بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی برق (گرایش مخابرات)

طراحی و شبیه‌سازی شبکه زمین با استفاده از روش المان محدود

استاد راهنما: دکتر عباسعلی حیدری

استاد مشاور: دکتر احمد میرزایی

پژوهش و نگارش: پویا حاجبی

تیر ۱۳۸۸

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

و

خواهر عزیزم

اثر پیش روی، آموخته‌های در حد بضاعت ناچیز نگارنده، از دریای بیکران ولی نعمتان بیشماری است؛ که هر چند از فرط کثرت ذکر نامشان مقدور نیست لیک طلایه داران شان را از فرط حدت نقششان، یارای گریز از حمد نمی باشد:

دکتر عباسعلی حیدری

دکتر احمد میرزایی

و دیگر عزیزانی که مرا در اجرای این پروژه یاری رسانده اند.

گرانمایگانی که این شاگرد کوچک، خود را وامدارشان می بیند و سپاس الطافشان را فرض می گیرد. توفیق رفیقشان باد.

چکیده

محاسبه مقاومت زمین همیشه به عنوان یک مساله جدی برای نیروگاه‌ها و شبکه‌های نیرو و تاسیسات برقی و مخابراتی مطرح بوده است. برای محاسبه مقاومت زمین روش‌های تحلیلی و تجربی مختلفی پیشنهاد شده است. همچنین برای ایجاد سیستم زمین، شبکه‌های مختلفی ارائه شده است.

در این پایان‌نامه، انواع شبکه‌های زمین و پارامترهای تاثیرگذار بر روی مقاومت زمین مورد بررسی قرار گرفته است. ساختار خاک و مقاومت ویژه خاک، از عوامل مهم در به دست آوردن مقاومت شبکه‌های زمین محسوب می‌شوند، به این منظور در این پایان‌نامه جهت بهینه‌سازی پارامترهای مدل خاک‌چند لایه بر اساس نتایج اندازه‌گیری تجربی مقاومت ویژه، از الگوریتم ژنتیک تحت نظارت استفاده شده است، که تابع هدف مربوطه بین ۱/۱ تا ۳۱ برابر کاهش یافته است. با استفاده از روش‌های حل عددی مانند روش المان محدود، می‌توان مقدار دقیق مقاومت شبکه‌های زمین را محاسبه نمود، ولی این روش‌ها برای طراحی، زمان‌بر و پیچیده هستند. به این منظور از روابط تجربی استفاده می‌شود، اما می‌توان با استفاده از روش حل دقیق عددی برای محاسبه مقاومت زمین، روابطی تجربی ارائه نمود، یا روابط قبلی را اصلاح کرد. به این منظور در این پایان‌نامه با استفاده از روش المان محدود، شبکه‌های زیادی مورد آزمایش قرار داده شده و رابطه‌ای تجربی برای محاسبه شبکه‌های زمین ترکیبی(شامل شبکه الکترودهای عمودی به همراه شبکه زمین افقی) ارائه شده است که دقت آن از رابطه ارائه شده در استاندارد IEEE80 بیشتر(به طور متوسط در حدود ۵ درصد) می‌باشد. در ادامه با استفاده از روش المان محدود، شبکه‌های زمین مسطح در خاک‌های دولایه مورد بررسی قرار گرفته است. قبلاً روابطی تجربی برای این نوع شبکه‌ها ارائه شده بود، که در این پایان‌نامه با معرفی تابع هدف و استفاده از الگوریتم ژنتیک، این روابط به شکلی بهینه ارائه شدند. دقت روابط ارائه شده در این پایان‌نامه بیشتر از روابط تجربی پیشین(به طور متوسط در حدود ۱۱ درصد) می‌باشد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه ۱
۱-۱ تاریخچه ۲
۱-۲ تعریف موضوع ۴

فصل دوم: سیستم‌های زمین ۶
۲-۱ مقدمه ۷
۲-۱-۱ لزوم استفاده از سیستم زمین ۸
۲-۱-۲ مفهوم مقاومت زمین و معرفی پارامترهای مربوطه ۸
۲-۲ اندازه‌گیری عملی مقاومت زمین ۱۰
۲-۲-۱ حوزه ولتاژ الکترودها ۱۲
۲-۲-۲ جریان‌های سرگردان در زمین ۱۵
۲-۳ اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک ۱۵
۲-۳-۱ خاک های چند لایه ۱۷
۲-۴ انواع سیستم های زمین ۱۸
۲-۴-۱ الکترود تنها ۱۸
۲-۴-۲ شبکه های الکترودی ۲۰
۲-۴-۳ شبکه های مسطح ۲۴
۲-۴-۴ ترکیب شبکه‌های الکترودی و شبکه‌های مسطح ۲۵
۲-۴-۵ چاه ارت(الکترودهای صفحه‌ای) ۲۶
۲-۵ عوامل موثر در مقاومت زمین ۳۰
۲-۶ روش‌های کاهش مقاومت زمین ۳۴
۲-۶-۱ استفاده از الکترودهای شیمیایی ۳۴
۲-۶-۲ پلیمرهای جاذب رطوبت ۴۰

فصل سوم: استفاده از روش المان محدود برای محاسبه مقاومت زمین ۴۳
۳-۱ مقدمه ۴۴
۳-۱-۱ معرفی روش المان محدود ۴۴

۳-۱-۲ لزوم استفاده از روش المان محدود جهت محاسبه مقاومت زمین..... ۴۵
۳-۲ روش المان محدود جهت محاسبه مقاومت زمین..... ۴۶
۳-۳ نرم‌افزار المان محدود جهت محاسبه مقاومت زمین..... ۵۰

فصل چهارم: اندازه‌گیری و محاسبه پارامترهای خاک..... ۵۳
۴-۱ مقدمه..... ۵۴
۴-۲ اندازه‌گیری عملی مقاومت ویژه زمین..... ۵۴
۴-۲-۱ روش چهار نقطه‌ای ونر..... ۵۵
۴-۳ الگوریتم ژنتیک تحت نظارت..... ۵۶
۴-۴ مدل خاک‌های چند لایه..... ۵۹
۴-۴-۱ خاک‌های دو لایه..... ۵۹
۴-۴-۲ خاک‌های چند لایه..... ۶۰
۴-۴-۲-۱ تغییرات پتانسیل سطح خاک دو لایه..... ۶۰
۴-۴-۲-۲ تغییرات پتانسیل سطح خاک چند لایه..... ۶۱
۴-۴-۲-۳ محاسبات پارامترهای خاک چند لایه..... ۶۲
۴-۵ نتایج شبیه‌سازی لایه‌های خاک..... ۶۳

فصل پنجم: شبیه‌سازی شبکه‌های زمین و محاسبه مقاومت آنها..... ۷۰
۵-۱ مقدمه..... ۷۱
۵-۲ انواع شبکه‌های زمین..... ۷۲
۵-۲-۱ شبکه‌های زمین الکترودی..... ۷۳
۵-۲-۱-۱ مقاومت یک الکترود..... ۷۳
۵-۲-۱-۲ مقاومت شبکه الکترودی..... ۷۴
۵-۲-۱-۳ شبکه‌های زمین مسطح..... ۷۵
۵-۲-۱-۴ شبکه‌های زمین مسطح و الکترودها..... ۷۶
۵-۳ ارائه رابطه‌ای برای محاسبه شبکه زمین مسطح به همراه الکترودهای افقی..... ۷۸
۵-۳-۱ نتایج شبیه‌سازی..... ۷۹
۵-۴ محاسبه مقاومت شبکه زمین مسطح در خاک‌های دولایه..... ۸۴
۵-۴-۱ روابط تجربی محاسبه مقاومت شبکه در خاک دولایه..... ۸۴
۵-۴-۲ بهینه‌سازی روابط با استفاده از الگوریتم ژنتیک..... ۸۵

۵-۴-۳ نتایج شبیه‌سازی ۸۷

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۱
۶-۱ نتیجه‌گیری ۹۲
۶-۲ پیشنهادها ۹۳

مراجع ۹۴

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول(۲-۱): مقاومت ویژه انواع خاک‌ها ۱۷
جدول(۲-۲): مقاومت زمین الکترودهای مختلف ۳۳
جدول(۲-۳): انتخاب مواد کاهنده مقاومت ۳۸
جدول(۲-۴): محتویات ماده جم ۴۲
جدول(۲-۵): اکسیدهای موجود در جم ۴۲

جدول(۴-۱): : نتایج عملی روش چهارنقطه‌ای ارائه شده توسط Seedher و Arora ۶۴
جدول(۴-۲): مقایسه شبیه‌سازی انجام شده در این فصل با مراجع دیگر بر اساس داده‌های
جدول(۴-۱) ۶۵
جدول(۴-۳): نتایج عملی روش چهارنقطه‌ای ارائه شده توسط Del Alamo ۶۵
جدول(۴-۴): مقایسه نتیجه الگوریتم ژنتیک تحت نظارت با بهترین روش مرجع [۲۵] ۶۶
جدول(۴-۵): نتایج اندازه‌گیری‌های عملی برای مدل سه لایه خاک ۶۶
جدول(۴-۶): نتایج عملی روش چهارنقطه‌ای برای یک ایستگاه مخابراتی، واقع در استان یزد ۶۹

جدول(۵-۱): فاکتور k ۷۴
جدول(۵-۲): نتایج مقایسه رابطه ارائه شده و رابطه شوارز با روش المان محدود ۸۱
جدول(۵-۳): نتایج مقایسه رابطه ارائه شده و رابطه شوارز با روش المان محدود ۸۱
جدول(۵-۴): مقدار تابع هدف در حالت‌های مختلف ۸۷
جدول(۵-۵): مقادیر محاسبه شده مقاومت شبکه‌های زمین با نرم‌افزار المان محدود $\rho_1 < \rho_2$ ۸۹
جدول(۵-۶): مقادیر محاسبه شده مقاومت شبکه‌های زمین با نرم‌افزار المان محدود $\rho_1 > \rho_2$ ۸۹
جدول(۵-۷): مقایسه نتایج رابطه بهینه شده با نتایج روابط قبلی و حل دقیق عددی برای
محاسبه مقاومت شبکه زمین($\rho_1 < \rho_2$) ۹۰
جدول(۵-۸): مقایسه نتایج رابطه بهینه شده با نتایج روابط قبلی و حل دقیق عددی برای
محاسبه مقاومت شبکه زمین($\rho_1 > \rho_2$) ۹۰
جدول(۵-۹): مقایسه خطای کلی رابطه بهینه شده با رابطه قبلی ۹۰

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل(۲-۱): انواع شوک‌های الکتریکی ۱۱
شکل(۲-۲): نحوه استقرار الکترودها و لوازم اندازه‌گیری ۱۴
شکل(۲-۳): منحنی تغییرات ولتاژ الکترود T2 نسبت به فاصله بین الکترودهای Tو T1 ۱۶
شکل(۲-۴): الکترود زمین و اجزای مختلف مقاومت آن ۱۹
شکل(۲-۵): شبکه الکترودها ۲۰
شکل(۲-۶): تغییر مقاومت اندازه‌گیری شده تابعی از فاصله میله ۲۱
شکل(۲-۷): نیم‌کره واسط ۲۱
شکل(۲-۸): میله‌های بسیار نزدیک به هم ۲۲
شکل(۲-۹): مقاومت میله زمین بر حسب طول ۲۳
شکل(۲-۱۰): شبکه مسطح زمین ۲۵
شکل(۲-۱۱): ترکیب شبکه‌های الکترودی و شبکه‌های مسطح ۲۵
شکل(۲-۱۲): نمونه یک الکترود صفحه‌ای ۲۷
شکل(۲-۱۳): تاثیر میزان رطوبت بر مقاومت ویژه برای سه نوع خاک ۳۰
شکل(۲-۱۴): تاثیر دما بر مقاومت ویژه ۳۱
شکل(۲-۱۵): تاثیر نمک بر مقاومت خاک ۳۱
شکل(۲-۱۶): ساختمان Chem-Rod ۳۵
شکل(۲-۱۷): تاثیر خاک داخل استوانه بحرانی ۳۷
شکل(۲-۱۸): مرطوب ساز محرک خورشیدی اتوماتیک LEC ۳۹
شکل(۲-۱۹): ساختار مرطوب‌سازی محرک ۳۹

شکل(۳-۱): مدل المان محدود برای شبکه زمین با ۱۴۴ مش ۴۸
شکل(۳-۲): مقایسه نتایج برای شبکه مربعی با ۱۶ مش در خاک‌های یکنواخت و دو لایه ۴۹
شکل(۳-۳): شمای کلی نرم‌افزار محاسبه مقاومت زمین با روش المان محدود ۵۱
شکل(۳-۴): پارامترهای ورودی برای ساختار خاک دولایه ۵۱
شکل(۳-۵): پارامترهای ورودی برای رسم شبکه زمین مسطح ۵۲
شکل(۳-۶): نتایج تحلیل شبکه زمین با نرم‌افزار المان محدود ۵۲

شکل(۴-۱): روش اندازه‌گیری ونر ۵۵
شکل(۴-۲): ساختار خاک‌های چندلایه ۵۶
شکل(۴-۳): فلوچارت الگوریتم ژنتیک تحت نظارت ۵۸
شکل(۴-۴): مدل زمین چند لایه ۶۱
شکل(۴-۵): اندازه‌گیری مقاومت ویژه به روش ونر در خاک N لایه ۶۲
شکل(۴-۶): مدل ۳ لایه خاک برای اندازه‌گیری‌های جدول (۴-۵) ۶۷
شکل(۴-۷): تغییرات مقاومت ویژه خاک ۳ لایه زمین بر حسب فاصله بین الکترودها برای نتایج جدول(۴-۵) ۶۸

شکل(۵-۱): ضریب k1 ..... ۷۷
شکل(۵-۲): ضریب k2 ..... ۷۸
شکل(۵-۳): نمای سه بعدی یکی از شبکه‌های تحلیل شده در نرم‌افزار المان محدود ۸۰
شکل(۵-۴): مقایسه مقاومت محاسبه شده از روش‌های مختلف بر حسب مجموع طول هادی‌ها با الکترودهای ۲ متری ۸۲
شکل(۵-۵): مقایسه مقاومت محاسبه شده از روش‌های مختلف بر حسب مجموع طول هادی‌ها با الکترودهای ۳ متری ۸۲
شکل(۵-۶): یکی از منوهای نرم افزار تهیه شده برای محاسبه مقاومت شبکه ۸۳
شکل(۵-۷): طرح شبکه مربوط به نتایج شکل ۵-۷ ..... ۸۳
شکل(۵-۸): نمای سه بعدی یک شبکه زمین مسطح ۸۵
شکل(۵-۹): شکل‌های مختلف از شبکه‌های زمین مسطح ۸۸

۱-۱ تاریخچه

ایجاد شبکه زمین و محاسبه و اندازه‌گیری مقاومت آن، یکی از مسائل اساسی و بسیار مهم در تمامی تاسیسات برقی و مخابراتی می‌باشد. هر چند قبل از ظهور کامپیوترها و توسعه روش‌های عددی، مقاومت زمین به طور تجربی به دست می‌آمد، اما با توجه به اهمیت مساله به تدریج روش‌هایی برای محاسبه آن ارائه گردید. مقاومت زمین با توجه به شرایط محیطی و خاک، می‌تواند متغیر باشد. در بعضی مراجع فرمول‌هایی تقریبی برای محاسبه مقاومت و توزیع پتانسیل به دست آمده است[۳،۲،۱]. اما برای شرایط مختلف این فرمول‌ها کاربرد چندانی ندارند و به طور دقیق مقاومت شبکه زمین را تعیین نمی‌کنند. بویژه در مواردی که شرایط خاک پیچیده باشد(خاک غیر یکنواخت، ناهمگن و چندلایه)، یا شکل‌های مختلفی از شبکه مورد نظر باشد. همچنین در زمان عبور جریان‌های بسیار زیاد، رفتار خاک نیز تغییر می‌کند. در مرجع[۴] برای بررسی توزیع جریان اتصال کوتاه به زمین، از روش المان محدود استفاده شده است. در این مقاله توزیع جریان نشتی در خاک تحت شرایط مختلف به دست آمده است و پدیده یونیزه شدن خاک در سیستم زمین نیز بررسی و شبیه‌سازی شده است. رطوبت، دما، یخ زدن زمین و... هم از موارد با اهمیت در محاسبه مقاومت زمین می‌باشند. طراحی شبکه در خاک‌های یخ زده متفاوت و بر اساس عمق یخ زدگی بوده و در مقالات[۶،۵] مورد بحث قرار گرفته‌است. مقادیر استاندارد مقاومت زمین بسته به کاربرد مورد نظر در استانداردهای IEEE80 و IEEE81 آمده است. در طراحی باید مقاومت زمین را تا حد تعیین شده در استاندارد کاهش داد. بر این اساس روش‌های مختلفی جهت کاهش مقاومت زمین ارائه شده است[۷]. برای اندازه‌گیری مقاومت زمین به طور عملی نیز روش‌های خاصی وجود دارد که در استانداردها نیز مطرح شده است.

روش‌های محاسبه مقاومت زمین به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند[۹،۸] :۱) روش انتگرالی: این روش محاسبه پتانسیل الکتریکی با استفاده از معادله انتگرالی برای جریان خط را امکان پذیر می‌نماید. محاسبات سریع و عملا مستقل از پیکربندی سیستم زمین هستند، در عوض

حوزه‌های زیادی با هدایت مختلف در محاسبات قرار نمی‌گیرند، مگر اینکه لایه‌های موازی از خاک با هدایت‌های مختلف فرض شوند، و این بزرگترین نقطه ضعف این روش است. عموما مدل خاک دو لایه فرض می‌شود، ولی با شرایط واقعی متفاوت است. ۲)روش‌های دیفرانسیلی: با استفاده از روش المان محدود می‌توان نقطه ضعف روش‌های انتگرالی را برطرف نمود. با این روش، پیکربندی سیستم زمین دلخواه بوده و می‌توان مشخصات خاک ناهمگن را در محاسبات در نظر گرفت(تعداد مختلف از لایه‌های هدایت کننده موازی/ غیر موازی خاک). نقطه ضعف این روش، نامحدود بودن محیط مورد بررسی و یا به طور دقیق‌تر نیمه بی‌نهایت بودن محیط مورد شبیه‌سازی می‌باشد، که برای گسسته کردن نامطلوب می‌باشد. با به کار بردن ناحیه به اندازه کافی بزرگ یا با تبدیلات مکانی می‌توان این نقطه ضعف را برطرف نمود. با این دو کار می‌توان شرایط مرزی را به طور مناسب اعمال نمود و تعداد مجهولات را در روش المان محدود کاهش داد[۹]. روش دیگر روش المان مرزی است. این روش برای حل مسائل فضای نیمه بی‌نهایت کاربرد دارد[۹]. تحلیل‌های دقیق برای محاسبه مقاومت زمین در شرایط گوناگون، با روش المان محدود و المان مرزی صورت می‌گیرد. در مرجع[۱۰] تحلیل شبکه‌های متقارن و نا متقارن با هر شکل در خاک یکنواخت با روش المان محدود صورت گرفته است. در مرجع[۸] تبدیل مکانی نیمه بی‌نهایت در یک مکان محدود اعمال شده، و محاسبات برای خاک غیر ایزوتروپیک انجام شده است. در مرجع[۹] جهت حفاظت از تجهیزات و شبکه‌های قدرت، محاسبات برای خاک‌های ایزوتروپیک و غیر ایزوتروپیک با استفاده از هر دو روش المان محدود و المان مرزی صورت گرفته است. در مرجع[۱۱] فاکتورهای تصحیح یافته برای رابطه خاک یکنواخت در حالت چندلایه به کمک المان محدود ارائه گردیده است. در مرجع[۱۲] روشی برای تحلیل پتانسیل انتقالی توسط روش المان مرزی ارائه شده است.

۱-۲ تعریف موضوع:

همزمان با پیدایش نیروگاه‌ها، شبکه‌های برق و تاسیسات برقی و مخابراتی، مساله زمین الکتریکی نیز به عنوان یک مساله جدی مطرح بوده‌است و پژوهش‌های متعددی پیرامون این موضوع انجام شده و مقالات زیادی نیز ارائه شده‌است. طراحی و ایجاد شبکه زمین الکتریکی مناسب، به دلایل زیر دارای اهمیت زیادی می‌باشد:

۱) حفاظت جانی افراد و کاربران در برابر شوک‌ها و خطرات الکتریکی که ممکن است در اثر تخلیه بار الکتریکی به زمین در ایستگاه اتفاق بیفتد.

۲) حفاظت تجهیزات الکتریکی در برابر انواع شوک‌های الکتریکی و فراتاخت‌های ولتاژ.

بر این اساس طراحی و اجرای شبکه زمینی که بتواند کمترین مقاومت را طبق استانداردهای لازم ایجاد نماید، امری بسیار مهم و حیاتی می‌باشد. لذا لازم است با روش‌های مناسب و با در نظر گرفتن عوامل مختلف، مقاومت زمین به طور دقیق محاسبه شده و با طراحی مناسب شبکه زمین، این مقاومت را تا حد امکان کاهش داد.

مقاومت زمین، مقاومت الکترود و یا شبکه‌ای از الکترودهای مدفون در زمین به همراه خاک مجاور آنها است. هر چند الکترود زمین را می‌توان هادی کامل در نظر گرفت، زمین باید به عنوان یک نیمه‌رسانا در نظر گرفته شود و این موضوع طراحی و شبیه سازی سیستم را پیچیده می‌کند. شکل‌های متفاوتی مانند دایره‌ای، مستطیلی، T شکل، L شکل و ... برای شبکه‌های زمین در نظر گرفته می شود[۱۰]. نوع شبکه، مقاومت ویژه خاک، عمق الکترود مدفون، رطوبت و دمای خاک عوامل مهمی در تعیین مقاومت زمین می‌باشند. خاک می‌تواند دو لایه یا چند لایه، یکنواخت یا غیر یکنواخت، همگن یا ناهمگن باشد[۱۰].

شبکه‌های زمینی که تا به حال در کشور اجرا شده است، معمولا با روش‌های تجربی و بدون شبیه‌سازی دقیق انجام شده است. روش‌های تجربی به ویژه در مناطقی با شرایط خاص

(کوهستانی، سنگلاخی، ماسه‌ای خشک و...) کارآیی لازم را نداشته و لازم است مقاومت زمین با انجام شبیه‌سازی و استفاده از روش‌های عددی به طور دقیق‌تری محاسبه شود. در این حالت می‌توان با بررسی تاثیر پارامترهای مختلف، طراحی شبکه را به گونه‌ای انجام داد تا مقاومت شبکه زمین به مقدار لازم کاهش یابد. همچنین روابط ارائه شده قدیمی نیاز به اصلاح و یا بهینه‌سازی دارند.

هدف از انجام این تحقیق محاسبه پارامترهای ساختار چندلایه خاک و ارائه روابط تجربی دقیق برای شبکه‌های زمین با استفاده از روش المان محدود می‌باشد. در این تحقیق قصد داریم مراحل زیر را بررسی نماییم:

۱) مطالعه انواع شبکه‌های زمین و بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر روی مقاومت زمین.

۲) مطالعه روش‌های محاسبه مقاومت زمین.

۳) اندازه‌گیری و محاسبه پارامترهای خاک(شامل مقاومت ویژه لایه‌ها و عمق دفن لایه‌ها) در ساختارهای چندلایه.

۴) پیشنهاد روابط تقریبی جدید و بهینه‌سازی روابط قدیمی با استفاده از شبیه‌سازی شبکه‌های زمین مختلف به کمک روش المان محدود.

۵) طراحی نرم افزار محاسبه مقاومت زمین.

فصل دوم به بررسی سیستم زمین و پارامترهای تاثیرگذار بر روی آن می‌پردازد. فصل سوم، ضمن معرفی روش المان محدود، نحوه به کارگیری آن را برای محاسبه مقاومت زمین نشان می‌دهد. فصل چهارم به نحوه محاسبه پارامترهای خاک چندلایه با استفاده از الگوریتم ژنتیک تحت نظارت می‌پردازد. در فصل پنجم رابطه‌ای جدید برای شبکه‌های زمین ترکیبی(شامل الکترود عمودی و شبکه زمین افقی) ارائه شده است و همچنین به کمک شبیه‌سازی‌های مختلف شبکه‌های زمین افقی، روابط قبلی محاسبه مقاومت آنها در خاک‌های دولایه با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شده است. در فصل ششم نتایج و پیشنهادهای سازنده برای افزایش دقت محاسبات در شبکه‌های زمین ارائه شده است.

۲-۱ مقدمه

وجود سیستم زمین در سیستم‌های الکتریکی امری اجتناب ناپذیر است. هدف از این سیستم، تأمین ایمنی در برابر برق‌گرفتگی انسان یا حیوان در بهره‌برداری از سیستم الکتریکی، حفظ عایق‌بندی سیستم با ایجاد مسیری برای جریان عملیاتی با هدف تحریک لوازم حفاظتی به واکنش و یا تأمین ایمنی در برابر برق‌گرفتگی هنگام انجام تعمیرات و روی تجهیزات با خطوط نیروی برق و نیز حفاظت تجهیزات در شرایط غیر عادی نظیر اتصال کوتاه، صاعقه و غیره می‌باشد، لذا باید قسمت‌های لازم یک سیستم الکتریکی به نحو مؤثری به این سیستم متصل گردند.

سیستم زمین کامل، مجموعه‌ای از اتصالات، همبندی‌ها، الکترودهای زمین یا صفحه‌ها یا شبکه‌های فلزی و مواد شیمیایی، خاک زمین محلی، سیم‌های مسی، کابل‌ها و حتی تجهیزات حفاظتی مربوط به آن می باشد.

اتصال زمین یا زمین کردن، فن و هنر ایجاد یک اتصال الکتریکی با زمین است. چنین فرآیندی از این جهت لازم است که باید از طریق یک پروسه تست و انتخاب در مقابل محاسبات انجام شده از روش‌های مرسوم انجام شود. گزینه‌های مناسب برای هر سایت باید با مشاهده و ارزیابی خاص آن سایت و با استفاده از روش‌های تحلیلی مربوطه تعیین گردد.

در حالی که الکترود زمین خود یک هادی خالص است، زمین باید به عنوان یک نیمه‌رسانا در نظر گرفته شود. این فاکتورها طراحی سیستم زمین را پیچیده می‌کنند، سیستمی که با محاسبات ساده و با قرار دادن تصادفی چند میله در خاک حاصل نمی‌شود. اطلاع از شرایط خاک محلی ضروری است و اولین پله در طراحی فرآیند محسوب می‌شود. این شرایط، شامل مقدار رطوبت، دما و مقاومت ویژه می‌باشد.

۲-۱-۱ لزوم استفاده از سیستم زمین

در ابتدا باید دانست که یک زمین خوب باید چه شرایطی را فراهم سازد. مهمترین این موضوعات به قرار زیر است:

۱) شرایطی فراهم کند که شوک‌های الکتریکی خطرناک برای اشخاص را کاهش دهد.

۲) شرایطی فراهم کند که جریان‌های خطا را از لحاظ مدت زمان و دامنه مهار کرده بدون آنکه آتش، جرقه و شوک اعم از حرارتی و الکتریکی در ساختمان‌ها و تاسیسات ایجاد گردد.

۳) مسیری را با امپدانس کم، جهت برگشت جریان خطای فاز به زمین و همچنین جهت حفاظت در برابر جریان‌های بالا مانند صاعقه و امواج سیار ایجاد نماید.

با توجه به اهداف خلاصه ذکر شده در بالا هر کدام از تجهیزات درگیر در سیستم زمین باید مختصات و ویژگی‌های مخصوص خود را دارا باشد، تا به لحاظ کیفی مجموعه به هدف مورد نظر دست یابد. این موضوع نیز لازمه تبیین و تضمین استانداردهایی جهت هر قطعه و ترکیب آن‌ها می‌باشد و از این رو است که بخش مهمی از کلیه استانداردها اعم از ملی و بین‌المللی معطوف به این امر گردیده است.

۲-۱-۲ مفهوم مقاومت زمین و معرفی پارامترهای مربوطه

مقاومت یک الکترود زمین، مقاومت آن نسبت به جرم کلی زمین[1] است. برای بیان مقاومت (اکتیو، راکتیو یا ظاهری) در دست داشتن دو نقطه لازم می‌باشد و وجود مقاومت برای یک نقطه مفهوم ندارد. پس در مورد الکترود زمین که تنها یک نقطه از آن در دسترس است، این مساله چگونه توجیه می‌شود و به‌عبارت دیگر نقطه دوم مقاومت الکترود زمین، در کجا واقع شده است؟

1 - General mass of earth

برای بیان مقاومت الکترود، مفهوم "جرم کلی زمین" ارائه شده است که طبق آن مقاومت الکترود بین نقطه‌ای که در دسترس است (سرآزاد) و نقطه‌ای که در دسترس نبوده ولی به جایی به نام جرم کلی زمین ختم شده و به آن متصل می‌باشد قرار گرفته است. لذا لازم خواهد بود که این جرم کلی زمین دارای خواصی مهم باشد. آزمایش نشان می‌دهد که خاصیت جرم کلی زمین، مقاومت در حد صفر است که مهمترین خاصیت وجودی این مفهوم است. از طرفی جرم کلی زمین مبنای اندازه‌گیری مقاومت زمین است و مقاومت زمین اندازه‌گیری شده مقاومتی است که بین سرآزاد الکترود و جرم کلی زمین وجود دارد. جرم کلی زمین محدوده فیزیکی مشخص ندارد و از لحاظ نظری، تمام زمین‌های اطراف الکترود و در واقع کره زمین در تشکیل آن شرکت دارند.

شخصی که در محوطه پست یا در مجاورت آن قرار دارد و با تجهیزات فلزی ارتباط برقرار می کند در معرض سه نوع شوک الکتریکی قرار دارد. علت شوک، اعمال ولتاژهای تماس، گام و ولتاژ انتقالی بر بدن است.

شبکه‌ی زمین، سیستم زمین، مقاومت شبکه‌ی زمین، افزایش پتانسیل سطحی، ولتاژ گام یا قدم، ولتاژ تماس، ولتاژ حلقه (مش)، ولتاژ انتقالی و میله عمودی پارامترهایی هستند که در موضوع طراحی شبکه زمین در پست‌های فشار قوی مطرح می‌شوند[۱].

اما اگر بخواهیم تعریفی برای شروع کار از آن‌ها داشته باشیم بدین صورت بیان می‌گردند:

شبکه زمین : شبکه‌ای از هادی‌های افقی، عمودی و یا ترکیبی از آن‌ها و بدون عایق که در خاک دفن شده‌اند تا بدین وسیله زمین مشترکی برای وسایل و تجهیزات فراهم آورد.

سیستم زمین : شامل کلیه وسایلی که جهت زمین به کار می‌روند.

افزایش پتانسیل زمین[1] : ماکزیمیم ولتاژی است که سیستم زمین یک پست، در اثر عبور جریان زمین، نسبت به زمین دور دست پیدا می‌کند.

ولتاژ گام : اختلاف پتانسیل موجود در سطح زمین که بین پاهای شخصی با طول گام معین (یک متر) اعمال می‌گردد به شرطی که جای دیگری از بدن شخص با زمین ارتباط نداشته باشد[۱].

1 - Ground Potential Rise

ولتاژ تماس : اختلاف پتانسیل بین افزایش پتانسیل زمین (GPR) و نقطه‌ای از سطح زمین که شخص ایستاده است می‌باشد، به طوری که دست شخص با آن سازه‌ی زمین شده اتصال داشته باشد.

ولتاژ حلقه : بیشترین ولتاژ تماسی است که می‌تواند در یکی از حلقه‌های شبکه زمین وجود داشته باشد .

ولتاژ انتقالی : حالت خاصی از ولتاژ تماس است که در این حالت ولتاژ قسمت لمس شونده از بیرون پست به درون و یا برعکس منتقل می‌شود.

مقاومت شبکه زمین : مقاومتی است که شبکه زمین در مقابل تمهیداتی که برای آن صورت گرفته است، از خود نشان می‌دهد.

میله‌ی عمودی : میله‌ای از جنس هادی است که در زیر زمین قرار می‌گیرد و وظیفه‌ی تزریق جریان را به زمین بر عهده دارد.

شکل (۲-۱) چگونگی ایجاد ولتاژ گام، ولتاژ تماس، ولتاژ حلقه، ولتاژ انتقالی، پتانسیل سطحی و افزایش پتانسیل سطحی را نشان می‌دهد. ضمناً زمین دور دست نیز با نقطه چین نمایش داده شده است و ارتباط زمین دور دست با شبکه‌ی منظور شده در پست نیز به طور واضح دیده می‌شود.

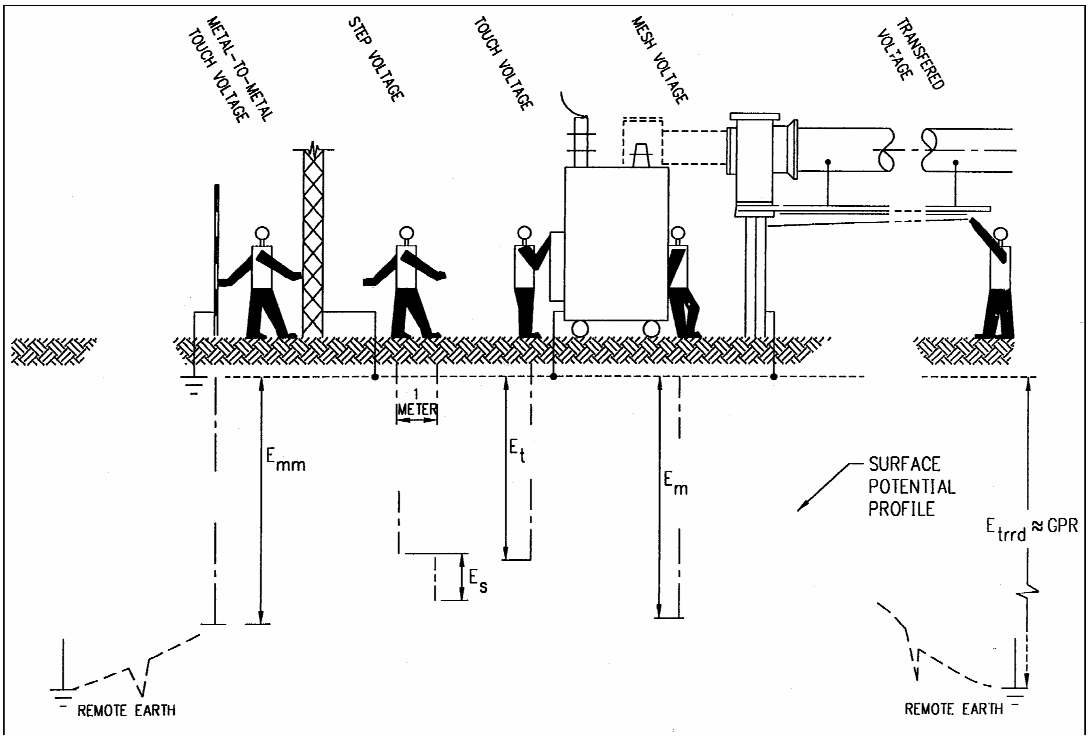
۲-۲ اندازه‌گیری عملی مقاومت زمین

اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک قبل از شروع مراحل طراحی و اجرای سیستم زمین انجام می‌شود و اندازه‌گیری مقاومت الکترود یا شبکه زمین که پس از پایان مرحله اجرایی انجام می‌شود، بسیار مهم بوده و اگر بدون ایراد و اشتباه انجام شود، همان چیزی است که ایمنی افراد، سلامت دستگاه‌ها و صحت کار آنها بستگی به مقدار آن خواهد داشت. در واقع اندازه‌گیری مقاومت زمین، امتحانی است که بعد از مدتها فکر و اندازه‌گیری‌های اولیه و تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده‌های محلی و تجربه شخصی و تجربه دیگران پس داده می‌شود.

در اینجا نحوه اندازه‌گیری عملی مقاومت یک الکترود زمین بیان می‌شود. اندازه‌گیری مقاومت یک شبکه زمین نیز به همین شکل می‌باشد، هرچند لازم است نکات خاصی را در نظر داشت. اندازه‌گیری مقاومت یک الکترود زمین بر اساس رابطه اصلی بین اختلاف پتانسیل در دو سر یک مقاومت و شدت جریانی که از آن عبور می‌کند استوار است، بدین معنی که شدت جریانی را به کمک یک الکترود کمکی از الکترود مورد آزمون عبور داده و مقدار آن را اندازه‌گیری می‌کنند(I) و در همان حال ولتاژ دو سر الکترود مورد آزمون را به کمک یک الکترود کمکی دیگر اندازه‌گیری می کنند(U) و از تقسیم این دو بر یکدیگر مقدار مقاومت مطلوب به دست می‌آید.

$$R = \frac{U}{I} \qquad (۱-۲)$$

اگر از ولتاژ شبکه برای اندازه‌گیری مقاومت زمین استفاده شود، نظر به اینکه یک نقطه از شبکه (خنثی) در منبع (پست یا ژنراتور) به زمین وصل است، تامین ایمنی در اطراف الکترودی که هنگام اندازه‌گیری به فاز وصل خواهد شد به علت وجود گرادیان ولتاژ مشکل خواهد بود، بنابراین



شکل(۲-۱): انواع شوک‌های الکتریکی[۱].