فصلنامه علمی تخصصی طب کار
دوره ۱۲، شماره۴، زمستان ۱۳۹۹
صفحه: ۲۳-۱۳

Occupational Medicine Quarterly Journal
Vol. 12, No.4, Winter 2021
Pages: 13-23

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 انجام‌شد. پارامترهای مورد ارزیابی شامل نوع خاک، نوع مواد کاهنده، عمق، رطوبت، نوع الکترود، تراکم خاک و شکل قرارگیری الکترود می‌باشد که با تغییر هر یک، مقدار مقاومت با استفاده از دستگاه تست ارتر به روش سه نقطه‌ای اندازه‌گیری گردید. داده‌های به دست آمده مورد آنالیزهای آماری قرار گرفت و نتایج به‌صورت جداول ارائه شد.

نتایج: نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که تراکم خاک و رطوبت موثرترین پارامترها در تعیین مقاومت چاه ارت می‌باشند؛ به‌گونه‌ای 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، به‌عنوان 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 برق گرفتگی دارد که باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت خاک، سیستم ارتینگ، ایمنی

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
[۲] عضو هیئت علمی گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
[۳] عضو هیئت علمی، گروه آمار زیستی و اپیدمیولوژی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
[۴] مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، یزد، ایران
* (نویسنده مسئول): ۰۳۵۳۸۲۰۹۱۰۱ ، پست الکترونیک: halvani39@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۳

مقدمه

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 به‌عنوان 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 شده‌است انواع مختلف سیستم‌های ارتینگ مورد بررسی قرارگرفته و روشی نوین جهت اصلاح سیستم ارتینگ ارائه گردد.

مقاومت الکترود زمین متأثر از مقادیر پتانسیل سطحی زمین می‌باشد که در اثر جریان خطا به وجود می‌آیند. ازاین‌رو لازم است قبل از اجرای سیستم زمین تحقیقات گسترده‌ای درزمینه‌ی خاک و عوامل موثر در آن و همچنین ویژگی‌های بیولوژیکی بدن انسان انجام گیرد. سیستم زمین به‌عنوان جزء حیاتی سیستم‌های الکتریکی نقش بسزایی در تأمین ایمنی و کارکرد صحیح و مؤثر تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی داشته و می‌بایست به‌طور 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 این زمینه منتشر شده که از جمله آن می‌توان به IEEE80, IEEE142 IEEE1100, BS7430, IEC62305-3 اشاره نمود (۴). جهت محافظت و ایمنی افراد بایستی مقاومت 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 رویکرد موثر در طراحی سیستم ارتینگ را می‌توان ارائه داد (۷). این رویکرد به توضیح پس‌زمینه‌های تئوری 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 مش‌های 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 اجراکنندگان 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 به‌صورت 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 براین 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):

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

محافظت پرسنل در برابر خطرات الکتریکی با محدود نمودن ولتاژهای تماس و گام به مقدار ایمن، 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 ایمنی 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.

حفاظت 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:

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 $\Omega.m$ 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 به‌طور گسترده‌ای 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 یک‌لایه با مقدار ثابت مقاومت ویژه دارد. اندازه‌گیری‌های کمکی با تعریف لایه‌های خاک، نشان می‌دهند که مقاومت ویژه تابعی از عمق است.

مقاومت ارتینگ: ازآنجاکه 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 شناخته‌شده 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.

جدول ۱. مقادیر مقاومت مخصوص برای انواع مختلف خاک

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

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:

طراحی میله سیستم زمین و حوزه نفوذ: تعیین چگونگی تأثیر الکترون‌ها بر تخلیه الکترودها به زمین، در حوزه نفوذ معرفی‌شده است. حوزه نفوذ را می‌توان بیش از ۱/۱ برابر طول میله و با داشتن حداکثر بهره‌وری از سیستم زمین در نظر گرفت. میله مسی، به‌عنوان یک عنصر استوانه‌ای شکل با شعاع

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

rr و طول lr و ساخته‌شده از مس طراحی‌شده است که ضریب هدایت مس $\sigma_r=5.99*10^7\ (\Omega.m)^{-1}$ و مقاومت ویژه مس $\rho_r=1.66*10^{-8}\ \Omega.m$ می‌باشد. میله به‌صورت عمودی در خاک قرار داده می‌شود. طول و شعاع میله به ترتیب 1m و ۰/۰۰۸m در نظر گرفته می‌شود.

طراحی صفحه سیستم زمین

صفحه مسی به ابعاد ۴۰/۵*۴۰ سانتیمتر برای مناطق مرطوب شمالی کشور و ۵۰/۵*۵۰ سانتیمتر برای مناطق نیمه‌خشک مانند تهران و ۷۰/۵*۷۰ سانتیمتر برای مناطق کویری استفاده می‌شود.

پس از طراحی صفحات بایستی با توجه به شرایط چاهی به عمق ۴-۸ متر حفر گردد (در اکثر موارد عمق ۶ متر لحاظ می‌شود) که این عمق به‌صورت 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 به‌وسیله خاک و مواد کاهنده انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که هر چه رطوبت خاک بیشتر باشد، میزان مقاومت آن کمتر خواهد بود (۱۳).

اندازه‌گیری ارت

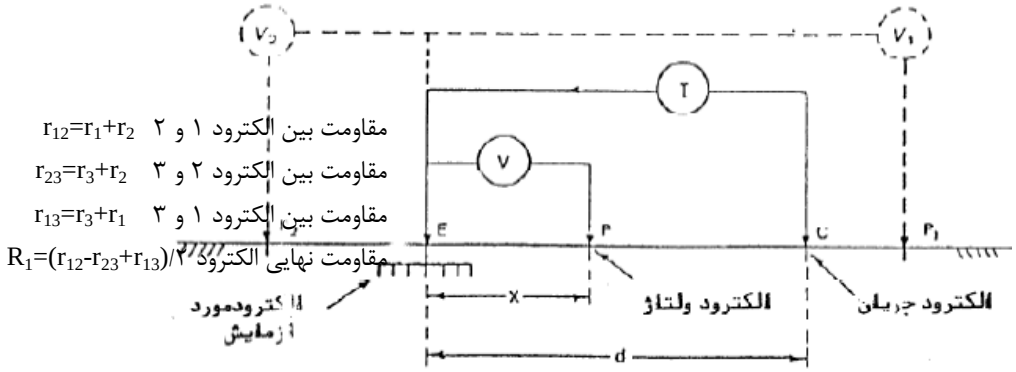
برای اندازه‌گیری مقاومت چاه ارت روش‌های گوناگونی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: روش دونقطه‌ای، روش تغییر عمق (سه‌نقطه‌ای)، روش چهار نقطه‌ای، روش فواصل مساوی، روش فواصل نامساوی و اندازه‌گیری با استفاده از تستر کلمپی می‌باشد. مطالعه‌ی حاضر با استفاده از روش سه‌نقطه‌ای انجام گرفته است که توضیح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



شکل ۱. نحوه اندازه گیری به روش سه نقطه ای

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 به‌صورت 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 ابعاد آزمایشگاهی، عوامل مؤثر بر مقاومت چاه ارت موردبررسی 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

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

قرارداده و پس از کنترل عوامل جهت اندازه‌گیری مقدار مقاومت زمین، شبیه‌ساز از چاه جدا شده و با استفاده از دستگاه تست ارتر و روش سه‌نقطه‌ای اقدام به‌اندازه گیری مقدار مقاومت گردید. برای استفاده از دستگاه تست ارتر می‌بایست فاصله‌ی بین الکترودهای اندازه‌گیری حدود ۵ الی ۱۰ متر باشند که پس از کوبیدن در زمین و با رعایت فاصله طولی مناسب پراب هر یک به ارت تستر وصل شده و پراب سوم نیز جهت اندازه‌گیری مقاومت الکترود مورد نظر به همان الکترود وصل می‌گردد. به‌طورکلی ۱۹۲ آزمایش مختلف با ۱۰ بار تکرار انجام شد و نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از تحلیل نرم‌افزاری جهت مقایسه ارائه گردید.

۱-۴-روش ارزیابی پارامترهای مؤثر بر مقاومت

الکترود: در این بررسی از دو نوع الکترود صفحه‌ای و میله‌ای از جنس مس که ابعاد آن‌ها به ترتیب ۸*۸ سانتیمتر مربع و ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد استفاده شده است.

خاک: شن، ماسه و خاک لای نیز به‌عنوان سه نمونه خاک در این چاه مورد ارزیابی قرارگرفته است که جهت اجرای هرچه دقیق‌تر آزمایش بایستی خاک‌ها کمی مرطوب باشند تا نتایج شبیه‌سازی به واقعیت نزدیک‌تر باشد

الکترود: منظور از شکل قرارگیری الکترود به‌صورت افقی و عمودی است که با توجه به عمق قرارگیری در چاه میزان مقاومت چاه را تغییر می‌دهد.

مواد کاهنده: از دو نوع ماده کاهنده بنتونیت و ترکیب نمک و زغال استفاده‌شده است؛ که جهت ترکیب نمک و زغال بایستی از خاک زغال که دانه‌بندی کربن آن ریزتر است استفاده شود.

تراکم: منظور از تراکم، دانه‌بندی خاک می‌باشد به‌این‌ترتیب که در این آزمایش با تغییر دانه‌بندی و تراکم خاک تاثیر آن بر مقاومت چاه ارت مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت متراکم کردن خاک شنی به علت ساختمان غیر چسبندگی از ارتعاش و لرزه استفاده گردید و برای متراکم کردن خاک رس و لای به علت ساختمان چسبنده از بار یا فشار استاتیک استفاده شد.

رطوبت: از دیگر عواملی که تأثیر آن بر روی مقاومت چاه ارت بررسی شده است میزان رطوبت خاک می‌باشد. به‌طورمعمول خاک مورد استفاده در چاه ارت بایستی حتماً مرطوب باشد بنابراین جهت انجام آزمایش و بررسی میزان تأثیر رطوبت بر مقاومت از دو معیار با شاخص‌های کم و زیاد استفاده شده است. بدین ترتیب که خاک کم رطوبت به‌عنوان معیار کم و خاک پر رطوبت به‌عنوان معیار زیاد در نظر گرفته شد.

تمامی هفت پارامتر ارائه‌شده بر روی نمونه چاه ارت حفرشده پیاده‌سازی گردید.

با توجه به اینکه شبیه‌ساز 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 می‌باشد. این روش جهت مقایسه و بررسی انواع چاه‌ها بسیار کارآمد بوده و می‌توان با در نظر گرفتن ضریبی مقدار مقاومت چاه اجرایی در ابعاد بزرگ‌تر و عملی‌تر را تخمین زد. این امر علاوه بر جلوگیری از صرف هزینه هنگفت و گذر زمان زیاد این امکان را فراهم می‌آورد 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 آزمایش‌های صورت گرفته ۱۹۲ حالت بوده که با تکرار هر حالت به تعداد ۱۰ مرتبه و سپس انجام اندازه‌گیری، ۱۹۲۰ نتیجه در کل حالات ممکن به دست آمد که در جداول زیر تعدادی از این نتایج آورده شده است. این نتایج، حاصل از اندازه‌گیری‌های صورت گرفته توسط دستگاه تست ارتر در نمونه چاه تحت بررسی می‌باشد. عمق چاه شبیه‌ساز در حدود ۰/۵ متر بوده و چندین برابر کوچک‌تر از ابعاد چاه واقعی می‌باشد، می‌توان یک ضریب را در تمامی اعداد موجود ضرب کرده و مقدار مقاومت واقعی چاه را به دست آورد.

مقدار مقاومت ارائه‌شده در هر حالت مقدار میانگین مقاومت اندازه‌گیری شده در ۱۰ بار تکرار آزمایش‌ها می‌باشد. طبق جداول زیر با تغییر هر پارامتر میزان مقاومت تغییر می‌نماید. در این جداول که هرکدام ترکیب نوع خاصی از یک خاک و یک نوع مواد کاهنده است با تغییر سایر پارامترها میزان مقاومت در هر مرحله اندازه‌گیری گردید. در این جداول منظور از عمق کم به معنای فاصله الکترود از عمق در حدود ۱۵ سانتی‌متر و عمق زیاد در حدود ۵۰ سانتی‌متر از سر چاه می‌باشد. 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 می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS و با استفاده از روش

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

واریانس چند طرفه و مقایسه توکی به تحلیل داده‌ها پرداخته شد. به دلیل حجم بالای آزمایشات، می‌توان متغییر مقاومت را در تحلیل داده‌ها به‌صورت 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 دوسطحی بودن از آزمون T استفاده نمود که بخشی از نتایج آن ذکرشده است.

با توجه به این نتایج و با توجه به اینکه معیار سطح معنی‌داری بیش از ۰/۰۵ است، فرض صفر رد و فرض متقابل 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 الکترود نیز چون میزان سطح معنی‌داری بیش از ۰/۰۵است، فرض صفر رد و فرض مقابل یعنی تأثیر مستقیم نوع الکترودها بر میزان مقاومت و مساوی نبودن میزان مقاومت‌ها موردپذیرش است.

جدول ۲. نتایج حاصله

شماره آزمایش	نوع خاک	نوع مواد کاهنده	نوع الکترود	رطوبت خاک	عمق الکترود	شکل قرارگیری	میزان تراکم	میزان مقاومت برحسب 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

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

جدول ۳. نتایج حاصله

شماره آزمایش	نوع خاک	نوع مواد کاهنده	نوع الکترود	رطوبت 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	رطوبت 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

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

جدول ۵. نتایج حاصله ازتحلیل 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 ازتحلیل 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

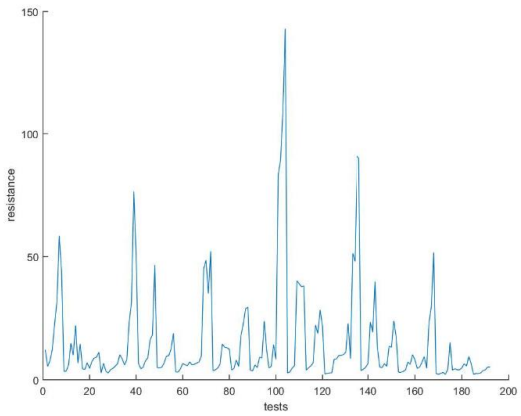
جدول ۷. نتایج حاصله ازتحلیل نرم افزار **SPSS**-آزمون **T** مربوط به مواد کاهنده

ردیف	نوع نواد کاهنده	تعداد	میانگین مقاومت
۱	نمک وذغال	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

با توجه به بررسی سایر نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار می‌توان این‌گونه استنباط کرد که عمق قرارگیری الکترود به‌صورت 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 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.



نمودار ۱. مقایسه نتایج ارائه‌شده در کل آزمایشات

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

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 تستر 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 مرطوب 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 قرارگرفته است شن به‌عنوان خاک با مقاومت بالا تعیین گردید و نتایج حاکی از آن است که چاه با شن دارای مقاومت زیادی می‌باشد.

بهینه‌ترین حالت

حالت‌های بهینه طراحی سیستم‌های اتصال به زمین در مطالعات مختلف مورد بحث قرار گرفته است (۱۵). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه‌ی حاضر، بهینه‌ترین حالت ممکن با ترکیب مواد مختلف به دست می‌آید که در این حالت با ترکیب بنتونیت و زغال و نمک به‌صورت محلول و همچنین خاک لای و خاک رس به‌صورت 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، نه‌تنها به‌منظور جلوگیری از خطر برق‌گرفتگی 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 می‌باشد (۸). عملکرد مطلوب این سیستم، تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند طول الکترود (۱۷-۲۰)، مقاومت خاک از جمله محتوای شیمیایی، دما، جغرافیا و رطوبت خاک (۲۱-۲۴) و همچنین مواد الکترودی مورد استفاده (۲۵) می‌باشد.

نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از آن است که رطوبت و تراکم از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده‌ی مقدار مقاومت زمین محسوب می‌گردند؛ 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 به‌سرعت افزایش می‌یابد (۲۵). Tarilanyo Afa و Opuama Ngobia 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 اندازه‌ی دانه، توزیع و یکنواختی دانه‌بندی مشخص می‌گردد که این عوامل بر نحوه‌ی 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 به‌عنوان 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 ارتر و به روش سه‌نقطه‌ای 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، به‌عنوان بدترین نوع خاک ارزیابی گردید.

References:

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

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 Managment, 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.*** In2009 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.*** InCIGRE 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 1;94:99-105.
20. Puttarach A, Chakpitak N, Kasirawat T, Pongsriwat C. ***Substation grounding grid analysis with the variation of soil layer depth method.*** In2007 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.*** In2014 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.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

23. Rameli N, Ab Kadir MZ, Izadi M, Gomes C, Azis N. ***Effect of soil resistivity on the lightning current along tall towers.*** In2014 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.*** In2019 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.*** In2018 20th National Power Systems Conference (NPSC) 2018 Dec 14 (pp. 1-6). IEEE.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

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

Mohammadi damaneh M[1], Halvani GH[2*], Fallahzade H[3] , Mohammadzadeh M[4]

[1] Department of Occupational Health, Shahid Sadughi University of Medical Sciences, yazd, Iran
[2] Department of Occupational Health, Shahid Sadughi University of Medical Sciences, yazd, Iran
[3] Department of Epidemiology and Biostatistics, Shahid Sadughi 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

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i4.5873]

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***