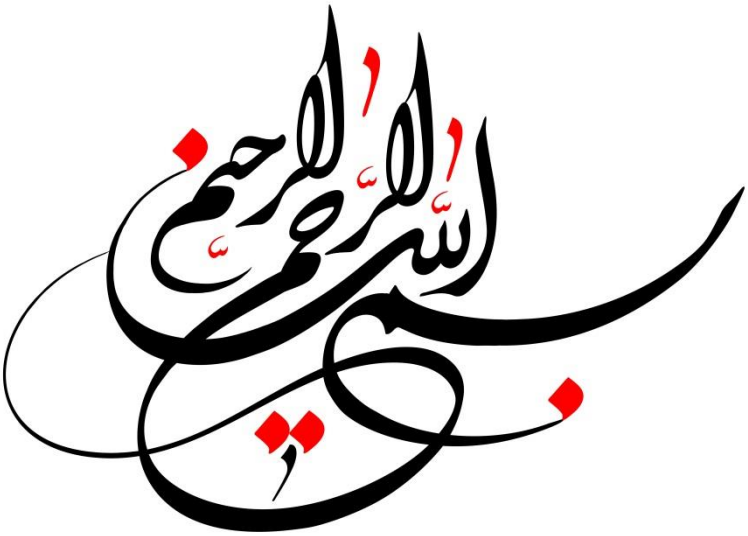


مؤلف:

حمید درخشانی

# فهرست

معرفی شرکت ایجادکاران آینده نیک ..... ۸

مقدمه ..... ۹

نکات کلیدی جهت اصلاح برخی از باورهای اشتباه در اجرای سیستم ارتینگ. ۱۱

فصل اول ..... ۱۲

سیستم اتصال زمین (ارتینگ) ..... ۱۲

شبکه برق ..... ۱۲

مهم ترین اهداف سیستم زمین ..... ۱۳

مقاومت‌های قابل قبول زمین برخی از سیستم‌ها ..... ۴۱۴

سیستم زمین چیست؟ ..... ۱۴

ایمنی افراد (زمین حفاظتی) ..... ۱۵

ایمنی تجهیزات (زمین الکتریکی) ..... ۱۵

مفهوم اتصال کوتاه ..... ۱۷

نمونه ای از کاربرد سیستم اتصال زمین ..... ۱۸

دلیل زمین‌کردن یک نقطه از سیستم در محل منبع تغذیه ..... ۱۸

انواع سیستم های توزیع فشار ضعیف ..... ۱۹

سیستمTN ..... ۱۹

سیستمTN-S ..... ۱۹

سیستمTN-C-S ..... ۲۰
سیستمTN-C ..... ۲۱
سیستمTT ..... ۲۲
سیستمIT ..... ۲۲
چند سؤال اساسی در زمینه سیستم زمین..... ۲۴
در صورت اتصالی یک فاز با زمین چه اتفاقی می افتد؟..... ۲۵
آیا همیشه اتصال نول و ارت صحیح است؟..... ۲۶
سیستم بدون اتصال زمین چیست؟..... ۲۸
سیستم همراه با اتصال زمین چیست؟..... ۲۹
مفهوم شوک الکتریکی..... ۲۹
انواع وسایل حفاظتی قابل استفاده در سیستم‌هایTN ..... ۳۱
کلید های محافظ جان Residual current Breaker device (RED)..... ۳۱
ویژگی های یک سیستم زمین مناسب..... ۳۲
همبندی سیستم..... ۳۳
مفهوم گرادیان ولتاژ و یا افزایش پتانسیل الکتریکیGround potential (GRR)..... ۳۵
ولتاژ گام ..... ۳۹
ولتاژ تماس..... ۴۰
روش های ایجاد یک سیستم اتصال زمین کدامند؟..... ۴۳
روش عمقی..... ۴۳
روش سطحی..... ۴۴

الکترود زمین ۴۵
الکترود میله ای ۴۶
الکترود میله ای پیشرفته ۴۷
الکترود نواری یا تسمه ای یا مش ۴۸
الکترود صفحه ای ۵۰
الکترود های متفرقه ۵۱
الکترود الکترولیتی ۵۳
روش‌های کلی کاهش هرچه بیشتر مقاومت زمین ۵۴
سایر تجهیزات مورد نیاز سیستم زمین ۵۵
تجهیزات جوش احتراقی ۵۶
انتخاب و نصب هادی زمین ۵۷
الکترودهای زمین و حداقل اندازه ی آنها از نظر خوردگی و مقاومت الکتریکی ۵۹
اتصال زمین موقت برای خطوط فشار ضعیف، متوسط و قوی ۶۰
تجهیزات اندازه گیری ۶۰
اندازه گیری مقاومت سیستم زمین ۶۱
اندازه گیری مقاومت ویژه خاک ۶۲
فصل دوم ۶۵
سیستم حفاظت در برابر صاعقه ۶۵
صاعقه چیست ؟ ۶۵

فرآیند تشکیل صاعقه ..... ۶۶
انواع صاعقه گیرها از لحاظ مکانیزم عملکرد ..... ۶۸
صاعقه گیر غیر فعال (میله فرانکلین، قفس فارادی) ..... ۶۸
صاعقه گیر فعال (الکترونیکی-خازنی) ..... ۷۱
انواع سیستم زمین برای سیستم حفاظت در برابر صاعقه(طبق استاندارد NFPA780و (IEC62305 ..... ۷۴
جنس هادی نزولی یا انتقال دهنده ی صاعقه طبق استاندارد NFPA 780 ..... ۷۴
انواع هادی نزولی سیستم حفاظت در برابر صاعقه ..... ۷۵
شرایط اجرای هادی نزولی ..... ۷۵
اصول حفاظت در برابر صاعقه ..... ۷۶
حفاظت در برابر تداخل امواج الکترومغناطیسی ..... ۷۹
فصل سوم ..... ۷۹
سیستم ارت مکان های مختلف ..... ۷۹
سیستم ارت تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی حساس ..... ۷۹
مفهوم زمین آرام یا تمیز ..... ۸۰
سیستم ارت ساختمان‌های مسکونی و تجاری ..... ۸۱
لزوم استفاده از سیم سوم ..... ۸۱
سیستم ارت تأسیسات برقی استخر های شنا ..... ۸۴

سیستم ارت بیمارستان ها..... ۸۶
سیستم ارت اتاق های عمل، زایمان و مراقبت های فشرده..... ۸۷
مچ بند ارت..... ۸۸
تابلو های ترانس ایزوله بیمارستان..... ۸۸
نکات عمومی در رابطه با سیستم اتصال زمین..... ۸۹
فصل چهارم..... ۹۱
همبندی و استفاده از فونداسیون به‌عنوان الکترود زمین..... ۹۱
تاریخچه همبندی و استفاده از فونداسیون به عنوان الکترود کمکی..... ۹۲
مزایای همبندی سیستم اتصال زمین الکتریکی..... ۹۵
روش اجرا و لوازم مورد نیاز..... ۹۵
روش اجرای سیستم زمین در فونداسیون..... ۹۶
منابع ..... ۹۷
برخی اصطلاحات رایج..... ۹۸
نقشه های اجرای چاه ارت..... ۱۰۱
دفترچه محصولات گالوانیزه بنتورس..... ۱۰۴

محصولات گالوانیزه گرم
بنتورس.....۱۰۷

سایر محصولات
بنتورس.....۱۰۹

به نام خدا

## معرفی شرکت ایجادکاران آینده نیک

شرکت ایجاد کاران آینده نیک (آ.ک.ا.ن) در سال ۱۳۸۹ با هدف اعتلای صنعت برق به ویژه در زمینه ی سیستم اتصال زمین الکتریکی و حفاظت در برابر صاعقه تاسیس گردید. پس از انجام تحقیقات و پژوهش در این زمینه موفق به انجام پروژه های زیادی در کشور شده و با برگزاری دوره های آموزشی و سمینار های متعدد مسیری نو در جهت اشتغال و درآمد زایی برای عده ای از عزیزان همکار در کشور را باز نمودیم. مطالب این کتاب تجربیات اینجانب در این سال ها میباشد . جا دارد در اینجا از افرادی که بنده حقیر را در این زمینه یاری دادند تشکر و قدردانی کنم:

- خانم مهندس فریماه غاربی
- آقای مهندس آرش جواهری
- خانم مهندس مینا صالحی
- خانم مهندس رویا نیک مهر

با تشکر

حمید درخشانی

# مقدمه

امروزه نیروی برق نقش مهمی در زندگی انسان و تأمین نیازهای او ایفا می‌کند. کاربرد برق در صنعت، کشاورزی، توسعه شهری و روستایی، حمل‌ونقل، ارتباطات (مخابرات)، پیشرفت علم و تکنولوژی و غیره نشان از اهمیت بالای آن دارد.

شناخت راه‌های تولید انرژی برق و روش مناسب استفاده از آن طوری که منجر به بروز حوادث ناگوار نشود از ضروری‌ترین مباحثی‌ست که باید به آن توجه کرد.

در گذشته مفهوم ارت وجود نداشت. خطوط انتقال و توزیع برق بدون اینکه نقطه نوترال یا نول زمین‌شده داشته‌باشند احداث شده و هیچ نقطه‌ای از شبکه و تجهیزات، ارت نمی‌شدند. مشکلات برق‌گرفتگی و آتش‌سوزی وجودداشت بدون اینکه فیوزهای حفاظتی نصب‌شده در شبکه عیوب را تشخیص بدهند.

سیستم‌های اتصال زمین باید به‌نحوی طراحی و اجرا شوند که خطر برق‌گرفتگی را برای به‌حداقل رسانده و مقاومت اتصال‌زمین نسبت به جرم کلی زمین باید به‌قدر کافی کم باشد تا ولتاژهای خطرناک در حد مجاز باقی مانده و کلیدهای حفاظتی به فوریت عمل کنند.

در این کتاب سعی بر آنست تا پاره‌ای از مسائل مربوط به حفاظت و ایمنی در برق پیرامون آشنایی با سیستم‌های ارت (اتصال زمین) و اصول علمی و کاربردی آن در محیط‌های گوناگون شرح داده‌شود و امیدواریم که بتواند تا حدی پاسخگوی مشکلات دوستان عزیز باشد. بدیهی‌ست که از هرگونه راهنمایی اساتید و کارشناسان محترم در ویرایش، تکمیل و اصلاح آن استقبال می‌نماییم.

**با تقدیم احترام**
**حمید درخشانی**

**نکات کلیدی جهت اصلاح برخی از باورهای اشتباه در اجرای سیستم ارتینگ**

- سیستم زمین TN-S بهترین سیستم برای مصرف کننده های خانگی، تجاری، صنعتی و بیمارستانی میباشد.
- منظور از مقاومت ۲ اهم، مقاومت معادل شبکه میباشد.
- طبق استاندارد NEC مقاومت ۲۵ اهم برای یک الکترود تکی قابل قبول میباشد.
- الکترود زمین میتواند ازهر جنسی باشد به شرط اینکه قابلیت هدایت الکتریکی داشته باشد و در برابر خوردگی مقاوم باشد.
- صفحه، میله، میله گرد مدفون در بتون، انواع مش و ... برخی از الکترود های مجاز برای سیستم زمین میباشند. جنس الکترود های فوق را می توان با توجه به شرایط محیطی و خاک مس، روکش مس، گالوانیزه گرم و ... در نظر گرفت.
- طراحی سیستم زمین در پروژه های اجرایی، تابعی از متغیر خاک است.
- سیستم زمین شامل دو بخش است: زمین، مدار.
- مقاومت تابعی از دما، میزان رطوبت خاک و ... است.
- جنس الکترود هیچ تاثیری در کاهش مقاومت ندارد.
- تمام سیستم های زمین باید به یکدیگر وصل شوند. سیستم زمین بدون همبندی ...

# فصل اول

## سیستم اتصال زمین (ارتینگ)

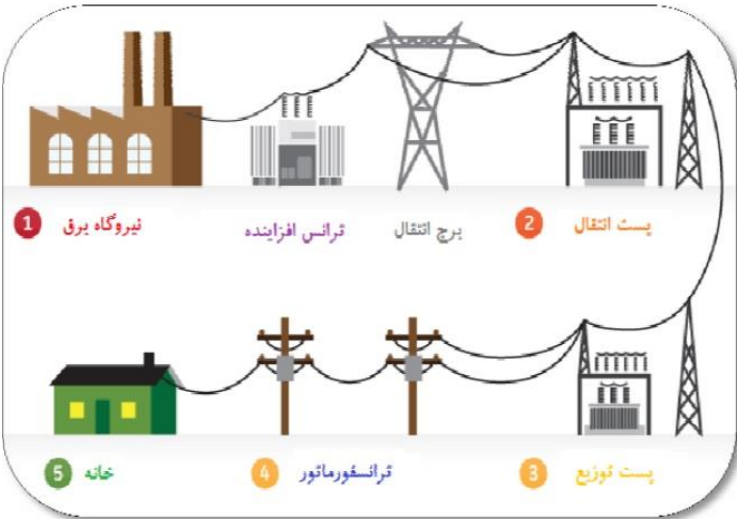
### شبکه برق

در ابتدا بهتر است مختصری از کلیات شبکه برق را مرور نماییم. هر سیستم برق‌رسانی معمولاً از بخش‌های سه‌گانه تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی تشکیل می‌گردد که به‌شرح زیر می‌باشند:

**تولید:** صنعت تولید برق به‌عهده نیروگاه‌ها می‌باشد. وظیفه اصلی یک نیروگاه تبدیل یک‌نوع از انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی است که در اصطلاح به آن برق گفته می‌شود.

پراکنده بودن منابع تأمین انرژی در نقاط مختلف دنیا سبب به‌کارگیری روش‌های مختلفی برای تولید برق ازجمله احداث نیروگاه‌های آبی، سوخت فسیلی، بادی، ذغال‌سنگی، زمین‌گرمایی، خورشیدی و... شده‌است.

**انتقال:** انرژی تولیدشده در نیروگاه‌های مختلف پس از افزایش به مقدار ولتاژهای ۴۰۰،۲۳۰، ۱۲۳ و ۶۳ کیلو ولت، از طریق خطوط انتقال به محل‌های مصرف انتقال می‌یابد.




**توزیع:** توزیع انرژی الکتریکی درواقع دریافت برق از شبکه انتقال و رساندن آن به مصرف‌کننده (تک‌فاز یا چندفاز) است. تبدیل ولتاژ واردشده به سیستم توزیع به ولتاژ مورد نیاز نیز در حوزه توزیع برق قرارمی‌گیرد. امروزه مبحث مربوط به سیستم زمین از مهم‌ترین مباحث در صنایع نفت‌وگاز، پتروشیمی، کارخانجات صنعتی، ساختمان‌سازی، الکترونیک، مخابرات و... به‌شمار می‌رود. لذا وجود سیستم‌های زمین در کلیه شبکه‌های کامپیوتری، پست‌های برق، تابلوهای برق، دکل‌های مخابراتی و رادیویی و کلیه دستگاه‌های ابزار دقیق و ماشین آلات صنعتی و غیره کاملاً ضروری می‌باشد.

## مهم ترین اهداف سیستم زمین

- ✓ حفظ جان افراد در شرایط عملکرد عادی و بروز خطا، با محدود کردن پتانسیل های گام و تماس.

- ✓ حصول اطمینان از عملکرد صحیح دستگاه‌های الکتریکی و ادوات الکترونیکی
- ✓ حفاظت در مقابل برخورد صاعقه و اثرات میدان مغناطیسی حاصل از آن

## مقاومت‌های قابل قبول زمین برخی از سیستم‌ها

- ✓ سیستم حفاظت در مقابل صاعقه، کمتر از ۱۰ اهم
- ✓ تابلوهای برق فشار ضعیف، کمتر از ۵ اهم
- ✓ دکل های مخابراتی، کمتر از ۳ اهم
- ✓ سایت های کامپیوتری، کمتر از ۲ اهم
- ✓ پست های برق، کمتر از ۱ اهم
- ✓ تجهیزات ابزار دقیق، کمتر از ۱ اهم

باتوجه به موقعیت سایت و خصوصیات خاک یک منطقه، رسیدن به مقاومت زمین زیر ۵ اهم می‌تواند بسیار دشوار باشد.

## سیستم زمین چیست؟

زمین‌کردن عبارتست‌از ایجاد رابطه‌ای بین یک هادی و الکترود زمین. در برخی استانداردها به‌منظور کاهش اختلالات ناشی از امواج الکترومغناطیسی ایجاد دو سیستم زمین مجزا پیشنهاد شده‌است، یکی جهت ایمنی افراد (سیستم اتصال زمین حفاظتی) و دیگری جهت عملکرد صحیح ادوات الکتریکی مانند تجهیزات ابزار دقیق و تجهیزات الکترونیکی (سیستم اتصال زمین الکتریکی).

در اغلب موارد تفکیک دو نوع اتصال زمین برای دو هدف بالا ممکن نیست. به همین علت ایجاد یک اتصال زمین برای هردو منظور کافیست، اما در برخی شرایط خاص، مجزا نمودن آن‌ها الزامی می‌باشد.
هردو سیستم دارای ویژگی‌های مشترکی هستند و هردو نقش مهمی را در ایمنی افراد و عملکرد صحیح تجهیزات الکتریکی ایفا می‌کنند.

## ایمنی افراد (زمین حفاظتی)

ایجاد ایمنی برای کارکنانی که در تماس با تجهیزات الکتریکی هستند و یا برای افراد جامعه که مصرف‌کننده نهایی انرژی برق می‌باشند و همچنین محدودکردن خطر آتش‌سوزی از راه قطع سریع مداری که دچار اتصالی شده، تنها از طریق زمین‌کردن کلیه قطعات فلزی تأسیسات که در ارتباط مستقیم با بخش الکتریکی نیستند مانند ستون‌ها و پایه‌های فلزی درها و نرده‌های فلزی امکان پذیر می‌باشد.
به‌عبارتی هدف از زمین‌کردن حفاظتی، کاهش ولتاژ تماسی بیش‌از حد مجاز، برروی بدنه وسایل الکتریکی می‌باشد.

## ایمنی تجهیزات (زمین الکتریکی)

حفظ عایق‌بندی و تأمین صحت کار لوازم و دستگاه‌های الکتریکی و محدود کردن اضافه‌ولتاژها و کمک به کار صحیح لوازم و مدارها از طریق قطع مدارهای معیوب ممکن است و جلوگیری از ازدیاد فشار الکتریکی فازهای سالم نسبت به زمین در موقع تماس یکی از فازهای دیگر با زمین، تنها از طریق زمین‌کردن

نقطه‌ای از دستگاه‌های الکتریکی و ادوات برقی، که جزئی از مدار الکتریکی هستند، امکان‌پذیر می‌شود. مانند زمین‌کردن مرکز ستاره سیم‌پیچ ترانس یا ژنراتور. به این نوع زمین‌کردن، زمین الکتریکی می‌گویند.

## انواع زمین‌کردن الکتریکی

- زمین‌کردن مستقیم: مثل وصل کردن نقطه صفر ترانس به زمین
- زمین‌کردن غیرمستقیم: مثل وصل کردن نقطه صفر ترانس توسط یک امپدانس بزرگ به زمین
- زمین‌کردن بار: در این نوع زمین‌کردن، نقطه صفر ترانس یا اصولاً هر نقطه‌ای از شبکه الکتریکی را که دارای پتانسیل نسبت به زمین است، توسط یک فیوز فشار قوی به زمین وصل می‌کنند. در حالت کار عادی شبکه، مدار فیوز باز است (یعنی ارتباط شبکه با زمین باز می‌باشد) و در مواقعی که ولتاژ زیادی شبکه را تهدید می‌کند مدار فیوز به کمک جرقه بسته می‌شود و شبکه مستقیماً با زمین ارتباط برقرار می‌کند.

همان‌طور که گفته شد سیستم اتصال زمین از طریق یک هادی مناسب و در دسترس (الکترود زمین) به‌منظور ساختن یک نقطه مرجع پتانسیل در مدارهای الکتریکی ایجاد می‌شود.

بنابراین باید کلیه شبکه‌های تولید، انتقال و توزیع و تمامی دستگاه‌ها و ادوات الکتریکی به وسیله سیستم اتصال زمین به این نقطه مرجع متصل شده تا از این طریق پتانسیل هر نقطه از تأسیسات الکتریکی نسبت به پتانسیل زمین ثابت نگه

داشته‌شود و هنگام ایجاد خطا در یکی از دستگاه‌ها، تجهیزات حفاظتی به درستی عمل نمایند.

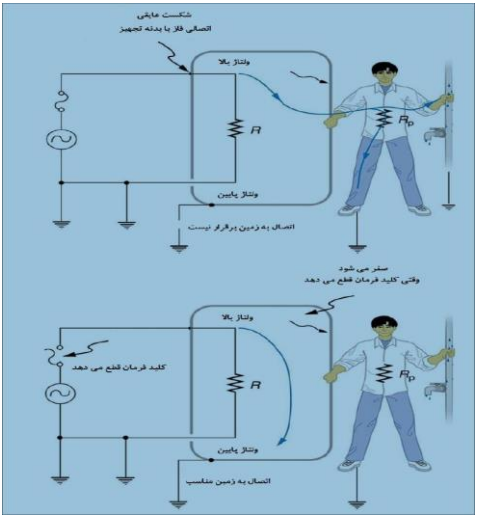
## مفهوم اتصال کوتاه

مداری در شبکه با امپدانس بسیار پایین که یک مسیرناخواسته را برای عبور جریان تامین کند، اتصال کوتاه نام دارد .که ممکن است براثرآن تجهیزات به شدت آسیب ببینند.

اگر فاز به زمین اتصالی کند جریان زیادی به زمین داخل می‌شود که ممکنست کارکنان را در معرض شوک ناشی از ولتاژ گام یا تماس قرار دهد، زیرا ولتاژ فازهای سالم در زمین و بدنه تجهیزات تاحد بسیار زیادی افزایش می‌یابد.

در ادامه گفته می‌شود که چگونه با زمین کردن نول سیستم می‌توان این اضافه ولتاژها را کاهش داد.

**کاربرد اتصال نمونه ای از سیستم زمین**



## دلیل زمین‌کردن یک نقطه از سیستم در محل منبع تغذیه

این عمل دو پیامد دارد:
اول اینکه از آسیب دیدن عایق‌بندی تجهیزات در اثر افزایش ولتاژ جلوگیری می‌کند و ولتاژ را در یک مقدار مشخص، ثابت نگه می‌دارد.
دوم اینکه سبب می‌شود تا ولتاژ برق‌گرفتگی خیلی زیاد نباشد.
مبنای اصلی انتخاب نوع سیستم زمین، استاندارد BS 7430، NEC، IEC-60364است که به معرفی انواع مختلف سیستم‌های توزیع می‌پردازد.

## انواع سیستم های توزیع فشار ضعیف

**سیستم TN**

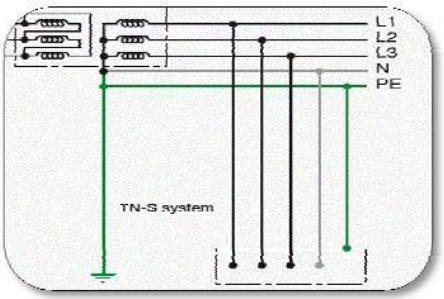
در سیستم TN منبع انرژی مستقیماً به زمین وصل است و تمامی بدنه‌های فلزی تأسیسات الکتریکی نیز به وسیله هادی حفاظتی به نقطه زمین متصل شده اند. سیستمTN خود به سه بخش تقسیم می‌شود:

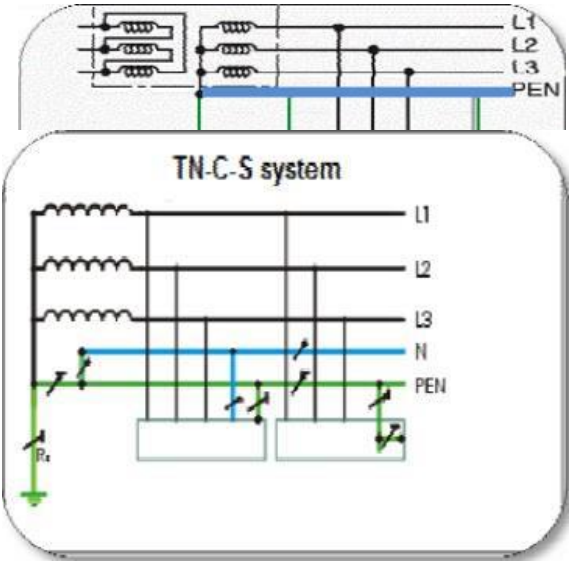
۱- سیستم TN-S

در این سیستم، بدنه‌های فلزی تأسیسات ازطریق یک هادی مجزا (PE) به نقطه خنثی (N) در مبدأ سیستم متصل است.

۲-سیستم TN-C-S

در بخشی از این سیستم (از مبدأ تا نقطه تفکیک)، از یک هادی مشترک به عنوان هادی حفاظتی-خنثی (PEN) استفاده می‌شود و از آن نقطه به بعد دو هادی حفاظتی (PE) و خنثی (N) از هم جدا می‌گردند.






۳-

سیستمTN-C

در این سیستم بدنه‌های فلزی تأسیسات به هادی مشترک حفاظتی-خنثی (PEN)وصل می‌شود.

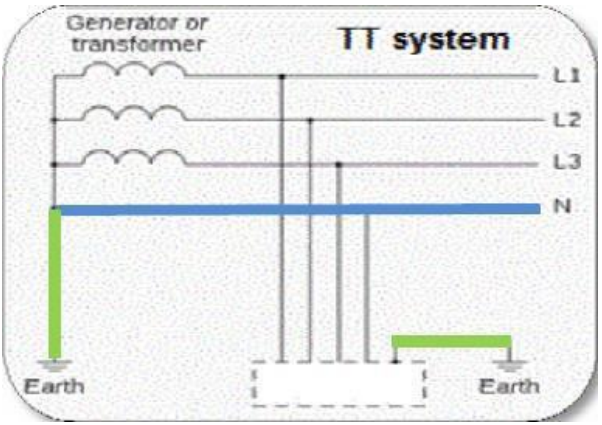
رایج‌ترین سیستم مورد استفاده در کشور ما سیستم TN است که از میان سه زیر مجموعه آن، سیستمTN-C-S به دلیل هزینه کمتر متداول‌تر است.

برای مثال سیستم توزیع برق پالایشگاه نفت پارس جنوبی از نوع TNS، که از سیستم‌های قابل قبول و مؤثر در کاهش تداخل امواج الکترومغناطیسی می‌باشد.

**سیستم TT**

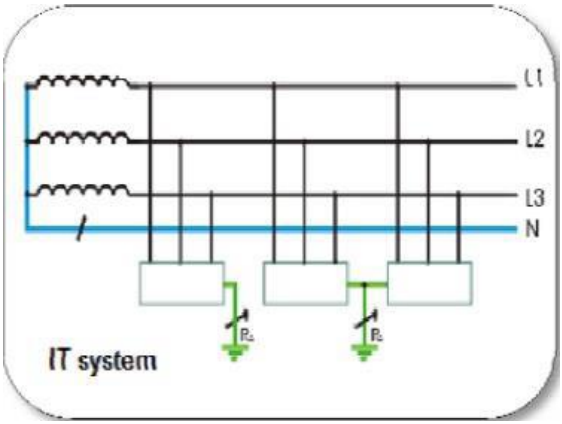
در این سیستم منبع انرژی در یک یا چند نقطه ارت می‌گردد و هریک از قسمت‌های فلزی تجهیزات در دسترس، به‌طور محلی ارت می‌شوند.

این سیستم غیراز موارد خاص مجاز نمی‌باشد و لازمه آن ایجاد حفاظت کامل با استفاده از وسایل حفاظتی مخصوص (کلیدهای جریان باقیمانده) می‌باشد.




**سیستم IT**

در این سیستم منبع انرژی، یا ارت نمی‌شود و یا توسط یک امپدانس بزرگ ارت می‌شود و قسمت‌های فلزی تجهیزات در دسترس نیز جداگانه ارت می‌شوند. استفاده از این سیستم برای شبکه های عمومی توزیع برق ممنوع است.
موارد استفاده از این سیستم، اتاق‌های عمل و نظایر آن در بیمارستان‌هاست و در صنعت نیز از این سیستم در مواردی استفاده می‌شود که لازم است اولین اتصال زمین سبب قطع مدار نگردد. (مانند خطوط زنجیره‌ای تولید)




با گسترش شبکه‌های برق و افزایش ولتاژ آن‌ها درطول زمان، اگر یک فاز به زمین اتصالی کند، جرقه‌های ایجاد شده سبب افزایش ولتاژ فازهای سالم دیگر نسبت به زمین می شوند (که در ادامه توضیح داده می‌شود) و درنتیجه به وسایل الکتریکی و تجهیزات آسیب وارد می شود.

اهمیت نقطه زمین وقتی به چشم می‌آید که در شبکه‌های برق یک اتصال فاز به زمین اتفاق افتد. در این حالت جریان فاز معیوب ازطریق زمین به نقطه خنثی ترانسفورماتور برگشت داده می‌شود که می‌توان با وسایل حفاظتی ارزان قیمت مانند فیوزها مدار اتصالی را قطع نمود.

درصورتی که نقطه خنثی به زمین وصل نشده باشد، جریان اتصالی فاز به زمین به‌علت عدم وجود مسیر برگشت، ناچیز و خیلی کمتر از جریان معمولی فاز بوده

و فیوزهای به‌کار رفته مدار را قطع نمی‌کنند، این امر موجب بالا رفتن ولتاژ فازهای سالم نسبت به زمین شده که خود موجب بروز اشکالاتی در ایزولاسیون شبکه می‌گردد و برای قطع مدار فاز معیوب در چنین سیستمی ناگزیر به استفاده از وسایل حفاظتی گران‌قیمت خواهیم بود.

## چند سؤال اساسی در زمینه سیستم زمین

۱. به جای وصل بدنه فلزی دستگاه‌های الکتریکی به زمین چرا عایق‌بندی کامل نشود؟
عایق‌بندی کامل تمام دستگاه‌های الکتریکی و کف و دیوار ساختمان ها غیرعملی بوده و هزینه سنگینی در بر خواهد داشت.

۲. اگر نقطه خنثی ترانسفورماتور به زمین وصل نشود با توجه به اینکه مسیر برگشت جریان در زمان اتصالی فاز به بدنه دستگاه‌ها وجود ندارد، آیا باز هم لزومی برای وصل بدنه فلزی دستگاه‌های الکتریکی به زمین وجود دارد؟

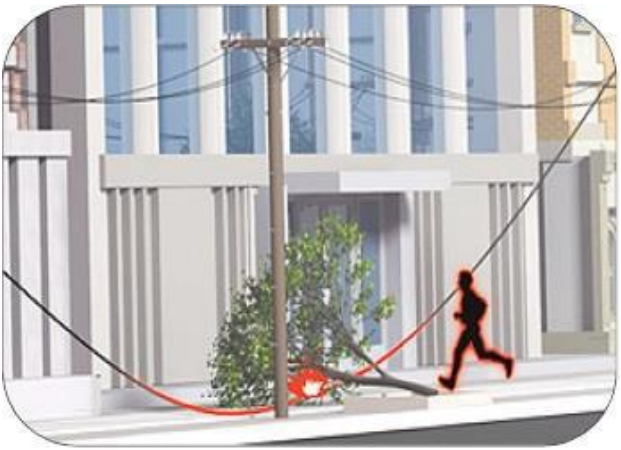
این تنها حسن استفاده از سیستم بدون اتصال زمین است که در صورت سالم بودن عایق‌بندی سیستم، تماس با هریک از هادی‌های فاز، انسان را دچار برق گرفتگی نخواهد کرد. زیرا که مسیری برای بسته شدن مدار توسط بدن انسان وجود ندارد.
حال اگر در نقطه دیگری از همین شبکه، فاز دیگری با بدنه فلزی دستگاه و یا زمین اتصال پیدا کند، شخصی که با بدنه فلزی دستگاه الکتریکی در تماس است

تحت ولتاژ بین دو فاز قرار خواهد گرفت که چندین برابر حالتی است که در آن مرکز ستاره به زمین وصل شده باشد.
همان‌طور که قبلاً نیز به آن اشاره شد، بهترین حفاظت انسان در برابر برق گرفتگی ناشی از اتصال فاز به بدنه دستگاه های الکتریکی، وصل بدنه فلزی آن‌ها به زمین می‌باشد که در اثر آن ولتاژ بدنه‌های فلزی و زمین یکسان شده و عاملی برای پیدایش اختلاف سطح الکتریکی خطرناک وجود نخواهد داشت.

## در صورت اتصالی یک فاز با زمین چه اتفاقی می افتد؟

در صورت اتصالی یک فاز با زمین، ولتاژ نقطه خنثی برابر با ولتاژ فاز یعنی ۲۳۰ ولت و ولتاژ فازی که اتصالی کرده صفر می شود که در این صورت ولتاژ دو فاز دیگر ۴۰۰ ولت خواهد شد که این مقدار برای دستگاه‌های مصرفی خطرناک است.

برای این‌که در چنین مواقعی فیوز عمل کند سیم نول را به سیم ارت وصل می‌کنند تا فیوز، مدار را قطع کند.



## آیا همیشه اتصال نول و ارت صحیح است؟

بعضی مواقع نیز متصل کردن نول و ارت اشتباه است زیرا در دستگاه‌ها و سایر وسایل الکترونیکی، مثلاً PLC در سیستم‌های مخابراتی ، به دلیل نویزدار بودن نول، ارت هم نویزدار می‌گردد.

دلیل دیگر نیز آنست که در صورتی‌که ارت به نول تبدیل شود و جریان بالا از آن عبور کند، پس از مدتی سیستم ارت ناکارآمد شده و مقاومتش افزایش می‌یابد. دلیل دیگر آن که تشخیص جریان نشتی دشوار می‌شود. بنابراین باید این دو سیم کاملاً از هم مجزا باشند.

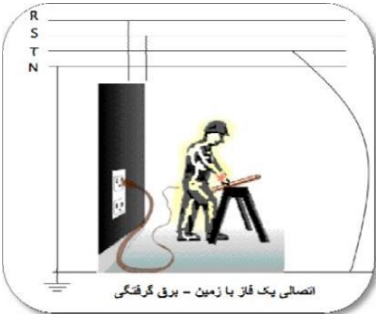
سیستم TN-S که در آن سیم نول و ارت از ابتدای منبع تغذیه جدا از یکدیگرند، بهترین نوع سیستم زمین می باشد.

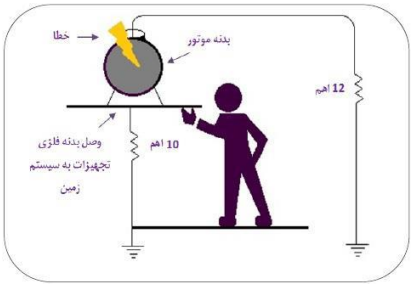
ذکر این نکته ضروری است که جریان باید تنها ازطریق سیم نول برگردد و سیم ارت فقط برای حفاظت می باشد و در مواقع عادی نباید جریانی از آن عبور کند.بنابر موارد گفته شده، هدف دیگر از برقراری سیستم زمین، ایجاد یک ولتاژ مرجع مشترک برای کمک کردن به کاهش نویز در سیستم‌های حساس الکتریکی و الکترونیکی است. اتصال زمین در مدارهای قدرت از آسیب دیدن عایق‌های مدار در اثر افزایش ولتاژ بین زمین و مدار جلوگیری کرده و ولتاژ را در یک حد معین محدود می‌کند.

همچنین برای جلوگیری از افزایش الکتریسیته ساکن هنگام حمل مواد قابل اشتعال و یا تعمیر تجهیزات الکترونیکی نیز باید از سیستم اتصال زمین استفاده نمود.

## سیستم بدون اتصال زمین چیست؟

در این حالت، با توجه به اینکه زمین عموماً متشکل از موادیست که هادی الکتریسیته هستند، اگر شخصی روی زمین ایستاده باشد و همزمان با دو جسم برق‌دار تماس پیدا کند، درصورت اتصال فاز با بدنه یکی از این اجسام، جریان ازطریق بدن شخص مسیر خود را به سمت منبع تغذیه طی کرده و در اثر عبور جریان بسیار زیاد ناشی‌از چنین اتصال کوتاهی، شخص دچار برق‌گرفتگی خواهد شد.

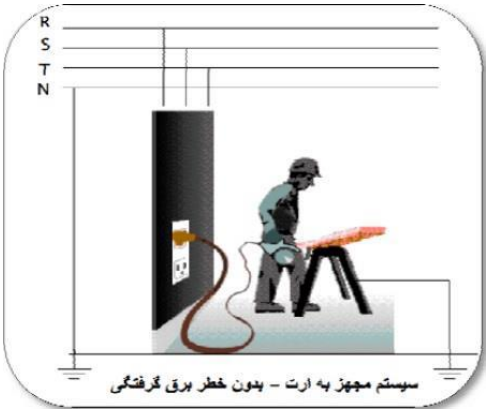



مطابق شکل جریان خطای ۱۰۰ آمپری ناشی از اتصالی فاز با بدنه فلزی موتور به زمین منتقل می‌شود. در این حالت اگر شخصی که بر روی زمین ایستاده بدنه موتور را لمس کند، طبق قانون اهم در معرض ولتاژی در حدود ۱۰۰۰ ولت قرار می‌گیرد که این مقدار (۱۰۰ آمپر × ۱۰ اهم) برای فرد خطرناک خواهد بود.

## سیستم همراه با اتصال زمین چیست؟

دراین حالت، چون بر اساس قانون اهم، جریان همواره از مسیری که مقاومت کمتری دارد عبور می‌کند، لذا جریان تمایل دارد به‌جای عبور از مسیری که شخص با مقاومتی در حدود ۱۳۰۰ اهم در آن قرار گرفته‌است، از طریق سیم ارت با مقاومت زمین زیر ۲ اهم مسیر خود را طی کند و مقدار بسیار کمی از آن از بدن شخص می‌گذرد که خطرناک نیست، بنابراین شخص دچار برق گرفتگی نمی‌شود.




## مفهوم شوک الکتریکی

به‌طورکلی به عبور جریان برق از بدن انسان و یا حیوان برق گرفتگی یا شوک الکتریکی می‌گویند. برای به‌وجود آمدن شوک الکتریکی یا باید شدت جریان برق عبوری و یا مدت زمان عبور آن از بدن به حد کافی زیاد باشد.

حداکثر ولتاژ بی‌خطر برای انسان در شرایط عادی در فرکانس ۵۰ هرتز برق متناوب براساس استاندارد انگلیس حدود ۵۰ ولت و براساس استاندارد آلمان ۶۵ ولت می‌باشد و در رابطه با برق مستقیم یا DC هردو استاندارد یاد شده ۱۲۰ ولت را اعلام کرده‌اند.

بنابراین می‌توان با انجام اقدامات حفاظتی دو عامل خطرناک دامنه جریان و زمان عبور آن را کنترل نمود:

- با استفاده از سیستم زمین حفاظتی می توان ولتاژ تماس را کاهش داده و از شدت جریان عبوری از بدن کاست.
- با عملکرد صحیح کلیدهای حفاظتی در زمان وقوع خطا، می‌توان مدار را در کمترین زمان ممکن قطع نموده و در واقع زمان عبور جریان از بدن را که منجربه شوک الکتریکی می‌گردد محدود نمود.

یک نتیجه گیری کلی:

با توجه به موارد ذکر شده در بالا می‌توان گفت زمین توانایی رساندن پیام نشتی جریان را (ناشی از اتصال کوتاه فازها)، برای قطع مدار، به فیوز دارد. ازاین‌رو سیستم زمین روش مناسبی برای حفاظت جان انسان‌ها و یا هر موجود زنده دیگر که در تماس با برق قرار می‌گیرد، است. هم‌چنین، سیستم زمین تضمینی برای درست کار کردن لوازم برقی در صنعت است.

هر دستگاه الکتریکی در حالت عادی دارای پتانسیل زمین می‌باشد و در مواقع بروز اشکال پتانسیل آن به‌مقدار قابل توجهی از پتانسیل زمین بالاتر می‌رود که با ایجاد سیستم زمین می‌توان از این مشکل جلوگیری نمود. در واقع باید اطمینان

حاصل شود که کلیه سطوح فلزی در دسترس در یک سطح ولتاژ و برابر با ولتاژ سطح زمین هستند و در صورت بروز اتصالی فاز به بدنه فلزی تجهیزات، جریان اتصال کوتاه به وجود آمده موجب قطع مدار در سیستم های TN می‌گردد.

## انواع وسایل حفاظتی قابل استفاده در سیستم‌های TN

در سیستم‌های نیروی مذکور می‌توان از انواع وسایل حفاظتی زیر استفاده نمود: فیوزها، کلیدهای خودکار مینیاتوری، کلیدهای خودکار جریان باقیمانده (RCD).

از کلیدهای خودکار جریان باقیمانده فقط در قسمت‌هایی از تأسیسات که هادی‌های خنثی (N) و حفاظتی (PE) مجزایی دارند استفاده می‌شود.

### کلید های محافظ جان Residual Current Breaker Device (RCD)

همانطور که گفته شد در صورت تماس مستقیم فرد با فاز و یا تماس غیرمستقیم او با بدنه فلزی تجهیزات برق‌دار، جریان نشتی از بدن شخص عبور کرده و توسط زمین مدار خود را کامل می نماید. در صورتی که مقدار جریان عبوری از بدن فرد حداکثر به ۳۰ میلی‌آمپر برسد کلید حفاظت از جان سریعاً فرمان قطع مدار را صادر نموده و برق ورودی را قطع می‌کند. درنتیجه شخص از برق‌گرفتگی نجات می یابد.

از دیگر مزیت‌های استفاده از این کلید می‌توان به جلوگیری از بروز آتش سوزی ناشی از عبور جریان بیش از حد مجاز از ادوات برقی اشاره نمود.

اصول عملکرد این کلید براساس اختلاف جریان بین فاز و نول است. در حالت عادی جریان رفت‌وبرگشت مدار مساوی و در نتیجه ولتاژ سیم‌پیچ خروجی کلید صفر می‌باشد. درصورت وقوع اتصالی فاز به بدنه وسایل برقی، جریان فاز و نول نابرابر شده که سبب ایجاد ولتاژ و درنتیجه آن تحریک نمودن کنتاکت‌های کلید می‌گردد. بنابراین کلید درطی مدت زمانی که برای آن تعریف شده‌است مدار را قطع می‌کند.

## ویژگی های یک سیستم زمین مناسب

- هرچه مقاومت سیستم زمین کمتر باشد، بهتر است. این کار باعث می‌شود تا عملکرد مطمئن و سریع رله‌های تشخیص خطای فاز به زمین تضمین

شود و هم‌چنین سبب می‌شود تا اضافه ولتاژهای ایجاد شده در فازهای سالم کمتر از مقادیر پیش‌بینی شده و غیرمجاز باشد.

- سیستم زمین باید بتواند ایمنی افراد و تجهیزات را تضمین نماید.
- سیستم زمین باید به‌گونه‌ای طراحی شود تا با ایجاد مسیری مناسب برای عبور جریان نشتی به زمین تضمین نماید که حتی درصورتی که افراد در تماس مستقیم با تجهیزات زمین‌شده باشند، در معرض شوک الکتریکی خطرناک واقع نشوند.
- لازمه ایجاد یک سیستم اتصال زمین مناسب آنست که از ارتباط میان کلیه بدنه‌های فلزی تجهیزات اعم از تجهیزات الکتریکی (مانند تابلوهای برق، سینی کابل‌ها، و...) و یا تجهیزات غیرالکتریکی (مانند لوله‌های فلزی، مخازن و ...) به سیستم زمین اطمینان حاصل شود.

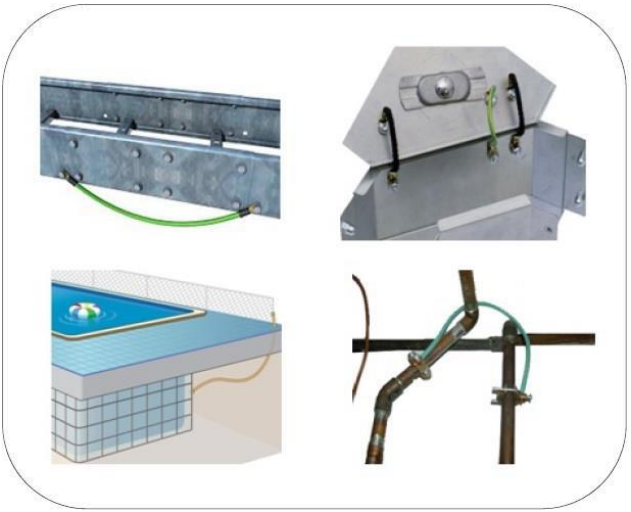
این اصول، که همبندی نامیده می‌شود، با اتصال کابل زمین حفاظتی که در اصلاح به آن protective earth cable می‌گویند به بدنه‌های فلزی تجهیزات و سپس ارتباط آن به نقاط اتصال زمین شبکه توزیع نیرو صورت می‌پذیرد.

## همبندی سیستم

همبندی سیستم عبارتست از اتصال اجزای مختلف سیستم اتصال زمین به یکدیگر به‌منظور هم‌پتانسیل کردن قسمت‌های مختلف تأسیسات الکتریکی. برای هم‌پتانسیل سازی باید قسمت‌هایی از هادی‌های بیگانه به ترمینال اصلی اتصال به زمین تأسیسات همبندی شوند که عبارتند از:

- لوله‌های فلزی گاز، آب و هوای فشرده؛ فاضلاب‌ها، لوله‌ها و مجراها و سایر سرویس‌ها؛ سیستم‌های حرارت مرکزی تهویه هوا؛ قسمت‌های فلزی در دسترس ساختمان و صاعقه‌گیر.
- در مواردی که دو یا چند ایستگاه در نزدیکی یکدیگر قرارداشته و یک واحد به حساب آیند، سیستم‌های زمین آن‌ها باید با یکدیگر همبندی شوند طوری که کل منطقه تحت تأثیر یک سیستم زمین قرار گیرد.
- اگر سیستمی از قبل اجرا شده باشد، سیستم قدیم باید به سیستم جدید در عمق خاک متصل گردد.
- برای جلوگیری از ایجاد جرقه ناشی از اختلاف پتانسیل، صاعقهگیر، مخازن مواد شیمیایی قابل اشتعال و غیره در صورتی که زمین آن ها یکی باشد باید همبند شوند.

همبندی قسمت های مختلف تأسیسات الکتریکی



## مفهوم گرادیان ولتاژ و یا افزایش پتانسیل الکتریکی

Ground Potential Rise (GPR)

همواره باید در خطوط انتقال نیرو، پست‌ها، ترانسفورماتورها و... یک‌سری محاسبات مانند مطالعات مربوط به افزایش پتانسیل زمین، ولتاژ گام و یا ولتاژ تماس تحلیل و بررسی شوند.

هدف از انجام مطالعات GPR تعیین اثرات ناشی از جریان‌های خطا، حملات ناشی‌از صاعقه و یا مطالعات اتصال کوتاه شبکه بر کارکنان و تجهیزات در زمان وقوع خطا است که سبب مشخص شدن جریان خطای زمین، زمان پاکسازی

خطا و میزان اتلاف ولتاژ در شبکه‌های فشار قوی شده و درنهایت منجربه طراحی ایمن‌ترین و کارآمدترین سیستم زمین می‌گردد.

در زمان وقوع جریان خطا، کابل‌های ارتباطی در شبکه‌های فشارمتوسط ،ضعیف وقوی همانند پست‌های توزیع ، کارخانجات صنعتی، برج‌هاو دکل های انتقال و... می‌توانند با اختلاف پتانسیل بسیار بالایی که به وجود آمده باعث ایجاد ایجاداختلاف ولتاژ مخرب روبرو شوند.

متأسفانه با وجود صدمات الکتریکی و خسارات بسیار زیاد مالی GPR، هنوز مهندسان و متخصصان اندکی از این پدیده آگاهی دارند.

GPR یک اضافه ولتاژ گذراست که به شکل جریان به زمین داخل می‌شودو منجربه بروز اختلاف پتانسیل میگردد.

جریان الکتریکی در واقع همان الکترون‌های آزاد متحرک‌اند که همواره به دنبال مسیری برای ورود به زمین می‌باشند. بنابراین می‌توان با ایجاد مسیر مشخصی، حرکت این الکترون‌ها را کنترل نمود. با این‌کار می‌توان خطرات ناشی از اضافه ولتاژهای گذرا که برای کارکنان و تجهیزات خطر آفرین است را کنترل کرد.

اضافه ولتاژ گذرا در واقع یک اضافه بار موقت از الکترون‌های آزاد محسوب می‌شود و در هرزمانی ممکن است اتفاق بیافتد.

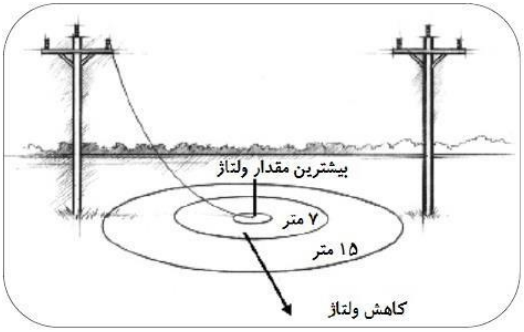
در لحظه‌ای که اضافه ولتاژ گذرا اتفاق می‌افتد مثلاً در زمان رعدوبرق و صاعقه و یا وقوع خطا در تجهیزات و یا در هنگام سوئیچینگ (کلید زنی)، جریان الکتریکی و یا الکترون‌های آزاد به‌وسیله زمین جذب می‌شوند. این الکترون‌های آزاد همواره کم مقاومت‌ترین مسیر را برای ورود به زمین انتخاب می‌کنند.

بسته به نوع ترکیبات خاک، این الکترون‌ها یا درون زمین دفن می‌شوند و یا یک مسیر دیگری را که ناصحیح است، انتخاب می‌کنند.

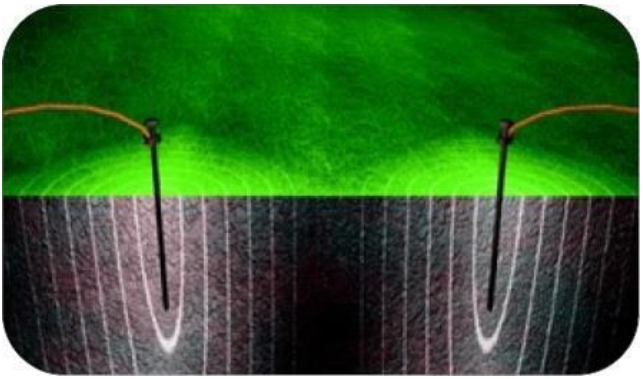
هدف از مطالعه GPR مشخص نمودن ترکیبات زمین و درنتیجه آن تعیین میزان جریانی است که در زمین دفن می‌شود و میزان جریانی که در زمین باقی می‌ماند و منجر به ایجاد پتانسیل خطرناک برای افراد می‌شود.

هم‌چنین می‌توان مدت زمانی را که این جریان الکتریکی مازاد در زمین باقی می‌ماند، مشخص نمود.

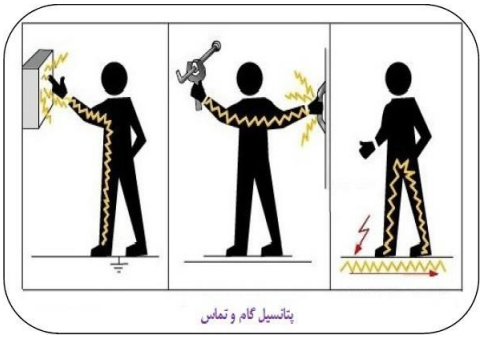
جریان همواره سریع‌ترین و راحت‌ترین مسیر را به زمین دنبال می‌کند. در نقطه‌ای از زمین که جریان به آن وارد می‌شود، جریان از هم پاشیده شده و در مسیرهای مختلفی بسته به نوع ترکیبات و مقاومت زمین انشعاب می‌یابد. در بیشترین ولتاژ در نقطه‌ایست که جریان وارد زمین می‌شود و هرچه از آن نقطه دور شوید ولتاژ بتدریج کاهش می‌یابد.



یعنی وقتی جریان الکتریکی به درون زمین منتشر می‌شود یک اثر موجی شکل دارد مانند پرتاب‌کردن سنگ درون دریاچه‌ای آرام. این اثر به‌عنوان "گرادیان زمین" شناخته می شود.



وجود گرادیان زمین و یا افت ولتاژ دو مشکل اساسی ایجاد می‌کند که عبارتند از: ولتاژ گام و ولتاژ تماس.



## ولتاژ گام

فرض کنید یکی از سیم های فاز بر روی زمین افتاده و استخری از الکترون ها را به وجود آورده است. در این حالت اگر شما در محلی ایستاده باشید که یک پای شما نزدیک محل ورود جریان به زمین و پای دیگر شما یک قدم دورتر باشد، اختلاف ولتاژی که میان دو پای شما وجود دارد سبب می شود تا جریان الکتریکی در بدن شما جاری گردد. به این اثر "ولتاژ گام" می گویند.

## ولتاژ تماس

به‌طور مشابه، اگر شما در موقعیتی باشید که دست شما در تماس با جسم برق‌دار بوده و پای شما در فاصله‌ای کمی دورتر از آن جسم باشد، اختلاف ولتاژ میان دست و پای شما به‌عنوان "ولتاژ تماس" شناخته می‌شود.

استفاده از الکترودهای زمین در فاصله ۲۰۰ متری پست باعث می‌شود که در صورت بروز اتصالی بین یک هادی فاز و هادی حفاظتی، ولتاژ هادی حفاظتی و بدنه‌های هادی متصل به آن، به زمین نزدیک‌تر شده و درنتیجه ولتاژ تماس یا ولتاژ برق‌گرفتگی نیز کمتر می‌شود. اگر فردی یک سیم برق‌دار و یا هر شیء برق‌دار دیگری را لمس کند و همزمان با آن با زمین نیز در تماس باشد، حتماً دچار برق‌گرفتگی خواهد شد.

تعدادی قوانین کلی وجود دارد که باید در رابطه با پی بردن به مفهوم طراحی زمین مناسب و کاهش ولتاژهای خطرناک به آن اشاره نمود.

اساساً این شرایط خاک است که کلیه روابط مربوط به سیستم اتصال زمین را مشخص می‌کند.

برای مثال خاک‌های با مقاومت ویژه بالا یک مشکل اساسی به شمار می‌آیند. هرچه خاک بیشتر با عبور جریان الکتریکی مخالفت کند یا به عبارتی مقاومت خاک بالاتر باشد، ولتاژ بیشتر و پاک‌سازی جریان خطا دشوارتر می‌گردد.

همواره باید این نکته را درنظر داشت که در زمان طراحی سیستم زمین، روش‌هایی که برای کاهش پتانسیل‌های گام و تماس استفاده می شوند می توانند در تضاد با یکدیگر باشند.

این روش‌ها عبارتند از:

- برای کاهش ولتاژ گام معمولاً بهتر است الکترودهای ارت در اعماق هرچه بیشتر زمین قرار گیرند تا جریان الکتریکی از افراد دور نگه‌داشته شود.
- برای کاهش ولتاژ تماس معمولاً بهتر است الکترودهای ارت را در نزدیکی پاها تعبیه کرد تا با این عمل از ایجاد اختلاف پتانسیل میان دست و پای افراد جلوگیری به‌عمل آید.
- از آن‌جایی که ولتاژهای گام می‌توانند در فواصل دور از جایی که خطا اتفاق افتاده است، نیز شکل بگیرند لذا یک نگرانی در کل شبکه و خارج از آن به‌شمار می‌آیند. زیرا که به محض ورود جریان‌های خطا به زمین، در خاک اطراف منتشر می شوند و ممکن است در همان لحظه افرادی روی سطح زمین ایستاده و یا در حال راه رفتن در مسیر امواج الکتریکی باشند، که در این‌صورت حتماً به آن‌ها آسیب وارد می‌شود.

در چنین مواردی اختلاف پتانسیل میان پای چپ و راست فرد باید محاسبه گردد که روشن است هرچه فاصله میان پاها بیشتر باشد، اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین آن دو نیز بیشتر خواهد بود.

در محاسبات جهت حصول اطمینان از حفاظت کامل فرد، بدبینانه‌ترین حالت یعنی زمانی که فاصله بین دو پا یک متر باشد را لحاظ می‌کنند.

- همان‌گونه که گفته شد در مواقعی که شخص در تماس با اجسام فلزی قراردارد، مسئله ولتاژ تماسی نگران‌کننده خواهدبود. درواقع محاسبات ولتاژ تماس فقط مربوط به اجسام فلزی در دسترس است (زمانی که فرد دستش را دراز کند و به جسمی که یک متر دورتر است دسترسی پیدا کند.)

در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت طراحی صحیح سیستم زمین برای کاهش ولتاژ گام نسبت به سیستم زمین مناسب برای کاهش ولتاژ تماس متفاوت بوده و در اغلب موارد طراحی زمینی که یکی از این عوامل را کاهش می‌دهد می‌تواند اثر منفی بر دیگری داشته باشد.

مثلا قراردادن رینگ ارت در عمق یک متری زمین ممکن است ولتاژهای خطرناک گام را حذف کند ولی این افزایش عمق سبب ایجاد اختلاف پتانسیل خیلی بیشتر میان دست و پا شده و افزایش چشم‌گیری در پتانسیل تماس خواهد داشت.

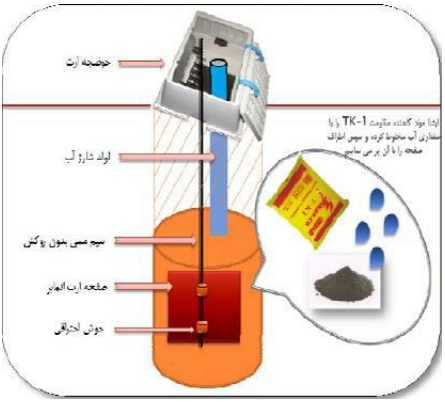
## روش های ایجاد یک سیستم اتصال زمین کدامند؟

تصور رایج اشتباهی وجود دارد که معتقد است دلیل استفاده از روکش مسی بر روی یک الکترود زمین استاندارد، صرفاً جهت رسانایی الکتریکی بالای این عنصر

است درحالی‌که علی‌رغم رسانا بودن مس، هدف اصلی استفاده از آن، ایجاد حفاظت از مغزی فولاد در برابر خوردگی می‌باشد.
از آن‌جا که مس همواره بهترین انتخاب برای حفاظت در برابر خوردگی نیست، مشکلات ناشی از خوردگی، بسیار اتفاق می‌افتد. برای کاهش نگرانی‌های ناشی از این موضوع، استفاده از میله‌های ارت گالوانیزه یک انتخاب مطمئن‌تر برای طولانی کردن عمر الکترود زمین به‌ویژه در محیط‌های مستعد خوردگی می‌باشد.
به این منظور ضخامت روکش الکترودهای فولادی با روکش مس باید مطابق با استانداردهای وزارت نیرو و ۰,۲۵ میلی‌متر یا بیشتر باشد و روکش مس آن نیز به‌وسیله جوش مولکولی انجام شود تا از نفوذ رطوبت میان میله فولادی و روکش مس جلوگیری به‌عمل آمده و سبب سولفاته شدن آن نگردد.

## روش عمقی

روش عمقی یا چاه ارت متداول‌ترین روش در ایران است. این روش عبارتست از احداث یک یا چند چاه به عمق مناسب تا رسیدن به رطوبت طبیعی خاک. لذا بهتر است چاه ارت را در مناطقی که بیشتر در معرض رطوبت و آب قرار دارند مانند باغچه‌ها و فضاهای سبز حفر نماییم.
معمولاً چاهی به عمق ۴ الی ۱۰ متر (حداقل یک متر پایین‌تر از رطوبت دائم زمین) حفر می‌شود و با توجه به نوع خاک و با استفاده از موادی نظیر الکترولیت جبرانی، مواد کاهنده مقاومت زمین و یک یا چند عدد صفحه مسی و مقداری سیم، شبکه زمین احداث می‌گردد.




## روش سطحی

این روش برای مناطقی که امکان حفاری عمیق در آن‌ها وجود ندارد اجرا می‌شود و در آن از یک یا چند الکترود اتصال زمین به صورت‌های مختلف استفاده می‌شود.

## الکترود زمین

الکترودهای زمین باید به نحوی طراحی و اجرا شوند که خطرات ناشی از عبور جریان‌های زیاد در هنگام اتصال کوتاه و یا در زمان اصابت صاعقه را به حداقل ممکن تقلیل دهند.

استاندارد بین‌المللیNEC ملزم می‌دارد که مقاومت الکتریکی تمامی الکترودهایی که با عنوان الکترود زمین استفاده می‌شوند قبل از استفاده اندازه‌گیری شده تا اطمینان حاصل شود که مقاومتی زیر ۲۵ اهم دارند، البته

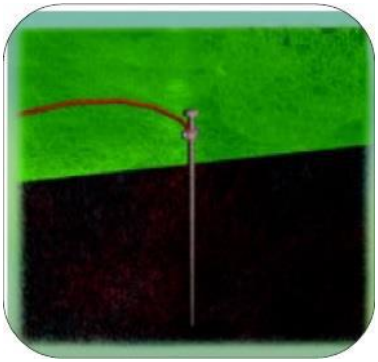
منظور از مقاومت یک الکترود زمین، مقاومت آن نسبت به "جرم کلی زمین" است.

همواره باید این نکته را در نظر داشت که الکترودهای زمین هر سیستم باید در خارج از حوزه ولتاژ الکترودهای زمین سیستم‌های دیگر قرار گیرند.

برخی از انواع الکترودهای زمین عبارتنداز:

- الکترود های میله ای
- الکترود های صفحه ای
- الکترود های لوله ای
- الکترود های نواری و تسمه ای
- استفاده از سیستم لوله کشی ساختمان
- استفاده از فوندانسیون ساختمان

## الکترود میله ای

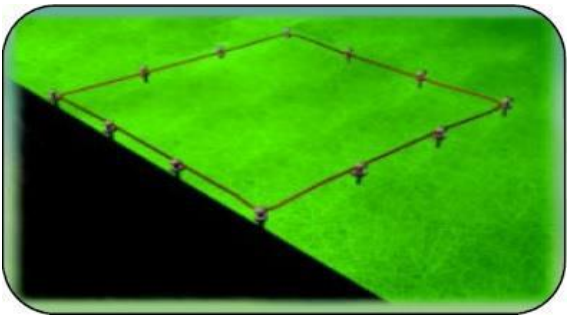


الکترود میله‌ای یا میله ارت کاپرولد از رایج‌ترین انواع الکترود می‌باشد، که طبق استاندارد وزارت نیرو باید با حداقل قطر ۱۶میلی‌متر و ضخامت مس ۲۵۰ میکرون تولید گردد.

این الکترودها باید حداقل به اندازه ۸۰ سانتی‌متر پایین‌تر از سطح زمین در خاک قرار گیرند تا از ایجاد ولتاژهای خطرناک در سطح زمین جلوگیری گردد.

از معایب میله ارت می‌توان به برقراری سطح تماس کم آن با خاک مناطق سنگی اشاره نمود که استفاده از میله را در این گونه مناطق ناکارآمد می‌سازد.

در صورت استفاده بیش از یک الکترود (صفحه‌ای یا میله‌ای) حداقل فاصله دو الکترود باید برابر با عمق دفن آن‌ها باشد.



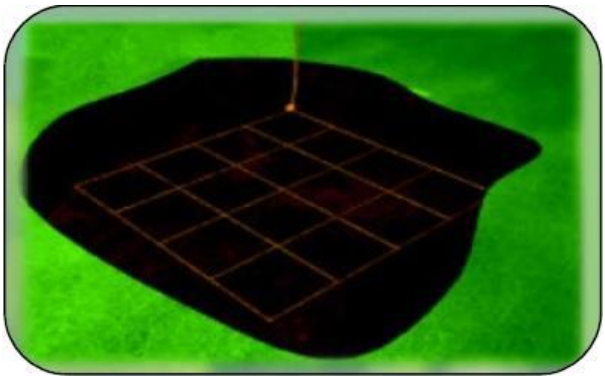
## الکترود میله ای پیشرفته

ساختار میله ارت پیشرفته بسیار متفاوت از میله‌های ارت معمولی و با مزایایی کلیدی در بهبود عملکرد سیستم زمین است. دارا بودن مقاومت الکتریکی کمتر، با استفاده از مته‌های بزرگ چند منظوره، سبب می‌شود تا این الکترودها در کمترین زمان و در تمامی محیط‌های سخت به راحتی نصب گردند.

این میله‌ها به راحتی می‌توانند در عمق ۶ متری و یا بیشتر نصب شوند و به دلیل داشتن سطح تماس زیاد با خاک می توانند هدایت الکتریکی بین خاک و الکترود را بهبود بخشند.

لازم به ذکر است استفاده از این نوع الکترود میله‌ای در ایران متداول نمی‌باشد.

## الکترود نواری یا تسمه ای یا مش



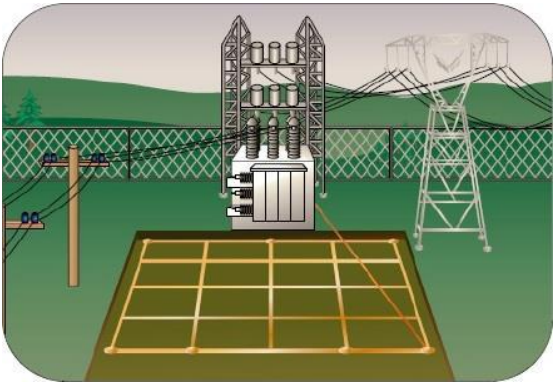
از این الکترودها به‌ویژه در مناطق صخره‌ای که تنها می‌توان کانال غیرمنظم حفر کرد استفاده می‌شود.

الکترودهایی به شکل تسمه مسی بدون روکش قلع اندود با ضخامت مس حداقل ۲ میلیمتر تسمه فولادی گالوانیزه گرم با سطح مقطع حداقل ۱۰۰ میلیمتر مربع (۳/۵*۳۰) و یا حتی سیم مسی لخت با سطح مقطع ۲۵ میلی‌متر مربع (قطر ۵/۶ میلی‌متر) می‌توانند به‌عنوان الکترود افقی استفاده گردد.

رایج‌ترین این الکترودها معمولاً از جنس مس غیرقلع‌اندود و یا مغزی فولاد با روکش مس اتمایز با حداقل سطح مقطع ۵۰ میلی‌متر مربع تولید می‌شود.

عمق دفن الکترود تسمه‌ای و پهنای آن تأثیر نسبتاً کمی روی مقاومت دارد. بنابراین، عمق دفن الکترودهای تسمه‌ای (افقی) بین ۰/۶ تا ۲ متری سطح زمین پایین‌تر از سطح انجماد پیشنهاد می‌شود.

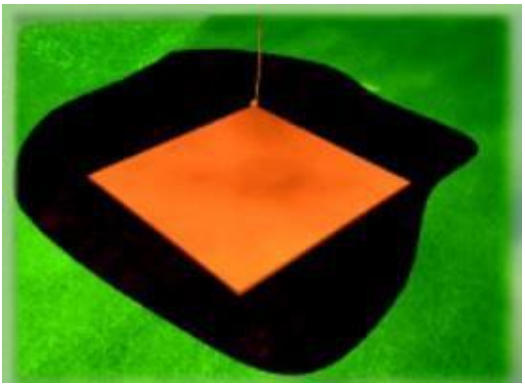
یکی موارد استفاده از الکترودهای افقی، ایجاد سطوح هم پتانسیل مخصوصاً در نیروگاه ها و پست‌های فشار قوی می باشد.



## الکترود صفحه ای

با وجود اینکه الکترود صفحه‌ای در رده آخر ارجحیت انواع الکترودها قرار دارد، استفاده از آن در ایران بسیار متداول می‌باشد. این الکترود عبارتست از یک ورق یا صفحه فلزی که در مقابل خوردگی مقاوم بوده و هر دو طرف آن با زمین در تماس باشد. باید توجه داشت که قراردادن الکترود صفحه‌ای در جهت قائم عموماً نتیجه بهتری را به همراه می‌آورد.

هم‌چنین عمق لبه بالایی صفحه از سطح زمین نباید کمتر از ۱,۵ متر باشد و ضخامت صفحه اگر آهنی و یا فولادی باشد، نباید از ۶ میلی‌متر و اگر گالوانیزه گرم باشد از ۳ میلی‌متر و اگر از مس باشد از ۲ میلی‌متر کمتر باشد.



## الکترود های متفرقه

الکترودهای متفرقه، اجزای هادی تأسیسات و تجهیزاتی از جنس مس، آهن، فولاد و غیره هستند که در ساختمان‌ها و تأسیسات مربوط به آن برای مصارف ویژه به‌کار گرفته می‌شوند و در همبندی برای پایین آوردن مقاومت کل سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

قسمت‌های فلزی سازه که در پی‌های بتونی ساختمان قرار گرفته‌اند مانند میلگردها، می‌توانند به مثابه یک الکترود اتصال به زمین مؤثر و آماده به حساب آیند. بتون جاذب رطوبت است به‌ویژه در مناطق غیرخشک، هنگام قرارگرفتن در درون خاک، مقاومت ویژه بسیار پایینی از خود نشان می‌دهد که گاهاً از انواع خاک‌های دیگر کمتر است.

استفاده از فوندانسیون به شرطی که بتون در تماس مستقیم با زمین باشد و قطر میلگرد حداقل ۱۳ میلی‌متر باشد و یک اتصال فلزی مستقیم از شبکه زمین به میلگرد دفن شده درون بتون برقرار شود، مجاز است.

در کارگاه‌ها و کارخانه‌های بزرگ، نمی‌توان از الکترودهای متفرقه مانند لوله‌های آبرسانی عمومی، لوله‌های گاز، نفت، هوای فشرده و فاضلاب به‌عنوان الکترودهای اصلی سیستم اتصال زمین استفاده کرد. در این حالت علاوه بر ایجاد سیستم‌های اتصال زمین مطمئن باید الکترودهای متفرقه را نیز با آن‌ها همبند کرد.

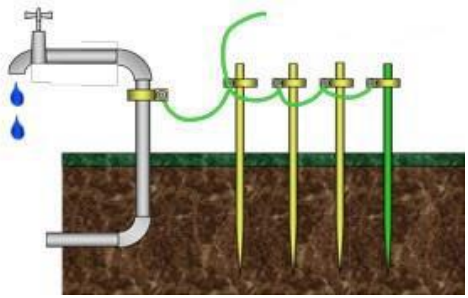
در طول زمان از لوله‌های آب به‌مثابه سیستم اتصال به زمین به فراوانی استفاده شده‌است.

درحالی‌که در بسیاری از کشورها، سازمان آب شروع به نصب عایق‌های پلاستیکی در خطوط لوله‌های آب نموده‌است تا با این کار از جاری شدن جریان الکتریکی در لوله‌های آب جلوگیری و اثرات مخرب آن را کاهش دهد.

استاندارد NEC استفاده از حداقل یک الکترود اضافی در هنگامی که از لوله آب به‌عنوان الکترود زمین استفاده می‌شود را ملزم می‌دارد.

- سایر شرایط مورد نیاز جهت استفاده از لوله‌های آب به‌عنوان الکترود زمین به شرح زیر می باشد:

- حداقل باید ۳ متر از لوله در تماس با زمین باشد.
- کلیه اتصالات باید از نظر الکتریکی پیوستگی لازم را دارا باشند.
- کنتور آب نباید در مسیر مدار ارت قرار گیرد.
- طبق استاندارد NEC باید لوله‌های آب به سیستم زمین همبند گردند حتی اگر از آن‌ها به عنوان بخشی از سیستم زمین استفاده نشده باشد.



## الکترود الکترولیتی

به‌منظور بهبود اشکالات دیگر الکترودها و به‌نحوی خاص (Active) الکترود زمین فعال طراحی شده‌است. این الکترود شامل یک لوله تو خالی مسی است که درون آن از ماده الکترولیت پر می گردد و می تواند رطوبت را از هوا جذب نماید. درنتیجه این محلول الکترولیتی به‌طور مداوم به محیط اطراف خود تراوش می‌کند و آن را مرطوب و یونی نگه می‌دارد.
ماده الکترولیتی مذکور باید به‌گونه‌ای باشد که الکترود را از خوردگی محافظت نموده و رسانایی آن را بهبود بخشد. این ماده محلول به همراه مواد کاهنده

مقاومت زمین سبب برقراری ارتباط بهتر میان الکترود و خاک اطراف آن شده و الکترود را از عواملی چون دما، شرایط محیطی و خوردگی در امان می‌دارد. این الکترود تنها الکترودی است که با مرور زمان خواص آن بهبود می‌یابد، این درحالی‌ست که سایر الکترودها با تغییر فصل‌های سال و با گذشت زمان به سرعت مقاومتشان افزایش می‌یابد.

## روش‌های کلی کاهش هرچه بیشتر مقاومت زمین

- جهت رسیدن به لایه‌های مرطوب خاک می‌توان از میله‌های با طول بیشتر از ۱,۵ متر استفاده نمود. برای این منظور معمولاً از میله‌های ۳ متری یک‌پارچه و یا میله‌های ۱,۵ متری کوپل شده با قطرهای ۱۶ و یا ۲۰ میلی‌متر استفاده می‌شود.

- طبق رابطه مجموع مقاومت‌های موازی، می‌توان شبکه‌ای از میله‌های ارت موازی (در امتداد یک خط راست و یا در امتداد ضلع‌های یک مربع) احداث نمود تا مقاومت معادل سیستم کوچک گردد.

$$1/R = 1/R1 + 1/R2 + \ldots + 1/Rn$$

- با استفاده از مواد کاهنده مقاومت زمین می‌توان تأثیر بسیار زیادی بر کاهش مقاومت خاک گذاشت.

در حال حاضر روش‌های قدیمی کاهش مقاومت زمین مانند استفاده از مخلوط ذغال و نمک و یا ماده‌ای به‌نام بنتونیت رو به منسوخ شدن است. زیرا که آزمایشات انجام شده در این زمینه ثابت می‌کنند که روش‌های نوین نتایج بهتری در مقایسه با روش‌های قدیمی بدست می‌آورند و حتی احیای مجدد چاه‌های ارت از کار افتاده را ممکن می‌سازند.

این مواد به‌دلیل داشتن نانوگرافیت و نانوکربن و هم‌چنین سوپر جاذب‌ها در برابر مواد خورنده اسیدی و قلیایی موجود در خاک مقاوم بوده و به مرور کیفیت خاک چاه را تغییر می‌دهند و رطوبت آن را حفظ می‌کنند.

## سایر تجهیزات مورد نیاز سیستم زمین

- دریچه بازدید ارت
- جعبه آزمون ارت
- شینه ارت
- انواع اتصالات

## تجهیزات جوش احتراقی

جهت ایجاد اتصال الکتریکی مناسب میان چند هادی از جوش احتراقی، نقره یا آرگون استفاده می‌شود. مانند اتصال سیم به سیم و یا تسمه مسی، سیم به صفحه و یا میله ارت، و یا سیم به استراکچر فلزی ساختمان و غیره، که جهت اطمینان از استحکام بیشتر میان آن‌ها می‌توان از تعدادی بست مخصوص همان نوع اتصال استفاده نمود.

بهترین روش جهت ایجاد اتصال الکتریکی بین اجزای فلزی به کار رفته در حجم بتون مانند میلگردها و یا در زیر سطح زمین، جوشکاری است.

### مراحل انجام جوش احتراقی

۱. تمیز کردن صفحه با برس سیمی و اسکراپر
۲. قرار دادن سیم مسی بر روی صفحه
۳. قرار دادن قالب بر روی سیم مسی و صفحه
۴. قرار دادن پولکی درون قالب
۵. ریختن پودر جوش درون مخزن قالب
۶. قرار دادن چاشنی درون قالب
۷. بستن درب قالب
۸. محترق نمودن چاشنی
۹. انجام عملیات جوش احتراقی
۱۰. منتظر ماندن به مدت ۱۵ ثانیه

۱۱. برداشتن قالب و کنترل درستی جوش انجام شده
۱۲. تمیز کردن مخزن پودر به وسیله برس سیمی

## انتخاب و نصب هادی زمین

هادی زمین (سیم اتصال به زمین) قسمتی از سیستم زمین است که الکترود زمین را به ترمینال اصلی زمین وصل می‌کند.
هادی زمین (سیم ارت) روی زمین باید روکش‌دار و زیر خاک یا داخل کانال‌ها باید بدون روکش و به‌صورت مستقیم کشیده شود و در مقابل خوردگی شیمیایی و صدمات مکانیکی استحکام لازم را داشته باشد.
استفاده از سیم آلومینیومی لخت و یا سیم آلومینیومی دارای پوشش مس در تماس با زمین چه به عنوان الکترود و چه به عنوان هادی زمین ممنوع می‌باشد،

مگر در مواردی که در برابر تماس با خاک و رطوبت حفاظت شده  یا دارای غلاف مناسب باشد.

سیم لخت اتصال زمین تا حد امکان نباید از داخل لوله‌های فلزی عبور کند، زیرا سیم ارت نباید قبل از اتصال به شینه اتصال به زمین، با زمین اتصال داشته باشد و چون در صورت استفاده از لوله‌های فلزی امکان اتصال وجوددارد، استفاده از آن‌ها فقط در جایی که امکان آسیب‌دیدن سیم حفاظتی وجوددارد، مجاز است.

سطح مقطع هادی حفاظتی

| حداقل سطح مقطع هادی حفاظتی متناسب با هادی فازS (میلی‌متر مربع) | سطح مقطع هادی فاز در تأسیسات فاز S (میلی‌متر مربع) |
|---|---|
| S | S=16 |
| 16 | 16<S=<35 |
| S/2 | S>35 |

از رابطه فوق تنها در صورتی می‌توان استفاده کرد که هادی حفاظتی و هادی فاز هم‌جنس باشند.

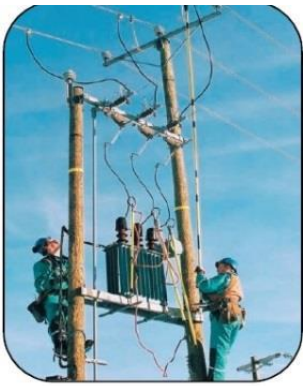
**الکترودهای زمین وحداقل اندازه ی آن ها ازنظر خوردگی و ومقاومت الکتریکی**

| جنس الکترود | شکل | قطر میلی‌متر | سطح مقطع میلی‌مترمربع | ضخامت میلی‌متر | ضخامت پوشش میکرون |
|---|---|---|---|---|---|
| فولاد دفن شده در داخل بتن (از نوع لخت، گالوانیزه عمقی داغ و یا فولاد ضدزنگ) | سیم لخت مفتولی یا میله گرد | ۱۰ | - | - | - |
| | تسمه | - | ۷۵ | ۳ | - |
| فولاد گالوانیزه عمقی داغ | تسمه (یا لبه‌های گرد) | - | ۹۰ | ۳ | ۶۳ |
| | میله یا مقطع گرد نصب شده بصورت عمودی | ۱۶ | - | - | ۴۵ |
| | سیم لخت مفتولی نصب شده بصورت افقی | ۱۰ | - | - | ۴۵ |
| | لوله (هر دو جداره گالوانیزه) | ۲۵ | - | ۲ | ۴۵ |
| | سیم لخت چند مفتولی دفن‌شده در بتن | - | ۷۰ | - | - |
| فولاد با روکش مس | میله یا مقطع گرد نصب شده بصورت عمودی | ۱۵ | - | - | ۲۰۰۰ |
| فولاد با روکش مس عجین‌شده | میله یا مقطع گرد نصب شده بصورت عمودی | ۱۴ | - | - | ۲۵۰ |
| | تسمه نصب شده بصورت افقی | - | ۹۰ | ۳ | ۷۰ |
| فولاد ضد زنگ | تسمه | - | ۹۰ | ۳ | - |
| | میله یا مقطع گرد نصب شده بصورت عمودی | ۱۶ | - | - | - |
| | سیم لخت مفتولی نصب شده بصورت افقی | ۱۰ | - | - | - |
| | لوله | ۲۵ | - | ۲ | - |

## اتصال زمین موقت برای خطوط فشار ضعیف، متوسط و قوی

دستگاه ارت موقت وسیله‌ای حفاظتی است که برای قفل‌کردن و یا بستن خطوط به‌منظور جلوگیری از خطر برق‌گرفتگی افراد در مواقع برق‌دار شدن ناگهانی شبکه به‌کار می‌رود.

چنان‌چه شبکه در حال تعمیر از دو نقطه ورودی و خروجی، بوسیله دستگاه اتصال زمین موقت ارت گردد، درصورت بروز اتفاقاتی چون رعد برق، پاره شدن اتفاقی سیم‌های عبوری از بالای شبکه تحت تعمیر و غیره که سبب برق‌دار شدن ناگهانی خط در حال تعمیر می‌شود، این عوامل خنثی خواهند شد و هیچ خطری افراد مشغول به کار را تهدید نخواهد کرد.



## تجهیزات اندازه گیری

اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک قبل از شروع احداث الکترود با هدف تصمیم‌گیری درباره مشخصات آن انجام می‌شود و اندازه‌گیری مقاومت الکترود که پس از پایان

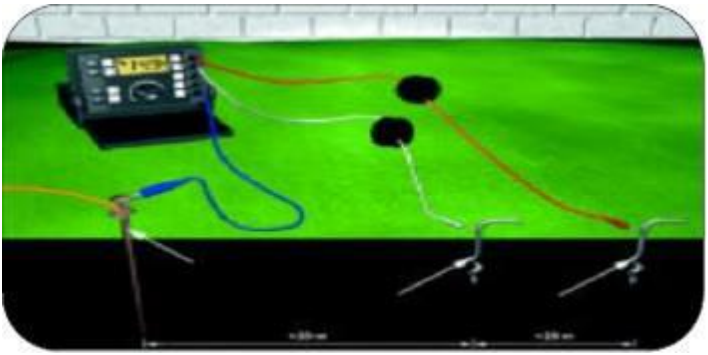
احداث آن صورت می‌گیرد، نقش بسیار مهمی در ایمنی افراد و سلامت دستگاه‌ها دارد.

## اندازه گیری مقاومت سیستم زمین

برای این منظور روش‌های متعددی وجود دارد. به‌طور کلی دو روش رایج برای اندازه‌گیری مقاومت الکترود سیستم زمین وجود دارد. اولی روش افت پتانسیل (روش سه نقطه‌ای) و دیگری روش معروف به کلمپی می‌باشد.

- شرح مختصری از چگونگی اندازه‌گیری مقاومت الکترود با روش افت پتانسیل:

- ✓ یک جریان متناوب با دامنه ثابت بین الکترود زمین مورد نظر و یک الکترود کمکی ایجاد می‌شود.
- ✓ اختلاف پتانسیل میان دو الکترود توسط یک الکترود کمکی دیگر که در وسط آن دو قرار دارد به وسیله ولت متر اندازه گیری می شود.
- ✓ از تقسیم اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده بین الکترود های کمکی بر جریان اندازه گیری شده توسط آمپرمتر، مقاومت الکترود زمین بدست خواهد آمد.
- ✓ آزمایش فوق را به تعداد سه بار دیگر با جابه جایی الکترود ولتاژ، تکرار کرده و چنانچه نتایج هر سه آزمون در حد دقت مورد نظر باشد، میانگین سه مقدار اندازه گیری شده، مقاومت مورد نظر خواهد بود.



## اندازه گیری مقاومت ویژه خاک

مقاومت خاک رابطه مستقیمی با غلظت نمک‌های محلول یونی، جنس خاک، رطوبت و دما دارد.

اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک به جهت تعیین میزان خورندگی خاک و تعیین چگونگی هدایت جریان الکتریکی که لازمه انجام محاسبات و درنتیجه آن ایجاد سیستم زمین مطمئن و مناسب می‌گردد، امری ضروری می‌باشد.

در اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک از چهار الکترود به جای سه الکترود استفاده می شود و مقاومت اندازه‌گیری شده در رابطه زیر صدق خواهد کرد:

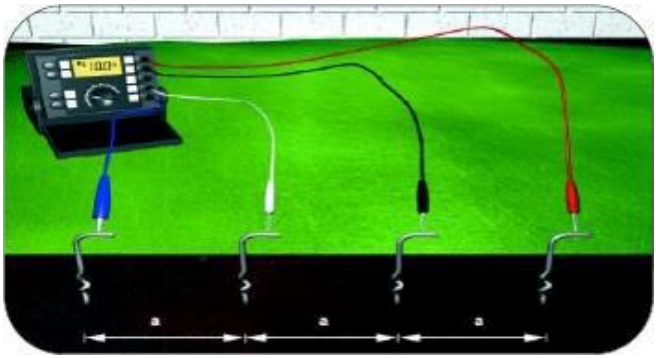
$$R = \frac{P}{2\pi a}$$

که در آن:

P: مقاومت ویژه میانگین خاک بر حسب اهم-متر در عمق aمتر

a : فاصله الکترودها از یکدیگر بر حسب متر و عمقی است که در آن مقاومت ویژه برابرr است.

با تکرار اندازه‌گیری‌ها برای مقادیر مختلفa، مقاومت ویژه میانگین برای عمق‌های مختلف بدست می‌آید.



با مطالعه همه نتایج می توان نسبت به انتخاب عمق کوبیدن و یا دفن کردن الکترود، تصمیم گیری و به عبارت دیگر قضاوت کرد که ازدیاد عمق تا چه اندازه در کاهش مقاومت مؤثر خواهد بود

مقاومت ویژه برخی از انواع خاک‌ها در جدول زیر آمده است.

| مقاومت ویژه (اهم-متر) | نوع زمین |
|---|---|
| ۵-۴۰ | مرداب و باتلاق |
| ۲۰-۲۰۰ | خاک رس و زمین مزروعی |
| ۲۰۰-۲۵۰ | ماسه |
| ۵۰۰-۱۰۰۰ | شن |
| ۲۰۰۰-۳۰۰۰ | سنگلاخ |

# فصل دوم

# سیستم حفاظت در برابر صاعقه

## صاعقه چیست ؟

در اثر تخلیه الکتریکی میان یک قطعه ابر باردار و زمین صاعقه به‌وجود می‌آید که معمولاً با نور و صدای شدیدی همراه است.
از دیرباز برخورد صاعقه با زمین خطرات بسیاری را بر جان و مال انسان‌ها وارد می‌کرد.
به‌مرورزمان، بشر توانست، با مطالعه الکتریسیته و علم هدایت الکتریکی، جان و سازه‌های خود را از هجوم غیرقابل پیش‌بینی این پدیده طبیعی محفوظ بدارد.
درصورت برخورد مستقیم صاعقه به ساختمانی که فاقد سیستم صاعقه‌گیر است و یا سیستم صاعقه‌گیر آن به‌درستی طراحی و اجرا نشده، جریان صاعقه به‌جای عبور از مسیر ایمن هادی‌های نزولی، خود را از طریق دیگر تجهیزات فلزی مانند مخزن آب، آنتن، دودکش، ناودانی، راه پله فلزی و... به زمین می‌رساند و این تخلیه جریان که در بعضی اوقات در حد چند کیلوآمپر است می‌تواند خطرات زیادی برای افراد و تجهیزات به‌وجود آورد.

## فرآیند تشکیل صاعقه

صاعقه از تخلیه الکتریکی میان یک قطعه ابر و زمین به‌وجود می‌آید. در ابرهای کومولونیمبوس طی مراحلی ذرات آب دارای بار منفی و ذرات یخ دارای بار مثبت می‌شوند و عموماً بارهای مثبت در لایه‌های میانی و بالایی ابر و بارهای منفی در لایه‌های پایینی آن متمرکز می‌شوند که سبب تجمع بارهای مثبت روی سطح زمین زیر سایه آن ابر می‌شوند.

در واقع ابر و زمین همانند دو صفحه باردار و وجود هوا به‌عنوان یک ماده عایق دی الکتریک میان آن دو باعث می‌شود مجموعه ابر و هوا و زمین به یک خازن بسیار بزرگ تبدیل شوند که هر لحظه بار روی صفحات آن بیشتر و بیشتر می‌شود و یا به‌عبارتی اختلاف پتانسیل روی دو صفحه آن افزایش می‌یابد.

زمانی که اختلاف میان بارهای مثبت و منفی به قدر کافی زیاد شود، یک جریان پایین رونده از الکترون‌ها از سوی ابر به سمت زمین سرازیر می‌شود.

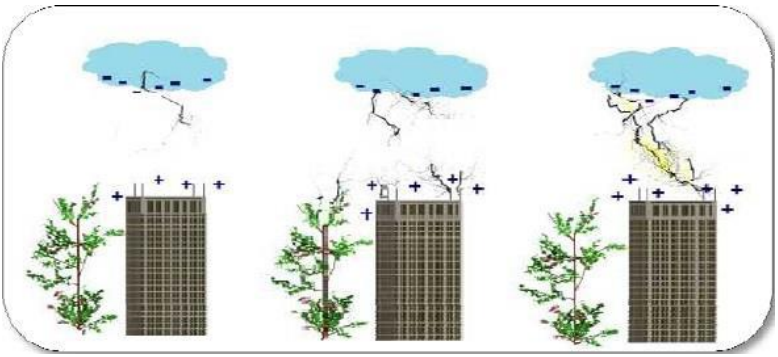
(Down Ward Leader)

درنتیجه چنین اختلاف پتانسیلی، یک میدان الکتریکی بسیار قوی به‌وجود می‌آید که می‌تواند هوا را، با وجود این که در حالت عادی نارسانا است، یونیزه و آن را به یک رسانا تبدیل کند.

به فرآیند یونیزاسیون هوا در اثر شکستن خواص عایقی آن، کرونا می‌گویند.

در این زمان با افزایش شدت میدان الکتریکی در سطح زمین نیز، یک جریان الکتریکی بالارونده از زمین به‌سوی ابر حرکت می‌کند (Up Ward Leader) و پس از اصابت این دو جریان به یکدیگر، کانال جریان بسته شده و جهت تخلیه بارهای ابر و زمین، جریان بسیار بزرگی (درحد ۳۰ کیلوآمپر تا ۲۰۰ کیلوآمپر) ولی در زمان بسیار کم (در حد چند میکرو ثانیه) در این کانال برقرار می‌شود.

حال اگر محل برخورد این دو جریان (پایین‌رونده و بالارونده) روی سطح اجسامی که روی زمین قرار گرفته‌اند اتفاق افتد، علاوه‌بر آسیب رساندن به افراد و تخریب فیزیکی ساختمان‌ها و ایجاد آتش‌سوزی و غیره، میدان مغناطیسی ناشی از چنین جریان بزرگی سبب آسیب دیدن تجهیزات برقی و الکترونیکی داخل ساختمان‌ها نیز می‌شود.



درنتیجه باید تدبیری اندیشید تا هم افراد و هم سازه‌ها در برابر ضربات مستقیم و آثار غیرمستقیم صاعقه محفوظ بمانند.

هرچه بتوان برخورد دو جریان الکتریکی منفی پایین‌رونده و جریان الکتریکی مثبت بالارونده را به محلی دورتر از سطح اجسام روی زمین انتقال داد محدوده حفاظت و یا شعاع حفاظت بزرگتر می‌گردد. برای این منظور باید پس از انجام محاسبات، یک یا تعدادی صاعقه‌گیر را در بلندترین نقاط سازه مورد نظر قرار داده و سپس آن‌ها را از طریق هادی‌های نزولی به سیستم اتصال زمین مناسب (مقاومت زیر ۱۰ اهم) متصل نمود تا بدین طریق از تخلیه ناخواسته جریان صاعقه در نقاط مختلف جلوگیری به‌عمل آید.

## انواع صاعقه گیرها از لحاظ مکانیزم عملکرد

غیرفعال (Passive) و فعال (Active)

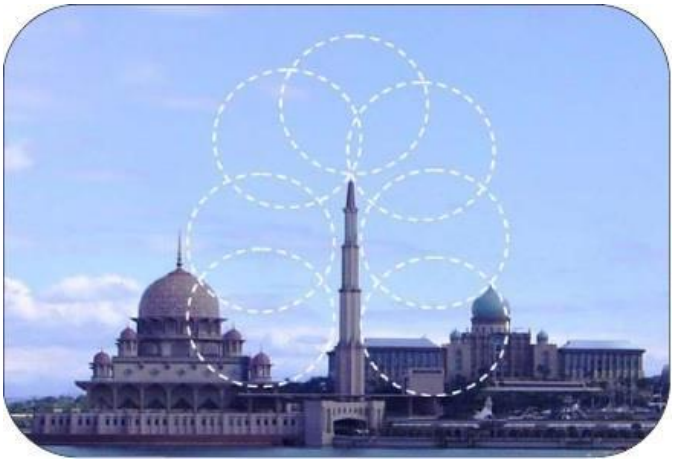
### صاعقه گیر غیر فعال (میله فرانکلین، قفس فارادی)

طراحی و ساخت این صاعقه گیرها بر پایه استانداردهای جهانی IEC-62305، IEC62561، NFPA-780 و BS-6651 می‌باشد.

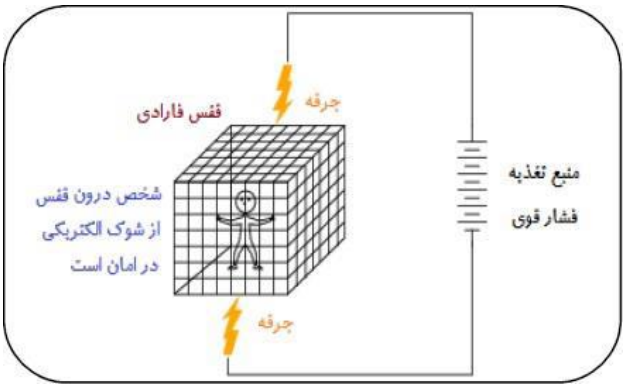
اختراع میله‌های ساده صاعقه‌گیر توسط فرانکلین صورت گرفت که با نصب آن‌ها روی پشت‌بام، مشکل اصابت صاعقه تا حدی برطرف شد.

اساس طراحی این نوع صاعقه‌گیر بر پایه روش هایی چون گوی‌غلطان می‌باشد. این روش برآن است که با شبیه‌سازی گوی‌غلطان (شعاع آن از رابطه D=10I0.6 به‌دست می‌آید) و حرکت آن حول ساختمان موردنظر می‌توان نقاط محتمل اصابت صاعقه به سازه را مشخص نمود.

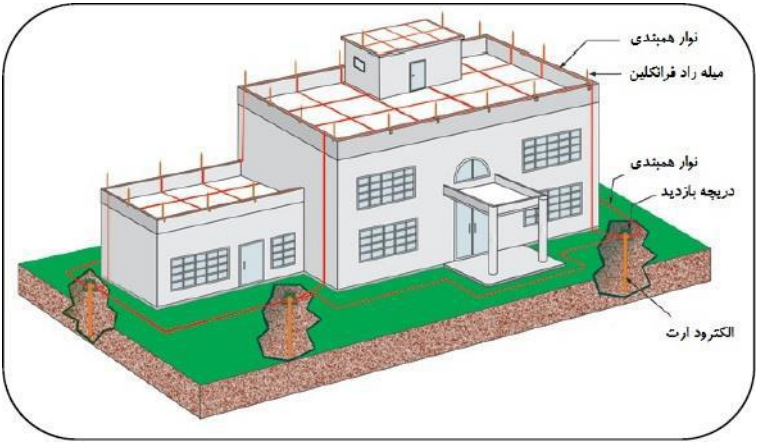
عدم اصابت گوی با سازه به منزله حفاظت کامل جلد خارجی ساختمان با همان تعداد صاعقه‌گیر تعبیه شده بوده و نیازی به افزایش میله صاعقه‌گیرها و یا افزایش ابعاد مش (قفس فارادی) نمی‌باشد



اساس کار صاعقه گیر های قفس فارادی نیز برپایه قانون گاؤس است. طبق قانون گاؤس میدان مغناطیسی در وسط یک شیء فلزی صفر است. لذا در این روش سعی می‌شود ساختمان را در قفسی از هادی‌های مسی (تسمه و یا سیم) محصور نمود که ابعاد قفس با توجه به پارامتری به نام کلاس حفاظتی تعیین می‌گردد.



جهت حفاظت کامل نیز می‌توان تعدادی صاعقه‌گیر میله فرانکلین با طول ۵۰ سانتی‌متر، طبق فواصل گفته شده در استاندارد، روی بام نصب نمود و کل این مجموعه باید به سیستم ارت صاعقه گیر متصل گردد.




## صاعقه گیر فعال (الکترونیکی-خازنی)

طراحی و ساخت این صاعقه‌گیرها برپایه استانداردهای جهانی NFC-17 102 و NFPA-781 می‌باشد. با استفاده از صاعقه‌گیرهای الکترونیکی می‌توان علاوه‌بر ایجاد، یک مسیر مطمئن جهت تخلیه جریان بسیار بزرگ صاعقه، محل برخورد دو جریان الکتریکی بالارونده و پایین‌رونده را به نقطه‌ای بالاتر (دورتر) از سازه‌های موجود روی زمین انتقال داد و سپس از طریق مسیری مطمئن، آن‌را در زمین تخلیه نمود.

درواقع، صاعقه‌گیرهای الکترونیکی با استفاده از یونیزاسیون هوای اطراف خود به‌صورت مکانیکی و خاصیت خازنی که در درونشان به‌کار رفته‌است این امکان را فراهم می‌سازند تا در زمان وقوع صاعقه، با افزایش اختلاف پتانسیل بین دو صفحه باردار درونی‌شان (میدان الکتریکی میان ابر و زمین به‌عنوان یکی از منابع طبیعی برای شارژ صاعقه‌گیر الکترونیکی می‌باشد و از هیچ منبع غیرطبیعی دیگر استفاده نمی‌کند) همراه با پرتاب یون به اطراف، محدوده بیشتری را نسبت به یک میله ساده یونیزه کرده و در نتیجه محدوده بیشتری را پوشش دهند.

به عبارت دقیق‌تر، پس از شارژ خازن درونی، بار الکتریکی ذخیره شده در آن به دلیل وجود فاصله هوایی میان الکترود میله‌ای صاعقه‌گیر و الکترودهای بالایی آن، با ایجاد جرقه تخلیه می‌گردد و بدین طریق هوای اطراف خود را تا چندین متر یونیزه می‌کند.

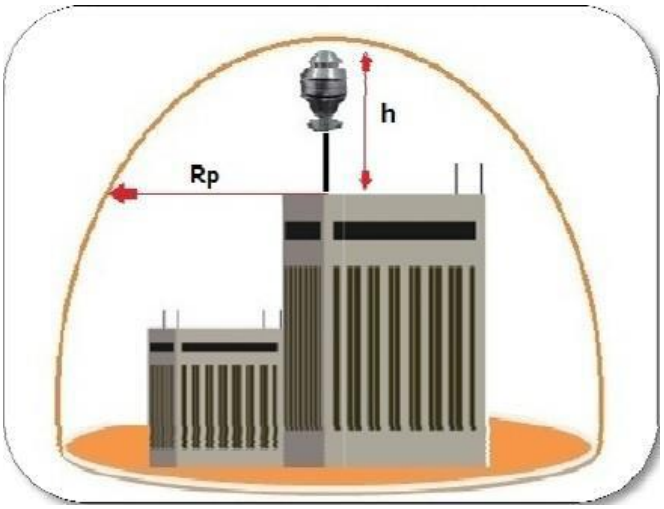
بنابراین یکی از مهم‌ترین پارامترهای طراحی سیستم صاعقه‌گیر الکترونیکی، شعاع حفاظتی آن می‌باشد.

طبق استاندارد NFC-17 102 می‌توان با مقایسه قدرت و سرعت تخلیه یک صاعقه‌گیر الکترونیکی با میله ساده فرانکلین، در آزمایشگاه برق فشار قوی، به نحوی شعاع حفاظتی صاعقه‌گیر الکترونیکی را محاسبه نمود.

نحوه انجام این آزمایش بدین صورت است که در آزمایشگاه و در شرایط مساوی نصب، یک عدد میله ساده صاعقه‌گیر و یک عدد صاعقه‌گیر الکترونیکی به‌وسیله یک منبع مصنوعی تولید صاعقه، مورد حمله صاعقه قرار داده می‌شوند و پس از تکرار این آزمایش به دفعات می‌توان میانگین مدت زمانی را که صاعقه‌گیر الکترونیکی نسبت به میله ساده فرانکلینی سریع‌تر عکس‌العمل نشان می‌دهد را

به‌دست آورد. این اختلاف زمان را که در حد چند میکرو ثانیه می‌باشد، زمان جرقه‌زنی و یا $\Delta T$ می‌نامند. بنابراین طبق این استاندارد پارامتر $\Delta T$ معرف میزان کیفیت عملکرد صاعقه گیر الکترونیکی نسبت به میله ساده بوده که مبنای مقایسه انواع صاعقه‌گیرها و اساس محاسبه شعاع حفاظتی آن‌ها می‌باشد.

نقاط محتمل اصابت صاعقه، باتوجه به‌مدت زمان تخلیه (پارامتر$\Delta T$) و فاصله محل نصب صاعقه‌گیر تا نقطه تخلیه صاعقه (پارامتر $\Delta L$) به شکل هندسی زیر در می‌آید که در آن $h$ ارتفاع نصب صاعقه‌گیر از روی سطح بام و$D$ شعاع کره احتمال اصابت می‌باشد:




بنابر موارد گفته شده، با استفاده از فرمول زیر می‌توان شعاع حفاظتی صاعقه‌گیرهای الکترونیکی را برای ۵ =<$\Delta h$ به‌دست آورد:

$$Rp = \sqrt{h(2D - h) + \Delta L(2D - \Delta L)}$$

## انواع سیستم زمین برای سیستم حفاظت در برابر صاعقه ( طبق استاندارد IEC 62305 و NFPA 780 )

۱-الکترود فونداسیون (استفاده از فونداسیون ساختمان)

۲-سیستم زمین نوع B (رینگ دورسازه )

۳-سیستم زمین نوع A الکترودهای قائم وافقی (زمین گسترده با استفاده از میله ارت )

- ✓ در مواردی که مقاومت زمین در عمق کم باشد، میتوان از روش عمقی استفاده کرد .( Dip earthing )
- ✓ استفاده از چاه با صفحه ارت مجاز نمی باشد.
- ✓ مقاومت مورد قبول ۱۰ اهم می باشد.

## - جنس هادی نزولی یا انتقال دهنده ی صاعقه طبق استاندارد NFPA 780

هادی نزولی میتواند از جنس مس یا هرنوع هادی که در برابر خوردگی حفاظت شده است وتوان هدایت الکتریکی جریان صاعقه را داراست ، باشد .

انواع هادی نزولی سیستم حفاظت دربرابر صاعقه

۱- تسمه یا مفتول مسی

۲- تسمه یا مفتول گالوانیزه گرم (راندوایر)

۳- تسمه یا مفتول استنلس استیل

۴- استفاده از سازه به عنوان هادی نزولی

۵- استفاده از آلیاژ آلومنیوم به عنوان هادی نزولی در استاندارد تاییدشده است اما تا محل احداث سیستم زمین

۶- فولاد با آبکاری مس و گالوانیزه گرم

## شرایط اجرای هادی نزولی

۱-شرایط محیطی در پروژه تعیین کننده مسیر هادی نزولی می باشد .
(جزئیات بیشتر در استاندارد IEC62305 )
۲- اجتناب از خمیدگی زیر۹۰درجه برای هادی نزولی
۳- برای همبندی هادی نزولی سیستم (LPS) وبخش های فلزی سازه از اسپارگپ استفاده شود.
۴-استفاده از بست جهت تثبیت هادی نزولی به سازه با فاصله ی مناسب که در سیستم اکتیو در هر متر طول ۳عدد بست می باشد .
۵ – جنس بست برای هادی نزولی متناسب با جنس هادی نزولی باشد .

## اصول حفاظت در برابر صاعقه

۱. حفاظت جلد خارجی ساختمان از ضربه‌های مستقیم صاعقه. (حفاظت اولیه)

۲. حفاظت تجهیزات داخل ساختمان در برابر آثار صاعقه. (حفاظت ثانویه)

منظور از حفاظت داخلی، اجرای سیستم هم پتانسیل سازی در داخل ساختمان و نصب ارسترهای حفاظتی در مقابل فراتاخت های ولتاژ (ناشی از صاعقه و سوئیچینگ) روی کابل‌های تغذیه، دیتا، تلفن و RF تجهیزات حساس می‌باشد. استانداردهای IEC6102، IEC61312، VDE 0185 و VDE0675 به این موضوع کامل اشاره کرده‌اند.

**حفاظت در برابر تداخل امواج الکترومغناطیسی**

عواملی چون صاعقه، سوئیچینگ (کلیدزنی)، الکتریسیته ساکن، اشتباه اپراتور و یا غیره می‌توانند سبب جهش ناگهانی ولتاژ و یا جریان و درنتیجه موجب وقوع پدیده‌ای به‌نام تداخل میدان های مغناطیسی گردند.

این میدان ها می‌توانند روی تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی حساس مانند کامپیوترها، سیستم‌های کنترل، سیستم‌های برق اضطراری، تجهیزات ابزار دقیق و... اثرات زیان‌باری چون ایجاد نویز و یا اختلال در کیفیت تبادل داده‌ها را برجای گذارند. از میان عوامل تولیدکننده تداخل میدان الکترومغناطیسی، صاعقه می‌تواند مهم‌ترین و مخرب‌ترین آن‌ها باشد، لذا باید علاوه‌بر طراحی سیستم اتصال زمین مناسب (CleanEarth) از تجهیزات حفاظت ثانویه بر روی خطوط انتقال داده، تابلو های توزیع برق ، وغیره ونیز همبندی برای هم پتانسیل سازی استفاده نمود.

# فصل سوم

# سیستم ارت مکان های مختلف

## سیستم ارت تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی حساس

به تمامی اجزای یک سیستم اتوماسیون صنعتی (درواقع کلیه تجهیزات حساس به نویز و دستگاه‌های تبادل داده از جمله کامپیوترها، سنسورها، عملگرها و غیره) تجهیزات الکترونیکی حساس گفته می‌شود.

ازآنجاکه تجهیزات الکترونیکی در قیاس با سایر تجهیزات برقی و خانگی معمولی، با ولتاژ پایین‌تری کار می‌کنند، بنابراین میزان حساسیت آن‌ها به ولتاژهای ناخواسته بیشتر است. پس باید سیستم ارت چنین تجهیزاتی را طوری طراحی کرد که از بروز صدمات ناشی از تداخل امواج الکترومغناطیسی جلوگیری کند.

## مفهوم زمین آرام یا تمیز

به شبکه اتصال زمین مناسب برای تجهیزات الکترونیکی حساس، زمین تمیز و یا در اصطلاح clean earth می‌گویند. چنین شبکه‌ای باید از سیستم اتصال زمین شبکه قدرت رایج ایزوله باشد تا نویز الکترومغناطیسی و ولتاژهای ناخواسته روی آن اثر نکند و تجهیزات دچار اختلال نگردند.

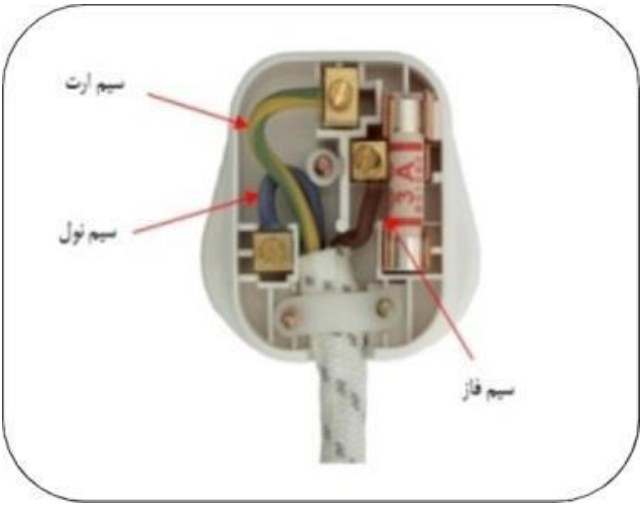
تأمین ایمنی انسان یا حیوان در برابر برق‌گرفتگی در بهره‌برداری از سیستم الکتریکی، ایجاد مسیری مناسب و مطمئن برای عبور جریان عملیاتی با هدف تحریک لوازم حفاظتی، جلوگیری از افزایش ولتاژ در اثر بروز اتصالی یک فاز به زمین و عدم تعادل ولتاژ و یا تأمین ایمنی در برابر برق گرفتگی هنگام انجام تعمیرات بر روی تجهیزات، ضرورت وجود سیستم اتصال زمین در سیستم‌های الکتریکی را اجتناب‌ناپذیر ساخته‌است.

## سیستم ارت ساختمان‌های مسکونی و تجاری

در سیم‌کشی داخلی ساختمان‌های جدید حتماً باید از سیستم سه‌سیمه (فاز، نول و زمین) استفاده شود که این سیستم شامل مراحل زیر است:

۱. سیم‌کشی پریز داخل ساختمان‌ها باید سه‌سیمه گردد (از پریزهای دارای اتصال زمین استفاده شود.)

۲. سیم سوم یا همان سیم زمین به سیستم زمین اصلی متصل گردد.



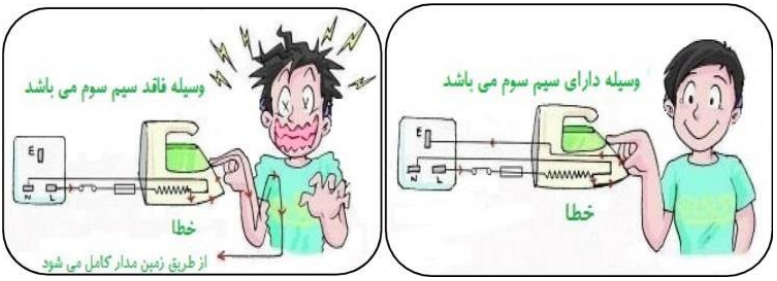

### لزوم استفاده از سیم سوم

همان‌طور که گفته‌شد در صورت تماس همزمان فرد با یک هادی برق‌دار (نظیر سیم حامل جریان الکتریکی) و زمین، شوک الکتریکی رخ می‌دهد.

سیم فاز چون حامل بار الکتریکی است در واقع خطرناک‌ترین سیم در مدار الکتریکی ساختمان به شمار می‌رود و به‌محض تماس با اجزای رسانا، بار الکتریکی خود را به آن‌ها منتقل می‌کند. اما می‌دانیم جریان الکتریکی تا زمانی که مسیر برگشت به منبع تغذیه را نداشته باشد، برقرار نمی‌شود.

هنگام بروز شوک الکتریکی بدن انسان مانند سیم نول عمل کرده و مدار الکتریکی را کامل می‌کند. علت این مسأله آنست که زمین به خودی خود مسیر مناسبی برای عبور جریان و کامل شدن مدار الکتریکی به شمار می‌رود. در واقع در این مواقع سیستم الکتریکی از زمین به‌عنوان یک مسیر جایگزین استفاده می‌کند.

به‌منظور رعایت ایمنی کاربران، کلیه وسایل برقی مصرفی در ساختمان شامل دوشاخه‌ها، پریزها، لوسترها، چراغ‌ها و سایر تأسیسات به‌کار رفته باید مجهز به سیستم سیم سوم (هادی حفاظتی زمین) شوند.

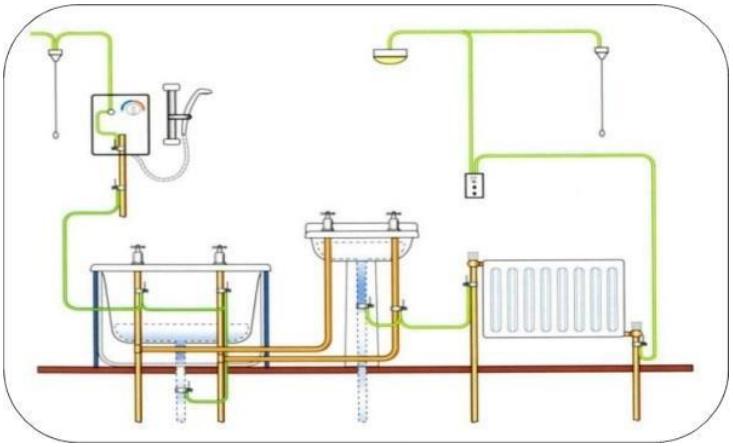



معمولاً در شبکه‌ها و تأسیسات صنعتی و محیط‌های مسکونی باید به موارد زیر توجه داشت که در آشپزخانه‌های منازل مسکونی و یا آبدارخانه‌ها باید تمامی سطوح در دسترس مثل یخچال، اجاق گاز، قفسه‌بندی فلزی، ظرفشویی، تمامی

وسایل برقی، لوله‌های آب سرد و گرم فلزی، لوله‌های فاضلاب فلزی، لوله‌های حرارت مرکزی فلزی، لوله گازرسانی، اجزای فلزی ساختمان از قبیل ستون‌ها و هادی‌های حفاظتی مدارهای پریز و روشنایی را به منظور هم‌ولتاژ کردن، به‌هم متصل و درنهایت به سیستم زمین وصل نمود که به این عمل همبندی هم‌پتانسیل اضافی می‌گویند و با استفاده از هادی حفاظتی انجام می‌شود.

پریزهای مورد استفاده در حمام‌ها نیز باید، مانند کلیه محیط‌های دیگر، مجهز به سیم سوم و البته از نوع درپوش‌دار باشند، مگر در مواردی که از پریزهای مخصوص مجهز به ترانسفورماتور ایمنی (دارای دو سیم‌پیچ جدای اولیه و ثانویه) استفاده شده باشد که دراین‌صورت احتیاجی به هادی حفاظتی نیست. (پریز معروف به ریش تراش)

در همه حمام ها نیز برای هم‌ولتاژ کردن باید همبندی اضافی اجرا گردد که این همبندی، وان یا زیر دوشی فلزی، لوله‌های آب سرد و گرم فلزی، بدنه‌های فلزی وسایل نصب ثابت، لوله فلزی فاضلاب، لوله‌های گاز، حرارت مرکزی و یا هرنوع لوله فلزی دیگر و هادی‌های حفاظتی مدارهای پریز و روشنایی را شامل می‌شود.



برای تجهیزات فشار ضعیف که در دامنه کاربرد استاندارد زمین مناطق مسکونی و تجاری هستند، مقاومت سیستم ارت باید کمتر از ۵ اهم باشد.

## سیستم ارت تأسیسات برقی استخر های شنا

مرجع مناسب برای طراحی سیستم ارت و همبندی استخرها استاندارد NEC 680 میباشد.

به‌دلیل اهمیت بالای سیستم‌های حفاظتی در استخرهای شنا، باید ترتیبی داده شود تا درصورت عدم قطع به موقع مدار توسط کلیدهای حفاظتی (در شرایط بروز خطا)، خطر برق گرفتگی افراد را تهدید نکند.

به این منظور باید تمام قسمت‌های فلزی سازه، بدنه چراغ‌های زیر آب، بدنه تجهیزات الکتریکی، تجهیزات فلزی، سینی کابل‌ها و غیره همبند شوند.

حداقل سطح مقطع هادی حفاظتی برای اجرای همبندی، ۱۰ میلی‌متر مربع می‌باشد که روکش‌دار بودن یا نبودن آن فرقی نمی‌کند.

## سیستم ارت بیمارستان ها

جهت جلوگیری از خطر برق‌گرفتگی و یا واردآمدن شوک الکتریکی ناشی از نشت جریان برق به بیماران و سایر افرادی که مستقیم با تجهیزات و لوازم برقی در تماس هستند باید همواره همه بخش‌های یک بیمارستان یا درمانگاه یک سیستم ارت مطمئن مجهز باشند تا بدنه فلزی تمام وسایل و دستگاه‌های ثابت و سیار به آن وصل شود.

پس از تعیین مقاومت ویژه خاک در محل بیمارستان باید با استفاده از الکترودهای ارت و سایر تجهیزات مورد نیاز، سیستم‌های اتصال زمین مناسب را احداث کرد. در انتها باید مقاومت الکتریکی سیستم اندازه‌گیری گردد که طبق استاندارد این مقدار باید حداکثر ۲ اهم و یا کمتر باشد.

ازجمله استانداردهای طراحی تاسیسات الکتریکی بیمارستان ها می توان به IEC 60364-7-710، NFPA 99، نشریه ۲۸۷ ،نشریه ۸۹ و... اشاره نمود.

## سیستم ارت اتاق های عمل، زایمان و مراقبت های فشرده

کلیه اتاق‌های عمل، زایمان، شکسته‌بندی، مراقبت‌های فشرده و غیره که از تابلوهای برق ایزوله تغذیه می‌شوند برای اتصال بدنه تمامی وسایل و دستگاه‌ها به زمین، باید به سیستم ارت مخصوص مجهز باشند.

بدنه تخت مخصوص اتاق عمل و یا زایمان، دستگاه‌های بیهوشی، میز وسایل عمل، دستگاههای سیار عکس‌برداری اشعه ایکس، بدنه فلزی چراغ‌های مخصوص اتاق عمل، یونیت‌های سقفی و دیواری و هم‌چنین چارچوب‌های فلزی درها و پنجره‌ها و غیره باید با استفاده از پریز مخصوص ارت - و در بعضی موارد به طور ثابت- به سیستم ارت اتاق مربوطه متصل شوند.

تمام پرسنل باید کفش‌های خاصی بپوشند تا از هرگونه شارژ الکتریکی و ایجاد جرقه در اتاق عمل جلوگیری گردد.

تجهیزات سیستم فراخوان پرستار و سیستم‌های سیگنال بیمارستانی نیز باید مجهز به ترمینال و یا سیم جداگانه‌ای برای ارت باشد.

مچ بند ارت

**تابلو های ترانس ایزوله بیمارستان**

با توجه به اهمیت ایزولاسیون برق اتاق‌های عمل و بخش‌های CCU وICU در بیمارستان‌ها و کلینیک‌های تخصصی، امروزه استفاده از تابلوهای ترانس ایزوله مطابق با استانداردهای VDE در بیمارستان‌ها، آزمایشگاه‌ها، و مراکز درمانی الزامیست. در این تابلوها از ترانس‌های ایزوله یک‌به‌یک با کلاس عایقی H مجهز به شیلد الکترواستاتیک (به‌منظور کاهش نویز) جهت ایزوله کردن ولتاژ ورودی و خروجی استفاده می‌شود. این سیستم به‌طور کامل از وارد آمدن شوک الکتریکی به بیمار جلوگیری می‌کند و هم‌اکنون جزء تجهیزات ضروری بیمارستان‌ها و آزمایشگاه‌ها به‌شمار می‌رود.

## نکات عمومی در رابطه با سیستم اتصال زمین

۱. از چاه حفر شده جهت سیستم ارت برای هیچ منظور دیگری نباید استفاده گردد و به همین ترتیب نیز استفاده از دیگر چاه‌ها (مانند آب، فاضلاب و غیره) برای نصب الکترود اتصال زمین مجاز نمی‌باشد.

۲. رنگ هادی عایق‌دار مورد استفاده برای ارت تجهیزات باید به رنگ دوگانه سبز/زرد باشد و هیچ هادی دیگری به این رنگ مشخص نشود.

۳. سطح مقطع سیم‌های ارت نباید از سطح مقطع سیم نول کابل مربوطه (۲/سطح مقطع فاز=سطح مقطه نول) کمتر باشد و از لحاظ مقاومت مکانیکی نباید از ۱۶ میلی‌متر مربع کمتر باشد.

۴. جهت انتخاب سطح مقطع سیم زمین باید درنظر گرفت که در زمان وقوع خطا(بسته به نوع سیستم توزیع ) ، اغلب جریانی معادل جریان اتصال کوتاه

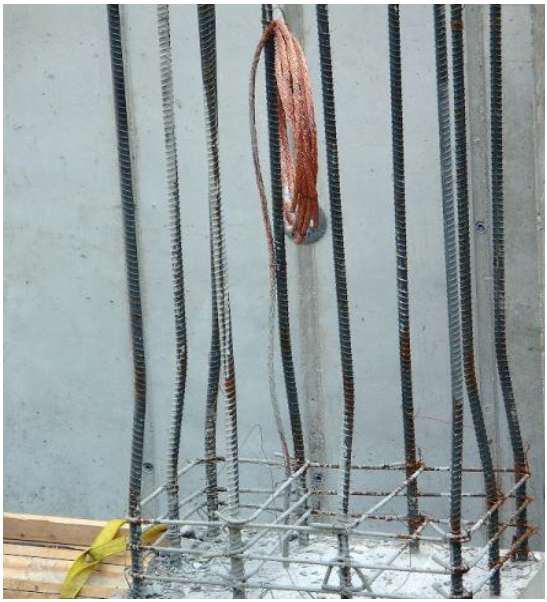
از سیم زمین عبور می‌کند بنابراین این سیم باید بتواند تحمل عبور این جریان را از خود داشته‌باشد.

۵. جعبه تست ارت باید در روی سطح نزدیک‌ترین دیوار به سیستم ارت و در ارتفاع ۱,۵متر از زمین نصب گردد تا از طریق شینه ارت داخل جعبه که اتصالات لازم به آن وارد شده‌است، اندازه گیری‌های بعدی به راحتی امکان پذیر باشد.

۶. هر سیستم ارت باید دارای شناسنامه‌ای باشد که مشخصات کامل آن اعم از نوع و سایز و جنس الکترودها، تاریخ احداث، جنس خاک، مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده اولیه و اندازه‌گیری‌های بعدی و سایر اطلاعات در آن درج شده‌باشد. این شناسنامه می‌تواند از هزینه‌های اضافی ناشی از عدم آگاهی متخصصان بعدی از وجود سیستم ارت و یا مشخصات فنی آن، جلوگیری کند.

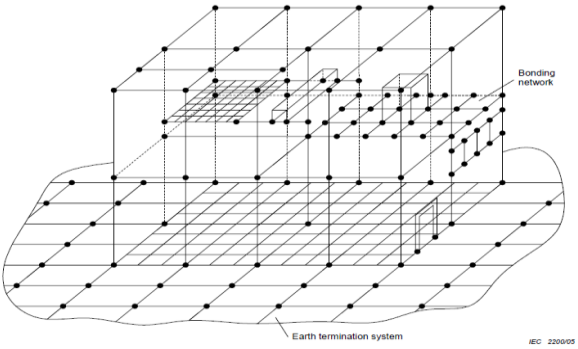
## فصل چهارم

# همبندی و استفاده از فونداسیون به‌عنوان الکترود زمین

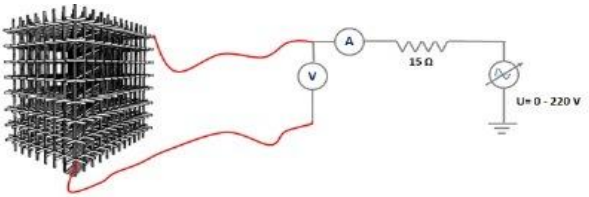


براساس ماده ۱-۴-۷-۱ مبحث سیزدهم مقررات ملی ساختمان و با توجه به مقاومت الکتریکی در اتصالات بین میلگرد بتن مسطح، بایستی پیش از هر مرحله بتن‌ریزی به ترتیبی که شرح داده می‌شود اتصال مطمئنی بین میلگردها به‌وجود آید. این مسئله در مورد اسکلت فلزی ساختمان نیز صدق می‌کند.

همبندی در قطعات فلزی که قابلیت هدایت التریکی دارد به کمک یک هادی مطمئن از جنس مس که سطح مقطع آن کمتر از ۲۵میلی‌متر نباشد صورت می‌گیرد.




## تاریخچه همبندی و استفاده از فونداسیون به عنوان الکترود کمکی




در استاندارد VDE 0141 و VDE 0100 نیز در انواع الکترود زمین ، از فوندانسیون ساختمان های بتنی تحت عنوان Foundation Earth Electrode نام میبرد.

ارتش ایالات متحده آمریکا درطول جنگ جهانی دوم به یک سیستم زمین الکتریکی برای حفاظت انبارهای بمب دربرابر صاعقه نیاز داشت. درمناطق بیابانی و فاقد سفره‌های زیرزمینی آب که مقدار بارش سالانه باران بسیار کم است و خاک بسیار خشکی دارد، آنها مجبور بودند مقدار زیادی میله و صدها متر سیم مسی برای ایجاد یک زمین با امپدانس کوچک به‌عنوان سیستم زمین برای تخلیه بار صاعقه ایجاد کنند تا بتوانند ساختمان‌ها را دربرابر صاعقه حفاظت کنند.

در سال ۱۹۴۲ آقای هربرت جی یوفر، مشاور ارتش ایالات متحده آمریکا، مامور تحقیق برای یافتن راهی کم‌هزینه برای جایگزین کردن آن به جای سیستم زمین معمول شد. وی به این نتیجه رسید که بتن از بسیاری از خاک‌ها، هدایت الکتریکی بهتری دارد. اساس طرح او بر پایه تعبیه هادی زمین در بتن است که تجربه و آزمون‌های مختلف نشان داد که این روش بسیار موثر است.

آقای یوفر پس از اتمام جنگ نتایج تحقیقات خود را طی یک مقاله در کنفرانس IEEE در سال ۱۹۶۳ ارائه کرد که مورد توجه این کمیته قرار گرفت و در استانداردهای امریکا درج شد. در سال ۱۹۶۸ استاندارد ملی آمریکا استفاده از هادی زمین محصور در زمین را قبول کرد و در سال ۱۹۷۸ الزامات میلگرد مورد نیاز به عنوان الکترود زمین را مشخص نمود.

استاندارد ملی آمریکا NEC در بخش (۲) 52/250 (A) ویرایش سال ۲۰۰۵ و بازنگری ۲۰۰۸ اسکلت فلزی یا بتن مصلح ساختمان به‌عنوان یک الکترود زمین ساختمان درنظر گرفته است به شرط آنکه:

۱. اطمینان حاصل شود که یک عضو فلزی از سازه یا آرماتورهای آجدار بتنی ساختمان به‌طول سه متر یا بیشتر با پوششی از بتن در تماس مستقیم با زمین قرار گرفته باشد.

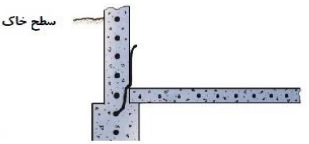
۲. اتصال اسکلت فلزی به زمین از طریق آرماتورهای جداگانه با پوشش بتن که در بخش (۳)(A) 52/250 ارائه شده و با اتصال شبکه زمین مطابق با بخش(۴)(A) 52/250 مطابقت داشته باشد.

۳. اتصال اسکلت فلزی ساختمان به یک یا چند الکترود زمین مطابق با الزامات NEC 52/250 می‌باشد. اگر یک یا چند میلگرد فولادی آرماتور با قطر نیم‌اینچ که در فونداسیون وجوددارد قبل از بتن‌ریزی که به یک اتصال زمین مطمئن وصل شود که استاندارد VDE-141 و VDE-100 و IEC و NEC این سیستم زمین را به‌عنوان یک الکترود زمین مستقل درنظر گرفته‌است.

طبق شکل اگر یک یا چند فولاد آرماتور ، با قطر 0.5 اینچ که در شناژ و یا فونداسیون وجود دارد، قبل از بتن ریزی بایستی یک اتصال بین یکی از میلگرد های شناژ و یا فونداسیون با یک الکترود دیگر انجام شود.

در این اندازه گیری ، فونداسیون به چاه ارت متصل نشده و یک سر منبع تغذیه به چاه ارت متصل شده است. نتایج اندازه گیری در جدول وارده شده است.

| شماره ازمون | جریان A | ولتاژ V | مقاومت سازه Ω |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.15 | 0.031 | 0.027 |
| 2 | 1.28 | 0.035 | 0.027 |
| 3 | 1.73 | 0.048 | 0.028 |
| 4 | 2.05 | 0.057 | 0.028 |
| 5 | 2.5 | 0.07 | 0.028 |
| 6 | 3 | 0.085 | 0.023 |
| میانگین | مقاومت | سازه | 0.027 |



## مزایای همبندی سیستم اتصال زمین الکتریکی

- جلوگیری از برق گرفتگی و عواقب ناشی از آن
- جلوگیری از آتش سوزی ناشی ازاتصال فاز به بدنه
- اضافه بار شبکه
- تضمین عملکرد لوازم حفاظتی
- جلوگیری از آسیب حاصل از امواج مخرب
- جلوگیری از صدمات ناشی از صاعقه

## روش اجرا و لوازم مورد نیاز

پس از بررسی ابعاد ساختمان و محاسبات مورد نیاز جهت اجرای همبندی ساختمان که از فونداسیون آغاز و به آخرین سقف ساختمان ختم می‌شود و جهت استفاده به‌عنوان الکترود زمین که مورد تأیید و استاندارد است:

۱. در صورت طراحی چاه روش و مواد لازم را قبلا توضیح داده شده است.
۲. روش استفاده از شبکه میله: باتوجه به این نکته که مقاومت تابعی از مختصات خاک می‌باشد و با درنظر گرفتن این نکته که خاک دارای انواع گوناگونی از لایه‌هایی با مقاومت‌های متفاوت است، بهترین و ارزان‌ترین روش جهت رسیدن به مقاومت مطلوب روش شبکه میله و فونداسیون می‌باشد.

## روش اجرای سیستم زمین در فونداسیون

زمانی‌که فونداسیون اجرا می‌شود زمین توسط یک لایه نازک از بتن پوشانده می‌شود و سپس آرماتوربندی و بعد بتن‌ریزی صورت می‌گیرد. زمان اجرای شبکه زمین قبل از ریختن بتن مگر ویا بعد از بستن آرماتورهای کف می‌باشد که برمبنای محاسبات انجام شده جهت رسیدن به مقاومت مطلوب که بتواند در زمان اتصال کوتاه در حداقل زمان انرژی حاصل را قبل از آسیب رساندن به سیستم تخلیه و کلیدهای حفاظتی مدار را وادار به قطع مدار کند شروع می‌شود. یکی از مشکلات رسیدن به خاک زیر بتن اولیه است که می‌توان محل‌های تعیین شده را زمان بتن‌ریزی علامت‌گذاری کرد و به کمک لوله با قطر و ارتفاع مناسب محل را برای کوبیدن میله باز گذاشت. البته در صورت فراموش کردن نیز باتوجه به اینکه ضخامت بتن اولیه بیشتر از ۱۰ یا ۲۰ سانتی‌متر نمی‌باشد می‌توان به کمک میله‌کوب میله‌ها را کوبید.

نکته مهم اینست که از اتصالاتی باید استفاده شود که در برابر شرایط موجود بیشترین عمر مفید را داشته باشند.

## منابع:

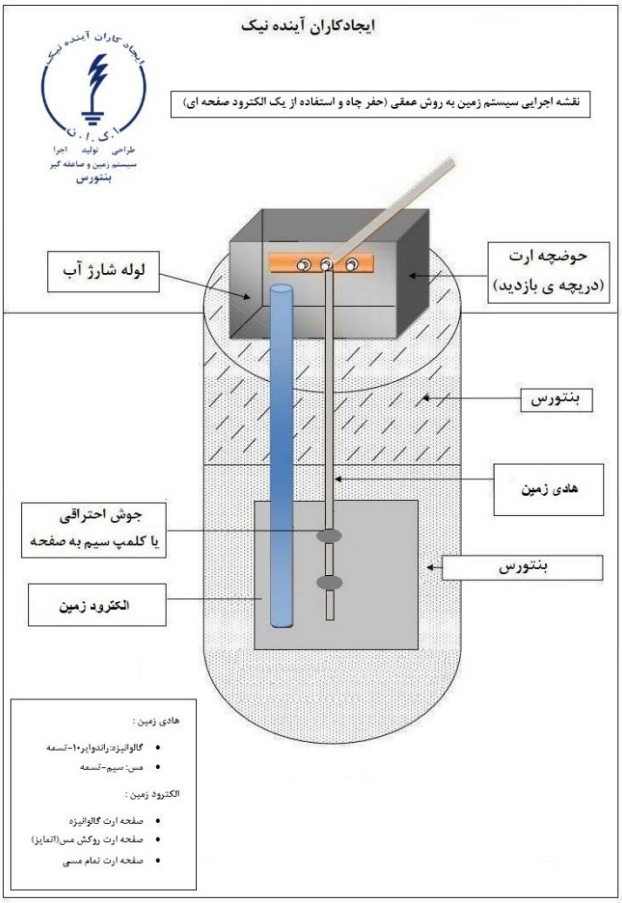

- آیین نامه سازمان مدیریت تولید و انتقال نیروی برق ایران
- استاندارد سیستم اتصال زمین شبکه های توزیع وزارت نیرو
- مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمان
- راهنمای طرح و اجرای تأسیسات برقی ساختمان ها نوشته آلدیک مؤسسیان
- نشریه مشخصات فنی تأسیسات برقی بیمارستان ها
- استاندارد صنعت برق ایران-سیستم زمین برای ساختمان های مسکونی و تجاری
- آیین نامه طراحی تأسیسات برقی در استخر ها
- آیین نامه سیستم اتصال زمین شورای عالی حفاظت فنی
- مقاله اتصال زمین در شبکه های توزیع شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان مهر ۱۳۹۲

# برخی اصطلاحات رایج

| | |
|---|---|
| Air Terminal | صاعقه گیر |
| Bolts & Nuts | پیچ و مهره |
| Cable | کابل |
| Cable Lug | کابلشو |
| Cable Tray | سینی کابل |
| Clamp | گیره اتصال |
| Copper Bare Cable | سیم مسی بدون روکش |
| Coupler | کوپلینگ |
| Copper Weld Rod | میله ارت اتمایز |
| Driving Head | ضربه خور |
| Driving Spike | راهنما |
| Earth Rod | میله ارت |
| Earth Electrode | الکترود زمین |
| Early Streamer Emission | صاعقه‌گیر الکترونیکی |
| Earth Pit | دریچه بازدید ارت |
| Earth Resistance | مقاومت زمین |
| Earthing System | سیستم اتصال زمین |
| Earthing Conductor | سیم اتصال زمین (سیم ارت) |

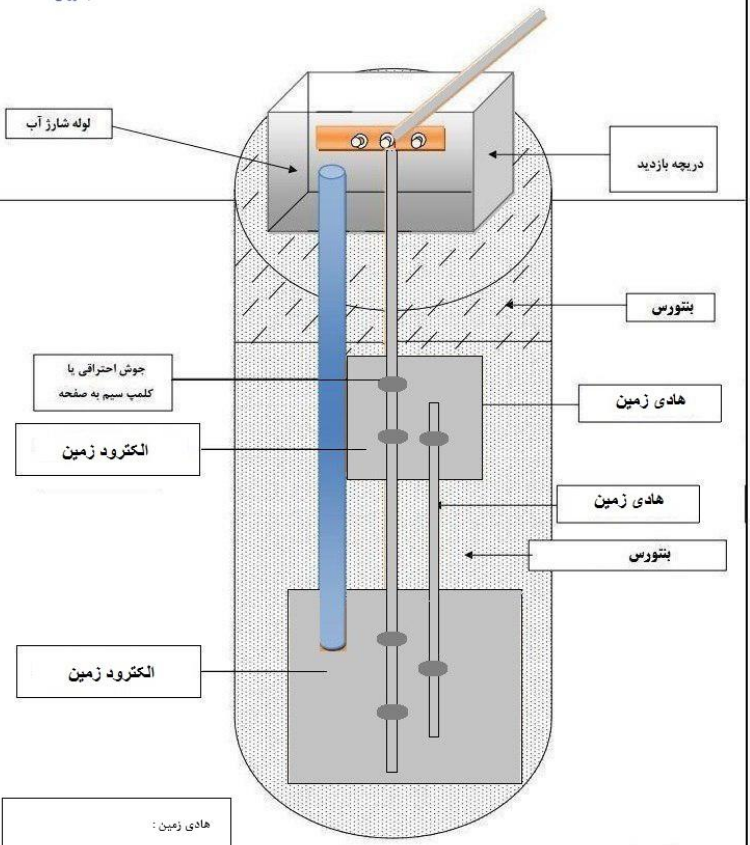
| | |
|---|---|
| Electrical Equipment | تجهیزات الکتریکی |
| Early Streamer Emission | صاعقه گیر الکترونیکی |
| Earth Leakage Current | جریان نشتی زمین |
| Graphite Mould | قالب جوش از جنس گرافیت |
| Handle | دستگیره |
| Insulated Cable | کابل روکش دار |
| Insulation | عایقبندی |
| Lightning Protection System | سیستم حفاظت در برابر صاعقه |
| Low Ohm Resistance Material | مواد کاهنده مقاومت زمین |
| Main Earthing Terminal | ترمینال اصلی زمین (شینه ارت) |
| Neutral conductor | هادی نول (خنثی) |
| Over Current | اضافه جریان |
| Protective Conductor | هادی حفاظتی |
| Protective bonding | همبندی حفاظتی |
| Step Voltage | ولتاژ گام |
| Stainless Steel Earth Rod | میله ارت استنلس‌استیل (ضدزنگ) |
| Test Box | جعبه آزمون |
| Thermo-Weld | جوش احتراقی |
| Thermo-Weld Mould | قالب جوش احتراقی |

# نقشه های اجرای چاه ارت



ایجادکاران آینده نیک

نقشه اجرایی سیستم زمین به روش عمقی (حفر چاه و استفاده از الکترود دو صفحه ای)




هادی زمین :

- گالوانیزه:راندوایر۱۰-تسمه
- مس: سیم-تسمه

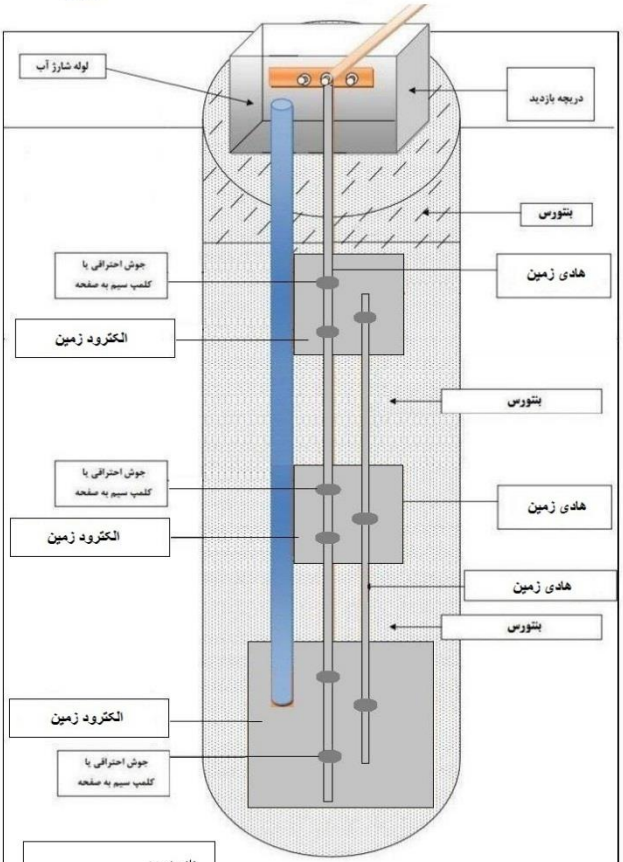
الکترود زمین :

- صفحه ارت گالوانیزه
- صفحه ارت روکش مس(اتمایز)
- صفحه ارت تمام مسی

ایجادکاران آینده نیک

طراحی تولید اجرا
سیستم زمین و صاعقه گیر
پنتورس

نقشه اجرایی سیستم زمین به روش عمقی (حفر چاه و استفاده از الکترود سه صفحه ای)




هادی زمین :

- گالوانیزه:راندوایر۱۰-تسمه
- مس: سیم-تسمه

الکترود زمین :

- صفحه ارت گالوانیزه
- صفحه ارت روکش مس(آلمایز)
- صفحه ارت تمام مسی

# دفترچه فنی محصولات گالوانیزه بنتورس

## میله گالوانیزه گرم

| نوع آزمون | مقادیر استاندارد | مقدار بدست آمده از نمونه ی رندوم | استاندارد مرجع آزمون |
|---|---|---|---|
| آزمون کشش در دمای محیط | ۳۵۰ تا ۷۷۰ | ۴۸۶ | ISO 6892-1(2016) |
| شناسایی جرم پوشش | بزرگتر از ۳۵۰ (g/m2) | ۷۵۷(g/m2) | IEC 62561-2(2012)<br>ISIRI 1545-1385 |
| آزمون تعیین مقاومت الکتریکی | کمتر از ۰,۲۵ (μΩ.m) | ۰,۰۸۴ (μΩ.m) | IEC 62561-2(2012) |
| آزمون خمش | After the test, the specimens shall show no sharp edges, cracks or peeling around the bending area when inspected with normal or corrected vision without magnification | هیچگونه عیبی مشاهده نشد | IEC 62561-2 (2012) |
| آزمون ضخامت پوشش | بزرگتر از ۴۵ μm | 107μm-213μm | IEC 62561-2 (2012)<br>ASTM E3-17<br>ASTM B487-13<br>ASTM E883-17 |
| آزمون نمک پاشی (Salt Spray) | در پایان آزمون، زنگ زدگی (خوردگی قرمز) در سطح نمونه مشاهده نشود. | در پایان آزمون، زنگ زدگی (خوردگی قرمز) در سطح نمونه مشاهده نشد. | ASTM B117-16 |
| ترکیب شیمیایی، SEM (درصد وزنی عناصر موجود در پوشش های نمونه) | | روی:<br>۹۱,۸۵ درصد | دستور العمل آزمون:<br>RMRC-WI-550-102-01 |

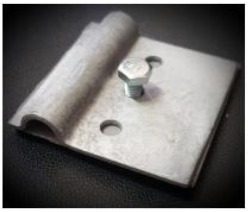
# صفحه گالوانیزه گرم

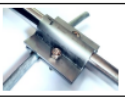
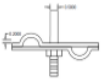
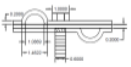
| نوع آزمون | مقادیر استاندارد | مقدار بدست آمده از نمونه ی رندوم | استاندارد مرجع آزمون |
|---|---|---|---|
| **آزمون کشش در دمای محیط** | ۲۹۰ تا ۵۱۰ | ۴۶۹ | ISO 6892-1(2016) |
| **شناسایی جرم پوشش** | بزرگتر از ۵۰۰ (g/m2) | ۱۴۶۰ (g/m2) | IEC 62561-2(2012)<br>ISIRI 1545-1385 |
| **آزمون تعیین مقاومت الکتریکی** | کمتر از ۰,۲۵ (μΩ.m) | ۰,۰۱۴ (μΩ.m) | IEC 62561-2(2012) |
| **آزمون خمش** | After the test, the specimens shall show no sharp edges, cracks or peeling around the bending area when inspected with normal or corrected vision without magnification | **هیچگونه عیبی مشاهده نشد** | IEC 62561-2 (2012) |
| **آزمون ضخامت پوشش** | بزرگتر از ۷۰ µm | 100 µm- 113 µm | IEC 62561-2 (2012)<br>ASTM E3-17<br>ASTM B487-13<br>ASTM E883-17 |
| **آزمون نمک پاشی (Salt Spray)** | در پایان آزمون، زنگ زدگی (خوردگی قرمز) در سطح نمونه مشاهده نشود. | در پایان آزمون، زنگ زدگی (خوردگی قرمز) در سطح نمونه مشاهده نشد. | ASTM B117-16 |
| **ترکیب شیمیایی، SEM (درصد وزنی عناصر موجود در پوشش های نمونه)** | | روی:<br>۹۶,۱۵ درصد | **دستورالعمل آزمون:**<br>RMRC-WI-550-102-01 |

# راندوایر گالوانیزه گرم

| نوع آزمون | مقادیر استاندارد | مقدار بدست آمده از نمونه ی رندوم | استاندارد مرجع آزمون |
|---|---|---|---|
| **آزمون کشش در دمای محیط** | ۲۹۰ تا ۵۱۰ | ۴۳۷ | ISO 6892-1(2016) |
| **شناسایی جرم پوشش** | بزرگتر از ۵۰۰ (g/m2) | ۵۴۳(g/m2) | IEC 62561-2(2012)<br>ISIRI 1545-1385 |
| **آزمون تعیین مقاومت الکتریکی** | کمتر از ۰,۱۵ (μΩ.m) | ۰,۰۹۴ (μΩ.m) | IEC 62561-2(2012) |
| **آزمون خمش** | After the test, the specimens shall show no sharp edges, cracks or peeling around the bending area when inspected with normal or corrected vision without magnification | هیچگونه عیبی مشاهده نشد | IEC 62561-2 (2012) |
| **آزمون ضخامت پوشش** | بزرگتر از ۴۵ µm | 47 µm- 59 µm | IEC 62561-2 (2012)<br>ASTM E3-17<br>ASTM B487-13<br>ASTM E883-17 |
| **آزمون نمک پاشی** (Salt Spray) | در پایان آزمون، زنگ زدگی (خوردگی قرمز) در سطح نمونه مشاهده نشود. | در پایان آزمون، زنگ زدگی (خوردگی قرمز) در سطح نمونه مشاهده نشد. | ASTM B117-16 |
| **ترکیب شیمیایی، SEM (درصد وزنی عناصر موجود در پوشش های نمونه)** | | روی:<br>۹۴,۷ درصد | دستورالعمل آزمون:<br>RMRC-WI-550-102-01 |

# محصولات گالوانیزه گرم بنتورس

| مولتی کلمپ راندوایر | بست اتصال راندوایر به دیوار | کانکتور راندوایر |
|---|---|---|
| |  | |
| **ارت باس راندوایر** | **دیسکانکتور راندوایر** | **دیسکانکتور راندوایر** |
| | | |

| اطلاعات فنی مولتی کلمپ گالوانیزه گرم | | | | |
|---|---|---|---|---|
| استاندارد: IEC 62561-1 - IEC 60364-5-54–مبحث۱۳–استاندارد توانیر | | | | |
| جنس کلمپ | مغزی St 37 با روکش گالوانیزه گرم | مغزی St 37 با روکش گالوانیزه گرم | مغزی St 37 با روکش گالوانیزه گرم | مغزی St 37 با روکش گالوانیزه گرم |
| کاربری | جهت اتصال راندوایر به میله | جهت اتصال راندوایر به میله گرد | جهت اتصال<br>-راندوایر به راندوایر<br>-راندوایر به دیوار | جهت اتصال<br>- تسمه به میله<br>-تسمه به راندوایر |
| ابعاد | قطر ۱۰ میلیمتر<br>قطر ۸ میلیمتر | قطر ۱۰ میلیمتر<br>قطر ۸ میلیمتر | قطر ۱۰ میلیمتر<br>قطر ۸ میلیمتر | عرض و ضخامت<br>۳۰*۳ میلیمتر |
| ابعاد میله | ۱۴-۱۶-۲۰ میلیمتر | ۱۴-۱۶-۲۰ میلیمتر | ۱۴-۱۶-۲۰ میلیمتر | ۱۴-۱۶-۲۰ میلیمتر |
| شکل |  | | | |
| شکل فنی | |  |  | |

| صفحه گالوانیزه گرم بنتورس | راندوایر گالوانیزه گرم بنتورس | پایه تلسکوپی ۵ متری گالوانیزه گرم |
|---|---|---|
| | | |
| | تسمه گالوانیزه گرم بنتورس | |
| | | |
| صاعقه گیر پسیو گالوانیزه گرم با پایه | میله گالوانیزه گرم بنتورس | |
| | | |

| اطلاعات فنی صفحه گالوانیزه گرم | |
|---|---|
| استاندارد: IEC 60364-5-54 - IEC 62561-1-مبحث۱۳-استاندارد توانیر | |
| جنس صفحه | مغزی St 37 با روکش گالوانیزه گرم |
| کاربری | الکترود زمین |
| ابعاد صفحه | ۵۰*۵۰*۵ |

| اطلاعات فنی میله گالوانیزه گرم | |
|---|---|
| استاندارد: IEC 60364-5-54 - IEC 62561-1-مبحث۱۳-استاندارد توانیر | |
| جنس میله | مغزی St 37 با روکش گالوانیزه گرم |
| کاربری | الکترود زمین |
| ابعاد | ✓ ۱۴*۱۶-۱.۵*۲۰-۱.۵<br>✓ ۱۴*۱۶-۲*۲۰-۲ |

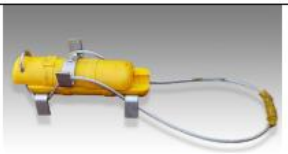
| اطلاعات فنی تسمه گالوانیزه گرم | |
|---|---|
| استاندارد: IEC 60364-5-54 - IEC 62561-1-مبحث۱۳-استاندارد توانیر | |
| جنس | مغزی St 37 با روکش گالوانیزه گرم |
| کاربری | الکترود زمین-هادی زمین و هادی نزولی |
| ابعاد | ۳۰*۳ |

| اطلاعات فنی راندوایر | | | |
|---|---|---|---|
| استاندارد: IEC 60364-5-54 - IEC 62561-1-مبحث۱۳-استاندارد توانیر | | | |
| جنس | مغزی St 37 با روکش گالوانیزه گرم | مغزی St 37 با روکش گالوانیزه گرم | مغزی St 37 با روکش گالوانیزه گرم |
| کاربری | هادی زمین | هادی نزولی | هادی همبندی |
| ابعاد راندوایر | قطر ۱۰ میلیمتر | قطر ۸ میلیمتر | قطر ۸ و۱۰ میلیمتر |

## سایر محصولات بنتورس

| یدک کش کابل کشی | فنر کابل کشی |
| --- | --- |
| | |
| بست نگهدارنده کابل (تریفویل) | قرقره کابل کشی مخصوص کابل زمینی |
| | |

## سایر محصولات بنتورس

| قرقره کابل کشی مخصوص زاویه | قورباغه کابل کشی مخصوص کابل خودنگهدار |
| --- | --- |
| |  |
| خرک کابل کشی | قرقره کابل کشی مخصوص کابل هوایی |
| | |

# بنتورس

بنتونیت نوعی خاک کانی می‌باشد که به‌خودی‌خود و در شکل کلوخه نیز توان جذب بالایی نسبت‌به سایر کانی‌ها دارد.

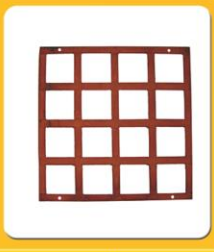
از جمله مزایای بنتورس عبارتند از:

- عمر مفید بسیار بالا
- مقاومت ویژه بسیار پایین
- جاذب رطوبت
- چسبندگی بالا و بدون ترک خوردگی بعد از خشک شدن
- سازگاری با محیط زیست
- کاملا طبیعی و بدون افزودگی

# آکان Akan.co

# تولید کننده تخصصی تجهیزات سیستم زمین

صفحه و میله ارت اَتُمایز



مش اَتُمایز

ارت یار

TK1
خاک کاهنده مقاومت زمین

TK2
خاک کاهنده سوپر جاذب ژله ای

TK3
کنستانتره

TK4
الکترولیت جبرانی

TK5
الکترولیت ثبات

حوضچه ارت

ترمینال ارت

آند
محافظ صفحه چاه ارت

تجهیزات جوش احتراقی

www.akan.ir

دارای ۹ گواهی ثبت اختراع از اداره مالکیت های صنعتی و سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران
دارای تاییدیه از متالورژی رازی ، تاییدیه از دانشگاه علم و صنعت ، تاییدیه از دانشگاه صنعت برق شهید عباسپور