

# دستور العمل اندازه گیری

## مقاومت الکتروود زمین و

## مقاومت ویژه خاک

## فهرست مطالب:

۴	۱- هدف و دامنه کاربرد
۴	۲- مراجع الزامی
۰	۳- تعاریف و کلمات
۰	۳-۱- مقاومت الکتروود زمین (Earth Resistance)
۰	۳-۲- مقاومت ویژه خاک (Soil (earth) Resistivity)
۰	۳-۳- الکتروود زمین (Earth Electrode)
۰	۳-۴- مقاومت متقابل الکتروودهای زمین (Mutual Resistance of Earthing Electrodes)
۰	۳-۵- زمین دور (Remote Earth)
۰	۳-۶- ولتاژ انتقالی (Transferred Voltage)
۶	۳-۷- پایانه زمین اصلی (Main Earthing Terminal (Main Earthing Busbar
۶	۳-۸- الکتروود زمین کمکی (Auxiliary Earth Electrode)
۶	۳-۹- پتانسیل زمین (Earth Potential)
۶	۳-۱۰- سیستم زمین (Earthing System)
۶	۴- ایمنی
۷	۵- کلیات
۷	۵-۱- لزوم اندازه گیری
۸	۵-۲- فرد کارآزموده
۸	۵-۳- دستگاه قابل قبول
۸	۵-۴- زمان اندازه گیری
۸	۵-۵- روش های قابل قبول
۹	۵-۶- قابلیت استناد نتایج اندازه گیری
۹	۵-۷- دقت اندازه گیری
۹	۵-۸- دستگاه اندازه گیری مقاومت اتصال زمین (ارت سنج)
۱۰	۶- انواع روش های اندازه گیری مقاومت الکتروودها ی زمین

- ۷- روش های افت پتانسیل ..... ۱۰
- ۷-۱- روش افت پتانسیل کلاسیک ..... ۱۱
- ۷-۱-۱- نکات اجرایی ..... ۱۲
- ۷-۱-۲- نحوه اتصال دستگاه ارتسنج ..... ۱۲
- ۷-۱-۳- اعتبارسنجی اندازه گیری ..... ۱۳
- ۷-۱-۴- ساده سازی روش افت پتانسیل ..... ۱۴
- ۷-۲- روش افت پتانسیل - ۶۲٪ ..... ۱۴
- ۷-۳- روش افت پتانسیل - شیب ..... ۱۵
- ۷-۴- تکنیک آزمون ۱۸.۰۹۰/۰ ..... ۱۷
- ۷-۵- تکنیک چیدمان مثلثی ..... ۱۸
- ۷-۶- تکنیک الکتروود متصل ..... ۱۸
- ۸- روش های بدون میل ..... ۱۹
- ۸-۱- روش دو نقطه ای ..... ۲۰
- ۸-۱-۱- محدودیت ها، مزایا و کاربرد ..... ۲۰
- ۸-۱-۲- اعتبارسنجی اندازه گیری ..... ۲۱
- ۸-۲- روش تزریق جریان کلمپی ..... ۲۱
- ۸-۳- روش سه نقطه ای ..... ۲۲
- ۹- روش امپدانس حلقه ..... ۲۳
- ۱۰- انتخاب روش اندازه گیری ..... ۲۴
- ۱۱- عوامل ایجاد خطا در اندازه گیری ..... ۲۴
- ۱۱-۱- اجرام فلزی مدفون در خاک ..... ۲۴
- ۱۱-۲- جریان های سرگردان ..... ۲۵
- ۱۱-۳- نزدیکی بیش از حد میل جریان به الکتروود زمین آزمون ..... ۲۵
- ۱۱-۴- سایر خطاها ..... ۲۵
- ۱۲- استفاده از کاهش دهنده های موقت ..... ۲۶

- ۱۳- گزارش اندازه گیری ..... ۲۶
- ۱۴- اندازه گیری مقاومت ویژه خاک ..... ۲۷
- ۱-۱۴- روش تك راد ..... ۲۷
- ۲-۱۴- روش چهار نقطه ..... ۲۸
- ۱-۲-۱۴- روش وئر ..... ۲۸
- ۲-۲-۱۴- روش اشلوم برگر ..... ۲۹
- ۱۰- پیوست: مفاهیم پایه اتصال زمین ..... ۲۹
- ۱-۱۰- شرح حوزه مقاومتی و مفهوم مقاومت سیستم زمین ..... ۲۹
- ۱۶- مراجع ..... ۳۰

## ۱- هدف و دامنه کاربرد

این دستورالعمل در راستای اجرای مواد ۵-۲-۳۱ و پ ۴-۹-۱-۹-۱ مبحث سیزدهم و اجرایی نمودن بند ۸-۷-۲۲ مبحث بیست و دوم مقررات ملی ساختمان، به منظور اندازه گیری مقاومت الکتریکی الکترودهای زمین و مقاومت ویژه خاک در کلیه ساختمان های تحت پوشش مقررات ملی ساختمان تهیه شده است.

## ۲- مراجع الزامی

مدارك زیر حاوی مقرراتی است که در متن این دستورالعمل به آن ها ارجاع شده است. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این دستورالعمل نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه های بعدی آن ها مورد نظر است.

### ۳- تعاریف و کلمات اختصاری

#### ۳-۱- مقاومت الکتروود زمین (Earth Resistance)

امپدانس الکتروود زمین عبارت است از امپدانس مابین یک الکتروود، شبکه یا سیستم زمین و زمین دور پس از خارج کردن پارامتر راکتانس. البته در این دستورالعمل با توجه به این که بخش راکتیو امپدانس ناچیز است، از واژه مقاومت زمین به جای امپدانس زمین استفاده می شود. در اصل مقاومت الکتروود زمین، مقاومت آن الکتروود نسبت به جرم کلی زمین است.

#### ۳-۲- مقاومت ویژه خاک (Soil (earth) Resistivity)

مقداری است که نشان می دهد یک حجم معینی از خاک (مکعبی از خاک به طول و عرض و ارتفاع یک متر) چقدر در برابر عبور جریان الکتریکی مقاومت می کند و واحد آن اهم-متر یا اهم-سانتی متر است.

#### ۳-۳- الکتروود زمین (Earth Electrode)

قطعه هادی که در خاک یا یک محیط هادی خاص (مانند بتن) و در تماس الکتریکی مستقیم با زمین جاسازی شده است.

#### ۳-۴- مقاومت متقابل الکتروودهای زمین (Mutual Resistance of Earthing Electrodes)

تغییرات ولتاژ در یک الکتروود که به دلیل تغییرات جریان در الکتروود دیگر به وجود می آید و با واحد اهم بیان می شود.

#### ۳-۵- زمین دور (Remote Earth)

یک مفهوم تئوری است که به یک الکتروود زمین با امپدانس صفر که در یک فاصله بینهایت دور از زمین تحت آزمون قرار دارد، اطلاق می شود. در عمل، زمین دور تا جایی که مقاومت متقابل مابین زمین تحت آزمون و الکتروود آزمون ناچیز است نزدیک انتخاب می شود. زمین دور معمولاً به عنوان پتانسیل صفر در نظر گرفته می شود.

#### ۳-۶- ولتاژ انتقالی (Transferred Voltage)

حالت خاصی از ولتاژ تماس است که در اثر عبور جریان های بزرگ اتصال کوتاه از الکتروود یا اتصال زمین به بدنه های هادی انتقال می یابد.

### ۷-۳- پایانه زمین اصلی (Main Earthing Terminal (Main Earthing Busbar))

ترمینال یا شینه ای که بخشی از سیستم زمین یک تأسیسات است و امکان اتصال الکتریکی تعدادی از هادیها را به منظور زمین کردن فراهم می‌کند.

### ۸-۳- الکتروود زمین کمکی (Auxiliary Earth Electrode)

یک الکتروود زمین که براساس شرایط عملکرد سیستم، طراحی خاص خود را دارد. وظیفه اصلی این الکتروود ممکن است موردی به جز هدایت جریان خطای اتصالی به زمین باشد.

### ۹-۳- پتانسیل زمین (Earth Potential)

پتانسیل الکتریکی زمین اطراف یک الکتروود نسبت به جرم کلی زمین است که هنگام عبور جریان از الکتروود به زمین، بر روی سطح زمین یا داخل آن ایجاد می‌شود.

### ۱۰-۳- سیستم زمین (Earthing System)

مجموعه ای از اتصالات و تجهیزات که برای زمین کردن یک سیستم به صورت جداگانه یا مشترک مورد نیاز است.

## ۴- ایمنی

اقدامات احتیاطی لازم برای برقراری ایمنی در هنگام کار و انجام آزمون بر روی سیستم زمین، همواره می‌بایست در نظر گرفته شوند به همین خاطر هنگام اندازه‌گیری مقاومت الکتروود زمین، بایستی موارد زیر رعایت گردد:

- ۱- کلیه اندازه‌گیری‌ها باید توسط فرد یا افراد کارآزموده و ماهر انجام شود.
- ۲- انجام اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سیستم اتصال زمین در روزهای طوفانی، بارانی و یا مواقعی که احتمال وقوع صاعقه باشد مجاز نیست.
- ۳- استفاده از لوازم حفاظت فردی مانند دست‌کش عایق و کفش کار مناسب در هنگام اندازه‌گیری الزامی است.
- ۴- جهت انجام آزمون از تجهیزاتی استفاده شود که استاندارد IEC-۶۱۰۱۰ را برای ایمنی و استاندارد IEC-۶۱۰۵۷ را برای کارآیی، دارا باشند.

- ۵- مسیر آزمون باید به نحوی انتخاب شود که خطرات احتمالی به حداقل برسد. در این راستا بهتر است مسیر انتخابی با خیابان های پر رفت و آمد یا پیاده روهای شلوغ، تلاقی نداشته باشد و از علائم و نشانه های مناسب، حین آزمون استفاده شود.
- ۶- فرد کارآموده و ماهر همواره باید در ارتباط کامل با افرادی باشد که در محل آزمون حضور دارند و قرار است میل های آزمون را در نقاط دور جابجا نمایند.
- ۷- قطع برق تأسیسات (حتی پست برق) ممکن است منجر به بی برق شدن سیستم زمین نشود زیرا ولتاژ می تواند از طریق پست های مجاور (با استفاده از نول فشار ضعیف، شیلد کابل ها و غیره) به خاطر کلیدزنی و یا وقوع خطا در آن، به سیستم زمین منتقل شود به همین دلیل قبل از اقدام به اندازه گیری مقاومت الکتریکی الکترودهای زمین باید نسبت به سنجش ولتاژهای سرگردان بر روی سیستم زمین و قابل قبول بودن آن، اطمینان حاصل نمود.
- ۸- پیش از جدا کردن یک الکتروود از سیستم زمین بایستی از عدم وجود جریان های بزرگ در آن اطمینان حاصل نمود.
- ۹- نباید تمامی الکترودهای زمین یک سیستم را یک جا قطع نمود، مگر آنکه تأسیسات مربوطه از قبل به طور کامل بی برق شده باشد.

## ۵- کلیات

### ۵-۱- لزوم اندازه گیری

بر اساس ماده ۳۱-۲-۵ "تأسیسات الکتریکی را باید قبل از شروع بهره برداری و یا پس از هر تغییر عمده در آن، آزمون تا نسبت به صحت کارهای انجام شده طبق این مقررات اطمینان حاصل شود". همچنین براساس بند پ ۱-۹-۴ مبحث سیزدهم مقررات ملی ساختمان "در پایان کار احداث هر الکتروود زمین و از آن پس به صورت دوره های باید مقاومت آن را نسبت به جرم کلی زمین به کمک دستگاههای قابل قبول برای انجام این کار و توسط افراد کارآموده اندازه گیری کرد و اگر تغییرات قابل ملاحظه ای در مقاومت الکتریکی مشاهده شد نسبت به توسعه سیستم اتصال زمین یا احداث الکترودهای جدید اقدام نمود". علاوه بر آن بر اساس ماده ۲۲-۷-۸-۵ مبحث بیست و دوم مقررات ملی ساختمان "آزمون اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین باید با استفاده از تجهیزات و روش های تأیید شده به صورت دوره ای انجام شود".

## ۰-۲- فرد کارآموده

فرد کارآموده کسی است که دارای پروانه اشتغال معتبر در رشته تاسیسات برقی ساختمان از وزارت راه و شهرسازی بوده و دانش و مهارت لازم در زمینه اتصال زمین را فراگرفته و صلاحیت مربوطه را از مراجع ذی صلاح دریافت کرده است.

این فرد باید عملیات اندازه گیری را شخصاً انجام دهد. علاوه بر آن تفسیر نتایج اندازه گیری و اعتبارسنجی آن نیز باید توسط همین فرد انجام شود.

**تبصره:** منظور از تفسیر نتایج اندازه گیری، مشخص نمودن صحت، دقت، تعیین مقدار واقعی مقاومت و پیشنهاد زمان اندازه گیری بعدی براساس نتایج حاصل از اندازه گیری و پیشنهاد روش های اصلاحی است.

یادآوری: تطبیق نتایج آزمون با مقررات ملی، برعهده مهندس ناظر تأسیسات برقی ساختمان مورد نظر است.

## ۰-۳- دستگاه قابل قبول

دستگاه قابل قبول، ارت سنجی است که استاندارد بوده و دارای گواهی کالیبراسیون معتبر باشد. فرکانس منبع جریان این دستگاه باید با فرکانس شبکه و هارمونیک های آن متفاوت بوده و حتی الامکان نزدیک به فرکانس شبکه برق باشد.

علاوه بر آن یک دستگاه قابل قبول باید بتواند مقاومت حداقل یک اهم را با دقت کافی و با هر یک از روشهایی که از نظر این دستورالعمل معتبر است، اندازه گیری نماید.

## ۰-۴- زمان اندازه گیری

به دلیل ارتباط مقدار مقاومت الکتروادهای زمین به شرایط محیطی (مانند دما و رطوبت خاک) اندازه گیری یک الکتروود معین در زمان های مختلف، نتایج متفاوتی را به دست می دهد بنابراین باید این موضوع در تفسیر نتایج اندازه گیری مورد توجه قرار گیرد.

## ۰-۰- روش های قابل قبول

در این دستورالعمل روش های اندازه گیری قابل قبول، اولویت ها و محدودیت های این روش ها ارائه شده است. در صورتی بکه دلایل موجه نتوان از این روش ها استفاده کرد، می توان از روش های دیگری مقاومت الکتروود زمین باید با استفاده از تجهیزات و روش های تأیید شده به صورت دوره ای انجام شود."



که در استانداردهای مندرج در پیوست ۶ مبحث سیزدهم مقررات ملی ساختمان ذکر شده، با رعایت کاربرد، دقت، اولویت ها و سایر عوامل مؤثر استفاده نمود.

#### ۶-۵- قابلیت استناد نتایج اندازه گیری

نتایج اندازه گیری مقدار مقاومت سیستم زمین به شرطی ارزشمند بوده و از نظر مطابقت با مقررات ملی و حصول ایمنی در ساختمان قابل استناد است که اندازه گیری در بدترین شرایط تست انجام شده باشد.

#### ۷-۵- دقت اندازه گیری

اندازه گیری مقدار مقاومت سیستم زمین کار آسانی محسوب نشده و در عمل پارامترهای مختلفی اندازه گیری را با خطا مواجه می کند. بر اساس استاندارد BS-۷۴۳۰ رسیدن به دقت ۲٪ قابل قبول بوده ولی با این حال در اغلب موارد دقت ۵٪ هم قابل قبول در نظر گرفته می شود.

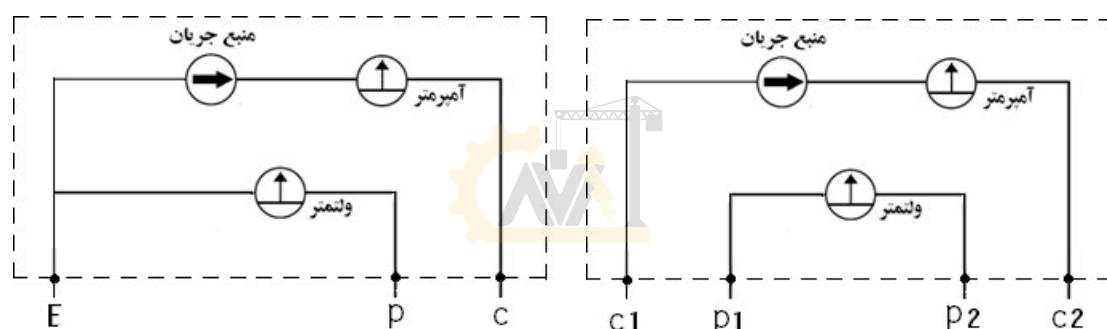
#### ۸-۵- دستگاه اندازه گیری مقاومت اتصال زمین (ارت سنج)

این دستگاه از یک منبع جریان متناوب، یک دستگاه آمپر متر، یک دستگاه ولت متر و یک صفحه نمایش تشکیل می شود.

نمایشگر دستگاه، حاصل تقسیم ولتاژ بر جریان اندازه گیری شده را به عنوان مقدار مقاومت نشان می دهد.

قاعداً این دستگاه دارای چهار ترمینال خروجی به نام های  $C_1$ ،  $P_2$ ،  $P_1$  و  $C_2$  می باشد. برخی دستگاه ها تنها دارای سه ترمینال خروجی می باشد که معمولاً با حروف  $C$  و  $P$ ،  $E$  نامگذاری می گردند. به دستگاه هایی که دارای چهار ترمینال

خروجی هستند، "چهار سیمه" (شکل ۱) و به دستگاه های دارای سه ترمینال خروجی، "سه سیمه" (شکل ۲) گفته می شود.



شکل (۲): دستگاه ارت سنج نمونه (سه سیمه)

شکل (۱): دستگاه ارت سنج نمونه (چهار سیمه)

دستگاه های چهارسیمه به دلیل دارا بودن قابلیت "اندازه گیری مقاومت ویژه خاک" و همچنین دقت بالا در اندازه گیری مقاومت الکترودهای زمین با مقادیر پایین، بر دستگاه سه سیمه ارجحیت دارند.

## ۶- انواع روش های اندازه گیری مقاومت الکترودهای زمین

مقاومت هر نوع الکتروود زمین اعم از ساده، اساسی و شبکه همبند به صورت جداگانه و یا متصل به هم باید حداقل با یکی از روش های زیر اندازه گیری شود:

### الف - روش های افت پتانسیل

۱- روش کلاسیک

۲- روش ۲۶٪

۳- روش شیب

۴- آزمون  $90^\circ / 180^\circ$

۵- تکنیک چیدمان مثلثی

۶- تکنیک الکتروود متصل

ب - روش های بدون میل

۱- روش دونقطه (ارت مرده)

۲- روش تزریق جریان (کلمپی)

۳- روش سه نقطه

ج- روش امپدانس حلقه

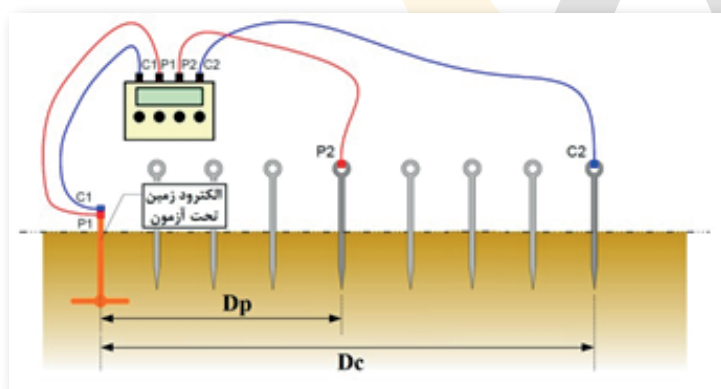
## ۷- روش های افت پتانسیل

ویژگی مشترک این روش ها اندازه گیری افت پتانسیل ناشی از تزریق جریان به زمین توسط دستگاه ارت سنج و با استفاده از میل کوبی است.

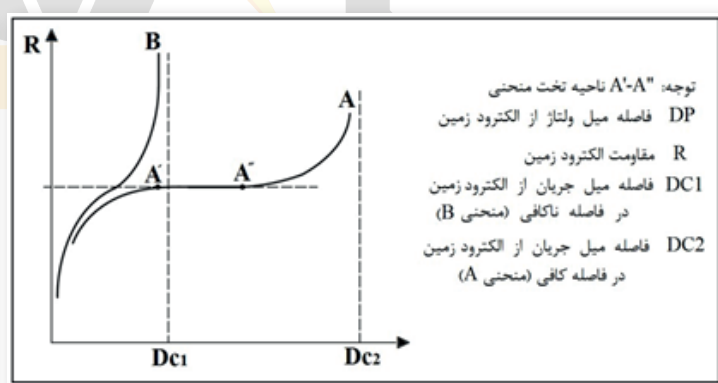
روش های مبتنی بر افت پتانسیل پرکاربردترین و قابل اطمینان ترین روش ها هستند.

### ۷-۱- روش افت پتانسیل کلاسیک

در این روش از دو میل برای اتصال ترمینال های دستگاه به زمین که یکی "میل جریان" و دیگری "میل ولتاژ" نامیده می شوند، استفاده می شود. مطابق شکل زیر میل دورتر یعنی میل جریان در فاصله ای کافی و مناسب از الکتروود اصلی کوبیده می شود به گونه ای که این دو خارج از حوزه مقاومتی هم قرار گیرند (فاصله DC). میل نزدیک تر یعنی میل ولتاژ در فاصله  $D_p$  نزدیک به الکتروود اصلی (مثلا پنج درصد DC) کوبیده شده و مقاومت نشان داده شده توسط دستگاه یادداشت می شود. سپس میل ولتاژ در نقاط متعدد با فواصل مساوی (مثلا در ۲۰ نقطه) تا نزدیک میل جریان به مانند شکل (۳) جابه جا شده و هر بار مقاومت اندازه گیری شده یادداشت می شود. نمودار مقاومت های اندازه گیری شده بر حسب فاصله در دو حالت مختلف در شکل زیر نشان داده شده است. هرگاه فاصله الکتروود جریان با الکتروود اصلی مناسب بوده و شرایط اندازه گیری صحیح نیز فراهم باشد مانند منحنی A در شکل (۴)، مقاومت زمین به صورت صعودی با یک ناحیه تخت در وسط شکل خواهد بود که مقدار ناحیه تخت، اندازه واقعی مقاومت الکتروود اصلی می باشد. در شرایطی که فاصله DC کمتر از مقدار مناسب باشد، نمودار مانند منحنی B در شکل (۴) بوده و در این صورت اندازه گیری معتبر نیست. در چنین حالتی باید با افزایش فاصله میل جریان از الکتروود اصلی، تمامی مراحل اندازه گیری را تکرار نمود تا منحنی مناسب حاصل شود.



شکل (۳): اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین به روش افت پتانسیل کلاسیک



شکل (۴): منحنی های مقاومت-فاصله در روش افت پتانسیل کلاسیک

### ۷-۱-۱- نکات اجرایی

۱) فاصله مناسب جهت کوبیدن میل جریان باید به گونه ای انتخاب شود که حوزه مقاومتی آن با حوزه مقاومتی الکتروود زمین تداخل نداشته باشد. توصیه می شود این فاصله از ۵ برابر بزرگترین بعد الکتروود زمین کوچک تر نباشد.

۲) توصیه می شود الکتروود زمین، میل جریان و میل ولتاژ در یک راستا و به صورت خطی چیدمان شوند.

۳) در صورت وجود موانع و فراهم نبودن فاصله کافی جهت کوبیدن میل ها در یک راستا، مطابق شکل (۹) چیدمان میل ها می تواند به صورت مثلثی اجرا شود.

۴) برای اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین گسترده که نیاز به استفاده از سیم های بلند برای اتصال به میل های جریان و ولتاژ و در نتیجه احتمال بروز خطای ناشی از تداخل الکترومغناطیسی وجود دارد و همچنین در مواردی که محدودیت هایی در کوبیدن میل ولتاژ در چیدمان خطی میل ها به وجود آید، توصیه می شود از روش تست

$90^{\circ}/180^{\circ}$  استفاده شود که در بخش ۷-۴ توضیح داده شده است.

۵) برای بهبود کیفیت آزمون اندازه گیری مقاومت پیشنهاد می شود مقداری آب نمک در اطراف میل جریان و میل ولتاژ به خاک ریخته شود. توجه شود که این عمل برای الکتروود زمین تحت آزمون ممنوع می باشد.

۶) سیم های رابط بین دستگاه و میل ها باید به طور کامل از روی قرقره ها باز شوند و به صورت باز شده روی زمین رها شوند (دقت شود که سیم های رابط تشکیل حلقه ندهند).

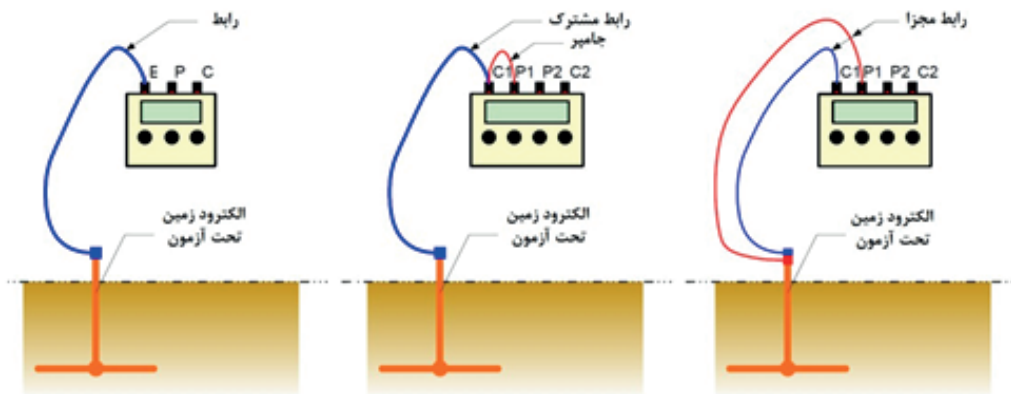
### ۷-۱-۲- نحوه اتصال دستگاه ارت سنج

اتصال دستگاه به میل های ولتاژ و جریان و الکتروود اصلی به دو شکل امکان پذیر است:

**الف -** روش چهارسیمه: در این روش ترمینال های P1 و C1 با دو سیم مجزا به الکتروود اصلی متصل شده و P2 و C2 هم به ترتیب به میل های ولتاژ و جریان وصل می شوند. این روش در دستگاه های سه ترمیناله (سه سیمه) قابلیت اجرا ندارد.

**ب -** روش سه سیمه: در این روش ترمینال های P1 و C1 به کمک رابط (یا جامپر) به هم متصل شده و توسط یک سیم مشترک به الکتروود اصلی و P2 و C2 هم به ترتیب به میل های ولتاژ و جریان وصل می شوند. در برخی دستگاه های ارزان قیمت ترمینال های P1 و C1 در داخل دستگاه به هم متصل شده و معمولاً E نام گذاری می شود. چنین دستگاه هایی قابلیت اندازه گیری به روش چهارسیمه را ندارند.

تفاوت مهم این دو روش در این است که در روش سه سیمه، مقاومت سیم رابط الکتروود اصلی در مقدار مقاومت اندازه گیری، وارد شده و زمانی که مقاومت الکتروود اصلی، کوچک باشد ممکن است ایجاد خطا کند. بنابراین می توان گفت در روش اندازه گیری سه سیمه، بهتر است دستگاه ارت سنج در نزدیکی الکتروود زمین قرار گیرد. تفاوت اتصالات این روش ها در شکل زیر آمده است.



شکل (۵): انواع روش های اتصال (سه سیمه یا چهارسیمه) دستگاه ارت سنج به الکتروود تحت آزمون (در این شکل، اتصال P۲ یا P به میل ولتاژ و C۲ یا C به میل جریان نشان داده نشده است.)

### ۷-۱-۳- اعتبارسنجی اندازه گیری

در صورتی که منحنی مقاومت-فاصله دارای شکل طبیعی خود بوده و دارای ناحیه تخت (یا شیب اندک) باشد، اندازه گیری به درستی انجام شده و مقدار مقاومت در ناحیه تخت به عنوان مقاومت الکتروود زمین مورد آزمایش منظور خواهد شد.

در صورت عدم حصول ناحیه تخت و شیب دار بودن منحنی در وسط شکل، باید با افزایش فاصله میل جریان، اندازه گیری را تکرار نمود. وجود شکل غیرطبیعی در نمودار می تواند ناشی از اثر فلزات مدفون در خاک مانند لوله های تأسیسات باشد. در این حالت باید مسیر کوبیدن میل های ولتاژ و جریان را تغییر داد.

گاهی نیز شکل غیرطبیعی منحنی ناشی از وجود جریان های سرگردان در خاک و ناتوانی دستگاه اندازه گیری در حذف آنها می باشد که در این صورت می توان منابع نویز را با قطع برق تأسیسات و یا ماکول نمودن اندازه گیری به زمان دیگر و یا استفاده از دستگاهی با فیلتر قوی تر به طور کامل از بین برد و یا کاهش داد.

### ۷-۱-۴- ساده سازی روش افت پتانسیل

تعدد نقاط اندازه گیری و ترسیم دقیق نمودار مقاومت-فاصله در روش افت پتانسیل نیاز به صرف زمان زیادی دارد و در برخی موارد نیز رسیدن به ناحیه تخت به علت محدودیت های فضا و یا اجرا، امکان پذیر نیست. در این گونه موارد از روش های ۰.۵٪، ۶۲٪ و شیب که هر سه بر مبنای روش پایه افت پتانسیل هستند، استفاده می شود.

### ۷-۲- روش افت پتانسیل - ۶۲٪

این روش اندازه گیری، مبتنی بر این قاعده است که در روش افت پتانسیل، مقدار واقعی مقاومت الکتروود زمین تحت آزمون هنگامی به دست می آید که فاصله میل ولتاژ تا الکتروود زمین برابر با  $\frac{61}{8}\%$  (تقریباً ۶۲ درصد) فاصله میل جریان تا الکتروود زمین باشد. البته کماکان صحت این روش منوط بر مناسب بودن فاصله بین میل جریان و الکتروود تحت آزمون است. برای اجرای این روش مراحل زیر باید انجام شوند:

- ۱) الکتروود زمین تحت آزمون اندازه گیری از مابقی سیستم به طور کامل جدا و ایزوله شود.
- ۲) میل جریان دستگاه آزمون در فاصله مناسبی از الکتروود زمین کوبیده شود.
- ۳) میل ولتاژ در فاصله ای برابر با ۲۶٪ فاصله بین الکتروود زمین و میل جریان نسبت الکتروود زمین کوبیده شود.

۴) مقدار نشان داده شده توسط دستگاه آزمون خوانده و ثبت شود.

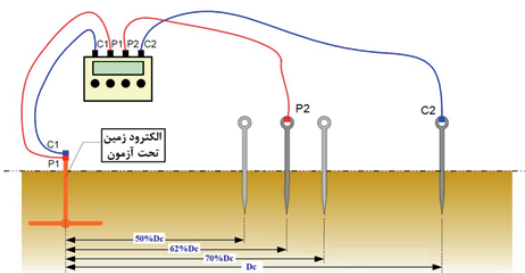
۵) برای بررسی صحت مقدار قرائت شده در گام قبلی، میل ولتاژ یک بار در فاصله ۵۰٪ و بار دیگر در فاصله ۷۰٪ کوبیده شده و دو عدد دیگر خوانده شود. چنانچه هر دو مقدار به دست آمده در این آزمون ها نسبت به مقدار خوانده شده در فاصله ۲۶٪ بیش از ۵٪ تفاوت نداشته باشد، آنگاه مقاومت اندازه گیری شده در فاصله ۶۲٪ به عنوان مقدار مقاومت الکتروود زمین منظور می گردد. در صورت اختلاف بیش از ۵٪، میل جریان باید در فاصله ای دورتر نسبت به حالت قبل جابه جا شده و گام های ۳ و ۴ تکرار شود.

### تذکره ۱- کلیه مندرجات نکات اجرایی روش افت پتانسیل کلاسیک

(بخش ۷-۱) باید در روش ۲۶٪ نیز مورد توجه قرار گیرد.

### تذکره ۲- فاصله پیشنهادی مناسب، بین میل جریان و یک الکتروود

زمین منفرد حدود ۵۰ متر است. این فاصله، بین میل جریان و مرکز یک الکتروود زمین گسترده از جدول (۱) به دست می آید.



شکل (۶): اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین به روش افت پتانسیل ۲۶٪

جدول (۱): فاصله پیشنهادی مناسب برای میل جریان در روش ۶۲٪

برای الکترودهای گسترده با ابعاد مختلف بر حسب متر براساس توصیه استاندارد BS ۷۴۳۰

فاصله میل جریان از مرکز الکتروود زمین گسترده	حداکثر بعد الکتروود زمین* تحت آزمایش
۱۰۰	۵
۱۵۰	۱۰
۲۰۰	۲۰

\*منظور از حداکثر بعد الکتروود زمین، فاصله بین دورترین نقاط آن الکتروود است.

**یادآوری:** در برخی از مراجع و همچنین توصیه سازندگان دستگاه های ارت سنج به روش افت پتانسیل ۵۰٪ اشاره شده است. مراحل اجرای کار در این روش مشابه با روش ۶۲٪ بوده و تنها تفاوت در انتخاب فاصله میل ولتاژ از مرکز الکتریکی سیستم زمین بوده که به جای ۶۲٪، میل ولتاژ باید در فاصله ۰۵٪ مستقر شود. به عبارت دیگر میل ولتاژ دقیقاً در وسط فاصله DC کوبیده شده و مقاومت زمین مانند روش افت پتانسیل کلاسیک، توسط دستگاه، اندازه گیری می شود. سپس میل ولتاژ به دو نقطه با فاصله ۱۰٪ DC از نقطه وسط به طرفین جابه جا شده (در فواصل ۴۰٪ DC و ۶۰٪ DC از الکتروود اصلی کوبیده می شود) و دو عدد دیگر برای مقاومت به دست می آید. اگر این دو عدد حداکثر ۵٪ با مقاومت وسط اختلاف داشته باشند، این اندازه گیری معتبر خواهد بود و میانگین این سه عدد به عنوان مقاومت الکتروود منظور می گردد.

### ۷-۳- روش افت پتانسیل - شیب

این روش زمانی ب هکار می رود که:

(۱) امکان ایجاد فاصله کافی بین الکتروود اصلی و میل جریان فراهم نبوده و قسمت تخت منحنی قابل دستیابی نیست.

(۲) مرکز الکتریکی مؤثر سیستم زمین، قابل تشخیص نیست.

(۳) الکتروود زمین از نوع گسترده با مقاومت کوچک است. در چنین حالتی روش های دیگر به دلیل خطای اندازه گیری زیاد، قابل استفاده نیستند

مراحل انجام کار در این روش به شرح زیر است:

(۱) میل جریان در فاصله هر چه دورتر (حداکثر مقدار ممکن با توجه به محدودیت های عملیاتی) از الکتروود زمین مستقر شود (این فاصله با DC نمایش داده می شود).

(۲) میل ولتاژ در سه نقطه مختلف در فواصل  $0.4DC$ ،  $0.2DC$  و  $0.1DC$  کوبیده شده و به ترتیب مقاومت های  $1R_2$ ،  $R$  و  $3R$  خوانده می شود. (شبهه به شکل (۶) ولی با فواصل فوق)

$$\mu = \frac{R_3 - R_2}{R_2 - R_1}$$

(۳) این مقادیر در فرمول زیر قرار گرفته و مقدار  $\mu$  به دست می آید:

(۴) با قراردادن مقدار  $\mu$  در جدول (۲)، نسبت  $DP/DC$  به دست می آید. که  $DP$  فاصله

میل ولتاژ تا الکتروود زمین است.

(۵) با داشتن نسبت  $DP/DC$  و دانستن  $DC$  مقدار  $DP$  بدست می آید.

جدول (۲): ضرایب روش شیب

$\mu$	Dp/Dc	$\mu$	Dp/Dc	$\mu$	Dp/Dc
0.40	0.643	0.80	0.580	1.20	0.494
0.41	0.642	0.81	0.579	1.21	0.491
0.42	0.640	0.82	0.577	1.22	0.488
0.43	0.639	0.83	0.575	1.23	0.486
0.44	0.637	0.84	0.573	1.24	0.483
0.45	0.636	0.85	0.571	1.25	0.480
0.46	0.635	0.86	0.569	1.26	0.477
0.47	0.633	0.87	0.567	1.27	0.474
0.48	0.632	0.88	0.566	1.28	0.471
0.49	0.630	0.89	0.564	1.29	0.468
0.50	0.629	0.90	0.562	1.30	0.465
0.51	0.627	0.91	0.560	1.31	0.462
0.52	0.626	0.92	0.558	1.32	0.458
0.53	0.624	0.93	0.556	1.33	0.455
0.54	0.623	0.94	0.554	1.34	0.452
0.55	0.621	0.95	0.552	1.35	0.448
0.56	0.620	0.96	0.550	1.36	0.445
0.57	0.618	0.97	0.548	1.37	0.441
0.58	0.617	0.98	0.546	1.38	0.438
0.59	0.615	0.99	0.544	1.39	0.434
0.60	0.614	1.00	0.542	1.40	0.431
0.61	0.612	1.01	0.539	1.41	0.427
0.62	0.610	1.02	0.537	1.42	0.423
0.63	0.609	1.03	0.535	1.43	0.418
0.64	0.607	1.04	0.533	1.44	0.414
0.65	0.606	1.05	0.531	1.45	0.410
0.66	0.604	1.06	0.528	1.46	0.406
0.67	0.602	1.07	0.526	1.47	0.401
0.68	0.601	1.08	0.524	1.48	0.397
0.69	0.599	1.09	0.522	1.49	0.393
0.70	0.597	1.10	0.519	1.50	0.389
0.71	0.596	1.11	0.517	1.51	0.384
0.72	0.594	1.12	0.514	1.52	0.379
0.73	0.592	1.13	0.512	1.53	0.374
0.74	0.591	1.14	0.509	1.54	0.369
0.75	0.589	1.15	0.507	1.55	0.364
0.76	0.587	1.16	0.504	1.56	0.358
0.77	0.585	1.17	0.502	1.57	0.352
0.78	0.584	1.18	0.499	1.58	0.347
0.79	0.582	1.19	0.497	1.59	0.341



۶) با کوبیدن میل ولتاژ در نقطه DP مقاومت الکتروود زمین اندازه گیری و به عنوان نتیجه در نظر گرفته می شود.

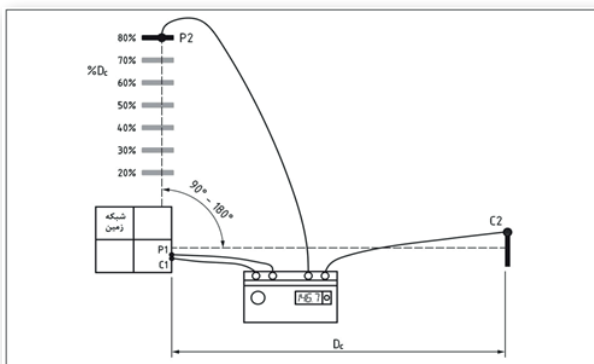
۷) در صورتی که مقدار  $\mu$  بدست آمده از مرحله ۳ در جدول موجود نباشد، شیب منحنی بیش از حد مجاز بوده و لازم است DC را افزایش داده و مراحل فوق را تکرار نمود.

### ۷-۴- تکنیک آزمون ۱۸۰°/۹۰°

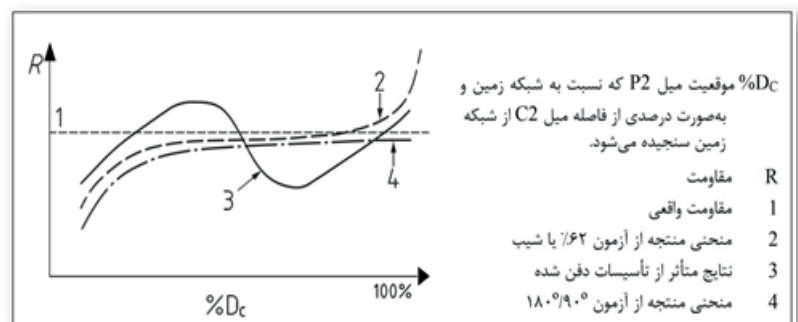
این تکنیک معمولاً برای اعتبارسنجی روش های شیب و ۶۲٪ از طریق مقایسه نتایج حاصله به کار می رود. دستگاه ارت سنج و میل ها باید مطابق شکل (۷) پیکربندی گردد.

در این روش، میل جریان C۲ در فاصله مناسبی از سیستم تحت آزمون (DC) و میل ولتاژ با زاویه ۹۰° یا ۱۸۰° نسبت به راستای استقرار میل جریان کوبیده می شود و چند اندازه گیری در فواصل مختلف (برای میل ولتاژ) مانند ۰٫۶DC ، ۰٫۴DC ، و ۰٫۸DC انجام میگیرد (DC همان فاصله میل جریان تا سیستم تحت آزمون است). نموداری که ترسیم می شود به مانند منحنی ۴ در شکل (۸) می باشد و باید به سمت مقدار واقعی مقاومت میل کند ولی هرگز به این مقدار نخواهد رسید. از طریق برون یابی برای نقطه DC می توان مقدار واقعی مقاومت الکتروود تحت آزمون را تخمین زد.

**توجه:** اجرام فلزی یا کابل های مدفون در خاک می توانند با ایجاد تغییرات جدی در شکل نمودار، آزمون را به سوی نتایج اشتباه سوق دهند. یکسانی نتایج حاصل از اندازه گیری به کمک تکنیک ۱۸۰°/۹۰° با اندازه گیری به شیوه معمول (کوبیدن میل های ولتاژ و جریان در امتداد یک خط راست) در هر یک از روش های شیب یا ۶۲٪ بیانگر صحت این آزمون ها می باشد.



شکل (۷) آزمون ۱۸۰°/۹۰°

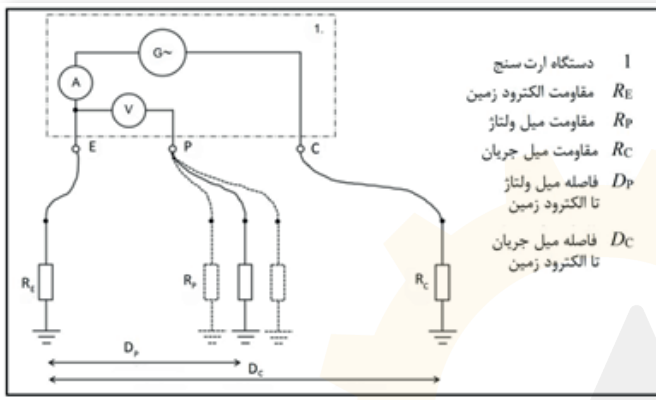


شکل (۸) نتایج آزمون ۱۸۰°/۹۰° نوعی

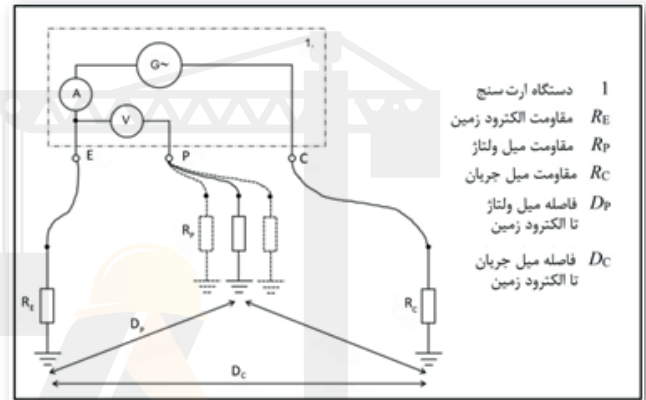
### ۷-۰- تکنیک چیدمان مثلثی

معمولاً میل های ولتاژ و جریان مانند شکل (۹) در امتداد یک خط راست کوبیده شده و اندازه گیری انجام می شود. در صورتی که به دلیل محدودیت های مختلفی که در فضاهای شهری وجود دارد، امکان میل کوبی در امتداد یک خط راست وجود نداشته باشد، می توان میل ها مانند شکل (۱۰) را در یک چیدمان مثلثی کوبیده و اندازه گیری را انجام داد.

**تذکر:** در چیدمان مثلثی زاویه بین دو راستای  $D_p$  و  $D_c$  نباید زیاد باشد زیرا در صورتی که این زاویه در چیدمان مثلثی به سمت  $90^\circ$  نزدیک شود باید نکات مربوطه را از بخش ۷-۴ در نظر گرفت و مقدار  $D_p$  باید به  $D_c$  نزدیک باشد.



شکل ۹) چیدمان الكترودها به صورت خطی



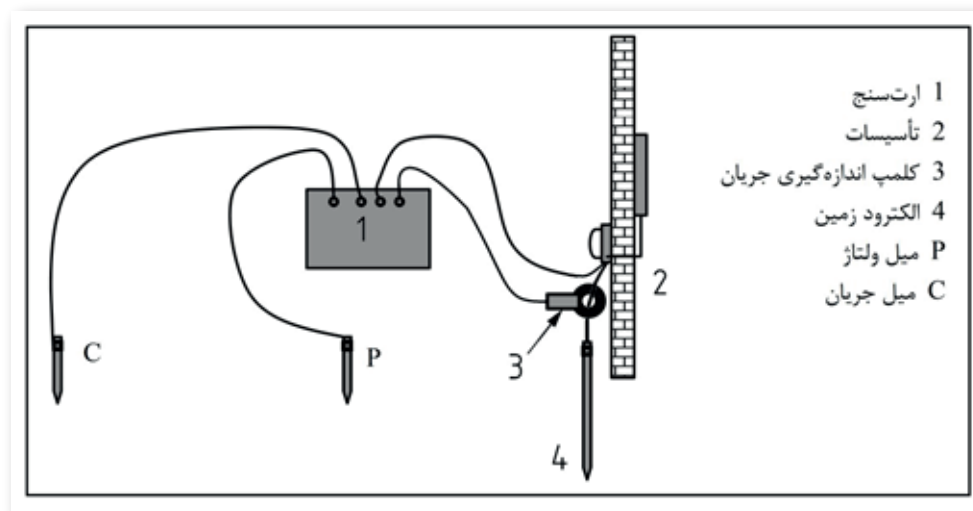
شکل ۱۰) چیدمان الكترودها به صورت مثلثی

### ۷-۶- تکنیک الكترود متصل

با توجه به اینکه آمپرمترهای درونی دستگاه های ارت سنج، کل جریان خارج شده از دستگاه را می خوانند لذا پیش از اقدام به اندازه گیری مقاومت یک الكترود زمین، بایستی آن را از سیستم زمین جدا نمود تا کل جریان آزمون از الكترود موردنظر عبور کرده و مقاومت همان الكترود اندازه گیری شود وگرنه مقاومت کل سیستم زمین خوانده می شود.

برای رفع این مشکل و اندازه گیری بدون نیاز به جداکردن الكترود تحت آزمون، بعضی از دستگاه های ارت سنج، مجهز به یک آمپرمتر کلمپی (چنگکی) هستند که روی الكترود تحت تست قرار داده شده و مطابق شکل (۱۱) توسط یک سیم رابط به دستگاه وصل می شود. در حقیقت این آمپرمتر جایگزین آمپرمتر درونی دستگاه می گردد.

شکل ۱۱) نتایج آزمون ۱۸۰°/۹۰° نوعی



سه ترمینال دیگر این دستگاه مشابه روش افت پتانسیل کلاسیک به الکتروود آزمون و میل های ولتاژ و جریان وصل می شود. با توجه به محل استقرار آمپر متر کلمپی فقط جریان آزمون عبوری از الکتروود مورد نظر خوانده شده و اندازه گیری مقاومت آن مشابه یکی از روش های افت پتانسیل کلاسیک، ۶۲٪ یا ۵۰٪ ولی بدون نیاز به جدا کردن الکتروود از سامانه زمین امکان پذیر می گردد.

توجه به این نکته ضروری است که جدا کردن یک الکتروود زمین از تأسیسات برق دار با هدف اندازه گیری مقاومت آن، می تواند خطراتی را برای سیستم به وجود آورد (این موضوع در مورد تمامی تأسیساتی که دارای فقط یک الکتروود زمین هستند و یا پایین بودن مقاومت سیستم زمین، متکی به الکتروود مورد نظر است، صدق می کند) در چنین وضعیت هایی تکنیک "الکتروود متصل" می تواند راه گشای حل مشکل باشد.

یکی دیگر از مزایای این روش به خاطر عدم نیاز به جداسازی الکتروود، تسریع و تسهیل در اندازه گیری است.

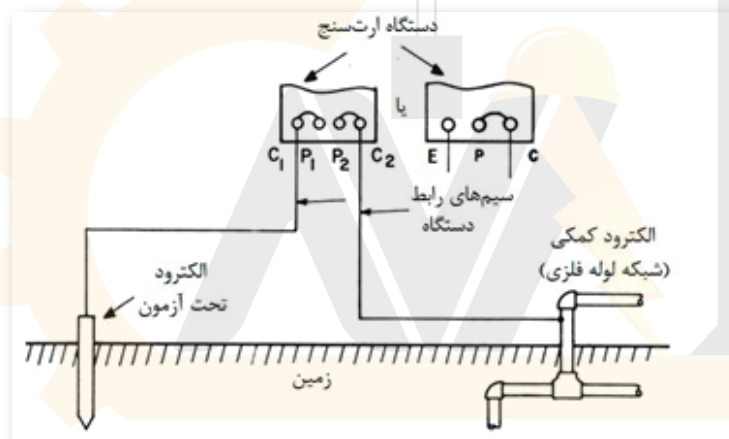
## ۸- روش های بدون میل

ویژگی مشترک این روش ها عدم نیاز به میل کوبی و در نتیجه سرعت و سهولت اندازه گیری است، هرچند محدودیت های زیادی برای استفاده از آنها وجود دارد و حتماً باید با رعایت شرایط و در موارد خاص استفاده شود.

### ۸-۱-۱- روش دو نقطه ای

در این روش علاوه بر الکتروود زمین تحت آزمون، یک الکتروود زمین کمکی نیز مورد نیاز است. نتیجه اندازه گیری هم حاصل جمع مقاومت هر دو الکتروود فوق می باشد. با توجه به اینکه مقدار اندازه گیری شده به عنوان مقاومت الکتروود تحت آزمون منظور می گردد در این روش بایستی مقاومت الکتروود کمکی در برابر مقاومت الکتروود تحت آزمون، ناچیز باشد.

به عنوان مثال یکی از کاربردهای این روش، اندازه گیری مقاومت یک الکتروود زمین با کمک سامانه زمین شبکه توزیع برق است (هادی PEN شبکه توزیع برق). به طور معمول امپدانس سامانه زمین یک شبکه توزیع ه دلیل داشتن تعداد زیادی الکتروود زمین، اندک است (از مقاومت تک تک الکتروودها خیلی کمتر است) بنابراین استفاده از این سامانه زمین می تواند نتایج قابل قبولی را ارائه نماید. مطابق با کاتالوگ سازنده، اتصالات لازم به الکتروود آزمون و الکتروود کمکی انجام و اندازه گیری انجام می شود. (شکل (۱۱))



شکل (۱۱): اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین به روش دو نقطه ای

### ۸-۱-۱- محدودیت ها، مزایا و کاربرد

آشکار است که این روش برای اندازه گیری سامانه های کم مقاومت، می تواند در بردارنده خطاهای بزرگی باشد. ضمناً اگر الکتروود تحت آزمون در محدوده الکتروود کمکی قرار گرفته باشد، آنگاه تداخل نواحی مقاومتی دو الکتروود می تواند منشأ خطای قابل توجهی گردد. لذا این روش، تنها در مواردی مفید است که کل نیاز ما، انجام آزمونی از نوع رد/ قبول ۱۳ باشد.

عدم نیاز به میل کوبی موجب سرعت و سهولت اجرای این روش می گردد.

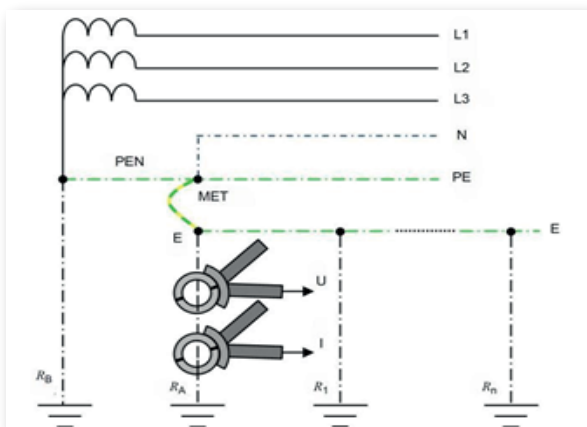
### ۸-۱-۲- اعتبارسنجی اندازه گیری

در این روش امکان اعتبار سنجی و اطمینان از صحت نتایج اندازه گیری وجود ندارد که از معایب بزرگ این روش است.

### ۸-۲- روش تزریق جریان کلمپی

این روش ذاتاً مشابه روش دو نقطه ای است و محدودیت ها و کاربردهای همان روش را داشته و مانند آن، امکان اعتبارسنجی نتایج آزمون وجود ندارد. اجرای آن نیز شبیه روش دو نقطه ای می باشد، تنها تفاوت این است که در این روش نیازی به جدا کردن الکتروود تحت آزمون از سامانه زمین نیست. بنابراین علاوه بر سهولت و سرعت بیشتر در اجرای کار، مزایای متصل ماندن الکتروود تحت آزمون به سامانه زمین را نیز داراست.

در این روش از دستگاه های ارت سنج مخصوصی استفاده می شود که معمولاً دو کلمپ دارند و این دو کلمپ توسط دو سیم رابط به دستگاه وصل می شوند. روش اندازه گیری به این شکل است که این دو کلمپ به فاصله مشخصی از هم که در کاتالوگ دستگاه ذکر شده (معمولاً حدود ۳۰ سانتی متر) به مانند شکل (۲۱) روی هادی اتصال زمین مورد نظر، حلقه میشوند. ولتاژ معینی توسط کلمپ اول در هادی اتصال زمین القاء شده و سپس جریان جاری شده در مدار توسط کلمپ دوم اندازه گیری می شود. آنگاه مقاومت کل مدار توسط دستگاه محاسبه شده و روی نمایشگر نشان داده می شود. مقدار این مقاومت برابر با مقاومت  $R_A$ ، سری با موازی شده سایر مقاومت ها است که برای کاهش خطا باید معادل موازی این مقاومت ها خیلی از  $R_A$  کوچک تر باشد (مانند روش دو نقطه ای). ضمن اینکه خطای این روش ب هعلت ویژگی های دستگاه خصوصاً فرکانس بالای اندازه گیری (معمولاً بین ۱KHz تا ۳/۴KHz) بیشتر از روش دو نقطه ای است.



شکل (۱۲): اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین به

روش تزریق جریان کلمپی

**توضیح:** در برخی از دستگاه های ارت سنج مخصوص این روش، دو کلمپ بصورت واحد درآمده و در یک کلمپ جاسازی شده اند. این کلمپ هر دو وظیفه القاء ولتاژ و اندازه گیری جریان را انجام می دهد.

### ۸-۳- روش سه نقطه ای

اجرای این روش اندازه گیری، نیازمند دسترسي همزمان به دو الكتروود كمكي است. در این روش مقاومت الكتروود تحت آزمون و الكتروودهای كمكي با استفاده از روش دونقطه ای یا روش تزریق جریان كلمپي، به صورت دو به دو اندازه گیری شده و نتایج ثبت مي گردد. اگر مقاومت الكتروود تحت آزمون را  $r_1$  و الكتروودهای كمكي را به ترتیب  $r_2$  و  $r_3$  بنامیم آنگاه با اندازه گیری مقاومت های هر جفت از الكتروودها مقادیر  $r_{12}$ ،  $r_{13}$  و  $r_{23}$  به دست مي آید:

$$r_{12} = r_1 + r_2, \quad r_{13} = r_1 + r_3, \quad r_{23} = r_2 + r_3$$

با قراردادن مقادیر حاصل از اندازه گیری در رابطه زیرمقدار مقاومت الكتروود تحت آزمون  $r_1$  بدست مي آید:

$$r_1 = \frac{(r_{12}) + (r_{13}) - (r_{23})}{2}$$

$$r_2 = \frac{(r_{12}) + (r_{23}) - (r_{13})}{2}$$

$$r_3 = \frac{(r_{13}) + (r_{23}) - (r_{12})}{2}$$

مقدار مقاومت های  $r_2$  و  $r_3$  نیز به طور مشابه قابل محاسبه است:

توجه شود که نباید مقدار مقاومت های  $r_2$  و  $r_3$  در حد قابل توجهی بزرگ تر از  $r_1$  باشند. در غیر این صورت خطای قابل ملاحظه ای در اندازه گیری رخ مي دهد.

از طرف دیگر این سه الكتروود بایستی فاصله کافی از یکدیگر داشته باشند (خارج از حوزه مقاومتی یکدیگر باشند)، در غیر این صورت مقدار بعضی مقاومت ها صفر یا منفی به دست مي آید.

این ضرورت ها نشان مي دهد که این روش برای اندازه گیری مقاومت های زمین کوچک، مناسب نیست زیرا یافتن یا ایجاد الكتروودهای كمكي با مقاومت کم امکان پذیر نیست و با توجه به اینکه معمولاً الكتروودهای با مقاومت کم، حوزه مقاومتی وسیعی دارند، حتی در صورت وجود، به علت تداخل حوزه آنها قابل استفاده نیستند.

روش سه نقطه ای به دلیل مقایسه نتایج اندازه گیری مقاومت الكتروود تحت آزمون با دو الكتروود كمكي، مطمئن تر از روش های دو نقطه ای و تزریق جریان كلمپي است.

## ۹ - روش امیدانس حلقه

در این روش مطابق با استاندارد IEC60364-6:2016 اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین باید با استفاده از دستگاه آزمون امیدانس حلقه انجام شود. مراحل انجام این آزمون به شرح زیر است:

(۱) ابتدا توصیه می شود به کمک قطع کلیدهای مینیاتوری یا کلیدهای کمپکت تابلوهای اصلی، تأسیسات داخلی به طور کامل بی برق شود.

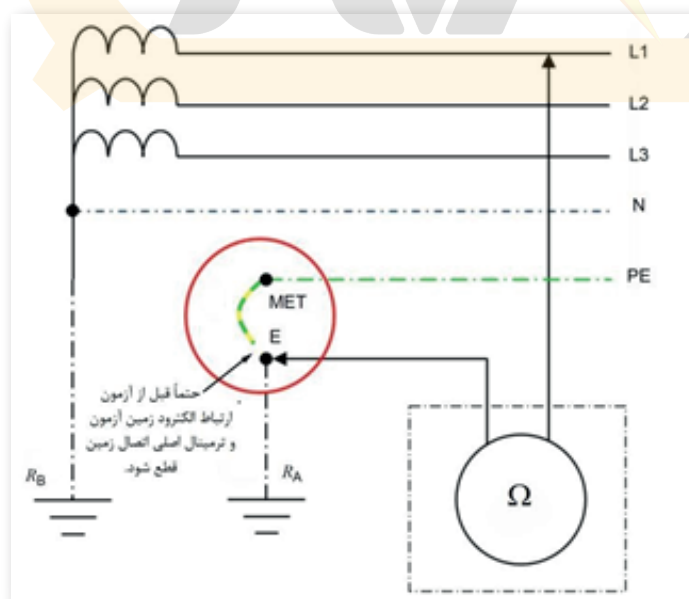
(۲) ارتباط الکتریکی بین الکتروود زمین آزمون و شینه اصلی اتصال زمین (MET) به طور موقت قطع شود.

(۳) دستگاه آزمون امیدانس حلقه، بین یک هادی برق دار در تابلو اصلی و الکتروود زمین آزمون متصل گردد.

(۴) نحوه سیم بندی آزمون مطابق شکل (۱۳) و با در نظر گرفتن توصیه های سازنده دستگاه انجام شود.

(۵) در این روش، امیدانس یک حلقه شامل امیدانس هادی فاز، سیم پیچ ترانسفورماتور و مقاومت معادل نوترال شبکه (شامل مقاومت موازی شده اتصال زمین های مکرر در شبکه توزیع و اتصال زمین نقطه خنثی ترانسفورماتور) به صورت سری با مقاومت الکتروود زمین آزمون، اندازه گیری می شود. با فرض کوچک بودن مقاومت های سری با الکتروود زمین آزمون، مقدار قرائت شده توسط دستگاه با تقریب قابل قبولی نشان دهنده مقاومت الکتروود زمین خواهد بود.

(۶) به این نکته مهم توجه شود که بعد از پایان تست و قبل از برق دار کردن تأسیسات داخلی، اتصال الکتروود زمین به شینه اصلی اتصال زمین (MET) مجدداً برقرار گردد.



شکل (۳۱): اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین با استفاده از دستگاه آزمون امیدانس حلقه

## ۱۰- انتخاب روش اندازه گیری

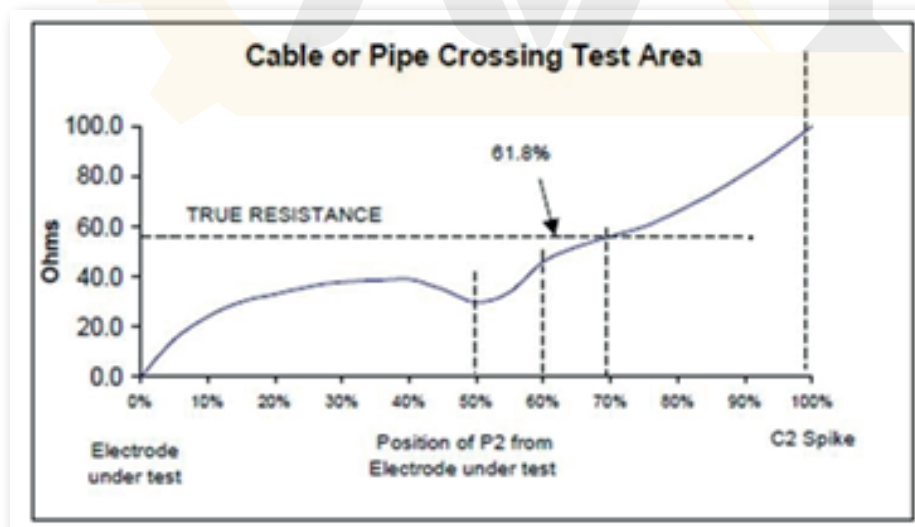
روش های افت پتانسیل کلاسیک و ۶۲٪ را می توان برای اندازه گیری هر نوع الکتروود زمین به کار برد. در صورتی که به دلیل گستردگی حوزه مقاومتی یک الکتروود و محدودیت فضای میل کوبی نتوان نمودار بدون شیب (یا با شیب اندک) به دست آورد، می توان از روش شیب استفاده کرد و در صورتی که روش شیب نیز قابل اجرا نباشد، می توان یکی از روش های سه نقطه ای، آزمون امپدانس حلقه، دو نقطه ای یا تزریق جریان کلمپی را با رعایت شرایط هر روش استفاده نمود.

## ۱۱- عوامل ایجاد خطا در اندازه گیری

عوامل متعددی ممکن است باعث ایجاد خطا در اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین شوند که در ادامه به مهم ترین آنها اشاره می شود. این عوامل عبارتند از:

### ۱۱-۱- اجرام فلزی مدفون در خاک:

اجرام فلزی مدفون در خاک که در راستای میل کوبی اندازه گیری قرار گرفته اند، می توانند خطای قابل توجهی در نتایج اندازه گیری به بار آورند. همان طور که در شکل زیر دیده می شود مقدار مقاومت واقعی با مقادیر خوانده شده در روش ۵۰٪ و ۲۶٪ تفاوت زیادی دارد.



شکل (۳۱): اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین با استفاده از دستگاه آزمون امپدانس حلقه

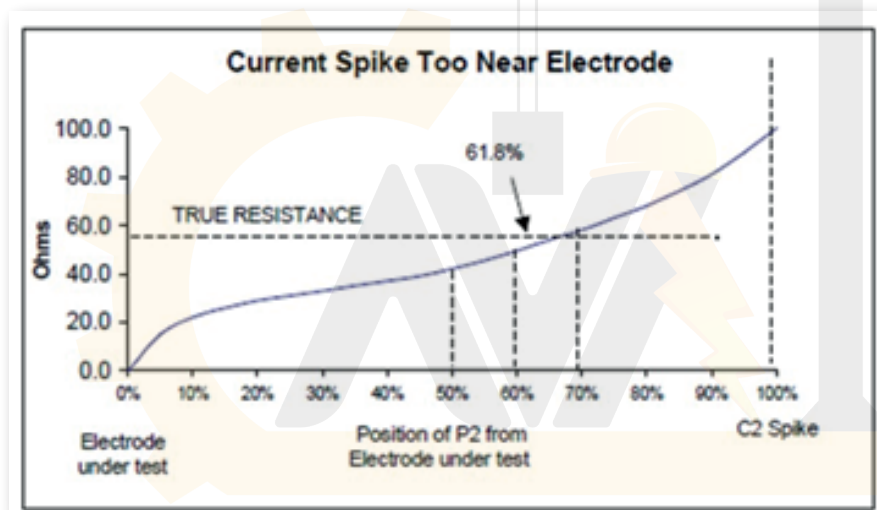


### ۱۱-۲- جریان های سرگردان :

جریان های سرگردان در خاک می توانند ناشی از منابع مختلف AC یا DC باشند (مانند حفاظت کاتدی، شبکه تغذیه ناوگان قطار برقی، نشت مقره و برق گیرهای خطوط انتقال، جریان های نامتعادل شبکه سه فاز در هادی خنثی). هر نوع جریان سرگردان در خاک ممکن است با جریان تزریق شده از دستگاه ارت سنج تداخل نماید و این تداخل می تواند باعث ایجاد خطا در نتیجه اندازه گیری شود.

### ۱۱-۳- نزدیکی بیش از حد میل جریان به الکتروود زمین آزمون :

عدم رعایت فاصله مناسب برای میل جریان باعث می شود ناحیه تخت در منحنی مقاومت تشکیل نشده و همان طور که در شکل زیر دیده می شود در این حالت مقدار مقاومت واقعی با مقادیر خوانده شده در روش ۵۰٪ و ۶۲٪ تفاوت زیادی خواهد داشت.



شکل (۱۴): ایجاد خطای اندازه گیری ناشی از اثر فلزات مدفون در خاک

### ۱۱-۴- سایر خطاها

- خطای دستگاه های اندازه گیری
- خطاهای اپراتوری
- به کارگیری دستگاه یا روش اندازه گیری نامناسب

## ۱۲- استفاده از کاهش دهنده های موقت

در هر جا که به دلیل بزرگی مقاومت ویژه خاک و محدودیت ابعاد زمین ساختمان و با وجود همه تمهیدات از جمله استفاده از بنتونیت و سایر کاهش دهنده های دائمی، نتوان مقاومت الکترودهای زمین را در حد مطلوب کاهش داد، استفاده از کاهنده های موقت مختلف از جمله آبیاری منظم با آب و یا تزریق مواد شیمیایی به خاک با رعایت موارد زیر مجاز است:

(الف) برنامه مشخصی که شامل همه جزئیات و اطلاعات اجرایی لازم، مانند دوره های آبیاری، نوع و مقدار مواد شیمیایی و ... باشد، در دسترس بهره برداران قرار گیرد.

(ب) استفاده از کاهنده ها به نحوی طرح شده باشد که برای ساختمان و تأسیسات آن زیان آور نباشد.

(ج) تمهیدات اجرایی لازم برای استفاده از کاهنده ها (مانند اجرای لوله آبیاری در نزدیکی الکترودهای زمین) پیش بینی شده باشد.

## ۱۳- گزارش اندازه گیری

یک گزارش اندازه گیری بایستی شامل موارد زیر باشد :

- (۱) نام و نام خانوادگی شخص اندازه گیرنده
- (۲) تاریخ اندازه گیری
- (۳) مشخصات دستگاه اندازه گیری
- (۴) آدرس ساختمان و جانمایی الکترودها
- (۵) شرایط محیطی (خاک و هوا)
- (۶) روش آزمون انتخابی
- (۷) مشخصات و آرایش الکترودها
- (۸) نوع اتصالات
- (۹) کاربری ساختمان و الکترودها
- (۱۰) جداول
- (۱۱) نمودار نتایج اندازه گیری (بسته به روش اندازه گیری)
- (۱۲) نتیجه نهایی اندازه گیری

## ۱۴- اندازه گیری مقاومت ویژه خاک

### ۱۴-۱- روش تك راد

در این روش به مانند شکل (۱۴) يك الكترود میله ای (Rod) تا عمق معینی در زمین کوبیده شده و مقاومت آن به یکی از روش های مناسب و مورد تأیید این دستورالعمل اندازه گیری می شود. سپس الكترود مورد نظر را تا عمق بیشتری در خاک کوبیده و مجدداً اندازه گیری انجام می شود. این کار برای همه عمق های لازم (معمولاً ۵ تا ۱۰ عمق مختلف) تکرار شده و در هر عمق با جایگذاری مقاومت اندازه گیری شده در رابطه زیر، مقدار مقاومت ویژه متوسط برای عمق های مختلف

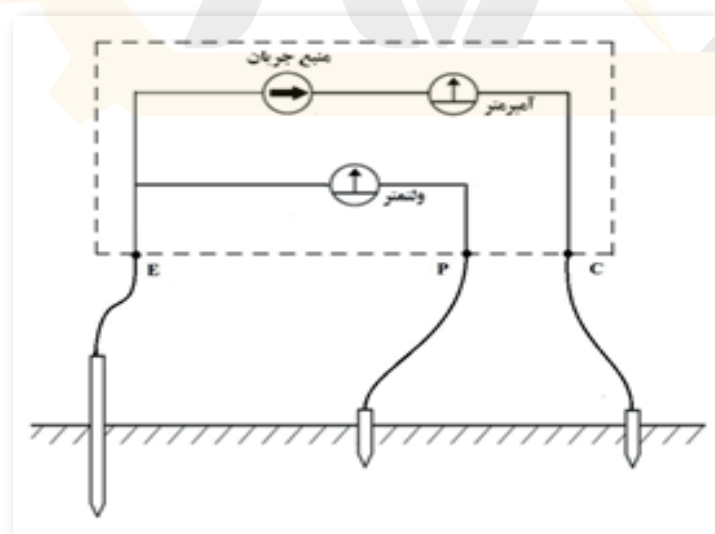
$$\rho = \frac{2\pi R_r L}{\left[ \log_e \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 \right]}$$

محاسبه می شود:

پارامترهای این رابطه عبارتند از:

- Rr مقاومت الكترود میله ای خوانده شده توسط ارت سنج بر حسب اهم ( $\Omega$ )
- L طول کوبیده شده الكترود میله ای در زمین بر حسب متر (m)
- d قطر الكترود میله ای بر حسب متر (m)
- $\rho$  مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم-متر ( $\Omega m$ )

مقاومت های به دست آمده، ساختار الکتریکی خاک را نشان می دهد. این روش به دلیل مشکلات اجرایی از جمله دشواری کوبیدن الكترود در عمق های زیاد، به ندرت به کار برده می شود.



شکل (۱۴): اندازه گیری مقاومت ویژه خاک به روش تك راد

### ۲-۱۴- روش چهار نقطه

در این روش چهار عدد میل در امتداد یک خط راست در زمین کوبیده می شود که همگی با فاصله معین از یکدیگر قرار گرفته اند. یک جریان آزمون I از دستگاه به خاک، بین دو میل بیرونی (میل های جریان) گذرانده می شود و ولتاژ بین دو میل درونی (میل های ولتاژ) به کمک یک ولت متر دارای امپدانس درونی بالا، اندازه گیری می شود. سپس از روی نسبت  $V/I$  مقدار R توسط دستگاه نشان داده می شود.

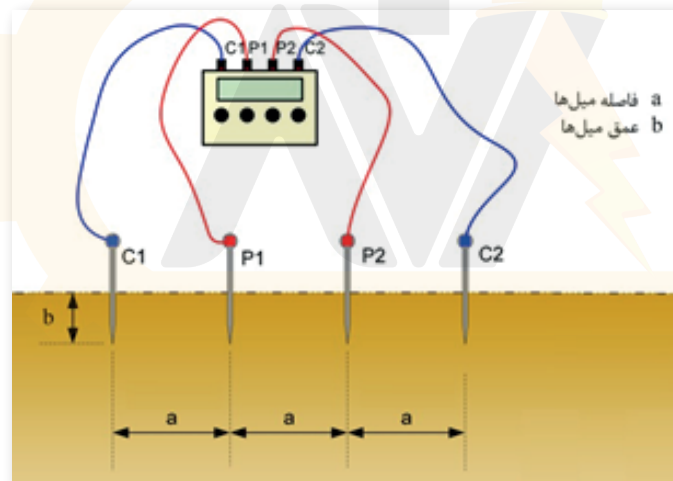
اغلب دو سبک مختلف از روش چهار نقطه به کار می رود که عبارتند از:

الف) روش وئر یا فاصله گذاری مساوی

ب) روش اشلوم برگر-پالمر یا فاصله گذاری نامساوی

### ۱-۲-۱۴- روش وئر

در این روش هر چهار میل اندازه گیری در امتداد یک خط راست، با فاصله مساوی a از یکدیگر و در عمق b کوبیده می شوند و به شکل زیر به ترمینال های یک دستگاه ارت سنج چهارسیمه وصل می شود.



شکل (۱۰): اندازه گیری مقاومت ویژه خاک به روش وئر

پس از اتصال سیم های رابط مقاومت R از دستگاه ارت سنج خوانده شده و از رابطه زیر مقاومت ویژه خاک  $\rho$  متناسب با واحد انتخاب شده برای طول های a و b به دست می آید:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

از نظر تئوری، الکترودها باید دارای تماس نقطه ای با خاک بوده و یا از نیم کره هایی با شعاع b ساخته شوند ولی در عمل چهار عدد

میل به کار برده می شود که برای جلوگیری از بروز خطا بایستی عمق کوبیدن میل ها (b از) ۱۰٪ فاصله آنها (a) بیشتر نشود. در این صورت می توان در رابطه فوق از  $b$  در برابر  $a$  چشم پوشی نمود و از رابطه ساده شده زیر استفاده کرد:

$$\rho = 2\pi aR$$

در این رابطه  $\rho$ ، مقاومت ویژه متوسط خاک از سطح تا عمق  $a$  می باشد. مهم ترین مزیت روش وئر این است که به آسانی با افزایش فاصله بین میل ها در سطح زمین می توان مقاومت ویژه متوسط خاک را تا عمق های زیاد به دست آورد. (عمق خاک  $\equiv a$ )

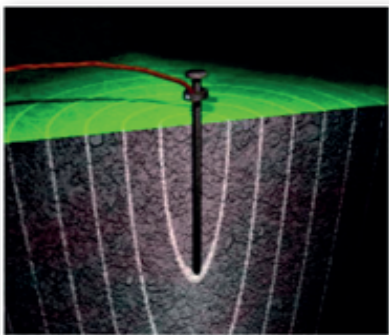
#### ۱۴-۲-۲- روش اشلوم برگر

روش وئر با توجه به کارآمدی آن و با در نظر گرفتن اینکه اغلب دستگاه های ارت سنج موجود فقط همین روش را پشتیبانی می کنند، در بیشتر موارد توصیه می شود، به همین دلیل در این دستورالعمل فقط روش وئر توضیح داده شده است. گرچه در صورت ضرورت می توان با استفاده از دستگاه مناسب از روش های دیگر مانند اشلوم برگر یا اشلوم برگر- پالمر نیز استفاده نمود.

### ۱۰- پیوست : مفاهیم پایه اتصال زمین

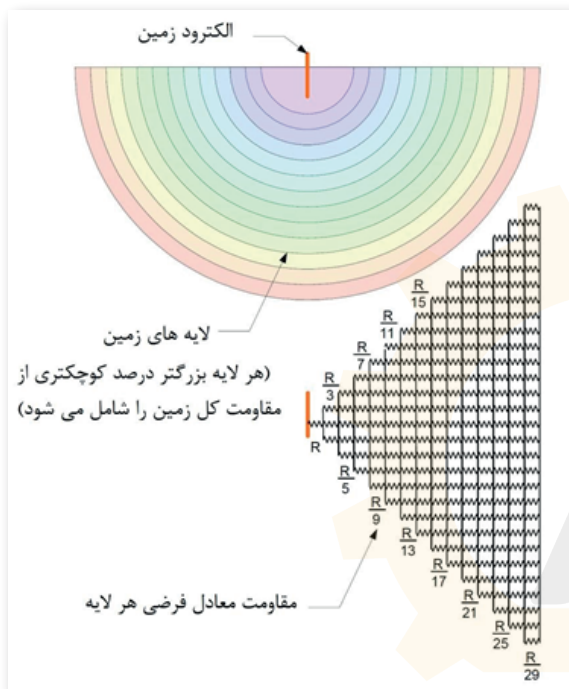
#### ۱۰-۱- شرح حوزه مقاومتی و مفهوم مقاومت سیستم زمین

هرگاه الکترودی که در داخل زمین قرار گرفته به ولتاژی متصل شده و حاملی جریان شود حول آن پوسته های فرضی هم پتانسیلی به مانند شکل (۱۶) تشکیل می شود. براساس قانون عکس مجذور فاصله در الکترومغناطیس انتظار داریم پتانسیل هر پوسته با دور شدن از الکتروود به سرعت کاهش یابد. نهایتاً اگر فاصله کافی از الکتروود گرفته شود عملاً دیگر پتانسیل پوسته ها به صفر می رسد. این منطقه که دیگر اثر وجود پتانسیل یا جریان در الکتروود در آن احساس نمی شود را منطقه هم پتانسیل و ماقبل آن که تأثیر الکتروود محسوس است را منطقه مقاومتی گویند. آنچه مقاومت الکتروود زمین نامیده می شود در واقع مقاومت بین الکتروود و نقطه ای در منطقه هم پتانسیل است.



شکل (۱۶): پوسته های هم پتانسیل اطراف یک الکتروود حامل جریان

مقاومتي که در این حالت اندازه گیری مي شود در واقع برابر است با حاصل جمع مقاومت تعدادی پوسته حول الکتروود که با هم سری شده اند. واضح است که سطح هر پوسته نسبت به پوسته ما قبل افزایش مي یابد و از آنجا که مقاومت با سطح نسبت معکوس دارد رفته رفته به پوسته هايي مي رسيم که نقش زیادی در مقاومت کل ندارند. به بیان دیگر پوسته های نزدیک تر به الکتروود، سطح کمتری داشته و در نتیجه مقاومتشان بیشتر است. و هرچه از الکتروود دور شويم سطح پوسته ها بیشتر و مقاومتشان کمتر میشود. نهایتاً اگر فاصله کافی را تا الکتروود در نظر بگیريم به جايي ميرسيم که لایه ها آنچنان تغییر قابل توجهی در مقاومت نمی دهند. در این حالت مقدار نهایی مقاومت الکتروود حاصل شده و این همان



مقداری است که باید اندازه گیری شود. شکل (۱۷) یک پوسته های هم پتانسیل یک الکتروود زمین و مقاومت معادل این پوسته ها را نشان داده است. اندازه گیری مقاومت زمین در مقایسه با سایر اندازه گیری های الکتریکی از این لحاظ متفاوت است که اندازه گیری روی یک نقطه نیست بلکه در یک حجم انجام می شود. در مجموع مقاومت خاک اطراف الکتروود بیشترین سهم را در مقاومت آن دارد و جنس الکتروود در این مسأله نقش محسوسی ندارد

شکل (۱۷): مدار معادل پوسته های هم پتانسیل طرف یک الکتروود

## ۱۶-مراجع

[۱] راهنمای طرح و اجرای تأسیسات برقی ساختمان ها، دفتر نشر مقررات ملی ساختمان، آلدیک موسسیان-ویرایش ۲۸

[2] IEEE Std 81:2012, IEEE guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a grounding system.

[3] BS +7430:2011A1:2015, Code of practice for protective earthing of electrical installations.

### مجموعه دستورالعمل های گروه تخصصی برق شورای مرکزی (دوره ششم):

**جلد اول:** دستورالعمل طرح و اجرای همبندی اصلی در ساختمان ها

**جلد دوم:** دستورالعمل طرح و اجرای همبندی اضافی در ساختمان ها

**جلد سوم:** دستورالعمل اجرای سیستم زمین در ساختمان ها

**جلد چهارم:** دستورالعمل اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین و مقاومت ویژه خاک

**جلد پنجم:** دستورالعمل سیستم های اتوماسیون و کنترل ساختمان

**جلد ششم:** دستورالعمل ضوابط طراحی و اجرای سیستم های اعلام حریق

**جلد هفتم:** دستورالعمل حفاظت ساختمان ها در برابر صاعقه

