

بسم الله الرحمن الرحيم

## سیستم ارت و برقگیر ساختمان

پاییز ۹۲

فهرست

مقدمه..... ۵

زمین الکتریکی..... ۵

۵	تاریخچه
۶	ارتباطات رادیویی
۶	تاسیسات سیم‌کشی قدرت
۷	انتقال انرژی الکتریکی
۸	نحوه احداث چاه ارت
۱۰	عوامل مؤثر بر مقاومت چاه
Error! Bookmark not defined.	انواع الکترودها
Error! Bookmark not defined.	روشهای اجرای ارت یا زمین حفاظتی:
Error! Bookmark not defined.	اجرای ارت به روش عمقی:
Error! Bookmark not defined.	نصب شینه و میله برگیر
Error! Bookmark not defined.	اجرای ارت به روش سطحی
Error! Bookmark not defined.	اجرای چاه ارت با بنتونیت
Error! Bookmark not defined.	مکان اجرای چاه ارت
Error! Bookmark not defined.	چاه ارت
Error! Bookmark not defined.	بنتونیت در اجرای چاه ارت چیست؟
Error! Bookmark not defined.	سیستم ارت چیست؟
Error! Bookmark not defined.	مزایای استفاده از بنتونیت در اجرای چاه ارت
Error! Bookmark not defined.	تست چاه ارت
Error! Bookmark not defined.	دستورالعمل انتخاب سطح مقطع هادی حفاظتی زمین
Error! Bookmark not defined.	روابط محاسبه مقاومت زمین
Error! Bookmark not defined.	روش چاه اتصال زمین الکتروده صفحه ای مسی
Error! Bookmark not defined.	تست و راه اندازی چاه ارت
Error! Bookmark not defined.	دستگاه مگر

Error! Bookmark not defined .....: طرز کار با مگر

Error! Bookmark not defined .....: حفر چاه

Error! Bookmark not defined .....: منابع



## زمین الکتریکی

در مهندسی برق، واژه زمین یا ارت با توجه به کاربردهای آن دارای معانی متفاوتی است. زمین در یک مدار الکتریکی می‌تواند نقش یک نقطه مبدا را داشته باشد که بر طبق آن بقیه ولتاژهای الکتریکی را اندازه‌گیری می‌کنند. واژه زمین همچنین به مسیری کلی برای بازگشت جریان به منبع نیز اطلاق می‌شود. این واژه در مورد یک اتصال مستقیم به زمین نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یک مدار الکتریکی ممکن است به دلایل مختلفی به زمین متصل شده باشد. در مدارهای قدرت این اتصال‌ها معمولاً برای بالا بردن ایمنی و محافظت افراد یا دستگاه‌ها از تأثیرات معیوب بودن عایقکاری هادی‌ها ایجاد می‌شود. اتصال به زمین در مدارهای قدرت از آسیب دیدن عایق‌های مدار در اثر افزایش ولتاژ بین زمین و مدار جلوگیری کرده و این ولتاژ را در یک حد معین محدود می‌کند. از اتصال زمین برای جلوگیری از افزایش کتریسیته ساکن در هنگام حمل مواد قابل اشتعال یا تعمیر تجهیزات الکترونیکی نیز استفاده می‌کنند. در برخی از انواع تلگراف‌ها و شبکه‌های انتقال زمین به تنهایی نقش یکی از هادی‌ها را ایفا می‌کند و به عنوان مسیر بازگشت جریان به منبع مورد استفاده قرار می‌گیرد با این کار در هزینه ایجاد یک خط جداگانه برای بازگشت جریان صرفه‌جویی می‌شود. در اندازه‌گیری از زمین به عنوان یک پتانسیل الکتریکی ثابت استفاده می‌کنند که با توجه به اختلاف پتانسیل هر قسمت از مدار از زمین میزان پتانسیل آن قسمت را مشخص می‌کنند. یک زمین الکتریکی باید از ظرفیت انتقال جریان مناسبی برخوردار باشد تا بتوان از آن به عنوان مبدا صفر ولتاژ استفاده کرد.

معنی واژه زمین یا ارت در برق و الکترونیک بسیار گسترده‌است و حتی ممکن است در وسایل نقلیه‌ای مانند کشتی، هواپیما یا فضاپیما که عملاً اتصال مشترکی با زمین ندارند نیز از این واژه به عنوان پتانسیل صفر استفاده شود. در عمل بدنه هادی تجهیزات الکتریکی از نقطه نظر حفاظتی و سیستم های الکترونیکی شبکه های دیتا و مخابرات از نظر عملکرد آنها، به طور مستقیم و هادی های فعال نیز از طریق ارسترهای حفاظتی به این مرجع ثابت پتانسیل (زمین) متصل می‌شوند. یک سیستم زمین خوب می‌بایست موجب قطع به موقع تجهیزات حفاظتی در هنگام اتصال‌های زمین و خطاهای حادث در سیستم تغذیه شده و با کاهش ولتاژ گام و تماس در مواقع بروز اختلاف پتانسیل های خطرناک ناشی از القای الکترومغناطیسی (LEMP) و تخلیه الکتريسته ساکن (ESD)، حفاظت انسانها و تجهیزات را تضمین نماید.

## تاریخچه

سیستم الکترومغناطیسی تلگراف راه دور که از سال ۱۸۲۰ مورد استفاده قرار می‌گرفت از دو یا چند سیم برای انتقال پیام‌ها به صورت پالس‌های الکتریکی استفاده می‌کرد. سپس این موضوع روشن شد (احتمالاً به وسیله دانشمند آلمانی استین‌هیل) که از زمین می‌توان به عنوان مسیر برگشت برای کامل کردن مدار پیام‌ها استفاده کرد؛ به این ترتیب نیازی به سیم بازگشت نخواهد بود اما این روش در طول مسیرهای

درون‌قاره‌ای که در سال ۱۸۶۱ بین سنت ژوزف، میسوری و ساکرامنتو کالیفرنیا ایجاد شده بود یک مشکل داشت. در طول فصل‌های خشک سال به علت خشک بودن زمین مقاومت آن به شدت افزایش می‌یافت که باعث اختلال در کارکرد تلگراف می‌شد.

بعدها زمانی که تلفن می‌رفت تا جایگزین تلگراف شود این نکته روشن شد که جریانی که به وسیله شبکه‌های قدرت، خطوط راه‌آهن برقی و دیگر مدارهای تلفن و تلگراف ایجاد می‌شد موجب ایجاد اختلال در سیگنال‌های فرستاده شده می‌شود و به این ترتیب استفاده از سیستم‌های دو سیمه دوباره جایگزین شد.

### ارتباطات رادیویی

اتصال الکتریکی به زمین می‌تواند به عنوان یک مبدا پتانسیل الکتریکی برای سیگنال‌های بسامد رادیویی در نوع خاصی از آنتن مورد استفاده قرار گیرد. قسمتی که مستقیماً با زمین در ارتباط است می‌تواند از یک جسم ساده مانند یک میله هادی که در زمین فرورفته تشکیل شده باشد و یا از اتصال با لوله‌های فلزی آب ایجاد شده باشد (در این موارد این خطر وجود دارد که بعدها لوله‌ها با لوله‌های پلاستیکی تعویض شوند). یک الکتروود زمین ایده‌آل باید صرف نظر از میزان جریانی که به زمین وارد می‌شود یا از آن خارج می‌شود هواره ولتاژی برابر صفر داشته باشد. در واقع میزان مقاومت یک سیستم زمین است که می‌تواند کیفیت آن را مشخص می‌کند و این کیفیت را می‌توان به راه‌های مختلفی افزایش داد برای مثال با افزایش سطح در تماس الکتروود با زمین، افزایش عمق دفن الکتروود، استفاده از میله‌های الکتروود متعدد، افزایش رطوبت زمین، افزایش میزان مواد معدنی رسا در خاک و یا افزایش سطح پوشیده شده به وسیله سیستم زمین می‌توان مقاومت زمین را کاهش داد.

برخی سیستم‌های آنتن‌های فرستنده در VLF، LF، MF و یا پایین‌تر از رنج SW برای عملکرد مناسب خود نیازمند یک زمین خوب هستند. برای مثال یک آنتن عمودی تک قطب نیازمند یک سیستم زمین است که معمولاً از شبکه‌ای به هم پیوسته از سیم‌ها که به طور شعاعی از مرکز به فاصله تقریباً برابر با طول آنتن دور می‌شوند، تشکیل شده است. در برخی موارد این سامانه زمین در بیرون تقویت می‌شود تا از تلفات جلوگیری شود.

### تاسیسات سیم‌کشی قدرت

با وصل بدنه تجهیزات الکتریکی بروز خطا در هر یک از تجهیزات موجب جاری شدن جریان در سیم زمین شده و از برق دار شدن بدنه جلوگیری می‌کند. یک اتصال مناسب به زمین باید مقاومت پایینی داشته باشد تا در صورت بروز خطا، جریان جاری در زمین موجب عمل کردن سیستم حفاظت در شبکه شود. با وصل تمامی اجسام هادی در خطر برقرار شدن می‌توان از بروز شوک الکتریکی در اثر تماس با این اجسام جلوگیری کرد.

سیم زمین سیمی است که (مستقیماً یا غیر مستقیم) به یک یا چند الکتروود زمین اتصال دارد. این الکتروودها ممکن است در نزدیکی محل استفاده از سیم زمین یا در محلی دورتر قرار داشته باشند. این سیم (یا شینه

داخل تابلو) زمین در سیستم‌های TNS و TNCS که رایجترین سیستم‌های نیرورسانی میباشند میبایست به سیم (یا شینه داخل تابلو) نول وصل شود. همچنین ممکن است این سیم به شبکه لوله‌کشی شده ساختمان نیز متصل شده باشد تا مقاومت کمتری را ایجاد کند. استفاده از لوله‌های آب برای اتصال به سیستم زمین با گسترش استفاده از لوله‌های غیر فلزی مثل لوله‌های پلی وینیل کلراید در برخی کشورها ممنوع شد. در صورت همبندی پی و یا اسکلت فلزی ساختمان با چاه ارت مقاومت سیستم بمیزان زیادی کاهش یافته و ایمنی افزایش خواهد یافت. تجهیزات الکتریکی ثابت معمولاً از اتصال زمین دائمی برخوردارند. تجهیزات قابل حمل که دارای بدنه فلزی هستند از یک پین مخصوص برای وصل سیم زمین استفاده می‌کنند. اندازه هادی زمین معمولاً با استفاده از استانداردها و مقررات مربوط به حفاظت الکتریکی تعیین می‌شود.

### انتقال انرژی الکتریکی

برخی از سیستم‌های انتقال HVDC از زمین به عنوان سیم برگشت استفاده می‌کنند. این کار به ویژه در مورد خطوط کابلی زیر آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد چرا که آب دریا یک هادی مناسب است. در این حالت برای ایجاد اتصال با زمین از الکترودهای دفن شده در زمین استفاده می‌شود. محل قرار گرفتن این الکترودها باید با دقت انتخاب شود تا از خوردگی شیمیایی الکترودها و تاسیسات زیر زمینی تا جای ممکن کاسته شود.

در سیستم‌های توزیع تک سیم با برگشت زمین (Single Wire Earth Return/SWER) با استفاده از یک سیم قدرت در شبکه‌های قدرت در هزینه‌ها صرفه‌جویی می‌شود. این روش معمولاً در مناطق روستایی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا خطرات ناشی از برگشت جریان زیاد در زمین موجب خسارت نشود.

یکی از نگرانی‌های خاص در طراحی پست‌های الکتریکی افزایش پتانسیل زمین است. زمانیکه جریان بسیار بزرگ ناشی از خطا در شبکه به زمین تزریق می‌شود ممکن است پتانسیل الکتریکی در مناطق مجاور محل تزریق جریان نسبت به مناطق دیگر بالا رود. این اتفاق به دلیل محدود بودن ضریب هدایت در لایه‌های خاک رخ می‌دهد. این تغییر پتانسیل در زمین می‌تواند آنقدر زیاد باشد که دو نقطه نزدیک به هم بر روی زمین دارای ولتاژی با اختلاف بالا باشند. این اختلاف ولتاژ می‌تواند خطراتی را برای افرادی که در آن منطقه بر روی زمین ایستاده‌اند ایجاد کند (به دلیل افزایش ولتاژ گام). همچنین لوله‌ها، نرده‌ها یا سیم‌های ارتباطی داخل پست نیز دچار اختلاف ولتاژ می‌شوند که می‌تواند ولتاژ تماس با این اشیا را تا حد خطرناکی بالا ببرد.

### چاه ارت

برای حفاظت از برخورد آذرخش و اتصال الکتریسیته به بدنه یخچال و هر وسیله موجود در منزل و کارگاه که به برق وصل می‌شود و در اثر تماس انسان برای وی خطر ایجاد می‌کند معمولاً بهترین راه احداث چاه ارت (چاه زمین کاری) است. برای ساختمان مسکونی از چاه ارت زیر ۵ اهم استفاده می‌شود و برای شرکتها و کارخانه‌ها از چاه ارت زیر ۲ اهم استفاده می‌گردد.

## نحوه احداث چاه ارت

سالهای قبل از زغال و نمک برای چاه ارت استفاده می‌شد ولی پس از مدتی در اثر تماس نمک با مس صفحه مسی سولفاته می‌شد و عملاً چاه ارت از کار می‌افتاد ولی در حال حاضر یک حلقه چاه به عمق بین ۵ ال ۱۰ متر حفر می‌گردد که بستگی به جنس خاک و رطوبت زمین دارد و یک صفحه مسی به ابعاد ۷۰\*۷۰ سانتیمتر و با ضخامت ۵ میلیمتر که به یک سیم مسی معمولاً نمره ۷۰ از طریق جوش و بست اتصال می‌یابد و از ماده‌ای بنام بنتونیت یا سوپر اکتیو بنتونیت استفاده می‌گردد این ماده را بهمراه ۱۰۰۰ لیتر آب بصورت دوغاب در آورده و درون چاه می‌ریزیم در بین کار صفحه مسی را بصورت عمودی و در وسط چاه قرار می‌دهیم و الباقی دوغاب را می‌ریزیم سپس خاک را سرند کرده داخل چاه می‌ریزیم . یک تابلو تست برای ارت بالای چاه ارت قرار می‌دهیم و سیم ارت به شین ارت داخل تابلو وصل می‌گردد و از طریق سیم کلیه بدنه دستگاهها شامل الکتروموتور بدنه لوازم آشپزخانه هر آنچه را که به برق وصل شده و قابلیت تماس با انسان را دارد به این شمش مسی وصل می‌کنیم . برای چاه صاعقه گیر نیز می‌توان یک چاه مشابه همین چاه ولی مجزا از این چاه با فاصله ۲ برابر عمق چاه اجرا نمود و در بلندترین نقطه ساختمان یک میله برقگیر نصب می‌کنیم و آنرا نیز به تابلو چاه ارت وصل می‌کنیم.

نتیجه: اگر صاعقه به ساختمان بزند از طریق این میله به زمین منتقل می‌شود. اگر سیم لخت شده و به بدنه فریزر ماشین لباسشویی و غیره وصل شود قبل از اینکه برای انسان خطری ایجاد کند به زمین منتقل می‌شود و خلاصه با ایجاد سیستم زمینی کردن خطر برق گرفتگی از بین می‌رود ضمناً در دو شاخه‌های جدید و پریزها جدید بجز سیم نول و فاز یک سیم دیگر وجود دارد و آن همین سیم ارت است.

در این راستا اقدام تامین اقلام سیستم ارتینگ نظیر انواع کلمپ ها، مواد کاهنده مقاومت خاک و تجهیزات مربوط به هم پتانسیل سازی ، گراندینگ و انواع الکترودهای زمین از جمله چاه ارت (میله ، صفحه و لوله های فولادی) کرده. همچنین در ۱۰ سال اخیر، به منظور افزایش فعالیت و بالا بردن کیفیت، فعالیت خود وارد عرصه جدیدی در این مقوله شده ایم که ارت کردن مخازن، تانکرها و نفتکش ها در محیط قابل انفجار را شامل میشود.

شوک الکتریکی Electric shock هنگامی رخ می دهد که دو عامل زیر به طور همزمان رخ دهد :  
(۱) ابتدا فرد باید با یک سیستم حامل جریان یا یک قطعه فلزی مرتبط با سیم حامل جریان تماس داشته باشد.

(۲) فرد باید با زمین در ارتباط باشد.  
به طور کلی هر مدار الکتریکی سه سیم دارد. سیم فاز یا سیم حامل جریان با عایق مشکی رنگ ، که قابل تشخیص است. البته برای سیم فاز می توان از رنگ مشکی یا هر رنگ دیگری به جز سفید، سبز یا خاکستری استفاده کرد. علاوه بر سیم فاز ، یک سیم نول و یک سیم زمین نیز در مدارهای الکتریکی وجود دارد. سیم نول معمولاً با عایقی به رنگ سفید یا خاکستری قابل شناسایی است. سیم زمین نیز به صورت سیم مسی بدون روکش یا سیم با عایق سبز رنگ اجرا می شود. در سیم کشی مدارهای خانه هایی که پیش از سال ۱۹۶۰ ساخته شده اند، اغلب سیم زمین در نظر گرفته نشده است.



سیم فاز در واقع خطرناک ترین سیم در مدار الکتریکی ساختمان به شمار می رود ، چون حامل بار الکتریکی بوده و به محض تماس با اجزای رسانا بار الکتریکی خود را به آن ها منتقل می کند. اما جریان الکتریکی تا زمانی که مسیر برگشت به منبع نداشته باشد، برقرار نمی شود. سیم نول در واقع همان سیمی است که برای ایجاد این مدار یا مسیر بسته در نظر گرفته می شود. به عبارت دیگر ، با قرار دادن کلید یک وسیله الکتریکی در وضعیت روشن ، مسیر ارتباطی بین سیم فاز و سیم نول برقرار می شود و به این ترتیب با کامل شدن مدار ، جریان الکتریکی برقرار شده و آن وسیله روشن می شود.

سیم فاز بلافاصله مسیر را حس نموده و انرژی الکتریکی را آزاد می کند. در صورتی که هیچ عاملی موجب جلوگیری از عبور جریان در مدار نشود، بخش عمده انرژی بدون استفاده خواهد ماند. می توان گفت که یک لامپ یا هر وسیله الکتریکی دیگری که بین سیم فاز و نول قرار می گیرد تقریباً تمام انرژی موجود در آن مدار را مصرف می کند و به طور مجازی هیچ انرژی دیگری برای بازگشت از طریق سیم نول به منبع باقی نمی ماند. دلیل آن که تماس دست با سیم فاز موجب ایجاد شوک الکتریکی می شود، در حالی که سیم نول شوک الکتریکی ایجاد نمی کند نیز همین امر است.

در هنگام ایجاد شوک الکتریکی، بدن همانند سیم نول عمل کرده و مدار الکتریکی را کامل می کند. علت این مسأله آن است که زمین به خودی خود مسیر بسیار مناسبی برای عبور جریان و کامل کردن مدار الکتریکی به شمار می رود. در واقع در چنین مواردی، سیستم الکتریکی از زمین به عنوان یک مسیر جایگزین استفاده می کند. سیم نول در تابلو برق اصلی به زمین متصل می شود. از تابلو برق اصلی ، یک سیم تا میله فولادی با روکش مسی منشعب می شود که این میله در عمق زمین فرو می رود. در ساختمان های قدیمی نیز گاهی اوقات این سیم را به لوله آب فلزی واقع در زیر زمین متصل می کردند.

بهترین روش برای مقابله با شوک الکتریکی آن است که اطمینان حاصل کنید که بدن شما با زمین در ارتباط نیست. به خاطر داشته باشید که جریان الکتریکی تنها در صورتی از بدن شما عبور خواهد کرد که بدن شما همانند مسیر عبور جریان به زمین، عمل کند. بنابراین هیچ گاه روی زمین خیس و یا بر روی نردبانی که روی زمین خیس قرار گرفته است با مدارها و تجهیزات الکتریکی کار نکنید. استفاده از ابزارهای برقی و سایر تجهیزات الکتریکی در محدوده سیستم های لوله کشی نیز می تواند بسیار خطرناک باشد. زیرا سیستم های لوله کشی در واقع به عنوان رابط بین بدن شما با زمین عمل می کنند که نتیجه آن ایجاد شوک الکتریکی است. در استاندارد NEC ، سه مشخصه برای افزایش ضریب ایمنی تجهیزات و مدارهای الکتریکی مطروح شده است :

- (۱) اتصال تجهیزات به زمین
- (۲) مجهز کردن سیستم به رله عیب اتصال زمین
- (۳) استفاده از درپوش های قطبی Polarized plugs

برای دستیابی به یک سامانه ای اتصال زمین کارآمد، بادوام و قابل اعتماد، باید جنبه های مختلفی، همچون طراحی، اجرا و انتخاب مصالح مناسب را مورد توجه قرار داد. اما در میان تمامی بخش های مختلف این سامانه، چاه ارت از حساسیت و ویژگی های خاصی برخوردار است، زیرا پس از اجرا امکان دسترسی مجدد به آن وجود ندارد و در صورت بروز اشکال، کار چندانی برای آن نمی توان کرد؛ و با عنایت به این که این بخش

نقشی تعیین کننده در کارآمدی سامانه اتصال زمین دارد، می توان گفت مهم ترین و حساس ترین بخش سامانه، اتصال زمین است و طراحی و اجرای صحیح آن از اهمیت اساسی برخوردار است. در حال حاضر متأسفانه کمبود منابع کاربردی در مورد سامانه های اتصال زمین احساس می شود، که این خود موجب رواج یافتن برخی شیوه های اشتباه و بروز اختلاف نظرهایی، به ویژه در زمینه های اجرای چاه ارت شده است و اغلب شاهد اجراهای نادرست و در نتیجه عدم دستیابی به مقاومت مناسب و یا بی دوام بودن چاه های اجرا شده هستیم. گاهی یک بی دقتی ساده در اجرای چاه باعث از دست رفتن کل هزینه ها و ناکارآمدی سیستم اتصال زمین و در نتیجه نایمن شدن شبکه ی برق و بروز پیامدهای ناگوار ناشی از آن می شود. از این رو، شایسته است برای «اجرای چاه ارت» اهمیتی ویژه و جایگاهی خاص قائل شویم. در نوشتار حاضر کوشیده ایم شناختی علمی و در عین حال ساده از مسائل اجرایی و عوامل مؤثر در کیفیت چاه ارت به دست داده و راهکارهایی مناسب و کاربردی برای اجرا و نیز حل مشکلات آن ارائه نماییم. همچنین، نحوه ی کاربرد بنتونیت به عنوان یک الکترولیت خوب در چاه نشان داده شده است. انتخاب بنتونیت از این جهت بوده که این ماده تأثیر فوق العاده مطلوبی در کاهش مقاومت چاه، کاهش هزینه ها و پایداری و دوام طولانی مدت چاه زمین دارد.

## عوامل مؤثر بر مقاومت چاه

### 1- یخ زدگی و خشکی خاک

می دانیم که هدایت الکتروسیسته در فلزات ناشی از جابه جایی الکترون هاست و در این کار هسته های اتم ها در جای خود می مانند و جابه جا نمی شوند. ولی در غیر فلزاتی مانند خاک، قضیه به شکل دیگری است؛ در این مواد هدایت الکتروسیسته ماهیت شیمیایی داشته و از املاح یونیزه شده ی موجود در آن ها سرچشمه می گیرد. همچنین، می دانیم که عبور جریان توسط یون ها مستلزم حرکت و جابه جایی آن هاست. حال با توجه به این که یک یون، کل اتم را شامل می شود و اتم های مواد جامد قادر به جابه جایی نیستند، خاک نیز در حالت جامد قادر به هدایت جریان برق نیست؛ ولی هنگامی که مقداری آب جذب خاک شود، املاح خاک، در این رطوبت حل و سپس یونیزه شده و آنگاه می توانند عمل هدایت الکتروسیستی را انجام دهند. به همین دلیل، خاک های خشک یا یخ زده قادر به هدایت نبوده و مقاومت بسیار زیادی از خود نشان می دهند. بر همین اساس، هنگام تعیین عمق چاه، می باید به امکان یخ زدن سطح خاک در زمستان و خشک شدن آن در تابستان توجه کرد و با در نظر گرفتن آب و هوای منطقه، عمق مؤثر چاه را از سطحی که امکان یخ زدن و خشک شدن ندارد، به پایین در نظر گرفت. این موضوع به ویژه در اتصال زمین های افقی (شبکه ها یا مش های ارت که در عمق کمی اجرا می شوند) درخور توجه است.

### 2- فشرده گی خاک

می دانیم که خاک از دانه هایی با اندازه های مختلف تشکیل شده است که این دانه ها در خاک های دست نخورده، معمولاً به همدیگر فشرده شده و توده ای متراکم را به وجود می آورند. در این توده های متراکم، دانه های خاک در همدیگر فرو رفته و فضای تهی قابل توجهی میان خودشان باقی نمی گذارند. بنابراین،

سطح تماس بین دانه‌ها زیاد بوده و در نتیجه مقاومت الکتریکی کمی ایجاد می‌شود؛ در حالی که در خاک‌های دستی و نامتراکم، فضاهای خالی زیاد بین دانه‌های خاک، سطح تماس کمی ایجاد می‌کند و به همین دلیل مقاومت الکتریکی زیادی پدید می‌آید. نکته‌ی دیگر این که هر چه دانه‌های خاک درشت‌تر باشند، فاصله‌های خالی بیش‌تری بین آن‌ها به وجود آمده و مقاومت الکتریکی را افزایش می‌دهد. اکنون نکته‌ی بسیار مهم دیگری را مورد توجه قرار می‌دهیم و آن این که اثر مقاومت ویژه‌ی خاک‌های نزدیک و اطراف الکتروود ارت در مقاومت چاه، بسیار بیش‌تر از اثر خاک‌های دور از آن است. توجه به این دو مطلب مهم نشان می‌دهد که اجرای چاه ارت در زمین دست نخورده اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد و در صورت دستی بودن خاک‌های سطحی، چاره آن است که نخست آن قدر پایین برویم تا به زمین دست نخورده برسیم و آنگاه کندن چاه را در زمین دست نخورده، به اندازه‌ی کافی ادامه دهیم. بدیهی است که تنها آن بخش از چاه که در خاک دست نخورده قرار دارد، ارزشمند و مؤثر بوده و عمق مؤثر چاه نیز برابر ارتفاع همان بخش است.

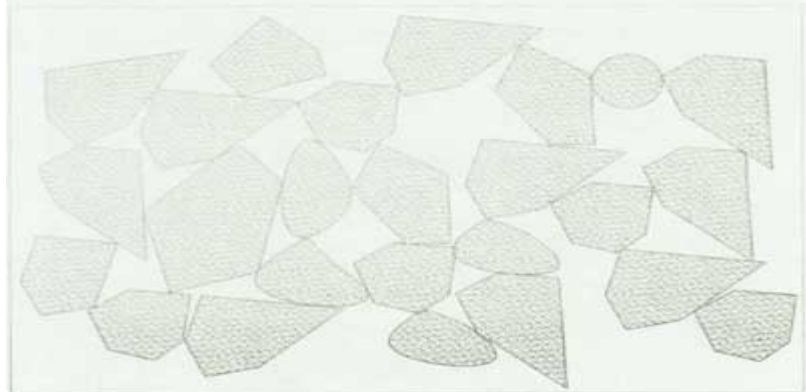
دقیقاً به همین دلیل است که در هنگام اجرای چاه ارت باید الکتروولیت اطراف الکتروود را به خوبی کوبیده و متراکم نمود. زیرا این کار در کاهش مقاومت چاه، اثر فراوان دارد. با توجه به این که سیم متصل به الکتروود ارت (که تا سطح خاک بالا می‌آید) نیز مانند یک الکتروود میله‌ای عمل نموده و در کاهش مقاومت کلی چاه مؤثر است، کوبیدن خاک‌های لایه‌های بالاتر از الکتروود (اطراف سیم ارت) نیز می‌تواند در کاهش مقاومت چاه مؤثر باشد و هر چه آن‌ها را بیش‌تر کوبیده و متراکم کنیم، نتیجه‌ی بهتری حاصل می‌شود. در این جا برخی خواص ارزشمند خاک بنتونیت به عنوان الکتروولیت مشخص می‌شود. دانه‌بندی این خاک فوق‌العاده ریز بوده، دارای خاصیت تورمی شدیدی است و در اثر تورم ناشی از آب‌گیری، تمامی خلل و فرج موجود میان دانه‌های خود را پُر کرده و به تمام سطوح پیراونی نیز فشرده می‌شود؛ و همین موضوع یکی از دلایل پایین بودن مقاومت الکتریکی چاه‌های بنتونیتی‌ست. از سوی دیگر، این توده‌ی متراکم نیاز به کوبیدن ندارد و در نتیجه اجرای آن آسان است و مقاومت حاصل از آن، بر خلاف الکتروولیت‌هایی از قبیل ذغال و نمک، وابسته به چگونگی اجرا و دقت در کوبیدن الکتروولیت نیست.



شکل ۱: در یک توده‌ی خاک فشرده، دانه‌های خاک کاملاً در هم چسبیده‌اند و فاصله یا فضای خالی چندانی میان آن‌ها وجود ندارد.



شکل ۲: در خاک‌های دستی و نامتراکم، فضاهای خالی زیادی بین دانه‌های خاک وجود دارد و سطح تماس دانه‌ها اندک است.



شکل ۳: بیش‌ترین فاصله‌ی خالی بین دانه‌ها و بدترین وضعیت، در خاک‌های دانه‌درشت دیده می‌شود. به‌طور کلی، مقاومت خاک‌های دانه‌درشت بیش از خاک‌های ریزدانه است.