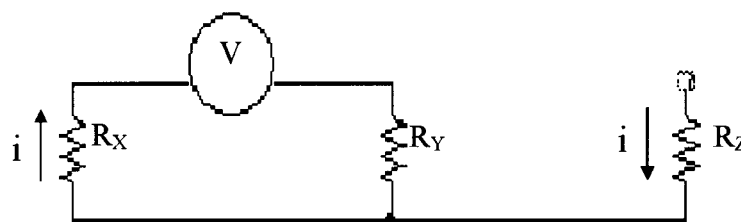
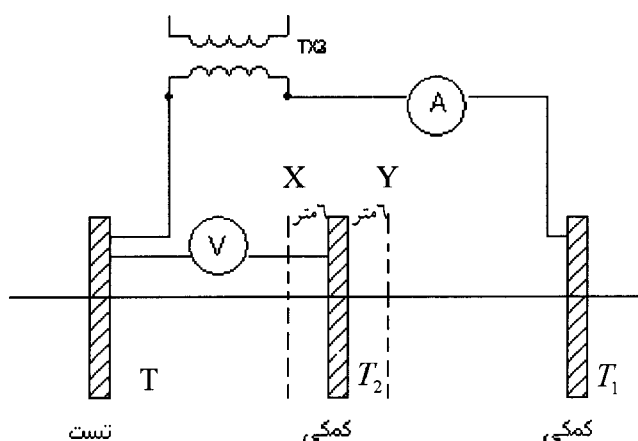
شکل ۴- اندازه گیری مقاومت زمین به روش سه نقطه [۸]

(یک انتخاب مناسب این است که فاصله فوق از دو برابر طول الکترود اصلی بزرگتر باشد و این فاصله اگر ده برابر طول الکترود اصلی در نظر گرفته شود، بهتر است) همچنین بهتر است آرایش الکترودهای زمین روی رئوس یک مثلث متساوی الاضلاع باشد.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

۲-۲-۸ اندازه گیری مقاومت زمین به روش افت پتانسیل

به منظور اندازه گیری مقاومت به روش افت پتانسیل از مدار شکل (۵) استفاده می شود.



شکل ۵- اندازه گیری مقاومت زمین به روش افت پتانسیل [۸]

$$R = \frac{V}{i} \quad (۸)$$

برای اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین بصورت زیر عمل می شود.

۱- یک جریان متناوب با دامنه ثابت بین الکتروود زمین مورد نظر T و الکتروود کمکی T_1 ایجاد می شود. الکتروود کمکی T_1 باید در فاصله ای مناسب از الکتروود T قرار گیرد. به نحوی که سطح مقاومت الکتروودها با هم همپوشانی نداشته باشند. (یک انتخاب مناسب این است که فاصله فوق از دو برابر طول الکتروود اصلی بزرگتر باشد و فاصله مطلوب ده برابر طول الکتروود است)

۲- یک الکتروود کمکی T_2 دیگر، بین الکتروودهای T و T_1 و در وسط فاصله بین آنها قرار می گیرد و توسط ولت متر اختلاف پتانسیل بین الکتروودهای T و T_2 اندازه گیری می شود.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

- ۳- مقاومت الکتروود زمین از تقسیم اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده بین الکتروودهای T و T_2 و جریان اندازه گیری شده توسط آمپر متر که بین الکتروود T و T_1 برقرار است بدست می آید.
- برای اطمینان از صحت آزمایش در تعیین مقاومت الکتروود زمین در عملیات خواندن مقدار افت ولتاژ بین الکتروودهای T و T_2 در حالیکه الکتروود T_2 ، شش متر نزدیکتر به T و شش متر دورتر از T (وضعیت های X و Y در شکل (۵)) قرار می گیرد، انجام می شود. اگر دو نتیجه بدست آمده در این قسمت با نتیجه قسمت قبل سازگاری داشت، میانگین سه مقدار بدست آمده بعنوان مقاومت الکتروود زمین T در نظر گرفته می شود. اگر نتایج بدست آمده با نتیجه حالت قبل سازگاری نداشته باشند، با افزایش فاصله الکتروودهای T و T_1 عملیات مجدداً تکرار می شود.
- در روش فوق نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرند:
- اگر آزمایش در فرکانس های قدرت انجام پذیرد، مقاومت ولت متر نسبت به مقاومت الکتروود پتانسیل باید به اندازه کافی بزرگ باشد، که این مقدار می تواند عدد بزرگتر از ۱۰۰۰ اهم در نظر گرفته شود و برای دقت اندازه گیری در حد پنج درصد حداقل مقاومت مورد نیاز برای ولت متر ۲۰۰۰۰ اهم است.
 - منبع جریان بکار رفته در آزمایش، باید از منبع اصلی ایزوله باشد. این کار با استفاده از ترانسفورماتور دو سیم پیچ قابل انجام است.
 - فاصله مطلوب بین الکتروود اصلی T و الکتروود کمکی T_1 ۱۰ برابر طول الکتروود اصلی T باشد.
 - روش اندازه گیری مقاومت زمین با استفاده از افت پتانسیل نسبت به روش سه نقطه ای دارای تقریب بیشتری است.
 - الکتروودهای کمکی به کار رفته برای آزمایش مقاومت دارای قطر ۱۲/۷ میلی مترو طول ۰/۹ متر و از جنس فولاد نرم انتخاب می شوند
 - اگر الکتروود زمین مورد آزمایش درآزمون اندازه گیری مقاومت یک صفحه باشد الکتروود جریان می تواند در فاصله ۳۰ متری از الکتروود مورد نظر قرار گرفته و الکتروود پتانسیل بین الکتروود جریان و الکتروود مورد نظر قرار گیرد. آزمون باید با جابجاکردن الکتروود پتانسیل به اندازه شش متر به سمت الکتروود آزمون و شش متر به سمت الکتروود جریان انجام شده و میانگین سه نتیجه بدست آمده از این اندازه گیری ها به عنوان مقاومت الکتروود ثبت شود، اگر مقادیر قرائت شده در این سه مرحله با یکدیگر تفاوت داشت باید الکتروود جریان در فاصله ۶۶ متر نسبت به الکتروود آزمون قرار گرفته و آزمایش فوق مجدداً تکرار شود. [۸]

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

۸-۲-۳ اندازه گیری مقاومت زمین با روشهای تفسیری

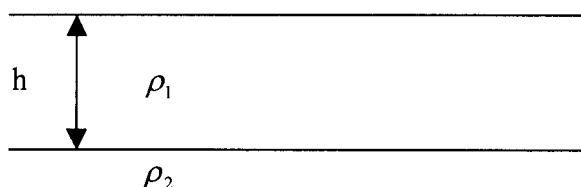
۸-۲-۳-۱ مقدمه

اساس روش تفسیری برای محاسبه مقاومت زمین استفاده از روشهای تطبیق منحنی و بهره گیری از برنامه‌های کامپیوتری پیشرفته است. در روشهای تطبیق منحنی نیاز به یکسری منحنی پایه است که می‌توانند از روشهای تئوری حاصل گردند، از این منحنی‌ها می‌توان مستقیماً جهت تطبیق استفاده نمود. برنامه کامپیوتری بنام RESIST که براساس روشهای محاسباتی پایه‌ریزی شده در تعیین مقاومت زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش فوق برای الکترودهای با فاصله‌گذاری ۲/۵ متر یا بیشتر بکار رفته و نتایج نشان دهنده عملکرد مطلوب این روش کامپیوتری در مقایسه با سایر روشهای اندازه گیری مستقیم است.

روش اندازه‌گیری فوق توسط مؤسسه EPRI^۱ آمریکا مورد تأیید قرار گرفته است. در سیستم‌های قدرت باید کلیه شرایط طبیعی و غیرطبیعی که احتمال وقوع را دارند، مورد توجه قرار گیرند تا بتوان در طراحی تجهیزات و کالبراسیون آنها بدرستی رفتار کرد. دو پدیده غیرعادی متداول برای سیستم‌های قدرت اتصال کوتاه فاز به زمین و شوکهای ناشی از صاعقه است. آنالیز این شرایط نیاز به مدلسازی دقیق خطوط هوایی و هادیهای اتصال به زمین و خود زمین دارد. مدلسازی زمین بصورت یک هادی کامل و یا یک شکل ساده نمی‌تواند نتایج تحلیلی دقیقی مطابق با واقعیت را فراهم سازد. با توجه به پیشرفتهایی که در علوم سخت افزاری و نرم افزارهای رایانه‌ای شده و دستیابی به سیستمهای رایانه‌ای با سرعتهای بالا، امروزه هیچگونه محدودیتی در مدلسازی دقیق زمین وجود ندارد.

۸-۲-۳-۲ مدلسازی

در اکثر موارد می‌توان زمین را به صورت ساختاری دو لایه‌ای برای خاک مدلسازی نمود. ساختار این دو لایه خاک را می‌توان با مشخصه‌های ρ_1 و ρ_2 برای مقاومت مخصوص هر لایه و ضخامت h برای لایه اول در نظر گرفت. شکل (۶) ساختار فوق را نشان می‌دهد.



شکل ۶- مدل دو لایه‌ای زمین [۵]

ضخامت لایه دوم بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شود. در برخی شرایط می‌توان ضخامت لایه اول را به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفت. لذا در این حالت می‌توان زمین را بصورت یکنواخت مدل

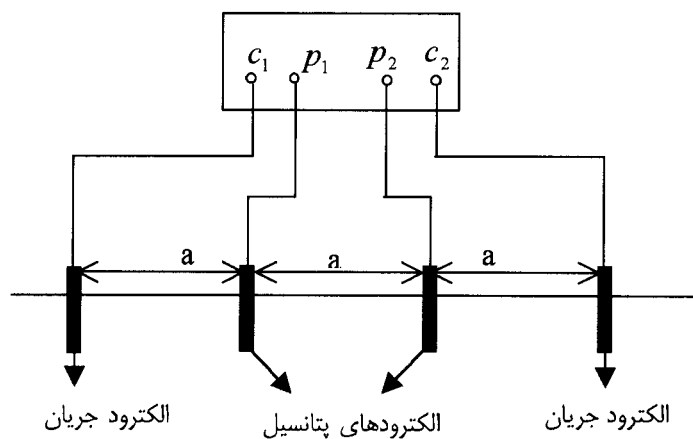
برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

نمود. متغیرهای ρ_1 و ρ_2 و h را می توان با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده توسط روش ورنر (یا روش چهار نقطه ای) تقریب زد (روش ورنر در بخش ۸-۳ شرح داده شده است). در اغلب موارد تعداد پارامترهای مورد نیاز برای مدلسازی زمین، زیاد است و مسأله، انتخاب مقدار اولیه مناسب برای این پارامترها، به نحوی که برنامه کامپیوتری بتواند با سرعت زیاد همگرا شود را مشکل می سازد. بنابراین انتخاب مقدار اولیه برای پارامترها یک مسأله اساسی در اندازه گیری مقاومت زمین با روش تفسیری است. موفقیت روش فوق وابستگی زیادی به تجربیات و اطلاعات موجود در مورد خواص الکتریکی زمین دارد. همواره امکان دستیابی به یک جواب منحصر به فرد در روشهای اندازه گیری با تفسیر اطلاعات وجود ندارد. علت این مسأله عدم دقت در اندازه گیریها (معمولاً وجود خطا در اندازه گیری در حدود پنج درصد) و وجود مدل های مختلف برای ساختار زمین است. این مدلها معمولاً در ضخامت لایه های زمین با یکدیگر تفاوت دارند.

۸-۳ اندازه گیری مقاومت مخصوص خاک

به علت وجود تغییرات وسیع در ساختار و خواص مواد تشکیل دهنده خاک، روشهای مختلفی برای تعیین ساختار زمین ارائه شده است. در کاربردهای مهندسی قدرت روش ورنر، روش قابل قبولی در اندازه گیری مقاومت مخصوص خاک است. با استفاده از روش فوق و بهره گیری از تجهیزات مناسب امکان دستیابی به اطلاعات کافی جهت تعیین یک مدار دقیق برای ساختار زمین وجود دارد. روش ورنر بعلاوه مزایایی که دارد می تواند بعنوان یک روش آزمون استاندارد مورد استفاده قرار گیرد.

روش آزمون ورنر در شکل (۷) نشان داده شده است. در این روش چهار الکترود در زمین نصب می شوند. این الکترودها در یک خط مستقیم قرار می گیرند. الکترودها در فواصل مساوی نسبت به هم قرار داده می شوند. عمق دفن الکترودها در خاک کمتر از ۱۰ درصد فاصله بین دو الکترود است. فاصله بین الکترودها باید بیشتر از دو برابر طول الکترودها باشد



شکل ۷- روش ورنر برای اندازه گیری مقاومت خاک [۵]

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

با اندازه گیری ولتاژ V بین دو ترمینال p_1 و p_2 و جریان عبوری I ، می توان مقاومت خاک را با استفاده از رابطه زیر بدست آورد.

$$R = \frac{V}{I} \quad (9)$$

در شرایطی که خاک یکنواخت است، مقاومت اندازه گیری شده که با فرمول (۹) به دست می آید تقریباً برابر است با $\frac{\rho}{2\pi a}$ که در این رابطه ρ ، مقاومت مخصوص متوسط خاک بر حسب اهم سانتیمتر و a فاصله بین الکترودها بر حسب سانتیمتر است در شرایطی که خاک یکنواخت نباشد، از مدل دو لایه ای برای ساختار خاک استفاده می شود، که در ادامه توضیح داده شده است.

همانگونه که در بخش (۲-۳-۲-۸) عنوان گردید، می توان از مدل ساختاری دو لایه ای برای زمین استفاده نمود. ساختار دو لایه ای زمین، یکی از مهمترین و ساده ترین مدل های زمین است. مقاومت اندازه گیری شده توسط روش ورنر را می توان توسط مدل دو لایه ای ساختار زمین بدست آورد. این مقاومت ρ_a نامیده شده و با استفاده از رابطه زیر حاصل می گردد:

$$\rho_a = \rho_1 \left[1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} K^n \left[\frac{1}{[1 + (2nh/a)^2]^{1/2}} - \frac{1}{[4 + (2nh/a)^2]^{1/2}} \right] \right] \quad (10)$$

در این رابطه :

ρ_a : مقاومت بدست آمده و اندازه گیری شده توسط روش ورنر

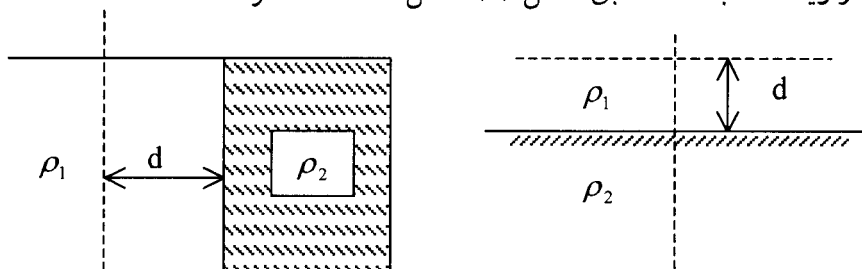
ρ_1 : مقاومت مخصوص سطحی برای ضخامت h

ρ_2 : مقاومت مخصوص لایه دوم که طول آن بی نهایت در نظر گرفته می شود.

K : ضریب انعکاس و a : فاصله الکترودها

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (11)$$

اگر مرز جداکننده دو ناحیه خاک که دارای مقاومت مختلف هستند بصورت افقی نباشد و دارای یک زاویه نسبت به سطح زمین باشد. باید از روشهای دقیق ریاضی در این خصوص بهره گرفت. وقتی این زاویه 90° باشد، مطابق شکل (۸)، حل مسأله ساده تر است.



شکل ۸- دو لایه خاک با مرز مشترک عمودی [۵]

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

در این حالت مقاومت ρ_a ، اندازه گیری شده با روش ونر را می توان با استفاده از فرمول زیر بدست آورد:

(۱۲)

$$\rho_a = \frac{\rho_1}{1-K} \left[1 + K^2 + \frac{K(1-K)}{[4(\sin \omega + h/a)^2 + \cos^2 \omega]^{1/2}} - \frac{K(1+K)}{[4(\sin \omega - h/a)^2 + \cos^2 \omega]^{1/2}} \right]$$

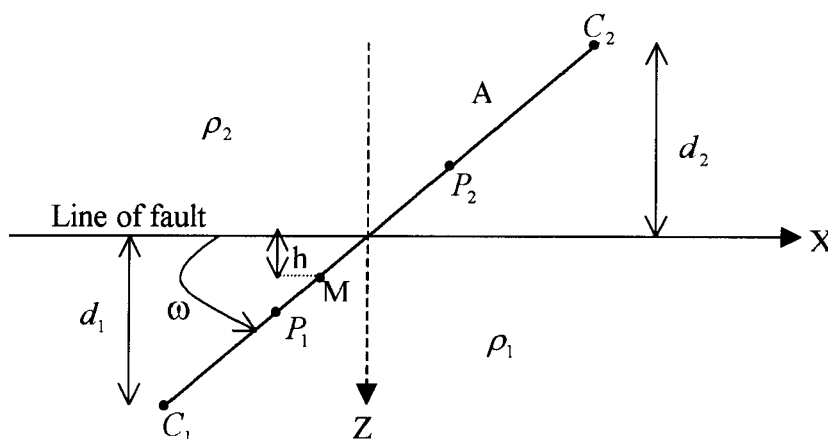
در این رابطه :

A : فاصله بین الکتروود ولتاژ و جریان است (در شکل (۹) ، A منظور شده است ولی در فرمول به صورت a نمایش داده شده است)

ρ_1 و ρ_2 : مقاومت مخصوص خاک برای ناحیه های مختلف

ω و h : در شکل (۹) مشخص شده اند. (h ضخامت خاک با مقاومت مخصوص ρ_1 است)

a : فاصله بین الکتروودهاست



شکل ۹- مکان الکتروودهای ولتاژ P_1 و P_2

مکان الکتروودهای جریان C_1 و C_2

ρ_1 و ρ_2 مقاومت مخصوص قسمت های مختلف خاک [۵]

براساس مراحل زیر می توان اندازه گیری مقاومت را با استفاده از روشهای تفسیری انجام داد.

- (۱) نتایج اندازه گیری بدست می آید و یکی از روشهای تفسیری انتخاب می شود.
- (۲) یکی از مدل های زمین انتخاب می شود. (مدلهای مختلف در نظر گرفته می شوند)
- (۳) نتایج بدست آمده از اندازه گیری با نتایج محاسبه شده مقایسه می گردد.
- (۴) یکی از بهترین مدل های زمین براساس نتایج مقایسه مرحله (۳) انتخاب می شود.
- (۵) با استفاده از روشهای بهینه سازی مدل زمین انتخاب شده، بهینه می گردد.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

(۶) با استفاده از روشهای تحلیلی، اندازه‌گیری مقاومت براساس مدل زمین بدست آمده انجام می شود.

دو روش تحلیلی برای اندازه‌گیری مقاومت زمین توسط EPRI ارائه شده است. این روشها عبارتند از :

- استفاده از منحنی های از پیش محاسبه شده

- استفاده از برنامه کامپیوتری (RESIST)

۸-۳-۱ استفاده از منحنی

با استفاده از روابط (۹) و (۱۲) می توان روابط زیر را بدست آورد.

زمین دو لایه با مرز مشترک افقی

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} K^n \left[[1 + 4n^2 (h/a)^2]^{-1/2} - [4 + 4n^2 (h/a)^2]^{-1/2} \right] \quad (13)$$

زمین دو لایه با مرز مشترک با زاویه ω نسبت به افق

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = (1 - K)^{-1} \left[\frac{1 + K^2 + K(1 - K) \left[4(\sin \omega + h/a)^2 + \cos^2 \omega \right]^{-1/2}}{K(1 + K) \left[(2\sin \omega - h/a)^2 + \cos^2 \omega \right]^{-1/2}} - 1 \right] \quad (14)$$

با استفاده از لگاریتم می توان روابط بالا را بصورت زیر تبدیل نمود.

$$y = \text{Ln}(\rho_a) - \text{Ln}(\rho_1) \quad \text{مؤلفه محوری } y \quad (15)$$

$$X = \text{Ln}(a) - \text{Ln}(h) \quad \text{مؤلفه محوری } X$$

برای ضرایب انعکاس مختلف K می توان یکسری منحنی مبنا داشت. در این منحنی ها

$$y^\circ = \text{Ln}(\rho_0) \quad (16)$$

$$X^\circ = \text{Ln}(a)$$

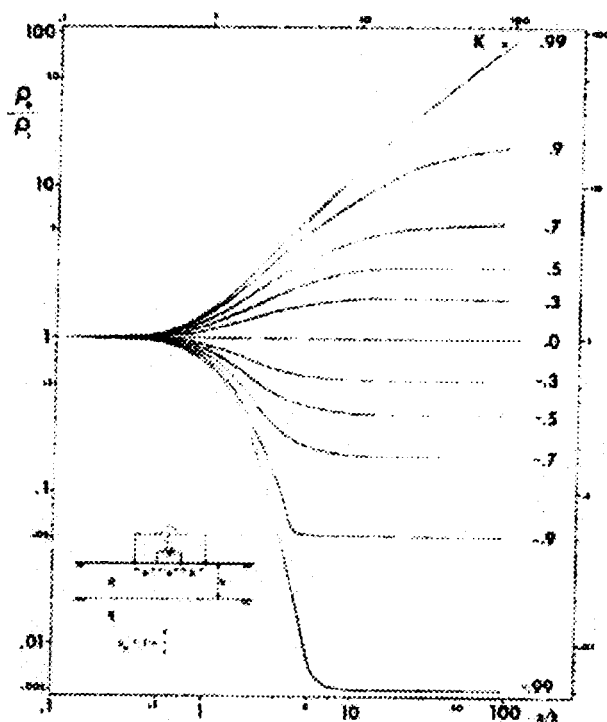
برای ۱ اهم متر ρ_1 و ۱ متر h هستند.

منحنی های مقاومت مبنا برای خاک دو لایه هنگامیکه ρ_1 یا h برابر واحد نیستند با متغیرهای $\text{Ln}(\rho_1)$ - بصورت عمودی و $\text{Ln}(h)$ - بصورت افقی شیفیت می یابند. از این منحنی ها می توان بعنوان منحنی های مبنا برای تعیین مقاومت استفاده کرد.

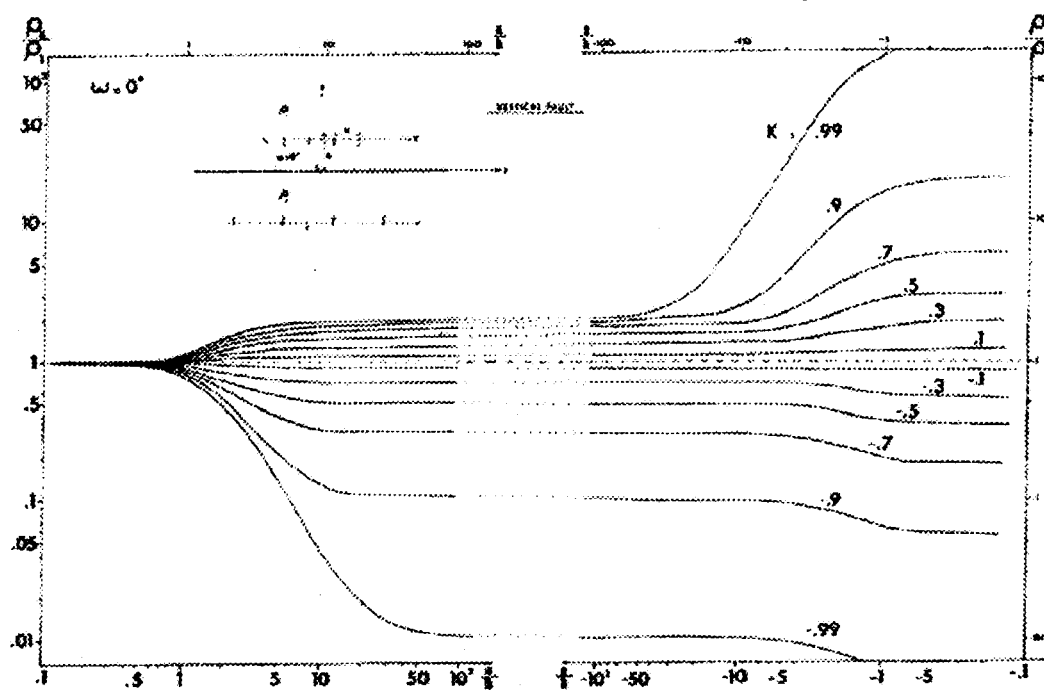
این روش نیاز به یکسری منحنی های مبنا دارد. این منحنی ها را می توان با استفاده از روابط (۱۳) و (۱۴) بدست آورد. شکل (۱۰) مجموعه ای از منحنی های مبنا را نشان می دهد. این منحنی ها برای خاک دو لایه با مرز مشترک افقی هستند. وقتی منحنی بدست آمده بین دو منحنی مبنا قرار گیرد، با

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

استفاده از روش درونیابی می توان مقدار ضریب انعکاس K را بدست آورد. شکل (۱۱) یکسری از منحنی های مبنا را برای زمین دو لایه با مرز مشترک عمودی نشان می دهد. لازم به ذکر است در دو شکل زیر محور افقی a/h است.



شکل ۱۰- منحنی های مبنا برای زمین دو لایه با مرز مشترک افقی [۵]



شکل ۱۱- منحنی های مبنا برای زمین دو لایه با مرز مشترک عمودی [۵]

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

۴-۸ برنامه کامپیوتری RESIST

برنامه کامپیوتری RESIST نیاز به حداقل اطلاعات برای استفاده کننده دارد. ورودی های این برنامه فاصله بین الکترودهای اندازه گیری و مقدار مقاومت بدست آمده از روش و نر است. برنامه بصورت اتوماتیک محاسبات را انجام می دهد. این برنامه یک مدل دو لایه معادل برای زمین براساس اطلاعات حاصله از اندازه گیری مقاومت توسط روش و نر ارائه می دهد. محاسبات برنامه کامپیوتری RESIST براساس روش کاهش گرادیان است. در ادامه روش برنامه فوق طی یک مثال شرح داده می شود.

بک مثال با استفاده از برنامه کامپیوتری RESIST و استفاده از تطبیق منحنی با استفاده از روش اندازه گیری و نر

نتایج اندازه گیری مقاومت زمین در جدول (۹) آورده شده است.

جدول ۹- نتایج بدست آمده از اندازه گیری مقاومت خاک با استفاده از روش و نر [۵]

مقاومت بدست آمده (اهم متر)	فاصله الکترودهای اندازه گیری (متر)
۳۲۰	۲/۵
۲۴۵	۵
۱۸۲	۷/۵
۱۶۲	۱۰
۱۶۸	۱۲/۵
۱۵۲	۱۵

نتایج جدول (۹) نشان می دهند که خاک موجود در محل اندازه گیری یکنواخت نبوده است. بنابراین باید یک مدل دولایه ای برای زمین تعیین گردد. اطلاعات جدول (۹) بعنوان ورودی به برنامه کامپیوتری RESIST داده می شود. نتایج خروجی این برنامه در جدول (۱۰) داده شده است.

جدول ۱۰- نتایج خروجی برنامه RESIST [۵]

مقاومت لایه بالایی	۳۸۳/۴۹۸۲ اهم متر
مقاومت لایه زیرین	۱۴۷/۶۵۷۱ اهم متر
ضریب انعکاس	-۰/۴۴۴۰ پریونیت
ضخامت لایه بالایی	۲/۵۶۲۶ متر

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

با تعیین منحنی بدست آمده از اندازه گیری مقاومت و مقایسه آن با منحنی های مرجع بدست آمده که در بخش قبل شرح داده شدند، می توان مقاومت خاک را بدست آورد. جدول (۱۱) نتایج حاصله از روش تطبیق منحنی را با نتایج بدست آمده از برنامه کامپیوتری RESIST مقایسه می کند.

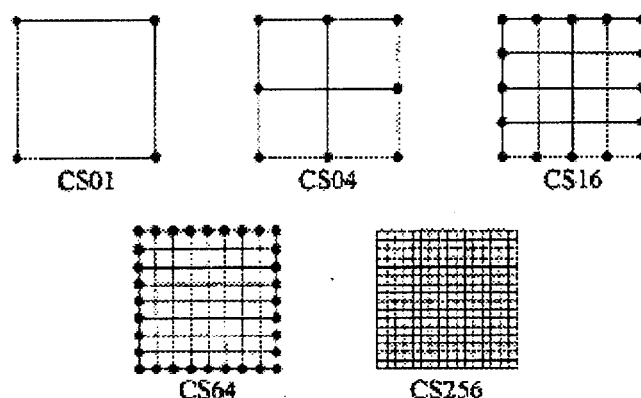
جدول ۱۱-مقایسه نتایج بدست آمده از روش تطبیق منحنی با برنامه کامپیوتری RESIST در تعیین مقاومت خاک [۵]

برنامه RESIST	روش تطبیق منحنی	
۳۸۳	۳۹۰	مقاومت لایه بالائی
۱۴۷/۷	۱۴۸-۱۶۷	مقاومت لایه زیرین
۲/۵۶ متر	۲/۵ متر	ضخامت لایه بالایی

برای آگاهی بیشتر از برنامه به مرجع [۵] مراجعه شود.

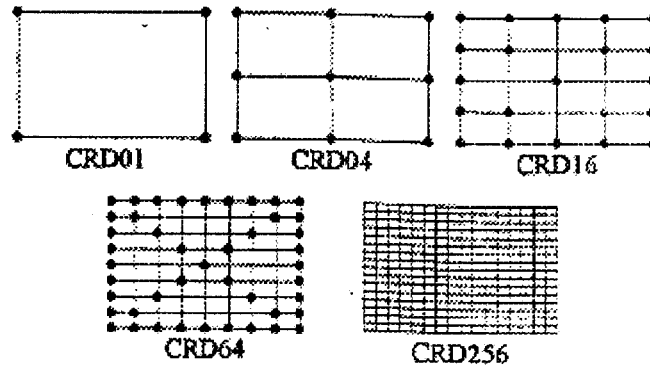
۵-۸ روش اندازه گیری مقاومت شبکه های زمین

در این قسمت یک روش تحلیلی برای محاسبه مقاومت زمین مشبک مربعی و مستطیلی شکل ارائه می شود. طول الکترودهای میله ای بکار رفته در شبکه، L برابر سه متر ثابت فرض می شود. همچنین فرض می گردد که الکتروده در عمق h مساوی ۰/۵ متر دفن شده و از هادیهای با قطر ۰/۰۱ متر و ۰/۰۶۴ متر برای شبکه بندی استفاده شده است. ضخامت قسمت بالایی خاک، $H=1,3,5,10$ متر فرض شده است. روش فوق قابل تعمیم برای طول های دیگر L و h است. نسبت مقاومت قسمت بالایی خاک (ρ_1) و مقاومت قسمت پائینی خاک (ρ_2)، بین ۰/۲ تا ۵ تغییر می کند. شکل (۱۲) انواع شبکه های زمین مربعی شکل و شکل (۱۳) انواع شبکه های زمین مستطیلی شکل را نشان می دهند در شکل (۱۴) نمای کلی الکتروده و ساختار زمین نشان داده شده است.

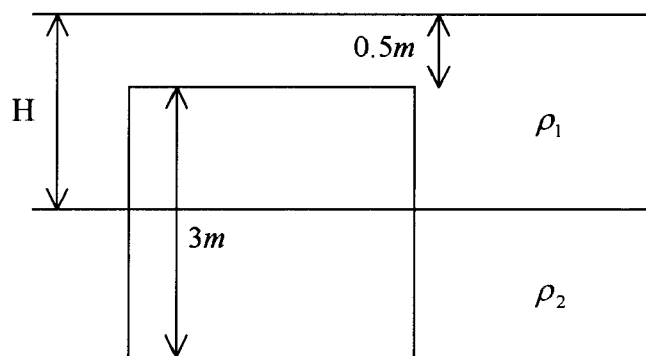


شکل ۱۲- انواع شبکه های زمین مربعی شکل [۶]

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.



شکل ۱۳- انواع شبکه‌های زمین مستطیلی شکل [۶]



شکل ۱۴- ساختار الکترود و زمین [۶]

مقاومت الکترودهایی شبیه الکترودهای شکل (۱۲) و (۱۳) با استفاده از فرمول زیر بصورت تحلیلی محاسبه می شود:

$$R_u = 0.13 \frac{\rho}{\sqrt{A}} \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{L}{\sqrt{A}}\right) \log_{10} \left(\frac{2400\sqrt{A}}{N}\right) \quad (17)$$

در این رابطه:

A : سطح پوشیده شده توسط شبکه زمین بر حسب متر مربع

N : تعداد کل میله‌های زمین

L : طول هر الکترود میله‌ای بر حسب متر

در جدول (۱۲) نتایج محاسبه مقاومت زمین برای انواع شبکه‌های زمین، با در نظر گرفتن مقاومت زمین ۱۰۰ اهم متر = ρ برای خاک یکنواخت، نشان داده شده است. در این جدول با استفاده از رابطه (۱۷)، مقدار مقاومت وقتی طول الکترود میله‌ای $L=3$ متر است با مقدار واقعی مقایسه شده است و نتایج نشان دهنده تقریب قابل قبول در بکارگیری رابطه (۱۷) می باشد.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

جدول ۱۲- مقاومت زمین برای انواع الکترودهای مشبک برای خاک یکنواخت با $\rho = 100$ اهم متر [۶]

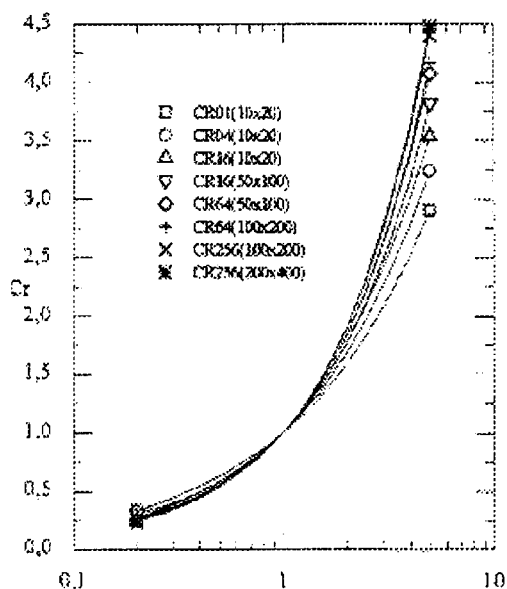
الکترود	سطح مقطع	مقاومت دقیق	خطا (۱)	الکترود	سطح مقطع	مقاومت دقیق	خطا (۱)
	مترمربع	اهم	درصد		مترمربع	اهم	درصد
CS01	10×10	4.501	1.2	CSD01	10×10	4.501	1.2
CS04	10×10	3.850	2.1	CSD04	10×10	3.811	3.1
CS16	10×10	3.392	-2.6	CSD16	10×10	3.326	-0.7
CS16	50×50	0.979	-1.2	CSD16	50×50	0.975	-0.8
CS64	50×50	0.885	-8.0	CSD64	50×50	0.884	-7.6
CS64	100×100	0.475	-4.1	CSD64	100×100	0.474	-4.0
CS256	100×100	0.444	-14.7	CSD256	100×100	0.443	-14.5
CS256	200×200	0.231	-8.8	CSD256	200×200	0.231	-8.7
CR01	10×20	3.438	4.0	CRD01	10×20	3.438	4.0
CR04	10×20	2.965	4.6	CRD04	10×20	2.945	5.3
CR16	10×20	2.623	0.1	CRD16	10×20	2.581	1.7
CR16	50×100	0.696	3.3	CRD16	50×100	0.695	3.5
CR64	50×100	0.630	0.4	CRD64	50×100	0.628	-2.5
CR64	100×200	0.333	1.4	CRD64	100×200	0.332	1.8
CR256	100×200	0.312	-9.3	CRD256	100×200	0.312	-9.3
CR256	200×400	0.161	-3.0	CRD256	200×400	0.161	-3.1

به منظور استفاده از فرمول (۱۷) در شرایطی که خاک یکنواخت نیست می توان از یک ضریب تصحیح استفاده کرد. این ضریب با C_r نشان داده می شود. پس با استفاده از رابطه (۱۷) و بکارگیری ضریب C_r می توان مقاومت زمین را برای شبکه های زمین براساس رابطه زیر بدست آورد:

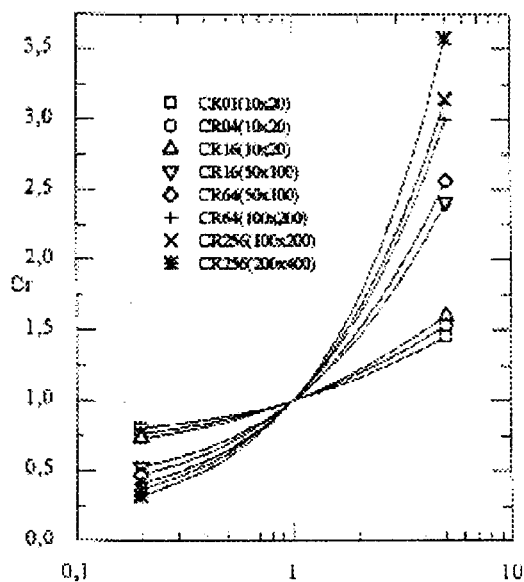
$$R = C_r R_u \quad (۱۸)$$

فاکتور C_r برای ۲۲۰۰ نمونه الکترودهای نشان داده شده در شکل های (۱۲) و (۱۳) با تغییر پارامترهای A ، H و مقدار ρ_2 / ρ_1 بدست آمده است. در شکل های (۱۵) الی (۱۹) تصحیح C_r برحسب ρ_2 / ρ_1 نشان داده شده است. ضریب C_r تغییرات جزئی نسبت به میزان توزیع الکترودهای میله ای در شبکه دارد.

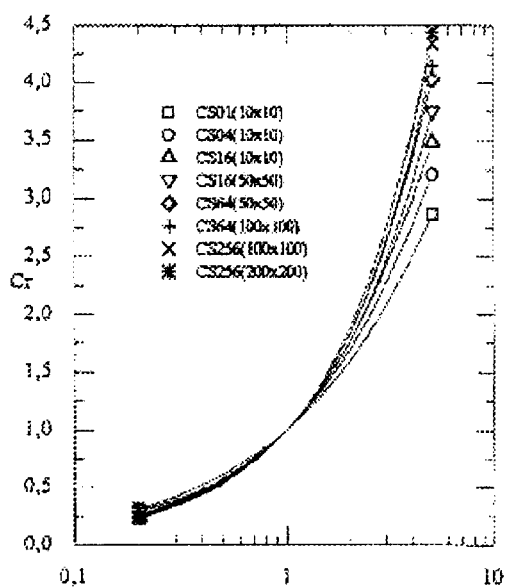
برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.



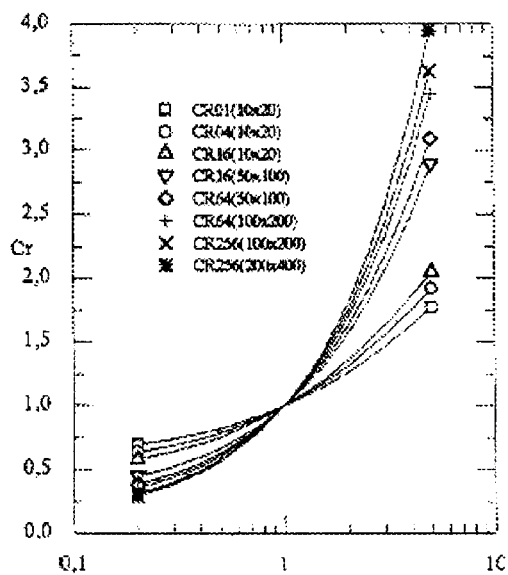
شکل ۱۶- ضریب Cr برای الکترودهای CR با $[η] H=1m$



شکل ۱۵- ضریب Cr برای الکترودهای CR با $[η] H=10m$

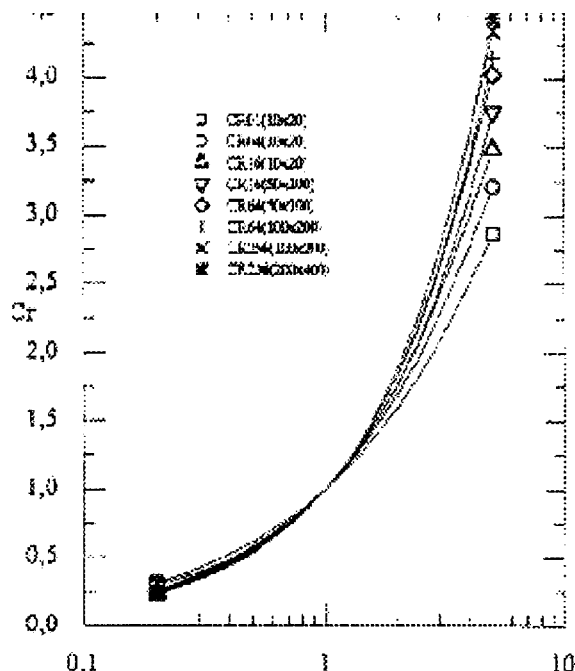


شکل ۱۸- ضریب Cr برای الکترودهای CS با $[η] H=1m$



شکل ۱۷- ضریب Cr برای الکترودهای CR با $[η] H=5m$

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.



شکل ۱۹- ضریب C_r برای الکترودهای CRD با $H=1m$ [۶]

ضریب تصحیح C_r را می توان با استفاده از رابطه زیر بدست آورد:

$$C_r = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^x \quad (19)$$

در این رابطه x بصورت زیر محاسبه می شود:

$$x = \begin{cases} 0.59 \log_{10}\left(\frac{15.5}{H}\right) + 0.016 \log_{10}(4.2H)(\log_{10}(N\sqrt{A}))^2 & \text{for } \frac{\rho_2}{\rho_1} < 1 \\ 0.57 \log_{10}\left(\frac{8.5}{H}\right) + 0.06 \log_{10}(10H) \log_{10}(NA) & \text{for } \frac{\rho_2}{\rho_1} > 1 \end{cases} \quad (20)$$

در این روابط H برحسب متر و A برحسب مترمربع است. ماکزیمم خطای حاصله از بکارگیری روابط (۱۹) و (۲۰) برای الکترودهای صفحه ای مشبک شکل های (۱۲) و (۱۳)، ۱۸ درصد است.

۸-۵-۱ بررسی یک مثال عملی

الکتروده CS64 با $A=100 \times 100$ مترمربع در نظر گرفته می شود. این الکتروده در یک خاک دو لایه ای با $\rho_1=50$ اهم متر و $\rho_2=250$ اهم متر مدفون شده و $H=10$ متر است. برای $\rho=\rho_1=50$ اهم متر با $A=100 \times 100$ مترمربع و $N=64$ و $L=3$ متر با بکارگیری رابطه (۱۷) داریم:

$$R_u = 0.13 \frac{50}{100} \left(1 - \frac{2}{3} \times \frac{3}{100}\right) \log_{10}\left(\frac{2400 \times 100}{64}\right) = 0.228 \Omega$$

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

برای $H=10$ متر، $A=100 \times 100$ مترمربع و توجه به اینکه $\rho_2 / \rho_1 > 1$ است،

از رابطه (۲۰) مقدار X بصورت زیر بدست می آید:

$$X = 0.57 \log_{10} \left(\frac{8.5}{10} \right) + 0.06 \log_{10} (10 \times 10) \log_{10} (64 \times 10000) = 0.657$$

پس C_r بصورت زیر بدست می آید:

$$C_r = \left(\frac{250}{50} \right)^{0.657} = 2.879$$

$$\Rightarrow R = 2.879 \times 0.228 = 0.656 \Omega$$

مقدار واقعی R برابر با 0.628Ω اهم است. پس خطای حاصله در بکارگیری روش ارائه شده در این

حالت $4/6$ درصد خواهد شد. [۶]

۹ روش نصب الکترودهای زمین

۹-۱ روش نصب زمین با الکترودهای صفحه‌ای از جنس مس

در شکل (۲۰) جزئیات چاه اتصال زمین برای الکترودهای صفحه‌ای از جنس مس نشان داده شده است.

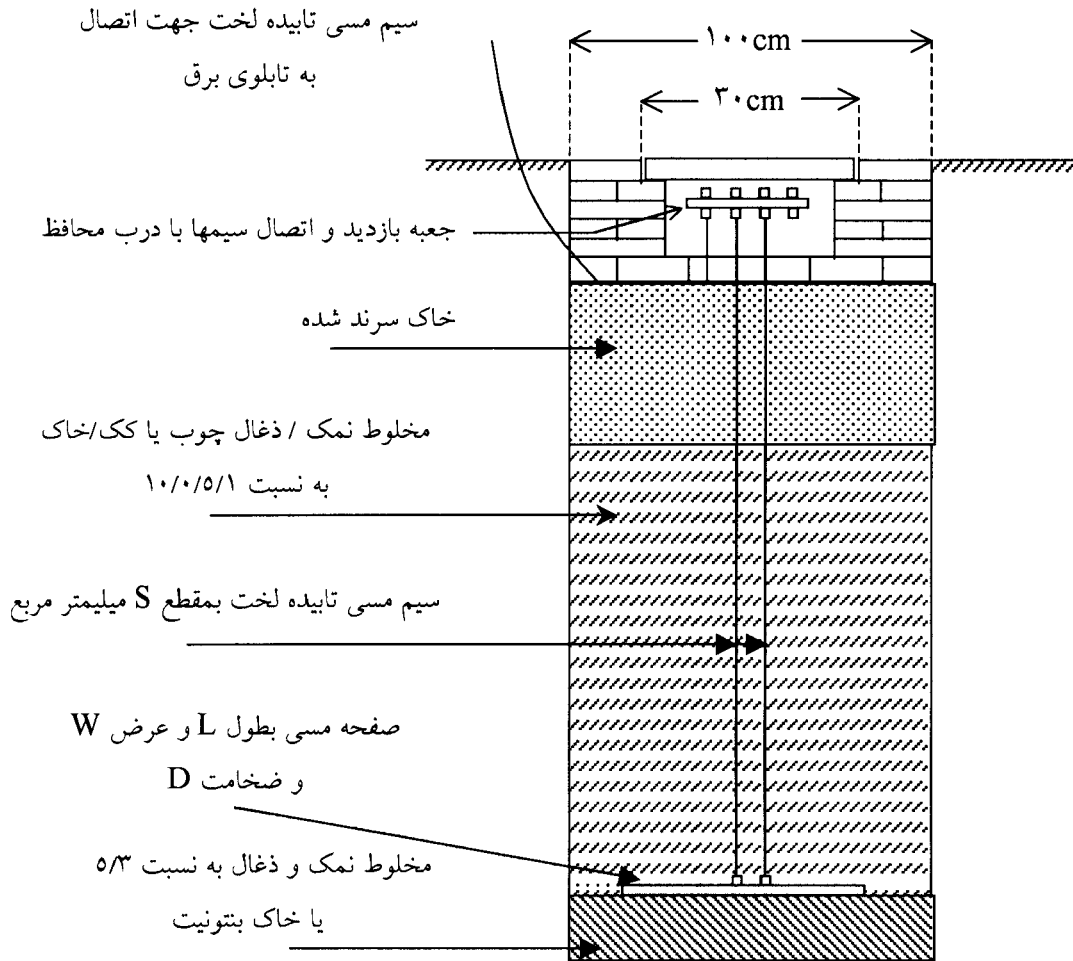
صفحات مسی باید عاری از هرگونه پوشش باشند و می توانند بصورت افقی یا عمودی در زمین نصب گردند. سطح مقطع این صفحات با توجه به نوع در جدول شکل (۲۰) نشان داده شده است. این صفحات می توانند بصورت مربعی مستطیلی و یا دایره ای انتخاب گردند اما سطح مقطع هر شکل باید براساس اطلاعات داده شده در جدول شکل (۲۰) باشد. حداقل عمق برای نصب الکترودهای صفحه‌ای $1/5$ متر بوده و باید بگونه‌ای در زمین قرار گیرند که اتصال بین سطح زیرین صفحه و زمین به نحو مطلوب و مناسب برقرار گردد. باید خاک بالای صفحه پس از پرکردن کوبیده شود. اگر صفحه بصورت عمودی در خاک قرار گیرد، باید لبه بالائی آن حداقل در عمق $1/5$ متر واقع شده و خاک دو طرف آن کوبیده شود عمق دفن مناسب برای الکترودهای صفحه‌ای به اندازه ای است که مطمئن شویم خاک اطراف الکترودها نمناک است.

حداقل ضخامت صفحات مسی دو میلیمتر و صفحات آهنی شش میلیمتر و صفحات آهنی گالوانیزه سه میلیمتر باید باشد. از مخلوط ذغال چوب یا کک سرند شده و خاک که بهتر است خاک رس باشد و سنگ نمک کوبیده شده، مخلوط نمک / ذغال چوب یا کک / خاک که با نسبت وزنی $1/10/5/1$ مخلوط شده به تناوب با عمق ۱۵ سانتیمتری ریخته شده و متراکم می شود.

بهتر است در حین عملیات پرکردن و کوبیدن لایه‌های بکار رفته آنها را برای بهتر متراکم شدن آبیاری کرد. چاه را با لایه‌های مخلوط نمک و خاکه ذغال چوب طبق نسبت نمک / خاکه ذغال چوب، $5/3$ با ضخامت ۱۵ سانتیمتر به تناوب پر کرد و کوبید اگر الکترودهای صفحه‌ای بصورت افقی

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

قرار گیرد باید از ته چاه تا ارتفاع ۱۵ الی ۲۰ سانتیمتر با مخلوطی از نمک و خاکه ذغال چوب پر شده، کوبیده و تسطیح گردد، سپس الکتروود صفحه‌ای قرار گیرد.

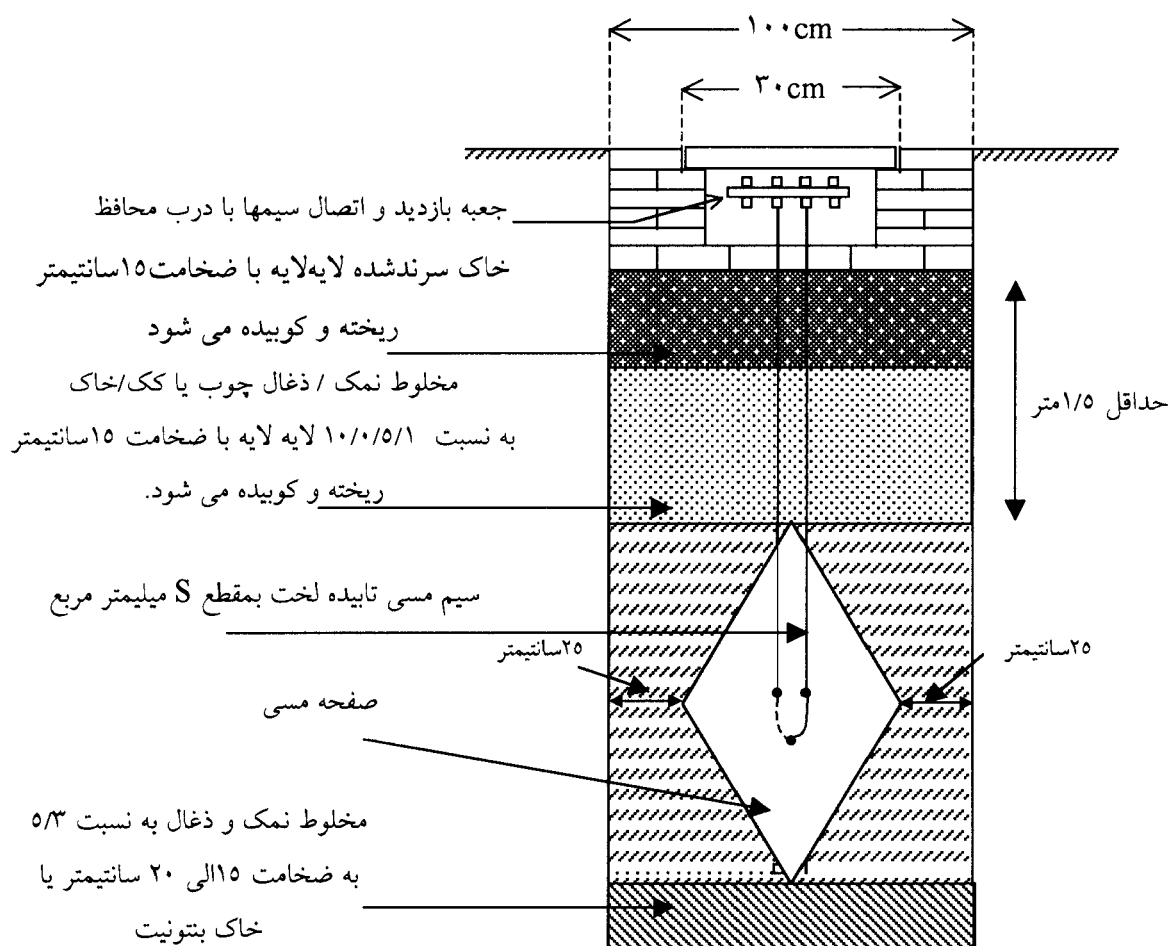


توجه : عمق چاه بایستی طوری باشد که صفحه مسی همواره در زمین مرطوب قرار گیرد

(الف) صفحه افقى

TYPE	S میلیمتر مربع	L میلیمتر	W میلیمتر	D میلیمتر
A	۱۶	۳۰۰	۳۰۰	۳
B	۱۶	۵۰۰	۵۰۰	۳
C	۵۰	۶۰۰	۶۰۰	۳
D	۵۰	۷۰۰	۷۰۰	۳

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.



توجه : عمق چاه بایستی طوری باشد که صفحه مسی همواره در زمین مرطوب قرار گیرد

(ب) صفحہ عمودی

شکل ۲۰- روش چاه اتصال زمین الکتروود صفحه‌ای مسی

در روش ارائه شده باید نکته زیر مورد توجه قرار گیرد:

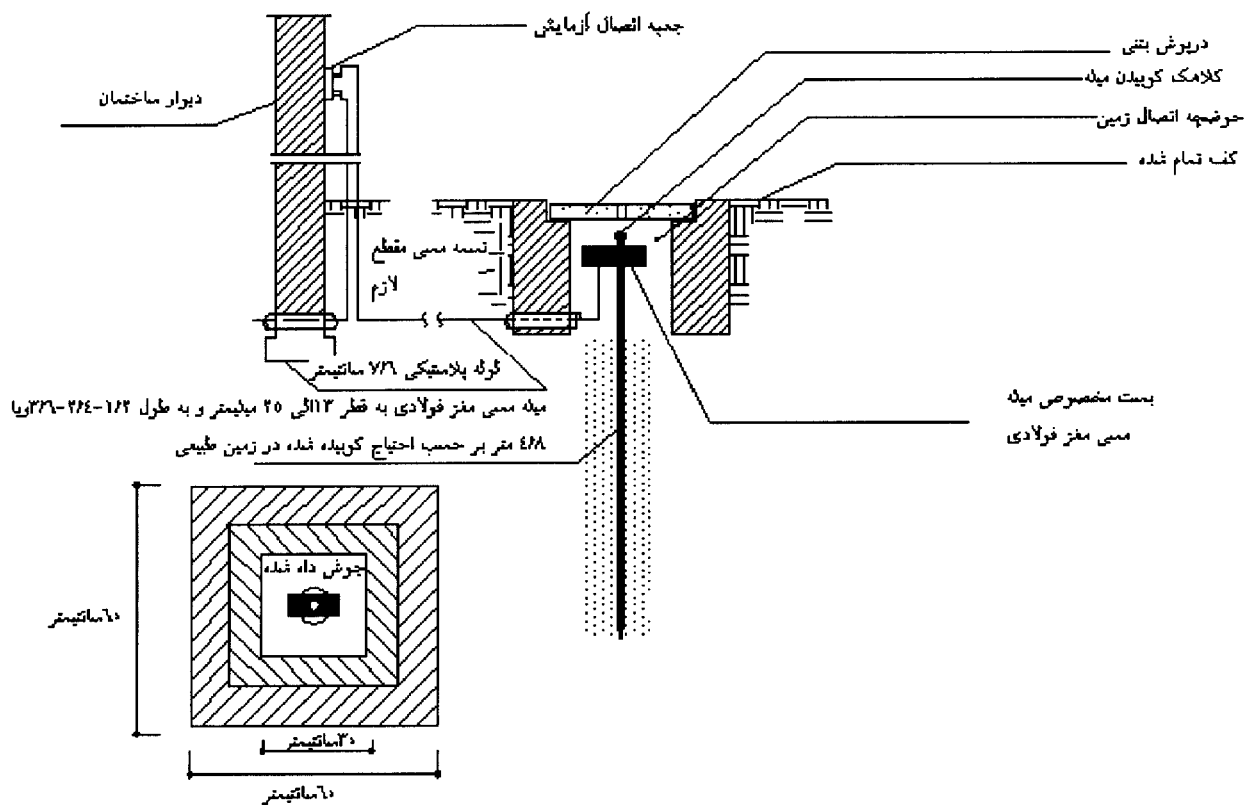
چاه تا رسیدن به نم طبیعی زمین باید کنده شود. در این خصوص باید بدترین شرایط نم زمین از نظر شرایط آب و هوایی منطقه در نظر گرفته شود.

۲-۹. روش نصب اتصال زمین با الکترو دمل‌های کوبیده شده از جنس مس با مغز فولادی

در این روش از الکترو د میله ای جنس مس با مغز فولادی استفاده می شود. در اکثر کاربردها از میله به قطر ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۵ میلی متر با طول ۲/۴۵، ۳/۵ یا ۵ متر بر حسب نوع خاک و

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

رطوبت انتخاب شده و توسط میله کوب مخصوص در خاک کوبیده می شود. حوضچه مخصوص بازدید الکتروود به عمق ۴۰ سانتیمتر بوده و باید از بست مخصوص میله مسی مغز فولادی برای اتصالات استفاده کرد. تسمه مسی ارتباطی باید حداقل طول سه متر با سطح مقطع دوطرف حداقل ۰/۵ متر مربع را داشته باشد و نباید ضخامت آن از دو میلیمتر کمتر باشد. روش نصب سیستم اتصال زمین ارائه شده در این بخش در شکل (۲۱) نشان داده شده است.



شکل ۲۱- روش نصب سیستم اتصال زمین با الکتروود میله ای مسی مغز فولادی [۱۴]

۳-۹ روش نصب اتصال زمین با الکتروود لوله ای کوبیده شده

در این روش از لوله های مخصوص اتصال زمین طبق مشخصات ارائه شده در استاندارد شماره

۱۰۱- قسمت دوم بخش ۱-۱-۵ و ۱۲-۱-۵ استفاده می شود.

الف- لوله از جنس فولادی گالوانیزه : حداقل قطر ۱۰ سانتیمتر و طول ۲،۳،۴ یا ۶ متر با ضخامت

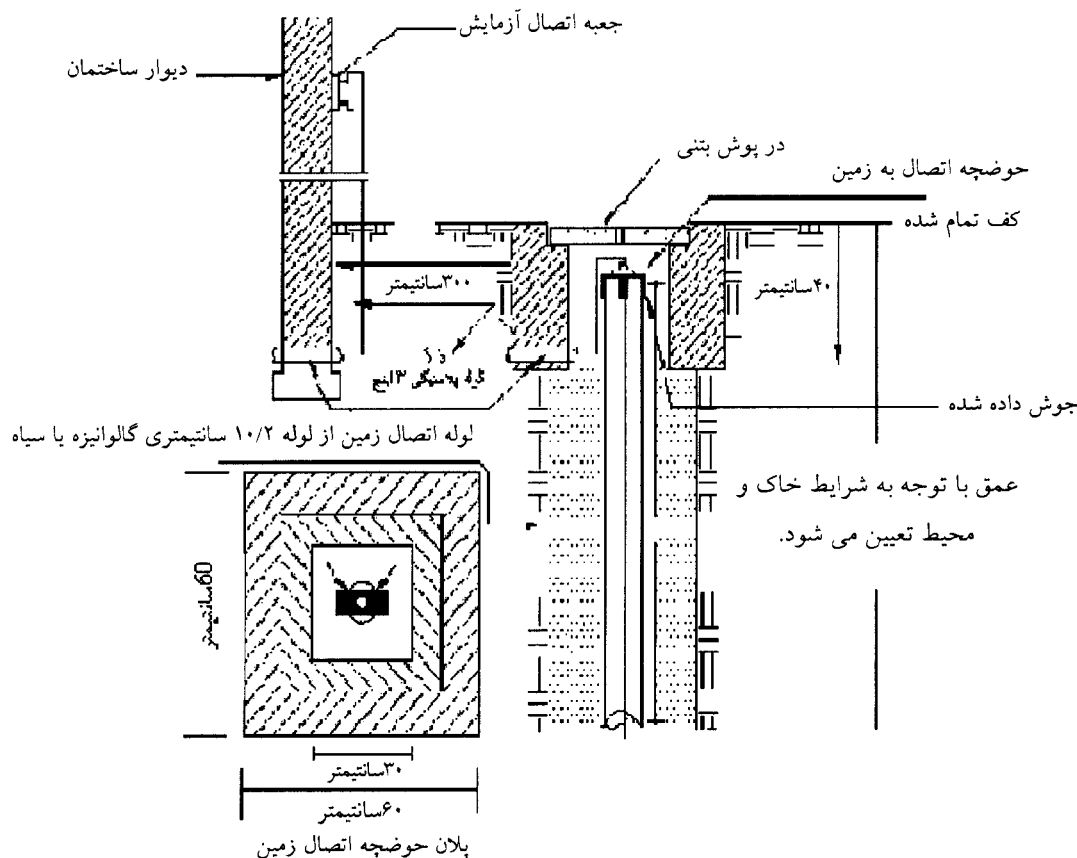
۱/۵ سانتیمتر

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

تبصره : این لوله‌ها برای رسیدن به طول بیشتر به هم متصل می‌شوند برای این منظور می‌توان از لوله‌هایی که در داخل یکدیگر پیچ می‌شوند استفاده کرد و یا از پیچی استفاده نمود که قطر آن از قطر لوله بیشتر نباشد.

طول لوله با توجه به شرایط خاک و رطوبت زمین انتخاب می‌شود.

شکل (۲۲) روش نصب سیستم فوق را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲- روش نصب سیستم اتصال زمین با الکتروود لوله‌ای [۱۴]

تسمه مسی بکار رفته حداقل طول سه متر ، سطح مسطح مقطع (دو طرف) ۰/۵ متر مربع و حداقل ضخامت دو میلیمتر را باید دارا باشد.

تبصره : اگر از تسمه فولادی استفاده می‌شود نباید ضخامت آن از شش میلیمتر کمتر بوده و اگر از نوع گالوانیزه گرم باشد از سه میلیمتر کمتر باشد.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

۹-۴ روش نصب اتصال زمین با الکتروود لوله‌ای توسط حفر چاه زمین

در این بخش روش ایجاد سیستم زمین توسط حفر چاه زمین و استفاده از الکتروودهای لوله‌ای شرح داده شده است.

چاهی با حداقل ۲/۴۵ متر در زمین مورد نظر کنده می‌شود.

تبصره: عمق چاه لازم با توجه به شرایط خاک و رطوبت آن در منطقه مورد نظر که با مطالعات خاک منطقه انجام می‌گردد، تعیین می‌شود. بهترین عمق چاه به اندازه‌ای است که به نم طبیعی زمین رسیده باشد.

در این روش از لوله فولادی گالوانیزه گرم به قطر ۳۸ میلیمتر در چاه استفاده شده و از لوله فولادی گالوانیزه گرم به قطر ۱۹ میلیمتر در حوضچه بازدید استفاده می‌گردد.

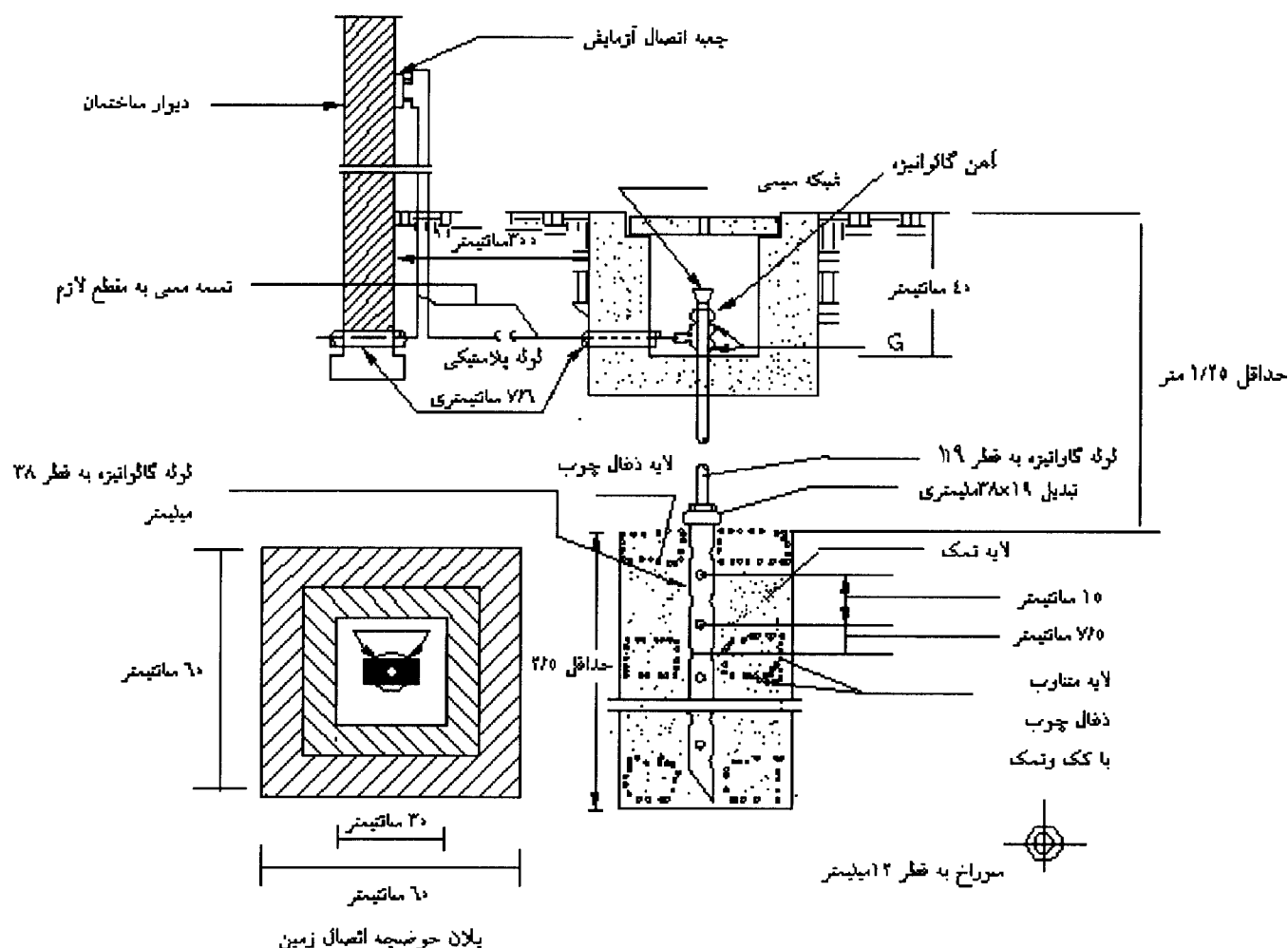
حداقل عمق حوضچه ۱/۲۵ متر بوده و چاه بصورت نشان داده شده در شکل (۲۳) پر می‌شود. سنگ نمک کوبیده شده و سرند شده با خاکی ذغال چوب یا کک سرند شده و خاک که بهتر است خاک رس باشد، به صورت نمک/ذغال چوب یا کک/خاک با نسبت ۱۰/۰/۵/۱ مخلوط شده و به تناوب یک لایه نمک و یک لایه ذغال چوب یا کک در لایه‌هایی به ضخامت ۰/۱۵ متر در اطراف الکتروود تا ارتفاع ۱/۵ متری از ته چاه پر شده و متراکم می‌شود (کوبیده می‌شود). بهتر است در حین عملیات پر کردن و کوبیدن لایه‌های بکار رفته آنها را برای بهتر متراکم شدن آبیاری کرد. بقیه چاه را با خاک سرند شده به ضخامت ۱۵ سانتیمتر پر کرده و می‌کوبند.

برای اتصال لوله داخل چاه به لوله ارتباط دهنده به حوضچه از تبدیل ۱۹×۳۸ میلیمتری از جنس فولاد گالوانیزه گرم استفاده می‌شود.

تسمه مسی ارتباط دهنده با طول سه متر طبق شرایط آورده شده در بند ۹-۳ استفاده می‌شود. در شکل (۲۳) روش ایجاد سیستم زمین با الکتروود لوله‌ای مشاهده می‌شود.

یادآوری: در شرایطی که از الکتروود میله‌ای در چاه استفاده می‌شود باید مشخصات الکتروود میله‌ای مطابق بند ۹-۲ باشد.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.



شکل ۲۳- روش نصب سیستم اتصال زمین با الکتروود میله‌ای (نوع لوله‌ای پرسی) [۱۴]

در کلیه شکل‌های (۲۱) الی (۲۳) از جعبه آزمایش سیستم زمین که بر روی دیوار ساختمان نصب می‌شود، استفاده شده است.

۵-۹ مشخصات جعبه اتصال آزمون

جعبه اتصال آزمون متشکل از جعبه فلزی با درب به ابعاد $۷۰ \times ۱۰۰ \times ۱۶۰$ میلیمتر به انضمام صفحه فیبری با دو عدد پیچ و مهره خروسی مسی یا برنجی و تیغه اتصال مسی خواهد بود. شکل (۲۴) جزئیات یک جعبه اتصال آزمون را نشان می‌دهد.

۱-۵-۹ نصب جعبه اتصال آزمون

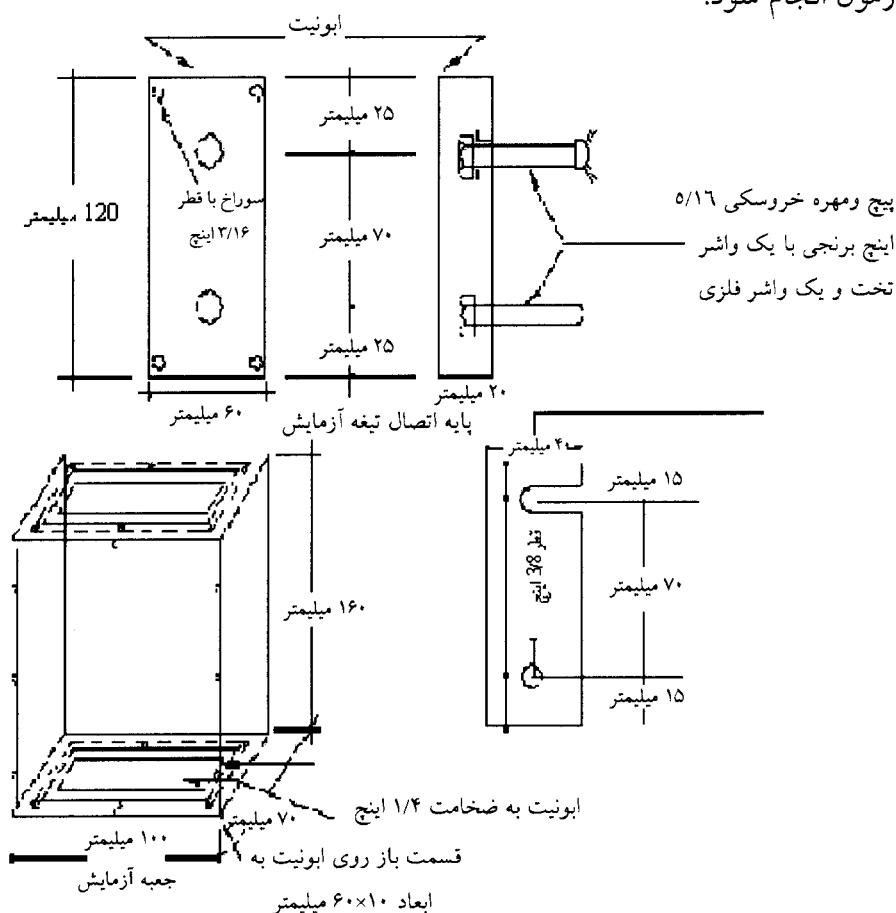
۱-۵-۹-۱- برای تسهیل در امر آزمون اندازه‌گیری میزان مقاومت الکتریکی هر الکتروود اتصال زمین به طور جداگانه، باید یک جعبه اتصال آزمون برای هر الکتروود اتصال زمین پیش‌بینی و نصب شود

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

تا پس از نصب سیستم یا در زمان بهره برداری میزان مقاومت آن نسبت به جرم کلی زمین اندازه گیری و کنترل شود. (شکل ۲۴))

۹-۵-۱-۲- جعبه اتصال آزمون باید در روی سطح نزدیکترین دیوار به الکتروود مربوط و در ارتفاع حداقل ۱/۵ متر از کف تمام شده زمین نصب و عبارت ((هادی برقگیر)) همراه با نشانه $\perp$ به صورت دائمی بر روی آن حک شود.

۹-۵-۱-۳- گرفتن هرگونه انشعاب از هادیهای اتصالی بین الکتروود و جعبه اتصال آزمون به هیچ وجه جایز نبوده و کلیه انشعابات و تشکیل حلقه شبکه سیستم اتصال زمین^۱ و مانند آن باید پس از جعبه اتصال آزمون انجام شود.



شکل ۲۴- جعبه آزمایش سیستم اتصال زمین [۱۴]

۶-۹ روش ایجاد سیستم زمین توسط حفر چاه با استفاده از الکتروولیت خاک بتونیت و الکتروود میله‌ای

با بهره‌گیری از مزایای خاک بتونیت به عنوان الکتروولیت امکان دستیابی به یک سیستم اتصال زمین با کیفیت بالا وجود دارد.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

پیوست

الف- طراحی سیستم زمین براساس مقاومت مخصوص خاک

الف-۱ خاک ماسه‌ای در شرایط آب و هوایی خشک با رطوبت پنج درصد

خاکی در محیطی خشک از جنس خاک ماسه‌ای در نظر گرفته می شود. رطوبت خاک پنج درصد منظور می گردد. در این شرایط مقاومت مخصوص خاک عبارت‌آزمون از :

$$\rho = 43000 \text{ اهم سانتیمتر}$$

هدف طراحی یک سیستم زمین با مقاومت پنج تا حداکثر ده اهم است.

براساس روابط محاسبه مقاومت انواع الکترودهای داده شده در بخش ۷، اگر الکترودهای تکی از جنس فولاد با روکش مس به قطر ۱۲ میلیمتر در نظر گرفته شود، مقاومت این الکترودها از رابطه زیر بدست می آید:

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

L: طول میله

a: شعاع میله (نصف قطر)

$$a = 0.6 \text{ سانتیمتر}$$

$$\rho = 43000 \text{ اهم سانتیمتر}$$

$$R = 5 \text{ اهم}$$

با جایگذاری مقادیر فوق در رابطه داده شده طول میله مورد نظر برای رسیدن به مقاومت فوق عبارت‌آزمون از:

$$5 = \frac{43000}{2\pi L} \left[\ln \frac{4L}{0.6} - 1 \right] \Rightarrow$$

$$L = 1/4327 \times 10^4 \text{ سانتیمتر}$$

عدد بدست آمده برای طول میله بسیار بزرگ است، پس باید از روشهای دیگری جهت رسیدن به مقاومت پنج اهم یا حداکثر ۱۰ اهم استفاده کرد. به این منظور از دو میله موازی که فاصله آنها از یکدیگر دو برابر طول میله‌ها است در نظر گرفته می شود، از میله‌های فولادی با روکش مس به قطر ۱۲ میلیمتر استفاده می شود. طبق رابطه ارائه شده در بخش ۷ داریم:

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} \dots \right)$$

که در این رابطه : L: طول میله S: فاصله بین میله‌ها a: شعاع میله است
با انتخاب مقادیر زیر :

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

$$R = 5 \text{ اهم}$$

$$\rho = 43000 \text{ اهم سانتیمتر}$$

$$a = 0.6 \text{ سانتیمتر}$$

$$S = 2L$$

و استفاده از رابطه داده شده، از طریق حل معادله غیرخطی داده شده با روشهای عددی طول میله‌ها عبارت‌آزمون از :

$$L = 6/9948 \times 10^3 \text{ سانتیمتر}$$

حاصل می شود که طول بسیار زیادی است و عملی نمی باشد، اگر بخواهیم تعداد میله‌ها را افزایش دهیم هزینه بر است، اگر صفحه مسی دایره‌ای شکل که بصورت افقی در زمین مدفون می‌شود، استفاده گردد، طبق رابطه داده شده در بخش ۷ داریم:

$$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{S^2} + \frac{33}{40} \frac{a^4}{S^4} \dots \right)$$

در رابطه فوق :

a: شعاع صفحه مسی

S/2: عمق دفن صفحه مسی است.

اگر مقاومت مخصوص خاک 43000 اهم سانتیمتر و عمق دفن صفحه مسی با ضخامت سه میلیمتر، شش متر در نظر گرفته شود با استفاده از رابطه داده شده و استفاده از روشهای عددی شعاع صفحه مسی عبارتست از :

$$a = 840 / 0163 \approx 840 \text{ سانتیمتر}$$

با الکتروود صفحه‌ای به شعاع فوق مقاومت اتصال زمین نه اهم حاصل می شود. محاسبات انجام شده نشان می دهد که الکتروود بدست آمده و عمق دفن آن نیز بر اساس استاندارد نمی باشند، لذا برای رسیدن به مقاومت موردنظر پنج اهم باید از صفحات موازی و یا الکتروودهای شبکه‌ای استفاده نمود.

یادآوری: روش احداث چاه زمین برای الکتروود صفحه‌ای در بخش ۹-۱ ارائه شده است.

الف-۲ خاک ماسه‌ای در شرایط آب و هوایی مرطوب با رطوبت سی درصد

در این شرایط مقاومت مخصوص خاک فوق برابر است با

$$\rho = 4200 \text{ اهم سانتیمتر}$$

اگر از الکتروود میله‌ای از جنس فولاد با روکش مسی به قطر ۱۲ میلیمتر استفاده گردد.

برای مقاومت اتصال زمین ۵ اهم ، طول میله با توجه به رابطه

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

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

برابر است با :

$$L = 1/0.5 \times 10^3 \text{ سانتیمتر}$$

که طول بزرگی بوده و عملی نمی باشد. اگر از دو الکتروود میله‌ای از جنس فولاد با روکش مس به قطر ۱۲ میلیمتر که فاصله بین آنها دو برابر طول هر الکتروود است استفاده گردد، طبق رابطه

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} \dots \right)$$

طول میله‌ها

$$L = 509/4 \text{ سانتیمتر}$$

حاصل می‌گردد که باز هم طول بزرگی بوده و عملی نمی‌باشد. با استفاده از الکتروود صفحه‌ای مسی مدور با ضخامت سه میلیمتر که در عمق ۱/۵ متری از زمین دفن می‌گردد و استفاده از رابطه:

$$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{S^2} + \frac{33}{40} \frac{a^4}{S^4} \dots \right)$$

شعاع صفحه مسی عبارتست از :

$$a = 131/9997 \approx 130 \text{ سانتیمتر}$$

پس با استفاده از این نوع الکتروود ، مقاومت اتصال به زمین پنج اهم برای سیستم زمین حاصل می‌گردد.

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

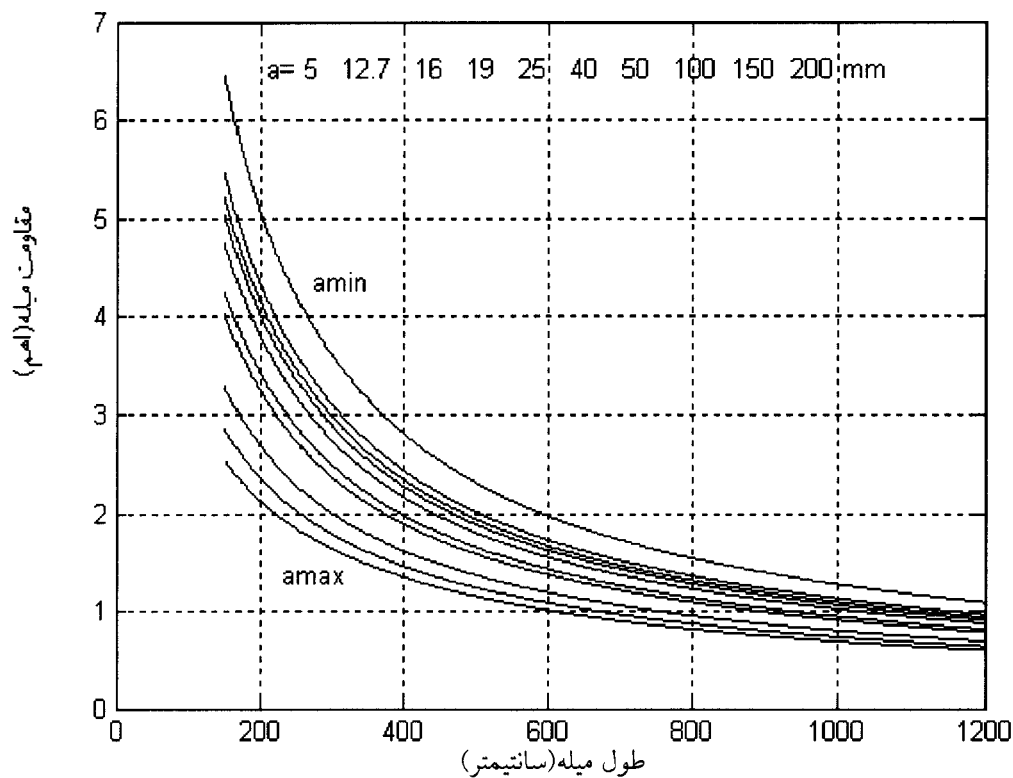
پیوست

ب- منحنی های کاربردی برای نصب الکترودها

در این بخش جهت آشنایی طراحان سیستم زمین برای مناطق مسکونی و تجاری، تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکترودهایی که بیشتر در بخش مسکونی و تجاری استفاده می شوند نسبت به عمق دفن الکتروود و ابعاد آن برای یک خاک ماسه ای یکنواخت با مقاومت مخصوص ۱۰۰۰ اهم سانتیمتر ارائه شده است.

ب-۱ تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود میله ای تکی نسبت به عمق دفن و تغییر شعاع

تغییرات مقاومت اتصال زمین برای یک الکتروود میله ای تکی با سطح مقطع های مختلف نسبت به عمق دفن در خاک یکنواخت با مقاومت ۱۰۰۰ اهم سانتیمتر در شکل های (۱) تا (۷) ارائه شده اند.



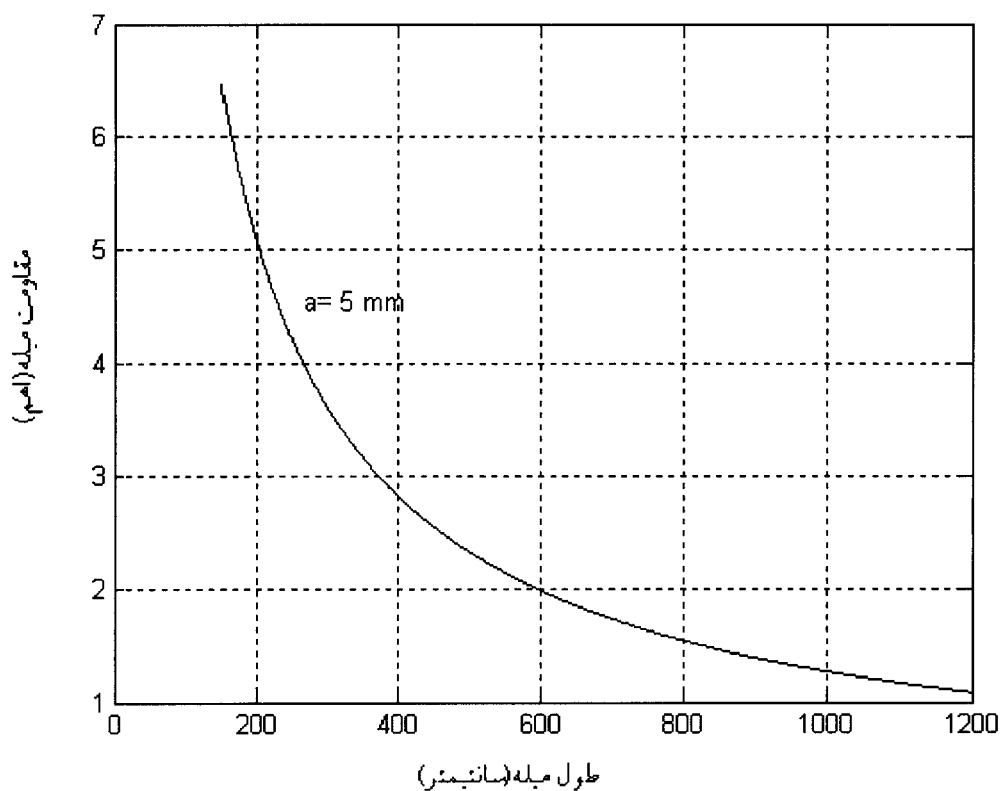
$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

$$L = 150 - 1200 \text{ سانتیمتر}$$

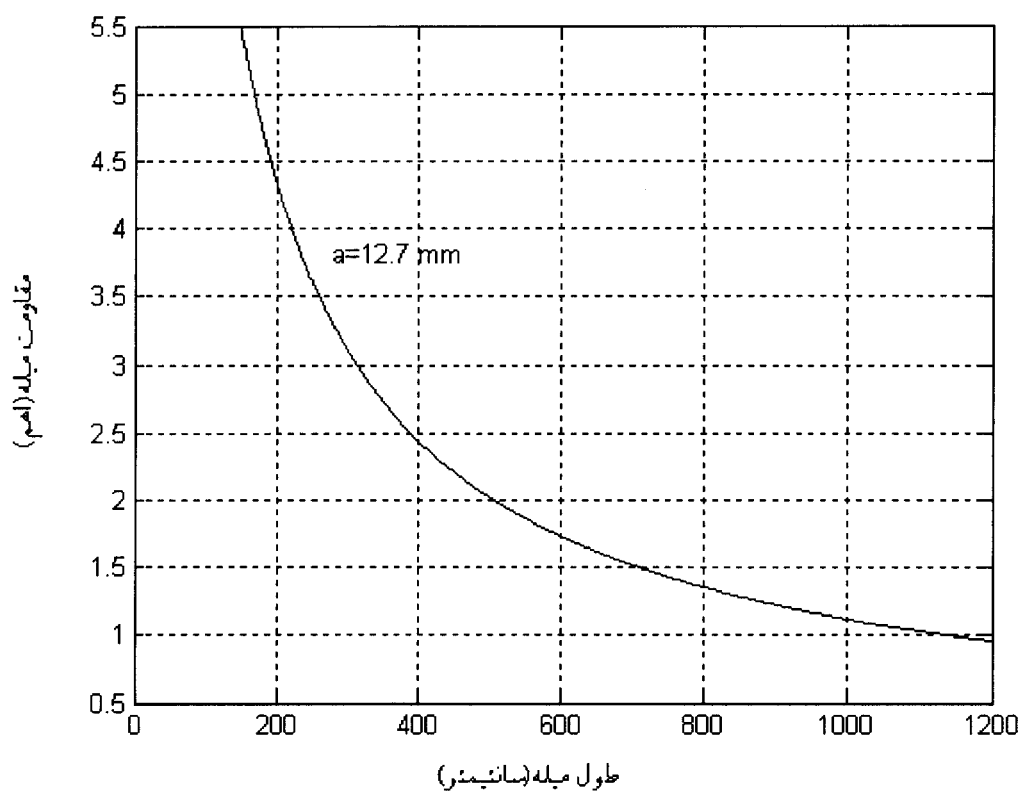
$$\rho = 1000 \text{ اهم سانتیمتر}$$

شکل ۱- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود تک میله ای نسبت به عمق دفن و تغییر شعاع

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.

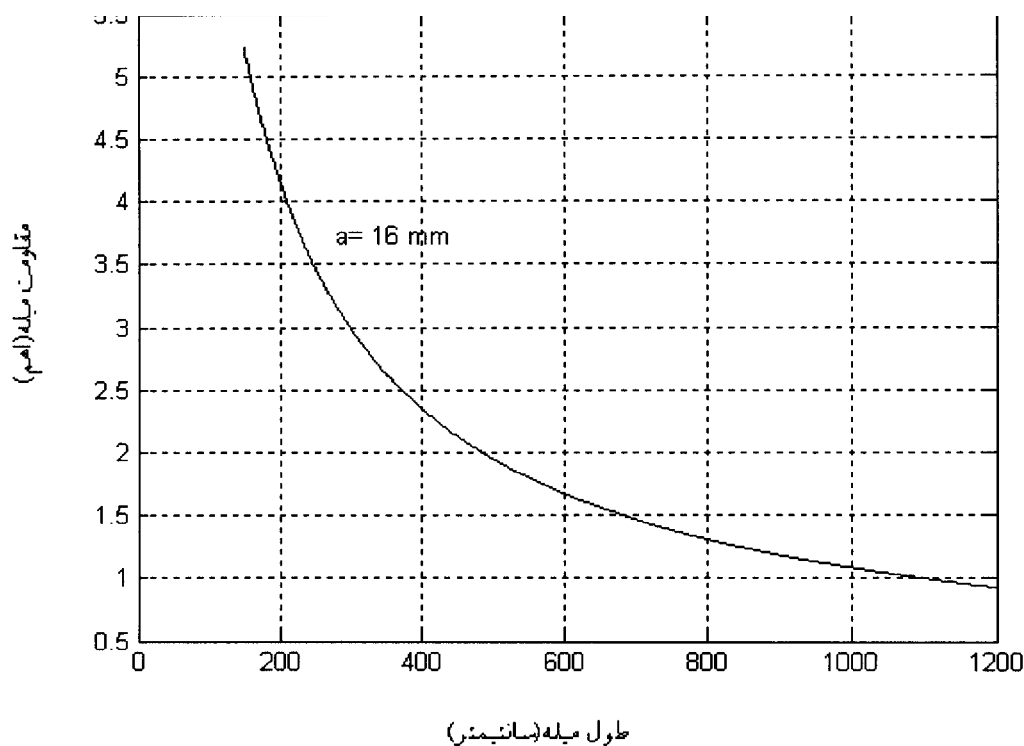


شکل ۲ - تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود تک میله‌ای با شعاع ۵ میلیمتر

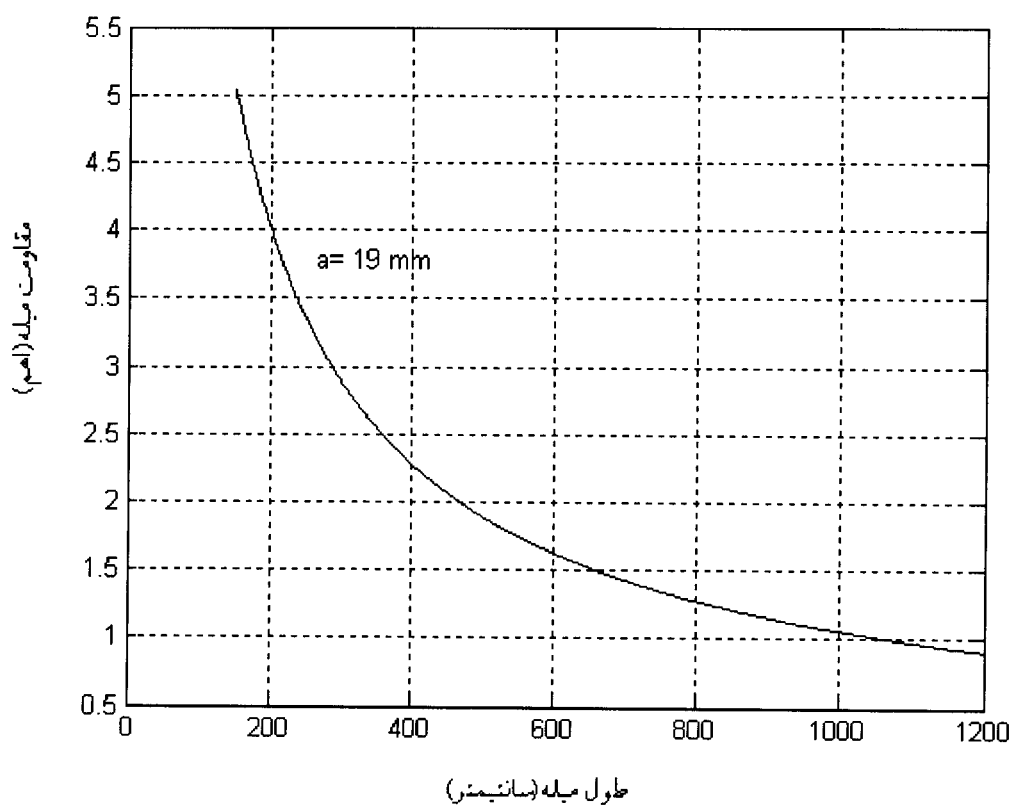


شکل ۳ - تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود تک میله‌ای با شعاع ۱۲/۷ میلیمتر

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.

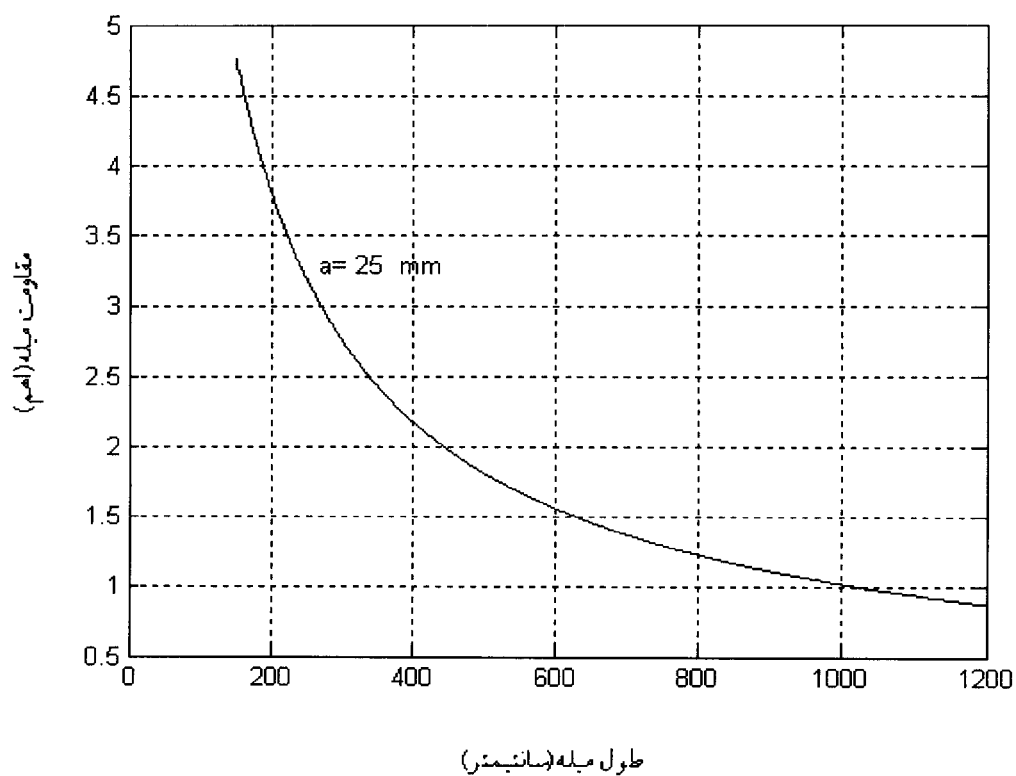


شکل ۴ - تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکترود تک میله‌ای با شعاع ۱۶ میلیمتر

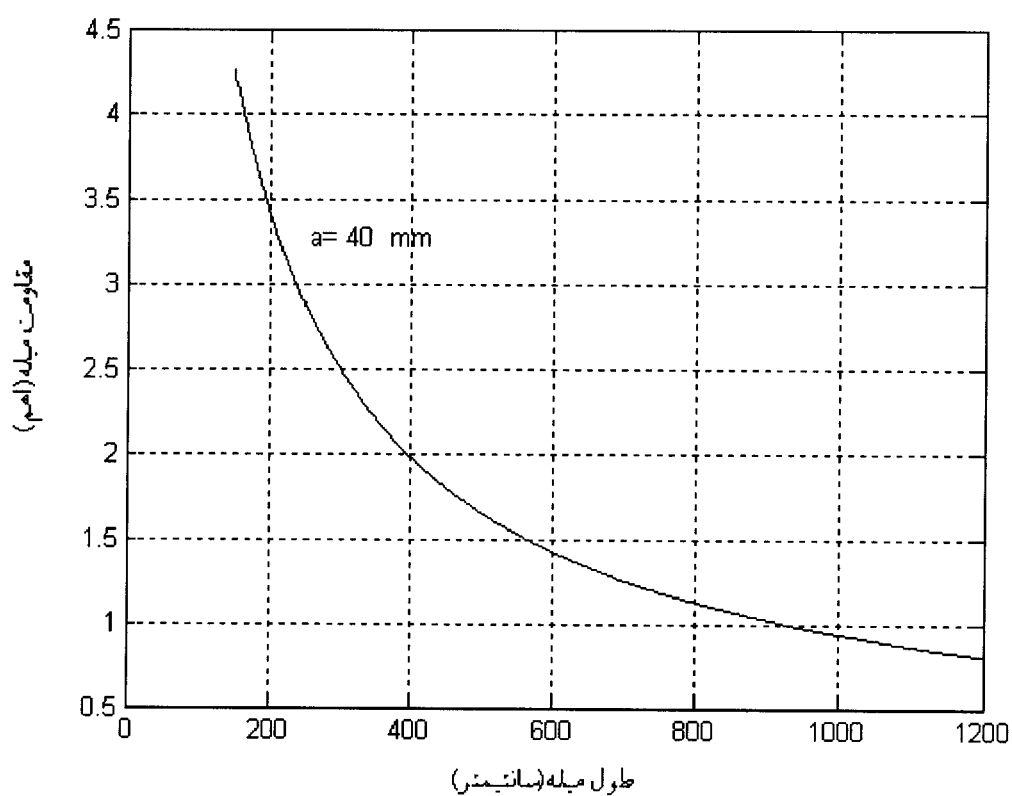


شکل ۵ - تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکترود تک میله‌ای با شعاع ۱۹ میلیمتر

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.



شکل ۶ - تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود تک میله‌ای با شعاع ۲۵ میلیمتر

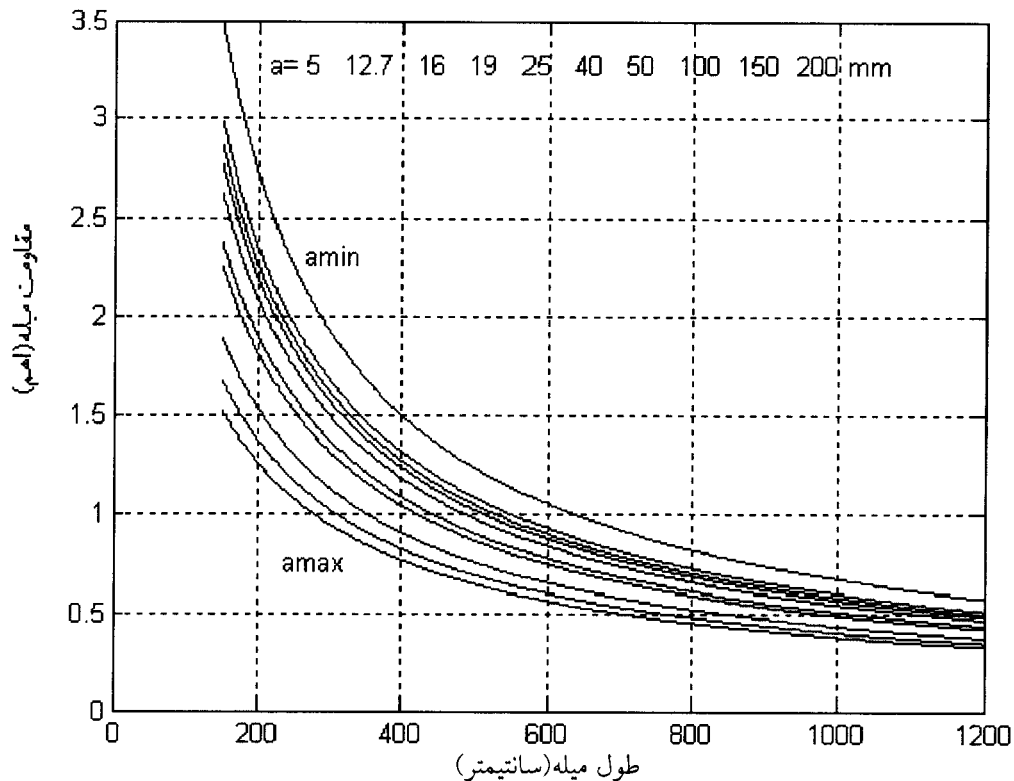


شکل ۷ - تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود تک میله‌ای با شعاع ۴۰ میلیمتر

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

ب-۲ تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود دو میله‌ای نسبت به عمق دفن و تغییر شعاع

تغییرات مقاومت اتصال زمین برای دو الکتروود میله‌ای با سطح مقطع‌های مختلف نسبت به عمق دفن در خاک یکنواخت با مقاومت ۱۰۰۰ اهم سانتیمتر در شکل‌های (۸) تا (۱۴) ارائه شده‌اند. فاصله بین الکتروودها دو برابر طول هر الکتروود در نظر گرفته شده است.



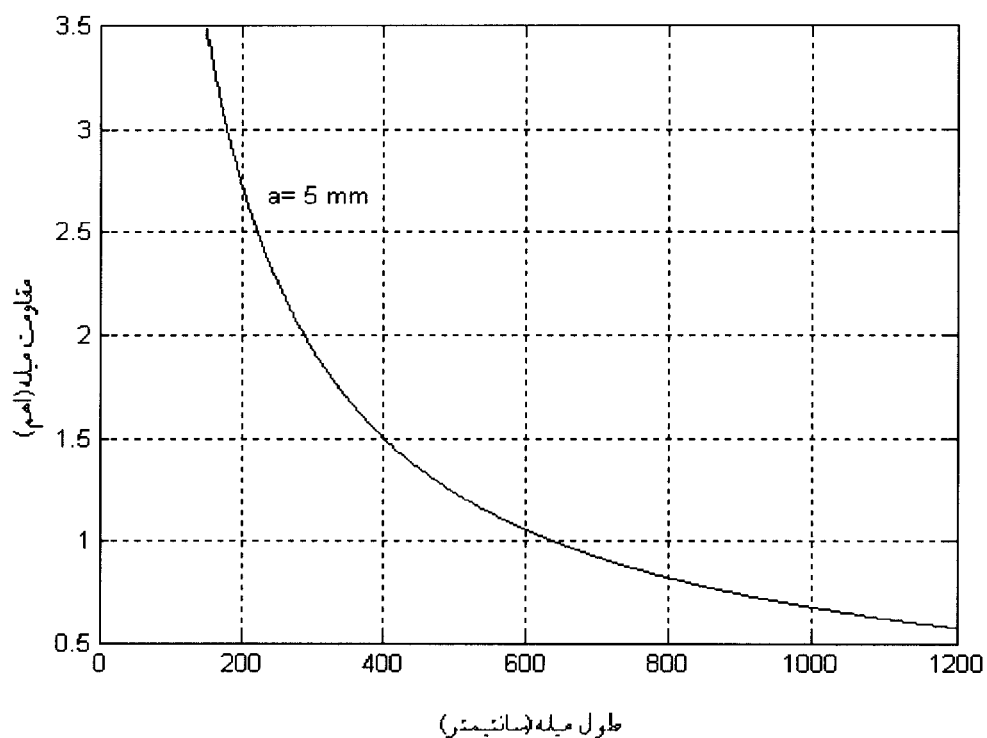
$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{3s^4} \dots \right) \quad S > L$$

با فرض $S=2L$

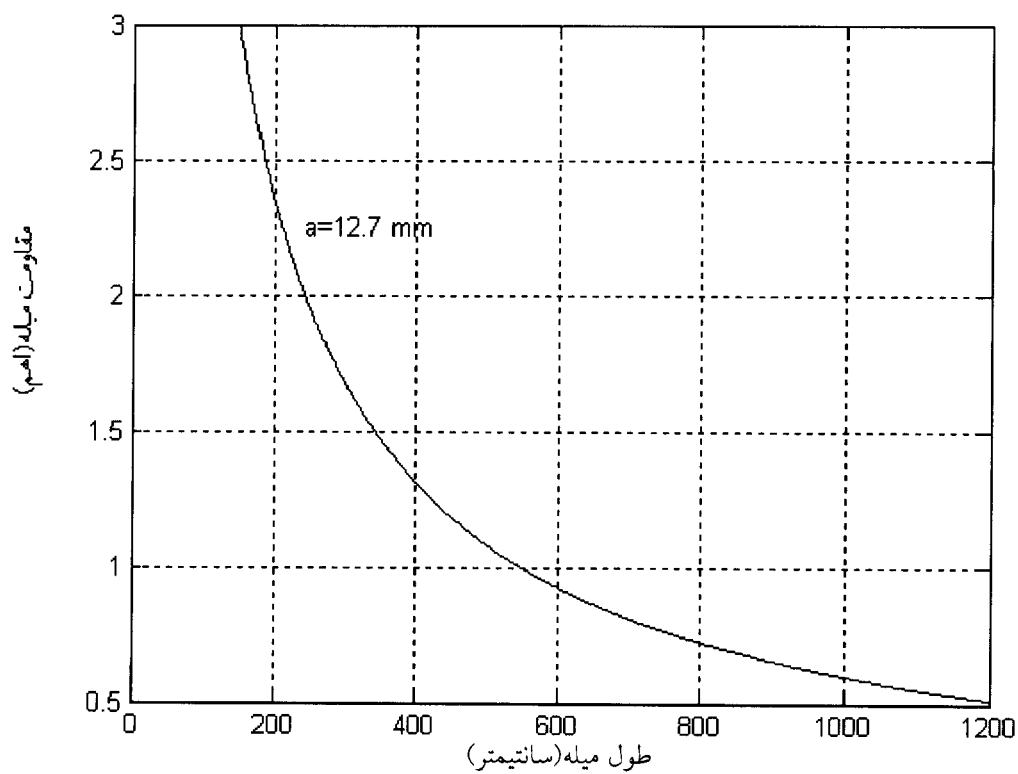
$$L = 1200 - 150 \text{ سانتیمتر}$$

شکل ۸- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود دو میله‌ای نسبت به عمق دفن و تغییر شعاع

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.

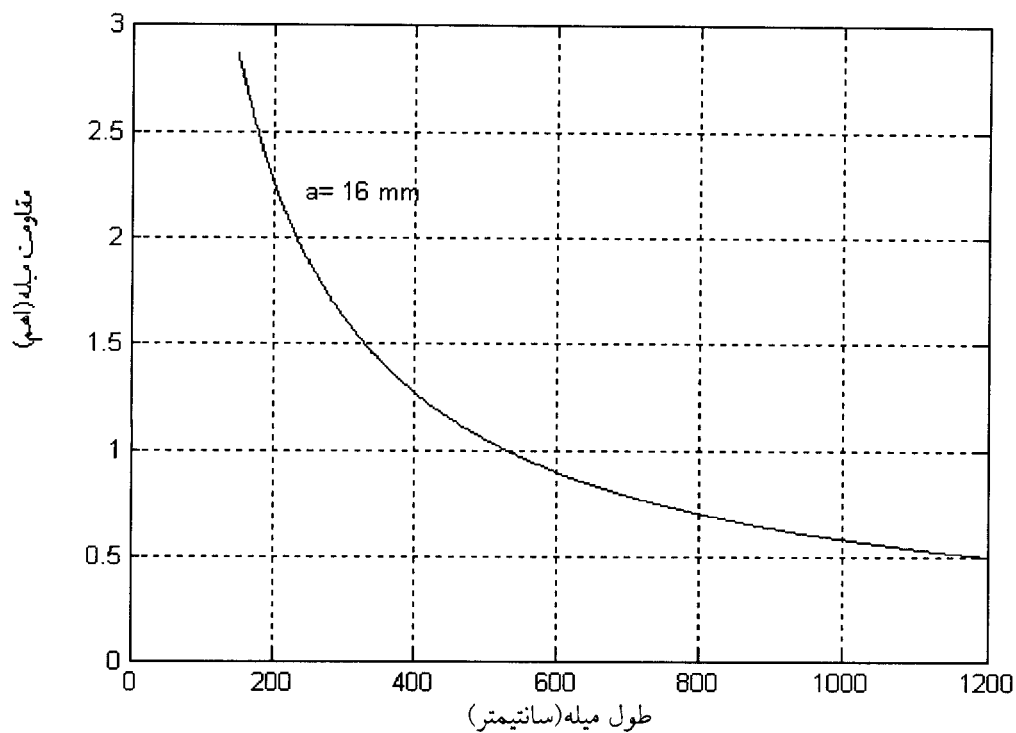


شکل ۹- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود دو میله‌ای با شعاع ۵ میلیمتر

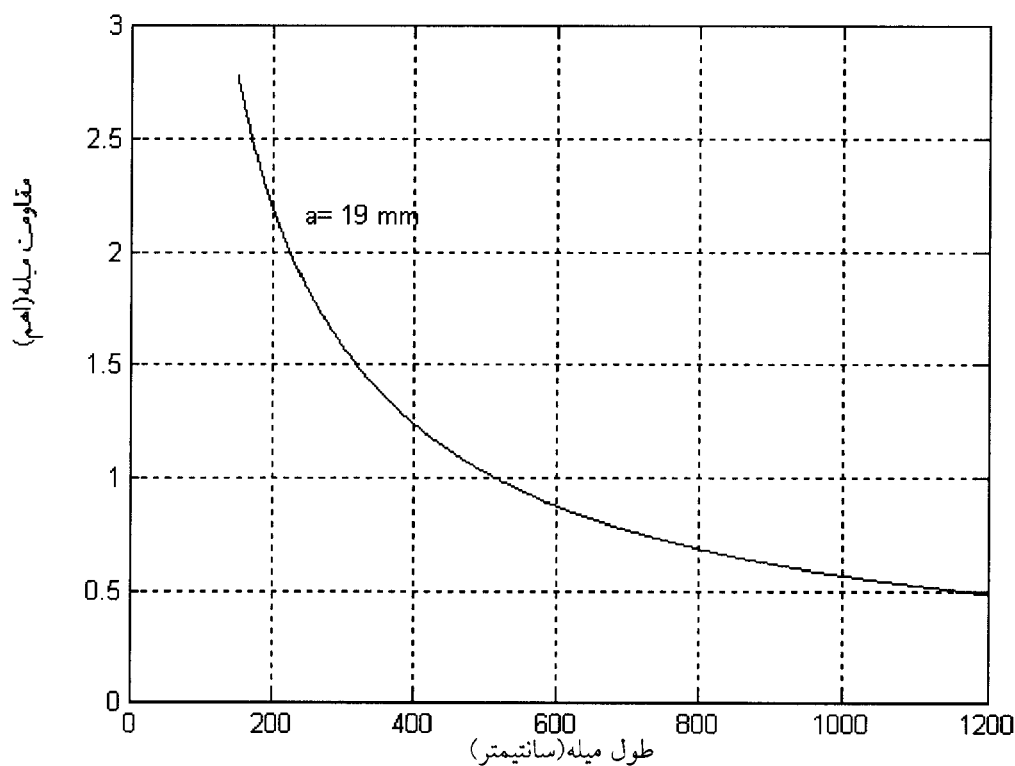


شکل ۱۰- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود دو میله‌ای با شعاع ۱۲/۷ میلیمتر

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.

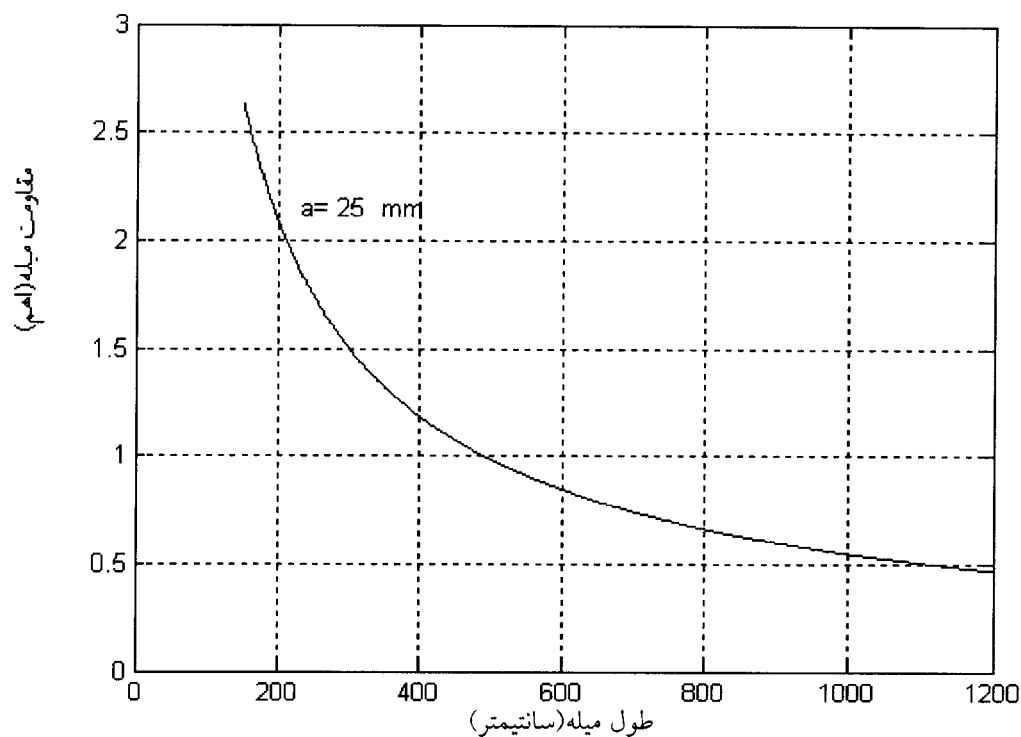


شکل ۱۱- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود دو میله‌ای با شعاع ۱۶ میلیمتر

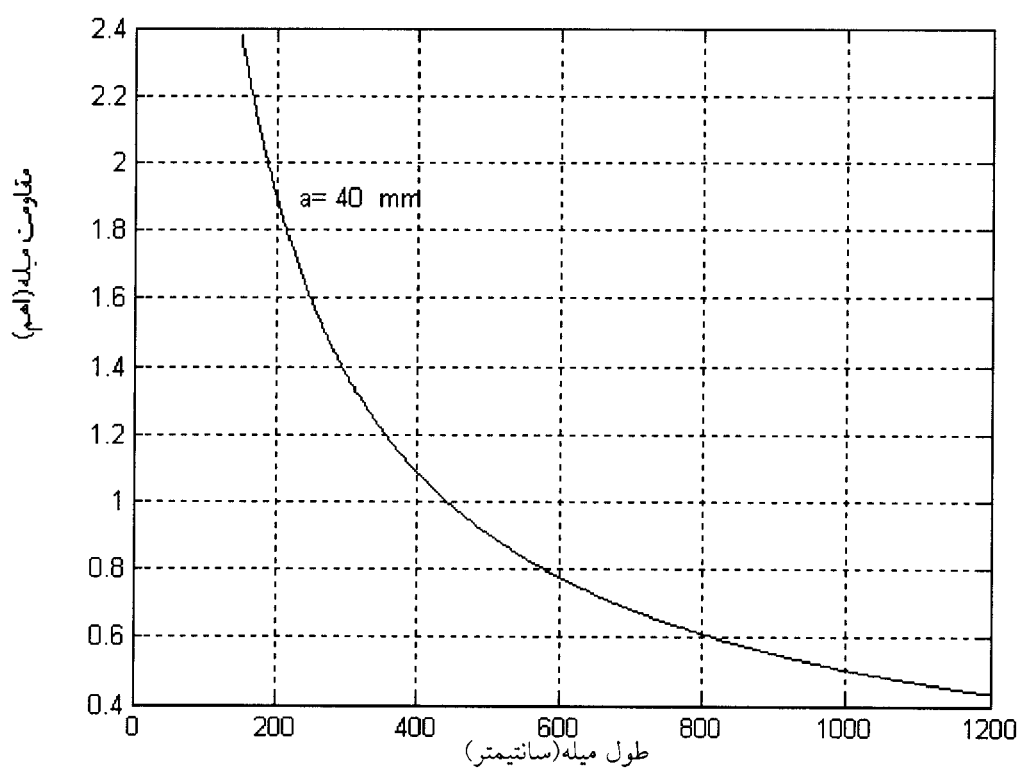


شکل ۱۲- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود دو میله‌ای با شعاع ۱۹ میلیمتر

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.



شکل ۱۳- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود دو میله‌ای با شعاع ۲۵ میلیمتر

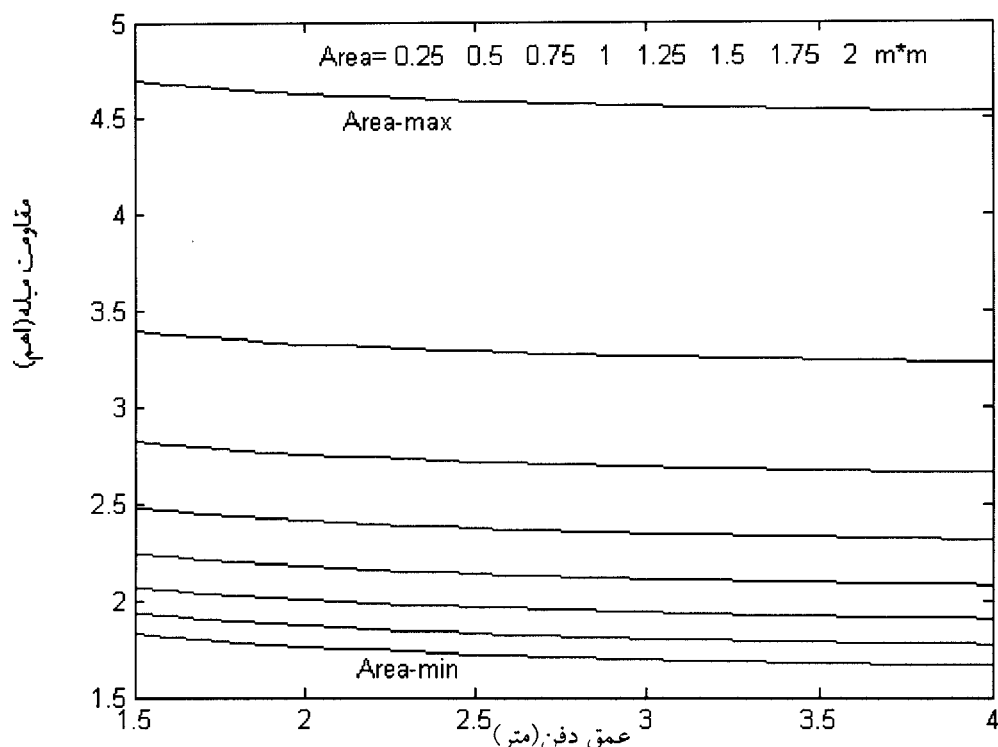


شکل ۱۴- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای الکتروود دو میله‌ای با شعاع ۴۰ میلیمتر

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

ب-۳ تغییرات مقاومت اتصال زمین الکتروود صفحه‌ای دوار دفن شده به صورت افقی از عمق دفن ۱/۵ تا ۲/۵ متر با سطح مقطعهای مختلف

تغییرات مقاومت اتصال زمین برای یک الکتروود صفحه‌ای دوار که به صورت افقی دفن شده با سطح مقطع های مختلف نسبت به عمق دفن در خاک یکنواخت با مقاومت ۱۰۰۰ اهم سانتیمتر در شکلهای (۱۵) تا (۲۳) ارائه شده‌اند.

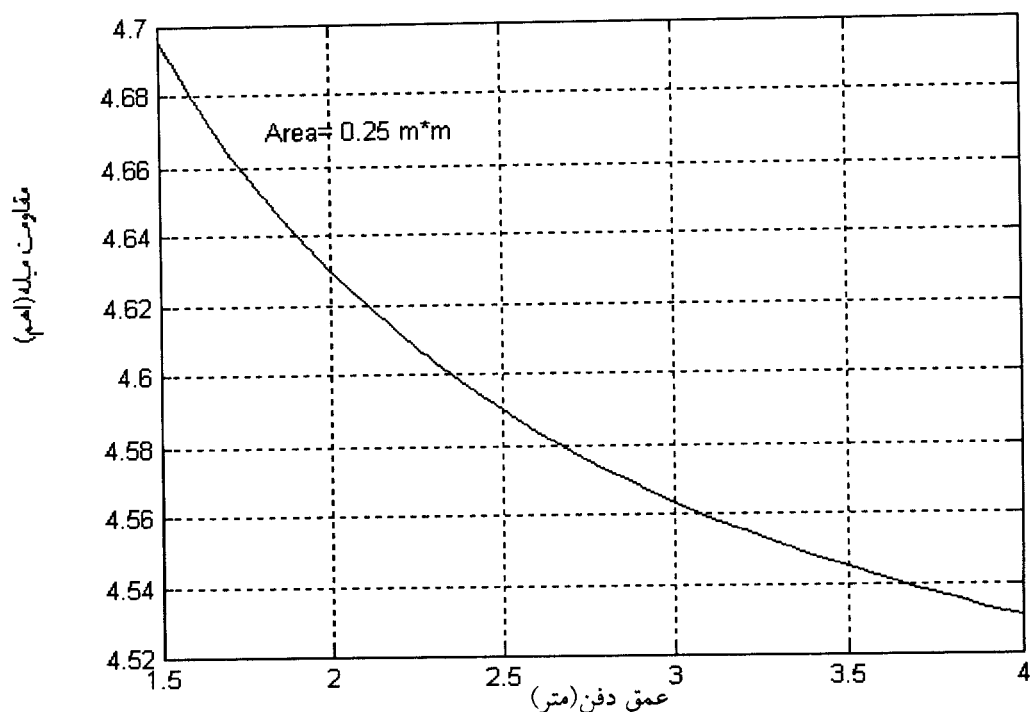


$$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{s^2} + \frac{33}{40} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$$

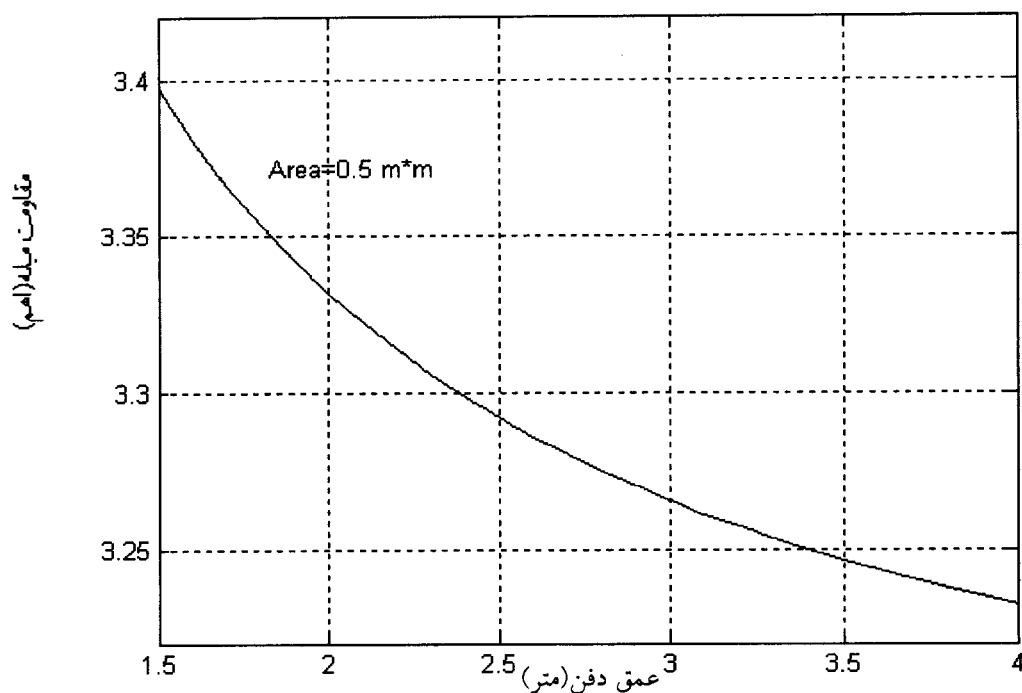
در این شکل منظور از Area سطح مقطع الکتروود بر حسب متر مربع است.

شکل ۱۵- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۲/۵ متر با سطح مقطعهای مختلف

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.

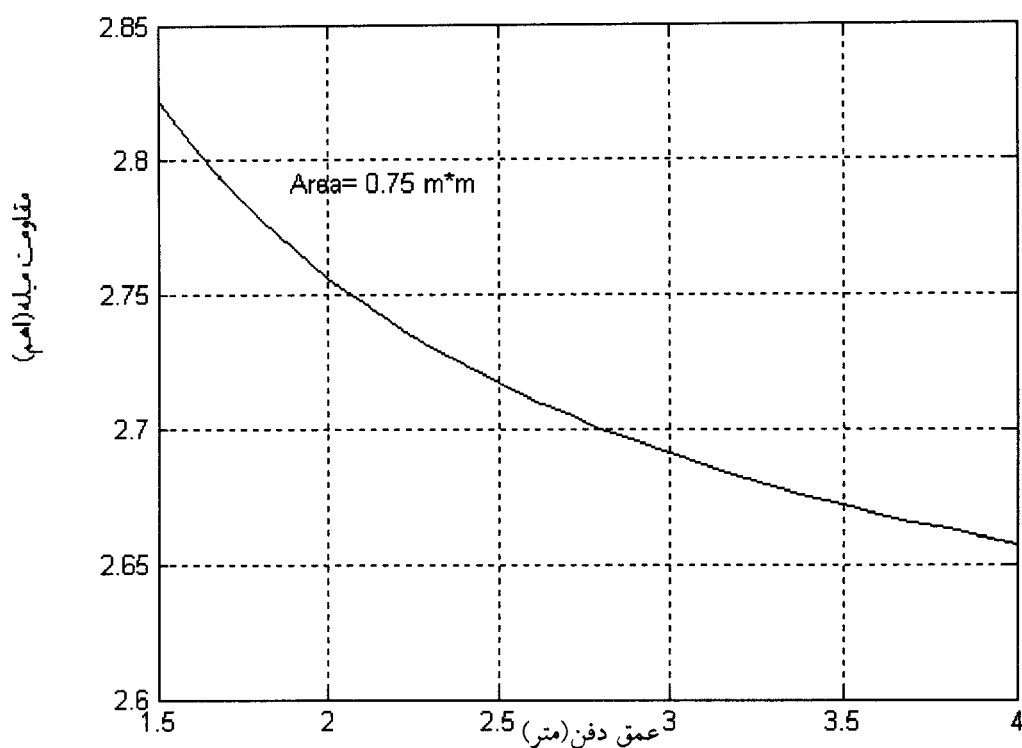


شکل ۱۶- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۰/۲۵ میلیمتر مربع

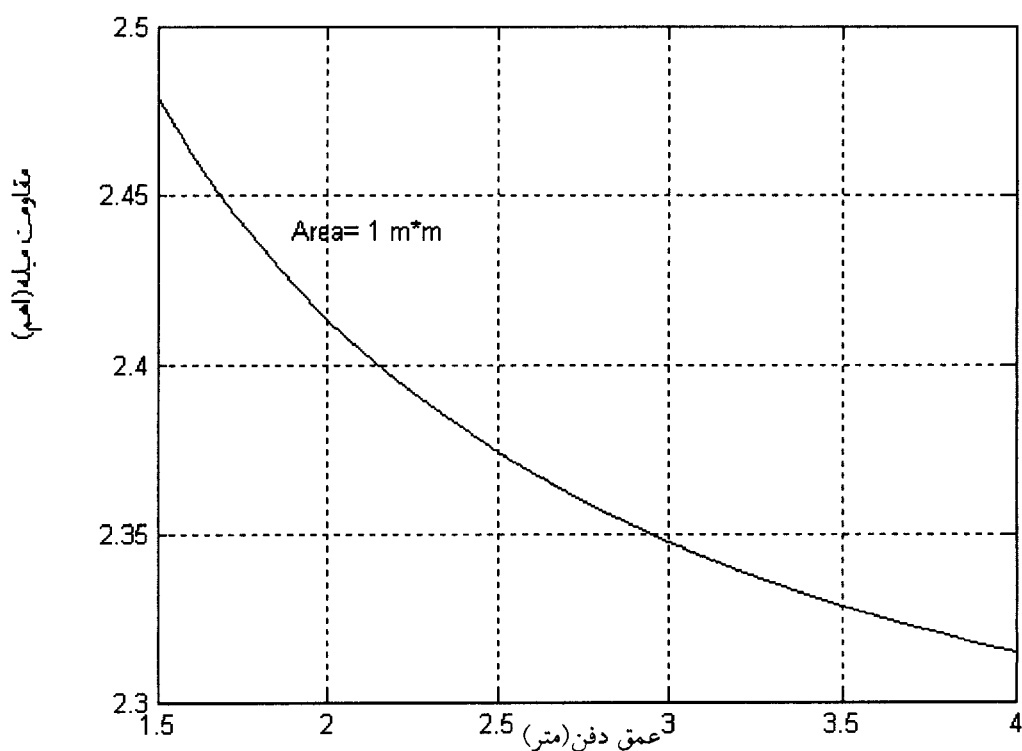


شکل ۱۷- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۰/۵ میلیمتر مربع

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

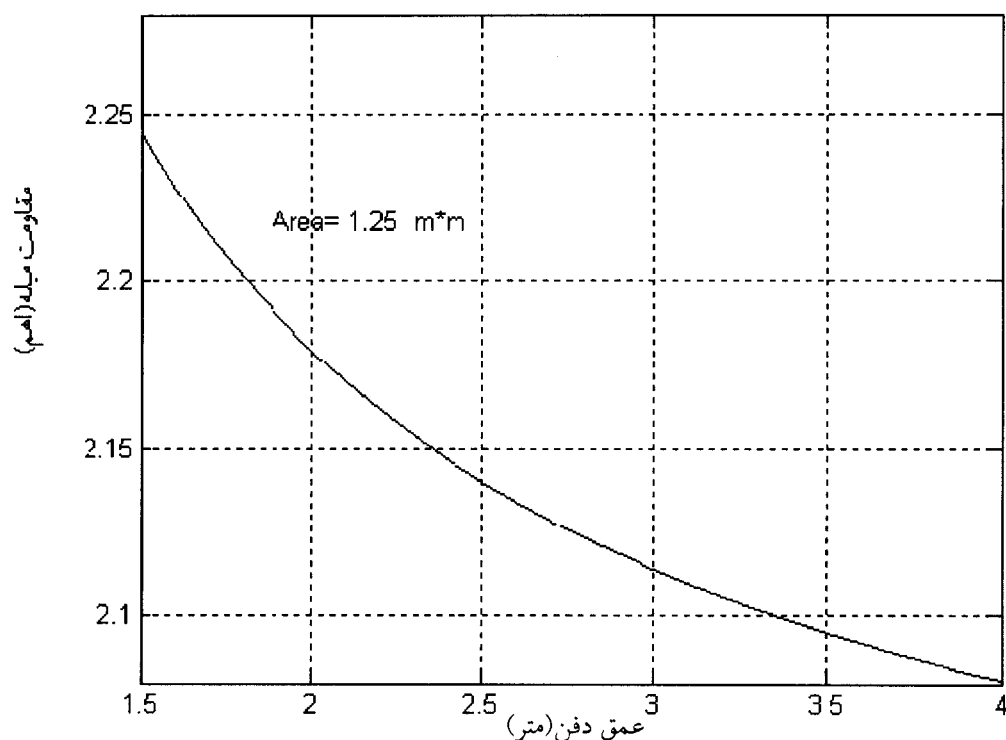


شکل ۱۸- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۰/۷۵ میلیمتر مربع

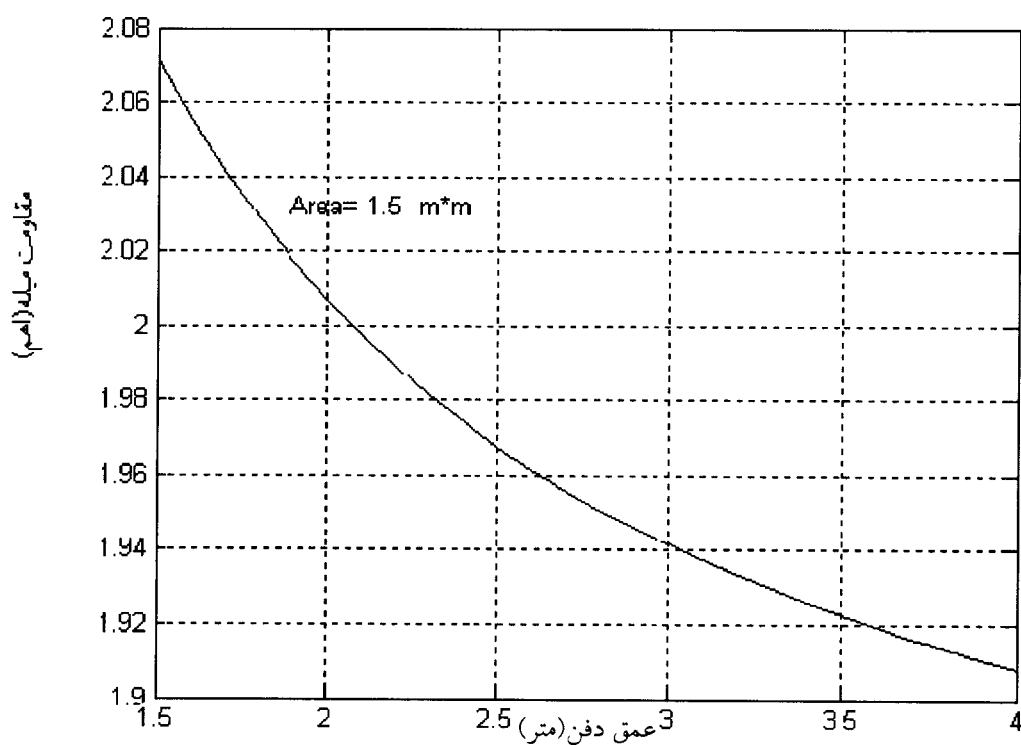


شکل ۱۹- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۱ میلیمتر مربع

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.

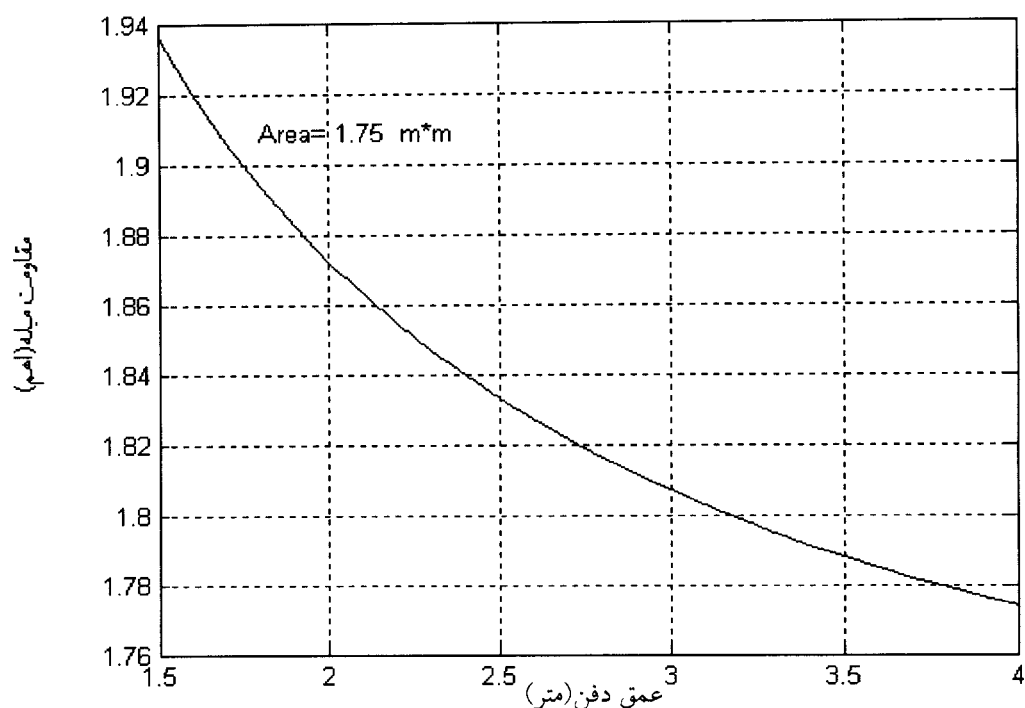


شکل ۲۰- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۱/۲۵ میلیمترمربع

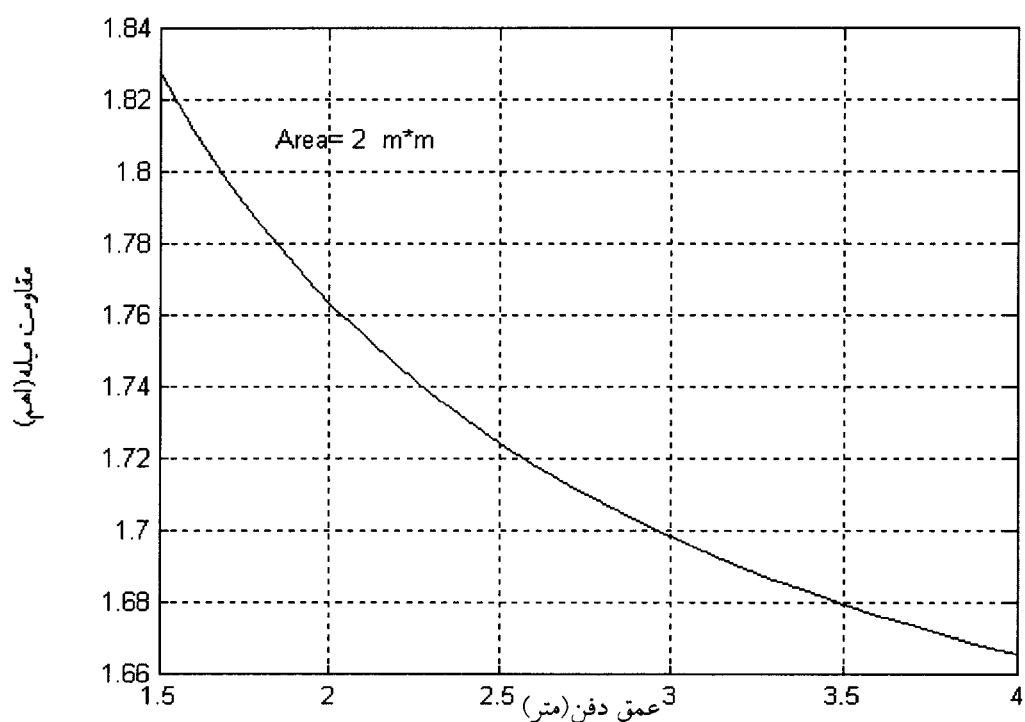


شکل ۲۱- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۱/۵ میلیمترمربع

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.



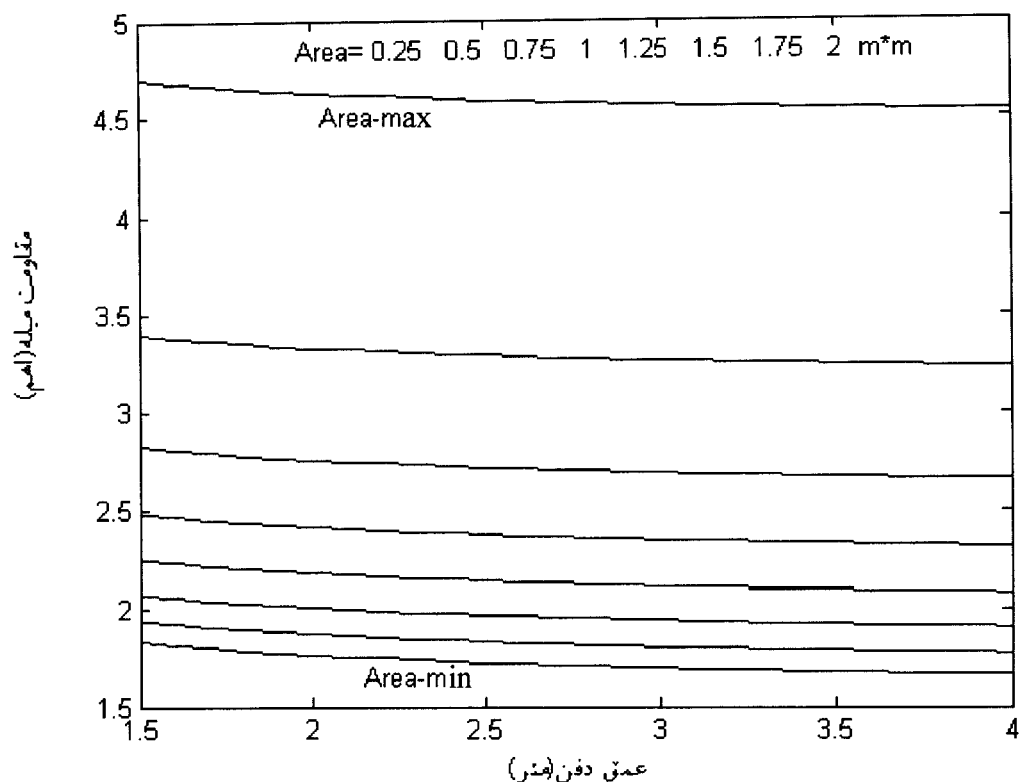
شکل ۲۲- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۱/۷۵ میلیمترمربع



شکل ۲۳- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۲ میلیمترمربع

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

ب-۴ تغییرات مقاومت اتصال زمین الکترود صفحه‌ای دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۴ متر با سطح مقطعهای مختلف



$$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{s^2} + \frac{33}{40} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$$

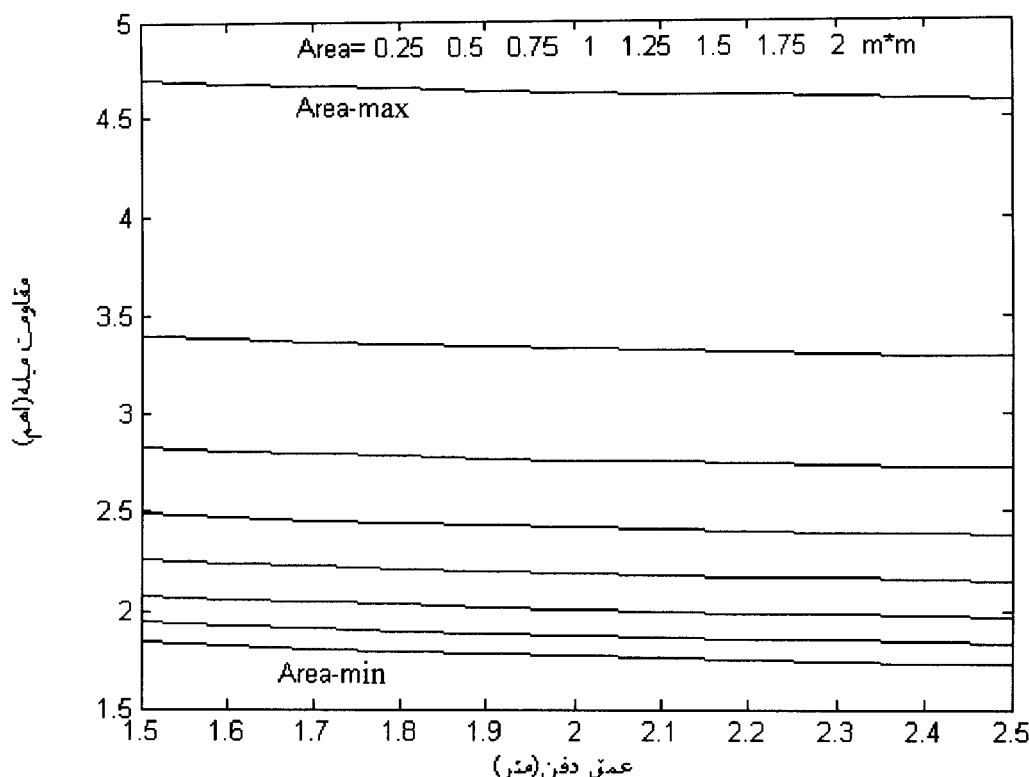
در این شکل منظور از Area سطح مقطع الکترود بر حسب متر مربع است.

شکل ۲۴- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت افقی تا عمق دفن ۴ متر با سطح مقطعهای مختلف

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

ب-۵ تغییرات مقاومت اتصال زمین الکترود صفحه‌ای دوار دفن شده به صورت عمودی از عمق دفن ۱/۵ تا ۲/۵ متر با سطح مقطعهای مختلف

تغییرات مقاومت اتصال زمین برای یک الکترود صفحه‌ای دوار که به صورت عمودی دفن شده با سطح مقطع های مختلف نسبت به عمق دفن در خاک یکنواخت با مقاومت ۱۰۰۰ اهم سانتیمتر در شکلهای (۲۵) تا (۳۳) ارائه شده‌اند.

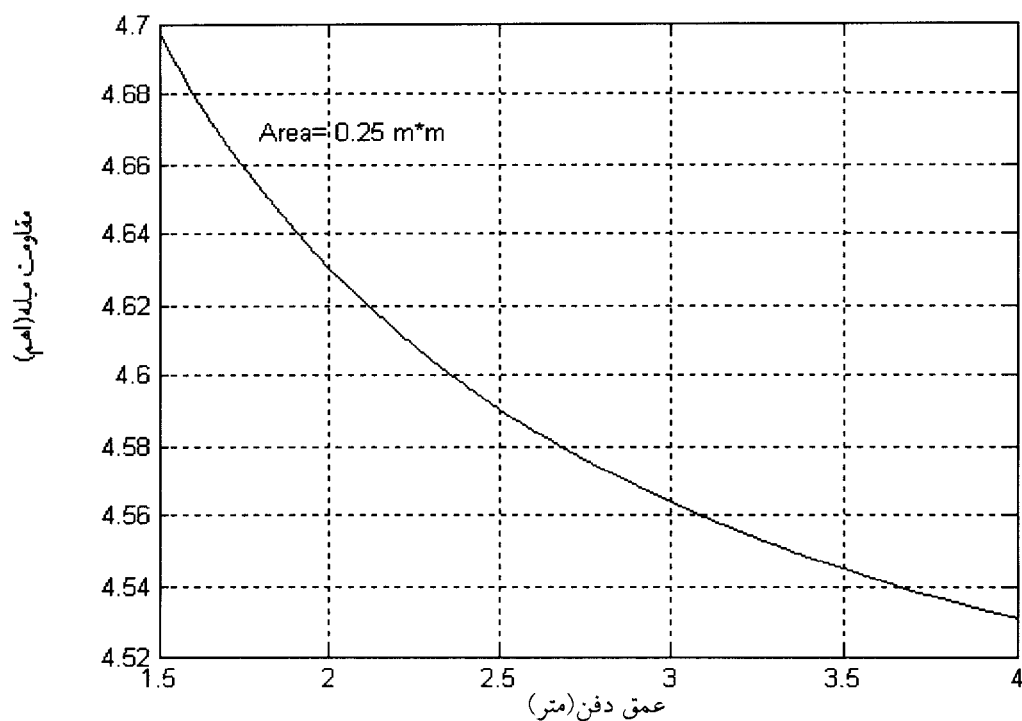


$$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 + \frac{7}{24} \frac{a^2}{s^2} + \frac{99}{320} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$$

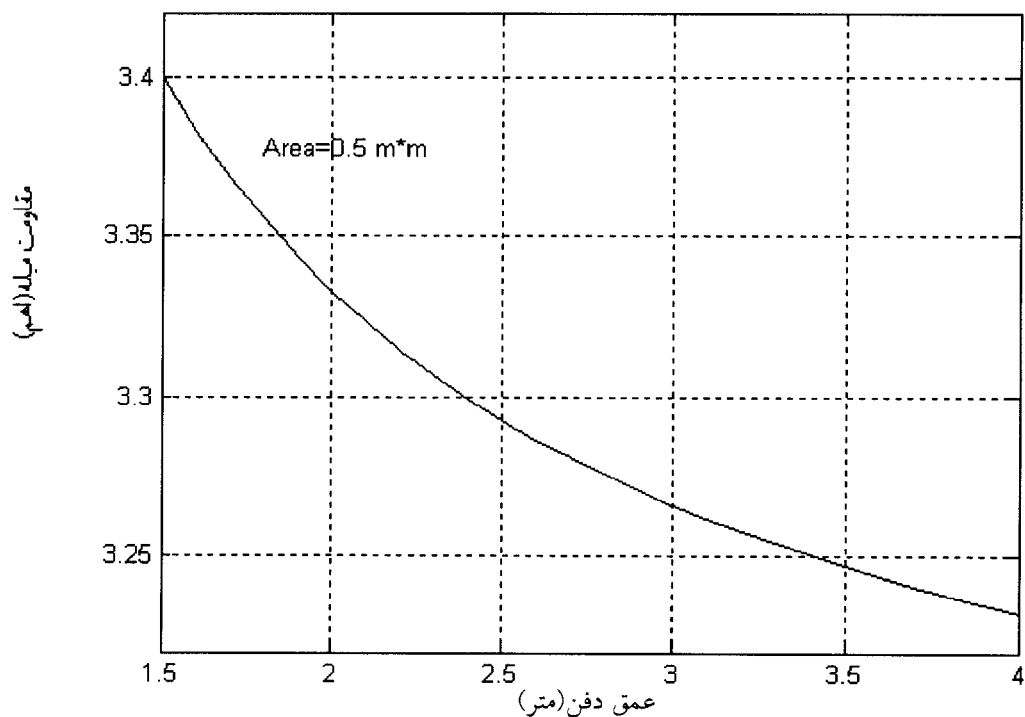
در این شکل منظور از Area سطح مقطع الکترود بر حسب متر مربع است.

شکل ۲۵- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۲/۵ متر با سطح مقطعهای مختلف

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.

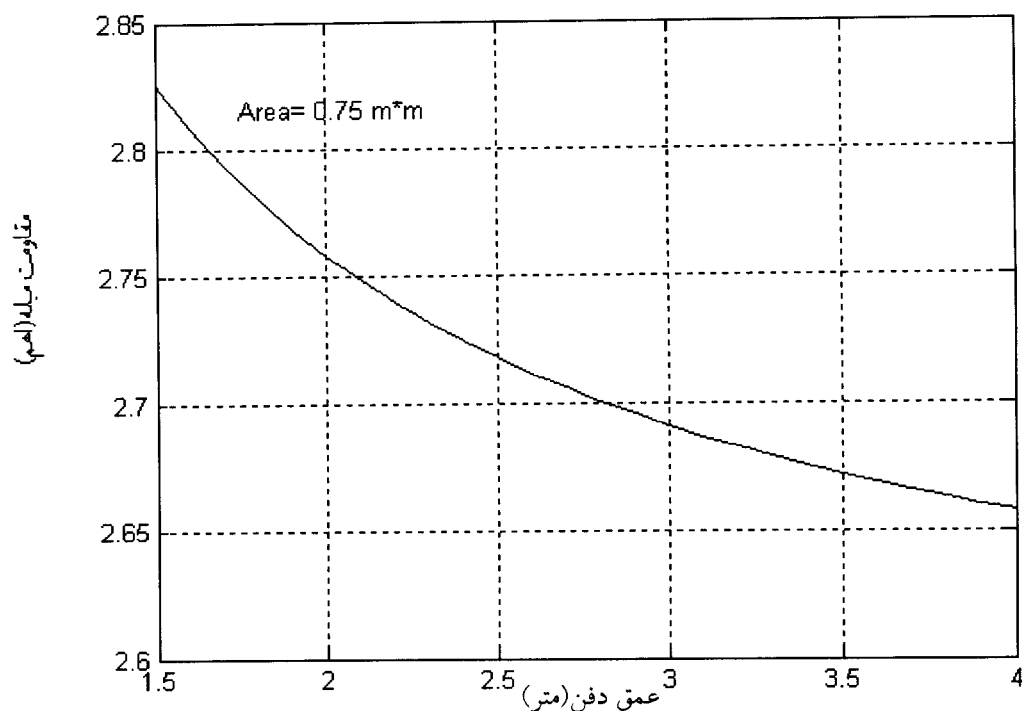


شکل ۲۶- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۰/۲۵ میلیمترمربع

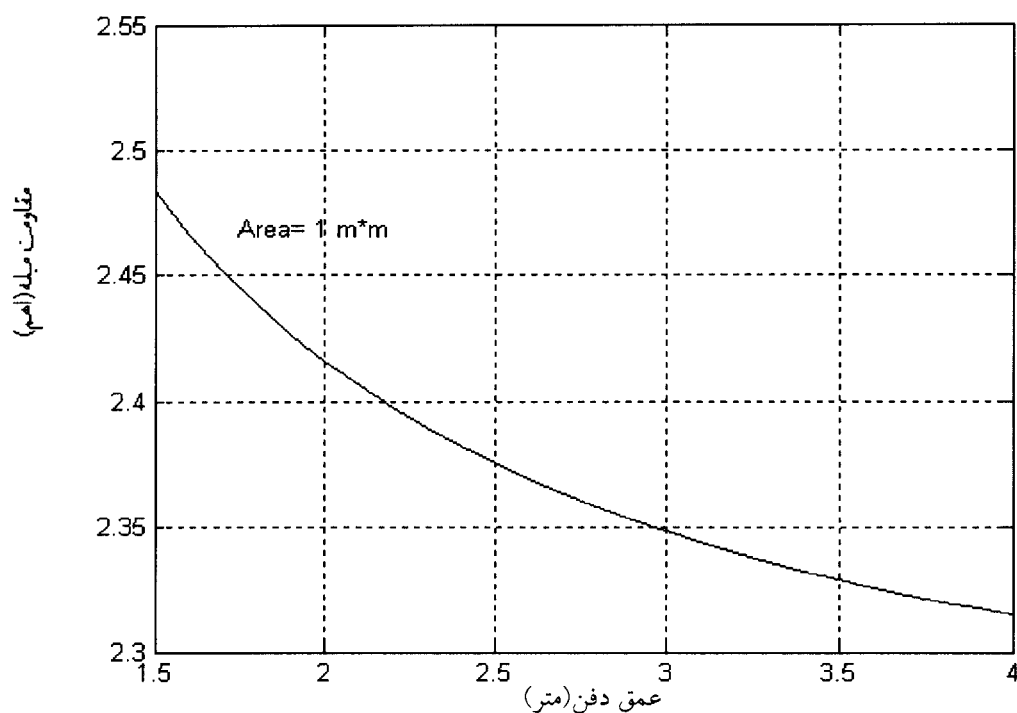


شکل ۲۷- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۰/۵ میلیمترمربع

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.

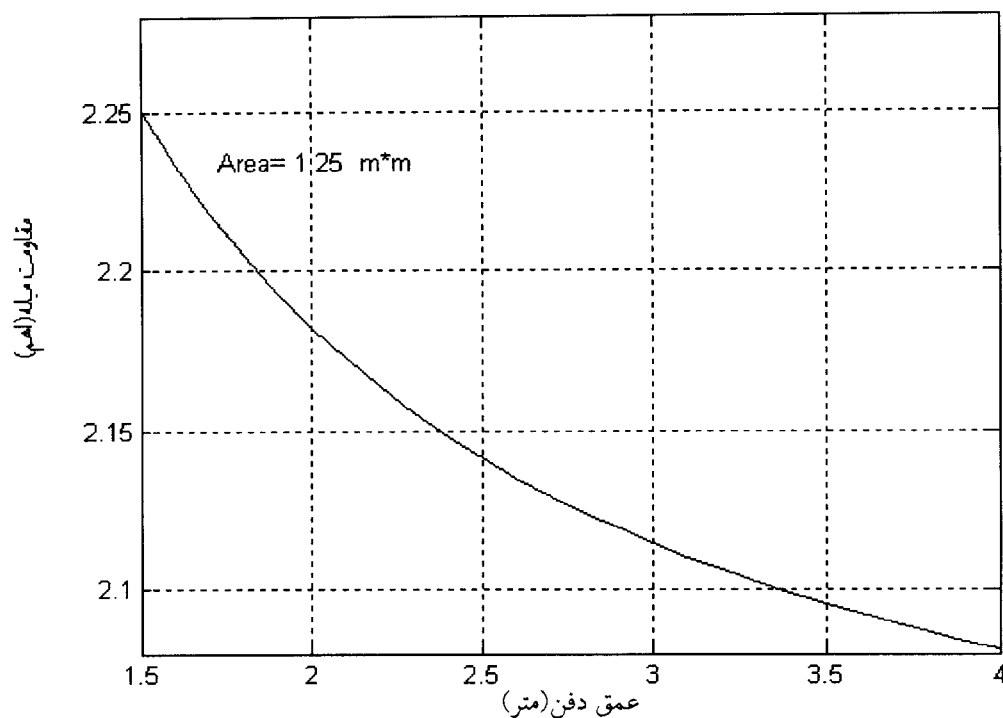


شکل ۲۸- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۰/۷۵ میلیمتر مربع

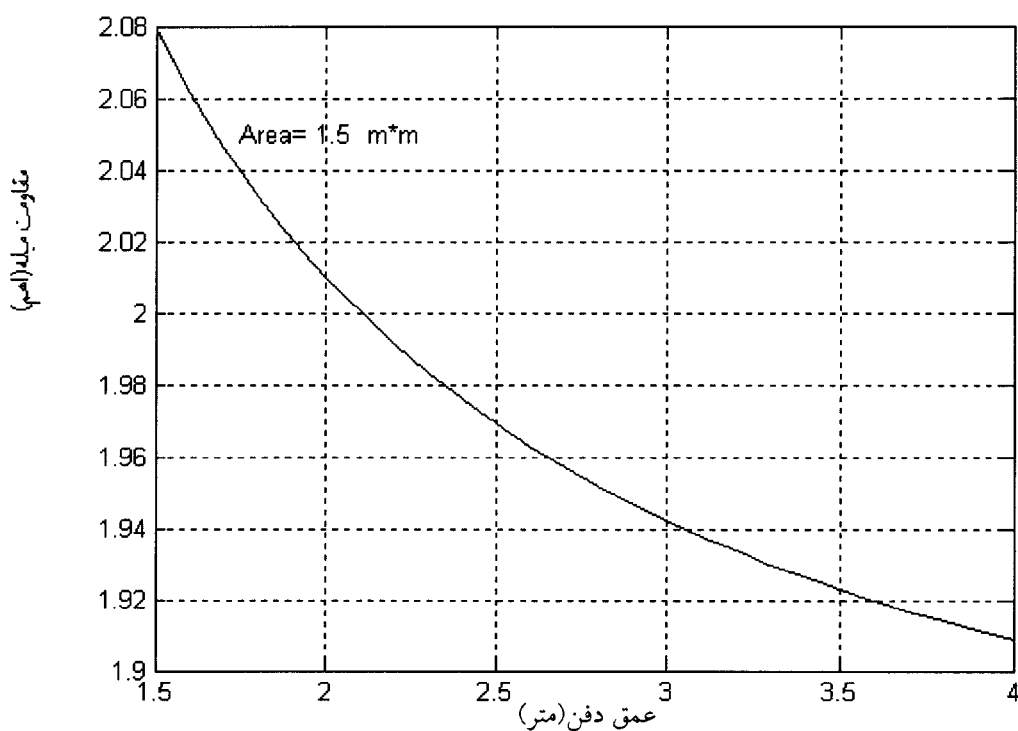


شکل ۲۹- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۱ میلیمتر مربع

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.

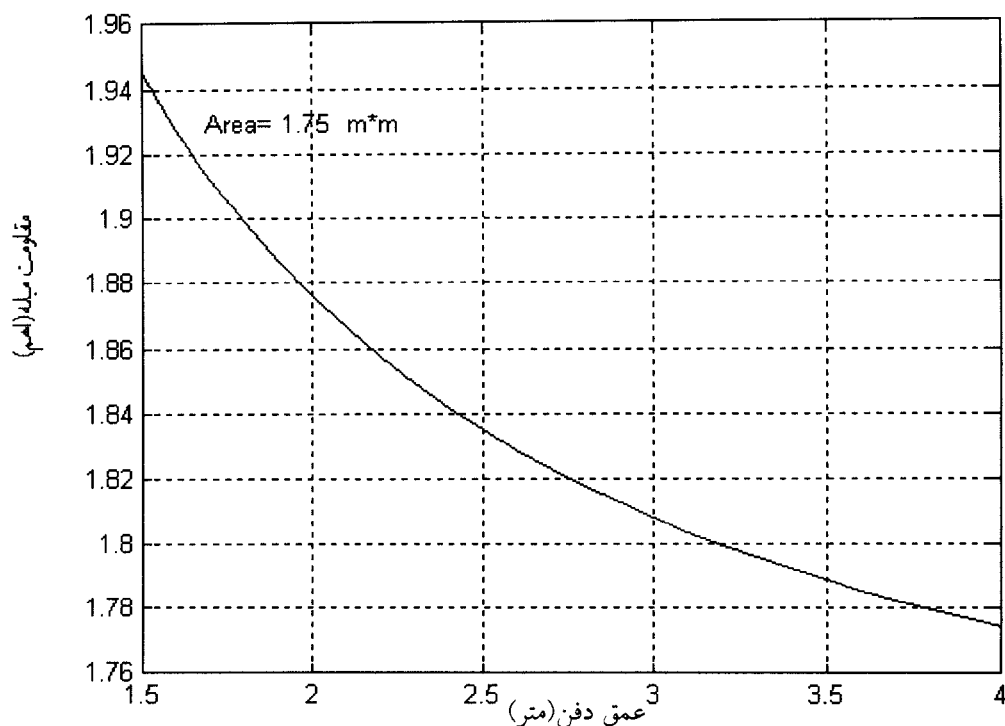


شکل ۳۰- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۱/۲۵ میلی‌متر مربع

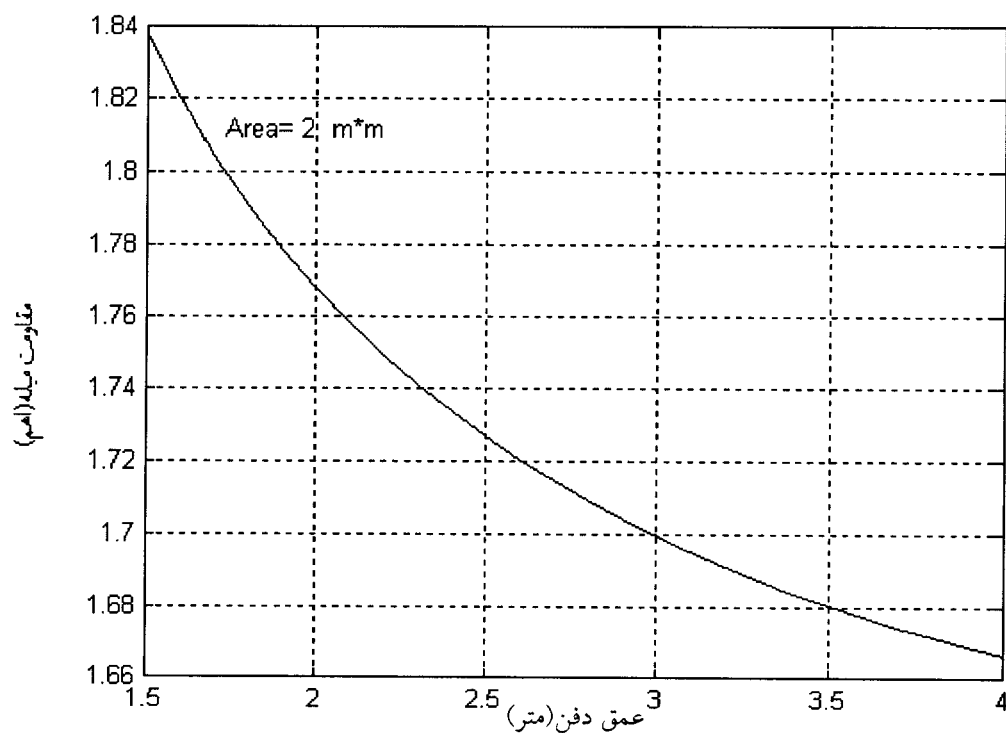


شکل ۳۱- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۱/۵ میلی‌متر مربع

برای پیوستن به کانال تلگرام **صنعت برق** کلیک نمایید.



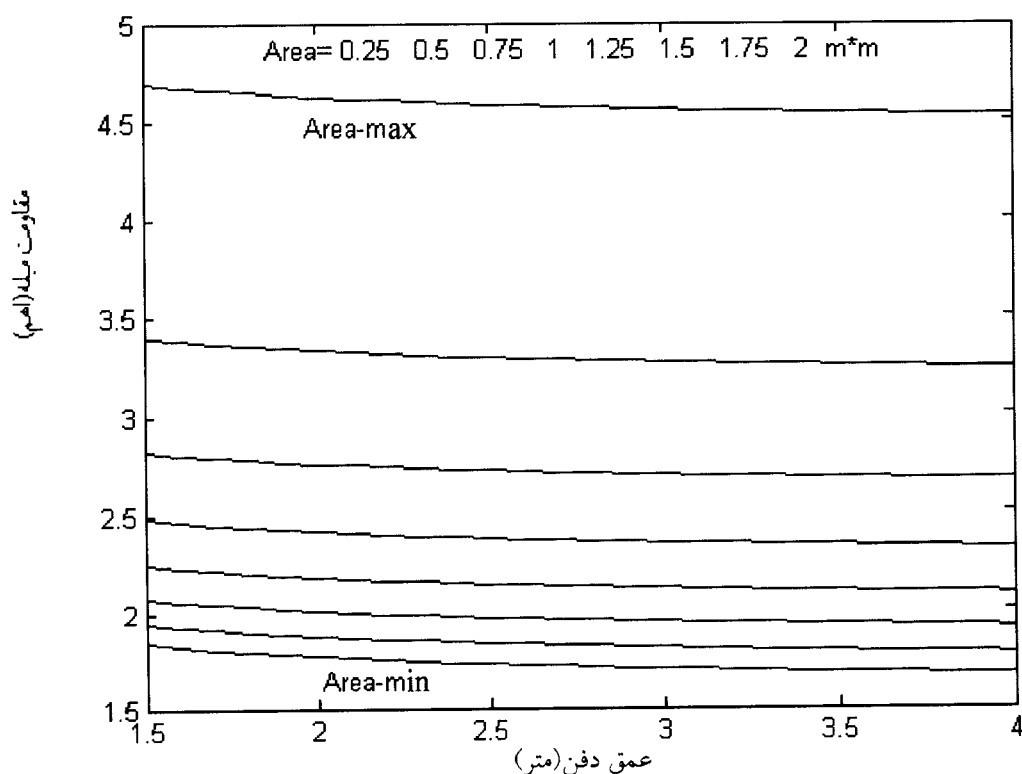
شکل ۳۲- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۱/۷۵ میلیمتر مربع



شکل ۳۳- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۲/۵ متر برای سطح مقطع ۲ میلیمتر مربع

برای پیوستن به کانال تلگرام صنعت برق کلیک نمایید.

ب-۶ تغییرات مقاومت اتصال زمین الکتروود صفحه‌ای دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۴ متر با سطح مقطعهای مختلف



$$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 + \frac{7}{24} \frac{a^2}{s^2} + \frac{99}{320} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$$

در این شکل منظور از Area سطح مقطع الکتروود بر حسب متر مربع است.

شکل ۳۴- تغییرات مقاومت اتصال زمین برای صفحه دوار دفن شده به صورت عمودی تا عمق دفن ۴ متر با سطح مقطعهای مختلف