

# اصول سیستم اتصال زمین در شبکه‌های توزیع

نویسندگان:

دکتر رضا محمدی

(دانشیار دانشگاه شهید بهشتی)

دکتر مهیار قلی‌زاده

(شرکت توانیر)

مهندس مهدی ابتهاج

(شرکت توزیع نیروی برق استان اردبیل)

با همکاری اعضای کارگروه و کمیته تخصصی سیستم زمین توانیر

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

|                     |  |
|---------------------|--|
| سرشناسه             | محمدی، رضا، ۱۳۶۰ شهریور-   |
| عنوان و نام پدیدآور | اصول سیستم اتصال زمین در شبکه‌های توزیع / نویسندگان رضا محمدی، مهیار قلی‌زاده، مهدی ابتهاج؛ با همکاری اعضای کارگروه و کمیته تخصصی سیستم زمین توانیر. |
| مشخصات نشر          | تهران: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، انتشارات، ۱۴۰۲.   |
| مشخصات ظاهری        | ۴۴۰ ص.: مصور، جدول، نمودار.  |
| شابک                | ۲-۴۵۱-۲۱۰-۹۶۴-۹۷۸: ۳۳۰۰۰۰۰ ریال  |
| وضعیت فهرست نویسی   | فیبا   |
| موضوع               | برق--جریان--اتصال به زمین--Grounding--Electric currents  |
| موضوع               | برق--سیستم‌ها--پیش‌بینی‌های ایمنی--Safety measures--Electric power systems   |
| موضوع               | برق--سیستم‌ها--حفاظت--Protection--Electric power systems   |
| شناسه افزوده        | قلی‌زاده، مهیار، ۱۳۶۸-   |
| شناسه افزوده        | ابتهاج، مهدی، ۱۳۵۷-  |
| شناسه افزوده        | جهاد دانشگاهی. واحد صنعتی امیرکبیر. انتشارات   |
| رده‌بندی کنگره      | TK۳۲۲۷   |
| رده‌بندی دیویی      | ۶۲۱/۳۱۷  |
| شماره کتابشناسی ملی | ۹۲۶۶۷۳۸  |
| وضعیت رکورد         | فیبا   |

این کتاب در جلسه مورخ ۱۴۰۲/۰۱/۳۱ شورای نشر کتاب جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر پس از طی مراحل ارزیابی علمی، مجوز چاپ و انتشار، دریافت نموده است.



واحد صنعتی امیر کبیر

### اصول سیستم اتصال زمین در شبکه‌های توزیع

نویسندگان: دکتر رضا محمدی، دکتر مهیار قلی‌زاده، مهندس مهدی ابتهاج

|          |                                   |
|----------|-----------------------------------|
| ناشر     | جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر |
| نوبت چاپ | اول                               |
| سال چاپ  | ۱۴۰۲                              |
| قطع      | وزیری                             |
| شمارگان  | ۱۰۰۰ نسخه                         |
| قیمت     | ۳۳۰۰۰۰۰ ریال                      |
| طراح     | آرزو انصاری                       |
| چاپخانه  | اصیل                              |



ISBN: 978-964-210-451-2

شابک: ۲-۴۵۱-۲۱۰-۹۶۴-۹۷۸

نمایشگاه و فروشگاه دائمی: تهران، خیابان حافظ، روبروی خیابان سمیه، جنب دانشگاه صنعتی امیرکبیر، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر تلفن: ۹۸۱ ۹۵۰ ۶۶ ۹۸۲۱ + تلفکس: ۹۸۲ ۹۵۰ ۶۶ ۹۸۲۱ +  
فروشگاه اینترنتی: [www.jdamirkabir.ac.ir](http://www.jdamirkabir.ac.ir)

## پیشگفتار ناشر

### أَطْلُبُوا الْعِلْمَ مِنَ الْمَهْدِ إِلَى اللَّحْدِ

توانمندسازی پایه‌های علمی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشور از وظایف اصلی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان نظام مقدس جمهوری اسلامی ایران می‌باشد. این مهم، ضمن افزایش اقتدار علمی کشور در عرصه‌های بین‌المللی؛ زمینه‌ساز استقلال اقتصادی با محوریت یافته‌های فن‌آورانه و دانش‌بنیان می‌گردد که خود از ارکان اصلی توسعه پایدار به‌شمار می‌آید. هم‌چنین واضح است که در کنار دو عنصر تعهد و تخصص، دسترسی به اطلاعات روز علمی و تکنولوژی‌های مدرن؛ نیاز اولیه برای توانمندسازی پایه‌های علمی به‌شمار می‌رود.

بر این اساس جهادگران جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر با مدیریت جهادی خود علاوه بر فعالیت‌های فرهنگی، پژوهش‌های فن‌آورانه و نیز آموزش‌های تخصصی فن‌آور و اشتغال‌محور، با چاپ کتب و مجلات علمی متخصصان و دانشجویان فرهیخته کشور و هم‌چنین ترجمه آثار فاخر و به‌روز دنیا توسط «انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر» پلی تکنیک تهران» که یکی از معتبرترین انتشارات دانشگاهی در حوزه علوم پایه و مهندسی می‌باشد؛ به وظیفه انقلابی و اعتقادی خویش جامه عمل پوشانده و امیدوار است بتواند نیازهای علمی پژوهشگران، دانشجویان و پویندگان راه علم را در تحقق آرمان‌های اصیل انقلاب فراهم سازد.

این کتاب به روح پرفتوح معمار کبیر انقلاب، شهدا و ایثارگران هشت سال دفاع مقدس به‌ویژه شهدای گرانقدر جهاد دانشگاهی و دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تقدیم می‌گردد. امید است دانشجویان و فعالین عرصه‌های علم و فن‌آوری کشور، پویانده راه این شهیدان والا مقام همچون شهدای جهاد علمی، در محیط مقدس و انسان‌ساز دانشگاه باشند.

از همه عزیزان محقق و دانش‌پژوه تقاضا می‌شود این انتشارات را از نظرات تخصصی و پیشنهادات راهگشای خود در جهت ارتقاء سطح علمی کتب منتشره و هم‌چنین گسترش زمینه‌های علمی آن‌ها، بهره‌مند سازند.

«هماره در پرتو الطاف الهی پیروز و سربلند باشید»

انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر



## پیشگفتار

گسترش و نفوذ روزافزون انرژی الکتریکی در ابعاد مختلف زندگی بشری بر کسی پوشیده نیست. در کنار مزایای مذکور، جریان الکتریکی دارای خطراتی برای تجهیزات، انسان‌ها و سایر موجودات زنده می‌باشد. پدیده‌های گذرا و ناخواسته مانند صاعقه، اتصال کوتاه و ... باعث ایجاد خطا و اختلال در عملکرد عادی شبکه قدرت می‌شوند. عبور جریان‌های زیاد خطا ناشی از این پدیده‌ها از تجهیزات می‌تواند باعث آسیب‌دیدگی آن‌ها گردد. ضمن اینکه عبور جریان کوچکی از بدن انسان و سایر موجودات زنده باعث ایجاد شوک و نهایتاً منجر به مرگ خواهد شد. یک سیستم زمین خوب می‌تواند از شبکه برق، تجهیزات مشترکین و جان موجودات زنده در برابر این نوع خطاها محافظت کند. با توجه به نقش سیستم زمین و همبندی در حفاظت جان افراد و افزایش طول عمر تجهیزات، احداث سیستم‌های اتصال به زمین کارآمد و اقتصادی، همواره یکی از چالش‌های صنعت برق بوده است. با توجه به اینکه در شبکه‌های توزیع کمتر به پارامترهای مهم و مؤثر در طراحی و اجرای سیستم زمین توجه گردیده است، کتاب حاضر با هدف ارائه اصول جامع و کامل در خصوص طراحی، اجرا و نظارت و بازرسی‌های دوره‌ای سیستم زمین شبکه‌های توزیع توسط مؤلفین به رشته تحریر درآمده است. در تألیف این کتاب سعی بر آن بوده است که اصول و روش‌های سیستم زمین مبتنی بر آخرین استانداردهای بین‌المللی برای ایجاد سیستم اتصال زمین در تأسیسات شبکه توزیع نیرو شامل شبکه‌های فشار متوسط تغذیه پست‌های برق، تأسیسات و تجهیزات پست‌های برق، شبکه‌های فشار ضعیف توزیع اعم از برق‌رسانی به مشترکین و روشنایی معابر، تأمین ایمنی در بهره‌برداری، نگهداری و انجام عملیات بر روی خطوط، تجهیزات و تأسیسات شبکه توزیع نیروی برق شرح داده شود. این کتاب که در هشت فصل و هشت پیوست تدوین شده است می‌تواند به‌عنوان یک مرجع کاربردی برای مهندسان برق که به‌صورت پیمانکار، مشاور، ناظر و کارفرما در زمینه طراحی، اجرا و نظارت و بازرسی سیستم‌های زمین در حوزه شبکه‌های توزیع نیروی برق یا نظام‌مهندسی ساختمان فعال هستند مورد استفاده قرار گیرد. نظر به اهمیت و نقش سیستم‌های زمین در کارکرد صحیح و ایمن شبکه‌های برق و از طرفی ناکافی بودن دانش تخصصی فارغ‌التحصیلان رشته مهندسی برق در این زمینه، نیاز به تعریف سرفصل‌های آموزشی سیستم زمین به‌صورت یک درس مستقل یا گنجانیدن سرفصل‌های مربوط به آن در دروس موجود مهندسی برق به‌شدت احساس می‌شود. لذا در تألیف

کتاب حاضر سعی شده است مفاهیم به صورتی شرح داده شود که بتواند به عنوان کتاب دانشگاهی جهت تدریس اصول سیستم‌های زمین به کار رود.

امید است که تألیف این کتاب گامی کوچک در ارتقاء دانش جامعه مهندسين برق این سرزمین باشد. بدون شک هیچ اثری خالی از اشکال و نقص نیست، لذا از خوانندگان گرامی درخواست می‌شود با ارائه نقطه نظرات خویش از طریق ایمیل [re\\_mohammadi@sbu.ac.ir](mailto:re_mohammadi@sbu.ac.ir) مؤلفین را در تهیه ویراست‌های بعدی کتاب یاری نمایند. در خاتمه از تمامی عزیزانی که در تهیه این کتاب همکاری نموده‌اند، خصوصاً اعضای کارگروه و کمیته تخصصی سیستم زمین توانیر که اسامی آنها در زیر آمده است تشکر و قدردانی می‌گردد.

|                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| محسن نیاستی        | سالار رضایی مقدم    |
| مهرداد مختاری      | آرش صمدی            |
| شاهرخ شجاعیان      | امین گشتی           |
| عزت الله پرتوی شال | وحید ملکی           |
| حسین شیروانی       | فرزین خالقی         |
| حسین اردکانی       | حسین نفیسی          |
| هدایت الله شمشیری  | محمدتقی اتحاد       |
| فرشید صداقتی       | اتابک مشهدی کشتیبان |

## فهرست مطالب

### فصل اول: ساختار خاک و عوامل مؤثر بر مقاومت ویژه آن ..... ۱۵

- ۱-۱- مقدمه ..... ۱۵
- ۲-۱- مقاومت ویژه خاک ..... ۱۵
- ۳-۱- عوامل مؤثر بر مقاومت ویژه خاک ..... ۱۶
- ۱-۳-۱- تأثیر نوع خاک بر مقاومت ویژه آن ..... ۱۷
- ۲-۳-۱- تأثیر دما بر مقاومت ویژه خاک ..... ۱۸
- ۳-۳-۱- تأثیر رطوبت بر مقاومت ویژه خاک ..... ۱۹
- ۴-۳-۱- تأثیر نمک و یون‌های موجود در خاک بر مقاومت ویژه آن ..... ۲۰
- ۵-۳-۱- تأثیر pH بر مقاومت ویژه خاک ..... ۲۱
- ۶-۳-۱- تأثیر فشردگی و تخلخل بر مقاومت ویژه خاک ..... ۲۱
- ۷-۳-۱- تأثیر گرادیان ولتاژ بر مقاومت ویژه خاک ..... ۲۲
- ۸-۳-۱- تأثیر دامنه جریان بر مقاومت ویژه خاک ..... ۲۴
- ۴-۱- بررسی لایه‌های خاک ..... ۲۵
- ۱-۴-۱- انواع لایه‌های خاک (همگن و ناهمگن) ..... ۲۵
- ۲-۴-۱- مدل‌سازی خاک ..... ۲۷
- مراجع فصل اول ..... ۳۱

### فصل دوم: تجهیزات سیستم زمین و مشخصات فنی آنها ..... ۳۳

- ۱-۲- مقدمه ..... ۳۳
- ۲-۲- الکترودهای سیستم زمین ..... ۳۳
- ۱-۲-۲- الکترودهای قائم ..... ۳۴
- ۲-۲-۲- الکترودهای افقی (سیم‌ی و تسمه‌ای) ..... ۴۰
- ۳-۲-۲- الکترودهای صفحه‌ای ..... ۴۲
- ۴-۲-۲- الکترودهای مدفون در بتن (یوفر) ..... ۴۴
- ۵-۲-۲- الکترودهای شبکه‌ای (مش) ..... ۴۴
- ۵-۲-۲- الکترودهای موجود یا طبیعی ..... ۴۷
- ۶-۲-۲- ملاحظات مربوط به انتخاب جنس و سطح مقطع الکترودهای زمین ..... ۴۷
- ۷-۲-۲- ملاحظات مربوط به محل نصب الکترودها ..... ۵۲

|   |            |
|---|------------|
| ۳-۲- هادی اتصال زمین .....  | ۵۲         |
| ۲-۳-۱- مقدمه .....  | ۵۲         |
| ۲-۳-۲- مشخصات فنی هادی اتصال زمین .....   | ۵۳         |
| ۲-۳-۳- هادی همبندی حفاظتی برای اتصال به ترمینال اصلی اتصال زمین .....           | ۵۹         |
| ۲-۳-۴- هادی همبندی حفاظتی برای همبندی اضافی .....                               | ۵۹         |
| ۲-۴- اتصالات سیستم زمین .....   | ۶۰         |
| ۲-۴-۱- انواع اتصالات سیستم زمین .....   | ۶۱         |
| ۲-۴-۲- مقایسه اتصالات جوشی و مکانیکی .....                                      | ۶۲         |
| ۲-۴-۳- انواع اتصالات مکانیکی .....  | ۶۳         |
| ۲-۴-۴- نکات کاربردی اتصال هادی‌ها .....   | ۶۶         |
| ۲-۵- خوردگی در سیستم زمین .....   | ۶۷         |
| ۲-۵-۱- مقدمه .....  | ۶۷         |
| ۲-۵-۲- خوردگی عمومی در خاک .....  | ۶۸         |
| ۲-۵-۳- خوردگی گالوانیکی .....   | ۷۱         |
| ۲-۵-۴- خوردگی پیل غلظتی .....   | ۷۳         |
| ۲-۵-۵- خوردگی ناشی از جریان سرگردان .....                                       | ۷۴         |
| ۲-۵-۶- ملاحظات جهت کاهش میزان خوردگی .....                                      | ۷۴         |
| ۲-۶- مواد کاهنده مقاومت سیستم زمین .....  | ۷۷         |
| ۲-۶-۱- اصول کاهش مقاومت زمین توسط مواد کاهنده .....                             | ۷۷         |
| ۲-۶-۲- دسته‌بندی مواد کاهنده مقاومت زمین .....                                  | ۸۰         |
| ۲-۶-۳- الزامات مواد کاهنده استاندارد .....                                      | ۸۳         |
| ۲-۶-۴- آزمون‌ها .....   | ۸۳         |
| ۲-۷- نحوه اجرای سیستم اتصال زمین .....  | ۹۱         |
| ۲-۷-۱- تپیه‌های اجرای الکترودهای قائم .....                                     | ۹۱         |
| ۲-۷-۲- تپیه‌های اجرای الکترودهای افقی .....                                     | ۹۸         |
| ۲-۷-۳- تپیه‌های اجرای الکترودهای صفحه‌ای .....                                  | ۹۹         |
| مراجع فصل دوم .....   | ۱۰۱        |
| <b>فصل سوم: اصول کلی سیستم زمین .....</b>                                       | <b>۱۰۳</b> |
| ۳-۱- مقدمه .....  | ۱۰۳        |
| ۳-۲- انواع سیستم زمین در شبکه‌های فشار ضعیف (با توجه به جنبه‌های کاربردی) ..... | ۱۰۴        |
| ۳-۲-۱- کلیات .....  | ۱۰۴        |



|          |  |     |
|----------|--|-----|
| ۱۰۶..... | ۲-۲-۳- سیستم IT  | ۱۰۶ |
| ۱۰۹..... | ۳-۲-۳- سیستم TT  | ۱۰۹ |
| ۱۱۱..... | ۴-۲-۳- سیستم TN  | ۱۱۱ |
| ۱۱۵..... | ۵-۲-۳- سیستم منتخب در شبکه توزیع برق (LV) ایران: اتصال زمین مکرر (PME) | ۱۱۵ |
| ۱۲۵..... | ۳-۳- نقاطی از شبکه و تجهیزات که باید زمین شوند                         | ۱۲۵ |
| ۱۲۵..... | ۱-۳-۳- محل اتصال زمین تجهیزات در شبکه فشار ضعیف                        | ۱۲۵ |
| ۱۳۳..... | ۲-۳-۳- محل اتصال زمین تجهیزات در شبکه فشار متوسط                       | ۱۳۳ |
| ۱۴۴..... | ۴-۳- نحوه ارتباط سیستم زمین سمت فشار متوسط و فشار ضعیف                 | ۱۴۴ |
| ۱۴۴..... | ۱-۴-۳- مقدمه   | ۱۴۴ |
| ۱۴۴..... | ۲-۴-۳- انتقال ولتاژ به سمت LV در اثر وقوع خطا در سمت MV پست            | ۱۴۴ |
| ۱۴۵..... | ۳-۴-۳- نحوه اتصال سیستم‌های زمین سمت MV و LV پستهای توزیع              | ۱۴۵ |
| ۱۵۶..... | ۵-۳- مقاومت سیستم زمین فشار ضعیف در پستهای توزیع                       | ۱۵۶ |
| ۱۵۹..... | مراجع فصل سوم  | ۱۵۹ |
| ۱۶۱..... | <b>فصل چهارم: طراحی سیستم زمین در شبکه فشار متوسط</b>                  | ۱۶۱ |
| ۱۶۱..... | ۱-۴- محاسبات طراحی سیستم زمین فشار متوسط                               | ۱۶۱ |
| ۱۶۲..... | ۱-۱-۴- محاسبات جریان اتصال کوتاه تک‌فاز به زمین                        | ۱۶۲ |
| ۱۶۸..... | ۲-۱-۴- تنظیمات معمول برای رله‌های زمین فیدرهای خروجی پست فوق توزیع     | ۱۶۸ |
| ۱۶۹..... | ۳-۱-۴- پتانسیل‌های تماس و گام مجاز                                     | ۱۶۹ |
| ۱۷۴..... | ۴-۱-۴- پتانسیل‌های تماس و گام در پست                                   | ۱۷۴ |
| ۱۷۵..... | ۵-۱-۴- محاسبه مقاومت سیستم زمین با توجه به محدودیت‌های پتانسیل تماس    | ۱۷۵ |
| ۱۸۶..... | ۲-۴- ملاحظات مربوط به طراحی سیستم زمین فشار متوسط                      | ۱۸۶ |
| ۱۸۶..... | ۱-۲-۴- راهکارهای کنترل پتانسیل تماس                                    | ۱۸۶ |
| ۱۸۷..... | ۲-۲-۴- ولتاژ تنش   | ۱۸۷ |
| ۱۸۸..... | ۳-۴- مراحل طراحی سیستم زمین فشار متوسط پست توزیع                       | ۱۸۸ |
| ۱۹۲..... | ۴-۴- محاسبه ظرفیت جریان الکترودهای زمین با توجه به تحمل خاک            | ۱۹۲ |
| ۱۹۵..... | ۵-۴- تعیین سطح مقطع هادی زمین  | ۱۹۵ |
| ۱۹۵..... | ۶-۴- ملاحظات سیستم زمین پست‌های زمینی                                  | ۱۹۵ |
| ۱۹۵..... | ۱-۶-۴- پست‌های زمینی ساختمانی  | ۱۹۵ |
| ۲۰۲..... | ۲-۶-۴- پست کمپکت فلزی  | ۲۰۲ |
| ۲۰۳..... | ۳-۶-۴- پست پدمانند   | ۲۰۳ |
| ۲۰۳..... | ۷-۴- ملاحظات سیستم زمین پست‌های هوایی                                  | ۲۰۳ |

|                 |  |
|-----------------|--|
| ۲۰۳.....        | ۴-۷-۱- اتصال زمین در پست‌های هوایی.....                              |
| ۲۰۴.....        | ۴-۸- مثال از طراحی سیستم زمین MV پست توزیع.....                      |
| ۲۰۴.....        | ۴-۸-۱- مثال ۱.....   |
| ۲۰۸.....        | ۴-۸-۲- مثال ۲.....   |
| ۲۰۹.....        | مراجع فصل چهارم.....   |
| <b>۲۱۱.....</b> | <b>فصل پنجم: روش‌های اجرای سیستم زمین و چیدمان الکترودها.....</b>    |
| ۲۱۱.....        | ۵-۱- مقدمه.....  |
| ۲۱۲.....        | ۵-۲- خلاصه‌ای از انتخاب روش اجرای سیستم زمین.....                    |
| ۲۱۶.....        | ۵-۳- چیدمان (آرایش) الکترودها.....                                   |
| ۲۱۶.....        | ۵-۳-۱- الکترودهای میله‌ای پیاپی خطی.....                             |
| ۲۱۸.....        | ۵-۳-۲- الکترودهای میله‌ای پیاپی غیرمستقیم.....                       |
| ۲۲۳.....        | ۵-۳-۳- الکترودهای قائم عمیق.....                                     |
| ۲۲۶.....        | ۵-۳-۴- الکترودهای زمین افقی، سیم راست.....                           |
| ۲۲۷.....        | ۵-۳-۵- الکترودهای زمین مش (افقی).....                                |
| ۲۲۸.....        | ۵-۴- کاربرد حلقه هم‌پتانسیل کننده.....                               |
| ۲۲۹.....        | ۵-۴-۱- رابطه با مساحت حلقه.....                                      |
| ۲۲۹.....        | ۵-۴-۲- رابطه با عمق دفن.....   |
| ۲۳۰.....        | ۵-۴-۳- رابطه با تغییر لایه‌های خاک.....                              |
| ۲۳۰.....        | ۵-۴-۴- رابطه با محل قرارگیری حلقه نسبت به سایر اجزای سیستم زمین..... |
| ۲۳۰.....        | ۵-۵- مقدار مقاومت و درصد کنترل پتانسیل تماس در پست‌های هوایی.....    |
| ۲۴۰.....        | مراجع فصل پنجم.....  |
| <b>۲۴۱.....</b> | <b>فصل ششم: اندازه‌گیری در سیستم‌های زمین.....</b>                   |
| ۲۴۱.....        | ۶-۱- اندازه‌گیری مقاومت سیستم زمین.....                              |
| ۲۴۱.....        | ۶-۱-۱- مقدمه.....  |
| ۲۴۲.....        | ۶-۱-۲- روش‌های افت پتانسیل.....                                      |
| ۲۵۲.....        | ۶-۱-۳- روش‌های بدون میله تست.....                                    |
| ۲۵۹.....        | ۶-۱-۴- روش الکترودهای متصل (ART).....                                |
| ۲۶۰.....        | ۶-۱-۵- مقایسه روش‌های اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین.....    |
| ۲۶۲.....        | ۶-۱-۶- اندازه‌گیری مقاومت سیستم زمین در مناطق شهری.....              |
| ۲۶۳.....        | ۶-۱-۷- عوامل ایجاد خطا در اندازه‌گیری مقاومت سیستم زمین.....         |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| ۲۶۵        | ۲-۶- اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک .....                  | ۲۶۵        |
| ۲۶۵        | ۱-۲-۶- مقدمه .....                                      | ۲۶۵        |
| ۲۶۵        | ۲-۲-۶- روش‌های اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک .....        | ۲۶۵        |
| ۲۷۱        | ۳-۲-۶- جزئیات اجرایی اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک .....  | ۲۷۱        |
| ۲۷۳        | ۴-۲-۶- تفسیر نتایج .....                                | ۲۷۳        |
| ۲۷۵        | ۵-۲-۶- منابع خطا در اندازه‌گیری .....                   | ۲۷۵        |
| ۲۷۸        | ۳-۶- اندازه‌گیری ولتاژ گام، تماس و انتقالی .....        | ۲۷۸        |
| ۲۷۸        | ۱-۳-۶- مقدمه .....                                      | ۲۷۸        |
| ۲۷۸        | ۲-۳-۶- روش اندازه‌گیری .....                            | ۲۷۸        |
| ۲۸۰        | ۳-۳-۶- نکات کاربردی .....                               | ۲۸۰        |
| ۲۸۱        | ۴-۶- اندازه‌گیری مقاومت همبندی و اتصالات .....          | ۲۸۱        |
| ۲۸۱        | ۱-۴-۶- اندازه‌گیری مقاومت همبندی .....                  | ۲۸۱        |
| ۲۸۲        | ۲-۴-۶- اندازه‌گیری مقاومت اتصالات .....                 | ۲۸۲        |
| ۲۸۴        | مراجع فصل ششم .....                                     | ۲۸۴        |
| <b>۲۸۵</b> | <b>فصل هفتم: سیستم زمین مشترکین .....</b>               | <b>۲۸۵</b> |
| ۲۸۵        | ۱-۷- مقدمه .....  | ۲۸۵        |
| ۲۸۶        | ۲-۷- سیستم زمین مشترک با تغذیه از فشار متوسط .....      | ۲۸۶        |
| ۲۸۶        | ۱-۲-۷- سیستم زمین فشار متوسط .....                      | ۲۸۶        |
| ۲۸۷        | ۲-۲-۷- سیستم زمین فشار ضعیف .....                       | ۲۸۷        |
| ۲۸۷        | ۳-۲-۷- در صورت استفاده از حصار اطراف پست مشترک .....    | ۲۸۷        |
| ۲۸۸        | ۳-۷- سیستم زمین مشترک با تغذیه از فشار ضعیف .....       | ۲۸۸        |
| ۲۸۸        | ۱-۳-۷- الزامات کلی سیستم زمین .....                     | ۲۸۸        |
| ۲۹۰        | ۲-۳-۷- مشترک فشار ضعیف تغذیه‌شده از پست عمومی .....     | ۲۹۰        |
| ۲۹۱        | ۳-۳-۷- مشترک فشار ضعیف تغذیه‌شده از شبکه عمومی .....    | ۲۹۱        |
| ۲۹۱        | ۴-۷- معیار پذیرش سیستم زمین مشترکین .....               | ۲۹۱        |
| ۲۹۱        | ۱-۴-۷- مشترکین فشار متوسط .....                         | ۲۹۱        |
| ۲۹۲        | ۲-۴-۷- مشترکین فشار ضعیف تغذیه‌شده از پست عمومی .....   | ۲۹۲        |
| ۲۹۳        | ۵-۷- سیستم زمین مشترکین خاص .....                       | ۲۹۳        |
| ۲۹۴        | ۱-۵-۷- ملاحظات ایمنی در نزدیکی اماکن با ریسک بالا ..... | ۲۹۴        |
| ۲۹۵        | ۲-۵-۷- پست‌های توزیع در نزدیکی برج‌های انتقال .....     | ۲۹۵        |
| ۲۹۵        | ۳-۵-۷- پست‌های توزیع در نزدیکی خطوط ریلی .....          | ۲۹۵        |

|                 |  |
|-----------------|--|
| ۲۹۵.....        | ۴-۵-۷- پست‌های توزیع در نزدیکی خطوط لوله نفت و گاز                         |
| ۲۹۶.....        | ۵-۵-۷- موارد ویژه در اجرای طرح PME   |
| ۲۹۷.....        | مراجع فصل هفتم   |
| <b>۲۹۹.....</b> | <b>فصل هشتم: تست و تحویل و بازرسی سیستم زمین</b>                           |
| ۲۹۹.....        | ۱-۸- مقدمه   |
| ۲۹۹.....        | ۲-۸- تست و تحویل سیستم‌های زمین اجرا شده                                   |
| ۲۹۹.....        | ۱-۲-۸- بررسی اتصالات و همیندیاها   |
| ۳۰۰.....        | ۲-۲-۸- اندازه‌گیری مقدار مقاومت الکتریکی الکترودها                         |
| ۳۰۳.....        | ۳-۸- بازرسی و نگهداری سیستم زمین احداث شده                                 |
| ۳۰۳.....        | ۱-۳-۸- بازرسی چشمی   |
| ۳۰۳.....        | ۲-۳-۸- اندازه‌گیری‌های دوره‌ای   |
| ۳۱۰.....        | ۳-۳-۸- دوره زمانی بازرسیها   |
| ۳۱۰.....        | ۴-۳-۸- اقدامات اصلاحی پس از بازرسیها                                       |
| ۳۱۰.....        | ۴-۸- ایمنی در بازرسیها   |
| ۳۱۲.....        | ۵-۸- فرمهای بازرسی سیستم زمین  |
| ۳۱۵.....        | مراجع فصل هشتم   |
| <b>۳۱۷.....</b> | <b>پیوست ۱: محاسبه افزایش پتانسیل زمین</b>                                 |
| <b>۳۲۳.....</b> | <b>پیوست ۲: ملاحظات مربوط به فاصله بین سیستم زمین LV و MV در حالت مجزا</b> |
| ۳۲۳.....        | پ ۱-۲- تعیین فاصله بین سیستم‌های زمین فشار ضعیف و فشار متوسط               |
| ۳۲۸.....        | پ ۲-۲- عوامل مؤثر بر محاسبه پتانسیل انتقال یافته به سیستم زمین LV          |
| ۳۲۸.....        | پ ۱-۲-۲- مقدمه   |
| ۳۲۸.....        | پ ۲-۲-۲- رابطه بین پتانسیل منتقل شده به مدار LV و اتصال زمین مکرر هادی PEN |
| ۳۳۳.....        | پ ۳-۲-۲- رابطه بین پتانسیل انتقالی با شکل (مساحت) سیستم زمین               |
| ۳۳۵.....        | پ ۴-۲-۲- تأثیر مسیرهای کم مقاومت بر روی پتانسیل انتقالی                    |
| ۳۳۵.....        | پ ۵-۲-۲- رابطه بین پتانسیل انتقالی با مقاومت لایه‌های خاک در GPR ثابت      |
| ۳۳۶.....        | پ ۶-۲-۲- رابطه بین پتانسیل انتقالی و مقاومت خاک با رویکرد جریانی           |
| ۳۳۸.....        | پ ۳-۲- آزمونهای مربوط به تعیین فاصله بین سیستم زمین LV و MV                |
| ۳۳۸.....        | پ ۱-۳-۲- پیدا کردن فاصله مجاز بین سیستم زمین LV و MV از طریق اندازه‌گیری   |
| ۳۴۰.....        | پ ۲-۳-۲- آزمون حصول اطمینان از جدایی سیستم‌های زمین                        |

**پیوست ۳: تعیین روش زمین شیلد کابل‌ها..... ۳۴۳**

- پ ۳-۱- اتصال شیلد به زمین در دو سر کابل (یا در چندین نقطه)..... ۳۴۴
- پ ۳-۲- اتصال شیلد به زمین در یک سر کابل..... ۳۴۴
- پ ۳-۳- محاسبه ولتاژ القاشده بر روی شیلد کابل..... ۳۴۶
- پ ۳-۳-۱- حدود ولتاژی برای شیلد کابل‌ها..... ۳۴۹
- پ ۳-۳-۴- محاسبه جریان‌های عبوری از شیلدها (شیلد کابل از دو طرف زمین شده)..... ۳۴۹
- پ ۳-۴-۱- جریان‌های عبوری از شیلد کابل‌ها در آرایش مثلثی..... ۳۵۱
- پ ۳-۴-۲- جریان‌های عبوری از شیلد کابل‌ها در آرایش تخت..... ۳۵۱
- پ ۳-۳-۵- محاسبات ولتاژ و جریان شیلد کابل‌های موجود در شبکه توزیع برق در ایران..... ۳۵۳
- پ ۳-۵-۱- محاسبه ولتاژ القاشده بر روی شیلد کابل نمونه از یک سو زمین شده..... ۳۵۳
- پ ۳-۵-۲- محاسبه جریان القاشده در شیلد کابل نمونه از دو سر زمین شده..... ۳۵۴
- پ ۳-۵-۳- ولتاژها و جریان‌های القاشده در شیلد کابل‌های متداول در شبکه توزیع..... ۳۵۵
- پ ۳-۶-۶- محاسبات ولتاژ و جریان القاشده در شیلد کابل‌های دو مداره (رفت و برگشت)..... ۳۵۸
- پ ۳-۶-۱- محاسبه ولتاژ و جریان القاشده برای کابل ۲ مداره..... ۳۶۱
- پ ۳-۷- کابل خودنگهدار..... ۳۶۲
- پ ۳-۸- انتخاب شیوه مناسب زمین کردن شیلد کابل..... ۳۶۲

**پیوست ۴: طرح‌های پیشنهادی برای سیستم زمین پست‌های توزیع..... ۳۶۵**

- پ ۴-۱- پست توزیع هوایی تک پایه..... ۳۶۷
- پ ۴-۲- پست توزیع هوایی دوپایه..... ۳۷۱
- پ ۴-۲-۱- حلقه هم‌پتانسیل - یک الکتروود میله‌ای - بدون حلقه هم‌پتانسیل کننده..... ۳۷۱
- پ ۴-۲-۲- مش‌های تعدیل پتانسیل..... ۳۷۹
- پ ۴-۲-۳- نصب الکتروودهای میله‌ای پیاپی..... ۳۸۳
- پ ۴-۳- پست زمینی کامپکت (۲.۳×۳.۶ متر)..... ۳۹۵
- پ ۴-۴- پست زمینی پدمانتند (۱.۷۲×۱.۶۵ متر)..... ۴۰۳

**پیوست ۵: تخمین مقاومت ویژه زمین با خاک دولایه..... ۴۰۵**

- پ ۵-۱- مدل خاک دولایه در روش اندازه‌گیری چهارنقطه‌ای..... ۴۰۵
- پ ۵-۱-۱- روش منحنی..... ۴۰۶
- پ ۵-۱-۲- استفاده از برنامه کامپیوتری..... ۴۱۰
- پ ۵-۲- مدل خاک دولایه در روش اندازه‌گیری سه نقطه‌ای (روش تک میله)..... ۴۱۲

|  |     |
|--|-----|
| پیوست ۶: ساختار خاک                          | ۴۱۹ |
| پ ۶-۱- طبقه‌بندی انواع خاک                   | ۴۱۹ |
| پ ۶-۲- مقاومت ویژه انواع خاک                 | ۴۲۲ |
| پیوست ۷: محاسبه مقاومت سیستم زمین الکترودها  | ۴۲۷ |
| پ ۷-۱- محاسبه مقاومت الکترودهای میله‌ای      | ۴۲۷ |
| پ ۷-۲- محاسبه مقاومت الکترودهای افقی         | ۴۲۹ |
| پ ۷-۳- محاسبه مقاومت الکترودهای صفحه‌ای      | ۴۳۲ |
| پ ۷-۴- محاسبه مقاومت الکترودهای مدفون در بتن | ۴۳۲ |
| پ ۷-۵- روابط تقریبی محاسبه مقاومت الکترودها  | ۴۳۳ |
| پیوست ۸: تعاریف سیستم زمین                   | ۴۳۵ |