

بررسی شرایط محیطی بر روی مقاومت چاه ارت با استفاده از شبیه ساز چاه ارت

مسلم محمدی دامنه^۱، غلامحسین حلوانی^{۲*}، حسین فلاح زاده^۳، مهدیه محمدزاده^۴

چکیده

مقدمه: سالانه بسیاری از موارد مرگ و میر در دنیا به دلیل برق‌گرفتگی رخ می‌دهد که علت آن را می‌توان برقراری مسیر جریان بین فرد و زمین دانست؛ بنابراین احداث سیستم حفاظتی زمین با استفاده از چاه ارت حائز اهمیت بالایی است. هدف این مطالعه بررسی شرایط محیطی موثر بر مقاومت چاه ارت به روش شبیه‌سازی می‌باشد.

روش بررسی: در این پژوهش ۱۹۲ آزمایش مختلف با ۱۰ بار تکرار انجام شد. پارامترهای مورد ارزیابی شامل نوع خاک، نوع مواد کاهنده، عمق، رطوبت، نوع الکتروود، تراکم خاک و شکل قرارگیری الکتروود می‌باشد که با تغییر هر یک، مقدار مقاومت با استفاده از دستگاه تست ارت به روش سه نقطه‌ای اندازه‌گیری گردید. داده‌های به دست آمده مورد آنالیزهای آماری قرار گرفت و نتایج به صورت جداول ارائه شد.

نتایج: نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که تراکم خاک و رطوبت موثرترین پارامترها در تعیین مقاومت چاه ارت می‌باشند؛ به گونه‌ای که با تغییر جداگانه و یا همزمان این دو پارامتر، مقدار مقاومت بسیار کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش تراکم و عمق قرارگیری میزان مقاومت در تمامی آزمایشات روند کاهشی داشت. طبق این مطالعه، در میان انواع خاک، شن به دلیل مقاومت بالا، به عنوان بدترین نوع خاک تعیین شد.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که از بین هفت پارامتر مورد بررسی، تراکم خاک و رطوبت نقش مهم‌تری در مقاومت چاه و در نتیجه میزان برق‌گرفتگی دارد که باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت خاک، سیستم ارتینگ، ایمنی

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت حرفة‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهرستان یزد، یزد، ایران

^۲ عضو هیئت علمی گروه بهداشت حرفة‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهرستان یزد، یزد، ایران

^۳ عضو هیئت علمی، گروه آمار زیستی و اپیدمیولوژی دانشگاه علوم پزشکی شهرستان یزد، یزد، ایران

^۴ مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، کاشان، یزد، ایران

* (نویسنده مسئول): ۰۳۵۸۲۰۹۱۰، پست الکترونیک: halvani39@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۴

مقدمه

زمین به کمترین مقدار ممکن برسد تا مسیر جریان از لحاظ الکتریکی کوتاهتر و شارش جریان در آن مسیر بیشتر باشد (۵، ۶)؛ بنابراین احداث چاه ارت با مقاومت کم به این معنی است که ایمنی افراد در مقابل عبور جریان و مخاطرات ناشی از حرکت جریان در بدن انسان‌ها کاهش می‌یابد که با در نظر گرفتن بحث ایمنی و حفاظت مردم، یک روبکرد موثر در طراحی سیستم ارتینگ را می‌توان ارائه داد (۷). این رویکرد به توضیح پس‌زمینه‌های ثوری لازم برای محاسبه ولتاژهای ایمنی می‌پردازد. این مقاله اثبات می‌نماید که در طراحی سیستم ارتینگ استفاده از الکترود عمودی در همه زمان‌ها لازم نیست. Prasad (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای به بررسی اهمیت سیستم ارت و تاثیر مستقیم مقاومت خاک بر روی طراحی سیستم ارتینگ پرداخته است (۸). نتایج این مطالعه نشان داد که مقاومت خاک یک بخش بسیار حیاتی برای طراحی هر سیستم ارتینگ می‌باشد. خصوصیات خاک با توجه مقاومت زمین از چند اهم تا چند هزار اهم بسته به نوع ساختار زمین و رطوبت خاک متغیر است. در پژوهشی که توسط Samadinasab انجام شد، به بررسی روش نوینی جهت تست و اندازه‌گیری مقدار مقاومت زمین و ولتاژ گام پرداخته شد (۹) که با استفاده از کوتاهترین مسیر در مشاهدهای پست فوق توزیع توانسته است مقدار مقاومت زمین را تعیین کند. همچنین در مطالعه‌ای که توسط شرکت توزیع جنوب استان ارائه گردید، نحوه اجرای چاه ارت منطبق بر استانداردهای جهانی مورد بررسی قرار گرفت و اجرائندگان چاه ارت را مطابق با دستورالعمل‌ها ملزم بر اجرای چاه ارت نمود (۱۰). بنابراین با توجه به اهمیت مسئله و محدود بودن مطالعات در این زمینه، بر آن شدیم تا با احداث یک نمونه چاه ارت به صورت عملی و در محیط آزمایشگاهی در یک زمین با رطوبت مناسب احداث کرده و تاثیر عوامل مختلف را بر مقاومت زمین بررسی کنیم.

ساختار ارت و مقاومت زمین

در این بخش به بررسی ساختار سیستم ارت و مقاومت چاه ارت می‌پردازیم. علاوه بر این الزاماتی که جهت اجرای یک چاه ارت مناسب لازم است را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

الزامات سیستم‌های ارتینگ

اهداف اصلی یک شبکه زمین ایمن عبارت است از (۴):

امروزه استفاده از سیستم ارت یک امر حیاتی جهت حفاظت الکتریکی و همچنین عملکرد صحیح سیستم‌های الکتریکی است که با توجه به نوع زمین کردن، عملکرد دو نوع زمین حفاظتی و الکتریکی با یکدیگر متفاوت می‌باشد. در واقع زمین کردن و ارتینگ از جمله موارد حفاظت در مقابل برق‌گرفتگی محسوب می‌گردد بدینجهت، برای کاهش آسیب‌های ناشی از برق‌گرفتگی، استفاده از سیستم ارتینگ در مجموعه‌هایی که از برق به عنوان جریان اصلی و محرک استفاده می‌شود، ضروری است (۱). برای طراحی دقیق سیستم زمین، تعیین توزیع پتانسیل بر روی سطح زمین و مقاومت معادل سیستم ضروری است. آگاهی از این پارامترها، در صورت وجود خرابی در سیستم قدرت، اجازه چک کردن امنیت ارائه شده توسط سیستم زمین را می‌دهد. طراحی سیستم ارتینگ در صنعت برق همواره یکی از نقاط حساس در اجزای اصلی مدار الکتریکی بخصوص در اجرای پست‌های انتقال و فوق توزیع می‌باشد. با توجه به وابستگی این سیستم به پارامترهای متعدد و بر اساس نتایج تجربی ثبت شده توسط وزارت نیرو، مشاهده شده است که علیرغم رعایت استانداردهای مختلف، وجود مشکلاتی گاهاً باعث ایجاد خسارات و صدمات جبران‌ناپذیری بر تجهیزات و افراد حاضر در پست‌های فشار قوی گردیده است (۲). لذا در این مقاله سعی شده است انواع مختلف سیستم‌های ارتینگ مورد بررسی قرار گرفته و روشی نوین جهت اصلاح سیستم ارتینگ ارائه گردد.

مقاومت الکترود زمین متأثر از مقادیر پتانسیل سطحی زمین می‌باشد که در اثر جریان خطأ به وجود می‌آیند. از این‌رو لازم است قبل از اجرای سیستم زمین تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌ی خاک و عوامل موثر در آن و همچنین ویژگی‌های بیولوژیکی بدن انسان انجام گیرد. سیستم زمین به عنوان جزء حیاتی سیستم‌های الکتریکی نقش بسزایی در تأمین ایمنی و کارکرد صحیح و مؤثر تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی داشته و می‌بایست به طور اصولی و مهندسی مورد بررسی و طراحی قرار گیرد (۳). به دلیل تأثیر بالقوه‌ی طراحی و اجرای صحیح سیستم زمین در افزایش کارایی تجهیزات و حفظ ایمنی پرسنل، استانداردهای متعددی در IEEE80، IEEE1100، BS7430، IEC62305-3 IEEE142 اشاره نمود (۴). جهت محافظت و ایمنی افراد بایستی مقاومت

میله‌های مسی، صفحه‌های مسی، غلاف یا زره فلزی کابل‌های زیرزمینی و همچنین لوله‌های آب شهری. مقاومت ویژه: مقاومت اندازه‌گیری شده یک مترمکعب زمین که در واحد $\Omega \cdot m$ بیان شده است. مقاومت ویژه خاک عامل کلیدی است که تعیین‌کننده مقاومت شارژ کردن الکترود خواهد بود و بایستی عمق آن جهت به دست آوردن مقاومت زمین کم هدایت تعیین گردد. مقاومت ویژه خاک به طور گستردگی در سراسر جهان و تغییرات فصلی متفاوت است. هرچه مقاومت ویژه کمتر باشد به الکترودهای کمتری برای رسیدن به مقدار مقاومت ویژه زمین نیاز خواهد بود. این‌یک مزیت جهت مقدار مقاومت ویژه در مرحله برنامه‌ریزی بوده که جهت تعیین مقدار الکترود مورد نیاز کاربرد دارد. خاک یکنواخت خاکی است که یک لایه با مقدار ثابت مقاومت ویژه دارد. اندازه‌گیری‌های کمکی با تعریف لایه‌های خاک، نشان می‌دهند که مقاومت ویژه تابعی از عمق است.

مقاومت ارتینگ: از آنجاکه خاک ارائه‌دهنده یک مقاومت در برابر جاری شدن (شار) یک جریان الکتریکی و هادی ایدئال نیست، مقداری مقاومت بین الکترود زمین و «زمین واقعی» همیشه وجود خواهد داشت. مقاومت شناخته شده بین الکترودها تابعی از مقاومت ویژه خاک، نوع و اندازه الکترود و عمقی که در آن دفن شده است، می‌باشد (۱۲). جدول ۱ مقادیر مقاومت ویژه برای انواع مختلف خاک را نشان می‌دهد.

محافظت پرستن در برابر خطرات الکتریکی با محدود نمودن ولتاژهای تماس و گام به مقدار اینم، بهمنظور اطمینان از اینکه اگر خطاهای زمین در پست‌ها یا ایستگاههای تولید رخ دهد، فردی که در مجاورت تجهیزات زمین شده قرار دارد در معرض خطر شوک الکتریکی بحرانی نباشد.

سازگاری الکترومغناطیسی (EMC)، محدودیت اختلاف الکترومغناطیسی شبکه تأمین برق، اطمینان از اینمی و تداوم تجهیزات برق با محدود کردن اضافه ولتاژهایی که می‌تواند تحت شرایط بهره‌برداری شدید و یا در صورت بروز حادثه ظاهر شود. اطمینان از عملکرد صحیح تجهیزات و دستگاههای حفاظت الکتریکی با فعال کردن خطاهای زمین، جهت شناسایی و انتخاب اقدامات قطع آن دسته از زون‌های تأسیسات الکتریکی که دچار خطا شده‌اند. بهمنظور ارائه وسیله‌ای برای حمل جریان الکتریکی به زمین تحت شرایط عادی و خطا، بدون تجاوز از هر عامل و محدودیت‌های تجهیزات.

حافظت از ساختمان در برابر رعدوبرق

اجزا و پارامترهای طراحی سیستم ارتینگ (۱۱)

الکترود زمین: الکترود زمین عبارت از یک قطعه جسم هادی است که در زمین قرار داده می‌شود و سیم زمین به آن متصل می‌گردد. الکترودها دارای اشکال متنوعی می‌باشند و میزان اهم آن‌ها شامل موارد زیر می‌باشد:

جدول ۱. مقادیر مقاومت مخصوص برای انواع مختلف خاک

نوع زمین	حدود مقدار	مقادیر متوسط	مقاومت مخصوص [$\Omega \cdot m$]
مرداب و زمین باتلاقی	۵۰-۵	۳۰	
خاک رس و زمین زراعی	۲۵۰-۲۰	۱۰۰	
ماسه نرم و مرطوب	۳۰۰-۵۰	۲۰۰	
شن یا سنگریزه مرطوب	۱۰۰۰-۴۰۰	۵۰۰	
سنگریزه، ماسه یا شن خشک	۳۰۰۰-۵۰	۱۰۰۰	
زمین سنگلاخ	۵۰۰۰-۲۵۰	۳۰۰۰	
صخره	۱۰۰۰۰-۵۰۰	۱۰۰۰۰	

طراحی میله سیستم زمین و حوزه نفوذ: تعیین چگونگی تأثیر الکترون‌ها بر تخلیه الکترودها به زمین، در حوزه نفوذ معرفی شده است. حوزه نفوذ را می‌توان بیش از $1/1$ برابر طول میله و با داشتن حداکثر بهره‌وری از سیستم زمین در نظر گرفت. میله مسی، به عنوان یک عنصر استوانه‌ای شکل با شعاع

طراحی ارت

جهت اجرای یک سیستم ارت مناسب بایستی یک چاه ارت با مقاومت پائین طراحی گردد. لازمه طراحی هر یک از المان‌ها و پارامترها، بررسی روابط ریاضی حاکم بر آن‌ها است که به بررسی این روابط می‌پردازیم:

اندازه‌گیری ارت

برای اندازه‌گیری مقاومت چاه ارت روش‌های گوناگونی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: روش دونقطه‌ای، روش تغییر عمق (سهنقطه‌ای)، روش چهار نقطه‌ای، روش فواصل نامساوی و اندازه‌گیری با استفاده از تستر کلمپی می‌باشد. مطالعه‌ی حاضر با استفاده از روش سهنقطه‌ای انجام گرفته است که توضیح این روش به شرح زیر می‌باشد:

روش سهنقطه‌ای: در این روش (۱۴) مقاومت زمین چندین بار اندازه‌گیری شده و در هر بار عمق الکترودهای اندازه‌گیری با نسبت مشخصی افزایش می‌یابد؛ با این هدف که جریان تست بیشتر به عمق خاک اعمال و مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده، تغییرات مقاومت ویژه را در عمق‌های زیاد مشخص می‌کند.

دلایل استفاده از الکترود تست میله‌ای:

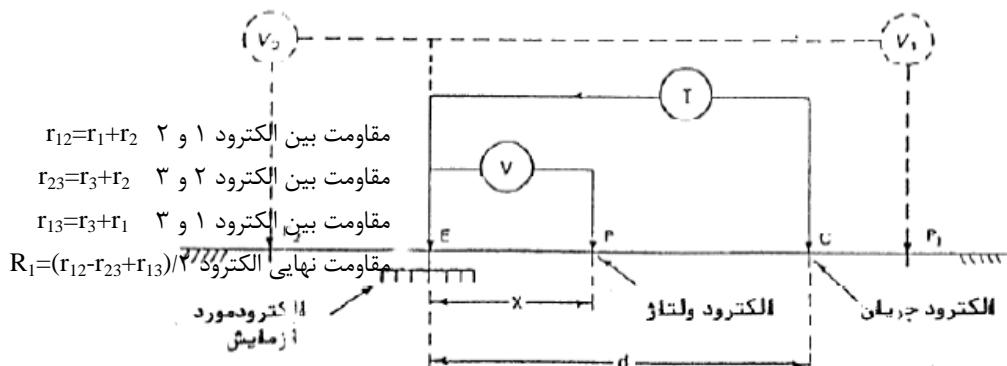
- ۱- محاسبه دقیق مقدار مقاومت میله زمین
- ۲- سهولت کوبیدن میله در خاک

و طول l_T و ساخته‌شده از مس طراحی شده است که ضریب هدایت مس $\sigma = 5.99 \times 10^7 (\Omega \cdot m)^{-1}$ و مقاومت ویژه مس $\rho_m = 1.66 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ می‌باشد. میله به صورت عمودی در خاک قرار داده می‌شود. طول و شعاع میله به ترتیب ۱m و $0.008m$ در نظر گرفته می‌شود.

طراحی صفحه سیستم زمین

صفحه مسی به ابعاد $40/5 * 40/5$ سانتیمتر برای مناطق مرطوب شمالی کشور و $50/5 * 50/5$ سانتیمتر برای مناطق نیمه‌خشک مانند تهران و $70/5 * 70/5$ سانتیمتر برای مناطق کویری استفاده می‌شود.

پس از طراحی صفحات بایستی با توجه به شرایط چاهی به عمق ۸-۴ متر حفر گردد (در اکثر موارد عمق ۶ متر لحاظ می‌شود) که این عمق به صورت تجربی و با توجه به رطوبت خاک تعیین می‌شود. پس از طراحی ابعاد چاه بایستی چاه ارت را پر نمود که این کار پس از تعیین نوع الکترود و شکل قرارگیری آن به وسیله خاک و مواد کاهنده انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که هر چه رطوبت خاک بیشتر باشد، میزان مقاومت آن کمتر خواهد بود (۱۳).



شکل ۱. نحوه اندازه‌گیری به روش سه نقطه‌ای

ابعاد آزمایشگاهی، عوامل مؤثر بر مقاومت چاه ارت مورد بررسی قرار گیرد. در گام نخست چاهی به عمق ۵۰ سانتی‌متر حفر گردید و با استفاده از پارامترهای مختلف موثر بر مقاومت چاه ارت و تغییر آن‌ها مقدار مقاومت چاه ارت اندازه‌گیری شد. پارامترهای مورد ارزیابی به تعداد هفت عدد و شامل نوع خاک، نوع مواد کاهنده، عمق، رطوبت، نوع الکترود، تراکم خاک و شکل قرارگیری الکترود می‌باشد. برای این کار با استفاده از شبیه‌ساز چاه ارت ابتدا جهت کنترل چشمی پارامترهای مورد ارزیابی، خاک را درون شبیه‌ساز

موارد کاربرد

در سیستم‌های زمین که فاصله الکترودها بیش از ۱۰۰ متر و برابر ابعاد سیستم زمین است.

روش بررسی

با توجه به مطالعات صورت گرفته تاکنون مطالعه‌ای جهت بررسی تمامی ابعاد موثر بر مقاومت چاه به صورت عملی و با استفاده از شبیه‌ساز انجام‌نشده است. در این مقاله سعی بر آن شد تا با استفاده از یک نمونه چاه ارت واقعی در

به عنوان معیار کم و خاک پر رطوبت به عنوان معیار زیاد در نظر گرفته شد.

تمامی هفت پارامتر ارائه شده بر روی نمونه چاه ارت حفر شده پیاده سازی گردید.

با توجه به اینکه شبیه ساز چاه ارت روش بسیار مناسبی جهت مقایسه انواع چاه ارت و بررسی عوامل موثر بر آن است، لذا اعداد بدست آمده از این آزمایشات به نتایج واقعی در چاههای ارت نزدیک می باشد. این روش جهت مقایسه و بررسی انواع چاهها بسیار کارآمد بوده و می توان با در نظر گرفتن ضریبی مقدار مقاومت چاه اجرایی در ابعاد بزرگتر و عملی تر را تخمین زد. این امر علاوه بر جلوگیری از صرف هزینه هنگفت و گذر زمان زیاد این امکان را فراهم می آورد که بهترین نوع چاه ارت با توجه به تغییر پارامترهای موجود انتخاب گردد.

نتایج

تحلیل آماری نتایج حاصل از شبیه سازی

با توجه به پارامترهای موجود و تغییر هر یک، تعداد کل آزمایش های صورت گرفته ۱۹۲ حالت بوده که با تکرار هر حالت به تعداد ۱۰ مرتبه و سپس انجام اندازه گیری، ۱۹۲۰ نتیجه در کل حالات ممکن به دست آمد که در جداول زیر تعدادی از این نتایج آورده شده است. این نتایج، حاصل از اندازه گیری های صورت گرفته توسط دستگاه تست ارت در نمونه چاه تحت بررسی می باشد. عمق چاه شبیه ساز در حدود ۰/۵ متر بوده و چندین برابر کوچک تر از ابعاد چاه واقعی می باشد، می توان یک ضریب را در تمامی اعداد موجود ضرب کرده و مقدار مقاومت واقعی چاه را به دست آورد.

مقدار مقاومت ارائه شده در هر حالت مقدار میانگین مقاومت اندازه گیری شده در ۱۰ بار تکرار آزمایش ها می باشد. طبق جداول زیر با تغییر هر پارامتر میزان مقاومت تغییر می نماید. در این جداول که هر کدام ترکیب نوع خاصی از یک خاک و یک نوع مواد کاهنده است با تغییر سایر پارامترها میزان مقاومت در هر مرحله اندازه گیری گردید. در این جداول منظور از عمق کم به معنای فاصله الکترود از عمق در حدود ۱۵ سانتی متر و عمق زیاد در حدود ۵۰ سانتی متر از سر چاه می باشد. خاک با رطوبت کم به خاک با رطوبت کمتر از ۵۰ درصد و خاک با رطوبت بالا به خاک دارای رطوبت بیش از ۵۰ درصد تلقی می شود. نتایج حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم افزار SPSS و با استفاده از روش

قرارداده و پس از کنترل عوامل جهت اندازه گیری مقدار مقاومت زمین، شبیه ساز از چاه جدا شده و با استفاده از دستگاه تست ارت و روش سه نقطه ای اقدام به اندازه گیری مقدار مقاومت گردید. برای استفاده از دستگاه تست ارت می باشد فاصله بین الکترودهای اندازه گیری حدود ۵ متر است که پس از کوبیدن در زمین و با رعایت فاصله طولی مناسب پراب هر یک به ارت تست وصل شده و پراب سوم نیز جهت اندازه گیری مقاومت الکترود مورد نظر به همان الکترود وصل می گردد. به طور کلی ۱۹۲ آزمایش مختلف با ۱۰ بار تکرار انجام شد و نتایج بدست آمده با استفاده از تحلیل نرم افزاری جهت مقایسه ارائه گردید.

۱-۴-روش ارزیابی پارامترهای مؤثر بر مقاومت الکترود: در این بررسی از دو نوع الکترود صفحه ای و میله ای از جنس مس که ابعاد آن ها به ترتیب ۸*۸ سانتی متر مربع و ۱۰ سانتی متر می باشد استفاده شده است.

خاک: شن، ماسه و خاک لای نیز به عنوان سه نمونه خاک در این چاه مورد ارزیابی قرار گرفته است که جهت اجرای هر چه دقیق تر آزمایش باستی خاک ها کمی مرتبط باشند تا نتایج شبیه سازی به واقعیت نزدیک تر باشند.
الکترود: منظور از شکل قرار گیری الکترود به صورت افقی و عمودی است که با توجه به عمق قرار گیری در چاه میزان مقاومت چاه را تغییر می دهد.

مواد کاهنده: از دو نوع ماده کاهنده بنتونیت و ترکیب نمک و زغال استفاده شده است؛ که جهت ترکیب نمک و زغال باستی از خاک زغال که دانه بندی کربن آن ریزتر است استفاده شود.

تراکم: منظور از تراکم، دانه بندی خاک می باشد به این ترتیب که در این آزمایش با تغییر دانه بندی و تراکم خاک تاثیر آن بر مقاومت چاه ارت مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت مترکم کردن خاک شنی به علت ساختمان غیر چسبنده ای از ارتعاش و لرزه استفاده گردید و برای مترکم کردن خاک رس و لای به علت ساختمان چسبنده از بار یا فشار استاتیک استفاده شد.

رطوبت: از دیگر عواملی که تاثیر آن بر روی مقاومت چاه ارت بررسی شده است میزان رطوبت خاک می باشد. به طور معمول خاک مورد استفاده در چاه ارت باستی حتماً مرتبط باشد بنابراین جهت انجام آزمایش و بررسی میزان تأثیر رطوبت بر مقاومت از دو معیار با شاخص های کم و زیاد استفاده شده است. بدین ترتیب که خاک کم رطوبت

پذیرفته می‌شود؛ به عبارتی میانگین مقاومت خاک‌های رس، شن و خاک لای با هم برابر نبوده و از طرفی معیار سطح معنی‌داری دو نوع خاک لای و رس نزدیک به هم می‌باشد که نشان می‌دهد میزان تأثیرگذاری این دو نوع خاک بیشتر و شن بدترین نوع خاک است. همچنین در بحث نوع الکتروود نیز چون میزان سطح معنی‌داری بیش از ۵٪ است، فرض صفر رد و فرض مقابله یعنی تأثیر مستقیم نوع الکتروودها بر میزان مقاومت و مساوی نبودن میزان مقاومتها مورد پذیرش است.

واریانس چند طرفه و مقایسه توکی به تحلیل داده‌ها پرداخته شد. به دلیل حجم بالای آزمایشات، می‌توان متغیر مقاومت را در تحلیل داده‌ها به صورت یک توزیع نرمال فرض کرد که این امر توسط نرم‌افزار نیز با تقریب بسیار خوبی تعیین شد. در اینجا ابتدا تک‌تک پارامترها را بر روی میزان مقاومت بررسی نموده و سپس از آنالیز چند طرفه واریانس استفاده شد. با توجه به اینکه پارامتر خاک دارای سه سطح است بایستی از تحلیل آنوا و بقیه پارامترها با توجه به دو سطحی بودن از آزمون T استفاده نمود که بخشی از نتایج آن ذکر شده است.

با توجه به این نتایج و با توجه به اینکه معیار سطح معنی‌داری بیش از ۵٪ است، فرض صفر رد و فرض مقابله

جدول ۲. نتایج حاصله

شماره آزمایش	نوع خاک	نوع مواد کاهنده	نوع الکتروود	روطیت خاک	عمق الکتروود	شکل قرارگیری	میزان تراکم	میزان مقاومت بر حسب اهم
۱۷	رس	نمک و زغال	صفحه‌ای	کم	زیاد	افقی	پرتراکم	۴/۴۲
۱۸	رس	نمک و زغال	صفحه‌ای	کم	زیاد	عمودی	پرتراکم	۴/۴۲
۱۹	رس	نمک و زغال	میله‌ای	کم	زیاد	افقی	پرتراکم	۶/۹۶
۲۰	رس	نمک و زغال	میله‌ای	کم	زیاد	عمودی	پرتراکم	۴/۶۴
۲۱	رس	نمک و زغال	صفحه‌ای	کم	کم	افقی	پرتراکم	۷/۳۶
۲۲	رس	نمک و زغال	صفحه‌ای	کم	کم	عمودی	پرتراکم	۸/۸۵
۲۳	رس	نمک و زغال	میله‌ای	کم	کم	افقی	پرتراکم	۹/۲
۲۴	رس	نمک و زغال	میله‌ای	کم	کم	عمودی	پرتراکم	۱۱/۲۲
۲۵	رس	نمک و زغال	صفحه‌ای	زیاد	زیاد	افقی	پرتراکم	۲/۷۸
۲۶	رس	نمک و زغال	صفحه‌ای	زیاد	زیاد	عمودی	پرتراکم	۶/۶۹
۲۷	رس	نمک و زغال	میله‌ای	زیاد	زیاد	افقی	پرتراکم	۳/۵۶
۲۸	رس	نمک و زغال	میله‌ای	زیاد	زیاد	عمودی	پرتراکم	۲/۷۶
۲۹	رس	نمک و زغال	صفحه‌ای	زیاد	کم	افقی	پرتراکم	۴/۰۸
۳۰	رس	نمک و زغال	صفحه‌ای	زیاد	کم	عمودی	پرتراکم	۴/۶۲
۳۱	رس	نمک و زغال	میله‌ای	زیاد	کم	افقی	پرتراکم	۵/۵۳
۳۲	رس	نمک و زغال	میله‌ای	زیاد	کم	عمودی	پرتراکم	۶/۵۲

جدول ۳. نتایج حاصله

شماره آزمایش	نوع خاک	نوع مواد کاهنده	نوع الکترود	روطوبت خاک	عمق الکترود	شکل قرارگیری	میزان تراکم	میزان مقاومت بر حسب اهم
۳۳	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	کم	زیاد	افقی	کم تراکم	۱۰/۲
۳۴	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	کم	زیاد	عمودی	کم تراکم	۸/۵
۳۵	رس	بنتونیت	میله‌ای	کم	زیاد	افقی	کم تراکم	۶/۰۵
۳۶	رس	بنتونیت	میله‌ای	کم	زیاد	عمودی	کم تراکم	۸/۱۹
۳۷	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	کم	کم	افقی	کم تراکم	۲۳/۴
۳۸	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	کم	کم	عمودی	کم تراکم	۳۱/۴
۳۹	رس	بنتونیت	میله‌ای	کم	کم	افقی	کم تراکم	۷۶/۵
۴۰	رس	بنتونیت	میله‌ای	کم	کم	عمودی	کم تراکم	۵۰/۴
۴۱	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	زیاد	زیاد	افقی	کم تراکم	۶/۶۹
۴۲	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	زیاد	زیاد	عمودی	کم تراکم	۴/۴۴
۴۳	رس	بنتونیت	میله‌ای	زیاد	زیاد	افقی	کم تراکم	۵/۱۸
۴۴	رس	بنتونیت	میله‌ای	زیاد	زیاد	عمودی	کم تراکم	۷/۶۹
۴۵	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	زیاد	کم	افقی	کم تراکم	۸/۸۹
۴۶	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	زیاد	کم	عمودی	کم تراکم	۱۶/۲۲
۴۷	رس	بنتونیت	میله‌ای	زیاد	کم	افقی	کم تراکم	۱۸/۲۸
۴۸	رس	بنتونیت	میله‌ای	زیاد	کم	عمودی	کم تراکم	۴۶/۶

جدول ۴. نتایج حاصله

شماره آزمایش	نوع خاک	نوع مواد کاهنده	نوع الکترود	روطوبت خاک	عمق الکترود	شکل قرارگیری	میزان تراکم	میزان مقاومت بر حسب اهم
۴۹	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	کم	زیاد	افقی	پر تراکم	۴/۹۹
۵۰	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	کم	زیاد	عمودی	پر تراکم	۴/۸۲
۵۱	رس	بنتونیت	میله‌ای	کم	زیاد	افقی	پر تراکم	۵/۱
۵۲	رس	بنتونیت	میله‌ای	کم	زیاد	عمودی	پر تراکم	۶/۷۶
۵۳	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	کم	کم	افقی	پر تراکم	۹/۶
۵۴	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	کم	کم	عمودی	پر تراکم	۹/۸
۵۵	رس	بنتونیت	میله‌ای	کم	کم	افقی	پر تراکم	۱۲/۵۲
۵۶	رس	بنتونیت	میله‌ای	کم	کم	عمودی	پر تراکم	۱۸/۸۵
۵۷	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	زیاد	زیاد	افقی	پر تراکم	۳/۲
۵۸	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	زیاد	زیاد	عمودی	پر تراکم	۳/۱۱
۵۹	رس	بنتونیت	میله‌ای	زیاد	زیاد	افقی	پر تراکم	۴/۴۳
۶۰	رس	بنتونیت	میله‌ای	زیاد	زیاد	عمودی	پر تراکم	۶/۶۴
۶۱	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	زیاد	کم	افقی	پر تراکم	۶/۰۸
۶۲	رس	بنتونیت	صفحه‌ای	زیاد	کم	عمودی	پر تراکم	۵/۷۸
۶۳	رس	بنتونیت	میله‌ای	زیاد	کم	افقی	پر تراکم	۷/۲۶
۶۴	رس	بنتونیت	میله‌ای	زیاد	کم	عمودی	پر تراکم	۶/۰۴

جدول ۵. نتایج حاصله از تحلیل نرم افزار SPSS-آنوای مربوط به خاک

ردیف	نوع خاک	تعداد	میانگین مقاومت
۱	رس	۶۴	۱۲/۶۹
۲	لای	۶۴	۱۲/۶۹
۳	شن	۶۴	۱۹/۷۷
	مقدار سطح معنی داری		۰/۰۸۵

جدول ۶. نتایج حاصله از تحلیل نرم افزار SPSS-آزمون t مربوط به نوع الکترود

ردیف	نوع الکترود	تعداد	میانگین مقاومت
۱	صفحه‌ای	۹۶	۱۲/۲۷۲
۲	میله‌ای	۹۶	۱۸/۰۱
	مقدار سطح معنی داری		۰/۰۱۱

جدول ۷. نتایج حاصله از تحلیل نرم افزار SPSS-آزمون T مربوط به مواد کاهنده

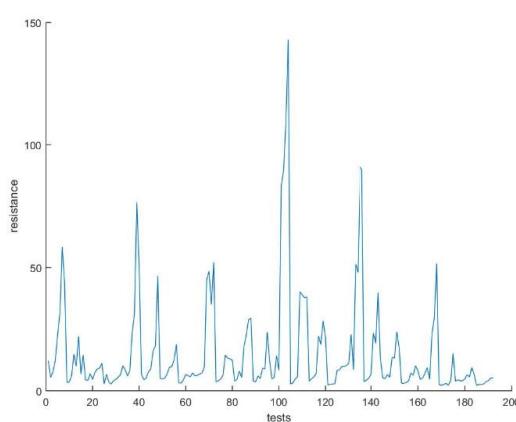
ردیف	نوع نواد کاهنده	تعداد	میانگین مقاومت
۱	نمک و ذغال	۹۶	۲۲/۸۸
۲	بنتونیت	۹۶	۱۷/۸۶
	مقدار سطح معنی داری		۰/۵۰۶

جدول ۸. نتایج حاصل از تحلیل نرم افزار SPSS-آزمون T پارامتر رطوبت

ردیف	رطوبت	تعداد	میانگین مقاومت
۱	رطوبت کم	۹۶	۲۱/۳
۲	رطوبت زیاد	۹۶	۸/۹۷
	مقدار سطح معنی داری		۰/۰۰

زمین است که خاک با رطوبت بالا دارای مقاومت کمتری نسبت به همان نوع با خاک دارای رطوبت کم می‌باشد. از طرفی خاک دارای تراکم بالا نسبت به خاک دارای تراکم پائین دارای مقاومت پایین‌تری بوده که این نتایج با توجه به محاسبات حاصله از نرم‌افزار قابل استنباط است.

با توجه به بررسی سایر نتایج بدست‌آمده از نرم‌افزار می‌توان این‌گونه استنباط کرد که عمق قرارگیری الکترود به صورت یک پارامتر تأثیرگذار در تعیین مقدار مقاومت چاه ارت می‌باشد به‌گونه‌ای که در تمامی حالات با افزایش عمق مقدار مقاومت کاهش می‌یابد. همچنین میزان رطوبت خاک نیز از جمله عوامل بسیار تأثیرگذار در تعیین مقدار مقاومت



نمودار ۱. مقایسه نتایج ارائه شده در کل آزمایشات

می‌باشد (۸). عملکرد مطلوب این سیستم، تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند طول الکترود (۲۰-۱۷)، مقاومت خاک از جمله محتوای شیمیابی، دما، جغرافیا و رطوبت خاک (۲۴-۲۱) و همچنین مواد الکترودی مورد استفاده (۲۵) می‌باشد.

نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از آن است که رطوبت و تراکم از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده مقاومت مطالعه زمین محسوب می‌گردد؛ به‌طوری‌که حتی تغییر جزئی در مقدار این پارامترها، تغییر چشمگیر مقاومت زمین را به همراه دارد. در مطالعه‌ای که توسط sundaravaradan صورت گرفت، مشاهده شده است که وقتی میزان رطوبت خاک به زیر ۲۰ درصد برسد، مقاومت زمین با کاهش محتوای رطوبت به سرعت افزایش می‌یابد (۲۵). Opuama و Tarilanyo Afa در پژوهشی که در سال ۲۰۱۳ با هدف بررسی ویژگی‌های خاک بر روی سیستم ارتینگ در ایالت Bayelsa به این نتیجه دست یافتند که مقاومت طبیعی خاک، تابعی از محتوای آب است و در واقع می‌توان مقدار مقاومت را به میزان رطوبت خاک مرتبط دانست (۲۶). ساختار خاک با چندین ویژگی فیزیکی مانند اندازه‌دانه، توزیع و یکواختی دانه‌بندی مشخص می‌گردد که این عوامل بر نحوه نگهداری رطوبت توسط خاک و در نتیجه میزان مقاومت زمین تاثیر گذارند (۲۵).

که نتایج این مطالعات با پژوهش ما همخوانی دارد.

نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد که از میان ۳ نوع خاک لای، رس و شن؛ شن به دلیل مقاومت بالا به عنوان بدترین نوع خاک مشخص گردید که علت آن را می‌توان دانه‌بندی درشت و قابلیت کم در نگهداری رطوبت دانست (۴، ۲۵، ۲۷).

نتیجه گیری

این مقاله با هدف ارزیابی عوامل مختلف بر کاهش مقاومت چاه ارت با شبیه‌سازی یک نمونه چاه ارت واقعی در زمین می‌باشد. تعداد ۱۹۲ نوع چاه ارت در این نمونه پیاده‌سازی شد و مقدار مقاومت ارت به‌وسیله تست ارت و به روش سه‌ نقطه‌ای اندازه‌گیری گردید. نتایج حاصله حاکی از آن است که رطوبت و تراکم مهم‌ترین فاکتورهای تعیین مقدار مقاومت زمین هستند به‌گونه‌ای که با تغییر هر یک مقدار مقاومت به‌طور چشمگیری تغییر یافت و باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد. طبق نتایج حاصله شن به دلیل داشتن مقاومت بالا، به عنوان بدترین نوع خاک ارزیابی گردید.

نمودار شماره یک مقدار مقاومت را در هر ۱۹۲ حالت ممکن ارائه می‌دهد. در این نمودار محور افقی شماره آزمایش و محور عمودی مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده توسط دستگاه ارت تست می‌باشد که با توجه به تحلیل داده‌ها می‌توان دریافت که کمترین مقدار مقاومت مربوط به آزمایش شماره ۱۷۰ و ۱۷۳ است که در این آزمایشات خاک به‌شدت مرتبط بوده و دارای تراکم بالایی است. همچنین با توجه به نتایج حاصله بیشترین مقاومت مربوط به آزمایش ۱۰۴ است که در این آزمایش خاک دارای رطوبت کم و الکترود در عمق کم صورت گرفته است. با توجه به نتایج ارائه شده و مقایسه با حالات مختلف می‌توان نتیجه گرفت که الکترود صفحه‌ای در مقایسه با الکترود میله‌ای به دلیل سطح بیشتر بر روی مقاومت چاه موثرتر بوده و مقدار مقاومت در این نمونه چاه کمتر از حالت با الکترود میله ایست. همچنین افزایش رطوبت و عمق قرارگیری الکترود تاثیر بسزایی در مقدار مقاومت زمین دارد که باعث کاهش چشمگیر مقدار مقاومت می‌شود. از سه نوع خاکی که مورد ارزیابی قرار گرفته است شن به عنوان خاک با مقاومت بالا تعیین گردید و نتایج حاکی از آن است که چاه با شن دارای مقاومت زیادی می‌باشد.

بهینه‌ترین حالت

حالاتی بهینه طراحی سیستم‌های اتصال به زمین در مطالعات مختلف مورد بحث قرار گرفته است (۱۵). با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه‌ی حاضر، بهینه‌ترین حالت ممکن با ترکیب مواد مختلف به دست می‌آید که در این حالت با ترکیب بنتونیت و زغال و نمک به صورت محلول و همچنین خاک لای و خاک رس به صورت فشرده و دارای تراکم بالا کمترین مقدار عددی مقاومت‌های چاه ارت در فضای شبیه‌سازی مقدار ۲/۱۹ اهم به دست آمد که با این اوصاف می‌توان در چاه واقعی و با عمق بیشتر به عددی کمتر از این نیز دست پیدا کرد.

بحث

سیستم‌های ارتینگ، نه تنها به منظور جلوگیری از خطر برق گرفتگی افراد در مجاورت تاسیسات و تجهیزات زمینی کاربرد دارد، بلکه جهت حفظ عملکرد صحیح سیستم الکتریکی نیز ضروری می‌باشد (۱۶). دستیابی به یک سیستم ارتینگ بهینه و اقتصادی، مستلزم طراحی و پیاده‌سازی این سیستم در منطقه‌ای است که کمترین مقاومت زمین را دارا

References:

1. Lee CH, Meliopoulos AS. *Safety assessment of AC grounding systems based on voltage-dependent body resistance*. IEEE Transactions on Industry Applications. 2015;51(6):5204-11.
2. Zhang B, Jiang Y, He J, Li Q. *Experimental and numerical study of division factors of fault current and measuring current due to ground wires of transmission lines*. IEEE Transactions on Industry Applications. 2015;51(6):4978-86.
3. Guemes JA, Hernando FE. *Method for calculating the ground resistance of grounding grids using FEM*. IEEE Transactions on Power Delivery. 2004;19(2):595-600.
4. Afa JT, Ngobia FO. *Soil characteristics and substation earthing in Bayelsa state*. European Scientific Journal. 2013;9(9).
5. Xueling ZH, Zhang J, Zeng PI, Jia LI. *Grounding resistance measurement of transmission towers in mountainous area*. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering. 2013;11(8):4439-46.
6. Jianmin W, Weiwei S, Yanping C, Xin J, Jidong S, Dongju W. *Study on locating techniques of single-phase grounding fault in distribution network*. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering. 2014;12(3):1701-7.
7. Dimopoulos A, Griffiths H, Harid N, Haddad A, Ainsley A, Guo D, Mpofu G. *Proposal for probabilistic risk assessment in grounding systems and its application to transmission substations*. IEEE transactions on power delivery. 2012;27(4):2219-26.
8. Prasad D, Sharma HC. *Soil resistivity and earthing system*. International Journal of Management, IT and Engineering. 2012;2(9):369-80.
9. Samadinasab S, Namdari F, Bakhshipour M. *A Novel Approach for Earthing System Design Using Finite Element Method*. Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology. 2017;28(29):53-63.
10. *Electric Power Distribution Company of South of Kerman. Instruction and regulations*. Available online: <https://www.sked.co.ir/Contractor>. Accessed on 11 November 2020.
11. Adegboyega GA, Odeyemi KO. *Assessment of soil resistivity on grounding of electrical systems: A case study of North-East Zone, Nigeria*. Journal of Academic and Applied Studies. 2011;1(3):28-38.
12. Lagace PJ, Mukhedkar D, Hoang HH, Greiss H. *Evaluation of the effect of vertical faults on the voltage distribution around HVDC electrodes using a supercomputer*. IEEE transactions on power delivery. 1990;5(3):1309-13.
13. Nassereddine M, Rizk J, Hellany A. *How to design an effective earthing system to ensure the safety of the people*. In 2009 International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications 2009 . pp.416-421.
14. Raizer A, Valente Jr W, Coelho VL. *Development of a new methodology for measurements of earth resistance, touch and step voltages within urban substations*. Electric Power Systems Research. 2017;153:111-8.
15. Dawalibi F, Mukhedkar D. *Optimum design of substation grounding in a two layer earth structure: Part I Analytical study*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1975;94(2):252-61.
16. Rahi OP, Singh AK, Gupta SK, Goyal S. *Design of Earthing System for a Substation: A Case Study*. International Journal of Advanced Computer Research. 2012;2(4):237.
17. Buba SD, Ahmad WW, Ab Kadir MZ, Gomes C, Jasni J, Osman M. *Reduction of earth grid resistance by addition of earth rods to various grid configurations*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016;11(7):4533-8.
18. Siew WH, Timoshkin I, Hanaffi FF. *Transient grounding modelling using FEM: infinite boundary condition*. In CIGRE International Colloquium on Lightning and Power Systems 2014 May.
19. El Mghairbi A, Ahmeda M, Harid N, Griffiths H, Haddad A. *Technique to increase the effective length of practical earth electrodes: Simulation and field test results*. Electric power systems research. 2013;194:99-105.
20. Puttarach A, Chakpitak N, Kasirawat T, Pongsriwat C. *Substation grounding grid analysis with the variation of soil layer depth method*. In 2007 IEEE Lausanne Power Tech 2007 Jul 1 (pp. 1881-1886). IEEE.
21. Buba SD, Ahmad WW, Ab Kadir MZ, Gomes C, Jasni J, Osman M. *Effect of earth grid conductor spacing on the safety criteria of substation earthing*. In 2014 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon) 2014 Dec 1 (pp. 134-139). IEEE.
22. Chen H, Du Y. *Lightning grounding grid model considering both the frequency-dependent behavior and ionization phenomenon*. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 2018;61(1):157-65.

23. Rameli N, Ab Kadir MZ, Izadi M, Gomes C, Azis N. *Effect of soil resistivity on the lightning current along tall towers*. In 2014 International Conference on Lightning Protection (ICLP) 2014 Oct 11 (pp. 451-455). IEEE.
24. Lehtonen M, Pichler M, Schürhuber R. *Ground potential rise and lightning overvoltages in control systems of large power-plants under high soil resistivity*. In 2019 20th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE) 2019 May 15 (pp. 1-4). IEEE.
25. Sundaravaradan NA, Reddy MJ. *How is earthing done?* IEEE Potentials. 2018;37(2):42-6.
26. Permal N, Osman M, Kadir MZ, Ariffin AM. *Review of Substation Grounding System Behavior Under High Frequency and Transient Faults in Uniform Soil*. IEEE Access. 2020;8:142468-82.
27. Bonda PR, Mishra MK. *Optimized Design of Earthing System for Substations with High Soil Resistivity and Limited Plot Area*. In 2018 20th National Power Systems Conference (NPSC) 2018 Dec 14 (pp. 1-6). IEEE.

Influence of environmental conditions on the earth pit resistance using earth pit simulator

Mohammadi damaneh M¹, Halvani GH^{2*}, Fallahzade H³, Mohammadzadeh M⁴

¹ Department of Occupational Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

² Department of Occupational Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

³ Department of Epidemiology and Biostatistics, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

⁴ Social Determinants of Health (SDH) Research Center, and Department of Environment Health, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, Iran

Abstract

Introduction: Electrocution is the cause of many deaths in the world annually, that electric current passing between the body and earth can be the reason; thus, it is of great importance to construct the ground protection system using earth pit. This study aimed to investigate the effective environmental conditions on the earth's pit resistance using the simulation method.

Materials and Methods: In the present study, 192 different experiments were performed and repeated ten times. The parameters evaluated in this study include soil type, reducing agents type, depth, humidity, electrode type, soil density, and electrode placement shape. The resistance value is measured using a three-point ether tester by changing each of them. The obtained data were statistically analyzed, and the results were presented in tables.

Results: According to the results of the experiments, soil density and moisture are considered the most effective parameters in determining the resistance of the earth pit; so that the value of resistance is significantly reduced by changing these two parameters separately or simultaneously. Also, as density and depth of placement increase, the value of resistance in all experiments had a decreasing trend. This study showed that sand was determined as the worst soil type among the soil types due to its high resistance.

Conclusion: According to the results of this study, soil density and moisture among the seven parameters under study play a more important role in pit resistance and consequently the severity of an electric shock that should be given more attention to it.

Keywords: Soil Resistivity, Earthing System, Safety

This paper should be cited as:

Mohammadi damaneh M, Halvani GH, Fallahzade H, Mohammadzadeh M. **Influence of environmental conditions on the earth pit resistance using earth pit simulator.** Occupational Medicine Quarterly Journal. 2021;12(4): 13-23.

*** Corresponding Author:**

Email: halvani39@gmail.com

Tel: +983538209101

Received: 14.01.2018

Accepted: 24.10.2020